

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

**TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARDA MİNERAL
ELYAF KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOHAMMAD AMAN RASEKH

DENİZLİ, ARALIK - 2022

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



**TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARDA MİNERAL
ELYAF KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOHAMMAD AMAN RASEKH

DENİZLİ, ARALIK - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

Mohammad Aman RASEKH



ÖZET

**TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARDA MİNERAL ELYAF
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MOHAMMAD AMAN RASEKH
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. SONER HALDENBİLEN)
DENİZLİ, ARALIK - 2022**

Ağır dingil yüklerin olduğu yoğun trafikli yollarda, tekerlek izi, aşınma ve çeşitli üst yapı bozulmalarını engellemek ve üstyapı ömrünü artırmak amacıyla geliştirilen Taş Mastik Asfalt(TMA) kaplamalar, yüksek dane teması, taş - taş kenetlenme kabiliyeti ve yüksek bitüm oranı ile ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada TMA kaplamalarına katkı maddesi olarak sadece farklı boyutlarda bazalt elyaf ve kısmen selüloz ile kısmen bazalt elyaf eklenmiştir. Bu amaçla asfaltın agrega, bitüm ve karışım tasarımının sabit olduğu varsayılmış, elyafların boyutu ve içeriği değiştirilerek Schellenberger deneyi ile süzülme performansları ortaya çıkarılarak optimum elyaf içerikleri saptanmış ve tekerlek izi performanslarındaki değişimler incelenmiştir. Elyaf katkılarının bitümün absorbe performansının belirlenmesi amacıyla 19 adet numune hazırlanarak Schellenberger süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerden 1 adedi elyaf içermeyen, 6 adedi 12 mm, 26 mm boylarındaki %0.2, 0.3, 0.4 oranlarda bazalt mineral elyaf içeren, 6 adedi aynı anda %0.2, 0.3, 0.4 bazalt elyaf ve %0.1 Hipercell selülozik elyaf içeren ve diğer 6 adedi ise aynı anda %0.2, 0.3, 0.4 oranlarda bazalt elyaf ve %0.2 oranında Hipercell selülozik elyaf içeren karışımlardan oluşmaktadır. Yapılan deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçları şahit numune dışında tüm numuneler sonuçlara göre standart olarak karayolları teknik şartnamesinde Schellenberger deney sonucunun maksimum % 0,3 oranında belirtildiği değerin altında kaldığını göstermektedir. Hamburg Tekerlek İzi deneyi için yağurmalı sıkıştırıcı kullanılarak optimum bitüm oranlarında katkılı ve şahit numuneler hazırlanmıştır. Tekerlek İzi deneyleri sonucunda en yüksek tekerlek izi deformasyonunun 12 mm'lik bazalt elyaf % 0.2 oranında, en düşük tekerlek izi deformasyonu ise 12 mm'lik bazalt elyaf % 0.3 oranında ve %0.2 selüloz elyaf karışım numunesinde görülmüştür. Selüloz ve bazalt elyaf karışımının tekerlek izi oluşumuna karşı direnci % 37 oranında iyileştiği anlaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELE: Taş Mastik Asfalt, TMA, Bazalt Elyaf, Selülozik Elyaf Schellenberger Süzülme Deneyi, Hamburg Tekerlek İzi Deneyi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF USABILITY OF THE MINERAL FIBER IN STONE MASTIC ASPHALT

MOHAMMAD AMAN RASEKH

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

CIVIL ENGINEERING

SUPERVISOR: PROF. DR. SONER HALDEN BİLEN

DENİZLİ, ARALIK 2022

In this study, only basalt fiber of different sizes and partly cellulose and partly basalt fiber were added as additives to TMA coatings. For this purpose, the aggregate, bitumen and mixture design of the asphalt was assumed to be constant, the size and content of the fibers were changed, the filtration performances were revealed by the Schellenberger experiment, and the optimum fiber contents were determined and the changes in the rutting performance were examined. In order to determine the absorption performance of bitumen fiber additives, 19 samples were prepared and the Schellenberger percolation test was carried out. One of these experiments is fiber-free, 6 of them contain basalt mineral fiber in 12 mm, 26 mm lengths at the rates of 0.2%, 0.3, 0.4, 6 of them contain 0.2%, 0.3, 0.4 basalt fiber and 0.1% Hipercell cellulosic fiber at the same time, and the other 6 experiments on the other hand, it consists of mixtures containing 0.2%, 0.3, 0.4% basalt fiber and 0.2% Hipercell cellulosic fiber. The test results obtained as a result of the experiments show that all samples except the witness sample, according to the results, show that the Schellenberger test result is below the value specified in the highway technical specification at a maximum rate of 0.3%. For the Hamburg Wheel Track test, additive and witness samples were prepared at optimum bitumen ratios by using a kneading compactor. As a result of the rutting tests, the highest rutting deformation was observed in the 12 mm basalt fiber 0.2%, the lowest rutting deformation was observed in the 12 mm basalt fiber 0.3% and 0.2% cellulose fiber mixture sample. It was understood that the resistance of the cellulose and basalt fiber mixture against the formation of rutting improved by 37%.

KEYWORDS: Stone Mastic Asphalt, SMA, Basalt Fiber, Cellulosic Fiber, Schellenberg Binder Drainage Test, Hamburg Wheel Tracking Test.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
TABLO LİSTESİ.....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Kapsam	4
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	5
3. TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLAR.....	20
3.1 Giriş	20
3.2 Tasarım ve Uygulama	29
3.3 Dünya’da ve Türkiye’de TMA Uygulamaları	43
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	47
4.1 Malzeme	47
4.1.1 Agregası	47
4.1.2 Bitüm	51
4.1.3 Selülozik ve Mineral elyaf.....	52
4.1.3.1 Selülozik Elyaf.....	52
4.1.3.2 Bazalt Elyaf.....	54
4.2 Deneysel çalışmalar	54
4.2.1 Schellenberger Süzülme Deneyi	55
4.2.2 Hamburg Tekerlek İzi Deney cihazı (HWTİ)	57
4.3 BULGULAR	59
4.4 Maliyet Analizi.....	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
7. KAYNAKLAR	78
8. ÖZGEÇMİŞ	81

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1: Asfalt karışımların tipik gradasyon eğrileri(Şanlıer ve Pamuk, 2017).	2
Şekil 1.2: Kesik gradasyonulu karışım (TMA)(NKD, 2014).....	4
Şekil 1.3: Yoğun gradasyonlu beton asfalt karışımı(AC)(NKD , 2014)	4
Şekil 3.1: TMA genel yapısı (Sultani, 2021)	21
Şekil 3.2: TMA ile geleneksel BSK yüzey kesit alanı (Mansourian, 2019).....	21
Şekil 3.3: Taş mastik asfaltın hacimsel yapısı(Arslan, 2014).....	28
Şekil 3.4: Taş mastik asfalt (solda) ve asfalt betonu sağda (Temren, 2020)	28
Şekil 3.5: TMA üretim zinciri (Şanlıer, 2018).....	29
Şekil 3.6: TMA sıkıştırması (Myers, 2007).....	39
Şekil 3.7: Sıkıştırma enerjisi ile karışım sıcaklığı arasındaki bağıntı (Sultani, 2021).	39
Şekil 3.8: TMA 0/11 karışımının tipik gradasyon eğrileri (NKD, 2014).....	43
Şekil 3.9: 2000'den 2016'ya kadar Avrupa'da Sıcak ve Ilık Karışım Asfaltın Toplam Üretimi(Beuving, 2018).....	43
Şekil 3.10: TMA'nın ağır trafik hacminin olduğu alanda kullanımı.....	47
Şekil 4.1: Hiperzell selülozik elyaf	53
Şekil 4.2: Bazalt elyaf.....	54
Şekil 4.3: Bitüm süzülme deneyi	56
Şekil 4.4: Hamburg Tekerlek İzi Deney cihazı.....	57
Şekil 4.5: Şematik Hamburg tekerlek izi test eğrisi(İskender, 2017).....	58
Şekil 4.6: TMA karışımlarında kullanılan agrega granülometri eğrisi	60
Şekil 4.7: 12mm'lik Bazalt Elyafı ile hazırlanan numunelerin süzülme değeri	61
Şekil 4.8: 26'mmlik Bazalt Elyafı ile hazırlanan numunelerin süzülme değeri	61
Şekil 4.9: 12mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı ile hazırlanan numunelerin Süzülme değeri	62
Şekil 4.10: 26mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı ile hazırlanan numunelerin Süzülme değeri	62
Şekil 4.11: 12mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı ile hazırlanan numunelerin Süzülme değeri	63
Şekil 4.12: 26mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı ile hazırlanan numunelerin Süzülme değeri	63
Şekil 4.13: Farklı Elyaf kombinasyonların Süzülme değerleri	64
Şekil 4.14: Gyrotory Compactor	65
Şekil 4.15: Asfalt kesme makinesi ile kesilen numuneler	66
Şekil 4.16: Numunelerin düzgün bir yüzeye konulması.....	66
Şekil 4.17: Kalıplara konulan numunelerin Hamburg cihazına yerleştirilmesi	67
Şekil 4.18: H.T.İ.D. öncesi ve sonrası numunelerin durumu.....	68
Şekil 4.19: Hamburg Tekerlek izi deneyi sonrası numuneler ve kesitleri.....	68
Şekil 4.20: Test numunelerinde oluşan tekerlek izi derinliği	69
Şekil 4.21: Şahit numunenin ortalama tekerlek izi deformasyonu (mm)	70
Şekil 4.22: Numune 1 ortalama tekerlek izi deformasyonu(mm)	70
Şekil 4.23: Numune 10 ortalama tekerlek izi deformasyonu (mm)	71
Şekil 4.24: Numune 14 ortalama tekerlek izi defromasyonu (mm)	71

Şekil 4.25: Numune 4 ortalama tekerlek izi deformasyonu (mm)	72
Şekil 4.26: Farklı Elyaf kombinasyonların ortalama tekerlek izi deformasyonları (mm)	73



TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1: Avrupa’da TMA Kullanımı (Sultani, 2021).	22
Tablo 3.2: Almanya’da kullanılan TMA kaplamalar için tabaka kalınlıkları(Tayfur, 2001).....	36
Tablo 3.3: TMA kalite kontrol deneyleri(KGM, 2013).	42
Tablo 3.4: Avrupa ülkeleri > 10 milyon ton/yıl (Beuving, 2018).	44
Tablo 3.5: Avrupa ülkeleri > 10 milyon ton/yıl (Beuving, 2018).	44
Tablo 3.6: Sıcak ve ılık karışım asfaltın yüzdesi olarak Avrupa’da TMA kullanımı (Beuving, 2018).	45
Tablo 4.1: TMA karışımlarda kullanılacak kaba agrega özellikleri (KGM, 2013).	48
Tablo 4.2: TMA karışımlarda Kullanılacak İnce Agrega Özellikleri(KGM, 2013).	49
Tablo 4.3: TMA Kaplamalarda Kullanılacak Mineral Filler Gradasyon Limitleri(KGM, 2013).	50
Tablo 4.4: TMA aşınma gradasyon ve tolerans sınırları.....	50
Tablo 4.5: TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları(KGM, 2013).	51
Tablo 4.6: Yol Kaplamalarında Kullanılan Kaplama Sınıfı Bitümlerin Özellikleri (KGM, 2013).....	52
Tablo 4.7: Schellenberger Süzülme Deney için kullanılan oranlar.	55
Tablo 4.8: aşınma gradasyon ve şartname sınırları(KGM, 2013).....	59

SEMBOL LİSTESİ

SMA	:	Stone mastic asphalt
TMA	:	Taş mastik asfalt
AC	:	Asfalt betonu
PA	:	Proz asfalt
BSK	:	Bitümlü sıcak karışım
EAPA	:	Avrupa asfalt kaplama derneği
PMB	:	Polimer modifiye bitüm
KTŞ	:	Karayolları Teknik Şartnamesi
SBS	:	Stiren – Butadien – Stiren
HWTD	:	Hamburg Wheel Tracking Test Device
SGC	:	Superpave döner kompaktör



ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince desteğini benden esirgemeyen, bütün bilgi birikimi ve deneyimi ile bana yol gösteren danışmanım Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN' a teşekkür eder, saygılarımı sunarım. laboratuvar imkânlarını kullanmamı sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi ve personeline teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarım sırasında desteklerini ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Dolunay ZENGİN' e teşekkür ederim.



1. GİRİŞ

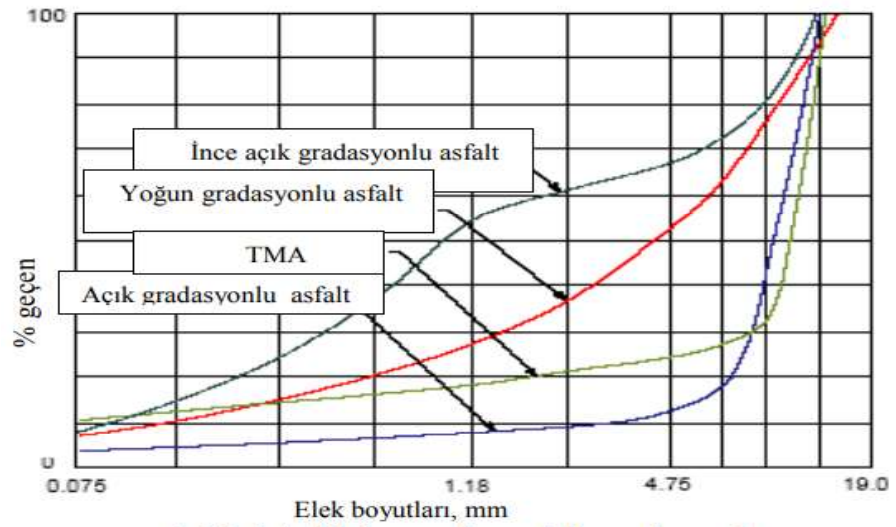
Günümüzde artan taşıt trafiği ve yolların işletilmesi ve bakım maliyetlerinin artması nedeniyle asfalt kaplamalarının ömrünü uzatmak, yoğun trafiğe ve ağır dingil yüklere, özellikle sıcaklık değişimlerine dayanıklı kaplamaların uygulanmasına yönelik çözümler bulmak için çalışmalar ve araştırmalar yapmak, taşıt trafiği için güvenli kaplamaların sağlanmasını gerekli kılmaktadır.

Bir yandan, özellikle sıcak bölgelerde yoğun trafiğe ve ağır dingil yüküne sahip olan yollar için kalıcı deformasyona karşı dayanıklı asfalt kaplamalarının üretimi önemlidir; öte yandan dünyada taşıma kapasitesini, drenajı vb. parametrelerin iyileştirilmesi amacıyla çeşitli tipteki asfalt karışımlarının kullanımının yaygınlaşması, taş mastik asfalt karışımlarının kullanılması fikrini doğurmuştur.

Son yıllarda bazı Avrupa ülkelerinde, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da, tekerlek izi (oluklanma), ondülasyon, kalıcı deformasyon oluşumuna, yansıma çatlak yayılmasının önlenmesine ve ağır dingil yük gibi bozulmalara karşı yüksek dirence sahip Taş Mastik Asfalt (TMA) veya Stone Mastic Asfalt (SMA) kaplamalar kullanılmaktadır. Taş mastik asfalt karışımları, sıcak asfalt karışımlarının çeşitleridir. TMA karışımları özellikle sıcak iklim bölgelerde ve ağır dingil yüklerin olduğu yoğun trafikli yollarda kullanılmaktadır. Bu karışımlar tekerlek izi oluşumuna ve kalıcı deformasyona karşı yüksek direnç göstermektedir. Taş mastik asfalt karışımlarda yoğun gradasyonlu asfalt karışımlarına kıyasla, kaba agregaya nispeten fazla miktarda kullanılmaktadır. Bu karışımlarda taş- taşa birbiriyle direkt temas halinde kilit ve kenetlenme oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle, agreganın agregaya ile doğrudan teması, stabilite ve mukavemetin ana bileşenidir. Taş malzemelerin, malzeme ve mukavemet açısından yüksek kalitede olması bu kaplamaların stabilitesinde ve dayanımlarında etkilidir. Bu karışımlarda fazla miktarda kaba agregaya kullanılması ve bunların taneler arası kesikli gradasyonlu olması nedeniyle, ortaya çıkan yüzeylerin nispeten yüksek bir pürüzlülüğü vardır, bu da yol sürtünmesinin artmasına sebebiyet vermektedir.

