

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAŞ MASTİK ASFALT YAPIMINDA MİNERAL FİLLER OLARAK
MERMER TOZUNUN KULLANILMASI**

Elif İZOL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2020**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TAŞ MASTİK ASFALT YAPIMINDA MİNERAL FİLLER OLARAK
MERMER TOZUNUN KULLANILMASI**

Elif İZOL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2020**

Prof. Dr. Ali SARIŞIK' ın danışmanlığında Elif İZOL' un hazırladığı '**Taş Mastik Asfalt Yapımında Mineral Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanılması**' konulu bu çalışma 21/07/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Ali SARIŞIK

Üye : Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ

Üye : Doç. Dr. Cahit GÜRER

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylıyorum.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma HÜBAK tarafından desteklenmiştir.
Proje No: 19262

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
SİMGELER DİZİNİ	vi
1.GİRİŞ	vi
1.1.Çalışmanın Amacı	2
1.2.2. Karayolu üstyapısı	4
2. LİTERATÜR İNCELEMESİ	7
2.1. Taş Mastik Asfalt ile İlgili Genel Bilgiler	14
2.1.1.Taş mastik asfaltın tarihi ve Avrupa’ da kullanımı	14
2.1.2. Taş mastik asfaltın Türkiye’ de kullanımı	16
2.1.3. Taş mastik asfaltın genel yapısı	16
2.1.4.Taş mastik asfaltın hacimsel yapısı	17
2.1.5. Taş mastik asfaltta kullanılan malzemeler	18
2.2. Taş Mastik Asfaltın Uygulanması	26
2.3. Taş Mastik Asfaltın Kullanım Amaçları	28
2.4. Taş Mastik Asfaltın Uygulama Alanları	29
2.5. Taş Mastik Asfalt Kaplama Maliyeti	30
3. MATERYAL ve YÖNTEM	32
3.1.Materyal	32
3.1.1. Agregası	32
3.1.2.Bitüm	34
3.1.3. Selülozik elyaf	35
3.1.4. SBS(Stiren-Butadien-Stiren)	36
3.1.4. Kullanılan malzeme içerikleri	36
3.2. Yöntem	41
3.2.1. Agregası deneyleri	41
3.2.2. Bitüm deneyleri	53
3.2.3. Bitümlü sıcak karışım deneyleri	58
3.2.4. Diğer analizler	67
4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	70
4.1. Agregası Deneyleri	70
4.1.1. Elek analizi	70

4.1.2. Özgül ağırlık ve su emme deneyi	71
4.1.3. Diğer deneyler	72
4.2. Bitüm Deneyleri	73
4.3. Marshall Karışım Dizaynı	73
4.4. Marshall Oranı (S/A).....	78
4.5. Schellenberger Süzülme Deneyi.....	79
4.5. İndirekt Çekme Mukavemeti Deneyi	79
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	81
KAYNAKÇA.....	84
ÖZGEÇMİŞ	88
EKLER.....	89



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞ MASTİK ASFALT YAPIMINDA MİNERAL FİLLER OLARAK MERMER TOZUNUN KULLANILMASI

Elif İZOL

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali SARIŞIK

Yıl:2020, Sayfa: 93

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada sanayileşme, nüfus ve tüketimde meydana gelen artışlar sonucunda alternatif kaynak bulma konusundaki sorunlarda da artışlar ortaya çıkmıştır. Doğal kaynaklarda meydana gelen hızlı tüketim ise gelecek kaygısına neden olmakta ve bu nedenle ortaya çıkan atık malzemeleri değerlendirmek önemli hale gelmektedir. Bu değerlendirmeler sonucunda atık malzemelerin kullanılması hem çevre açısından hem de ekonomik anlamda önemli derecede fayda sağlayacaktır. Bu etkiler göz önüne alınarak tez çalışmasında taş mastik asfalt karışımlarda mineral filler olarak ülkemizde atık halinde fazla miktarda bulunan mermer tozu kullanılmıştır. Bunun yanında karşılaştırma yapmak amacıyla mineral filler olarak bazalt ve kalker agregaları kullanılmıştır. Kaba ve ince agregada ise bazalt tercih edilmiştir. %5.5-6-6.5-7-7.5 bitüm içeriğine sahip toplamda 45 numune hazırlanmış ve Marshall stabilite deneyine tabi tutulmuştur. Ardından indirekt çekme mukavemeti deneyi uygulanarak değerlendirmeler yapılmıştır. Elde edilen bulgulara bakıldığında mermer tozunun taş mastik asfaltlarda alternatif filler malzemesi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Taş Mastik Asfalt, mermer tozu, Marshall stabilite, mineral filler, aşınma tabakası

ABSTRACT

MSc Thesis

MAKING STONE MASTIC ASPHALT USING MARBLE DUST AS MINERAL FILLER

Elif İZOL

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Ali SARIŞIK

Year: 2020, Page: 93

In recent years, because of the increase in industrialization, population and consumption in our country and the world, an increase has occurred in the problems of finding alternative sources. Rapid consumption of natural resources causes anxiety for the future and therefore it becomes important to evaluate the waste materials that emerge. As a result of these evaluations, the use of waste materials will benefit significantly both in terms of environment and economy. Considering these factors, in this thesis, marble dust in the form of waste was used as mineral filler in stone mastic asphalt mixtures in our country. Besides, basalt and limestone aggregates were used as mineral fillers for comparison. Basalt was preferred in coarse and fine aggregates. A total of 45 samples with a bitumen content of %5.5-6-6.5-7-7.5 were prepared and the Marshall stability test has been made. Then evaluations were made by applying indirect tensile strength tests. Considering the findings, it is concluded that marble dust can be used as an alternative filler material in stone mastic asphalt.

KEYWORDS: Stone Mastic Asphalt, marble dust, Marshall stability, mineral filler, wear layer

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçimi ve ardından sağladığı katkılarından dolayı danışmanım Prof. Dr. Ali SARIŞIK' a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Bu çalışma Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca, 19262 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir. Katkılarından dolayı Harran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca tüm sorularımı sabırla yanıtlayan ve hoşgörüsünü esirgemeyen sevgili hocam Doç. Dr. Cahit GÜRER' e, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Kasım MERMERDAŞ' a teşekkürü borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım boyunca her aşamada destekçim olan, bilgilerini esirgemeyen ve motivasyonumu sağlayan en değerli dostum aynı zamanda manevi ablam Dilan ASLAN' a, beni hiçbir zaman geri çevirmeyen ve hep daha ileri gitmem için teşvik eden başta Arş. Gör. Yunus KAYA' ya ve Arş. Gör. Halil İbrahim ŞENOL' a, yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşım Nur Erdem AKGÜL' e teşekkür ederim.

Malzeme temini ve laboratuvar imkanlarını kullanmamı sağlayan Diyarbakır Büyükşehir Belediyesi ve personeline, Diyarbakır Mermer' e ve Teknomet Mühendislik' e, tezimin analiz çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji ve Araştırma Merkezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde her türlü maddi ve manevi destek sağlayan sevgili anneciğime ve sevgili babacığım, tüm sıkıntılara ortak olan ve çalışmamın her detayında yardımcı olan ablalarım başta Rabia İZOL olmak üzere Gülşah İZOL ve Gülru İZOL' a, motivasyon kaynağım olan abilerim Mehmet Sinan İZOL ve Efe İZOL' a son olarak her türlü nazımı çeken sevgili kardeşim Önder İZOL' a sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. 1. Üst yapı kesiti (Arslan, 2014)	5
Şekil 1. 2. Rijit üst yapı (Alp, 2018)	5
Şekil 1. 3. Rijit ve esnek kaplamalarda yük dağılımı (Arslan, 2014)	6
Şekil 2. 1. TMA' nın genel yapısı (Şanlıer, 2018)	17
Şekil 2. 2. TMA' nın hacimsel yapısı (Blazejowski, 2011)	17
Şekil 2. 3. Taş Mastik Asfalt Birleşimi (Arslan, 2014)	20
Şekil 2. 4. Selülozik elyaf (İstanbul Teknik, 2020)	21
Şekil 2. 5. Türkiye' de mermer rezerv bölgeleri (Çetin, 2003)	25
Şekil 2. 6. Türkiye mermer yatakları (MTA, 2020)	25
Şekil 3. 1. Kalker ocağı	33
Şekil 3. 2. Kalker	33
Şekil 3. 3. Mermer tozu	33
Şekil 3. 4. Bazalt ocağı	34
Şekil 3. 5. Bazalt	34
Şekil 3. 6. Bitüm (ÇM, 2020)	35
Şekil 3. 7. Selülozik elyaf	35
Şekil 3. 8. Kalker fillerinin XRD sonuçları	39
Şekil 3. 9. Mermer fillerinin XRD sonuçları	40
Şekil 3. 10. Bazalt fillerinin XRD sonuçları	41
Şekil 3. 11. Elek takımı	43
Şekil 3. 12. Elek analizi	43
Şekil 3. 13. Arşimet terazisi	45
Şekil 3. 14. Abraham Hunisi	46
Şekil 3. 15. Piknometre	48
Şekil 3. 16. a) Los Angeles cihazı, b) Bilye takımı	49
Şekil 3. 17. a) Soyulma deneyi, b) Petri kabı	50
Şekil 3. 18. Yassılık İndeksi Şablonu	52
Şekil 3. 19. Metilen mavisi deneyi	53
Şekil 3. 20. Penetrasyon Cihazı	54
Şekil 3. 21. a) Yumuşama noktası deneyi, b) Halkalar	55
Şekil 3. 22. Düktilite deneyi	55
Şekil 3. 23. Parlama noktası deneyi	56
Şekil 3. 24. a) Termometre, b) Özgül ağırlık deneyi örneği	57
Şekil 3. 25. Dönmeli ince film etüv deneyi	58
Şekil 3. 26. Marshall deneyi aşamaları	60
Şekil 3. 27. Agrega danesi belirli hacimleri (Arslan, 2014; KGM, 2000)	61
Şekil 3. 28. a) Bitüm süzülme deneyi-1 b) Bitüm süzülme deneyi-2	64
Şekil 3. 29. İndirekt çekme mukavemeti deneyi	65
Şekil 3. 30. Vakum işlemi için kullanılan cihaz	66
Şekil 3. 31. Civa porozimetresi (AKÜ TUAM, 2020)	68
Şekil 3. 32. XRF cihazı (AKÜ DAL, 2020)	68
Şekil 3. 33. XRD cihazı (AKÜ TUAM, 2020)	69
Şekil 4. 1. Gradasyon eğrisi	71
Şekil 4. 2. Boşluk - %Bitüm grafiği	74
Şekil 4. 3. Hacim özgül ağırlık - %Bitüm grafiği	75
Şekil 4. 4. Asfaltla dolu boşluk - %Bitüm grafiği	75
Şekil 4. 5. Agregalar arası boşluk - %Bitüm grafiği	76
Şekil 4. 6. Stabilite - %Bitüm grafiği	77
Şekil 4. 7. Akma - %Bitüm grafiği	78
Şekil 4. 8. Süzülme deneyi sonuçları	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1. 1. Satış cinsine göre yol ağı uzunlukları (KGM, 2020)	1
Çizelge 1. 2. Bölünmüş yol uzunlukları (KGM, 2020)	1
Çizelge 2. 1. TMA konulu literatür incelemesi	7
Çizelge 2. 2. Avrupa' da TMA kullanımı (Arslan, 2014; Chambell, 1999)	15
Çizelge 2. 3. TMA Gradasyon ve Tolerans Sınırları (KGM, 2013)	19
Çizelge 2. 4. TMA kaplamalarda kullanılan agregaların bazı ülkelerdeki sınır değerleri (Altan, 2018)	19
Çizelge 2. 5. Mineral elyaf özellikleri (KGM, 2013)	22
Çizelge 2. 6. Selülozik elyaf özellikleri (KGM, 2013)	22
Çizelge 2. 7. Almanya' da kullanılan TMA kaplamalar için tabaka kalınlıkları (Tayfur, 2001)	27
Çizelge 2. 8. Kaplama tipine göre maliyet analizi (NAPA, 1999)	31
Çizelge 3. 1. Elyaf özellikleri	35
Çizelge 3. 2. Civalı porozimetre deney sonuçları	36
Çizelge 3. 3. Bazaltın kimyasal bileşeni	37
Çizelge 3. 4. Mermerin kimyasal bileşeni	38
Çizelge 3. 5. Kalkerin kimyasal bileşeni	38
Çizelge 3. 6. Yassılık indeksi malzeme miktarı	51
Çizelge 3. 7. TMA dizayn kriterleri (KGM, 2013)	59
Çizelge 4. 1. Karışım özellikleri	70
Çizelge 4. 2. Agregat miktarları	71
Çizelge 4. 3. Özgül ağırlık deneyi sonuçları	72
Çizelge 4. 4. Agregat deney sonuçları	72
Çizelge 4. 5. Bitüm deneylerinin sonuçları	73
Çizelge 4. 6. Süzülme deneyi sonuçları	79
Çizelge 4. 7. İÇM deney sonuçları	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
°C	Santigrat derece
CEN	European Committee for Standardization
cm	Santimetre
cm ²	Santimetre Kare
cm ³	Santimetre Küp
D _{max}	Maksimum çap
D _p	Hacim Özgül Ağırlık
D _t	Maksimum Özgül Ağırlık
FHWA	American Federal Highway Administration
FRP	Fiber Reinforce Polimer
g	Gram
G _b	Bitümün özgül ağırlığı
G _{sa}	Zahiri özgül ağırlık
G _{sb}	Hacim özgül ağırlığı
G _s	Hacim özgül ağırlığı
G _{se}	Efektif özgül ağırlığı
İÇM	İndirekt Çekme Mukavemeti
İSFALT	İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.
kg	Kilogram
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
km	Kilometre
KTŞ	Karayolu Teknik Şartnamesi
Maks	Maksimum
MB	Modifiye Bitüm
Min	Minimum
ml	Mililitre
mm	Milimetre
SBS	Stiren – Butadien – Stiren
TMA	Taş Mastik Asfalt
V _f	Bitümle Dolu Boşluk
V _h	Boşluk
VMA	Agregalar arası boşluk

1.GİRİŞ

Ulaştırmanın insan hayatı için öneminin büyüklüğü tartışılmazdır. Eğitim, sağlık, yiyecek ve giyecek gibi gerekliliklerin karşılanması açısından ulaşım zorunlu olmaktadır. Ulaştırma; karayolu, havayolu, deniz yolu ve demir yolu olarak sıralanabilmektedir. Ulaştırmanın bu birimleri için gerekli planlamalar yapılmalı, projenin ömrü boyunca meydana gelecek bütçe ihtiyaçları göz önünde bulundurulmalıdır. Ülkemizde ve dünyada en geniş kullanım alanına sahip olan ulaşım ağı karayoludur. Dolayısıyla karayollarının yapımında kullanılan malzemelerin optimizasyonu hem yapım aşamasında hem de bakım çalışmaları esnasında önemli avantajlar sağlamaktadır.

1960-1970 yılları arasında ülkemizde asfalt kullanımı hız kazanmıştır. Bu sebeple karayolu yapımına ayrılan bütçe zamanla artmaya başlamıştır. Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’ de 2020 yılı itibariyle Karayolları Genel Müdürlüğü’nden (KGM) alınan karayolu uzunlukları görülmektedir.

Çizelge 1. 1. Satih cinsine göre yol ağı uzunlukları (KGM, 2020)

SATIİİ CİNSİNE GÖRE YOL AĞI (KM)							
01.01.2020 tarihi itibariyle							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	Toplam
Otoyol (*)	3 060	-	-	-	-	-	3 060
Devlet Yolları	17 991	12 654	56	27	-	278	31 006
İl Yolları	4 689	26 163	243	453	440	2 177	34 165
TOPLAM	25 740	38 817	299	480	440	2 455	68 231

Çizelge 1. 2. Bölünmüş yol uzunlukları (KGM, 2020)

Bölünmüş Yollar (KM) (01.01.2020)	
Otoyollar	3 060
Devlet Yolu	20 723
İl Yolu	1 922
Toplam	25 705

Yol inşasına bakıldığı zaman altyapı ve üstyapı terimleri meydana gelmektedir. Altyapı, projede verilmiş olan dolgu ve yarma işlemlerini kapsamaktadır. Altyapının asıl amacı trafikten kaynaklanan yükleri daha geniş bir alana yaymaktır. Bu nedenle bu kısımda kullanılacak olan malzemelerin don, yağış ve trafik yükü gibi etkilere dayanıklı olması sağlanmalıdır. Üstyapının ise, yolun altyapısına bağlı olması sebebiyle belirtilen şartnamelere uygun olarak yapılması istenmektedir. Kademeli yapıya sahip olan, yolun trafik yüklerini taşıyan üstyapı, taşıdığı bu yükü azaltarak altyapıya aktarılmasını sağlamaktadır.

Öte yandan dünya nüfusunun sürekli artmasıyla beraber, tüketim hızında da artış görülmektedir. Her geçen gün tüketim hızının artması da doğal kaynakların azalmasına sebep olmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında mevcut doğal kaynakların çok kısa süre içerisinde tükeneceği sonucunu ön görmek çok zor değildir. Ancak çevre düzeni ve dengesi sağlandığı sürece tüm canlılar hayatını devam ettirebilmektedir. Günümüzde insanların bilinçsiz tüketimleri, insanlığı tehlikeler oluşturabilecek sonuçlara götürmektedir. Bunun farkına varılmasıyla ve bu düşünce yapısının değişmesiyle beraber, yaşamda meydana gelen tehlikeler ve bunların nasıl giderilebileceğiyle ilgili girişimler yapılmaktadır. Bununla beraber artık daha bilinçli ve çözüm odaklı çalışmalar ortaya konulmaktadır. Yapılan çalışmada da bunlar göz önünde bulundurulup mermer atıkları sonucu oluşan mermer tozu kullanılarak çevreye, ekonomiye ve Taş Mastik Asfalt (TMA) kaplamasına olan etkileri araştırılmıştır.

1.1.Çalışmanın Amacı

Hızla artan tüketimle beraber kaynakların kısıtlı olması, atık kullanımının değerlendirilmesinin önemini arttırmaktadır. Geri dönüşüm adını verdiğimiz bu durum terim olarak, kullanımların dışında kalan geri dönüştürülebilen atık malzemelerin birçok geri dönüşüm yoluyla ham madde olarak yeniden imalat sürecine kazandırılmasıdır.

Ülkemizde de bilincin artmasıyla bu tür çalışmalar hız kazanmaya başlamıştır. Bu şekilde yapılan çalışmalarla atıkların oluşturacağı çevresel sorunlar azaltılabilecek ve ekonomik açıdan kazanç elde edilebilecektir.

İnşaat sektörü içerisinde maliyet açısından düşünüldüğünde malzeme giderlerinin payı oldukça fazladır. Ülke ekonomisine az da olsa katkı sağlamak amacıyla geri dönüşümü sağlanabilen atık malzemelerin kullanılması yarar sağlayacaktır. Öte yandan bakıldığında hizmet ömrü uzun olan, kaliteli ve bakım-onarımı az olan üstyapı tabakasının seçilmesi de ülke ekonomisine önemli derecede katkı sağlayan yaklaşımlardan olmaktadır. 2020 yılı başlangıcıyla ülkemizin üstyapı satıh durumu incelendiğinde Çizelge 1.1 ve Çizelge 1.2’ de de görüldüğü üzere 68 231 km uzunluğunda olan karayolunun 25 740 km’ si asfalt betonlardan meydana gelmektedir.

Bitümlü sıcak karışımların (BSK) kalınlığının en az olduğu tabaka aşınma tabakasıdır. Bununla beraber iklim koşulları, yüzey suları, tekerlek yükü ve sürtünmelere en fazla maruz kalan tabaka çeşididir. Bu durumlar göz önüne alındığında aşınma tabakasında, tekerleğin temas ettiği kısımda bir basınç meydana gelir ve bu basıncı atlatabilmesi için aşınma tabakası iyi sıkıştırılmalı ve çok sağlam agregalardan oluşmalıdır. Bu tabakada meydana gelecek herhangi bir olumsuzluk doğrudan emniyet ile beraber trafiğin konforunu etkilemektedir. Eğer serme aşamasında bir işçilik hatası oluşursa ayrışma dediğimiz segregasyon, sıkıştırma aşamasında bir işçilik hatası oluşursa deformasyonlar ortaya çıkmaktadır. Aşınma tabakasının şartnamelere uygun olarak imal edilmesi durumunda trafik konforu olumlu şekilde etkilenir, dayanım artış gösterir ve kaymaya karşı direnç oluşur. Bu durumlar göz önüne alındığında aşınma tabakasının sert taşlardan ve modifiye bitüm gibi malzemelerden meydana gelmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu maddelere en uygun asfalt tipi ise özellikle tekerlek izine karşı dirençli olmasıyla bilinen TMA kaplamalardır.

1.2. Karayolları ile İlgili Temel Bilgiler

Yolun gövdesi iki kısımdan oluşmaktadır. Bu kısımlardan biri yolun altyapısı diğeri ise üstyapısıdır.

1.2.1. Karayolu altyapısı

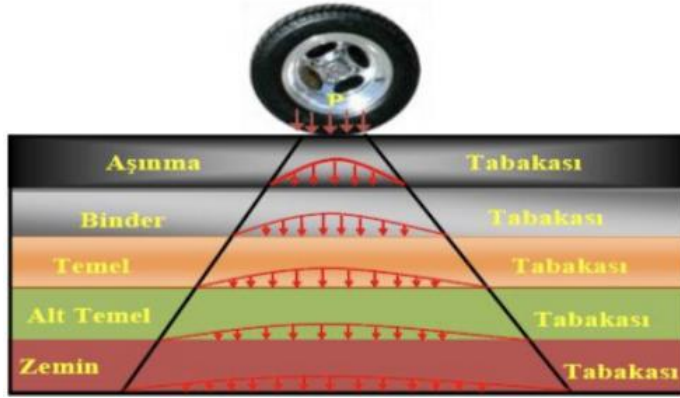
Altyapıyı genel bir şekilde tanımlayacak olursak projede verilen dolgu ve yarma işlemlerini kapsar. Altyapının asıl amacı trafikten kaynaklı olarak meydana gelecek yükleri daha geniş bir alana yaymaktır. Ayrıca belirlenen bir kot değerinde düzgün bir yüzey oluşturulmasını sağlamaktadır. Bu nedenle bu kısımda kullanılacak olan malzemelerin don, yağış ve trafik yükü gibi etkilere dayanıklı olması sağlanmalıdır.

1.2.2. Karayolu üstyapısı

Yol üstyapısı, yolun altyapısına bağlı olması sebebiyle belirtilen şartnamelere uygun olarak yapılmak zorundadır. Kademeli yapıya sahip olan ve kesiti Şekil 1.1' de gösterilen üst yapı, yolun trafik yüklerini taşımakta ve taşıdığı bu yükü azaltarak altyapıya aktarılmasını sağlamaktadır. Üstyapılar;

- Rijit Üstyapı
- Esnek Üstyapı
- Yarı rijit Üstyapı

olmak üzere 3' e ayrılmaktadır.

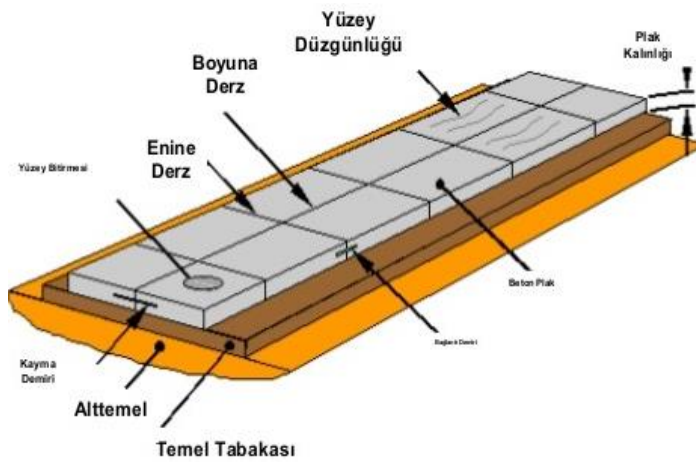


Şekil 1. 1. Üst yapı kesiti (Arslan, 2014)

Rijit üstyapı

Portland çimentosundan yapılmış olan beton plakalar yardımıyla yükün büyük bir kısmını taşımasıyla beraber yükün kalan kısmının altyapıya aktarılmasını sağlayan üstyapıya, rijit üstyapı denilmekte ve Şekil 1.2' de bir kesiti görülmektedir.

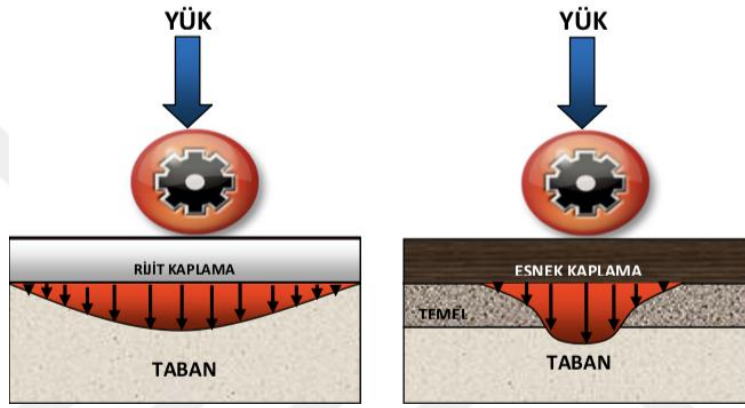
Rijit üst yapılar genelde beton yol olarak da adlandırılırlar. Nitekim rijitliği, elastisite modülü, taşıma kapasitesi gibi özellikleri belirtilen beton plağın eğilme direncine bağlıdır. Ayrıca rijit üstyapıların ilk yatırım maliyeti esnek üstyapıların ilk yatırım maliyetine göre daha yüksektir. Ancak buna karşılık bakımları çok nadir olmaktadır.



Şekil 1. 2. Rijit üst yapı (Alp, 2018)

Esnek üstyapı

Statik yükler ile dinamik yüklerin büyük çoğunluğunun bağlayıcısız ve bitümlü bağlayıcı tabakalar vasıtasıyla taşındığı, kalan yüklerin ise tabana aktarıldığı üstyapıya esnek üstyapı denir. Esnek üstyapılar nitelikleri belirli olan malzemelerle katmanlı bir şekilde meydana getirilir. Bu katmanlar trafik yükleri ve zemin taşıma kapasitesi dikkate alınarak hesaplamalar sonucu oluşturulur. Şekil 1.3' te karşılaştırmalı olarak rijit ve esnek kaplamanın yük dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1. 3. Rijit ve esnek kaplamalarda yük dağılımı (Arslan, 2014)

Yarı rijit üstyapı

Hidrolik bağlayıcılar ile sıcak bitümlü karışımın kullanıldığı bir üst yapı tipidir. Yarı rijit üstyapı kaplamaları geniş bir alana gelen yükleri dağıtıp tabana aktarır.

2. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Taş mastik asfalt konusunda sınırlı sayıda kaynak olduğundan ilgili tez çalışmaları incelenmiş olup makale, kitap ve bildirilerden de yararlanılmıştır. Ayrıca Çizelge 2.1’ de sadece taş mastik asfalt konusunu kapsayan kaynaklar tablosuna yer verilmiş, toplu bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 2. 1. TMA konulu literatür incelemesi

TMA İLE ALAKALI KAYNAKLAR			
Tez	Makale/ Bildiri	Şartname/ Rapor	Kitap
12	12	15	3
Toplam			42

Arslan (2014), yaptığı tez çalışmasında İstanbul ili ve çevresinde bulunan ocaklardan kumtaşı (Kocaeli -Gölcük) ve dolomitli kireçtaşının (İstanbul –Cebeci bölgesi) taş mastik asfalt uygulamalarındaki etkisini araştırarak bu gibi kayalardan oluşturulan TMA karışımlarının, bazalt (Çorlu - Karatepe) kullanılarak oluşturulan karışımlara alternatif olabilme olasılığını incelemiştir. Bu amaç kapsamında KGM’ nin sorumlu olduğu üç farklı proje ile imal edilmiş olan üç farklı TMA karışımlarını, performans ve fiziksel açıdan karşılaştırma esasına dayalı olarak incelemeler yapmıştır. Çalışmada, kumtaşı ile dolomitli kireçtaşının, TMA karışımlarında alternatif bir kayaç olarak kullanılması sonucunda herhangi bir olumsuzluğa rastlanılmadığını ve bu nedenle alternatif olarak kullanılabilceği sonucuna varmıştır.

Alp (2018), yaptığı tez çalışmasında taş mastik asfalt tekniği ile aşınma asfalt betonunun, köprü uygulamasında kullanılmasını belirli karşılaştırmalar yaparak incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşınma asfalt betonunun nitelik olarak TMA karışımlardan daha düşük olduğu ve bununla beraber maliyet analizi yapıldığında TMA yapımının ülke ekonomisine daha fazla katkı sağlayacağı sonucuna varmıştır. Ayrıca köprü yapımlarında TMA kullanımının yaygınlaştırılması önerisinde bulunmuştur.

Altan (2018), elektrik ark fırın cürufunu taş mastik asfaltta agrega olarak kullanılabilirliği ile doğal agregalarla kıyaslanmasını deneysel yöntemlerle araştırmıştır. Elde ettiği veriler sonucunda elektrik ark fırın cürufunun, taş mastik asfalt karışımlarında kullanılabilirliğini, Karayolları Teknik Şartnamesi' nde verilen değerlere uygun olduğunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca ülkemizde 1 ton çelik üretimi sonucunda yaklaşık olarak 120-150 kg cüruf açığa çıktığını ve giderek bu oranların arttığını belirterek bu tarzda bulunan atık ürünlerin değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Tayfur (2001), yapmış olduğu tez çalışmasında daha taş mastik asfalt tam anlamıyla uygulanmaya başlanmadan önce taş mastik asfalt yapımında uygun olan karışımı bulmak için çeşitli deneyler yaparak konuyu araştırmıştır. Çalışmasında 6 tip karışım hazırlayarak, bu karışımlara 7 farklı performans deneyleri uygulamıştır. Tahmin modeli oluşturmuş ve KGM' nin ancak detaylı incelemeler yaparak taş mastik asfaltın doğru bir şekilde uygulanmasını sağlayacağını vurgulamıştır.

Kaşak (2007), taş mastik asfalt karışımında, katkı maddesi olarak elyaf ile diatomit kullanımını karşılaştırmış ve diatomitin alternatif bir fiber malzeme olup olmayacağını deneysel yöntemlerle araştırmıştır. Yaptığı deneyler sonucunda diatomitin ekonomik olarak oldukça fazla katkı sağlayacağı ancak bazı deneylerde elyaftan daha düşük nitelikte olduğunu görmüştür. Bu nedenle daha kesin sonuçlar elde edebilmek için deneme kesimleri yapılarak karar verilmesi gerektiğini önermiştir.

Akpolat (2014), ılık karışım katkısının taş mastik asfalt kaplama ve bitüm üzerine etkisini yaptığı tez çalışmasıyla araştırmıştır. Bu amaçla Sasobit ile SBS katkı kullanarak bitümlü sıcak karışımlara ve bitüme olan etkisini detaylı olarak değerlendirmiştir. Bu katkıların birbirlerine farklı üstünlükleri olduğunu deneysel çalışmalarla açıklamıştır.

Kabadayı (2019), taş mastik asfalt karışımında filler olarak üleksit mineralini kullanarak performansa olan etkilerini yaptığı tez çalışmasıyla incelemiştir. Dolaylı

Çekme ve Marshall Stabilite deneyleri sonucuna göre üleksit mineralinin filler olarak kullanılması sonucunda esneklik modülü ile stabilite değerlerinde olumlu sonuçlar elde etmiş ve optimum karışım oranını belirlemek için ise ileri düzeylerde performans deneyleri yapılmasını tavsiye etmiştir.

Saedi (2019), taş mastik asfalt kaplamalarda katkı maddesi olarak kullanılan viatop premium elyaf, SBS (Stiren-Butadien-Stiren) ve ve FRP (Fiber Rainforce Polimer) maddelerini kullanarak, bu maddelerin asfalt karışımının mekanik özelliklere olan etkilerini araştırmıştır. Yaptığı karışımlarda farklı oranlarda elyaf, SBS ve FRP kullanarak çıkan değerleri kıyaslamıştır. Çalışmanın sonucunda farklı katkıların farklı deneylerde birbirine üstünlük sağladığı ancak FRP katkı kullanımının olumlu sonuçlar doğuracağını belirtmiştir.

Erkuş (2017), bitüm ve taş mastik asfalt kaplamalarda, bitümün termal özelliklerini iyileştirmek amacıyla grafit katkısı kullanmış ve etkisini araştırmıştır. 4 farklı oranda grafit katkısı kullandığı numuneleri çeşitli deneylere tabi tutarak saf karışımlarla kıyaslama yapıp en uygun grafit katkısını bulmaya çalışmıştır. Olumlu sonuçlar elde ettiği etkili oranın %10 ve %15 olduğunu tespit etmiştir.

Şanlıer (2018), Kuzey Marmara Otoyolu Projesi kapsamında taş mastik asfalt karışımların maliyet analizi ile beraber performanslarını karşılaştırdığı bir çalışma yapmıştır. Taş mastik asfalt kaplamaların ilk yapım maliyeti, geleneksel asfalt karışımlara nazaran fazla olsa bile, uzun hizmet ömrüne sahip olması ve az bakım gerektirmesinden dolayı geleneksel asfalt kaplamalardan daha ekonomik olduğu sonucuna varmıştır. Performans olarak üstün özelliklere sahip olduğunu, özellikle tekerlek izi oluşumuna karşı direncini vurgulayarak bu tür bozulmaların yaygın olduğu alanlarda kullanılması önerisinde bulunmuştur.

Taşdemir (1998), daha taş mastik asfalt ülkemizde uygulanmazken bu karışımların etüdünü yapmış ve özelliklerini araştırmıştır. Gerekli olan bütün deneyleri yaparak taş mastik asfalt karışımların özelliklerini detaylı bir şekilde ortaya çıkarmıştır. Yaptığı çalışmada bazı cihazların Türkiye’ de bulunmamasından

kaynaklı olarak gerçekleştiremediği deneylerin ileride değerlendirmeye alınması gerektiğini vurgulamış ve TMA karışımların birçok açıdan geleneksel asfaltlardan daha iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Şengül (2011), TMA karışımlarda maliyet anlamında ön planda olan katkı malzemeleri olarak SBS ile elyaf katkısına karşılık, ülkemizde kolayca ulaşılan sönmüş kireci kullanarak karşılaştırma yapmıştır. Sadece sönmüş kireç karışımından ve diğer katkı maddeleriyle beraber sönmüş kireç karışımlarından oluşan numuneler hazırlamıştır. Bu numunelere yaptığı deneyler sonucunda sönmüş kireç katkısının bazı deneylerde düşük özelliklere sahip olduğunu ancak diğer katkılarla uyumlu şekilde çalıştığını vurgulayarak TMA karışımlarda kullanılabileceği önerisinde bulunmuştur.

Sönmez ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada dünya genelinde en çok kullanılan doğal hidrokarbonlar, elastomer, plastomer, viatop elyaf, Trinidad göl asfaltı esaslı katkıların bitümlü sıcak karışımların birbirlerine olan üstünlükleri ile performans etkilerini incelemişlerdir. Marshall stabilite değerlerine bakıldığı zaman oluşturulan tüm katkılı karışımların şartnamede verilen sınır değerlerinin üzerinde olduğunu saptamışlardır. Tekerlek izi deneyi sonucunda tüm katkılı karışımların performanslarının, geleneksel asfalt karışımlara oranla daha iyi nitelikte olduğunu tespit etmişlerdir.

Kutluhan ve Ağar (2009), agrega ve bitümlü bağlayıcıyı ele alarak tekerlek izi oluşumuna etkilerini incelemişlerdir. Agregaların keskin köşeli, yabancı madde içermeyen, sert ve dayanıklı, kırılmış danelerden oluşması gerektiğinden bahsetmişlerdi. Ayrıca iri agrega oranın fazlaca kullanıldığı karışımlarda plastik deformasyonlara ve akmaya karşı gösterilen direncin arttığını tespit etmiştir. Buradan hareketle TMA karışımların tekerlek izi oluşumlarına karşı daha dayanıklı olduğunu bu yüzden iri agrega oranının önemli olduğunu belirtmiştir.

Akbulut ve Gürer (2006), asfalt kaplamalarda atık mermerleri agrega olarak kullanılmasını değerlendirmişlerdir. Ülkemizde ortaya çıkan bu gibi atıkların agrega

olarak değerlendirilmesinin olumlu katkıları sağlayacağı ve geri dönüşümünün sağlanmasıyla çevresel katkıların oluşacağını vurgulamışlardır. Akbulut ve Güner, mermer tozunun agrega olarak kullanıldığı karışımların şartname değerlerini sağladığını bununla beraber orta veya düşük olan trafik hacmine sahip yolların binder tabakalarında değerlendirilebileceği sonucuna varmışlardır.

Akbulut ve ark. (2003), Ülkemizde malzemelerin daha verimli ve yeniden kullanılabilirliği konusunda zorluklar yaşandığını belirterek asfalt yol kaplamalarında, agrega sınıflandırılmasında CEN (European Committee for Standardization) standartlarını kullanarak atık agrega kullanımını değerlendirmişlerdir. Çalışmada agrega olarak mermer atıklarını kullanmışlardır. Ayrıca TMA karışımlarda bağlayıcının eşit derecede dağılmadığını ve bunun sonucunda doğacak olumsuzlukların sürüş güvenliğini tehdit edeceğini belirtmişlerdir. Bu nedenle bağlayıcının viskozitesini arttırmayı bir çözüm olarak sunmuşlar ve mermer toz atıklarının bunu engelleyebileceği yorumunda bulunmuşlardır.

Terzi ve Kardeşahin (2003), yapmış oldukları çalışmada, asfalt betonu içerisinde filler malzemesi olarak 7 ayrı cins mermer toz atıklarını kullanmışlar ve taş tozu kullandıkları karışımlarla kıyaslama yapmışlardır. Optimum bitüm içeriğini belirlemek amacıyla Marshall stabilite deneyi yapmışlardır. Hazırladıkları numunelere plastik deformasyon deneyi uygulamışlardır. Taş tozu ile mermer tozu arasında önemli bir fark olmadığı dile getirmişlerdir. Ancak taş tozu kullanılan karışımın daha yüksek stabilite ve daha düşük plastik deformasyon değerlerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca mermer tozunun çevresel yararı ve ekonomikliği göz önüne alındığında kullanımının yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Karakuş (2011), yol yapım çalışmalarında taş tüketiminin çok fazla olduğunu ve bu nedenle yeni agregalar için ocaklara olan talepte artış meydana geldiğini dile getirmiştir. Bu nedenle yaptığı çalışmasında 'bazalt atıklarının' mineral filler olarak taş mastik asfalt kaplamalarda kullanılmasının çevresel sorunların çözüme kavuşmasında yardımcı nitelikte olabileceğini belirtmektedir. Bu amaç kapsamında

Diyarbakır' da taş ocağından temin ettiği agregalarda; kimyasal analiz, elek analizi, Los Angeles aşınma, su absorpsiyonu, özgül ağırlık, soyulma mukavemeti, Na₂SO₄ ile donma ve yassılık indeksi deneyleriyle kaba ve ince agregaların özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği değerler sonucunda, TMA karışımı dizaynını Karayolu Teknik Şartnamesi' ne (KTŞ) göre belirlemiştir. Karışımlara ise Marshall stabilite deneyi uygulamıştır. Sonucunda ise bazalt atıklarından oluşturulan karışımların, sınır değerler içerisinde olduğunu belirtmiştir.

Singh ve ark. (2009), hazırladıkları sıcak karışımlara, %3, %5, %7 oranlarında SBS katkısı kullanarak bunun farklı agregalar (granit, mermer, kuvarsit) üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu kapsamda; Marshall stabilite, tekerlek izi, çekme dayanım testlerini uygulamışlardır. Deneyler sonucunda SBS ile modifiye edilmiş karışımlarda yüksek Ca (kalsiyum) içeriğine sahip agregaların, yüksek SiO₂ (silika) içeren agregalara kıyasla, bitümlle daha iyi bağlanma gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Brown ve Basset (1990), agrega gradasyonu olarak D_{max} değerlerini; 3/8'' ; 1/2'' ; 3/4'' ; 1'' ve 1-1/2'' olarak oluşturduğu 5 farklı karışımı değerlendirmiştir. Oluşturduğu karışımlara 75 darbe ile Marshall stabilite, sünme ve esneklik modülü, dolaylı çekme mukavemeti deneylerini yapmışlardır. Bunun sonucunda, iri agrega oranı yüksek olan karışımlarda elde edilen değerlerin (Marshall stabilite hariç) daha küçük agregalar ile oluşturulan karışımlardan çok daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Chelovian ve Shafabakhsh (2016), taş mastik asfalt karışımına, %0.3, %0.6, %0.9 ve %1.2 oranlarında Nano Al₂O₃ eklemiştir. Bununla beraber TMA karışımlarında katkı maddesi olarak kullanılan selülozik elyafı tercih etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda (tekerlek izi, dinamik sünme, indirekt çekme dayanım deneyi) Nano Al₂O₃' ün önemli ölçüde taş mastik asfaltın performansına etki ettiğini dile getirmiş ve tüm sıcaklık ve basınçlarda, optimum yüzde olarak (% 0.6 - 0.9 - 1.2 Al₂O₃) olduğunu belirtmişlerdir.

Zhi ve ark. (2012), TMA karışımları içerisinde gilsonit, poliprolin, asbest fiber, lastik kırıntısı, selülozik elyaf kullanarak performans üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu nedenle yorulma deneyi ile su hasarı deneyleri yaparak gilsonit katkısının en etkili özelliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Mokhtari ve Nejad (2012), yaptıkları çalışmada katkı olarak farklı oranlarda balmumu kullanımını, TMA karışımlarında karşılaştırmalı olarak değerlendirmişlerdir. SBS ve selülozik elyaf kullandıkları karışımlarla kıyaslandığında balmumunun çok etkili bir sonuç vermediğini gözlemlemişlerdir.

Ghasemi ve Marandi (2010), yaptıkları çalışmada TMA karışımlara %5 SBS katkısı kullanarak Marshall stabilite değerinde %70 artış olduğunu ve aynı zamanda esneklik modülünde de %127' lik bir iyileşme olduğunu göstermişlerdir.

Brown ve Haddock (1997), yaptıkları çalışmada kaba agrega oranı yüksek olan TMA karışımlarında dayanımın esas olarak sağlandığı taşın taşa olan teması için istenilen düzeyde olup olmadığını belirlemek amacıyla yöntem önermişlerdir. Tekerlek izinde önemli dayanımlara sahip olduğundan dolayı kullanımının giderek arttığını belirtmişlerdir. Bunun yanı sıra agreganın kalitesini ölçmek için Los Angeles deneyinin iyi olduğunu ancak kesin bir sonuç vermediğini dile getirmişlerdir.

Behbahani ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada kullandıkları mineral elyaf (taş yünü) ve selülozik elyafın, taş mastik asfalt üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu kapsamda Marshall stabilite ve indirekt çekme dayanımı yapmışlardır. Sonuç olarak mineral elyafı TMA karışımlarının, selüloz içerenlerden daha az bağlayıcı içeriğine ve VMA' ya sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca bu iki elyaf türünün dayanıma olan etkilerinin diğer fiberlerden daha fazla olduğunu belirtmişlerdir.

Hafeez ve ark. (2012), taş mastik asfalt kaplamalarda, maksimum agrega boyutunun deformasyonlara karşı etkilerini incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda 4 farklı çapta agrega (9.5 mm - 12 mm - 19 mm – 25.4 mm) içeren karışım

hazırlamışlardır. Oluşturdukları bu karışımlara tekerlek izinde oturma deneyi uygulamışlardır. Bu deneyi; 25 ° C, 40 ° C ve 60 ° C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta gerçekleştirmişlerdir. Sıcaklık ile agreganın en büyük boyutunun, tekerlek izine karşı gösterilen bir direncin fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak sıcaklığın artmasıyla ve agrega boyutunda meydana gelen artışla beraber tekerlek izi oluşumunda azalma meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Blazejowski (2011), taş mastik asfalt ile ilgili birçok detaylı bilgi barındıran (ülkelerle karşılaştırmalar, TMA' nın genel yapısı, içeriğinde barındırdığı agrega, bitüm, katkı maddeleri vb.) ve çok sayıda kaynağa atıfta bulunduğu 'Stone Matrix Asphalt; Theory and Practice' adlı yayınlanan kitabında oldukça önemli bilgilerden yararlanılmıştır.

Park ve ark. (2009), bitümlü sıcak karışımlarda, SBS ve hidrokarbon katkılarını kullanmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda bu katkıların, yorulmaya karşı gösterilen direnci arttırdığını görmüşlerdir. Ayrıca oluşturdukları bu karışımın köprülerde kullanılması önerisinde bulunmuşlardır.

2.1. Taş Mastik Asfalt ile İlgili Genel Bilgiler

2.1.1. Taş mastik asfaltın tarihi ve Avrupa' da kullanımı

Taş mastik asfalt kaplamaların kullanımı yaklaşık olarak 55 yıl öncesine uzanmaktadır. İlk olarak Almanya'da kullanımına başlanan ve "Splitmastix Asphalt" olarak adlandırılan bu kaplama türü daha sonraki dönemlerde diğer Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Avrupa' da TMA kullanımını özetleyen bilgiler ise Çizelge 2.2' de verilmiştir (Altan, 2018; Arslan, 2014; Blazejowski, 2011; Brown ve ark., 1994).

Taş mastik asfalt, çivili lastiklerin aşındırıcı özelliklere sahip olması sebebiyle bu etkilere karşı koymak için Almanya'da geliştirilmiştir (Blazejowski, 2011). İlk zamanlarda Gussasphalt (mastik harç ile düşük kaba agrega oranı içeren asfalt türü)

kullanılmaktaydı. Ancak çivili lastikler bu yüzeylerin aşınmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle Alman Mühendis Dr. Zichner bu konu üzerine çalışmalar yapmaya başlamıştır. Dinamik parçalanmaya ve ezilmelere karşı iri agregaların dirençli olduğunu görerek iri agregaların kullanımının olumlu sonuçlar doğuracağını belirtmiştir. Böylelikle ilk fikir gelişmeye başlamıştır (Blazejowski, 2011).

1975 yılında bazı ülkeler haricinde çivili lastiklerin kullanılması yasaklanmış ve ardından TMA' nın kullanımına Almanya'da bir süre ara verilmiştir. Ancak zamanla dingil yüklerde meydana gelen artışla beraber ağır trafik yükleri, yollarda tekerlek izi oluşumuna neden olmuştur. Üst yapıda oluşmaya başlayan önemli bozulmalar nedeniyle araştırmalar yapılmış ve sonuç olarak TMA' nın aşınma tabakası olarak kullanımı asfalt betonu aşınma tabakasına oranla daha iyi niteliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Bunun ortaya çıkması da Almanya' yı yeniden taş mastik asfalt kullanmaya yöneltmiştir. Bunun sonucunda da taş mastik asfalt 1984 yılında Almanya' da teknik şartnamelere girmiştir (Altan, 2018; Arslan, 2014; Blazejowski, 2011; Brown ve ark., 1994).

Çizelge 2. 2. Avrupa' da TMA kullanımı (Arslan, 2014; Chambell, 1999)

Ülke	Bilgi
Danimarka	Kullanım yılı 1982' dir. Havaalanları, trafik hacminin yüksek olduğu yerlerde ve endüstriyel olan alanlarda kullanılıyor.
Belçika	Yüksek trafik hacminin hakim olduğu birçok alanda yenilenme ihtiyacı olan yollar TMA ile tekrar kaplanıyor.
Çek Cumhuriyeti	Kullanım yılı 1991' dir ve giderek TMA kullanımını yaygınlaştırmaktadır.
Macaristan	Kullanım yılı 1983'tür.
İsveç	1974 yılında araştırmalar yapılmış ve 1988 yılından itibaren ana arter ve otoyollarda aşınma tabakası biçiminde kullanılmaktadır.
Hollanda	Kullanım yılı 1987' dir.
Finlandiya	TMA, düşük sıcaklıklarda oluşan deformasyonlara dayanımının yanı sıra çivili lastik nedeniyle oluşan deformasyonlara da dayanıklıdır. Bu nedenle kaplama olarak en iyi yol olduğu kabul edilir.

2.1.2. Taş mastik asfaltın Türkiye' de kullanımı

TMA kaplamalar Türkiye' de 1999' dan beri kullanılmaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü' nün (KGM) 1999 yılında yapmış olduğu deneme kesimleri sonucunda TMA' nın olumlu katkıları olduğu görülmüştür. İlk başlarda maliyetinin fazla olması, temin edilmedeki zorluklar, birim fiyatların tespit edilmesinde meydana gelen sorunlar nedeniyle yaygın olarak kullanılamamıştır. Daha sonra 2003 yılında İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSFALT) bu çalışmalarını sürdürmeye devam etmiştir.