Taş mastik asfalt karışımlarında kaba agreg a oranının fazla olması, agreg a parçacıkları arasında boşlukların fazla olmasına neden olmaktadır. Bu boşlukları kapatmak için mastik harç denilen bitüm veya modifiye bitüm, filler, ince agreg a ile bitümün akmasını engelleyen elyaf veya diğer stabilize edici malzeme ile doldurulmaktadır. Unutulmamalıdır ki, çok miktarda iri agreg a içeren herhangi bir karışım, agreg alar arasındaki boşluk bahsedilen malzemelerle doldurulmadıkça taş mastik asfalt karışımı değildir.

Taş mastik asfalt kaplamalar, yağmur suyunu yol yüzeyinden uzaklaştırarak drenajı sağlar, su sıçramasını azaltır, yol yüzeyinin kaygan olmasını engeller. Ayrıca yüksek kaliteli malzeme ve nispeten fazla miktarda bitüm kullanma ihtiyacı nedeniyle bu karışımlar daha dayanıklı ve stabildir. Lifler, TMA karışımlarında bitümün süzülmesini önlemesinin yanı sıra karışımın stabilize edici, güçlendirici ve homojen dağıtıcı maddeleridir. Lifler, agreg alar arasındaki mastik harcın bir parçasını oluşturmak için filler ile birlikte bitüm yapısına nüfuz eder. Bu lifler, küçük ağırlıkları ve sahip olduğu zincir ağı nedeniyle, taş mastik asfalt karışımlarında doldurucu ve tutucu rolü oynamaktadır. Lif kullanımı aynı zamanda bitümün kaba agreg adan süzülmesini ve dışarı akmasını engeller, homojen bir şekilde dağılmasını ve sıkışmasını sağlar. Bu nedenle, karışımın liflerle takviye edilmesi, asfaltın sünekliğini, plastik limitini ve çekme mukavemetini artırır. Asfalt karışımlarının tipik gradasyon eğrileri ise Şekil 1.1’de gösterilmektedir.

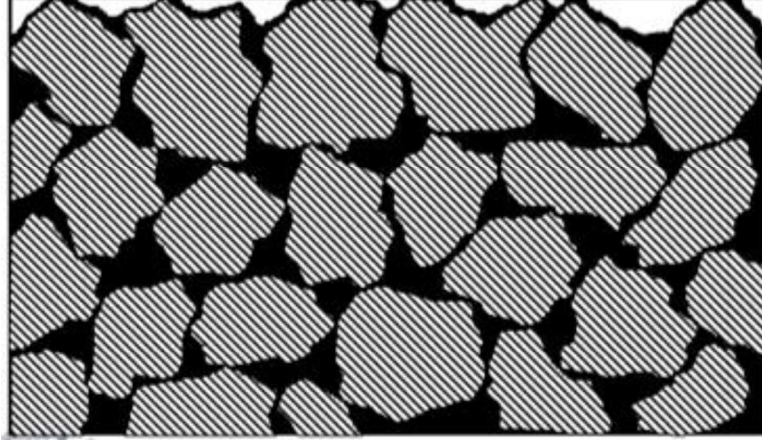


Şekil 1.1: Asfalt karışımlarının tipik gradasyon eğrileri(Sanlier ve Pamuk, 2017).

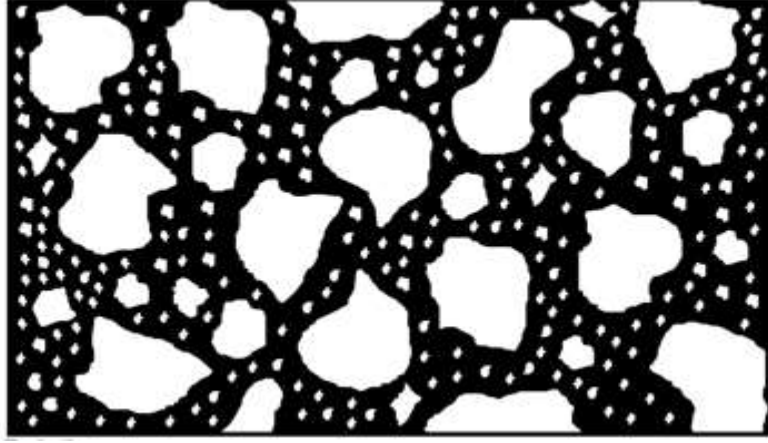
1.1 Tezin Amacı

Asfalt tabakalarının, ağır trafik yüklerine ve kötü hava koşullarına karşı dirençlerinin yüksek olması nedeniyle uzun zamandan beri Avrupa’da kullanılmaktadır. Artan trafik yüklerinin yanı sıra, Avrupa’nın farklı sınır bölgelerinde karayolu taşımacılığı tonajındaki artış nedeniyle farklı kaplama tabakalarına olan talep artmıştır. Yüksek dayanıklı ve uzun ömürlü olmasının yanı sıra, tekerlekten gelen kuvvetlere karşı dirençli olması, bu kaplamanın tercih edilmesinin başlıca nedenleridir. Taş mastik asfalt diğer adıyla Stone Matrix Asphalt, dünya çapında popülerlik kazanan boşluk dereceli bir karışımdır. Bu tip asfalt karışımları 1970’lerin başında Almanya’da ilk olarak “Splittmastix Asphalt” olarak kullanılmaya başlanmış ve bugüne kadar üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Son yıllarda ülkemiz yollarında özellikle ağır taşıt trafiğinin artması, dingil yükleri ve artan lastik iç basınçları gibi değişmelere bağlı nedenlerle yollarda meydana gelen tekerlek izi oluşumunu azaltmak ve bunların neticesinde hizmet ömrü kısalan yolların hizmet ömrünü artırmak için yeni bir kaplama çeşidine ihtiyaç duyulduğu vurgulanmış, bu trafik etkilere karşı çözüm olarak TMA kaplamalar sunulmuştur. Günümüzde ülkemizde bu tip asfaltların kullanımı artmaktadır. Taş mastik asfalt karışımlarında kullanılan bitümün ağırlık yüzdesi, asfalt karışımının toplam ağırlığının yaklaşık %6’sı kadardır, bu oran geleneksel asfalt karışımlarda yaklaşık %2 daha azdır. TMA karışımlarda bitüm miktarı fazla olduğundan dolayı üretimden sonra kamyonu yüklenen asfalt karışımındaki bitüm, yola serilinceye kadar geçen süre içinde bitüm aşağı doğru süzülme(akmaya) başlamaktadır. Bu nedenle bitümün dren olmasını engellemek amacıyla TMA karışımlarda stabilize edici lifler kullanılmaktadır. Böylece lifler, taş mastik asfaltın ana bileşenlerinden biri olmaktadır. Taş mastik asfaltta kullanılan liflerin türü ve ağırlık yüzdesinin değiştirilmesi de etkili olacaktır. Genellikle TMA’da iki tip lif kullanılmaktadır. Selüloz lifleri ve mineral lifler. Bu çalışmanın amacı, bazaltın taş mastik asfalt karışımlarında mineral lif olarak kullanılabilirliğini ve ayrıca yüzdesindeki değişimlerinin etkisini araştırmaktır. Bu amaçla farklı boyutlarda ve oranlarda bazalt elyaf kullanılmıştır. TMA karışımlarına Schellenberger Bitüm Süzülme (Akma) Deneyi ve Hamburg tekerlek izi deneyleri yapılmış, elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Şekil 1.2’de Kesik gradasyonlu karışım ve şekil 1.3’te Yoğun gradasyonlu karışım gösterilmiştir.



Şekil 1.2: Kesik gradasyonulu karışım (TMA)(N.K.D, 2014).



Şekil 1.3: Yoğun gradasyonlu beton asfalt karışımı(AC)(N.K.D, 2014).

1.2 Kapsam

Yukarıda kısaca özetlediği gibi taş mastik asfalt karışımlarda kullanılan iri agregalar ve karışımdaki boşluk oranının yüksek olması ve daha fazla bitüm kullanılması nedeniyle, üretim, depolama, nakliye ve serim sırasında bitüm süzülmesi meydana gelmektedir. Bu sorunu önlemek, bitümü stabilize etmek ve boşlukları azaltmak için karışımda stabilizatör olarak selülozik fiber, mineral fiber ve bunlar gibi çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Fiberler, agregalar üzerindeki bitüm filminin kalınlığını arttırarak bitümün akmasını önlemenin yanı sıra yorulma ömrünü, dayanıklılığı ve servis ömrünü arttırır. Çalışmada katkı maddesi olarak farklı

boyutlarda bazalt lif ve ayriyeten aynı anda selüloz ile bazalt lifi eklenerek Schellenberg testi ile süzülme performansları ve tekerlek izinde deformasyonlar incelenmiştir. Çalışma kapsamında 19 farklı elyaf kombinasyonu oluşturulmuş ve performansları analiz edilmiştir.

Tez 6 bölümden oluşmaktadır. Tez çalışmasının ilk bölümünde konuya giriş yapılmış çalışmanın amacı ve kapsamı tanımlanmıştır. İkinci bölümde literatür taraması yapılmış ve daha önce taş mastik asfalt ile ilgili yapılan çalışmalara dair bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde taş mastik asfalt karışımların tanımı, tarihsel gelişimi, taş mastik asfaltın hacimsel yapısı ve Türkiye’deki, Dünya’daki örnekleri, uygulama alanlarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde Taş mastik asfalt kaplamaların üretimi için gerekli tüm malzemeleri ve taş mastik asfalt karışımlar üzerine uygulanan deneylerden bahsedilmiştir. Beşinci bölümde Araştırma konusuna göre taş mastik asfaltın bitüm ve karışım tasarımının sabit olduğu varsayılmış, liflerin boyutu ve içeriği değiştirilerek Schellenberg testi ile bitüm süzülmesini ve Hamburg Tekerlek İzi testi ile oturmalar incelenmiştir. Altıncı bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlarla birlikte öneriler verilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Taş mastik asfalt kaplama karışımlara farklı tip ve oranlarda katkı maddeleri eklenerek, deformasyonların azaltılması, bozulmaların önlenmesi ve karışım performansının iyileştirilmesi uzun süredir üzerinde çalışan konulardan bir tanesidir. Bu doğrultuda Taş mastik asfalt üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olduğundan ilgili tez çalışmaları incelenmiş olup çeşitli makale ve bildirilerden yararlanılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Taş mastik asfalt sıcak asfalt kategorisindedir ve ilk olarak çivili lastiklerin etkisine dayanmak için Almanya’da üretilip kullanılmaya başlanmıştır. Almanya’da çivili lastiklerin kullanımı 1975 yılında yasaklanmış ancak TMA özelliklerinin

geliştirilmesiyle kullanımı genişlemiş ve 1984 yılından bu yana Alman ulusal asfalt standardının bir parçası olmuştur. Bugün taş mastik asfalt, dünya çapında yüksek trafikli yolların, limanların ve havaalanlarının aşınma tabakasında kullanılmaktadır. 1990'dan bu yana, Amerika Birleşik Devletleri ve Birleşik Krallık'ta asfalt betonun yerini taş mastik asfalt diğer adıyla stone mastic asphalt almıştır. 2014 yılında Almanya'nın otoyollarında ve ana yollarında asfalt beton kullanımı yasaklanmıştır. Şu anda, dünyada 75'ten fazla ülke TMA kaplamayı yaygın olarak kullanmaktadır. 1960 yılından bu yana Almanya'da TMA kullanılması sonucu, bu asfaltın saatlik trafik hacminin yüksek olduğu yollarda kullanım ömrünün 20 yıldan fazla olduğu görülmüştür. 2006 yılına kadar Alman yollarının %30'u TMA asfalt ile kaplanmıştır. Bu da ülkenin yıllık karayolu trafiğinin %50'sini oluşturmaktadır. Almanya, İngiltere, Norveç, ABD, İspanya, Slovenya, Rusya, Çin, Avustralya, Kore, Ermenistan, Türkiye, Azerbaycan, Kazakistan, Hindistan vb. TMA'nın yaygın olarak kullanıldığı ülkeler arasındadır. Bazı ülkelerde bu asfalt türü için ulusal bir standart geliştirilmiş, bazı ülkelerde ise bu alanda Avrupa standardı kullanılmaktadır. Ayrıca asfalt betonu Kuzey Amerika'da yaygın olarak TMA ile değiştirilmektedir. Bu asfalt türü, mukavemet, kayma direnci, kalıcı deformasyona karşı direnç ve dayanıklılık özellikleri bakımından geleneksel asfaltlardan avantajlıdır. Taş mastik asfalt karışımları, daha yüksek iri agrega yüzdesi ve daha fazla bitümlü olması nedeniyle daha uzun ömürlü ve taşıt trafiğe karşı daha yüksek dirence sahiptir, bu da onları kaymaya karşı daha dirençli hale getirmektedir. Taş mastik asfalt kısaca böyle tanımlanabilir.

Taş Mastik Asfalt (SMA: Stone Mastic Asphalt), iri agregadan meydana gelmiş bir yapı ile boşlukları dolduran mastik harç denilen ince agrega, filler- bitüm harcının karışımıdır. TMA aşınma tabakalarında genel olarak, %70-80 oranında kaba agrega, %20-30 ince agrega ve %6-8 gibi oldukça yüksek bir asfalt muhtevasına ve kesikli gradasyona sahip asfalt bağlayıcılı karışımlardan oluşmaktadır. TMA karışımlarında yüksek oranda kullanılan kaba agrega, asfalt betonundaki kaba agregaya nazaran daha yüksek oranda bitümlü bağlayıcı kullanılmasından dolayı, depolama-nakil-serme - sıkıştırma sırasında süzülmesini önlemek amacıyla elyaf (fiber) türü stabilizör katkı kullanılmaktadır. Ayrıca TMA kesikli gradasyona sahip olduğu için boşluklar, mastik (yani asfalt+filler+ince agreganın küçük boyutlu kısımları) ile doldurulmaktadır.

Taş mastik asfalt, kalıcı deformasyonu azaltmak için yol üstyapısının aşınma tabakasında kullanılan bir kaplama türüdür. TMA kaplamalarının en önemli özelliği, aşınmaya ve oluklanmaya karşı direncinin yüksek olmasıdır. Daha önce de belirtildiği gibi, taş mastik asfaltın geliştirilmesinin amacı kalıcı deformasyonlara ve çivili lastiklerin etkisine karşı gösterdiği direnç ve dayanıklılıktır.

Dayanıklılığını, mukavemetini vb. arttırmak için farklı asfalt türleri üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Bazalt lifi, sert, yoğun ve kararlı bir magmatik kaya olan ezilmiş bazaltın eritilmesi ve daha sonra yaklaşık 1500°C'de döndürülerek veya ekstrüde edilerek fiziksel olarak lifler oluşturulmasıyla üretilen bir mineral lifidir. Bazalt lifi yüksek elastik modülüne, yüksek çekme mukavemetine sahiptir, hava veya su ile herhangi bir zararlı reaksiyonu yoktur. Kimyasallarla temas ettiklerinde sağlığa veya çevreye zarar verebilecek hiçbir kimyasal reaksiyon oluşturmazlar. Güçlü ve stabil olduğu için altyapı için mükemmel bir güçlendirme malzemesidir. Ancak nispeten pürüzsüz yüzey nedeniyle selüloz kadar emici değildir. Ayrıca bu ürün, herhangi bir zararlı etkiye neden olmadan doğrudan doğada ayrışabilir. Bazalt elyaf kullanımı, inşaat ve otomotiv endüstrileri gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Yapısal elemanların güçlendirilmesinde yüksek fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı karbon ve cam elyaf yerine alternatif olarak kullanılabilir.

Bazalt, dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde bulunan ve bilinen kırılmış bir kaya olmakla beraber, inşaat, sanayi ve karayolu mühendisliğinde kullanılmaktadır. Ama bazaltın imalatla kullanılabileceği ve ince elyaflar haline getirilebileceği yaygın olarak bilinmemektedir. Bazalt termal stabilite, dayanıklılık, titreşim direnci, ısı ve ses yalıtım özellikleri bakımından diğer elyaf türlerinden daha üstün bir malzeme olarak bilinmektedir.