Ülkemizde taş mastik asfaltın ilk deneme kesimleri ise; Bala Ayrımı - Kulu Ayrımı Devlet Yolu (1999), Ankara/Polatlı - Sivrihisar Yolu (1999) kesimleri olmuştur. Daha sonraları yayılmaya başlamış ve kullanım alanı geniş yer kaplamıştır. Pozantı - Tarsus otoyolu, İzmir çevre otoyolu, Haydarpaşa Gebze ekspres yolu, Tarsus - Adana - Gaziantep otoyolu, Antalya - Alanya devlet yolu, Tarsus - Mersin otoyolu, Adana – Tarsus – Mersin devlet yolu, Diyarbakır/Kamışlı Bulvarı TMA kaplamalarına verilebilecek örneklerdir (Altan, 2018; Arslan, 2014).

TMA kullanımında Türkiye, Avrupa ülkeleri sıralamasında 11. sıradadır (Altan, 2018).

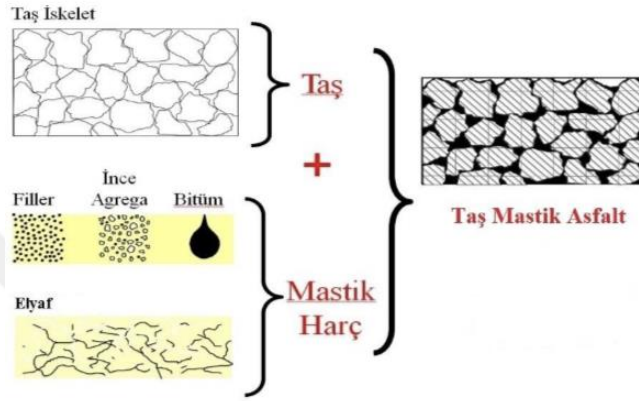
2.1.3. Taş mastik asfaltın genel yapısı

TMA' nın genel yapısına bakacak olursak;

- %70-80 oranlarında kaba agrega
- %20-30 oranlarında ince agrega
- %6-7 oranlarında bitüm
- Selülozik elyaf

bulunduran ve kesikli gradasyona sahip olan karışımlardan meydana gelmektedir Şekil 2.1' de de genel yapısı görülmektedir. TMA' nın kesikli gradasyona sahip olması ise mastik harcın kolay bir biçimde arayı doldurmasına

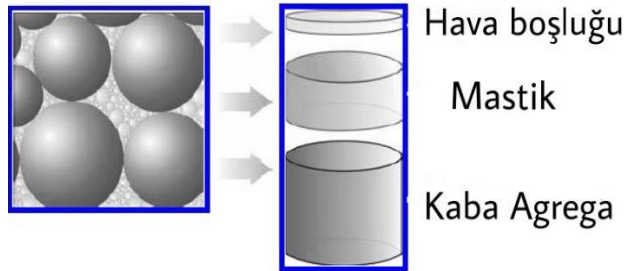
yardımcı olmaktadır. TMA' nın yapısında bulunan kaba agrega oranı fazla olmaktadır. Bu durumda aradaki boşlukların fazla olmasına sebebiyet vermektedir. Meydana gelen boşlukları kapatmak için mastik harç kullanılmaktadır. Mastik harç; bitüm veya modifiye bitüm, filler, ince agrega ile beraber elyaf denilen ve bitümün akmasına karşı koyan malzeme ile doldurulmaktadır. Bu sayede hem aradaki boşluklar kapanır hem de yolun dayanımı artar.



Şekil 2. 1. TMA' nın genel yapısı (Şanlıer, 2018)

2.1.4. Taş mastik asfaltın hacimsel yapısı

TMA' nın hacimsel olarak dağılımı Şekil 2.2' de görülmektedir. Kaba agrega oranının fazla olması karışımda boşluk meydana gelmesine neden olmaktadır. Böylece TMA karışımlarda kullanılan agregalar ile asfalt betonunda kullanılan agregalar karşılaştırıldığında bileşimden kaynaklı olarak TMA' nın daha sağlam olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra içeriğinde bulunan filler miktarı da daha fazla olmaktadır.



Şekil 2. 2. TMA' nın hacimsel yapısı (Blazejowski, 2011)

2.1.5. Taş mastik asfaltta kullanılan malzemeler

TMA' da kullanılan malzemelere bakıldığında, kaba ve ince agregalar ile bitümlü bağlayıcı gibi malzemeler yolun performansı üzerinde oldukça önemli etkilere sahiptir. Her ülkenin kendi iklim ve trafik hacmi gibi etkenlerini göz önüne alarak oluşturduğu şartnameleri mevcuttur. Genel anlamda birçok ülkenin şartnamedeki sınır değerleri hemen hemen aynı olmaktadır. Bu nedenle kullanılan malzemelerin tanımlanması yararlı olacaktır.

Kaba ve ince agregalar

Taş mastik asfalt karışımları oluşturulurken ilk belirlenmesi gereken özellik agregaların gradasyonudur. Bu anlamda 4.75 mm çapa sahip olan No 4 elek en belirleyici eleklerden biridir. İstenilen yüzey dokusu ile trafik durumları göz önüne alınarak en büyük agregaların miktarı belirlenebilmektedir (Altan, 2018; Tayfur, 2001).

TMA karışımlarında ortaya çıkan direnç kaba agregaların oranının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle kaba agregaların dirence olan katkısı göz ardı edilememelidir. No 4 elekten geçen (kaba agregayı belirlemeye yarayan elek) agregaların %27-38, No 8 elekten geçen (ince agregalar için kullanılan elek) agregaların %18-23 ve No 200 elekten geçen (mineral filler için kullanılan elek) kısım için de %8-13 oranları yaygın bir biçimde kullanılan oranlardır. Tayfur (2001), yaptığı çalışmada; 30-20-10 kuralı olarak bilinen kuralın yıllardan beri uygulandığını ve No 4 elekten geçen agregaların miktarının %30, bunun yanında No 8 elekten geçen agregaların miktarının %20 oranında ve No 200 elekten geçen kısmının ise %10 oranında alınması gerektiğinden bahsetmektedir (Arslan, 2014; Tayfur, 2001).

Bunun yanı sıra ülkemizde TMA karışımları için oluşturulan ve Çizelge 2.3' te verilen elek analizi sonucu görülmektedir. TMA TİP-1 için geçen agregaların miktarı 19 mm çapa sahip elekten %100 olması sebebiyle 0/19 tip olarak da adlandırılmaktadır. Aynı şekilde TMA TİP-2 için ise 12,5 mm çapa sahip elekten geçen yüzdenin %100 olması sebebiyle 0/12,5 tip olarak adlandırılmaktadır (Tayfur, 2001).

Çizelge 2. 3. TMA Gradasyon ve Tolerans Sınırları (KGM, 2013)

Elek Boyutu		TMA TİP-1	TMA TİP-2	Tolerans Limitleri
inch	mm	Geçen %	Geçen %	%
3/4"	19,0	100		4
1/2"	12,5	90-100	100	4
3/8"	9,5	50-75	90-100	3
No 4	4.75	25-40	25-45	3
No 10	2,00	20-30	20-30	3
No 40	0,42	12-22	12-22	3
No 80	0.177	9-17	9-17	3
No 200	0,075	8-14	8-14	2

Kullanılan kaba ve ince agrega oranı birçok ülkede benzerlik göstermektedir. Oranlar arasında dikkate değer bir farklılık görülmemektedir. Şartnamelere bakıldığında genel olarak kaba ve ince agreganın kırılmışlık oranının %100 olması istenmiştir. Oran olarak ise ince agregaların düşük olduğu görülmektedir. Bazı ülkelerin TMA kaplamaları için gerekli olan agrega değerleri kıyaslamalı olarak Çizelge 2.4' te görülmektedir.

Çizelge 2. 4. TMA kaplamalarda kullanılan agregaların bazı ülkelerdeki sınır değerleri (Altan, 2018)

Cinsi	Özellikler	KGM	Amerika *FHWA	İngiltere	Çek Cumhuriyeti-Portekiz
Kaba Agrega	KırılmışlıkOranı ,min	100	100	100	100
	Los Angeles Aşınma, maks %	25	30		20
	Na ₂ SO ₄ sağlamlık Deneyi, maks %	8	15		
	Cilalanma Değeri, min %	50	-	55	55
	Su Absorpsiyonu	2,5	2,0		
	Yassılık İndeksi, maks %	25		30	
	%10 İncelik Değeri, min %			180	
İnce Agrega	KırılmışlıkOranı ,min		100	50	
	Na ₂ SO ₄ Sağlamlık, maks %		15		
	Likit Limit, maks %		25		

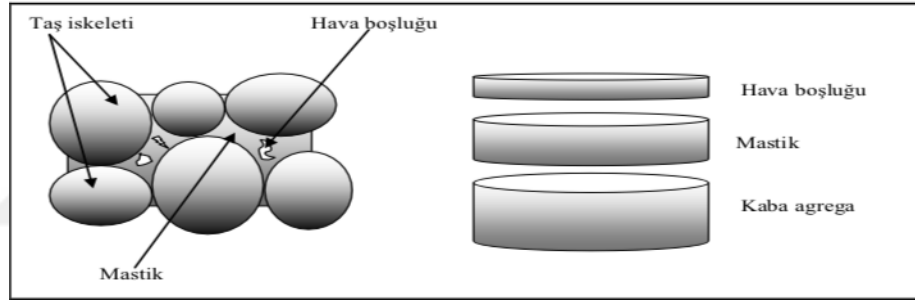
*American Federal Highway Administration (FHWA)

Cilalanma değeri açısından değerlendirilirse hizmet ömrünün yüksek olması taşların cilalanmaya karşı direncinin fazla olmasına bağlıdır. Bu nedenle Çizelge 2.3'

ten de görüldüğü üzere cilalanma değerinin en az %55 olması istenmiştir (Altan, 2018; Tayfur, 2001).

Mastik harç

Mastik harç; bitüm veya modifiye bitüm, filler, ince agrega ile beraber elyaf olarak adlandırılan ve bitümün akmasına karşı koyan bir malzemeden meydana gelmektedir. Şekil 2.3' te TMA kaplaması bileşimine bakıldığında en büyük hacme sahip olan kaba agregadan sonra mastik harç gelmektedir. Yaklaşık değere sahip bir karışıma bakıldığında mastik harçlar, karışımların hacimsel olarak %30-35' ini kaplamaktadır. Ağırlık olarak bakıldığında ise bu oran %20-25 olmaktadır (Arslan, 2014; Blazejowski, 2011).



Şekil 2. 3. Taş Mastik Asfalt Birleşimi (Arslan, 2014)

Bitüm

Bitüm, KGM' nin tanımına göre doğal asfalt şeklinde bulunabilen veya ham petrol rafine edilerek elde edilebilen, hemen hemen veya tam olarak toluende çözünebilen bir malzemedir. Ayrıca ortam sıcaklığında katıya yakın olabilen veya oldukça viskoz olan, görünürde buharlaşmadığı ve yapışkan olup su geçirmediği belirlenen malzemedir (KGM, 2000).

Yolların sağlamlığında ve kullanım sürelerinde hayati öneme sahiptir. Malzemeleri birbirine bağlar ve karışımın yapısal dayanıklılığını artırır. Eğer bitüm uygun değerlere sahip olmazsa yağlayıcı gibi görev yapar ve bu da yollarda tekerlek izi oluşumuna sebep olan durumlardan biridir.

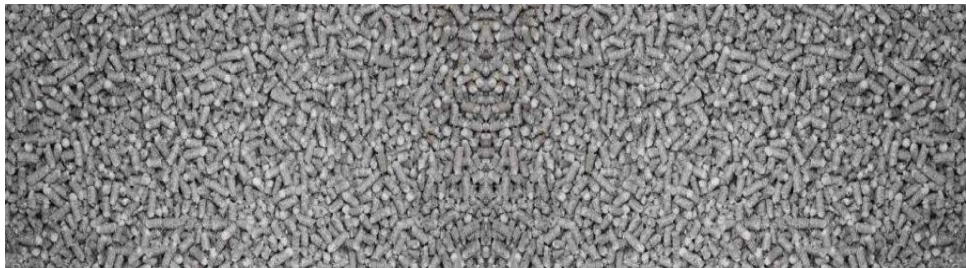
TMA karışımlarında genelde düşük penetrasyon özelliğine sahip olan bitümlü bağlayıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca buna ek olarak modifiye bitümlerde kullanılmaktadır. Bitümün modifiye edilmesinde göl asfaltları, termoplastik polimerler, kaya asfaltları ve bunlara ek olarak kauçuk ve lateks gibi katkı maddeleri dahil edilebilmektedir. Daha öncede bahsettiğimiz gibi bitümün akmasını engellemek amacıyla karışıma elyaf da eklenmektedir.

Elyaf

İlk olarak Almanya' da kullanımına başlanmıştır. Kullanılan elyafın türü asbest elyafı olması ve bunun yanında sağlığa karşı olumsuz tesirler oluşturması bu elyaf tipinin tamamen kaldırılmasına neden olmuştur. Daha sonraları selülozik elyaf adı verilen bir elyaf tipi kullanılmış ve aynı etki ortaya konulmuştur. Zamanla bahsedilen selülozik elyafların oldukça iyi derecede asfaltı taşıdığı anlaşılmıştır.

Taş mastik asfalt karışımlarda kullanılan bitüm oranının %6-7 civarında olması sebebiyle ve sıcaklığın 170 °C-180 °C gibi yüksek bir sıcaklığa çıkmasından kaynaklı olarak agregalar arasında konumlanmış bitüm akmaya başlamaktadır. Bitümün akması sonucunda malzemelerin iç dayanımlarında bir azalma oluşmaktadır. Bu da oluşturulan tabakanın yaşlanmaya karşı direncini azaltmaktadır. Bu nedenle bitümün akma problemine engel olmak amacıyla elyafın kullanımı zorunlu hale gelmiştir.

Elyaf genel olarak granül ya da gevşek halde olan 2 şekle sahiptir. Kuru gevşek olan bu tür elyaflar plastik torbalar halinde paketlenmektedir. Şekil 2.4' te paketli olan elyaflar görülmektedir.



Şekil 2. 4. Selülozik elyaf (İstanbul Teknik, 2020)

TMA karışımlarında kullanılan en yaygın elyaf tipi viatop selülozik elyafır. Bu elyaf özel olan bir yöntem sayesinde bitüm ile kaplanmıştır. Liflerin etrafını bitüm kaplamakta ve elyafların tane olacak hale gelmesine yardım etmektedir. Elyafın bitüm ile kaplı olması neme karşı daha dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Arslan, 2014).

Karayolu Teknik Şartnamesine göre aşınma tabakasına bakıldığında karışıma eklenen elyafın yüzdesi, toplam karışım miktarının % 0.3-1.0' i kadar olmaktadır.

Almanya'da uygulanmış olan projelere bakıldığında yaklaşık olarak % 90' ında, ayrıca İsveç' te ise hemen hemen tamamında elyaf kullanıldığı görülmüştür. Alman idareleri, yeterli olan dayanıma sahip TMA karışımlar için min. Bitüm içeriği olarak % 6-7 gibi bir değerin uygun olduğunu belirtmişlerdir.

KGM tarafından hazırlanan elyaf özellikleri Çizelge 2.5 ve Çizelge 2.6 ' da görülmektedir.

Çizelge 2. 5. Mineral elyaf özellikleri (KGM, 2013)

Elyaf uzunluğu(maksimum)	6 mm
No 40 (0.425 mm) elekten geçen	%95 (min)
No 200 (0.075 mm) elekten geçen	%65 (min)

Çizelge 2. 6. Selülozik elyaf özellikleri (KGM, 2013)

Elyaf uzunluğu(maksimum)	6 mm
No 20 (0.850 mm) elekten geçen	%85±%10
No 40 (0.425 mm) elekten geçen	%65±%10
No 100 (0.149 mm) elekten geçen	%30±%10
Kül Muhtevası	%18±%5
pH	%7.5±%1
Yağ absorpsiyonu	Elyaf ağırlığının 5±1 katı
Nem absorpsiyonu	(ağırlıkça)< %5

Selülozik elyafın avantajları:

- Çatlama direncinde artışı sağlamaktadır.
- Oluşturulmuş asfalt karışımlarında bulunan bitümün süzülmesine engel olmaktadır.

- Yansıma çatlaklarını azaltma etkisine sahiptir.
- Paket olarak üretildikleri takdirde toz oluşturmazlar.
- Toz oranındaki düşüklük sebebiyle daha fazla oranda elyaf içerir.
- Mekanik stabiliteyi arttırıcı etkiye sahiptir.

SBS (Stiren – Butadien – Stiren)

Trafik yükünün artması nedeniyle asfalt kaplamalarda bozulmalar meydana gelmektedir. Bu nedenle bir polimer modifiye edici katkı maddesi olarak SBS yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SBS katkısının hem karışımın hem de bitümlü bağlayıcının davranışlarını iyileştirdiği bilinmektedir. Bu katkının bitümle beraber homojen bir şekilde karışmasını sağlamak amacıyla çok iyi bir şekilde öğütülmesi dolayısıyla değirmenden geçirilmesi gerekmektedir. Bunun yanı sıra karışım sıcaklığının da 180 °C olması istenir. Karayolunun yaptığı uygulamalara göre SBS katkısının miktarı bitüm ağırlığının % 4-5' i civarında olmalıdır.

Mineral filler

TMA ile yoğun gradasyona sahip olan karışımlar kıyaslandığında TMA karışımlarının mineral filler gereksinimi daha fazla olmaktadır. Çünkü taş mastik asfalt karışımları kesikli bir gradasyona sahiptir. TMA karışımlara bakıldığında bağlayıcı içerisinde kalan mineral filler miktarı büyük orandadır. Buna ek olarak mineral fillerin kalan kısmı ise yük taşıyan agrega iskeletinde bulunmaktadır.

Filler olarak kullanılan malzemeler portland çimentosu, yüksek fırın cürufu, taş tozu, uçucu kül ve sönmüş kireç olabilmekte ve Türkiye' de kireç taşı kullanımının yoğunlukta olduğu bilinmektedir. TMA karışımlarının yüksek oranda fillere sahip olması açısından, gereken filler malzemesini, daha avantajlı ve pratik olması için kullanılmakta olan agregalardan temin etmek daha mantıklı olacaktır (Saedi, 2019).

Mermer

Metamorfizma olayı ile dolomitik kalkerin ve kalkerin yeniden kristalleşmesi sonucunda meydana gelmiş olan bileşimdir. Düşük miktarda $MgCO_3$ (magnezyum karbonat) içeren mermer bileşimlerinin %90-98 oranlarında $CaCO_3$ bileşiğinden meydana geldiği bilinmektedir. Ayrıca içerisinde az miktarda demiroksit, silis, feldspat gibi organik maddeler bulunabilmektedir. Genelde grimsi ve beyaz renklere sahiptirler.

Mermer üretimi

Türkiye doğal taş oluşumları açısından zengin bir ülkedir. Bünyesinde oldukça çeşitli ve büyük miktarlarda mermer rezervlerine sahiptir. Buna ek olarak gelişmekte olan sanayi ile birlikte doğal taş üretiminde dünyada da önemli bir üretici olarak yerini almaktadır. Bu önemli rezervler; Afyon, Muğla, Denizli, Balıkesir, Bilecik, Elazığ, Amasya ve Diyarbakır gibi illerde yoğunlaşmaktadır. Türkiye’de 120’ nin üzerinde değişik renklere sahip mermer rezervi bulunmaktadır. Bakıldığında yaklaşık olarak 5000 atölye, 900’ den fazla fabrika ve 500’ ün üzerinde ocak faaliyet göstermektedir.

Ülkemizde mermer rezervi olarak önemli potansiyellere sahip bölgeler Şekil 2.5’ ten de görüldüğü üzere Batı Anadolu, Marmara, Güney Anadolu ile Kuzey ve Orta Anadolu Bölgeleridir. Özellikle Afyon, Uşak, İzmir, Muğla, Balıkesir, Kırklareli, Bursa, Çankırı, Niğde, Kırşehir, Kayseri, Konya, Eskişehir, Elazığ, Kütahya, Diyarbakır, Bilecik illeri zengin yataklara sahip olan illerdir ve Şekil 2.6’ da görülmektedir (Çetin, 2003).

dökülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda Afyon' da bulunan şletmelerde mermer plakalarının ve bloklarının parlatılması ve kesilmesiyle yılda en az 125 000 ton/yıl ile 150 000 ton/yıl mermer tozu açığa çıktığı görülmüştür. Açığa çıkan bu mermer tozlarının büyük bir kısmı çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Bu nedenle bu atıkların alternatif olarak kullanım alanları bulunmalı ve değerlendirilmelidir.

Kireçtaşı (Kalker)

Kireç elde etmek için kullanılan ve kalsiyum karbonat tuzundan meydana gelen tortul bir kayadır. Yapısında en az %90 oranında CaCO₃ (kalsiyum karbonat) bulundurmaktadır. Kireç taşının diğer adı ise kalkerdir. Çoęunlukla krem ya da beyaz renklere olmaktadır. Bunun yanında süngerimsi bir yapıya sahiptir.

Bazalt

Koyu gri, siyah ve yeşilimsi siyah renklere ve sert bir yapıya sahip olan malzemelerdir. Basınç dayanımları oldukça yüksektir. Bu nedenle temelerde, yollarda, köprülerde ve rıhtım gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

2.2. Taş Mastik Asfaltın Uygulanması

Taş mastik asfaltın üretimi

TMA karışımlar bitümlü sıcak karışımlar gibi plantlerde yapılmakta ve finişerler yardımıyla sıkıştırılabilmektedir. TMA karışımlarının üretilmesinde iki tür tesis kullanılabilir. Bu tesisler; drum-mix plant (kazan tipi karışım) ve batch planttir (harman tipi karışım). Elyaf ve diğer katkı malzemeleri ile filler ilavesinden dolayı hassas tartı yapabilen batch (harman tipi) plantlerin kullanımı yaygındır. Avrupa' da genelde batch plantler kullanılmaktadır. Batch plantlerle TMA yapımı, beton asfalt yapımıyla benzerlik göstermektedir.

- İlk olarak elyaf veya diğer katkı maddeleri ile bitümlü bağlayıcılarla oluşturulan TMA karışımı en az 165 °C, en fazla ise 180 °C sıcaklıklara ulaşıncaya kadar karıştırılır. Karışımın sıcaklığına mümkün olduğunca dikkat edilmelidir.
- Filler malzemesi ve elyaf katkısı plentler sayesinde otomatik bir şekilde istenilen ağırlıkta beslenir. Ayrıca elyafın karışımda üniform bir şekilde yayılması önem arz etmektedir. Bu nedenle dikkat edilmesi gereken bir husustur.
- Gerekli olması halinde sıcaklık karışımı belirli depolama silolarında depolanabilmektedir.
- Artık karışım bir serici yardımıyla serilir. Serimin hemen ardından finişer ile sıkıştırılır.
- Silindir izleri yok olana kadar silindirleme işlemine devam edilir.
- Eğer modifiye bitüm kullanılırsa, sıkıştırma ve karıştırma sıcaklıkları verilen öneriler ile ayarlanacaktır.

Taş mastik asfalt serme işlemi

- Bitümlü karışımlarda uygulanan serme işleminin aynısı taş mastik asfalt karışımlarda da uygulanmaktadır.
- TMA karışımlarda bulunan agregaların boyutuna bağlı olacak şekilde bir kalınlık belirlenir ki bu kalınlıkta yaklaşık olarak 2 - 7 cm değerinde olmaktadır.
- Çizelge 2.7' de Almanya' da uygulanan serme kalınlıkları kaplama tipine göre karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 2. 7. Almanya' da kullanılan TMA kaplamalar için tabaka kalınlıkları (Tayfur, 2001)

Kaplama Tipi	Kalınlık (cm)
Asfalt Betonu 0/8	3.0-4.0
Taş Mastik Asfalt 0/8	2.0-4.0
Asfalt Betonu 0/11	4.0-5.0
Taş Mastik Asfalt 0/11	3.0-6.0

Taş mastik asfalt sıkıştırma işlemi

- Sıkıştırma işleminde bitümlü karışımların yüzeye yapışması sonucu oluşan toplanmaları önlemek amacıyla lastik tekerli silindirler yerine demir bandajlı silindirlerin kullanımı tercih edilmektedir.
- KGM şartnamesine bakıldığı zaman sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmeden önce karışımın sericiye verildiği sırada sıcaklığının minimum 145 °C olması gerekmektedir.
- Silindirleme işleminin ardından kaplama sıcaklığının en az 115 °C olması gerekmektedir.
- TMA karışımlarda sıkıştırma işleminden önce ve sıkıştırma işleminden sonra kalınlıklar arasındaki fark diğer asfalt karışımlarına nazaran çok fazla olmamaktadır. Çünkü TMA karışımlarının yüksek yoğunluğa sahip bir yapısı vardır.

2.3. Taş Mastik Asfaltın Kullanım Amaçları

TMA karışımlarda bulunan kaba agregaya iç kenetlenme ve yüksek dane teması sayesinde trafik yüklerini taşır. Yüksek bitüm oranına sahip olan mastik harç ise dayanımı arttırmaktadır. Karışımda kullanılan ve bağlayıcının drenajını engellemek amacıyla kullanılan stabilizör (mineral ya da selülozik elyaf), karışımın homojenliğini sağlar ve segregasyonu önler. Karışımda bulunan asfalt içeriğinin geleneksel asfaltda bulunandan daha fazla olması sebebiyle daha kalın film tabakası meydana gelir ve böylece dayanım artar. Özellikle kırılmışlık oranı yüksek olan agregaların kullanımı içsel sürtünme direncini arttırmakta ve böylece tekerlek izi oluşumlarına karşı çok daha dirençli olmaktadır. Öte yandan aşınma tabakası olarak inşa edilen TMA kaplamaların tabaka kalınlıkları, geleneksel asfalt kaplamaların kalınlığından daha ince olduğu için imal edilme süreci daha kısa olmaktadır. Ayrıca TMA kaplamalar içerisinde barındırdığı üstün özellikli malzemeler sayesinde daha az bakım gerektirmektedir. Bunun yanı sıra TMA kaplamalarda stabilizör kullanılması maliyetin daha fazla olmasına neden olmaktadır. Genel anlamda TMA, aşınmaya ve deformasyonlara karşı direncinin daha fazla

olması, geçirimsiz ve homojen olması dolayısıyla kalitesi yüksek olan aşınma tabakası oluşturmaktadır (Arslan, 2014; Orhan, 2012).

Temel tabakası ile binder tabakasının kalıcı deformasyonlara karşı yüksek dirence sahip olması şartı yoktur. Ancak ABD ve Almanya gibi ülkelerde ‘splittmatrix binder’ adını verdikleri binder tabakaları inşa etmeye çalışmışlardır. Ancak maliyetinin fazla olması ve binder tabakasının böyle bir zorunluluğu gerektirmemesi bazı tereddütlere neden olmuştur. TMA’ nın asıl avantajları, çatlak oluşumuna karşı dirençli olması, kalıcı deformasyon, tekerlek izi oluşumları ve dayanıma karşı yüksek performansla sahip olmasıdır (Blazejowski, 2011).

2.4. Taş Mastik Asfaltın Uygulama Alanları

Çivili lastiklerin kullanıldığı yerler

TMA kaplamalar, özellikle çivili lastiklerin yasal olduğu ülkelerde uygulanabilmektedir. Bu karışımlarda agregaların nominal boyutunun 12 mm’ den 16 mm’ ye çıkarılması diğer asfaltlara oranla çivili lastiklerden kaynaklanan aşınmanın %40 daha düşük olduğu İsveç’ te yapılan çalışmalarda ortaya konulmuştur (NAPA, 1999).

Köprü döşemeleri

Toprak zeminlerde oluşturulan kaplamalar ile köprülerde oluşturulan kaplamalar birbirinden farklıdır. Bunun nedeni ise köprülerde oluşturulan kaplamaların ısınmaya ve soğumaya karşı hassas olmasıdır. Kışın meydana gelen buzlanma etkileri köprü kaplamalarında daha hızlı ve yoğun bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu nedenle bağlayıcı oranı yüksek olan, yorulmaya karşı yüksek dirence sahip mastik asfaltlar köprü kaplamalarında kullanılmaya uygundur.

Havaalanı kaplamaları

TMA karışımlarının üstün nitelikleri havaalanı kaplamalarında kullanılması fikrini akla düşürmüştür. Bu sayede giderek yaygınlaşan bir şekilde havaalanı kaplamalarında kullanılmaya başlanmıştır. Güney Afrika’ da Johannesburg, Frankfurt’ ta Frafort ve Oslo’ da Gardermoen verilebilecek örneklerdir. Ayrıca Frankfurt’ ta bulunan Frafort Havaalanı dünyanın en büyük havalimanlarından biri olma niteliği taşımaktadır. Daha önceden var olan beton kaplama sökülmüş, TMA kaplamalar ile yenilenecek hizmet vermeye devam etmiştir (Blazejowski, 2011; Erkuş, 2017).

Aşınma tabakası

Aşınmaya ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olması ayrıca dayanımının gözle görülür derece daha iyi olması sebebiyle özellikle aşınma tabakalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşın taşa temasının sağlanmasıyla sürtünme direnci arttığı bu kaplamalarda, tekerlek izi sonucunda oluşan deformasyonlara karşı direnç daha fazla olmaktadır (NAPA, 1999; Temren, 2009).

Almanya’ da ve ABD’ de uygulanmış olan 85 TMA projesinin sağladığı deneyimler göz önüne alındığında TMA’ nın aşınma tabakasında kullanımı çok daha iyi sonuçlar vermektedir (Arslan, 2014; Blazejowski, 2011; NAPA, 1999).

2.5. Taş Mastik Asfalt Kaplama Maliyeti

Yapılan çalışmalar sonucunda TMA kaplama maliyetinin geleneksel asfalt kaplamalara oranla %20-40 daha fazla olduğu ABD ve Avustralya’ da uygulanan yol çalışmalarında tespit edilmiştir. Maliyetin bu kadar fazla olmasının sebebi ise TMA’ nın içerisinde barındırdığı; yüksek bitüm içeriği, iyi özelliklere sahip agregalar ve selülozik fiber gibi malzemelerden kaynaklanmaktadır. Meydana gelen maliyet artışı, yol bakım periyodu açısından ve hizmet ömrü göz önüne alındığında başta maliyetli gibi görünen TMA karışımlar geçen zaman göz önüne alındığında ekonomik hale

gelmektedir. Örneğin taş mastik asfaltın yol bakım periyodu 15 yıl olmasına karşın bu süre geleneksel asfaltlarda 10 yıla düşmektedir. TMA' nın hizmet ömründe meydana getirdiği bu artış aslında uzun vadede çok uygun olduğunu göstermektedir (Chambell, 1999; NAPA, 1999).

Yoğun gradasyona sahip sıcak karışım asfaltlar ile var olan beton kaplamanın üzerine takviye işlemiyle uygulanan TMA karışımların karşılaştırmasını yapan Georgia Ulaştırma İdaresi, yaptıkları analiz sonucunda, bakım ve oranım aralıklarını sırasıyla 7.5 ve 10 yıl olarak almışlardır. Ayrıca TMA karışımlardan beklenen ömrün geleneksel asfalt karışımların ömründen %30-40 daha fazla olduğunu Avrupa' da elde edilen deneyimlerle kabul ederek karşılaştırmalar yapmışlardır. Bu amaç itibariyle oluşturdukları maliyet analizi yıllık olarak Çizelge 2.8' de gösterilmiştir (NAPA, 1999).

Çizelge 2. 8. Kaplama tipine göre maliyet analizi (NAPA, 1999)

Kaplama Tipi	Bakım-Onarım Aralıkları	Yıllık maliyet \$
Yoğun Gradasyonlu Sıcak Karışım Asfalt	7.5	79532
Taş Mastik Asfalt	10	50095

Yapılan çalışmadan da anlaşılacağı üzere başlangıç maliyeti fazla olmasına rağmen TMA kaplamalar uzun hizmet ömrüne sahip olması ve daha az periyotlarda bakım gerektirmesi açısından diğer asfalt karışımlara oranla uzun vadede ekonomik olabilmektedir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan çalışmada agrega olarak bazalt, fiber türü olarak selülozik elyaf, 50/70 penetrasyonlu bitüm ve mineral filler olarak kalker, mermer ve bazalt olmak üzere 3 farklı agrega kullanılmıştır. Materyal bölümünde malzemelerin tanımları ile temin edilen yerler verilmiştir. Yöntem kısmında ise deneylerin yapılışı hakkında gerekli olan bilgiler verilmiştir.

3.1. Materyal**3.1.1. Agrega**

Agregalar bitümlü sıcak karışımlarda büyük bir oranda kullanılan malzemelerdir. Kullanılacak olan agregaların elbette verilen şartnamelere uygun standartlarda ve dane dağılımında olması gerekmektedir. Yollarda kullanılan agregalar taşıyıcı görev üstlenmesinden ve bu sayede gelen gerilmeleri karşılamasından dolayı yol yapımında oldukça büyük öneme sahiptir. Üstyapılar için kullanılan agregalar, dere yatakları, taş ocakları ve göllerden üretilen farklı boyutlara sahip malzemelerdir (Arslan, 2014).

Agreganın tipi, gradasyonu, yassılık durumu, yüzey pürüzlülüğü gibi özelliklerine bakıldığında agreganın, bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi ve yorulma gibi performanslara olan etkisinin oldukça büyük olduğu görülmektedir. Bir tabaka yapıldığı zaman uygulanmış olan yapım metodu, malzemelerin cinsi ve yapıldıktan sonra üzerine gelen dış yükler kaplamaların performansını önemli ölçüde etkileyen faktörlerdir. Bununla beraber kaplamanın direncinin iyi bir niteliğe sahip olması için en önemli faktörün agrega olduğu açıktır. Bu bilgiler göz önüne alındığında agregaların bünyelerinde zararlı madde bulundurmamaları, yüzey şekillerinin birbirlerini kenetlenmesiyle direnci arttırması, dayanıklı ve sert olmaları istenmektedir.

Kireçtaşı (Kalker)

Bu çalışmada mineral filler olarak kullanılan kalker Şekil 3.1’ de görülen ve haritada işaretlenmiş olan kalker ocağından temin edilmiştir. Şekil 3.2’ de ise kalker agregası görülmektedir.



Şekil 3. 1. Kalker ocağı



Şekil 3. 2. Kalker

Mermer

Çalışmada kullanılan mermer (Şekil 3.3) Diyarbakır Mermer’ den (DİMER) temin edilmiştir.



Şekil 3. 3. Mermer tozu

Bazalt

Çalışmada kullanılan bazalt agregası Şekil 3.4' te görülen ve haritada işaretlenmiş olan bazalt ocağından temin edilmiştir. Şekil 3.5' de ise bazalt agregaları görülmektedir.



Şekil 3. 4. Bazalt ocağı



Şekil 3. 5. Bazalt

3.1.2.Bitüm

Çalışmada kullanılan bitüm Batman rafinerisinde üretilmiş olan B-50/70 penetrasyona sahip bitümdür. Bitümün görüntüsü Şekil 3.6' da görülmektedir.



Şekil 3. 6. Bitüm (ÇM, 2020)

3.1.3. Selülozik elyaf

Çalışmada kullanılan elyaf Şekil 3.7’ de verilmiş ve Teknomet Mühendislik’ ten temin edilmiştir. Elyafın özellikleri Çizelge 3.1’ de görülmektedir.



Şekil 3. 7. Selülozik elyaf

Çizelge 3. 1. Elyaf özellikleri

Elyaf uzunluğu(maksimum)	6 mm
No 20 (0.850 mm) elekten geçen	% 85±% 10
No 40 (0.425 mm) elekten geçen	% 65±% 10
No 100 (0.149 mm) elekten geçen	% 30±% 10
Kül Muhtevası	% 18±% 5
pH	% 7.5±% 1
Yağ absorpsiyonu	Elyaf ağırlığının 5±1 katı
Nem absorpsiyonu	(ağırlıkça) < %5

3.1.4. SBS (Stiren-Butadien-Stiren)

Bitümü modifiye etmek amacıyla SBS katkı malzemesi kullanılmaktadır. Bitüm, düşük veya yüksek olan sıcaklıklarda iyi derecede performans sağlamaktadır ancak geniş bir aralığa sahip değildir. Bitümün özelliklerini iyileştirebilmenin yollarından biri de uygun polimer kullanmaktır. Kısacası kullanılan polimeri bitümle harmanlayınca; daha yüksek yumuşama noktası, daha iyi hale getirilmiş olan yaşlanma ve daha yüksek elastikiyet gibi performansı artırıcı nitelikler ortaya çıkmaktadır.

3.1.4. Kullanılan malzeme içerikleri

Malzemeleri tanımlamak amacıyla civalı porozimetre, XRD ve XRF deneyleri yapılarak malzeme içerikleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Civalı porozimetre deneyi

Çizelge 3.2. Civalı porozimetre deney sonuçları

Malzeme	Ortalama Gözenek Çapı (μm)	Görünür Yoğunluk (g/cm^3)	Porozite (%)
Mermer	1.95	2.5131	3.24
Kalker	0.29	2.6740	6.22
Bazalt	0.28	2.9090	5.38

Yapılan deney sonucunda elde edilen bulgular özet olarak Çizelge 3.2' de verilmiştir.

Mermerin civalı porozimetre yöntemi ile gözenek boyut dağılımı incelenmiş olup deneyde 0.53 psi değerinde civa basıncı uygulanmış ve ortalama gözenek çapı 1.95 μm olarak bulunmuştur. Bazalt ve kalker numunelere oranla gözenek çapının fazla olduğu görülmüştür. Siegesmund ve Dürrast (2011), yaptıkları çalışma sonucunda çapların 0.1 μm ile 1 mm arasında olması sonucunda pratik anlamda bu malzemelerin kılcal su emme özelliğine sahip olduğunu dile getirmişlerdir. Bu durum göz önüne alındığında çaplarda meydana gelen azalmalarla kılcal su emme kapasitelerinde artışlar meydana gelebilmektedir. Çapların daha büyük olması ise su

emiliminin ardından, suyun doğal taş içerisinde hareket etmesine neden olmaktadır. Bu da istenmeyen bir durumdur.

Kalkerin civalı porozimetre yöntemi ile gözenek boyut dağılımı incelenmiş olup deneyde 0.52 psi değerinde civa basıncı uygulanmış ve ortalama gözenek çapı 0.29 μm olarak bulunmuştur.

Bazaltın civalı porozimetre yöntemi ile gözenek boyut dağılımı incelenmiş olup deneyde 0.52 psi değerinde civa basıncı uygulanmış ve ortalama gözenek çapı 0.28 μm olarak bulunmuştur.

Porozite değerlerine bakıldığında kalker ve bazaltın birbirine yakın sonuçlar verdiği ancak mermerin sahip olduğu değer diğerlerine oranla daha düşük olduğu gözlenmiştir.

XRF deneyi

Bazalt, mermer ve kalkerin kimyasal bileşimini belirlemek amacıyla kimyasal analiz yapılmıştır. Her bir numunenin ana element oksit bileşikleri Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5' te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Bazaltın kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşen	%
Ig	0.1509
Na ₂ O	4.1914
MgO	4.1871
Al ₂ O ₃	17.4674
SiO ₂	45.3612
P ₂ O ₅	0.5554
SO ₃	0.0530
K ₂ O	1.9219
CaO	10.7433
TiO ₂	2.6568
Cr ₂ O ₃	0.0778
MnO	0.1813
Fe ₂ O ₃	12.3072

*Çizelge 3.3' ün devamı

Kimyasal Bileşen	%
NiO	0.0310
SrO	0.0893
ZrO ₂	0.0251

Bazaltın en büyük bileşeni SiO₂ (%45.3612) dir. Bu değeri %17.4674 ile Al₂O₃ izlemektedir. Fe₂O₃ ile CaO bileşikleri sırasıyla %12.3072 ve %10.7433 olarak belirlenmiştir. Bazaltın bileşiminde Si, Al, Na, Mg, Fe, Ti ve Ca gibi büyük oksitler vardır.

Çizelge 3.4. Mermerin kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşen	%
Ig	45.6285
Na ₂ O	0.0492
MgO	10.6531
Al ₂ O ₃	0.0288
SiO ₂	0.1203
P ₂ O ₅	0.0064
SO ₃	0.1325
Cl	0.0136
K ₂ O	0.0026
CaO	43.2812
Cr ₂ O ₃	0.0131
Fe ₂ O ₃	0.0343
SrO	0.0364

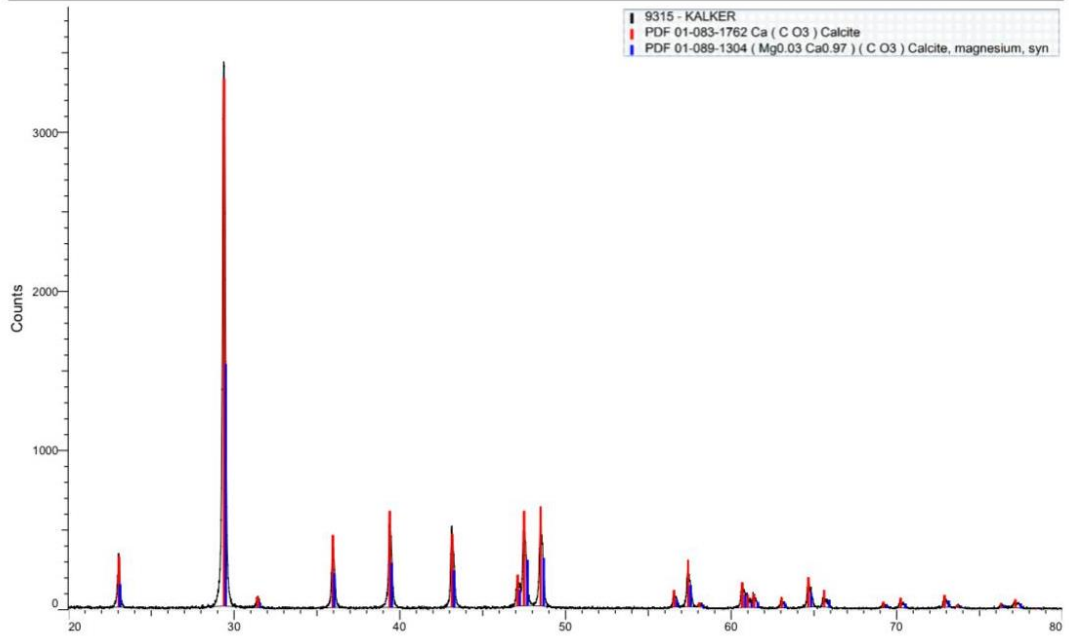
Mermerin en büyük bileşeni CaO %43.2812' dir. Bu değeri MgO bileşiği % 10.6531 ile izlemektedir.

Kalkerin ise en büyük bileşeni Çizelge 3.5' te görüldüğü üzere CaO (%55.4272) dir.

Çizelge 3.5. Kalkerin kimyasal bileşimi

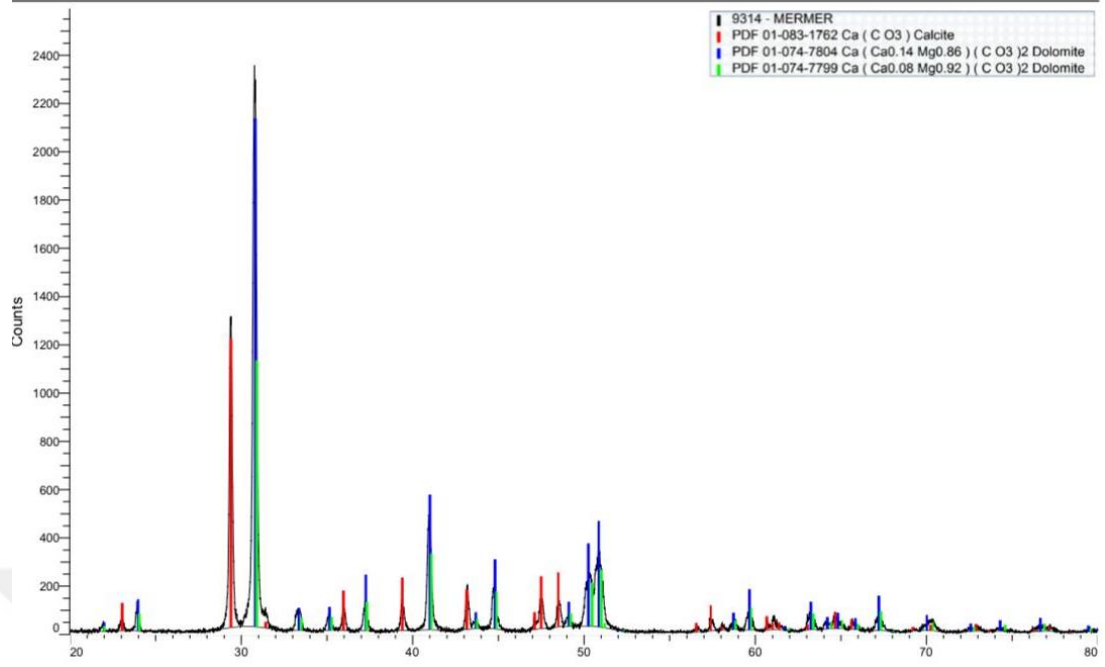
Kimyasal Bileşen	%
Ig	43.4559
MgO	0.1547
Al ₂ O ₃	0.2400
SiO ₂	0.4471
P ₂ O ₅	0.0482
SO ₃	0.0134
K ₂ O	0.0134
CaO	55.4272
Fe ₂ O ₃	0.1726
SrO	0.0276

XRD deneyi



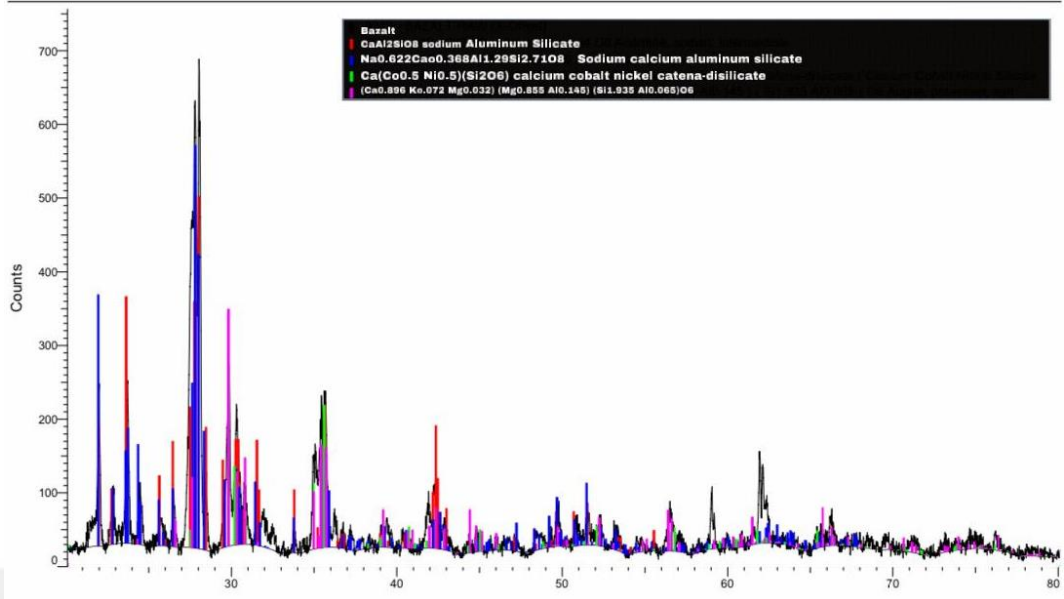
Şekil 3. 8. Kalker fillerinin XRD sonuçları

Şekil 3.8’ de kalker fillerinin XRD sonuçları görülmektedir. Şekil incelendiğinde pik noktalarda kalsiyum karbonat (kalsit- CaCO_3) ve kalsiyum magnezyumlu karbonat bileşimi $(\text{Mg}0.03 \text{Ca}0.97)(\text{CO}_3)$ gözlenmiştir. Zaten numune kalker olduğundan karbonatlı kayalarda ana mineral olarak bulunan kalsit görülmüştür. Ancak CO_3 ’ ün varlığı uzun vadede karışımlarda dayanım kayıplarına sebep olabilmektedir.



Şekil 3. 9. Mermer fillerinin XRD sonuçları

Şekil 3.9’ da mermer fillerinin XRD sonuçları görülmektedir. Kalkerle aynı yapıda olması sebebiyle yine pik noktada kalsiyum karbonat (kalsit- CaCO_3) ve kalsiyum magnezyumlu karbonat bileşimi (dolomit)- $(\text{Mg}0.14 \text{ Ca}0.86)(\text{CO}_3)/(\text{Mg}0.08 \text{ Ca}0.92)(\text{CO}_3)$ gözlenmiştir. Dolomit genelde hafif olan asidik sularda çözünme özelliğine sahiptir. Bu nedenle asit içerikli yağmur durumu göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi halde kayaçların erimesine neden olan bir etkileşim ortaya çıkabilmektedir.