Bazalt ürünü hava veya su ile zararlı bir reaksiyona girmez, yanmaz ve patlamaya karşı dayanıklıdır. Diğer kimyasallarla temas halindeyken sağlığa veya çevreye zarar verebilecek hiçbir kimyasal reaksiyon oluşturmaz. Bazalt, neredeyse tüm asbest uygulamalarının yerini almakta ve ısı yalıtım özelliği daha iyidir. Bazalt esaslı kompozitler çeliğin ve bilinen tüm güçlendirilmiş plastiklerin yerini alabilir (1

kg bazalt takviyesi 9,6 kg çeliğe eşittir). Çeşitli uygulamalar için tasarlanmış bazalt fiber boruların ömrü, bakım, elektrik veya teknik koruma olmaksızın en az 50 yıldır(Sharma, 2016).

Bazalt lifi, Sovyetler Birliği'ndeki Rus Araştırma Enstitüsü tarafından 30 yıllık araştırma ve incelemenin ardından geliştirilen ileri teknolojik bir endüstriyel üründür. İlk endüstriyel üretim firmı 1985 yılında Ukrayna'daki bir elyaf laboratuvarında tamamlanmıştır. Bazalt lifi, 1450–1500 °C'de parçalanıp eritildikten sonra bir fırında hammadde olarak doğal bazalt kaya ile üretildikten sonra platin ve rodyum alaşımli tellerle işlenen tipik bir silikat lifidir. Bazalt liflerinin yüksek gerilme mukavemeti, yüksek ısı direnci, yüksek termal stabilite, iyi kimyasal direnç ve nispeten düşük üretim maliyeti gibi mükemmel özellikleri vardır.

Bazalt elyaf, yüksek rijitliği ve düşük uzaması nedeniyle artık çelik ve karbon elyafın değiştirilmesi için malzeme bilimcileri ve araştırma görevlileri için uygun bir seçim haline gelmektedir. Üstün sağlamlık değeri, onu hem şimdiki zamanda hem de gelecek dönem için faydalı bir takviye malzemesi yapıyor.

Bazalt lifleri sınırlı olmakla birlikte bazı ülkelerde bilinmekte ve kullanılmaktadır. Farklı ölçülerde üretimi mümkündür. 20 mikron çapında ve genellikle 5 mm ile 100 mm arası uzunluktaki elyaflardan üretilen lifler, betonda üç boyutlu bir güçlendirme etkisi yaratır. Hafif olduğu için betona eşit olarak dağılabilir.

Bazalt lifleri, betonun mukavemetini, dayanıklılığını, yangına dayanıklılığını vb. arttırabilen bir malzeme olarak betonda kullanılabilir.

Bazalt elyafın betona karıştırılmasıyla bazı fiziksel ve teknik üstünlükler yaratılmaktadır. Örneğin betonda oluşan çatlaklar önemli ölçüde azalmakta, betonun eğilme ve çekme etkisi altındaki performansı artmakta ve donma dayanımı yüksek geçirimsiz betonlar elde edilebilmektedir. Aynı şekilde betonun yorulma dayanımı ve aşınma direnci de artar. Kuru beton karışımı hazırlanırken karışıma bazalt lifi eklenmesi ve karıştırma süresinin normal betona göre %20 arttırılması önerilmektedir.

Taş mastik asfalt üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı sayıda olduğundan ilgili tez çalışmaları incelenmiş olup çeşitli makale ve bildirilerden yararlanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca verilmiştir.

Şahin (2021), yaptığı çalışmasında Taş mastik asfalt kaplamalarda katkı maddesi olarak selülozik fiber yerine vermikülit kullanımının soyulmaya karşı direncinin ve dolaylı çekme dayanımı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Tasarım parametrelerini Marshall test yöntemine uygun olarak belirlemiştir. Çalışmada vermikülit ve selülozik fiber katkıları içeren koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelere dolaylı çekme testi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre vermikülit içeren koşullandırılmamış numunelerin, selülozik fiber içeren koşullandırılmamış numunelere kıyasla dolaylı çekme dayanımlarının daha yüksek olduğu görülmüş ayrıca vermikülit içeren numunelerin tekerlek izi direncinin daha yüksek olabileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan Nicholson soyulma deneyi sonuçlarına göre vermikülit katkısının selülozik fiber katkısına kıyasla soyulmaya karşı dirençli olduğu görülmüştür.

Aslan (2020), yaptığı tez çalışmasında taş mastik kaplamalarda doğal kenevir lifinin selülozik lif yerine kullanabilirliğini araştırmıştır. Bu amaçla farklı bitüm oranlarında selülozik fiber katkısı ile 18 adet numune hazırlanarak optimum bitüm oranı belirlenmiştir. Fiber katkılarının asfaltın süzülmesine etkisinin belirlenmesi amacıyla %1, 2, 3, 4, 5 oranlarında fiber içeren ve fiber içermeyen referans karışımlara Schellenberger süzülme deneyleri uygulanmıştır. Kenevir lifi karışım oranının taş mastik asfalt karışımların özelliklerine etkisinin belirlenmesi amacıyla katkısız ve %1, 3, 4 oranlarında fiber katkılı TMA numuneleri hazırlanmıştır. Marshall tasarım metodu ile hazırlanan numunelerin hacim, özgül Ağırlık, hava Boşluğu, agrega boşluk Oranı, Bitüm ile dolu boşluk oranı, Marshall Stabilitate akma değerleri belirlenmiştir. Fiber olarak doğal kenevir lifi içeren TMA karışımları aynı özellikteki selülozik fiber içeren numuneler ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları neticesinde %1, 2 ve 3 oranlarında doğal kenevir lifinin süzülme açısından selülozik fibere kıyasla daha yüksek performans gösterdiği sonucuna varmıştır.

Arslan (2014), yaptığı tez çalışmasında İstanbul ili ve çevresindeki bulunan ocaklardan elde edilen kumtaşı (Kocaeli ili Gölcük) ve dolamitli kireçtaşının (İstanbul

ili Cebeci bölgesi)TMA karışımına etkisini araştırarak bu kayalardan üretilen TMA karışımlarının, bazalt (Çorlu ilçesi Karatepe bölgesi) kullanarak oluşturulan karışımlara alternatif olup olmayacağını araştırmıştır. Bu kapsamında KGM'nin sorumluluğunda üç ayrı proje ile imal edilen üç ayrı TMA karışımlarını fiziksel ve performans açıdan karşılaştırma esasına dayalı olarak incelemeler yapmıştır. Çalışmada, Cebeci dolamitli kireçtaşı ile Gölcük - kumtaşının, Karatepe - bazaltına TMA karışımlarda alternatif bir kayaç olarak kullanılması herhangi bir olumsuzluğa rastlanmadığını ve bu açıdan alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

İzol (2020), yaptığı tez çalışmasında taş mastik asfalt yapımında mineral filler olarak mermer tozunun kullanılmasını incelemiş olup çalışmada kaba ve ince agrega olarak bazalt, fiber türü olarak selülozik elyaf, 50/70 penetrasyonlu bitüm ve mineral filler olarak kalker, mermer tozu, bazalt kullanarak karışımlar hazırlamıştır. Mineral filler olarak bazalt ve kalker agregasının kullanıldığı numuneler kontrol numuneleri olarak değerlendirmiştir. Gerekli görülen agrega deneyleri ve ardından modifiye bitüm için gerekli deneyler yapıldıktan sonra karışımlar oluşturmuştur. Optimum bitüm miktarını belirlemek amacıyla bu karışımlara öncelikle Marshall stabilite deneyi yapmıştır. Ardından süzülme deneyi ve indirekt çekme deneyi uygulamıştır. Elde edilmiş değerler neticesinde filler olarak mermer içeren karışımlar birçok deneyde uygun sonuçlar vermiş olup ayrıca bazı önemli noktalarda kontrol karışımlardan daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu gözlenmiştir. Bu nedenle bazalt agregalarından yoksun fakat mermer atıklarının çok miktarda olduğu bölgelerde alternatif olarak mermer tozunun kullanılması avantajlı olacaktır. Ancak daha kesin sonuçlar elde etmek için farklı oranlarda mermer tozu içeren numunelerin incelenmesi önerisinde bulunmuştur.

Alp (2018), yaptığı tez çalışmasında taş mastik asfalt betonu ile geleneksel aşınma asfalt betonunun köprü uygulanmasında belirli karşılaştırmalar yaparak incelemiştir. Yapılmış olan deneysel çalışmalar sonucunda aşınma asfalt betonunun nitelik olarak taş mastik asfalt karışımlardan daha düşük olduğu ve maliyet analizi yapıldığında taş mastik asfalt kaplamalarının ülke ekonomisine katkı sağlayacağı sonucuna varmıştır. Ayrıca köprü yapımlarında TMA kullanımının yaygınlaştırılması önerisinde bulunmuştur.

Altan (2018), yaptığı çalışmaya göre elektrik ark fırın cürufunu taş mastik asfaltta agrega olarak kullanılabilirliği doğal agregalarla kıyaslamasını deneysel yöntemlerle araştırmış. Elde etmiş veriler sonucunda Elektrik ark fırın cüruflarının, yapay agrega olarak taş mastik asfalt kaplaması olarak kullanımının uygun olabileceğine varmıştır.

Köfteci (2018), çalışmasında taş mastik asfalt karışımında mineral elyaf olarak Pomzanın kullanılabilirliğini araştırmıştır. Deneysel çalışmada 50/70 penetrasyonlu bitüm kullanmıştır. Bitümün süzülme etkisini belirlemek amacıyla %2, 4 ve 6 lif içeriğine sahip TMA karışımlar ve kontrol karışımları için Schellenberg tsertleri ve Tel sepet testleri yapılmıştır. % 4 ve % 6 miktarındaki liflerle karışımların şartname sınırlarına uygun olduğu kanıtlamıştır. Ancak katkı oranı % 6 olduğunda karışımın işlenebilirliği azalmış ve bitüm akması artmıştır. Bu nedenle Marshall numuneleri sadece % 4 katkı oranı için hazırlamıştır. Ve elde edilen sonuçlar neticesinde pomzanın TMA karışımlarında selülozik elyaflarına alternatif olarak uygun oranda (%4) kullanılabileceği sonucuna varmıştır.

Akpolat (2014), yaptığı çalışmasında ılık karışım katkısının bitüm ve taş mastik asfalt kaplamaya etkisini araştırmıştır. Bunun için SBS ile sasobit katkı kullanarak bitüm ve bitümlü sıcak karışımlara etkisini kapsamlı olarak değerlendirmiştir. Yapılan deneylerin sonucunda bu katkıların birbirlerine farklı olduğunu yaptığı deneylerle belirtmiştir.

Kabadayı (2019), çalışmasında taş mastik asfalt karışımlarda filler olarak üleksit mineralini kullanarak performans olan etkilerini detaylı olarak incelemiştir. Yapılan deneyler sonucuna göre üleksitin mineral filler olarak kullanılması sonucunda stabilite ile esneklik modülü değerlerinde olumlu sonuçlar elde etmiş ve optimum üleksit–bazalt filler karışım oranını belirlemek için ileri düzey performans deneyleri yapılmasını tavsiye etmiştir.

Taşdemir (1998), yaptığı tez çalışmasında taş mastik asfalt karışımını detaylı olarak tanıtmış, bu karışımın üstünlükleri, sakıncaları hakkında bilgi vermiştir. Ve bu karışımın birçok açıdan diğer geleneksel asfalt karışımlara göre iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Erkuş (2017), yaptığı tez çalışmasında bitüm ve taş mastik asfalt kaplamalarda, bitümlü karışımların termal özelliklerini iyileştirmek amacıyla grafit kullanarak etkisini araştırmıştır. Karışımların termal özelliklerini iyileştirmek amacıyla 4 farklı oranda grafit katkısı kullanılan numuneleri saf karışımlara kıyaslama yaparak en uygun grafit katkısını bulmak için çeşitli deneyler uygulamıştır, bütün deneyler sonucunda %10 - %15 oranındaki grafit içeriğinin en etkili olduğunu tespit etmiştir.

Şanlıer (2018), yaptığı çalışmasında Kuzey Marmara Otoyolu Projesi kapsamında taş mastik asfalt uygulamaların maliyet analizi ile birlikte performanslarını karşılaştırdığı bir araştırma yapmıştır. Deneysel çalışmada 50/70 bitüm %4,5 oranında SBS ile modifiye edilmiştir. Taş mastik asfalt kaplamaları ilk yapım maliyetleri, geleneksel asfalt karışımlara nazaran fazla olsa bile, uzun hizmet ömrüne sahip olması ve az bakım onarım gerektirmesinden dolayı geleneksel asfalt kaplamalara göre daha ekonomik olduğu sonucuna varmıştır. Performans açısından özellikle tekerlek izi oluşumuna karşı direncini vurgulayarak bu tür bozulmaların yaygın olduğu alanlarda kullanılması önerisinde bulunmuştur.

Şengül (2011), yaptığı çalışmada yurt dışında asfalt kaplama teknolojisinde yaygın olarak kullanılan taş mastik karışımları incelemiş, katkı maddesi olarak sönmüş kirecin kaplama performansına olan etkisi SBS ve Elyaf (Viatop-66) katkı maddeleri kullanarak karşılaştırma yapmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sönmüş kireç katkısı bazı deneylerde düşük özelliklere sahip fakat diğer katkılarla uyumlu çalıştığını vurgulayarak taş mastik asfaltta kullanabileceğini önermiştir.

Kutluhan ve Ağar (2009), yaptıkları çalışmada bitümlü sıcak karışımlarda tekerlek izi oluşumunu etkileyen faktörleri ve bu tekerlek izini azaltmaya yönelik inceleme yapmışlardır. Kullanılacak agregalar, sert, dayanıklı, keskin köşeli ve kırılmış danelerden oluşması gerektiğinden bahsetmişlerdir. Tekerlek izine dayanım yönünden, nominal maksimum agrega tane boyutu ve iri agrega oranı yüksek olan gradasyonlar kullanılması önerisinde bulunmuşlardır.

Xing & diğ. (2020), yapmış oldukları çalışmada farklı liflerin asfalt mastiklerin özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Bu nedenle elyaf morfolojisinin

asfalt mastik performansı üzerindeki etkisini incelemek için iki tip flokülen eiyaf(lignin eiyafı ve sepiyolit eiyafı) ve iki tip demet eiyafı (bazalt eiyafı ve aramid eiyafı) dahil olmak üzere dört tip eiyaf seçilmiştir. İlk olarak, çeşitli liflerin termal stabilitesi, asfalt absorpsiyonu ve mikroskobik morfolojisi test edildi. İkinci olarak, çeşitli liflerle hazırlanan asfalt mastik numuneleri üzerinde penetrasyon testi, yumuşama noktası testi, eğilme kirişi reometresi testi ve dinamik kayma reolojisi testi gibi ilgili performans testleri yapılmıştır. Sonuçlar, liflerin morfolojisi ve liflerin asfalta adsorpsiyonundaki farklılık, asfalt mastikte farklı etkilere neden olmuştur. Flokülen lifler, aşırı asfalt sızıntısını önlemek ve adsorbe edilmiş asfaltı stabilize etmek için esas olarak “dengeleyici” rolünü oynamıştır. Uzun lifler, asfalt mastiğın güçlendirilmesinde ve sertleştirilmesinde rol oynamıştır. Lifler eklendikten sonra asfalt mastiğı daha viskoz hale gelmiştir. Standart uzun iğneyi kullanmak deney sonuçlarına göre uygun olmadığı gözlemlenmiştir. Koni penetrasyon testi, liflerin etkisini etkili bir şekilde önleyebilen ve lifli asfalt mastiklerin kesme direncini doğru bir şekilde değerlendirebilen daha büyük ağırlıklı bir standart koni kullanılması uygundur. Flokülen lifler asfaltı stabilize edebilirken, demet lifler dayanıklılığı arttırmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda Asfalt mastiğine liflerin eklenmesi tekerlek izi direncini azaltmıştır.