Şekil 3. 10. Bazalt fillerinin XRD sonuçları

Şekil 3.10' da bazalt fillerinin XRD sonuçları görülmektedir. Pikler incelendiğinde Anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) gözlenmiştir. Diğer piklerde ise Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve Calcium Cobalt Nickel Silicate ($\text{Ca}(\text{Co}_{0.5}\text{Ni}_{0.5})(\text{Si}_2\text{O}_6)$) ve Augite ($\text{Ca}_{0.896}\text{K}_{0.072}\text{Mg}_{0.032}$) ($\text{Mg}_{0.855}\text{Al}_{0.145}$) ($\text{Si}_{1.935}\text{Al}_{0.065}$) O_6 gözlenmiştir. İçeriğinde Al, Si, Si-O bulduran ve bu etkileşim sonucu dayanımı arttıran etkilere sahip olduğunu söylemek mümkündür. Na ve K elementlerinin bulunması ise zamanla su etkisiyle beraber Cl elementinin ortamda bulunması taşın zamanla çözünmesine neden olabilmektedir.

3.2. Yöntem

Çalışma aşamalı olarak agrega deneyleri, bitüm deneyleri ve bitümlü karışım deneyleri olmak üzere uygulanmıştır.

3.2.1. Agrega deneyleri

Agregalara çeşitli deneyler yapılarak gerekli özelliklerin bulunması sağlanmıştır.

Agregalara uygulanan deneyler;

- Elek Analizi
- Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi
- Los Angeles Aşınma Deneyi
- Yassılık İndeksi Deneyi
- Soyulma Mukavemeti Deneyi
- Metilen Mavisini Deneyi

Elek analizi deneyi (TS EN 933-1)

Prensip olarak, TS EN 933-1 standardına uygun biçimde, malzemenin yıkama ve kuru eleme işlemleri sonucunda azalan büyüklüklere sahip olan dane boyutlarında, bölünmesi ve ayrılmasıyla meydana gelir (Akgül Şeker, 2020; Arslan, 2014; Aslan, 2019).

Agrega numuneleri içerisindeki tane dağılımına granülometri, bu dağılımı göstermek amacıyla oluşturulan eğriye ise granülometri eğrisi denilmektedir (Altan, 2018).

Elek analizi deneyini yapabilmek için öncelikle;

- Agregası numunesi bölgeç ya da çeyrekleme yöntemiyle maksimum dane boyutlarına göre belirli miktarlarda alınır. Alınan numune 110 °C etüve alınarak kurutulur. Numune soğuduktan sonra tartılarak kütlesi kaydedilir.
- Bu işlemde sonra No 200 elek yardımı sonucunda ince agregaların ayrılması sağlanarak yıkama işlemi gerçekleştirilir. Elekten geçen su berraklaştığı zaman yıkama işlemi tamamlanır. Deneyde kullanılan elek takımı Şekil 3.11’ de görülmektedir.
- Bu agregası numunesi 110 °C etüve konulur ve ardından soğuması için beklenir. Soğuduktan sonra tartım işlemi gerçekleştirilir ve değer kaydedilir.

- Tartım işleminden sonra agregalar elek takımına dökülerek eleme işlemi sağlanır (Şekil 3.12). Eğer malzeme miktarı 20 kg ağırlığından fazla ise mekanik olan elek sarsıcılar kullanılması önerilmektedir.
- Eleme işleminden sonra her elek üzerinde kalan miktarlar tartılır ve elek analizi tablosuna geçirilerek kümülatif ağırlıklar belirlenir.
- Elekler üzerinde kalan miktar yüzde cinsinden hesaplanarak ve daha sonrasında geçen yüzde de hesaplanarak tabloya aktarılır.
- Daha sonrasında granülometri eğrisi çizilerek şartname sınırları içerisinde grafik tamamlanır.



Şekil 3.11. Elek takımı



Şekil 3.12. Elek analizi

Özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS EN 1097-6)

TS EN 1097-6 standardına göre prensip olarak dane yoğunluğu kütlelerin hacme oranına göre hesaplanmaktadır.

Kaba agregalar için özgül ağırlık ve su emme deneyi

Bu deney 4.75 mm elek üzerinde kalan iri agregaların sahip olduğu özgül ağırlık ve su emme oranlarının tayin edilmesi amacıyla yapılmaktadır.

- Bu kapsamda 2000 g ağırlığında agrega numunesi alınır ve yıkanır. Bu numuneler 24 saat boyunca suda bekletilir. Daha sonra numuneler sudan çıkarılarak havlu ile kurutulur ve sonucunda suya doygun -yüzey kuru halde numuneler elde edilir. Numuneler bu haliyle tartılır ve çıkan sonuç (B) not edilir.
- Daha sonra bu numuneler su dolu kovaya daldırılır ve numuneler üzerinden 5 cm kadar su geçecek şekilde Arşimet terazisi (Şekil 3.13) yardımıyla ağırlık hesaplanır (C).
- Bir sonraki aşamada ise numuneler sudan çıkarılarak 110°C etüve konular ve kurutulur. Numuneler oda sıcaklığında değişmez ağırlığa ulaştığında kuru agrega ağırlığı hesaplanır (A).
- Elde edilen bu değerler sonucunda denklem (3.1) yardımıyla kaba agregaların hacim özgül ağırlığı, denklem (3.2) yardımıyla zahiri özgül ağırlık ve denklem (3.3) yardımıyla su emme oranları hesaplanır.

$$\text{Kaba agrega hacim özgül ağırlığı (g/cm}^3\text{)} = \frac{A}{B-C} \quad (3.1)$$

$$\text{Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{A}{A-B} \quad (3.2)$$

$$\text{Kaba agrega su emme oranı (\%)} = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.3)$$



Şekil 3. 13. Arşimet terazisi

İnce agregalar için özgül ağırlık ve su emme deneyi

Bu deney 4.75 mm elek altında ve 0.075 mm elek üstünde kalan agregaların özgül ağırlıklarını ve su emme oranlarını tayin etmek amacıyla yapılmaktadır. İnce agregaların tartımı Arşimet terazisi ile yapılamayacağından piknometre kullanılmalıdır. Deneyde;

- Öncelikle karışım gradasyonunu temsil edecek şekilde agregalar tartılır ve 1000 g numune hazırlanır.
- 24 saat boyunca numuneler tepside su içerisinde bekletilir. Daha sonra herhangi bir kayba neden olmayacak şekilde suyu süzülür.
- Ardından sıcak hava akımı ile numuneler doygun - yüzey kuru hale getirilir. Şekil 3.14' te görüldüğü gibi huni ile kontrolü sağlanır.
- Piknometrenin boş olan ağırlığı tartılır (A) ve agrega numunesinden 500 g alınarak piknometreye yerleştirilir. Piknometre ve yüzey kuru suya doygun numunenin tartımı yapılır (C).
- Daha sonra oluşturulan numune üzerine su ilave edilir ve boşluk kalmayacak şekilde el ile piknometre yatay biçimde ileri geri hareket ettirilir. Piknometre 25 °C su banyosuna konulur. Piknometre içerisinde bulunan malzeme 25 °C' ye ulaştığı zaman su banyosundan çıkarılır ve kurularak tartım işlemi gerçekleştirilir (D).

- Ardından numuneler buldukları piknometreden çıkarılarak 110 °C etüve konular ve kurutulur. Değişmez ağırlığa ulaştığında (oda sıcaklığında) kuru agrega ağırlığı bulunur (E).
- Elde edilen bu değerler sonucunda denklem (3.4) yardımıyla ince agregaların hacim özgül ağırlığı, denklem (3.5) yardımıyla zahiri özgül ağırlık ve (3.6) yardımıyla su emme oranları hesaplanır.

$$\text{İnce agreganın hacim özgül ağırlığı} = \frac{E}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.4)$$

$$\text{İnce agreganın zahiri özgül ağırlık} = \frac{E}{B+E-D} \quad (3.5)$$

$$\text{İnce agreganın su emme oranı (\%)} = \frac{C-A-E}{E} \times 100 \quad (3.6)$$

A= Piknometre ağırlığı (g)

B= Piknometre + Suyun ağırlığı (g)

C= Piknometre + Yüzey kuru ve suya doygun olan numune ağırlığı (g)

D= Piknometre + Yüzey kuru ve suya doygun olan numune+Suyun ağırlığı (g)

E= Kuru numunenin ağırlığı (g)



Şekil 3. 14. Abraham Hunisi

Filler agregata özgül ağırlık

Bu deney 0.075 mm elekten geçen filler malzemesinin özgül ağırlığını tayin etmek için yapılır. Deneyde;

- Piknometre boş olacak şekilde tartılır (A).
- Piknometrenin içerisine su eklenir ve 25° C sıcaklıkta 1 saat su banyosunda bekletilir ve sonrasında ağırlığı tartılır (B).
- 100 gram numune agregata tane dağılımının temsil edecek biçimde alınır. 110 °C etüve konulur ve kurutulur. Etüvden çıkarılır ve soğumaya bırakılır (oda sıcaklığında). Değişmez ağırlığa ulaşan numune temiz bir piknometreye (Şekil 3.15) boşaltılır ve kapağı kapatılarak tartılır (C).
- Ardından oda sıcaklığında içerisinde numune bulunan piknometreye su doldurulur. Hava kabarcığı yok olana kadar vakum işlemi gerçekleştirilir. Ardından ağırlık tartılır (D).
- Elde edilen bu değerler sonucunda denklem (3.7) yardımıyla mineral fillerin zahiri özgül ağırlığı hesaplanır.

$$\text{Mineral Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.7)$$



Şekil 3. 15. Piknometre

Los angeles aşınma deneyi (TS EN 1097-2)

Bu deney iri agregaların parçalanma direncini tayin etmek amacıyla uygulanmaktadır. Deney sonucunda aşındırma ve darbelenme etkisiyle agrega danelerinde meydana gelen aşınma elde edilmektedir. Bu deney, 10 mm deney eleğinde kalan ve 14 mm deney eleğinden geçen agregalara uygulanmaktadır. Kullanılan Los Angeles deney cihazı Şekil 3.16.a' da görülmektedir. Cihaz silindir şekline sahip boş bir tamburdan meydana gelmektedir. Agregalar konulmadan önce tamburun temiz olmasına özen gösterilmelidir. Deneye başlamak için;

- Öncelikle 11 adet çelik bilye (Şekil 3.16.b) dikkatli bir şekilde tambura konulur ve sonrasında 5000 g ağırlığında deney numunesi eklenir.
- Kapak kapatılır ve 30-33 devir/dk arasında sabit bir hızla 500 devir döndürülür.
- Deney sonucu aşınmış olan numune alınarak 1.6 mm elek yardımıyla elenir. Elek üzerinde kalan miktar tartılır ve standarda göre Los Angeles katsayısı, denklem (3.8) kullanılarak hesaplanır;

$$\text{Los Angeles Katsayısı (\%)} = \frac{5000-m}{50} \quad (3.8)$$

Burada m değeri 1,6 mm' lik elek üzerinde kalan fraksiyondur (g). Elde edilen sonuç ise en yakın tam sayıya yuvarlanır.

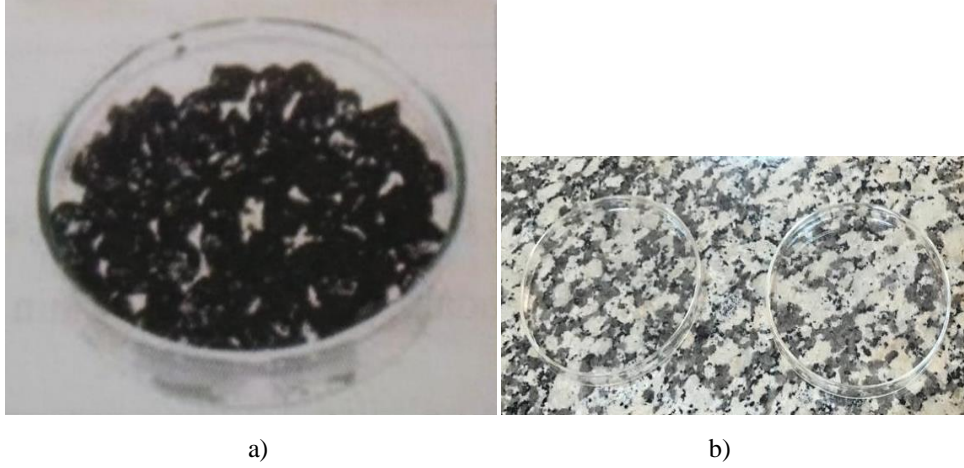
TMA karışımlarında kullanılacak olan agregaların Los Angeles katsayısı ≤ 25 olması istenmektedir.



Şekil 3.16. a) Los Angeles cihazı, b) Bilye takımı

Soyulma deneyi (TS-EN 12697-11)

Bu deney ile sıcaklık ve suyun etkisi sonucu bitüm ile agrega arasındaki adezyonda meydana gelen azalma belirlenmektedir. Su ve trafik etkisiyle beraber bitüm ile agrega arasında adezyon bozulmaya başlar ve böylece bitüm agreganın üzerinden soyulur. İnşa edilen yollarda bu deney sayesinde zamanla yağmur gibi kar gibi birçok çevre koşullarında malzemelerde meydana gelen ayrılmaların olup olmayacağını ve ayrılması durumunda oluşacak %' ye karar vermek mümkündür. Soyulma miktarı bitümlü bağlayıcı tipleri ve kullanılmış olan agregaların cinsine bağlı olmaktadır. Şekil 3.17.a ve Şekil 3.17.b' de soyulma deneyinden bir kesit görülmektedir.



Şekil 3.17. a) Soyulma deneyi, b) Petri kabı

Soyulma dayanımı düşük olan agregaların soyulma dayanımını, kullanılacak asfalt çimentosuna belirlenen oranlarda katkı maddeleri eklenmesi sonucu arttırmak mümkündür (KGM, 2013).

Deney;

- 9.5 ile 4.75 mm elek aralıklarında 200 gram agrega numunesi hazırlanır. İyice yıkanır ve daha sonra 110 °C etüvde sabit kütleye ulaşana kadar kurutulur.
- Yıkanmış ve daha sonra kurutulmuş malzemedan 50 g alınarak behere konulur ve ısıtılmak üzere 140 °C – 150 °C' lik etüvde 1 saat kadar bekletilir.
- Diğer taraftan kullanılacak olan bitüm miktarı agreganın ağırlıkça %5' i oranında olacak şekilde belirlenir. 2.5 g bitüm böylece 205 cm³ behere alınır ve kum banyosuna yerleştirilir.
- Daha sonra agregalarda behere konularak karıştırılır. Agregalar ile bitüm iyice karıştırılarak agreganın bitüm ile kaplanması sağlanır.
- Ardından karışımın olduğu beher 60 °C' lik etüve konularak 24 saat bekletilir.

- Süre tamamlandıktan sonra beher dışarı alınır ve karışımlar petri kabına boşaltılır. Bu kaplara su eklenir ve 60 °C' lik etüve konularak 24 saat bekletilir.
- Daha sonra bu kaplardaki su boşaltılıp yeniden su eklenir ve yandan gelen bir ışıkla beraber göz ile incelenir.
- Soyulmaya karşı dayanıklılık, tüm agrega danelerinin soyulmamış olan yüzeylerinin bütün yüzeye oranı hesaplanarak elde edilir.

Yassılık indeksi deneyi (TS EN 933-3)

Yassı agrega danelerinin, deneyde kullanılacak olan agreganın toplam ağırlığına oranlanması sonucunda bir değer elde edilir. Agregada dane şekillerinin kaplama stabilitesine etkisinin fazla olması bu deneyi yapmayı gerekli kılmaktadır. Agregada danelerinin sürtünme ve kenetlenmesi sonucu dayanım artmaktadır. Bu dayanım yassı olan agregalarda daha düşük olmaktadır. Bu nedenle şartnamelerde verilen yassılık indeksi değeri göz önüne alınarak tasarım yapılmalıdır. Bu deneyin uygulanacağı agregalara öncelikle elek analizi deneyi yapılmış olmalıdır. 63-50 mm çapa sahip eleklerden geçen 9.5-6.3 mm çapa sahip elek üzerinde kalan numunelere uygulanmalıdır. Çizelge 3.6' da verilen değerler göz önüne alınarak agrega daneleri el ile teker teker Şekil 3.18' de görülen yassılık indeksi şablonunda denenir. Elde edilen veriler (3.9) denkleminde yerine yazılarak hesaplanır.

Çizelge 3. 6. Yassılık indeksi malzeme miktarı

Elek Açıklığı (mm)	Deneye Alınan Minimum Malzeme Miktarı (kg)
63 – 50	25
50 – 37.5	18
37.5 – 25	8
25 – 19	2.5
19 – 12.5	1
12.5 – 9.5	0.5
9.5 – 6.3	0.250

$$\text{Yassı Dane Yüzdesi} = \frac{m_2 \times 100}{m_1} \quad (3.9)$$



Şekil 3.18. Yassılık İndeksi Şablonu

Metilen mavisi deneyi (TS EN 933-9)

Bu deney sonucunda agregaların barındırdığı zararlı olan kil mineralleri hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Deney için 200 g agrega numunesi (2 mm elekten geçen) hazırlanır ve 110 °C sıcaklığa ayarlanmış etüve konulur. Numune kuruduktan sonra ağırlığı tartılır ve kaydedilir. Ardından Şekil 3.19’ da görüldüğü gibi numune kaba konulur ve üzerine 500 ml su ilave edilir. Karıştırıcıyla 5 dakika 600 devir karıştırılır. Daha sonra 5 ml metilen çözeltisi hazırlanır ve karıştırma işleminin sonuna doğru kaba eklenir. Metilen çözeltisi ilave edilen karışımında, karışımın devir sayısı 400’ e ayarlanır. Yaklaşık 1 dakika karıştırılır. Süzgeç kağıdı üzerine her çözelti ilavesinden sonra leke deneyi yapılır. Elde edilen değerler (3.10) denkleminde yerine yazılarak sonuç elde edilir.

$$\text{Metilen Mavisi Değeri} = \frac{V}{M} * 10 \quad (3.10)$$

V: İlave edilmiş olan toplam metilen mavisi çözeltisi (ml)

M: 0-2 mm boyutlarına sahip agrega miktarı (g)



Şekil 3.19. Metilen mavisi deneyi

3.2.2. Bitüm deneyleri

Penetrasyon deneyi (TS EN 1426)

Penetrasyon, ie girme veya batma anlamlarına gelmektedir. Bu deneyin amacı bitümlü bağlayıcının sertliğini belirlemektir. 25 °C sıcaklıkta, Şekil 3.20’ de görülen deney takımında standart bir iğnenin, 5 saniye içerisinde 100 gramlık bir yükün etkisiyle bitümün içerisine dikey olarak battığı ve mm cinsinden ölçülen değerin bulunmasıyla gerçekleştirilen deneydir. Yapılan bu deney sonucunda eğer iğne çok batarsa bitüm yumuşak, az batarsa bitüm serttir yorumları yapılabilmektedir. Buradan hareketle, sıcak iklimlere sahip olan yerlerde, araç yükü ile trafiğin ağır olması durumlarında penetrasyon derecesi yüksek olan bitümler tercih edilirken soğuk iklimin hüküm sürdüğü yerlerde penetrasyon derecesi düşük olan bitüm tercih edilmektedir (Orhan, 2012; Saedi, 2019).



Şekil 3.20. Penetrasyon Cihazı

Yumuşama noktası deneyi (TS EN 1427)

Bu deney bitümün hangi sıcaklıklarda akmaya başladığını yani sıcaklığa karşı olan duyarlılığını ölçmek amacıyla yapılır. Eğer bitümün yumuşama noktası değeri yüksek olursa bu bitümün viskozitesi de fazla olmaktadır. Deneyi yapmak için öncelikle halka, bilye, termometre ve karıştırıcının (balık) bulunduğu deney düzeneği aşamalı olarak ayarlanır. Şekil 3.21.a' da kullanılan cihaz görülmektedir. İlk olarak bitüm akıcı bir hale getirilir. Daha sonra halkaların içerisine bitüm düzgün bir şekilde dökülür. Yaklaşık 30 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilir. Ardından beher saf su ile doldurulur. Başlangıç sıcaklığının 5 °C olarak ayarlanması gerekir. Bilye sabitleme aparatı, deney numunesi ve termometre düzeneğe takılarak beherin içerisine konulur. Isıtıcı ayarlanır ve beher bu ısıtıcının üzerine yerleştirilir. Isıtıcı deney sıcaklığını dakikada 5 °C arttıracak şekilde ayarlanır. Şekil 3.21.b' de görülen halka içerisine dökülmüş olan bitüm bilyeler ile beraber aşağıya sarktığı ve tabana değdiği anda sıcaklık değeri termometreden okunur.



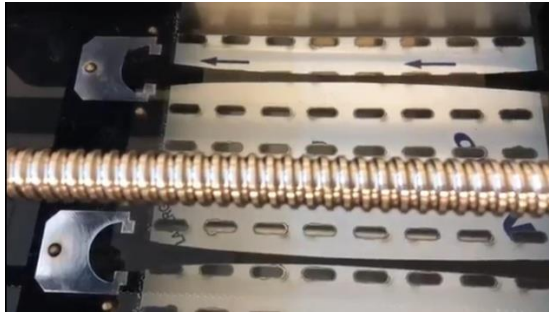
a)

b)

Şekil 3.21. a) Yumuşama noktası deneyi, b) Halkalar

Düktilite deneyi (TS EN 13589)

Düktilite, çekebilme veya uzama anlamlarına gelmektedir. Yani asfaltın çekebilme veya uzama özelliklerini ifade eder. Asfaltın sahip olduğu bağlama özelliği düktilitesine bağlıdır. Asfaltın düktilite değeri yüksek olduğu zaman bağlayıcılık özellikleri de yüksek olmaktadır. Şekil 3.22’ de görüldüğü gibi belirli bir sıcaklığa sahip su banyosu içerisinde 50 mm/dk hız ile bitüm çekilir. Kopma anında meydana gelen uzama miktarı cm cinsinden elde edilir ve yük uzama eğrisinde deformasyon enerjisi hesaplanır.



Şekil 3.22. Düktilite deneyi

Parlama noktası deneyi (TS EN ISO 2592)

Bir maddenin alev teması sonucunda geçici olarak parlaması fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık parlama noktası olarak tanımlanır. Bitüm yanıcı bir madde olmasından dolayı uygulama esnasında ısıtılma sonucunda meydana gelebilecek herhangi bir alev alma ya da tutuşma riskini önlemek açısından parlama noktası oldukça önemlidir. Deney için öncelikle kabın içerisine belirli bir seviyeye kadar bitüm konulur. Daha sonra yavaş ve sabit olan bir hızla sıcaklık yükseltilir. Ardından tüp alevi belirli sıcaklık aralıklarında bitüm haznesi üzerinde gezdirilir. Şekil 3.23' te deneyden bir kesit görülmektedir. Ardından parlama sıcaklıkları not edilir ve parlamanın meydana geldiği en düşük sıcaklık ise parlama noktası olarak adlandırılır (Saedi, 2019).



Şekil 3. 23. Parlama noktası deneyi

Bitüm özgül ağırlık deneyi (TS EN 15326)

Bitümün özgül ağırlığı elde etmek amacıyla yapılan bu deneyde genelde piknometre yöntemi kullanılmaktadır. 25 °C sıcaklıkta bitümlü malzemenin özgül ağırlığı hacmi bilinen miktarının ağırlığının, aynı hacim ve aynı sıcaklığa sahip suyun ağırlığına oranı ile özgül ağırlık hesaplanır. Bu kapsamda piknometre ağırlığı tartılarak ardından su ile doldurulur. Piknometrenin ağzı kapatılır ve tekrar bir tartım yapılır. Daha sonra piknometrenin içine bitüm konulur ve ısıtılır. Üzerine su ilave

edilmelidir. 25 °C sıcaklığa sahip su banyosunda piknometre 30 dakika bekletilir. Sıcaklık Şekil 3.24.a' daki gibi ölçülür. Ardından piknometre kurularak tartım yapılır (Şekil 3.24.b) ve elde edilen değerler (3.11) denkleminde yerine yazılarak bitüm özgül ağırlığı bulunur.

$$\text{Bitümün Özgül Ağırlığı (g/cm}^3\text{)} = \frac{E}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.11)$$

A: Piknometre Ağırlığı (g)

B: Piknometre + Su ağırlığı (g)

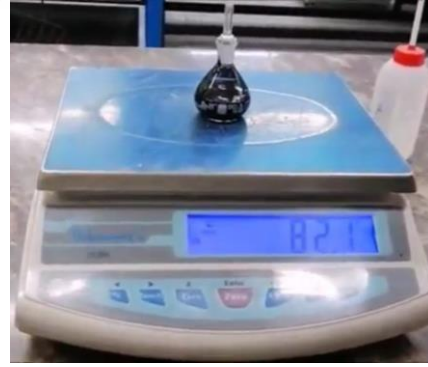
C: Piknometre + Bitüm ağırlığı (g)

D: Piknometre + Bitüm + Su ağırlığı (g)

E: Sade bitüm ağırlığı (g)



a)



b)

Şekil 3.24. a) Termometre, b) Özgül ağırlık deneyi örneği

Dönmeli ince film etüvü deneyi (RTFOT = Rolling Thin Film Oven Test)

Bitümün kısa süreli olarak yaşlanmasını ölçmeye yarayan bir deneydir. Deneyin asıl amacı yaşlanmış olan bitüm üzerinde fiziksel deneyler yapılması sonucu asfaltta meydana gelen kütle kayıplarını belirlemektir. Bitümün yaşlanması

sonucunda bir kütle kaybı meydana gelir ancak bazı asfaltlarda okside ürünlerin oluşumu gibi durumlarda bir ağırlık artışı söz konusu olabilmektedir. Bu deney etüv içerisinde dikey, dairesel kendi ekseni etrafında dönebilen 8 adetten oluşan numune şişelerin takılabildiği taşıyıcıyla yapılmaktadır (Şekil 3.25). Bu şişelerin içerisine 35 g bitüm konulur ve etüv içerisinde taşıyıcı vasıtasıyla dönmeleri sağlanır. En alt konuma her bir şişe içerisine hava püskürtülür ve numuneler 85 dakika süre ile 163 °C sıcaklıkta yaşlandırılır.