Karakuş(2011), yapmış olduğı çalışmada Diyarbakır bazalt atıklarının Mastik Asfalt'ta olası kullanımını araştırmıştır. Deneysel çalışmada, öncelikle Diyarbakır'daki bazalt işleme tesislerinden alınan ince ve kaba bazalt atıklarının elek analizi, kimyasal analiz, özgül ağırlık, su emme, Los Angeles aşınması gibi bazı önemli malzeme özelliklerini incelemiştir. Na₂SO₄ ile kayıp değerini, agreganın sağlamlığını, pullanma indeksini ve sıyrılma mukavemetini belirlemiştir. Daha sonra bu atık malzeme kullanılarak Türkiye Karayolları Teknik Şartnamesine uygun bir TMA tasarlamıştır. Tasarlanan TMA numuneleri üzerinde Marshall stabilite ve akış testleri yapmıştır. Test sonuçları bazalt atığının ve üretilen TMA'nın özelliklerinin belirtilen sınırlar içinde olduğunu ve bu atık maddelerin TMA'da agrega ve mineral filler olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

İskender(2013), yaptığı çalışmada bir Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) tekerlek izi testi ile daha kaba ve daha ince TMA karışımları için bazalt ve bazalt-kireçtaşı agrega kombinasyonlarının tekerlek izi oluşumunu

araştırmıştır. LCPC tekerlek izi testinin duyarlılığı, farklı maksimum agregat boyutları ve gradasyondaki değişikliklerle de değerlendirilmiştir. Karışımındaki iri agregat bazalt olarak seçilmiştir. Filler ve ince fraksiyonlar için bazalt ve kalker agregaları ile dört farklı kaya kombinasyonu tasarlamıştır. Derecelendirme değerlendirilmesine ek olarak, maksimum agregat boyutu etkilerini dört derecelendirme ile incelemiştir. Bazalt agregalarından gradasyon için tasarım prosesleri elde etmiştir. TMA karışımının tekerlek izi direnci, kireçtaşı agregasının TMA karışımı gradasyonuna ince veya filler agregat olarak dahil edilmesinde nispeten azalmıştır (SMA11 ve SMA12 için ortalama %0,24 ve SMA21 ve SMA22 için %0,41). Bu düşük seviyeli tekerlek izi farkı, LCPC tekerlek izi testleri ile kolayca gözlemlenebilir ve LCPC testinin güvenilirliği açıkça gösterilmiştir.

Cao & diğ. (2013), yaptıkları çalışmada üç çeşit taş mastik asfalt (TMA) karışımlarının (B-TMA olarak adlandırılan bazalt iri ve ince agregalar; L-TMA olarak adlandırılan kireçtaşı iri ve ince agregalar; BL-TMA olarak adlandırılan bazalt iri ve kalker ince agregalar kullanılarak) performansını karşılaştırmıştır. Sonuçlar, B-TMA'nın en iyi tekerlek izi direncini gösterdiğini, ardından BL-TMA'nın ve L-TMA'nın en son sırada geldiğini göstermiştir. Bununla birlikte, düşük sıcaklık performansı, çatlamaya karşı direnç ve nem karşı duyarlılık açısından sıralamaları ise tam tersi olduğu gözlemlenmiştir. Agregat tipi tekerlek izi direnci üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, ancak TMA karışımlarında düşük sıcaklıkta çatlama duyarlılığı veya nem duyarlılığı açısından önemli bir fark bulunmamıştır. Ayrıca, üç TMA karışımı için dinamik modülün ana eğrileri oluşturulmuştur, B-TMA en yüksek dinamik modülü göstermiştir ve Bazalt ve kalker agregaları kullanılarak TMA karışımlarının yorulma çatlama özelliklerini değerlendirmek için bir çalışma yapılması önerisinde bulunmuştur. Aynı Zaman'da bu bulguları doğrulamak için diğer asfalt bağlayıcılarla daha fazla çalışmaya gerektiğini vurgulanmıştır.

Huang & diğ. (2020), yaptıkları çalışmada hibrit modifikasyonun asfalt karışımının performans iyileştirmesi üzerindeki etkilerini araştırmak için taş mastik asfalt (TMA) aynı anda selüloz ve bazalt lifi eklenmiştir. Çalışma üç bölümden oluşmaktaymış. İlk kısım, mikroskop elektrik taraması da dahil olmak üzere selüloz ve bazalt lifinin malzeme özelliklerini araştırmışlardır. İkinci kısım, farklı selüloz ve bazalt elyaf kombinasyonlarının performans üzerindeki etkilerini değerlendirmek için

bir dizi test gerçekleştirmişlerdir. Karışım ağırlığına göre toplam %0,4 lif ilavesi ile asfalt karışımlarına 0 : 4, 1 : 3, 2 : 2, 3 : 1 ve 4 : 0 olmak üzere beş farklı selüloz-bazalt lif oranı katılmıştır. Sonuçlar genel olarak lifli tüm numuneler tüm performans testlerinde kontrol grubundan daha iyi performans göstermiştir. Spesifik olarak, selüloz lifi drenajı, sünekliği ve yorgunluğu daha önemli ölçüde iyileştirirken, bazalt lifi kalıcı deformasyon, sapma mukavemeti ve stres duyarlılığını iyileştirmede daha fazla etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. Selüloz ve bazalt liflerinin aynı nem hasarı direncine sahip olduğu görülmüştür. İki lifin mekanizmaları deney sonucunda farklı olduğu gözlemlenmiştir bu da asfalt karışımlarında farklı performans iyileştirmeleri sağlamaktadır. Selüloz elyafı ve bazalt elyafı kullanan TMA'nın hibrit modifikasyonu, ekonomik bir maliyetle daha dengeli bir performans sağlayabilir önerisinde bulunmuştur.

Cheng & diğ. (2017), yapmış oldukları çalışmada Diatomit ve Bazalt Elyaf Bileşik Modifiye Asfalt Mastiğinin Özelliklerine İlişkin Laboratuvar Çalışması yapmışlardır. Bu nedenle performansı incelemek için on üç grup diatomit ve bazalt elyaf (DBFCMAM) bileşik modifiye asfalt mastiği farklı içerikte hazırlanmıştır. DFCCMAM'ın yüksek sıcaklık performans değerlendirmesi için yumuşama noktası, koni penetrasyon, viskozite ve Dinamik Kesme Reolojik testleri, DFCCMAM'ın düşük sıcaklık performans çalışmasında ise kuvvet sünekliği ve Bükülen Işın Reometresi testlerini kullanmışlardır. Sonuçlar, Koni penetrasyon testi, yumuşama noktası testi viskozite testine göre asfalt mastiğine diatomit ve bazalt lifi ilave edildiğinde koni derinliği azalırken kesme gerilimi, yumuşama noktası ve viskozitesi artmıştır. Kuvvet süneklik testi sonuçlarına göre diatomit ve bazalt lifi ilavesi ile asfalt mastiğinin düşük sıcaklık performansı iyileştirilmiştir. Özetle, DFCCMAM'nin yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık özellikleri iyileştirilmiştir.

Cetin & diğ. (2020), yaptıkları çalışmada drenajın önlenmesinde selülozik elyaf katkılarına alternatif olarak bazalt elyafın TMA karışımlarının performansına etkileri araştırılmışlardır. TMA karışımı dizaynını Karayolu Teknik Şartnamesi' ne (KTŞ) göre Türkiye'de yaygın olarak kullanılan hammaddeler, Tip I dereceli kalker agrega ve B50/70 asfalt çimentosu olarak seçilmiştir. Toplamda 109 numune döner kompaktör ile üst serme tasarım yöntemine göre hazırlanmıştır. Bu numunelerin 60'ı %0,1'den 0'a oranlı bazalt elyaf katkılı numunelerdir. Sonuçlar, %8 kuru ağırlık

agregaya 25°C'de %0,6 bazalt lifi ilavesi, numunelerin esneklik modülünü ve çekme mukavemetini ciddi şekilde arttırmıştır. Ayrıca %0,4 bazalt elyaf karışımı numuneler, 40 C'de yapılan statik tek eksenli sürünme testi sonuçlarına göre kalıcı deformasyona karşı en büyük direnci sağladığı gözlemlenmiştir. Öte yandan, bitüm drenajı ve su hasar testi sonuçları kabul edilebilir sınır değerler içerisinde olduğunu belirtmişlerdir.

Qin & diğ. (2017), yaptıkları çalışmada çeşitli uzunluklarda (6 mm, 9 mm ve 15 mm) ve içerikte (%3-10) bazalt liflerinin asfalt mastiklerin özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Asfalt adsorpsiyonu, kayma davranışı, çatlak direnci ve yüksek sıcaklık reolojik özelliği sırasıyla sızıntı testi, koni penetrasyon testi, şerit çekme testi ve dinamik kesme reometresi testi ile değerlendirilmiştir. Takviye mekanizmasını anlamak için, taramalı elektron mikroskobu kullanılarak bazalt elyaf-asfalt mastiklerin mikro yapısı ve morfolojisi incelenmiştir. Sonuçlar, bazalt fiber ilavesiyle, asfalt mastiğinin özellikleri (asfalt adsorpsiyonu, mukavemet davranışı, çatlak direnci ve yüksek sıcaklık reolojik özelliği), özellikle lif uzunluğu (6 mm) ve içeriği (% 5–7) olduğunda çatlak direnci önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Bazalt lif asfalt mastiğinin kırılma özellikleri yüksek sıcaklık reolojik özellikleri, artan lif içeriği ile "önce artan ve sonra azalan" bir eğilim sergilemiştir. Bunun nedeni, farklı lif içeriklerinin neden olduğu adsorpsiyon ve takviye fonksiyonları arasındaki birleşik eylemlerdeki farklı olmasından kaynaklandığı görülmüştür. 6 mm bazalt lifli asfalt mastiğinin asfalt adsorpsiyonu ve mukavemet davranışı, asfalt mastik ile en büyük temas alanı nedeniyle 9 mm veya 15 mm ile daha iyi sonuçlar göstermiştir. Bazalt lifli asfalt mastik, tüm lif takviyeli asfalt mastik türleri arasında en kapsamlı performansı sergilemiştir. Bazalt fiber asfalt karışımının performansı üzerinde daha fazla çalışma yapılmasını önermişlerdir. Ayrıca Hamburg tekerlek izi (HWTĐ) testi, yüksek sıcaklık altında daldırma koşulunda bazalt fiber asfalt karışımının tekerlek izi derinliğini araştırmak için yapılmasını tavsiye etmişlerdir.

Xingyu & diğ. (2014), yapmış oldukları çalışmada Bazalt lifinin karakterleri analiz edilerek yaygın olarak kullanılan liflerle karşılaştırmışlardır ayrıca bazalt elyaf takviyeli asfalt mastiğın reolojik davranışları, dinamik kayma reolojik testleri ve tekrarlanan sürünme testleri ile araştırmışlardır. Sonuçlar, bazalt elyafın yüksek asfalt emme oranı, düşük su emme oranı, yüksek çekme mukavemeti, yüksek elastik modülü ve yüksek sıcaklık gibi mükemmel takviye performanslarına sahip olduğunu

göstermiştir. Dinamik kayma reolojik testleri, fiber takviyeli asfalt mastiğin tekerlek izi faktörünün normal asfalt mastikten daha yüksek olduğunu ve takviye etkilerinin yüksek sıcaklıkta daha belirgin olduğunu göstermiştir. Asfalt mastiğin reolojik performansı üzerindeki sıcaklık ve frekansın etkileri doğrusal ilişki göstermiştir. Bazalt lifli asfalt mastiğin reolojik davranışlarını temsil etmek için geliştirilmiş Burgers modeli kullanılmış ve model parametreleri tahmin edilmiştir. Ayrıca Çalışma sonuçları, bazalt elyafın, %2,5'lik optimum bazalt içeriği ile asfalt mastiğin yüksek sıcaklık stabilitesini büyük ölçüde artırabileceğini göstermiştir.

Wu & diğ. (2021), yaptıkları çalışmada Lif tipinin taş mastik asfaltın uzun vadeli performansı üzerindeki etkisini netleştirmek için bazalt lifi ve lignin lifi kullanarak TMA13'ün uzun vadeli performanslarını değerlendirmişlerdir. İki tür elyaf takviyeli TMA-13'ün kaplama performansları (yüksek sıcaklık performansı, düşük ve orta sıcaklıkta çatlama direnci ve su stabilitesi) farklı yaşlandırma derecelerinde (yaşlanmamış, kısa vadeli eskitilmiş ve uzun vadeli eskitilmiş) kontrol edilmiştir ve liflerin güçlendirme mekanizmasını açıklamak için taramalı elektron mikroskopu testi yapılmıştır. Yaşlandırma sonrasında asfaltın kimyasal bileşimindeki değişiklikleri analiz etmek için Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) kullanılmıştır. Tekerlek izi testi ve tek eksenli penetrasyon testinin sonuçları, bazalt fiber içeren TMA-13'ün yüksek sıcaklık performansının, lignin fiber içeren TMA-13'ünkünden daha iyi olduğunu göstermiştir. Farklı sulandırma derecelerinde bazalt fiber TMA-13'ün yüksek sıcaklık performansı, yaşlanma derecesinin artmasıyla artarken, yaşlanma süreci lignin fiber TMA-13'ün yüksek sıcaklık özelliğini azaltmıştır. Üç noktalı bükme testinin ve yarı dairesel bükmenin sonuçları, bazalt fiber TMA-13'ün düşük ve orta sıcaklıklarda deformasyona daha yatkın olduğunu ve çatlamaya daha az eğilimli olduğunu kanıtlamıştır. Marshall testinin sonuçları, bazalt lifinin'nin TMA-13 karışımının mukavemetini ve su stabilitesini lignin lif'den daha iyi iyileştirebileceğini göstermiştir. Kızılötesi spektroskopisi analizinin sonuçları, stiren-bütadien-stirenin (SBS) asfalt karışımı yaşlanması sırasında bozulduğunu ve asfaltın kimyasal bileşiminin yaşlandırma sonrasında lignin lif TMA-13'te bazalt lif TMA-13'e göre daha fazla değiştiğini göstermiştir. Fiber asfalt mastiğinin farklı sulandırma koşullarındaki özellikleri daha sonraki çalışmalarda test edilmesi önerisinde bulunmuşlardır.

Wan & diğ. (2014), yaptıkları çalışmada lif tipinin taş mastik asfaltın yol performansına etkisini araştırmışlardır. Bu nedenle örnek olarak üç farklı lif kullanan TMA-13: lignin lifi, polyester lif ve bazalt mineral lif kullanılmıştır. Karışımların Marshall testi, Schellenberg süzülme testi, Cantabro testi, Yerleşim stabilite testi, Donma çözülme döngüsü testi, Tekerlek izi testi ve karışımların küçük kırıının Bükülme testi temel alınarak, farklı liflerin TMA karışımının yol performansı üzerindeki etkileri araştırmışlardır. Sonuçlar, üç tip TMA karışımının tümü, su stabilitesi, yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık stabilitesinde iyi performans sergilemiştir. Mineral lifler kullanan TMA-13 karışımlarının, optimum yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık sergilediğini göstermiştir; lignin lifleri kullanan TMA karışımları ise optimum su stabilitesi sergilemiştir.

Wang & diğ. (2019), yaptıkları çalışmada bazalt lifli stiren-bütadien-stiren (SBS) ile modifiye edilmiş taş mastik asfaltın (TMA) performansını Superpave döner sıkıştırma ve Marshall sıkıştırma yöntemleri kullanarak değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Asfalt bağlayıcı test sonuçlarına göre bazalt elyafın SBS asfaltın temel özelliklerini iyileştirdiği ve güçlendirdiği kanıtlanmıştır. Superpave döner sıkıştırma ve Marshall sıkıştırma yöntemlerinin yoğunluk, hava boşlukları, mineral agregalardaki boşluklar ve asfaltla doldurulmuş boşluklar gibi optimum asfalt içeriği ve hacimsel özellikler üzerindeki etkileri ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Nihayet, yüksek sıcaklıkta sünme, düşük sıcaklıkta yarma ve nem stabilite performansını analiz etmek için Superpave döner sıkıştırma ve Marshall sıkıştırma yöntemleri ile hazırlanan asfalt karışımının üstyapı performansı karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, Superpave döner sıkıştırma'nın optimum asfalt içeriğinin (~%5,70) Marshall yönteminden (%5,80) biraz daha düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Superpave döner sıkıştırma numunelerinin üstyapı performansı, Marshall numunelerine kıyasla belirli bir dereceye kadar iyileştirmiştir. Bu da Superpave döner sıkıştırmanın daha iyi bir sıkıştırma etkisine ve mekanik performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Dong & diğ. (2013), yaptıkları çalışmada üç farklı lif türü olan ksilon lifi, polyester lifi ve bazalt mineral lifinin taş mastik asfaltın üstyapı performansı üzerindeki etkisini ve etki mekanizmasını, bu araştırmada TMA'nın üstyapı performansının optimizasyonu için karşılaştırmalı analizlerle incelemişlerdir. Sonuçlar, her bir lifin farklı dağılıbilirlik ve adsorpsiyon kapasitesinden dolayı,

yukarıda bahsedilen üç tür lif ile TMA'nın performansında büyük farklılıklar olduğunu ve bazalt mineral fiberli TMA'nın üstyapı performansında en iyi davranışa sahip olduğunu göstermiştir. Üç tip karışımın tekerlek izi testi ve düşük sıcaklıkta eğilme testinin sonuçları, karışımındaki fiberin asfalta dağılıbilirliğinin ve adsorpsiyonunun, karışımın yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklıkta çatlamasını önlemede önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca bu araştırmadaki tüm sonuçlar, bazalt mineral lifli karışımın, bu deneyde seçilen üç tip karışım arasında en uygun kaplama performansına sahip olduğu tespit etmiştir.

Xu & diğ. (2011), yaptıkları çalışmada bazalt fiber ile güçlendirilmiş TMA'nın performansı üzerine araştırma yapmışlardır. Bu nedenle elyaf TMA'nın homojenliğini ve yol kullanım performansını analiz etmek için laboratuvar testi yoluyla üç farklı fiber seçmişlerdir, kısa kesilmiş mineral fiber, mineral pamuk fiber ve lignin fiber. Karşılaştırma test sonuçları, mineral pamuk lifi ve lignin lifi TMA karışımının eklenmesinin homojenliğinin hemen hemen aynı derecede olduğunu ve bunların hepsinin kısa kesilmiş mineral lif eklenmesinden daha iyi olduğunu göstermiştir. Kısa kesilmiş mineral elyafı TMA'a ilave etmek su stabilitesini zayıflatmış. Sonuç olarak bu araştırmadaki elyaf asfalt karışımının homojenliği, yol performansı üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde genel olarak bazalt elyafın oranı üstünde daha çok çalışmış geleneksel bitümlü sıcak karışımlardan sonra taş mastik asfalt ile ilgili çalışma az bulunmaktadır öte yandan yapılan çalışmaları baktığında çoğu sadece bir tip lif üzerinde çalışmıştır. Hem selülozik elyaf hem bazalt elyaf kullanan çalışma görülememiştir. Bu çalışmada literatürde farklılık yaratabilecek bir düşünce ile selülozik elyaflar ile farklı boyuttaki bazalt elyafların kombinasyonu denenerek TMA stabilitesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

3. TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLAR

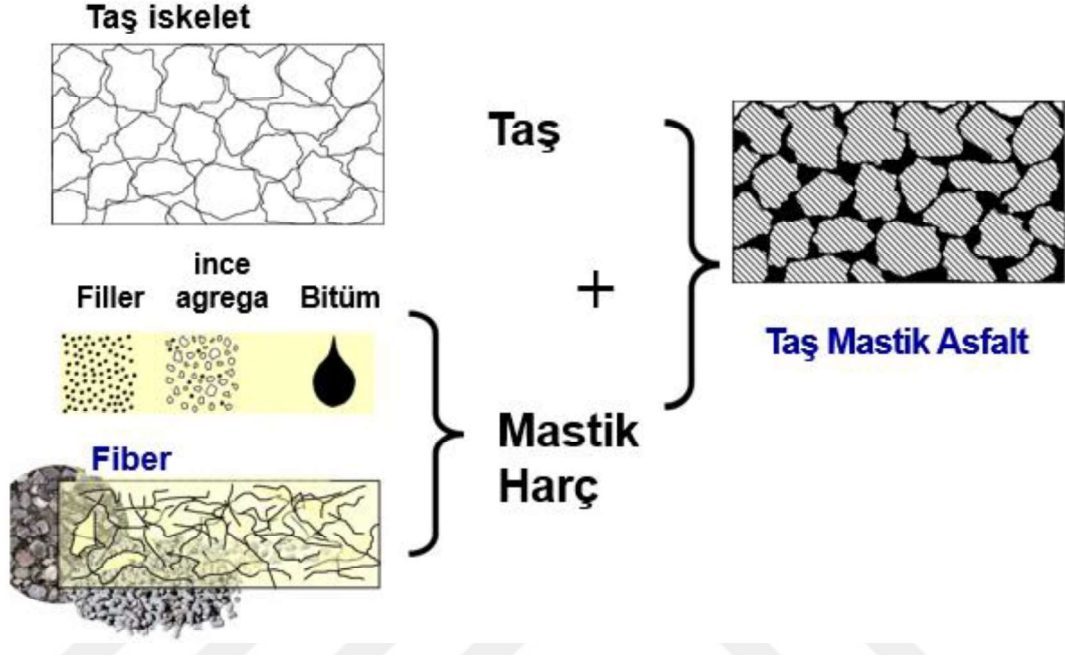
3.1 Giriş

Bu bölümde taş mastik asfalt karışımların genel tanımı, tasarımı, uygulama, Dünya'daki ve Türkiye'deki uygulamaları anlatılmıştır.

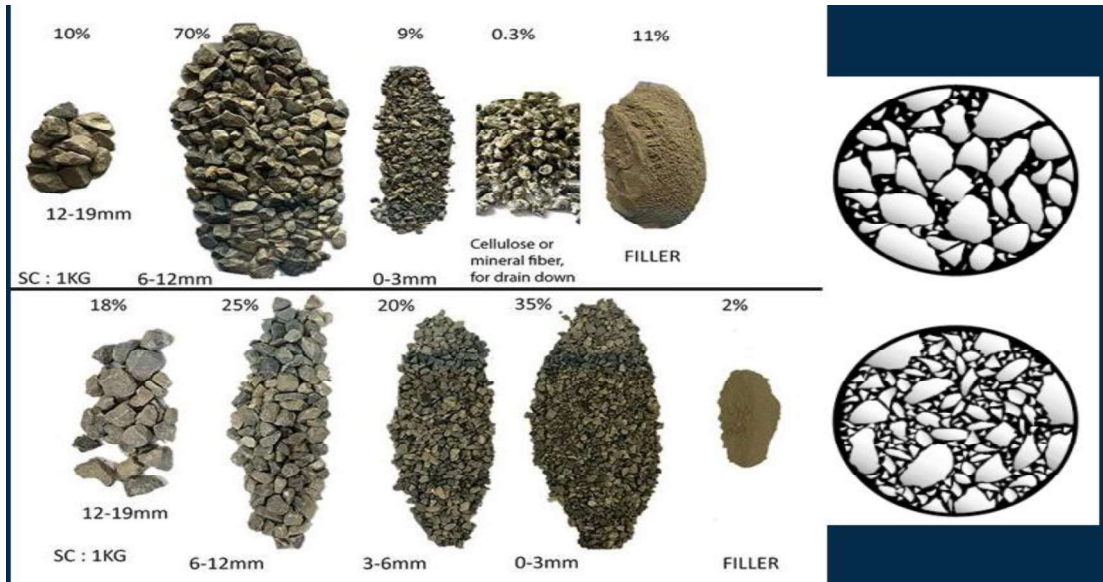
Bir bitümlü sıcak karışım (BSK) türü olan Taş Matik Asfalt (TMA) çivili kar lastiklerinin oluşturduğu kalıcı deformasyonlara azaltmak amacıyla geliştirilmiş bir karışım tipidir. Taş Mastik Asfalt'ın iskeleti, kaba agregası ve boşlukları dolduran mastik harç ve hava boşluğunun birleştirilmesiyle meydana gelmektedir. TMA'nın yapısı şekil 3,1'de gösterilmiştir. Kaba agregası yük aktarımını sağlayan (aktif) büyük agregası daneleri ile teşkil edilir. Mastik kısım, ince agregası yük aktarmayan (pasif), filler, bitüm ve stabilizör elyaf malzemelerinden meydana gelir. İnce agregası kullanılmasının nedeni kaba agregaların arasındaki boşlukları doldurmak, diğer nedeni ise kaba agregası danelerinin etkileşimlerine katkı sağlamaktır. TMA karışımlarında geleneksel asfalt karışımlarına nazaran daha yüksek oranda bitümlü bağlayıcı kullanılmasından dolayı, depolama-nakil-serme -sıkıştırma sırasında süzülmesini önlemek amacıyla stabilizör (fiber, polimer vb.) kullanılır.

1960 yıllarının ortalarında Almanya'da ilk olarak "Splittmastix asphalt" olarak geliştirilmiş olan TMA'nın aşınmaya ve çivili lastik aşındırmasına karşı dirençli olduğu ispatlanmıştır. Alman mühendis Dr. Zichner ve Strabag Bau AG'deki yol yapımı için Merkez Laboratuvarında taş matik asfaltı keşfetmişlerdir. Amaç aşınmaya ve çivili lastiklere karşı gerekli direnci sağlamaktır. O zamanlar Almanya'da aşınmalara karşı Gussasfalt (yani mastik asfalt) ve düşük iri agregası içeriğine sahip asfalt betonu kullanılmaktaydı. Bu tür yüzeyler, çivili lastik basıncına sahip araçlardan dolayı hızlı aşınmaya maruz kalıyordu. Her iki bileşen, mastik ve ince agregalar, karışıma uygun dayanıklılık sağlamak için çok zayıftı. Yol kaplamaları hızlı aşındığından sık bakım gerektiriyordu ve aşınma onarımının yüksek maliyeti nedeniyle Dr. Zichner çivili lastiklere karşı dayanabilecek bir asfalt karışımı tasarlamak için çalışmalara başlamıştır. 1984 yılında ulusal standart haline gelmiştir.

Bu tarihten beri, Avrupa’da ve dünyada kullanımı yaygınlaşmıştır. TMA’de deneyim kazanılırken, optimum performansının sağlanabilmesi için karışımın iyi dizayn elde edilmesi, yüksek standarda üretiminin yapılması ve uygulanması gerektiği saptanmıştır. Şekil 3.1’de TMA genel yapısı ve şekil 3.2’de TMA ile geleneksel BSK yüzey kesit alanı verilmiştir.



Şekil 3.1: TMA genel yapısı (Sultani, 2021).



Şekil 3.2: TMA ile geleneksel BSK yüzey kesit alanı (Mansourian, 2019).

1975 yıllarında Almanya’da çivili lastikler kullanımı yasaklanmıştır. Ancak taş mastik asfalt kaplamalar unutulmamış çok olamasa da kullanımına devam edilmiştir. Günümüzde TMA tekerlek izine karşı en yüksek direnç ve uzun hizmet ömrüne sahip, ağır trafik altında yüksek dayanımlı asfalt kaplama olarak kabul edilmektedir. 1980’li yılların başına kadar taş mastik asfaltının kullanımı Almanya dışında bilinmiyordu ve Avrupa’da kullanımı çok sınırlıydı. 1974 yılında İsveç’te birkaç yol kesimi, Avrupa Asfalt Üstyapı Birliği tarafından taş mastik asfalt ile kaplanmış ve bu uygulama sonrasında görülen olumlu sonuçlar nedeniyle birçok Avrupa ülkesinde TMA kullanımı popüler olmaya başlamıştır. 1990’ların başında Avrupa dışında TMA karışımlarının kullanımı artmıştır. Amerika Birleşik Devletleri’nde taş mastik asfalt tekniği 1991 yılında Avrupa’dan transfer edilmiştir. Deneme kesimleri ile başlatılan TMA uygulamaları daha sonra projelerle yaygınlaşmıştır. ABD’de ilk TMA projelerinde reçete tipi Alman şartnameleri esas alınmış ve daha sonra detaylı rasyonel bir karışım dizayn metodu geliştirilmiştir. 1998 yılına kadar, en az 28 eyalette 100’ün üzerindeki projede bu teknolojiyle 4 milyon ton’un üzerinde TMA karışımlarının kullanılmasına ve Avustralya, Yeni Zelanda, Çin gibi diğer ülkelerde yönetmelik ve yönergelerin yayınlanmasını sağlamıştır.

Tablo 3.1: Avrupa’da TMA Kullanımı (Sultani, 2021).

Ülke	Tarif
Belçika	Yenilenme ihtiyacı olan birçok yüksek trafik hacmine sahip Yollar TMA İle tekrar kaplanıyor.
Hollanda	Yaklaşık olarak 1987 yılında kullanılmaya başlandı.
Çek Cumhuriyeti	1991 yılında kullanılmaya başlandı; TMA teknolojisi giderek yaygınlaşıyor.
Danimarka	1982 yılında kullanılmaya başlandı; TMA yüksek trafik Hacmine sahip Yollarda, havalimanlarında, endüstriyel alanlarda kullanılıyor.
Faroe Adaları	1992 yılında yollarda TMA kullanmaya başladı.
Finlandiya	TMA özellikle trafiği yoğun olan yollarda kullanılır. TMA, çivili lastik Kullanımı ve düşük sıcaklıklarda oluşan deformasyona karşı iyi bir direnç Gösterdiğinden en iyi yol kaplaması olarak kabul edilir.
Fransa	İnce tabakalı yol yüzeylerinde TMA 'nın yanında iki ayrı karışım daha kullanılıyor.
Macaristan	1983 yılında kullanılmaya başlandı.

Tablo 3.2 (devamı)

İzlanda	Sadece yollarda kullanılıyor.
İtalya	1991 yılında kullanılmaya başlandı.
Norveç	1985 yılında kullanılmaya başlandı. TMA yüksek trafik hacmine sahip Yollarda, havalimanlarında, endüstriyel alanlarda kullanılıyor.
Portekiz	1994 yılında kullanılmaya başlandı.
İsveç	Araştırmalar 1974 yılında İsveç'te ele alınmıştır; 1988 yılından beri Otoyollarda ve ana arterlerde standart aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır.

Taş Mastik Asfaltı'nın Avantajları; TMA'nın birincil avantajı, geleneksel yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfalta göre sağladığı daha uzun hizmet ömrüdür. Diğer avantajları, gürültü düşüklüğü ve sahip olduğu yüksek kayma direnci ile iyi görünürlük sağlayan yüzey kaplamasıdır.

Taş mastik asfalt kaplamaların avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- TMA, dokulu, uzun ömürlü ve aşınmaya dayanıklı bir aşınma tabakası sağlar.
- TMA yüzey kaplama, esnek mastiği nedeniyle alttaki çatlak kaplamalardan kaynaklanan yansıma çatlaklarının azalmasını sağlayabilir.
- Daha fazla dayanıklılık, TMA'nın daha uzun bir ömre sahip olmasını ve bakım ve maliyetlerinin azalmasını sağlar.
- Kalıcı deformasyona veya tekerlek izine karşı direnç sağlar(yoğun gradasyonlu bitümlü karışımlardan %30-40 daha az kalıcı deformasyon).
- TMA'nın mekanik özellikleri, taştan taşa temas dayanır, bu nedenle bağlayıcı değişkenliklerine geleneksel karışımlardan daha az duyarlıdır.
- Yüksek bağlayıcı içeriği (yavaş yaşlanma) nedeniyle iyi dayanıklılık, geleneksel karışımlara göre daha uzun hizmet ömrü (%20'ye kadar) sağlar.
- İyi esneklik ve yorulmaya karşı direnç sağlar (3-5 kat artan yorulma ömrü).
- Düşük sıcaklıklarda iyi performans gösterilir.
- Daha kaba yüzey dokusu özellikleri, su sıçramayı ve parlamının yanı sıra lastik ve kaplama temasından gelen sesi azaltabilir.

- TMA, yoğun gradasyonlu asfalt için mevcut olan aynı tesis ve ekipmanla üretilbilir ve sıkıştırılabilir.
- Uzun vadede daha ekonomiktir.
- Islak kaplamalarda geliştirilmiş kayma direnci dahil olmak üzere kullanıcı dostu ve güvenlik özellikleri sağlamaktadır.
- Sıkıştırma sırasında çok az sıkıştığı için tekerlek izi olan veya pürüzlü bir yüzey üzerine serilebilir. Bu aynı zamanda iyi bir boyuna ve enine düzgünlük sağlamaya da yardımcı olur. Farklı silindir kalınlıklarında uygulandığında dahi yüzeyin son düzgünlüğüne herhangi bir zararı yoktur.
- TMA'nın beklenen bir ikincil faydası, yansıma çatlaklarının gecikmesidir.
- Bu karışım daha fazla yapıştırıcı katkı içerdiğinden dolayı daha geç yıpranır ve aşınır.
- Sert ve iri parçacıkların varlığından dolayı bu karışımın trafiğe karşı aşınma direnci çok iyidir.
- Kaplama yüzeyindeki kaba dokuya sahip olması, ıslak zeminden geçen araçların neden olduğu su sıçramasını azaltır.
- Hareket eden arabaların neden olduğu gürültü kirliliğini azaltır(NAPA, 2002; Nasrazadany, 2016).
- Yol çizgileri görüşünde artış sağlar.
- Gece karşı şeritteki araçlardan yansıyan ışıkları azaltır.
- Daha az bakım ve servis harcaması gerektirir.
- Su kızaklamasını engeller.
- Yüzey su püskürmesini azaltır (öndeki araçtan).