Şekil 3. 25. Dönmeli ince film etüv deneyi

3.2.3. Bitümlü sıcak karışım deneyleri

Bitümlü sıcak karışımların marshall metodu ile dizayn edilmesi (TS 12697-30)

Bitümlü sıcak karışımlar, agregaların kurutulması ve daha sonrasında iyi bir işlenebilirlik sağlanması açısından ısıtılması ve bitümle bir tesiste karıştırılması sonucu ortaya çıkan karışımlardır. Bu karışımların dizayn edilmesinin amaçları; gerekli oranda bitüm miktarı belirleyerek sağlam bir üst yapı oluşturmak, sıkıştırılmış olan asfalt tabakasında belirli bir boşluk sağlayarak trafik yüklerinin etkisiyle oluşabilecek kuma ve akma gibi durumların önüne geçmek, asfalt tabakasında meydana gelebilecek deformasyonlara karşı dayanım oluşturmak ve ekonomik olarak en uygun karışımı belirlemektir (Alp,2018).

Çizelge 3.7' de Karayolu Teknik Şartnamesi' nden alınan TMA karışımların dizayn kriterleri görülmektedir.

Çizelge 3. 7. TMA Dizayn Kriterleri (KGM, 2013)

Özellikler	TMA Aşınma Şartname Limitleri	Deney Standardı
Briket yapımında uygulanacak darbe sayısı	50	TS EN 12697-30
Hava Boşlukları (%)	2-4	TS EN 12697-8
Sıcak İklim Bölgelerinde Hava Boşlukları	3-4	TS EN 12697-8
TİP 1 için Agregalar Arası Boşluk (VMA) % min.	16	TS EN 12697-8
Tekerlek İzinde Oturma (30 000 devirde 60 °C' de) % maks.	6	TS EN 12697-22
Elyaf Miktarı (%)	0.3-0.1	
İndirekt Çekme Mukavemeti Oranı, min %	80	AASHTO T 283
Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi, (%) maks.	0.3	TS EN 12697-18

Marshall karışım dizaynı

1. Elek analizi yapılarak tasarım gradasyonunun belirlenmesi
2. Hesaplamalar yaparak ilgili gradasyonun şartnameye uygun olduğunun gösterilmesi
3. Agrega ağırlıklarının 1150 g ayarlanarak karıştırma sıcaklığına erişecek (185 °C) şekilde etüve konulması
4. Bitüm malzemesinin ısıtılması
5. Bitüm ile agreganın mekanik bir karıştırıcı veya elle karıştırılması
6. Beklenen optimum düzeydeki bitüm oranında, her bitüm yüzdesinden en az 3 adet briket olmak üzere kalıpların hazırlanması (temizlenmesi ve altına kağıt konulması)
7. Hazırlanan karışımların kalıplara dökülmesi
8. Briketlerin 2x50 darbe (TMA için) veya 2x75 darbe ile sıkıştırılması
9. Ardından briketlerin kalıplardan çıkarılması ve temiz bir yerde oda sıcaklığında bir gece bekletilmesi, briketlerin havadaki (A), sudaki (C) ve doymuş yüzey (B) ağırlıklarının tartılması ve hacim özgül ağırlıklarının, boşluk oranlarının ve asfaltla dolu boşluk oranlarının hesabı
10. Yükseklikleri 3 farklı yerden ölçülmüş olan briketlerin Marshall Stabilite ve Akma deneylerine tabi tutulması için 60 °C su banyosunda bekletilmesi
11. Briketlere akma ve stabilite deneylerinin uygulanması (Bu deneyde yükleme başladığında stabilite yükselmeye başlar ve daha sonra maksimuma ulaşır,

belirli bir noktadan sonra ise düşmeye başlar. Burada maksimum olarak okunan değer Marshall Stabilite değeridir ve bu değer bize numunenin göçmeden taşıyabileceği maksimum yükü verir. Bunun yanı sıra kırılma esnasında düşey deformasyon ölçülür. Bu da Marshall akma değeridir. Yani numunenin kırılması (göçme olduğu an) anında oluşan deformasyon değeridir. Deney aşamaları Şekil 3.26’ da görülmektedir.

12. Deney sonuçlarına göre gerekli değerlerin hesaplanması



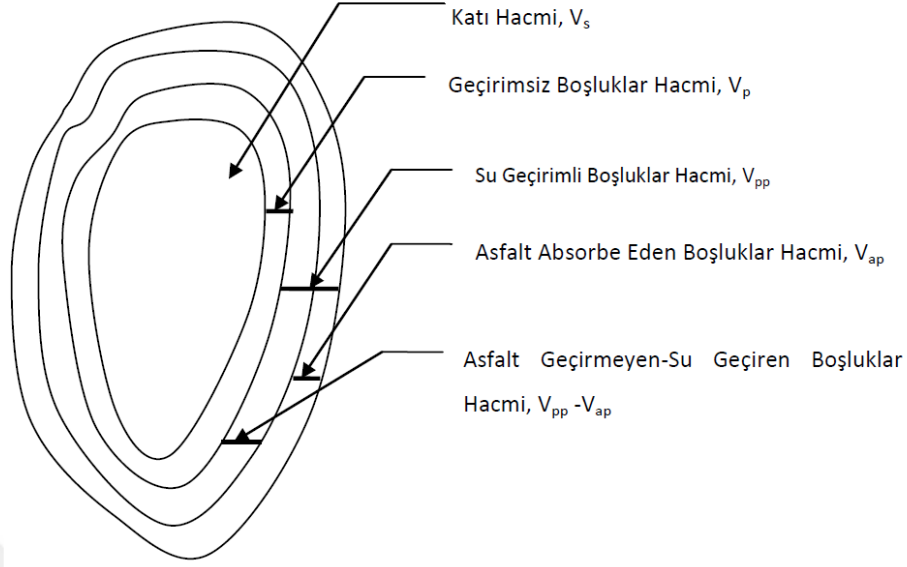
Şekil 3. 26. Marshall deneyi aşamaları

Optimum bitüm miktarını belirlemek için gerekli olan formüller ve kavramlar

Deneyde gerekli bilgileri elde edebilmek için öncelikle agregaların özgül ağırlık değerlerinin bilinmesi gerekir. Hacim tanımlamasına göre toplamda 3 tane özgül ağırlık türü mevcuttur. Bunlar;

1. Zahirî Özgül Ağırlık
2. Hacim Özgül Ağırlık
3. Efektif Özgül Ağırlık

Bunlar arasındaki ilişkiyi daha iyi anlamak açısından Şekil 3.27’ de agregadanenin hacim tanımları verilmiştir.



Şekil 3. 27. Agrega danesi belirli hacimleri (Arslan, 2014; KGM, 2000)

Zahiri özgül ağırlık; katı dane hacmi ve geçirimsiz boşlukların hacmini kapsamaktadır. $\left(\frac{V_s}{V_s+V_p}\right)$

Hacim özgül ağırlık; katı dane hacmi, geçirimsiz ve geçirimli boşlukları kapsamaktadır. $\left(\frac{V_s}{V_s+V_p+V_{pp}}\right)$

Efektif özgül ağırlık; asfalt absorbe eden boşlukların hacmi dışında kalan hacimleri kapsamaktadır. $\left(\frac{V_s}{V_s+V_p+V_{pp}-V_{ap}}\right)$

V_s , V_p , V_{pp} , V_{ap} hacimlerinin ne anlama geldiği Şekil 3.27' de verilmiştir (KGM, 2000).

Zahiri özgül ağırlık değeri kullanıldığı zaman; su geçirimli olan boşluklar tarafından asfaltın absorbe edildiği kabul edilmektedir.

Hacim özgül ağırlık kullanılıyorsa; su geçirimli boşluklar tarafından asfaltın absorbe edilmediği kabul edilmektedir.

Efektif özgül ağırlık ise sıkıştırılmamış asfalt karışımların boşluk hesabında en geçerli sonucu vermektedir. Çünkü bu kavram agreganın absorbe ettiği asfalt miktarını dikkate almaktadır.

Agregaların 3 tür özgül ağırlıklarının hesabı ve Marshall deneyi için gerekli formüller (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18) denklemlerinde verilmiştir;

$$G_{sb}: \text{Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%İ}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (3.12)$$

%K: Kaba agreganın ağırlıkça yüzdesi

%İ : İnce agreganın ağırlıkça yüzdesi

%F : Filler agreganın ağırlıkça yüzdesi

G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} : Sırasıyla kaba, ince ve filler zahiri özgül ağırlıkları

$$G_{ef}: \text{Agreganın Efektif Özgül Ağırlığı} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_T} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.13)$$

W_a : Agreganın yüzdesi olarak bitüm

D_T : Maksimum teorik özgül ağırlık

G_b : Bitüm özgül ağırlığı

$$D_T : \text{Maksimum teorik özgül ağırlık} = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (3.14)$$

$$P_{ba} : \text{Bitüm Absorpsiyonu} = 100 * \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{ef}} * G_b \quad (3.15)$$

P_{be} : Kaplama karışımının efektif bitüm yüzdesi = $W_a - P_{ba}$

$$VMA : \text{Agregalar arası boşluk yüzdesi} = 100 - \frac{Dp}{Gsb} * \frac{100}{100+Wa} * 100 \quad (3.16)$$

V_h : Sıkıştırılmış kaplama karışımı içindeki hava boşluğu =

$$\frac{Dt-Dp}{Dt} * 100 \quad (3.17)$$

$$V_f : \text{Asfaltla dolu boşluk} = \frac{VMA-V_h}{VMA} * 100 \quad (3.18)$$

Marshall stabilite deneyi sonucunda gereken değerler hesaplanır ve sonrasında;

- $D_p - W_a$
- Stabilite - W_a
- $V_f - W_a$
- $V_h - W_a$
- Akma - W_a
- VMA - W_a

grafikleri çizilir.

Optimum bitüm miktarı; şartnamede belirtilen sıcak bölgeler için ortalama olarak boşluk oranının %3.5 ve Tip-1 gradasyonda minimum 16 olan agregalar arası boşluk değerinin ve bunun yanında maksimum D_p ' nin denk geldiği bitüm miktarına bakılarak hesaplanmaktadır.

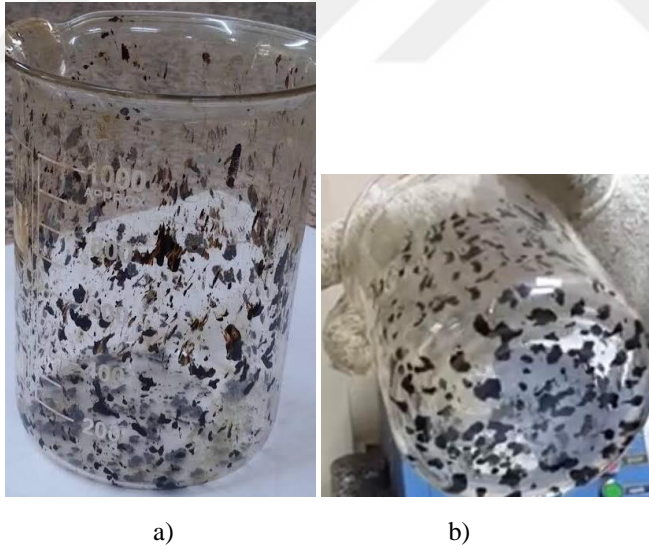
Marshall oranı (S/A) deneyi

Stabilite değerinin akma değerine oranı Marshall oranı olarak bilinmektedir. Bu oran karışımın rijitliği ile beraber asfalt betonundaki deformasyona karşı direncin bir ölçüsü olmaktadır. Elde edilen değerler, briketlerin deformasyon dirençlerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu oranın yüksek çıkması daha rijit bir karışım dolayısıyla daha dirençli bir karışım olmaktadır.

Schellenberger bitüm süzülme deneyi (TS EN 12697-18)

Uluslararası anlamda geçerli olan alternatif bir yöntem olmaması sebebiyle, Almanlar tarafından geliştirilmiş olan Schellenberger süzülme deneyi yaygın bir biçimde kullanılmaktadır.

Modifiye bitüm içeren karışımlar için (PMB) 145 ± 5 °C' de olmak üzere 1000 g ağırlığa sahip karışım hazırlanır. Ardından 110 °C etüvde boş beherin 15 dakika ısınması sağlanır. Hazırlanmış olan karışım behere boşaltılır ve ağırlığı tartılır. Daha sonra beherin ağzı kapatılarak 185 °C etüve konular ve 1 saat bekletilir. Bu süre tamamlandıktan sonra beher etüvden alınarak içerisinde bulunan karışım behere herhangi bir sarsıntı uygulamadan Şekil 3.28.a ve b' deki gibi boşaltılır. Karışımın ağırlığı tartılır ve elde edilen ağırlık kaybı yüzde cinsinden hesaplanır. Ayrıca TS EN 12697-18 standardına göre bu değer maksimum %0.3 olması istenmektedir (KGM, 2013).



Şekil 3.28. a) Bitüm süzülme deneyi-1 b) Bitüm süzülme deneyi-2

İndirekt çekme mukavemeti deneyi (AASHTO T 283)

Sıkıştırılmış olan bitümlü karışımların nemden veya sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnci ölçmek amacıyla yapılan bir deneydir. Deney aşamaları;

- Her bir karışım için Marshall karışım dizaynına uygun 6 adet briket hazırlanması
- Numunelerin 3-4 gün süre ile oda sıcaklığında bekletilmesi
- Numunelerin birim hacim ağırlıklarının, hava boşluklarının ve yüksekliklerinin hesaplanması
- Ardından ortalama hava boşluğu birbirine yakın olacak şekilde numunelerin 3' erli 2 gruba ayrılması (biri koşullu, biri koşulsuz)

Koşulsuz numuneler için;

- Bu numunelerin deneye tabi tutuluncaya kadar oda sıcaklığında sızdırmaz plastik torbalarda saklanması
- Numunelerin 2 saat süre ile 25 °C' de su içerisinde bekletilmesi
- Numunelerin deney cihazına yerleştirilmesi (Şekil 3.29)
- Numunelerin çapı boyunca yük uygulanması
- Briket numunesi maksimum yük etkidiğinde dayanamaz ve çatlak meydana gelir bu şekilde cihazdan okunan maksimum yük değeri kaydedilir.
- Elde edilen veriler (3.20) denkleminde yerine yazılarak İÇM (İndirekt Çekme Mukavemeti) değeri bulunur.



Şekil 3. 29. İndirekt çekme mukavemeti deneyi

Koşullu numuneler için;

- Bu gruptaki numuneler vakum kabına yerleştirilir (Şekil 3.30) ve kabın içerisine numune yüzeyini 25 mm geçecek kadar su doldurulup 5 dakika vakum uygulanır
- Vakum kesildikten sonra numunelerin suya doygun hale gelebilmesi için 30 dakika boyunca su içerisinde bekletilir
- Briketlerin sahip olduğu hava boşluklarının %55-80 oranında suya doygun olması sağlanır eğer bu oran %55' ten küçükse daha fazla vakum daha fazla sürede uygulanarak işlemler tekrarlanır. Bu oranın %80' den fazla olması durumunda numunenin hasar gördüğü kabul edilir ve numune atılır.
- Doygun hale gelmiş olan numuneler, içerisinde 10 ml su bulunan plastik torbalara konulur. 16 saat süre ile 18 ± 3 °C' de derin dondurucuda bekletilir.
- Numuneler derin dondurucudan çıkarılır ve 24 saat süre ile 60 °C su banyosunda bekletilir. Ardından 25 ± 3 °C su banyosuna alınarak 2 saat bekletilir.
- Koşullu olarak adlandırılan bu numuneler cihaza yerleştirilir ve deney yapılır. İÇM değerleri denklem (3.19) veya (3.20) yardımıyla hesaplanır.



Şekil 3.30. Vakum işlemi için kullanılan cihaz

$$S_t: \frac{2P}{\pi.T.D} \quad (3.19)$$

S_t : İndirekt çekme mukavemeti (psi)

P : Maksimum yük (lb)

T : Numune kalınlığı (inch)

D : Numune çapı (inch)

1kg = 2.2048 lb

1 kg/cm² = 14.223 psi

1 inch = 2.54 cm

Bu dönüşümler yapıldığında (3.20) denklemi elde edilmektedir;

$$S_t = \frac{0.062659 \cdot P}{T} \quad (3.20)$$

S_t : İndirekt çekme mukavemeti (kg/cm²)

P : Maksimum yük (kg)

T : Numune kalınlığı (cm)

3.2.4. Diğer analizler

Cıvalı porozimetre deneyi

Yapılan bu deney sonucunda malzeme içerisindeki boyut dağılımı, gözenek boyutu, gözenegın yüzey alanı, gözenegın hacmi, çapı, görünür partikül yoğunlukları ile beraber % gözenekliliğı belirlenebilmektedir. Şekil 3.31' de deney cihazı görölmektedir.



Şekil 3.31. Civa porozimetresi (AKÜ TUAM, 2020)

XRF Deneyi

Bu deney cihazı X-Işını Floresans spektrometresi (XRF) kimyasal ve elemental kompozisyonu belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Malzemelere herhangi bir zarar vermediği bilinmektedir. Çalışma prensibi olarak, yaptığı ışıma sonucunda dalga boyunun saptanması sonucunda elementin cinsini (nitel) belirleyebilmektedir. Aynı şekilde ışımının yoğunluğunun ölçülmesi sonucunda elementlerin konsantrasyonunu (nicel) belirleyebilmektedir. Deney cihazı Şekil 3.32' de görülmektedir.



Şekil 3.32. XRF cihazı (AKÜ DAL, 2020)

XRD deneyi

X-Işını kırınım yönteminde (XRD), kristal malzemelerin, kayaçların, polimerlerin ve ince filmlerin nitel ve nicel incelemesi yapılmaktadır. Bu cihaz ile

vakum, atmosfer ve inert gaz ortamında kristal yapıda olan faz değişimleri görülebilmektedir. Şekil 3.33' te XRD deneyinden bir örnek görülmektedir.



Şekil 3.33. XRD deneyi (AKÜ TUAM, 2020)

4.ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında TMA Tip – 1 için dizayn yapılmıştır. Kaba ve ince agrega olarak bazalt, filler olarak bazalt, kalker, mermer kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Her üç karışım için de 50/70 (Batman rafinerisi) bitüm SBS katkı ile modifiye edilerek kullanılmıştır. Her üç karışım için bitümün akmasını engellemek amacıyla selülozik elyaf kullanılmış ve bu bilgiler özet halinde Çizelge 4.1’ de gösterilmiştir.

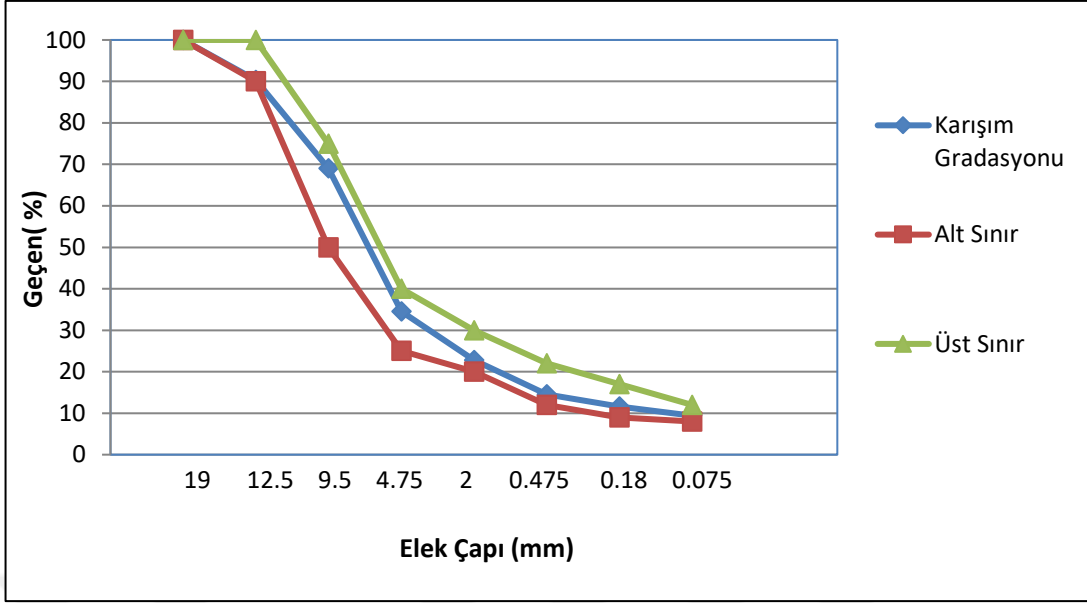
Çizelge 4. 1. Karışım özellikleri

Kullanılan Filler Agregası	Bitüm Penetrasyonu	Modifiye Bitüm Katkısı	Elyaf
Bazalt	50/70	SBS	Selülozik Elyaf
Kalker	50/70	SBS	Selülozik Elyaf
Mermer	50/70	SBS	Selülozik Elyaf

4.1. Agrega Deneyleri

4.1.1. Elek analizi

Karışımında kullanılacak olan bazalt agregalarının tane dağılımlarını belirlemek amacıyla elek analizi deneyi yapılmıştır. Bu amaç kapsamında Çizelge 4.2’ de görülen ve şartnamede TMA Tip-1 aşınma için önerilen sınır değerler ile kullanılmış olan gradasyon belirtilmiştir. Çizilen gradasyon eğrisi Şekil 4.1’ de görülmektedir.



Şekil 4. 1. Gradasyon eğrisi

Çizelge 4. 2. Agrega miktarları

Elek Çapı (mm)	Karışım Gradasyonu (%)	Elekte Kalan (%)	Agrega Miktarı (g)
19.00	100		111.5
12.50	90.3	9.7	244.95
9.50	69	21.3	395.65
4.75	34.6	34.4	397.9
2.00	22.9		
0.425	14.5		
0.180	11.6		
0.075	9.3		
TOPLAM			1150

4.1.2. Özgül ağırlık ve su emme deneyi

Bazalt, kalker ve mermer agregalarına yapılan özgül ağırlık ve su emme deneyi sonucunda elde edilen bulgular Çizelge 4.3' te gösterilmiştir.

Çizelge 4. 3. Özgül ağırlık deneyi sonuçları

Özellikler	Agrega Tipi				
	Kaba Agregası (Bazalt)	İnce Agregası (Bazalt)	Filler		
			Bazalt	Kalker	Mermer Tozu
Hacim Özgül Ağırlık	2.79	2.722			
Zahiri Özgül Ağırlık	2.92	2.946	2.945	2.731	2.853
Su emme (%)	1.6	2			

4.1.3. Diğer deneyler

Diğer deney sonuçları ise Çizelge 4.4' te görülmektedir.

Çizelge 4. 4. Agregası deney sonuçları

Deneyin Adı	Deney Standardı	Birim	Deneyin Sonucu		Şartname Sınır Değerleri
Los Angeles	TS-EN 1097-2	(%)	19.6		Maks. %25
Yassılık İndeksi	TS-EN 933-3	(%)	15.7		Maks. %25
Soyulma Mukavemeti	TS-EN 12697-11	(%)	60-70		Min. %60
Metilen Mavisi	TS EN 933-9	(%)	Bazalt	1.25	Max. %3
			Kalker	2.0	
			Mermer Tozu	1.0	

Metilen mavisi deneyi sonucunda en iyi değeri mermer tozunun sağladığı görülmüştür. Bu deneyde bilindiği gibi numune içerisinde bulunan kil miktarı arttıkça metilen mavisi değeri de artmaktadır. Kil ve silt çok ince malzemelerdir ve genelde zararlı olduğu bilinmektedir. Kaba agregalarda iyi yıkama işlemiyle önüne geçilebilir ancak filler malzemesinde kil miktarının belirlemek için metilen mavisi deneyi oldukça önemlidir. Burada en iyi sonuca mermerin sahip olduğu görülmektedir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular verilen sınır değerler içerisinde kalmaktadır. Bu sayede agregaların istenilen seviyede olduğu anlaşılmiş olup bitümlü sıcak karışımlar oluşturulmuştur.