TMA kaplamalarının en önemli özelliği, kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olmasıdır. Özellikle kanalize ağır trafiğin olduğu yollarda tekerlek izi sorunu önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. TMA kaplamaları konvensiyonel aşınma tabakalarına nazaran tekerlek izi gibi kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olduğu gibi soyulma, yüzeysel çatlaklar (düşük ısı ve trafikten kaynaklanan) ve kopmalar daha az görülmektedir. TMA kaplamalarında kullanılan karışımlarda daha katı veya daha çok asfalt kullanıldığı için bağlayıcının aşınmasını azaltılarak deformasyon direncin artırılabilir(Koçyiğit, 2013).

Geliştirilmiş Kaplama Performansı

ABD’de 85 taş mastik asfalt projesinin performansı değerlendirilmiştir. Elde edilmiş sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- TMA projelerinin yüzde 90’ından fazlasında tekerlek izi ölçümleri 4 mm’den az oturma oluşmuş ve yüzde 25’inde ise ölçülebilir tekerlek izi oluşmamıştır.
- TMA karışımları, muhtemelen nispeten yüksek bitüm içeriğinden dolayı, yoğun gradasyonlu karışımlara göre çatlamaya daha dirençli olduğu görülmüştür.
- TMA projelerinde sökülme olduğuna dair hiçbir belirti görülmemiştir.
- TMA yoğun gradasyonlu sıcak asfalt karışımlardan % 30-40 daha az tekerlek izi oturması yaptığı görülmüştür.
- TMA, yoğun gradasyonlu karışımlara kıyasla yorulma çatlağına karşı direnci 3 ila 5 kat daha fazladır.
- Almanya'daki deneyimlere göre, TMA’ların 20-30 yıllık hizmet ömrünün olağanüstü bir durum olmadığı görülmüştür.
- Soyulma, yüzey çatlaması (hem sıcaklık hem de trafiğe bağlı) ve sökülme, taş mastik asfaltta bu tür bozulmalara genellikle rastlanmamıştır(NAPA, 2002; Temren, 2020).

Gürültü seviyesinin düşüklüğü

Yoğun gradasyonlu karışımın aşınma takası yerine TMA aşınma tabakası ikame edildiğinde gürültü seviyesinde önemli bir azalma olduğu görülmüştür.

Bu konuda yapılan çalışmaların özet sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

- Almanya'da yapılan bir çalışma, yoğun dereceli sıcak karışım, TMA ile değiştirildiğinde gürültü seviyesindeki azalmanın 2,5 dB(A)’ya kadar çıkabileceğini göstermiştir.
- Birleşik Krallık’te Ulaştırma Araştırma Laboratuvarı, bazı karışımlar için agrega boyutu ile gürültü seviyeleri arasındaki ilişkiyi değerlendirmiştir. Çalışmaya nominal maksimum agrega boyutları 14 mm, 10 mm ve 6 mm

olan üç TMA karışımı dahil edilmiştir. 14 mm boyutlu TMA, geleneksel sıcak karışım asfalta (tipik olarak Birleşik Krallık'ta kullanılır) 2,7 dB(A) daha sessiz olduğu saptanmıştır . Buna karşılık, 10 mm TMA, 14 mm'den 0,8 dB(A) daha sessiz, 6 mm SMA ise 1,8 dB(A) daha sessiz olduğu tespit edilmiştir.

- TMA'nın akustik özellikleri, Maryland, Frederick ilçesin'deki üç bölgede yoğun gradasyonlu karışımı ile karşılaştırılmıştır. TMA'nın gösterilen akustik faydaları açık gradasyonlu asfalt karışımına benzer olduğu tespit edilmiştir
- Almanya'daki bir başka çalışmada yoğun gradasyonlu asfalt karışım yerine TMA kullanıldığında gürültüde 2.0 dB(A)'lik bir azalma olduğunu görülmüştür.
- Birleşik Krallık'ta yapılan başka bir çalışmada, sıcak haddelenmiş asfalt ile nominal boyutu 6 mm olan TMA karşılaştırıldığında, 70-90 km/saat hızda, gürültü seviyesinde 5,2 dB(A)'ye kadar azalma olduğu görülmüştür(NAPA, 2002; EAPA, 2009).

Görünürlük

Yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfaltdan daha iri yüzey dokusuna sahip taş mastik, asfalt yüzeyinde daha fazla su tutabilmektedir. Bu da geceleri ıslak yüzeylerden kaynaklanan parlamanın azalmasına, yol işaretlerinin görünürlüğünün artmasına ve püskürmenin azalmasını sağlamaktadır.

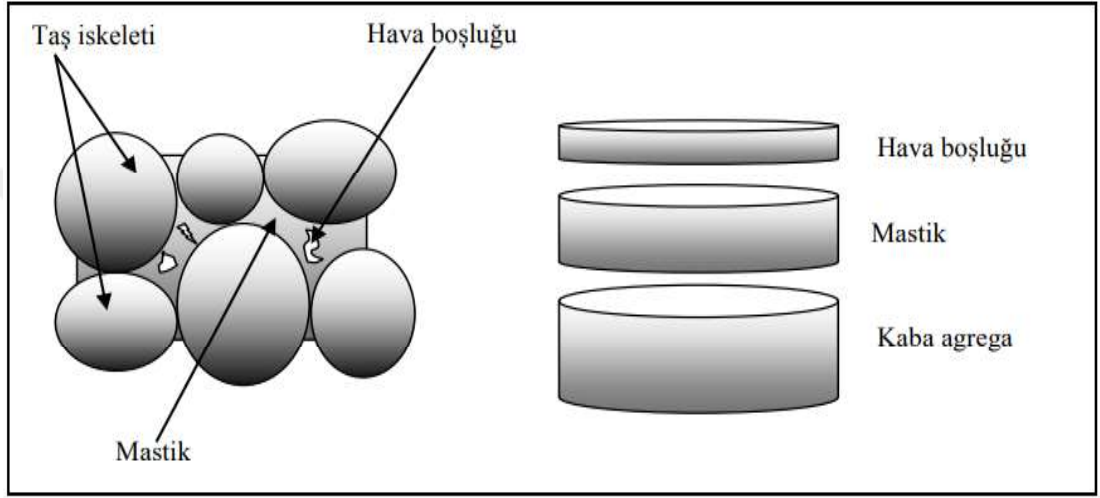
Taş Mastik Asfaltı'nın Dezavantajları; Taş mastik asfalt pek çok yapısal ve işlevsel olumlu üstünlüğü nedeniyle, ağır trafik yüküne sahip olan yollarda aşınma tabakası kaplamalar için en iyi kaplama olarak kabul edilmektedir. Ancak, kendine has birleşimi ve malzeme özelliği nedeni ile üretim, nakliye, serme ve sıkıştırma açılarından dolayı bazı olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Bu olumsuz tarafları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Ekstra filler ve elyaf eklenmesi gerektiği için karıştırma süresi uzar ve plant verimliliğin azaltılmasına da neden olur.

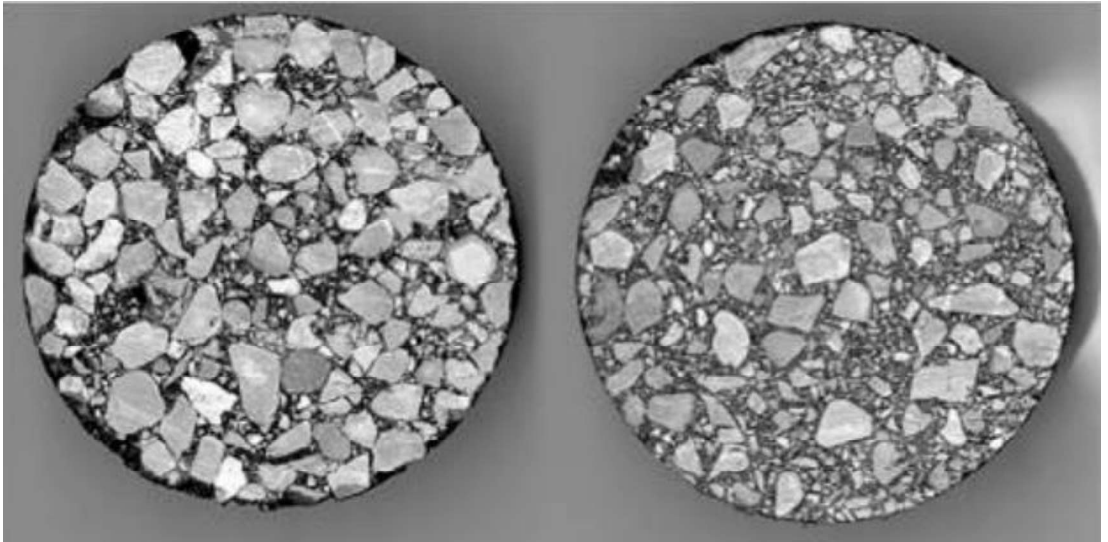
- TMA, yüksek oranda bitüm, filler ve stabilize edici katkı maddesi gerektiği için maliyeti daha yüksektir.
- TMA yola serildikten sonra, bağlayıcının yüzeyde toplanmaması için 40°C'a kadar soğumadan yolların trafiğe açılmaması gerekir. Bu nedenle trafiğe açılması gecikecektir.
- TMA gibi kesikli-açık gradasyonlu ve ince kaplamalarda soyulma ve aşınma meydana gelebilir.
- TMA'nın sertliği /elastisite modülü klasik BSK karışımlarından düşüktür.
- Karışımda polimer kullanıldığında asfaltın sıcaklığı daha yüksek olması gerektiğinden, karışımın taşınma mesafesine kısıtlamalar getirilebilir.
- TMA yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfaltına göre daha sert ve işlenebilirliği düşüktür. Bu sebeple özellikle modifiye bitüm kullanıldığında, işlenebilirliği düşük olduğu için karışımın sıkıştırmasında daha fazla dikkat gerekir.
- İnce kaplamalar genellikle yapısal bir tabaka olarak düşünülmez ancak TMA, kalıcı deformasyona direnci yüksek olduğundan yapısal bir tabaka olarak değerlendirilir.
- Taş mastik asfalt karışımında geleneksel asfalt karışımına göre bitüm içeriği fazla olduğu için, üretim, depolama, taşıma ve serme-sıkıştırma işlemleri büyük bir özen gerektirir.
- TMA'nın tasarımı, üretimi ve uygulanmasından kaynaklanan hatalar veya değişiklikler nedeniyle kaplama yüzeyinde bitüm kusması meydana gelir.
- Karıştırma tesisinde bileşimin daha dikkatli izlenmesi gerekir.
- Gerekli sıkıştırmanın elde edilmesindeki zorluk nedeniyle süzülme ve bitüm kusması sorununu kontrol altına almak için depolama ve sıkıştırma sıcaklıkları düşürülemez(Arslan, 2014; Sultani, 2021; EAPA, 2009).

Taş Mastik Asfaltın Hacimsel Yapısı; Taş mastik asfalt(TMA), iskeletini oluşturan kaba agrega ile boşlukları dolduran Mastikten (yani, bağlayıcı, filler, ince agrega ve stabilizatör katkılar) oluşmaktadır. TMA aşınma tabakaları ağırlıkça yaklaşık %70-80 iri agrega ,%20-30 ince agrega ve %6-7 gibi oldukça yüksek bir asfalt içeriğine ve kesikli bir gradasyona sahip asfalt bağlayıcılı karışımlardan oluşmaktadır.

TMA kaplamalarda kullanılan iri agrega asfalt betonunda kullanılan iri agregaya göre daha sert ve filler yüzdesi daha fazla olduğu için bitüm süzülmesi meydana gelmektedir. Bitümün akmasını engellemek amacıyla karışıma fiber türü selülozik veya mineral elyaf katılmaktadır. TMA ve yoğun gradasyonlu karışımlar arası temel farklar, kaba agrega iskeletin yapısı, kesikli derecelenmiş agrega gradasyonu, yüksek boşluk oranı ve ayrıca fazla bitüm içeriğidir. Kaba agrega iskelet yapısını oluşturur. Harcın bir kısmını oluşturan ince agreganın TMA iskelet yapısının oluşumunda temel olarak hiçbir rolü yoktur. TMA'nın hacimsel yapısı Şekil 3.3 ve 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Taş mastik asfaltın hacimsel yapısı(Arslan,2014).

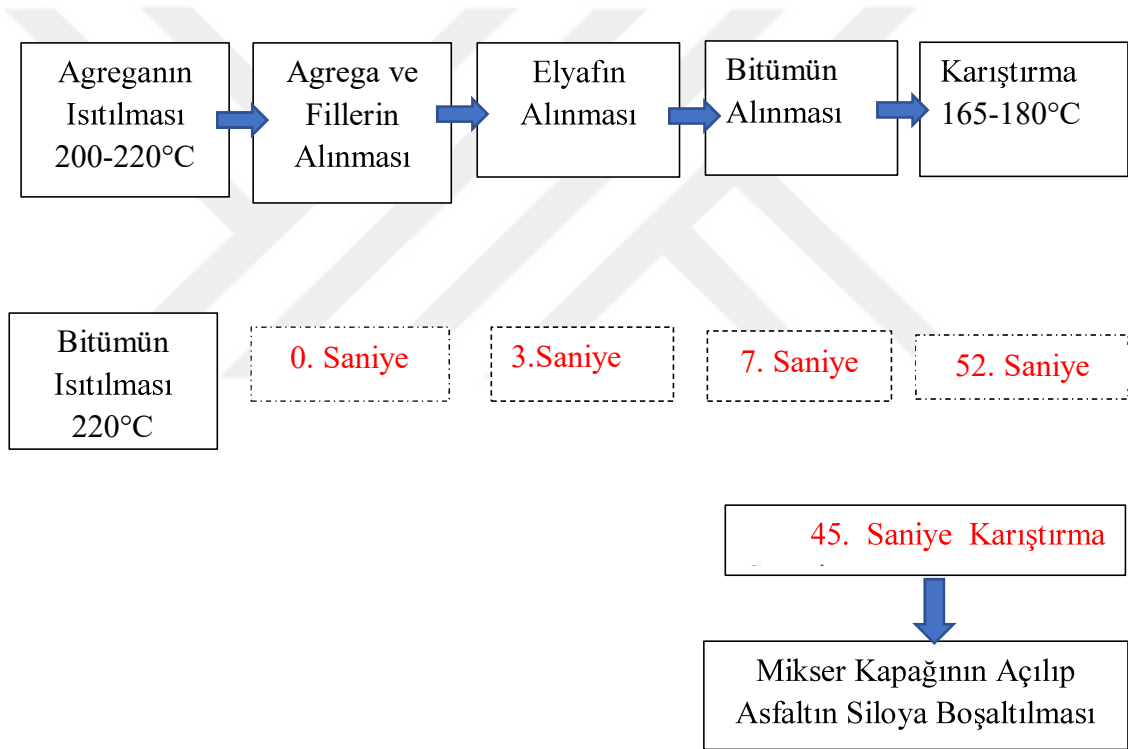


Şekil 3.4: Taş mastik asfalt (solda) ve asfalt betonu sağda (Temren, 2020).

3.2 Tasarım ve Uygulama

TMA karışımının üretimi, birkaç nokta dışında bitümlü sıcak karışımlarla aynıdır. Benzer tesisat ve makinelerle üretilir ve serilir. Fakat taş mastik asfalt üretilmesi ve serilmesi aşamasında hassas olunması gerekir.

Aşağıda BSK üretim aşamaları anlatılmakta, gerekli yerlerde farklılıklardan bahsedilmektedir. Taş mastik asfalt karışımların hazırlanmasında üretim aşamaları bir zincir oluşturur. Bu üretim zincirinde süreler ve sıcaklıklar önemlidir. Bu zince azami düzeyde uyulması üretim kalitesini artırır. Şekil 3.5'te üretim zinciri gösterilmektedir.



Şekil 3.5: TMA üretim zinciri (Şanher, 2018).

Taş mastik asfalt kaplamaların üretilmesi sırasında dikkate alınması gereken hususlar

- Asfalt karışımının karıştırma sıcaklığı 165°C-180°C arasında olmalıdır.
- Plentin üretim sıcaklığını dengelenmesi ve sıcaklığın kararlı olması gerekir
- Uygun karıştırma zamanı ayarlanıp muhafaza edilir
- TMA karışımının, stok tanklarında bekleme süresini en aza indirilmesi gerekmektedir.
- Yeterli malzemenin stokta tutulması ve agrega gradasyonuna dikkat edilmelidir
- TMA karışımının, stok tanklarında bekleme süresini en aza indirilmelidir
- Elyaf üniform bir şekilde silodan karıştırıcıya verilmelidir.
- Karışıma elyaf eklenme zamanı ve karıştırma süresi üreticinin önerdiği şekilde olmalıdır.
- Modifiye bitüm kullanılması durumunda karışımın plentte modifiye edilmesi, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, karışımın karıştırma süreleri, üreticinin önerilerine göre olmalıdır.
- Stabilize edici katkı malzemelerinin kullanılması durumunda bu malzemeler, mikser cihazına önceden kesin olarak ölçülmüş oranlarda eklenmelidir. Bu malzemelerin ağırlığındaki değişiklikler asfalt karışımının özelliklerinde ve performansında değişikliklere neden olur. Selüloz katkı maddeleri kullanılıyorsa kullanımdan önce neme maruz bırakılmamalıdır.
- Karıştırma önceliği sırasıyla, agrega malzemeleri, filler, stabilize edici katkı maddeleridir, karıştırma cihazında bitüm her zaman gözlemlenmelidir.
- TMA üretimi sırasında asfalt plenti tarafından başka bir tür asfaltın hazırlanması ve üretilmesinden kaçınılmalıdır(NKD, 2014; Koçyiğit, 2013; Şanlıer, 2018; Sultani, 2021).
- Karışımında fillerini tutturabilmek için ilave filler takviyesi, hassas bir şekilde yapılmalıdır. Bu amaçla plentte ilave fillerini katacak sistem bulunmalıdır.
- Yüksek ısılarda çalışılmasından dolayı plente ait ekipmanların da ısıya dayanıklı olması gerekir. Özellikle elek sistemleri ve rulmanlar ısıya dayanıklı olmalıdır.

- Fiberin miksere atılması da önemli bir konudur. Bu amaçla plantlerde otomatik alım sistemleri veya hava ile miksere basan özel sistemler gereklidir.
- Fiberin elle atılması ise zamanı yakalanamaması açısından sakıncalı durumlar oluşturmaktadır.
- Sıcak silosu olmayan mobil plantlerde her batch direk olarak kamyonu boşaltıldığından dolayı ısı kaybı söz konusu olmaktadır.
- Agreganın nemli olması durumunda ısıda oynamalar söz konusu olmaktadır. Mümkün olduğunca rutubeti birbirine yakın malzemeler kullanılmalıdır.
- Kaplamada fiber birikiminin önlenmesi için de fiberin çok iyi karıştırılması gerekir. Bu nedenle fiberin atıldığı yer de önemlidir .
- Kullanılan fiberin depolanması esnasında nemden dolayı topaklanmaması gerekir.
- Fiberin miksere atılması esnasında karışım süresine çok dikkat edilmelidir. Fiber ne toz haline gelecek ne de dağılmadan kalacak şekilde olmamalıdır.
- Bu nedenle de yapılan süzme deneyinden elde edilecek sonuca göre fiberli karışım süresi ayarlanmalıdır.

Taş Mastik Asphalt Kullanımı ve Uygulama Alanları; Taş mastik asphalt kaplamaları geleneksel asphalt kaplamalarına göre daha yüksek bitüm içeriği ve kaba agregaya sahip olduğundan, daha kalın film tabakası oluşturarak dayanımı da artmaktadır. Taş mastik asfaltta daha fazla asphalt bağlayıcı kullanıldığından serme ve sıkıştırma anında bağlayıcının akmasını engellemek için karışıma katılan stabilizör (selüloz veya mineral fiber), karışımın segragasyonunu önleyerek karışımın daha homojen olmasını sağlar. Böylece hem stabilite ve hem performans (sürüş konforu ve emniyeti) açısından daha üstün nitelikli bir aşınma tabakası elde edilebilmektedir. Zira TMA karışımlarında kullanılan agregalar yüksek oranda işlenmiş (kırılmış) ve boşluklu gradasyona sahip olduğundan dolayı içsel sürtünme direnci artmakta ve tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha dirençli olmaktadır. Ancak taş mastik asphalt karışımları geleneksel asphalt karışımlarına kıyasla maliyet olarak %20-%30 daha fazla pahalı olup bunun nedeni ise stabilizör katılar eklenmesi, daha dayanıklı agrega ve yüksek bitüm içeriği kullanılması zorunludur. TMA kaplamalar geleneksel asphalt tabakalarına göre daha ince tabakalar olarak yapılabilmesinden dolayı, imalatı daha

abuk yapılabilmekte ve aynı zamanda daha az bakım ihtiyacı olur. Dolaysı ile taş mastik asfalt tabakası, aşınmaya ve plastik deformasyonlara karşı daha dirençlidir. Homojen ve geçirimsiz oluşu sebebiyle yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır.

TMA karışımları normalde ağır trafik hacmine sahip, ağır yük ve yüksek tekerlek basıncına maruz kaplamalarda kullanılır. Daha önce belirtildiğı gibi, yoğun gradasyonlu karışımlar yerine kullanılan TMA'dan kaynaklanan ilave maliyet, bu karışımla elde edilen daha uzun hizmet ömrü ve yüksek performansla karşılanmaktadır.

TMA'nın potansiyel uygulama alanları aşağıda belirtilmiştir:

Yüksek basınca maruz kaplamalar

Genellikle TMA tekerlek izine karşı daha iyi direnç sağlayan ideal bir kaplama tipidir. TMA kavşaklar ve kamyon terminalleri gibi yüksek basınca maruz olan alanlar için oldukça uygun bir karışımdır.

Yüksek gerilimli kaplama alanları

TMA, kavşaklar ve kamyon terminalleri gibi yüksek gerilimli kaplama alanları için oldukça uygundur. 40 mm kalınlığında 11 mm nominal boyutlu bir TMA karışımı, Hollanda'da 3 yıl garanti gerektiren bir konteyner terminal yolunda başarıyla kullanılmıştır.

Çivili lastiklerin aşınmasına karşı direnç

TMA, 1960'lı yıllarda Almanya'da, esas olarak, artık orada kullanılmayan çivili lastiklerin neden olduğu aşınmasına karşı bir kaplama yüzeyi sağlamak için geliştirilmiştir. Bununla birlikte, TMA çivili lastiklerin yasal olduğu ülkeler de kullanılmaktadır. Bu amaçla yüksek nominal agrega boyutuna sahip TMA karışımları ve aşınmaya karşı mükemmel dirençli agregalar tercih edilmektedir. İsveç'te yapılan araştırmalar, TMA'da nominal agrega boyutunun 12mm'den 16 mm'ye çıkarılmasının çivili lastiklerden kaynaklanan aşınmayı %40 oranında azalttığını göstermiştir

İnce takviye tabakası

Avrupa’da mevcut üstyapının, sürtünme direncini arttırmak veya bakımı için 5mm-8mm nominal tane boyutuna sahip TMA, ince takviye tabakalara 2-3 cm olarak uygulanır.

Özellikle güçlendirme projelerinde mevcut alt tabakada çatlaklar varsa tasfiye edilir. TMA yüksek bitüm içeriğinden dolayı daha esnek bir kaplama çeşidi olduğundan iç ve dış hareketlere karşı daha dayanıklıdır. Sonuç olarak, yoğun dereceli bir karışımın aksine, alt tabakada yukarı doğru yansıyan çatlak riski azalır, böylece kullanım ömrü artar.

Yüksek hızlı trafiğe maruz otoyollarda

Taş mastik asfalt ve açık dereceli karışımlar ile yüksek kayma direncine sahip iyi bir yüzey dokusu elde edilebilir. Ayrıca sağlanan bu doku ile yüzeyde tutulan suyun derinliği azalır. Bu sayede özellikle yüksek hızlarda yol yüzeyi bu şekilde daha güvenli olduğu için otoyollarda TMA tercih edilmektedir(EAPA, 2009).

Havaalanı kaplamaları: Avrupa Asfalt Kaplama Derneği (EAPA) tarafından hazırlanan bir rapora göre, havaalanı pistlerinin taş mastik asfalt uygulanmasıyla yeni bir değişim süreci başlamıştır. Uygulanan denemelerden çok sayıda başarılı sonuç elde edilmiş böylece uygulamaların sayısı giderek artmıştır. (Oslo’da Gardermoen, Güney Afrika’da Johannesburg, Frankfurt’ta Fraport). Özellikle Fraport Havaalanı, devasa trafik kapasitesi ve yılda 200.000’den fazla olan uçak kalkış-iniş miktarları bakımından, dünyanın en büyük havalimanlarından biridir. Bu havaalanında uygulanan taş mastik asfalt kaplaması sasobit ile modifiye edilmiştir. Yıpranmış beton kaplamanın sökülmesi ve yerinde TMA ile yenilenmesi iki sene sürmüş ve bu arada havaalanı hizmet vermeye devam etmiştir(Arslan, 2014; NAPA, 2002; Sultani, 2021).

Köprü döşemeler: köprü yapılarında kullanılacak yüzey kaplaması, zemin üzerine uygulanan kaplamalar gibi olmamalıdır. Zira köprülerde uygulanacak döşemeler, ısınma ve soğuma etkilerine karşı fazla hassastır. Örneğin, kışta soğuk hava

şartlarından kaynaklanan köprü kaplamasında buzlanma toprak zemine göre daha hızlı ve yoğun bir şekilde kendini gösterir. Bundan dolayı köprü kaplamalarında yorulma direncine karşı yüksek modifiyeli bağlayıcı oranına sahip mastik asfalt kullanılır.

TMA-MA Karışımının Son yıllarda Köprülerde Çalışmaları

TMA-MA karışımının kullanıldığı, son yıllarda tamamlanan en büyük projelerden biri olan, Szczecin'in Odra nehri tarafından ayrılan kısımlarını birbirine bağlayan Trasa Zamkowa ana yolunun yenilenmesiydi. 2017-2018 döneminde şehre giden yol kapsamlı bir yenilemeye tabi tutulmuş. Şehre bağlı bu yol, Odra ve Parnica üzerindeki iki nehir köprüsünden ve Łasztownia adasının üzerindeki bir üst geçitten geçmektedir. Asfalt kaplamanın yenilenmesi projenin unsurlarından biriydi. 1987 yılında inşa edilen, 30 yıllık işletmeden sonra üstyapı çok kötü durumda olduğu için kapsamlı bir yenileme ihtiyacı ortaya çıkmış. Kaplamanın orijinal yapısı, bir kat tipik bitümlü mastik ve maksimum 11 mm olan iki kat asfalt beton karışım kullanılmış. İşin kapsamı ve yolun daha uzun süre trafiğe kapatılamaması göz önünde bulundurularak TMA-MA karışımı en iyi seçenek olduğu için uygun görülmüştür. Asfalt kaplama işi, yolun 1818 m uzunluğundaki bir bölümü üzerinde 3-4 seyahat şeritli üstyapı yapımını kapsamaktaydı. Tasarlanan kaplama, sıvı metil metakrilat reçineden yapılmış su geçirmez bir tabaka üzerine serilmiş üç bitümlü tabakadan meydana gelmekteydi, hazırlanmış bir zemin üzerine spreyci uygulanmıştır. Su yalıtım tabakası, yaklaşık 2,5–3,0 cm kalınlığında bir TMA-MA karışım tabakası ile korunmaktadır. Köprü güvertesi eğim çizgisi, aşınma tabakası için 3.0 cm - 6.0 cm kalınlığında bir AC 11 S Polimer Modifiye Bitüm (PMB) 45/80-65 asfalt betonu karışımı ile oluşturulmuştur. Bu kaplamanın aşınma tabakası, standart bir TMA 11 PMB 45/80-65 karışımından yapılmıştır. Aşınma tabakası 4 cm kalınlığındaydı.

Aşağıda belirtilen durumlarda TMA uygulaması bazı problemlere neden olabilmektedir:

- TMA, küçük alanlar veya asfalt döşeme tesisinin erişimin kısıtlı olduğu alanlar için uygun değildir. TMA diğer asfaltlara göre çok daha sert ve daha az işlenebilirdir. Bu sertlik, özellikle modifiye bağlayıcılar kullanılmışsa sıkıştırmayı zorlaştırır. Ayrıca modifiye bağlayıcı kullanılması, sıkıştırma için mevcut olan süreyi azaltır. İnşaat ekipleri, tesis ve denetim, TMA'nın etkin

bir şekilde serilmesi ve sıkıştırılması için beceriler geliştirmelidirler. Bu beceriler mevcut değilse, TMA kullanılmamalıdır. TMA'nın elle sıkıştırılması zor olduğu için küçük veya kısıtlı alanlar için uygun değildir.

- Asfaltlama ekipmanının giremeyeceği küçük alanlar TMA kullanımına uygun değildir.
- TMA'nın kritik serme sıkıştırma süresi nedeniyle yapım ekibi yeterli deneyime ve donanımına sahip olmalıdır. Gerekli deneyim kazanılmadan TMA kesinlikle uygulanmamalıdır.
- TMA, iyi bir basınç dayanımı için taştan taşa temasın sağlandığı bir karışım türüdür. Taşların üst yüzeylerini kaplayan harç ile özel bir yüzey dokusu sağlanmaktadır. Virajlarda tırların dönüşlerinde yüzeyde oluşan kesme kuvvetlerine karşı sağladığı direnç daha az olduğu için tekerleklerin yüzeyde oluşturduğu kesme kuvveti ile taşların üzerindeki harç sıyrılmaktadır. Bu nedenle keskin virajlarda TMA kullanılması tavsiye edilmez, bu bölümlerde yoğun dereceli asfalt karışımlarının kullanılması daha uygundur.
- Taş mastik asfalt, mevcut bir üst yapıda alttaki tabakanın sorunlarını kapatmak için kullanılamaz.
- Keskin virajlarda, döner kavşaklarda taş mastik asfalt kullanılması tavsiye edilmez.
- Binder ve bitümlü temelde taş mastik asfalt kullanması sonucu oluşan ek maliyetler ve faydaları hala tartışma konusudur.
- Binder ve temel tabakalarında kalınlık arttığından taş mastik asfalt karışımının yanıl desteğı ve mukavemeti azalır(EAPA, 2009; Temren, 2020).

TMA Karışımların Taşınması, Serilmesi ve Sıkıştırılması; TMA kaplamalarının serilmesi geleneksel bitümlü karışımlar ile aynıdır.

Taş mastik asfalt kaplamalarda serme kalınlığı karışımın maksimum agrega dane boyutu ile alakalı olup, genellikle 2-7 cm arasında uygulanmaktadır. Aşağıdaki tablo 3.2'de Almanya'daki uygulanan serme kalınlıkları verilmiştir.

Tablo 3.3: Almanya’da kullanılan TMA kaplamalar için tabaka kalınlıkları(Tayfur, 2001).

Kaplama Tipi	Kalınlık
Asfalt Betonu 0/8	3,0~4,0 cm
Stone Mastik asfalt 0/8	2,0~4,0 cm
Asfalt Betonu 0/11	4,0~5,0 cm
Stone Mastik asfalt 0/11	3,0~6,0 cm

TMA kaplamanın serilmesi ve sıkıştırılması, olası drenaj sorunları ve bu sert yapışkan karışımın zor işlenmesi nedeniyle dikkat gerektirir. Fabrika üretimi, karışımın taşınması, serilmesi ve sıkıştırması dikkatli bir şekilde koordine edilmelidir. TMA kaplamalar, uygun karışım sıcaklıklarında kolayca sıkıştırılır ancak soğumaya başladıklarında sıkıştırılması çok zordur. Aşağıda TMA kaplamalarının yapımı için bazı öneriler bulunmaktadır(Myers, 2007).