4.2.Bitüm DeneYleri

Yapılan çalışmada Batman rafinerisinde üretilmiş B-50/70 bitümü kullanılmış ve modifiye etmek için %4 oranında SBS kullanılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.5’ te verilmiştir. Yapılan deneyler göz önünde bulundurulduğunda kullanılan bitümün Karayolu Teknik Şartnamesi’ nde verilen limit değerleri büyük ölçüde sağladığı görülmüştür.

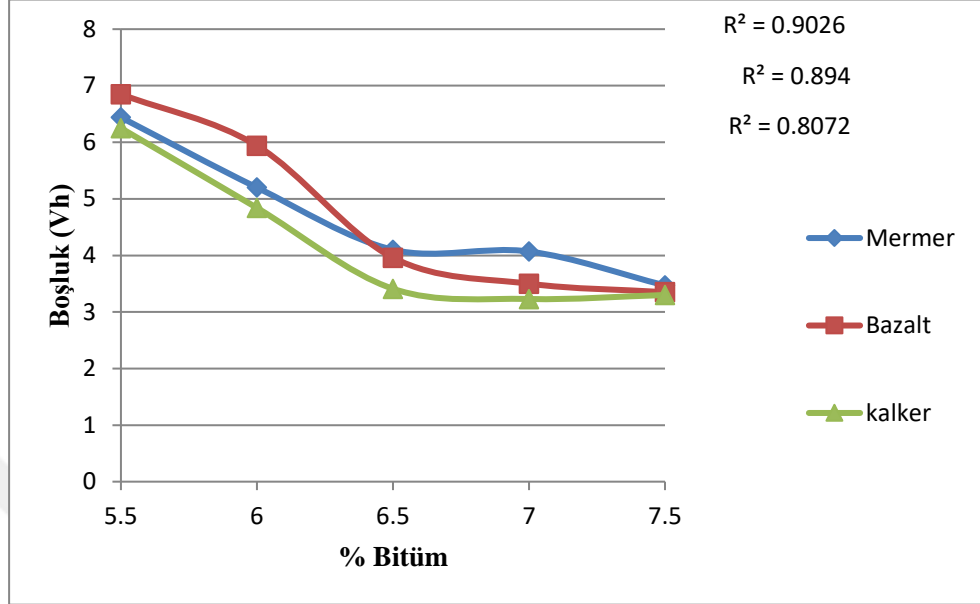
Çizelge 4. 5. Bitüm deneylerinin sonuçları

Deneyin Adı	Deney Standardı	Birim	Deneyin Sonucu	TS EN 14023 Sınır Değerleri
Penetrasyon	TS-EN 1426	0.1 mm	40	25-55
Yumuşama Noktası	TS-EN 1427	°C	75.7	min. 70
Kuvvet Ölçümlü Düktilite	TS-EN 13589	cm	100+	min. 100
Parlama Noktası	TS-EN ISO 2592	°C	238	min. 220
Özgül Ağırlık	TS-EN 15326	g/cm ³	1.03	1.0-1.1
Dönmeli İnce Film Ettüv Deneyi	TS-EN 12607-1			
Kütle Değişimi (artma)		%	0.27	maks. 0.5
Yumuşama noktası farkı (artma)	TS EN 1427	°C	2.5	maks. 8
Kalıcı Penetrasyon	TS EN 1426	%	72.2	min. 40

4.3. Marshall Karışım Dizaynı

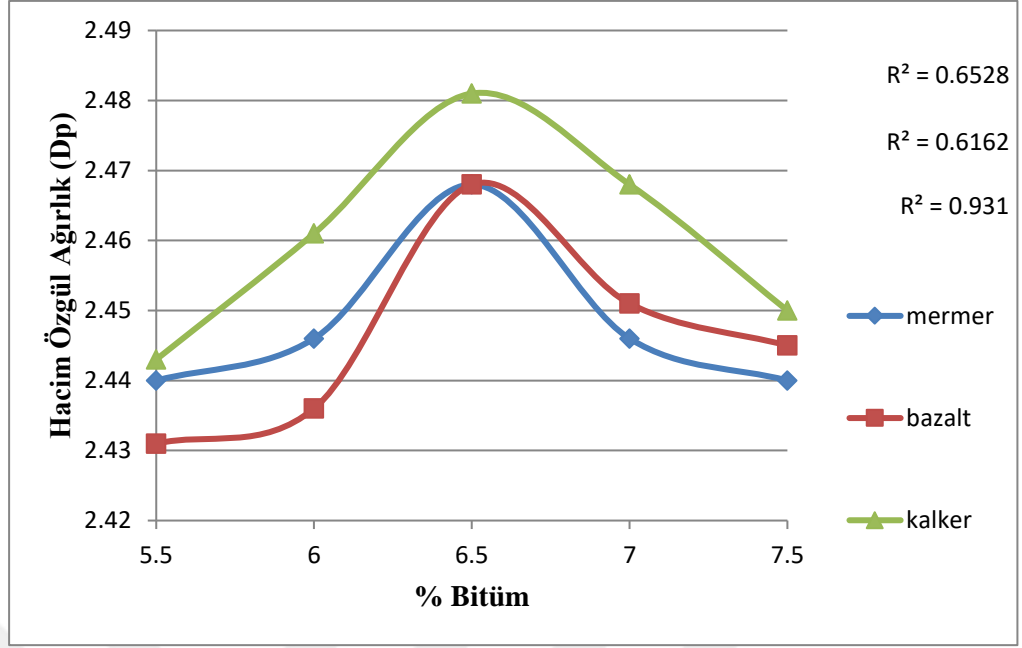
Belirlenmiş olan agregada gradasyonları sonucu toplam 1150 g ağırlığında agregada ile bitüm oranları %5.5, %6, %6.5, %7,%7.5 olacak şekilde her bir bitüm oranına sahip 3 adet numune hazırlanmıştır. Toplamda 45 adet numune 145 °C karışım sıcaklığıyla oluşturulmuştur. Oluşturulan bu numunelerin ise her birine karışım ağırlığının %0.3’ ü oranında elyaf ilave edilmiştir. Ayrıca bunun yanında bitüm miktarının %4’ ü oranında da modifiye katkı olarak SBS kullanılmıştır.Hazırlanmış olan karışımlar kalıplara dökülerek her iki yüze 50 vuruş yapılmıştır. Dizayn sonucu optimum bitüm miktarı mermer kullanılan karışımda %6.6; bazalt kullanılan karışımda %6.6; kalker kullanılan karışımda ise %6.5 olarak elde edilmiştir.

Marshall dizaynı ile ilgili detaylı hesaplama sonuçları EK-2, EK-3 ve EK-4' te verilmiştir.



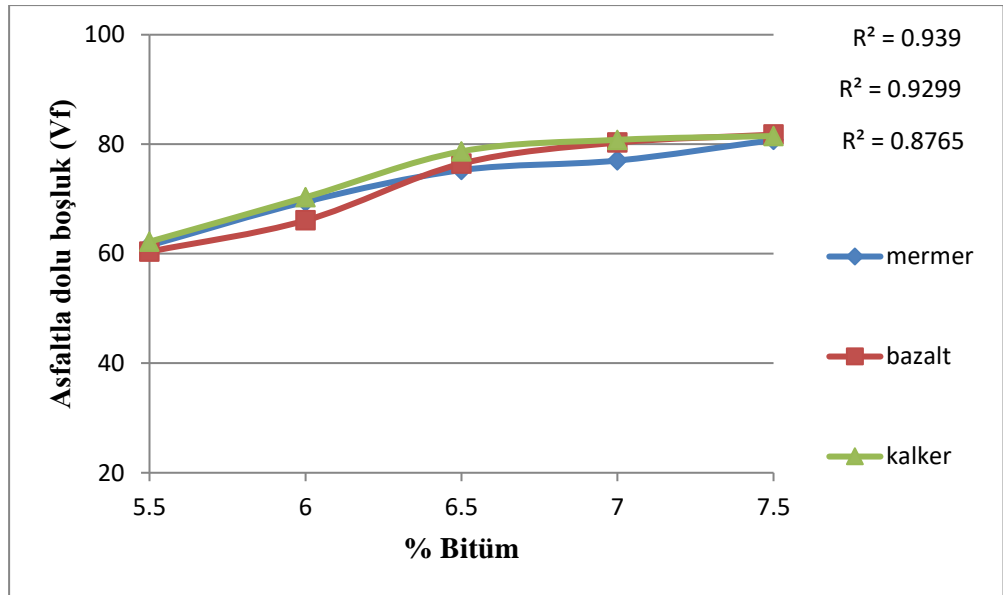
Şekil 4. 1. Boşluk - %Bitüm grafiği

Şekil 4.2' de görülen %Bitüm – Vh grafiğinde boşluk oranının, şartnamede belirtilen sınırlar içerisinde kalan değerlerinin yaklaşık olarak %6.5 bitüm oranlarına denk geldiği görülmektedir. Her numunede bitüm miktarının artmasıyla hava boşluğunun azaldığı gözlenmiştir. Başlangıçtaki boşluk değerleri birbirine yakın olmasına rağmen en fazla oran bazalt kullanılan numunelerde gözlenmiştir. Ancak optimum bitüm içeriğinde en fazla boşluk oranına mermer kullanılan karışımın sahip olduğu görülmüştür.



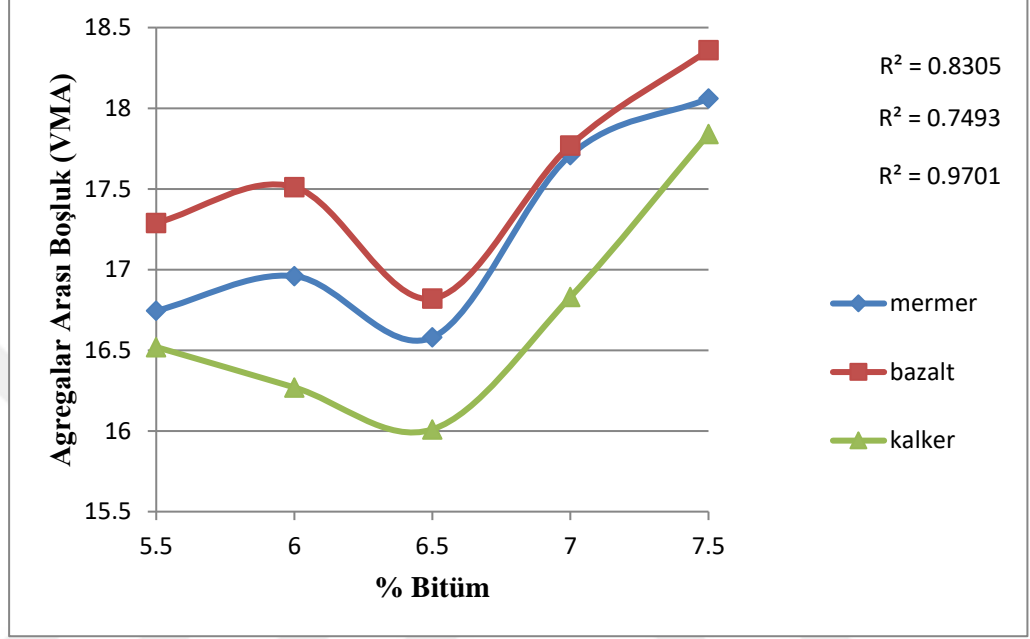
Şekil 4. 3. Hacim özgül ağırlık - %Bitüm grafiği

Şekil 4.3 incelendiğinde her numune için belirli bitüm miktarına kadar hacim özgül ağırlık (Dp) değerinin arttığı ve sonrasında azaldığı görülmektedir. Optimum bitüm miktarında bazalt ile mermerin aynı değere ve kalkerin çok yakın bir değere sahip olduğu görülmeye karşın en yüksek hacim özgül ağırlık değeri kalker kullanılan numunelerde gözlenmiştir.



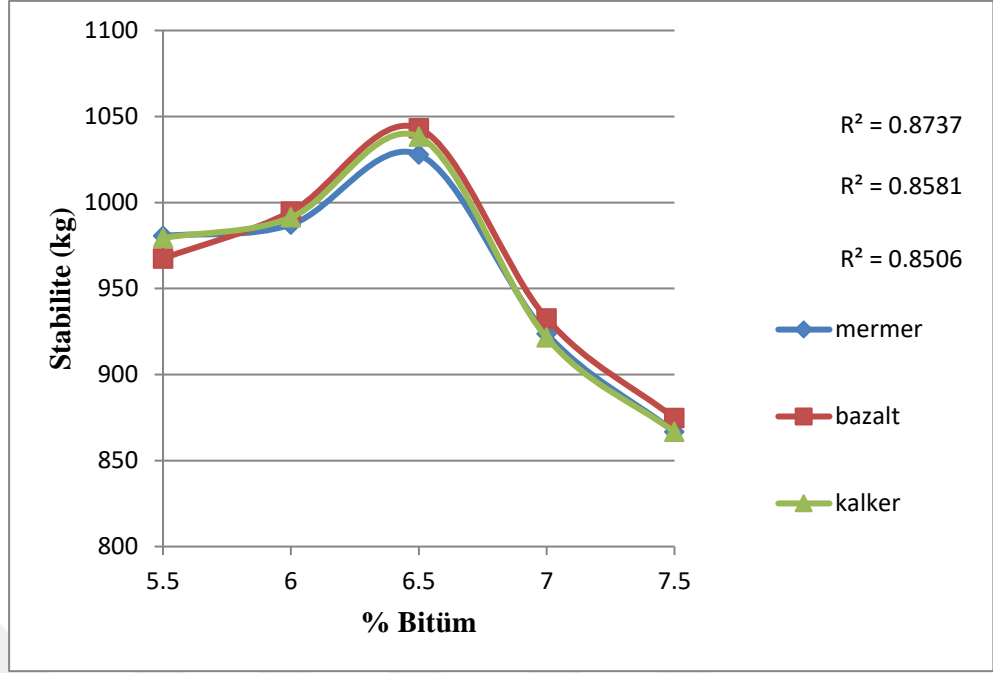
Şekil 4. 4. Asfaltla dolu boşluk - %Bitüm grafiği

Şekil 4.4 incelendiğinde asfaltla dolu boşluk (Vf) yüzde değerleri bitüm miktarının artmasıyla artış göstermiştir. Her üç numune türü için de değerlerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Optimum bitüm miktarlarından bakıldığında en fazla oran kalker kullanılan numunelerde gözlenmiştir.



Şekil 4. 5. Agregalar arası boşluk - %Bitüm grafiği

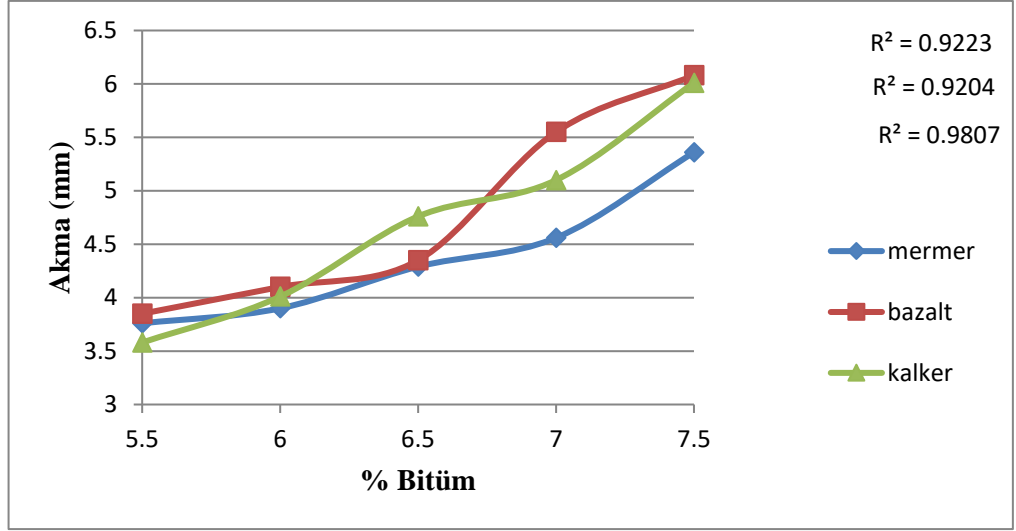
Şekil 4.5' e bakıldığında agregalar arası boşluk (VMA) ile bitüm yüzdesi arasındaki ilişki görülmektedir. VMA değerleri sıkışmış durumda olan karışımların içerisinde bulunan boşluklar ile asfalt çimentosunun toplu hacmini temsil etmektedir. Şartnameye göre bu değer minimum %16 olması istenmektedir. Bütün numuneler bu değeri sağlamaktadır.



Şekil 4. 6. Stabilite - %Bitüm grafiği

Şekil 4.6' da stabilite ile bitüm oranı arasındaki ilişki görülmektedir. En yüksek stabilite değeri, bazalt fillerinin kullanılmış olduğu karışımlarda görülmektedir. Bunun yanı sıra her üç tür için de bitüm miktarı arttıkça stabilite önce artmış ardından en düşük değerlerine doğru azalış eğilimine girmiştir.

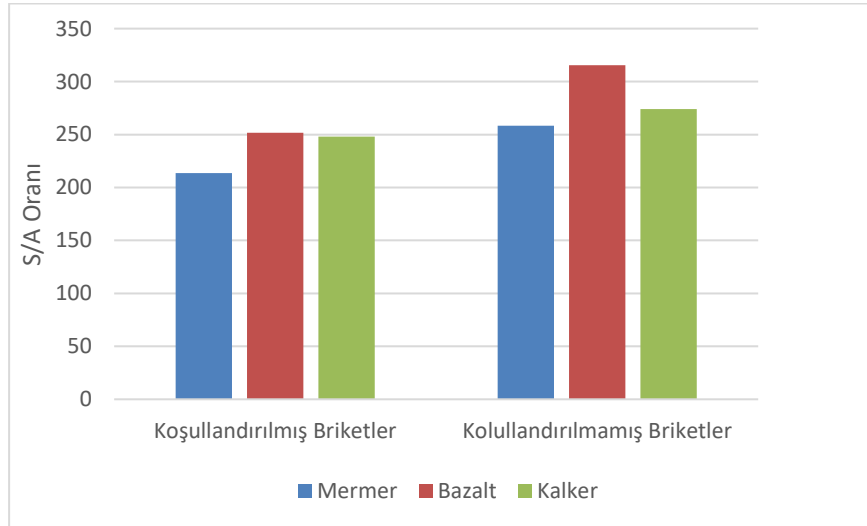
Ayrıca dikkat çekici diğer bir durum ise TMA karışımların stabilite değerlerinin asfalt betonunun stabilite değerlerinden düşük olduğudur. Bu nedenle stabilite değerlerine bakarak red ya da onay sonucu vermenin yanlış olduğunu vurgulayan çalışmalar mevcuttur. Ayrıca ABD' de yapılan çalışmalar sonucunda TMA karışımların stabilite değerleri için şartnamede 'öngörülebilir stabilite' ibaresi konularak net bir sayı vermekten kaçınılmıştır. Bunun yanı sıra uzmanlar bu değer için 455 kg değerine kadar kabul edilebileceğini belirtmişlerdir (Ulmgren, 1996).



Şekil 4. 7. Akma - %Bitüm grafiği

Şekil 4.7' de akma ile bitüm oranı arasındaki ilişki görülmektedir. Kalker ve mermer kullanılan numunelerin aynı eğilimde davranış gösterdiği gözlenmektedir. %6.5 oranında bitüm miktarına bakıldığı zaman akma değerlerinin mermer ve bazalt karışımlarda birbirine yakın ve kalkerden daha az olduğu gözlenmiştir. Ayrıca tüm numune türlerinde bitüm oranı arttıkça akmada da artış görülmüştür.

4.4. Marshall Oranı (S/A)



Şekil 4. 8. Marshall oranı

Elde edilen değerler incelendiğinde (Şekil 4.8) en iyi sonucu bazalt kullanılarak oluşturulan numunelerin verdiği görülmektedir. Daha sonra sırasıyla kalker ve mermer kullanılan karışımlar gelmektedir. Marshall oranının yüksek olması rijitliğin, dolayısıyla direncin daha fazla olduğunu göstermektedir.

4.5. Schellenberger Süzülme Deneyi

Bitüm süzülme deneyi; üç tür karışım için ayrı ayrı uygulanmıştır. TMA karışımlar için süzülme miktarının az olması istenir. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 4.6' da görülmektedir. Her numune için oluşturulan karışımda süzülme değeri en az olan agrega tipinin mermer olduğu görülmektedir. Dolayısıyla en iyi sonucu mermer daha sonra kalker ve son olarak da bazaltın verdiği görülmekle beraber tüm sonuçlar sınır değeri sağlamaktadır. Bu deney sonucunda mermerin viskoziteyi artırıcı etki gösterdiğini söylemek mümkündür.

Çizelge 4. 6. Süzülme deneyi sonuçları

TMA Karışım Dizaynları	Süzülme Değeri (%)	KTŞ Sınır Değeri
Bazalt	0.13	Maks.%3
Kalker	0.11	Maks.%3
Mermer	0.08	Maks.%3

4.5.İndirekt Çekme Mukavemeti Deneyi

Çizelge 4.7' de İÇM deneyi sonuçları görülmektedir. Sudan ve nemden kaynaklanan bozulmalara karşı gösterilen direncin ölçüldüğü bu deney sonucunda en iyi değeri bazalt, ardından sırasıyla mermer ve kalker kullanılan numuneler sağlamıştır. Bazaltın sudan kaynaklanan bozulmalara karşı daha fazla dirence sahip olduğu görülmüştür. Bütün karışımlarda koşulsuz İÇM değerleri koşullu İÇM değerlerinden fazla çıkmıştır.

Çizelge 4. 7. İÇM deney sonuçları

TMA Karışimleri	Koşullu (kg/cm²)	Koşulsuz (kg/cm²)	İÇM (%)
Bazalt	8.04	8.57	93.81
Mermer	6.62	7.52	88.03
Kalker	7.79	8.98	86.74

5.SONUÇ ve ÖNERİLER

Çalışmada; kaba, ince ve filler agregası olarak bazalt, bunun yanında yine filler olarak mermer tozu ve kalker kullanılmıştır. Ayrıca selülozik elyaf ile PMB modifiye bitüm kullanılarak karışımlar oluşturulmuştur. Mineral filler olarak bazalt ve kalker agregasının kullanıldığı numuneler kontrol numuneleri olarak değerlendirilmiştir. Gerekli görülen agregası deneyleri ve ardından modifiye bitüm için gerekli deneyler yapıldıktan sonra karışımlar oluşturulmuştur. Optimum bitüm miktarını belirlemek amacıyla bu karışımlara öncelikle Marshall stabilite deneyi yapılmıştır. Ardından süzülme deneyi ve indirekt çekme deneyi uygulanmıştır. Ardından filler özelliklerinin daha iyi anlaşılması için filler malzemelere XRD ve civalı porozimetre deneyleri uygulanmıştır.

Yapılan Marshall deneyi sonucunda;

TMA karışımlarda bitümün bağlayıcı etkisi sayesinde bir arada tutulan taş iskelet, tekerlekten gelen yükü taşımaktadır. Bitüm, agregalar arasında oluşan boşluğu kısmen doldurur ve sonuç olarak arada hava boşlukları kalır. Elbette ki bitümlü sıcak karışımların içerisinde hava boşluklarının bulunması gereklidir ve bu değer Karayolları tarafından %2-4 sınırlarıyla belirtilmektedir. TMA Tip-1 için dizayn kriterlerinde istenen bu V_h (hava boşluğu yüzdesi) sınır değerleri tüm karışımlarda sağlanmaktadır. VMA (agregalar arası boşluk) değerleri bilindiği üzere bitümlü bağlayıcı hacmi ile agregası daneleri arasındaki hava boşluğu değerleri toplamının bütün hacme oranının yüzde şeklinde ifade edilmesidir. VMA değerlerinin çok yüksek olması istenen bir durum değildir. Çünkü bu durumda bitümlü madde içerisinde agregası danelerinin yüzme tehlikesi meydana gelebilir. Bu da kaplamanın yük taşıma durumundan çıkacağını göstermektedir. Şartnamede verilen VMA sınır değeri min. 16' dır. Bazaltın filler olarak oluşturulduğu karışımların optimum bitüm yüzdesindeki VMA değeri 16.82 ile diğer iki tür karışıma göre daha yüksek değerdedir. Bunun yanı sıra tüm karışımların şartname değerlerini sağladığını söylemek mümkündür. V_f (asfaltla dolu boşluk) değeri bitüm

oranıyla artan özellik göstermektedir. Çünkü agregalar arası bitümle dolmaktadır. Agregaların içerisinde bulunan bu boşluk yeterli miktarda dolmadığında istenmeyen maddeler ve yağmursuyu aralara girmektedir. Bunun sonucunda yolda çökmeler ve çatlamlar oluşmaktadır. Bu değer üç karışım için de optimum bitüm yüzdelerinde birbirine çok yakın değerlerdedir. Stabilite değerlerine bakıldığı zaman her karışım için elde edilen değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Stabilite değerleri agregaların birbirlerine kenetlenmesiyle alakalıdır. Bu karışımlarda bazalt agregasının en yüksek stabilite değerini göstermesini kullanılan kaba ve ince agregalarla aynı türde olmasına bağlamak mümkündür. Bu sayede iç kenetlenme artacak ve stabilite yükselecektir. Optimum bitüm yüzdesi Marshall deneyi sonucunda elde edilen grafikler yardımıyla bulunmuş olup bazalt fillerinin kullanıldığı karışımlarda %6.6, mermer fillerinin kullanıldığı karışımlarda %6.6 ve kalker fillerinin kullanıldığı karışımlarda %6.5 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak mermer tozunun bitüm yüzdesi bakımından normal TMA karışımlarla aynı ekonomiklikte olduğunu söylemek mümkündür. Aynı zamanda Marshall oranı hesaplanmış ve elde edilen veriler sonucunda en iyi değeri bazalt agregalarının kullanıldığı karışımların verdiği gözlenmiştir.

Bitüm süzülme deneyi sonuçlarına bakıldığında en iyi değeri, mermer fillerinin kullanıldığı karışımların verdiği görülmüştür. Taş mastik asfalt karışımlarda önemi oldukça büyük olan süzülme deneyinde mermer tozunun etkili olması mermerin bu karışımlarda katkı malzemesi olarak da değerlendirilebilir olduğunu göstermiştir.

İndirekt çekme mukavemeti deneyinde elde edilen bulgulara bakıldığında su ve nemden kaynaklanan bozulmalara karşı en iyi performansı, bazalt fillerinin kullanıldığı karışımların sağladığı görülmüştür. Bununla beraber diğer karışımlardan elde edilen değerler de şartname sınırları içerisinde kalmıştır.

Tüm bu sonuçlar özetlenecek olursa;

Elde edilen değerler neticesinde filler olarak mermer içeren karışımların birçok deneyde uygun sonuçlar verdiği ayrıca bazı önemli noktalarda kontrol

karışımlarından daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu gözlenmiştir. Bu nedenle bazalt agregalarından yoksun ancak mermer atıklarının bol miktarda olduğu bölgelerde alternatif olarak mermer tozu kullanımı avantajlı olacaktır. Ancak daha kesin sonuçlar elde etmek için farklı oranlarda mermer tozu içeren numunelerin incelenmesi önerilmektedir.



KAYNAKÇA

- AKBULUT, H. ve GÜRER, C., 2006. Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi, İMO Teknik Dergisi, 261 : 3943-3960.
- AKBULUT, H., İÇAĞA, Y. ve GÜRER, C., 2003. Atık Agregaların Asfalt Yol Kaplamalarında Tekrar Kullanım İmkânları ve CEN Standartları” III. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 3-4 Aralık 2003, İstanbul.
- AKGÜL ŞEKER, N.E., 2020. Bitümlü Sıcak Karışımların Farklı İklim Şartlarında Bozulmasına Filler Etkisinin Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 88s.
- AKPOLAT, M., 2014. Ilık Karışım Katkısının Bitüm ve Taş Mastik Asfalt Kaplamaya Etkisinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 124s.
- AKÜ DAL, Afyon Kocatepe Üniversitesi Doğaltaş Analiz Laboratuvarı. ‘XRF Cihazı’ . Erişim 18 Haziran 2020. <https://dal.aku.edu.tr/2016/02/29/xrf-cihazı/>
- AKÜ TUAM, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi. ‘Porozimetre Ölçümü Analizi’ . Erişim 18 Haziran 2020. <https://tuam.aku.edu.tr/porozimetre-olcumu-analizi/>
- AKÜ TUAM, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi. ‘Elektroseramik Tozlarının XRD Analizi’ . Erişim 18 Haziran 2020. <https://tuam.aku.edu.tr/2020/03/18/elektroseramik-tozlarinin-xrd-analizi/>
- ALP, B. 2018. Aşınma Asfalt Betonu ve Taş Mastik Asfalt Tekniğinin Köprü Uygulamalarında Kullanılması ve Karşılaştırılması. Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 139s.
- ALTAN, F., 2018. Taş Mastik Asfaltta Elektrik Ark Fırını Cürufunun Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Doğal Agrega İle Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 97s.
- ARSLAN, F., 2014. Taş Mastik Asfalt Karışımlarda İstanbul Çevresindeki Cebeci-Dolomitli Kireçtaşı, Gölcük - Kumtaşı ve Karatepe - Bazaltı Kullanımının İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 273s.
- ASLAN, D., 2019. Diyarbakır Yöresinde Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Bazalt, Kalker, Dere Malzemelerinin Karakteristik Özelliklerinin Karşılaştırılması. Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa, 82s.
- ATUM, Prof. Dr. Adnan Tekin Malzeme Bilimleri ve Üretim Teknolojileri Uygulama Araştırma Merkezi. ‘Civalı Porozimetre’ . Erişim 12 Haziran 2020. https://www.atum.itu.edu.tr/tr/?page_id=816
- BEHBAHANI H., NOWBAKHT S., FAZAELI H. and RAHMANI J., 2009. Effects of Fiber Type and Content on the Rutting Performance of Stone Matrix Asphalt. Journal of Applied Polymer Science, 9 : 1980–1984.
- BLAZEJOWSKI, K., 2011. Stone Matrix Asphalt “Theory and Practice”, Second Edition, Taylor and Francis Group, Newyork.
- BROWN, E.R., MALLICK, R. B., HADDOCK, J.E. and 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.

- CHAMBELL, C., 1999. The Use of Stone Mastic Asphalt on Aircraft Pavements. School of Engineering and Technology, Melbourne, Final Report.
- CHELOVIAN, A. and SHAFABAKHSH, G., 2017. Laboratory evaluation of Nano Al_2O_3 effect on Dynamic Performance of Stone Mastic Asphalt, International Journal of Pavement Research and Technology, 10 (2) :131-138.
- ÇELİK, Y.M., 2019. İsehisar Andezitinin Donma Çözülme Sürecinde Bazı Fiziksel Parametrelerdeki Değişiminin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. 669-683.
- ÇETİN, S., 2007. Afyonkarahisar Bölgesi Volkanik Kayaçların Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 70s.
- ÇETİN, T., 2003. Türkiye Mermer Potansiyeli, Üretimi ve İhracatı. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23 : 243-256.
- ÇM, Çeyrek Mühendis. 'Bitüm Nedir?' . Erişim 18 Haziran 2020. <https://www.ceyrekmuhendis.com/bitum-nedir/>
- ERKUŞ, Y., 2017. Grafit Katkısının Bitüm ve Taş Mastik Asfalt Kaplamaya Etkisinin Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ, 132s.
- GHASEMI, M. and MARANDI, S. M., 2010. Laboratory Investigation of the Properties of Stone Matrix Asphalt Mixtures Modified with RGP-SBS, Digest Journal of Nano Materials and Biostructures, 1823-1834.
- İstanbul Teknik. 'HiperCell Selülozik Elyaf' . Erişim 8 Nisan 2020. <https://www.istanbulteknik.com/asfalt-urunleri/hipercell-selulozik-elyaf>
- KABADAYI, E., 2018. Üleksitin Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 97s.
- KARAKUŞ, A., 2011. Investigating on possible use of Diyarbakir basalt waste in Stone Mastic Asphalt. Construction and Building Materials, 3502-3507.
- KAŞAK, S., 2007. Taş Mastik Asfalt Karışımında Katkı Maddesi Olarak Fiber Yerine Diatomit' in Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 188s.
- KGM, 2000. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı El Kitabı. Ankara, 198s.
- KGM, 2013. Karayolu Teknik Şartnamesi, Sayı: 55183336-020 / 23789.
- KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü. 'Yol Ağı Bilgileri' . Erişim 20 Mayıs 2020. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>
- KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü. 'Devlet ve İl Yolları Envanteri'. Erişim 15 Nisan 2020. <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Istatistikler/DevletveIlYolEnvanteri.aspx>
- KUTLUHAN, S. ve AĞAR, E., 2004. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun İncelenmesi. 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 25-26 Kasım 2004, Ankara, 208-218.
- MOKHTARI, A. and NEJAD, F.M., 2012. Comparative Study on Performance of Wax-Modified and Typical SMA mixtures, Journal of Materials in Civil Engineering, 25 (3) : 419-427.
- MTA, Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü. 'Mermer Üretimleri' . Erişim 10 Mayıs 2020.

- https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/mermer.jpg
- NAPA, (1999) Designing and Constructing SMA Mixtures State of the Practice; Quality Improvement Series:122, Maryland.
- ODTÜ, Orta Doğu Teknik Üniversitesi. ‘X-Işını Florans Spektrometresi’ . Erişim 12 Haziran 2020. <https://merlab.metu.edu.tr/tr/x-isini-floresans-spektrometresi>
- ORHAN, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları. Ankara, 40s.
- PARK, H.M., CHOI, J.Y., LEE, H.Y., HWANG, E.Y., 2009. Performance Evaluation of a High Durability Asphalt Binder and a High Durability Asphalt Mixture for bridge Deck Pavements, Construction and Building Materials, 23 : 219–225.
- SAEDİ, S., 2019. Polimerik Katkıların (Frp, Viatop Premium ve SBS) Taş Mastik Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 186s.
- SARIIŞIK, A. 2009. Safety Analysis of Slipping Barefoot on Marble Covered Wet Areas. Safety Science. 47 : 1417-1428.
- SINGH, M., KUMARA, P., MAURYA, M.R., 2009. Strength Characteristics of SBS Modified Asphalt Mixes with Various Aggregates, Construction and Building Materials, 41 : 815– 823.
- SİEGESMUND, S. and SNETHLAGE, R., 2011. Stone in Architecture; Properties, Durability. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- SÖNMEZ, İ., DENİZ, M.T., TAYFUR, S., ÖZEN, H., YILDIRIM, S.A., ve EREN, B.K., 2005. Modifiye Katkı Maddelerinin Bitümlü Sıcak Karışıma Etkisi ve Performans Üstünlükleri. 6. Ulaştırma Kongresi, 23-25 Mayıs 2005, İstanbul.
- ŞANLIER, İ., 2018. Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt (TMA) Uygulamaları, Performanslarının Karşılaştırılması ve Maliyet Analizi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 156s.
- ŞENGÜL, C., 2011. Sönmüş Kireç ile SBS ve Elyaf Türü Katkı Maddelerinin SMA Karışımların Performansı Üzerindeki Etkileri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon, 151s.
- TAŞDEMİR, Y., 1998. Stone Mastik Asfalt Karışımlarının Etüdü. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 132s.
- TAYFUR, S., 2001. Taş Mastik Asfalt Karışımları İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 236s.
- TEMREN, Z., 2009. Taş Mastik Asfalt Dizaynı, Üretimi ve Uygulamaları. ASMÜD yayınları, Ankara.
- TERZİ, S., KARAŞAHİN, M. 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanılması. İMO Teknik Dergisi, (193)
- TS 12697-30, 2019. Bitümlü Karışımlar Deney Yöntemleri – Bölüm 30: Darbeli Sıkıştırıcı ile Numune Hazırlanması, Ankara.
- TS EN 1097-2, 2010. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Parçalanma Direnci Tayini İçin Yöntemler, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2013. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun Su ve Emme Oranının Tayini, Ankara.

- TS EN 12697-11, 2012. Bitümlü Karışımlar – Deney Metotları – Sıcak Karışımli Asfalt için – Bölüm 11: Agregaya İle Bitüm Arasındaki Bağlanmanın Tayini, Ankara.
- TS EN 12697-18, 2018. Bitümlü Karışımlar – Deney Metotları – Sıcak Karışımli Asfalt için – Bölüm 18: Bağlayıcının Süzülmesi, Ankara.
- TS EN 12697-22, 2008. Bitümlü Karışımlar – Deney Metotları – Sıcak Karışımli Asfalt için – Bölüm 22: Tekerleğin İz Bırakması, Ankara.
- TS EN 12697-8, 2019. Bitümlü Karışımlar – Sıcak Asfalt Karışımları için Deney Yöntemleri Bölüm 8: Bitümlü Numunelerin Boşluk Özelliklerinin Tayini, Ankara.
- TS EN 13589, 2018. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – Kuvvet Uygulamalı Süneklik Yöntemiyle Modifiye Bitümün Gerilme Özelliklerinin Belirlenmesi, Ankara.
- TS EN 1426, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Batma Derinliği Tayini, Ankara.
- TS EN 1427, 2015. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – Yumuşama Noktası Tayini – Halka ve Bilye Yöntemi, Ankara.
- TS EN 15326 A1, 2010. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar – Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini – Kapiler Kapaklı Piknometre Yöntemi, Ankara.
- TS EN 933-1, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyle- Bölüm 1: Eleme Yöntemi, Ankara.
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyle – Bölüm 3: Yassılık Endeksi, Ankara.
- TS EN 933-9+A1, 2014. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyle – Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini – Metilen Mavisi Deneyi, Ankara.
- TS EN ISO 2592, 2017. Petrol ve İlgili Ürünler – Parlama Yanma Noktasının Tayini- Cleveland Açık Kap Yöntemi, Ankara.
- TUNÇ, A., 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı. Asil yayın, Ankara, 352s.
- ULMGREN, N., 1996. Functional Testing of Asphalt Mixes for Permanent Deformation by Dynamic Creep Test Modification of Method and Round Robin Test. Eurasphalt & Eurobitume Congress, 11-15.
- ZHI, S., GUN, W.W., HUI, L.X., TIAN B., 2012. Evaluation of Fatigue Crack Behavior in Asphalt Concrete Pavements with Different Polymer Modifiers, Construction and Building Materials, 24 : 72-78.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Elif İZOL
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa/Siverek – 15.04.1996
e-mail : izolelif1@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe/İl	Bitirme Yılı
Lisans	Harran Üniversitesi	Merkez/Şanlıurfa	2018
Lise	İlgi Koleji	Merkez/Şanlıurfa	2014
Lise	ÇEAŞ Anadolu Lisesi	Merkez/Şanlıurfa	2013

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

İZOL E. & SARIŞIK A. Midyat Taşının Özelliklerinin Doğal Taş Standartlarına Göre Değerlendirilmesi, Türkiye 10. Uluslararası Mermer ve Doğal Taş Kongresi, 2019, Bursa, s.118-126.

İZOL E. & SARIŞIK A. Taş Mastik Asfalt İle Asfalt Betonunun Özelliklerinin Karşılaştırılması, Türkiye Uluslar arası 13. Ulaştırma Kongresi, 2019, Erzurum, Poster Bildiri.

EKLER



EK-1 İÇM Deney Sonuçları

Bazalt					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği (cm)	Yük (kg)	Koşullu İÇM (kg/cm ²)	Koşulsuz İÇM (kg/cm ²)
1	2.447	6.32	765	7.58	
2	2.446	6.30	775	7.69	
3	2.453	6.37	900	8.85	
4	2.450	6.30	925		9.19
5	2.453	6.35	750		7.40
6	2.452	6.35	925		9.12
İÇM (%) = 93.87					

Mermer					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği (cm)	Yük (kg)	Koşullu İÇM (kg/cm ²)	Koşulsuz İÇM (kg/cm ²)
1	2.442	6.30	650	6.46	
2	2.445	6.43	725	7.06	
3	2.448	6.42	650	6.34	
4	2.445	6.38	700		6.87
5	2.45	6.45	800		7.77
6	2.447	6.32	800		7.93
İÇM (%) = 88.03					

Kalker					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği (cm)	Yük (kg)	Koşullu İÇM (kg/cm ²)	Koşulsuz İÇM (kg/cm ²)
1	2.450	6.35	800	7.89	
2	2.452	6.33	725	7.17	
3	2.440	6.40	850	8.32	
4	2.448	6.32	950		9.41
5	2.445	6.35	850		8.38
6	2.400	6.33	925		9.15
İÇM (%) = 86.74					

EK-2 Mermer filleri ile oluşturulan karışımın Marshall Dizaynı

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy.Yüz.K Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hac.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Mak.Teo.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)
	W _a (%)	(gr)	Sic. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	D _p	D _r	V _h		V _r		
1	5,5	63.25	140	62.3	62.3	62.5	62.3	1204.4	721	1215.4	494.4	2.436	2.608	6.44	16.745	61.5	3,55	975,60
2	5,5	63.25	140	64.1	64.3	64.3	64.2	1204	720.2	1215	494.8	2.433					4,23	985,95
3	5,5	63.25	140	63.5	63.5	63.3	63.4	1203.7	722.5	1213.2	490.7	2.453					3,52	980,15
ORTALAMALAR												2.44				3,76	980,56	
4	6	69	140	61.5	61.7	61.7	61.6	1208.2	723.2	1215.4	492.2	2.454	2.58	5.2	16.93	69.46	3,83	995,25
5	6	69	140	62.2	62.4	62.2	62.2	1207.7	718.5	1214.8	496.3	2.433					4,30	990,50
6	6	69	140	62.5	62.5	62.4	62.5	1207.9	722.1	1214.7	492.6	2.452					3,55	975,80
ORTALAMALAR												2.446				3,90	987,18	
7	6,5	74.75	140	63.3	63.2	63.4	63.3	1214.2	722.9	1215.2	492.3	2.466	2.571	4	16.58	75.27	4,06	1020,25
8	6,5	74.75	140	63.2	63.2	63.1	63.2	1213.9	721.9	1214.1	492.2	2.466					4,58	1035,15
9	6,5	74.75	140	62.8	62.5	62.6	62.6	1213.9	723.2	1214.3	491.1	2.472					4,25	1028,35
ORTALAMALAR												2.468				4,29	1027,91	
10	7	80.5	140	64	64.2	64.2	64.2	1212.7	721.6	1217.8	496.2	2.443	2.55	4.07	17.71	77.02	4,75	935,45
11	7	80.5	140	63.5	63.8	63.5	63.6	1212	724.2	1216.9	492.7	2.456					4,65	905,80
12	7	80.5	140	64.3	64.2	64.3	64.3	1213.8	721.5	1219	497.5	2.439					4,30	935,75
ORTALAMALAR												2.446				4,56	923,66	
13	7,5	86.25	140	63.2	63.3	63.2	63.2	1215.2	721.2	1217.3	496.1	2.44	2.535	3.47	18.06	80.78	5,15	835,15
14	7,5	86.25	140	63.5	63.6	63.5	63.5	1217	721.2	1219.5	498.3	2.442					5,65	860,35
15	7,5	86.25	140	63.3	63.3	63.2	63.3	1216.7	721.5	1219.1	497.6	2.445					5,30	904,85
ORTALAMALAR												2.44				5,36	866,78	

EK-3 Bazalt filleri ile oluşturulan karışımın Marshall Dizaynı

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy.Yüz.K Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hac.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Mak.Teo.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)
	W _a (%)	(gr)	Sic. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	D _p	D _r	V _h		V _r		
1	5,5	63.25	140	61.5	61.5	61.5	61.5	1205.3	718	1213.7	495.7	2.431	2.61	6.85	17.29	60.38	3,65	985,50
2	5,5	63.25	140	61.5	61.4	61.5	61.5	1208.6	717.5	1215.9	498.4	2.424					3,55	928,35
3	5,5	63.25	140	61.6	61.7	61.7	61.7	1206.1	720.2	1214.6	494.4	2.439					4,35	988,50
ORTALAMALAR												2.431					3,85	967,45
4	6	69	140	61.9	61.9	61.9	61.9	1209.2	717	1214.3	497.3	2.431	2.59	5.94	17.512	66.08	4,25	1018,65
5	6	69	140	61.8	61.9	61.8	61.8	1209.4	719.2	1214.5	495.3	2.441					3,75	994,75
6	6	69	140	61.9	62.1	62.1	62	1208.4	718	1213.7	495.7	2.437					4,30	970,60
ORTALAMALAR												2.436					4,10	994,66
7	6,5	74.75	140	62.2	62.2	62.1	62.2	1212.1	722.5	1214.3	497.8	2.464	2.57	3.96	16.82	76.45	4,25	1035,60
8	6,5	74.75	140	62.4	62.4	62.4	62.4	1210.3	723.2	1213.5	490.3	2.468					4,50	1055,25
9	6,5	74.75	140	62.4	62.4	62.3	62.4	1211.2	724	1213.9	489.9	2.472					4,03	1038,55
ORTALAMALAR												2.468					4,35	1043,13
10	7	80.5	140	62.8	62.8	62.7	62.8	1202.3	723	1213.8	490.8	2.45	2.54	3.5	17.77	80.3	5,15	950,40
11	7	80.5	140	62.7	62.9	62.9	62.9	1198.4	723.2	1210.1	486.9	2.461					5,85	908,60
12	7	80.5	140	62.8	62.9	62.8	62.8	1202.6	724	1213.8	489.8	2.455					5,65	938,65
ORTALAMALAR												2.451					5,55	932,55
13	7,5	86.25	140	63.2	63.3	63.2	63.2	1211.4	720.2	1213.5	493.3	2.455	2.53	3,35	18.36	81.75	5,95	845,40
14	7,5	86.25	140	63.3	63.3	63.2	63.3	1212.3	719.8	1214.4	494.6	2.451					6,05	870,15
15	7,5	86.25	140	63.5	63.4	63.5	63.5	1211.7	714,26	1212.9	498,64	2,43					6,25	908,5
ORTALAMALAR												2.445					6,08	874,68

EK-4 Kalker filleri ile oluşturulan karışımın Marshall Dizaynı

Briket No	Bitüm			Briket Yüksekliği				Havadaki Ağırlık (g)	Sudaki Ağırlık (g)	Doy.Yüz.K Ağırlık (g)	Hacim (cm ³)	Hac.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Mak.Teo.Özg. Ağ. (g/cm ³)	Boşluk %	V.M.A. %	Asf.Dolu Boşluk %	Akma (mm)	Stabilite (kg)
	W _a (%)	(gr)	Sic. (°C)	1	2	3	Ort	A	C	B	V	D _p	D _r	V _h		V _r		
1	5,5	63.25	140	61.6	61.7	61.7	61.7	1197.9	709	1199.5	491	2.44	2,605	6.25	16,52	62.2	3,35	985,45
2	5,5	63.25	140	61.5	61.5	61.5	61.5	1196.6	705.6	1197.9	492.3	2.431					4,15	970,20
3	5,5	63.25	140	61.5	61.5	61.5	61.5	1198.2	712.6	1200.2	487.6	2.457					3,25	982,55
ORTALAMALAR												2.443				3,58	979,4	
4	6	69	140	61.9	62.1	62.1	62	1209.9	719.8	1210.8	491	2.464	2,587	4.84	16,27	70.3	4,15	1014,15
5	6	69	140	61.9	61.9	61.9	61.9	1206.5	717.5	1207.9	490.4	2.46					3,35	982,85
6	6	69	140	61.8	61.9	61.8	61.8	1205.9	716.9	1207.1	490.2	2.46					4,55	977,35
ORTALAMALAR												2.461				4,01	991,33	
7	6,5	74.75	140	62.2	62.2	62.1	62.2	1211.9	723.2	1212.6	489.4	2.476	2,568	3.41	16,01	78.7	4,30	1018,35
8	6,5	74.75	140	62.4	62.4	62.3	62.4	1209.6	723	1210.1	487.1	2.483					5,05	1045,80
9	6,5	74.75	140	62.4	62.4	62.4	62.4	1210.2	724.2	1211.6	487.4	2.483					4,95	1050,65
ORTALAMALAR												2.481				4,76	1038,26	
10	7	80.5	140	62.8	62.9	62.9	62.9	1213.9	723.2	1214.3	491.1	2.472	2,551	3.23	16,83	80.8	4,90	908,45
11	7	80.5	140	62.9	62.9	62.9	62.9	1214.2	722.9	1215.2	492.3	2.466					5,02	935,34
12	7	80.5	140	62.9	62.8	62.8	62.8	1213.9	721.9	1214.1	492.2	2.466					5,20	920,75
ORTALAMALAR												2.468				5,10	921,51	
13	7,5	86.25	140	63.2	63.2	63.3	63.2	1215.9	719.8	1216.2	496.4	2.449	2,533	3.3	17,84	81.5	6,15	865,40
14	7,5	86.25	140	63.3	63.3	63.2	63.3	1216.9	720.5	1217.2	496.7	2.45					5,85	905,75
15	7,5	86.25	140	63.5	63.5	63.6	63.5	1218.2	721.5	1218.9	497.4	2.449					6,03	828,65
ORTALAMALAR												2.45				6,01	866,6	