Karışımın taşınması

- TMA, fabrika sıcak depolama silosunda uzun süre muhafaza edilmemelidir.
- Asfalt kamyonlarının döşeme tabanı tamamen temiz olmalı ve bunun için özel deterjanlar kullanılmalıdır.
- Tüm asfalt kamyonları, yazın ve kısa taşıma mesafelerinde dahi, üstü çadırla örtülmeleri gerekmektedir.
- Orta veya uzun sürelerde, yerine taşınan asfalt kamyonları, asfalt için elektrikli ısıtıcılar ile donatılmalıdır (Bu asfaltın yolun onarımı, boyanması ve bakımı için kullanılması veya özel durumlarda asfalt sermek ve uygulamak için yatay konveyör bantlı kamyonların kullanılması durumunda)
- Taşıma süreleri mümkün olduğunca kısa olmalıdır
- Daha uzun taşıma sürelerini kolaylaştırmak için taşıma sıcaklığını arttırılmaması gerekir. Kamyon titreşimleriyle ve artan taşıma süreleri, sızmaya neden olabilir.
- Karışım 140°C-150°C (280°-300°F) arasında teslim edilmesi gerekir. Polimerler eklenirse daha yüksek sıcaklıklar gerekebilir.
- Onaylı ayırıcı maddeler kullanılması ve akaryakıt kullanımından kaçınılması gerekir.

TMA karışımların serilip sıkıştırmasında dikkate alınması gereken hususlar

- TMA serimi yaparken, hava sıcaklığının minimum 10°C olmasına dikkat edilmelidir
- Temiz bir serici araç ile başlamalıdır.
- Sadece onaylı çözücüler, su esaslı sıvı sabun veya kuru sabun tozu gibi kullanılmalıdır.
- Fazlalık ve artık olan çözücüler kamyon kasasından boşaltılmalıdır.
- Serme sırasında aşırı soğumayı engellemek için kamyonların üzerine uygun ve emniyetli oturan örtü takılmalıdır.
- Boşaltma sonrası, kamyonun temizleneceği bir alan oluşturulmalıdır
- Kesintisiz, sürekli serme işi oluşturulmalıdır.
- Karıştırıcının (auger) devamı sağlanmalıdır.
- Silindir sıcak malzeme üzerinde durdurulmamalıdır.
- Lastik-tekerli silindir kullanılmamalıdır.
- Sericinin katlanır kanatlarında oluşacak soğuk karışımın dökülmediğine dikkat edilmelidir.
- Karışım sıcaklığındaki kayıp en aza indirecek sürede serme ve sıkıştırma tamamlanmalıdır.
- Finişerde boşaltma sırasında asfalt sıcaklığı 150 °C ‘den az olmamalıdır.
- Asfaltın üretim, nakliye, serme ve sıkıştırma aşamaları arasında tam ve planlı bir koordinasyon olmalıdır. Öyle ki bu işlemler dizisinin sürekli ve durmadan uygulanması gerekmektedir.
- Finişer ve silindirlerin durdurulması gerekmektedir çünkü asfalt yüzeyinde pürüzlülüğe, alçalmaya ve yükseltmeye neden olur.
- Finişer önünde kamyonlar sürekli olarak dolu vaziyette olmalı, karışım serici sürekli olarak beslenmelidir.
- Yanyana serim yapılan durumlarda finişerler arasında mesafe farkı olmayacak şekilde serim yapılmalıdır.
- Çalışılacak olan yol yüzeyi mutlak surette temizlenmeli, hatta yıkanmalıdır.
- SMA karışımlarının hızlı soğuması nedeniyle sıkıştırma işlemi kısa sürede yapılmalıdır.

- TMA karışımlarının aşırı silindirilmesi halinde yüzeyde kuma – terleme gibi problemler görülebilmektedir.
- Asfalt serildikten hemen sonra silindirme başlamalı ve silindirler finişere mümkün olduğunca yakın olmalıdır.
- TMA asfaltı sıkıştıran Pünomatik lastikli silindirler, bitümün asfalt yüzeyine pompalanmasına ve bunun sonucunda da bağlayıcının yüzeye çıkmasına neden olur, bu nedenle bu silindirlerin kullanımına izin verilmez.
- 9 tondan fazla ağırlığa sahip çelik tekerlekli üç tamburlu silindir veya iki tekerlekli kullanma deneyimi asfalt sermek için daha uygundur.
- Çok fazla sıkıştırma yapılması bağlayıcının yüzeye çıkmasına neden olur. Sıkıştırmayı tamamlamak için maksimum silindirin geçiş sayısı genellikle 6 geçiştir ki tercihen test edilmelidir. Her Finişerin çizgisi için iki silindir yeterlidir.
- Titreşimli silindirler kullanılıyorsa, silindirin ilk geçişi statik, sonraki geçişler titreşimli ve son geçişler statik olmalıdır. Bu silindirler asfalt kalınlığının az olduğu durumlarda kullanılmaz; zira asfaltın iri agregalarının ezilmesine neden olur.
- TMA karışımlarının serim anındaki minimum ısısı 150°C ve sıkıştırma sonunda minimum ısısı 115°C (ideal olarak 130°C) olmalıdır.
- Karışım sericiye verildiğinde 145 °C ‘nin altında olmayan bir sıcaklığa sahip olmalıdır.
- Asfaltlama hızı haddeleme işleminin hızına göre belirlenmelidir.
- Silindirler finişerlerin arkasında yakın tutulmalıdır.
- Malzeme transfer aracının konveyörünü boş çalıştırılmamalıdır çünkü boşaltmaya neden olabilir.
- El işinin olabildiğince az olmalıdır.
- Titreşimli silindirler idareli kullanılmalıdır(NKD, 2014; Koçyiğit, 2013; MRCP, 2003; Myers, 2007).

Özetle, TMA karışımları, üretimden sıkıştırmaya kadar tüm serme sürecinin dikkatli bir şekilde planlanması gerekmektedir.

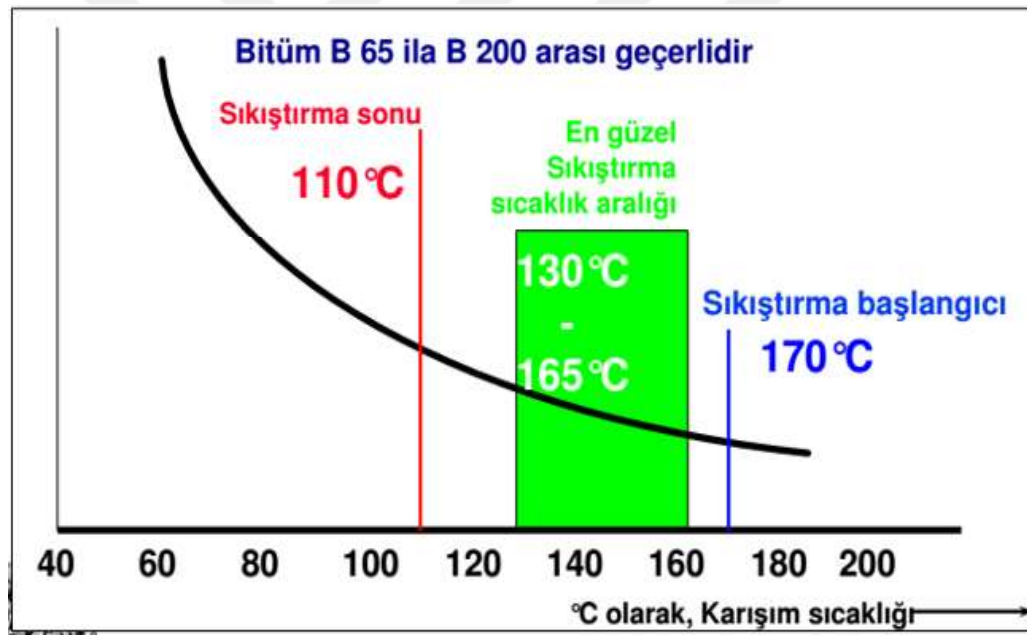


Silindirler finişere yakın tutulur.



Sıkıştırma işlemi

Şekil 3.6: TMA sıkıştırması (Myers, 2007).



Şekil 3.7: Sıkıştırma enerjisi ile karışım sıcaklığı arasındaki bağıntı (Sultani, 2021).

TMA kaplama kalınlığı; Ağır taşıt trafik yüklerine maruz kalan, aşınmaya ve çivili lastiklere karşı gerekli direnç sağlayan uzun ömürlü üstyapı tipi TMA karışımının dikkatli bir şekilde tasarlanması yeterli olmayıp, aynı zamanda tabaka kalınlıkları da özenle seçilmelidir. TMA yapımında uygulanacak tabaka kalınlığı agrega boyutu ile yakından ilgilidir. Temas basıncının yüksek olan üstyapılarda tabaka

kalınlığının seğıimi çok önemlidir. Tabaka kalınlığı, nominal agrega boyutunun en az 2.2 katı olmalıdır. Yeni bir yapıım sürecinde, genel olarak 0/6 ila 0/16 boyutları arasındaki olan TMA tipleri için tabaka kalınlığı 20 mm ile 50 mm arasında uygulanmaktadır.

TMA kaplamalar geleneksel aşınma tabakalarından daha ince olmasına rağmen tabaka kalınlığı kullanılacak agreganın boyutuna göre belirlenmelidir. Genel olarak 0/6 TMA için maksimum 20 mm ve 0/16 TMA için 50 mm maksimum tabaka kalınlığı önerilmektedir. Karayolu genel müdürlüğü tarafından ise 0/9.5 TMA için 25-40 mm ve 0/12.5 TMA için 35-50 mm sıkıştırılmış tabaka kalınlığının olması şartı vardır. 4 cm kalınlığındaki geleneksel aşınma tabakalarının sıkıştırılması sırasında çatlaklar meydana gelirken, geçmiş deneyimler bu çatlakların daha büyük kalınlıklarda oluşmadığını göstermektedir. Bu nedenle daha ince TMA tabakalarının sıkıştırılmasında daha dikkatli davranılması gerekmektedir.

Çoğu taş mastik asfalt kaplaması 4 cm tabaka kalınlığında döşenmiştir. Taş mastik asfalt tabakasında istenilen kalınlığın elde edilebilmesi için döşemede sıkıştırma payı dikkate alınmalıdır. Aksi takdirde st yapıda performans arızalarına sebep olabilir. Tolerans sınırları içerisinde istenilen tabaka kalınlığı sağlanmalıdır.

Taş mastik asfalt karışımının sıkıştırma payı, geleneksel bitümlü sıcak karışımın yaklaşık yarısı kadardır. Bu oran geleneksel bitümlü sıcak karışımda tabaka kalınlığının yaklaşık %20-25'i kadar iken, Taş mastik asfalt'da %10-15'dir. Serim işlemi bu sıkıştırma oranına uygun yapılmalıdır.

Avrupa'daki birçok karayolu idaresi, Taş mastik asfalt karışımlarının maksimum tane boyutuna göre minimum ve maksimum tabaka kalınlıklarını belirtmişlerdir. Almanya'da 11 mm TMA için 35-40 mm, 8 mm TMA için 20-40 mm ve 5 mm TMA için 15-30 mm tabaka kalınlıkları uygulanmaktadır.

Georgia eyaletinde idare, 9,5mm TMA için 28–40 mm, 12,5 mm TMA için 32-75 mm ve 19 mm TMA için ise 44-75 mm tabaka kalınlıklarını belirlemiştir.

Her tabaka kalınlığının bir st ve bir alt sınırı bulunmaktadır. Genel olarak tek seferde serilmiş ve sıkıştırılmış bitümlü karışımların tabaka kalınlığı, karışımdaki en

büyük tane boyutunun 1,5 ile 3 katı arasındadır. Temel ve alttemel tabakaları için bu değer 20 cm olmalıdır(Arslan, 2014; EAPA, 2009).

Taş Mastik Asfalt Kalite Kontrol; Taş mastik asfalt kaplamaların kalite kontrolü için dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda verilmiştir.

- Gradasyon için agrega stokları, soğuk ve/veya sıcak silolar için sıkça kontrol edilmelidir.
- Bağlayıcıyı, özellikle modifiye bitüm, sıkça kontrol edilmelidir.
- Plentte imal edilen karışımın hacimsel özellikleri sıkça kontrol edilmelidir.
- Döküldükten sonraki yoğunluk sonuçlarını sıkça kontrol edilmelidir.
- Nükleer yoğunluk ölçme cihazının hassasiyetini artırmak için nükleer yoğunluk sonuçların karotlarla korelasyonu yapılmalıdır.
- Üretim sırasında, ürün kalitesi sürekli denetlenmelidir.

KTŞ'ye göre TMA'nın yapımı sırasında kullanılan malzemeleri ve imalatı kontrol etmek amacıyla belirli aralıklarla yapılması gereken kalite kontrol deneyleri, minimum deney sayıları ve sıklığı aşağıda Tablo3.3'de verilmektedir.

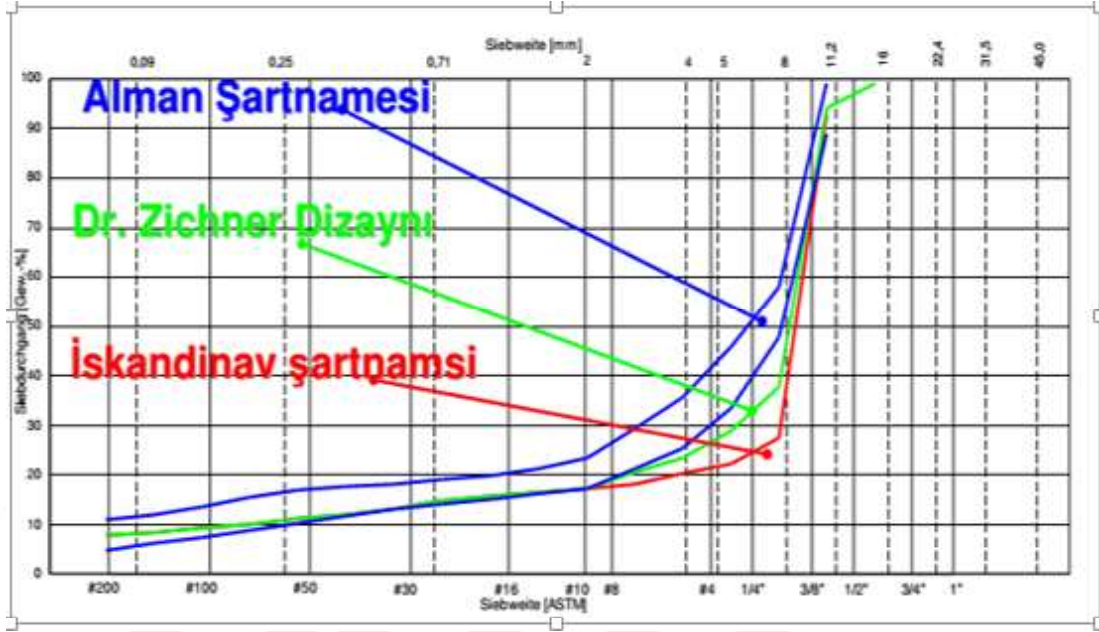
Tablo 3.4: TMA kalite kontrol deneyleri(KGM, 2013).

Amacı	Deney Adı	Deney Sıklığı	Deney Standardı
Dizayn için agrega üretilmesi	Elek Analizi	Kaba ve orta agrega için 200 m ³ 'de bir, İnce agrega için 100 m ³ 'de bir.	ASTM C-136, C-117 (TS EN 933-1)
Konkasörde agrega üretiminin kontrolü	Elek Analizi (Yaş metot)	Min. 400 m ³ 'de bir	ASTM C-136, C-117 (TS EN 933-1)
Sıcaksilo gradasyon kontrolü	Elek Analizi (Yaş metot)	min. günde bir kez	ASTM C-136, C-117 (TS EN 933-1)
Karışımın fiziksel özelliklerinin kontrolü	Bitüm yüzdesi, Briket hazırlama, Briket özgül ağırlığı, Stabilite, Akma ve V _h , V _f , VMA hesapları	min. günde iki kez	AASHTO T-164, T-30 ASTM D-1559 ASTM D-2726 (TS EN 12697-1/2/6//8/30/34)
Segregasyon olup olmadığının tespiti	Bitüm %'si ve Gradasyon	min. günde iki kez	AASHTO T-164 AASHTO T-30 (TS EN 12697-1/2)
Tabakanın Sıkışma ve Kalınlık kontrolü	Karot alımı, karot Özgül ağırlığı tayini	min. her 250 t'dan bir çift	ASTM D-2726 (TS EN 12697-6)

TMA karışımların Özellikleri; Taş mastik asfalt karışımların en önemli özelliği %70 - %80 oranında kaba agrega ve %6,0 - %7,0 oranında bitümlü bağlayıcı içermesidir. Yüksek oranda kullanılan kaba agrega, birbiri ile temas halinde bir iskelet yapı oluşmasını sağlar. Bu iskelet yapı, yol yüzeyine uygulanan yüklerin yol üzerinde deformasyona neden olmadan alt yapıya iletilmesini sağlar. Açık gradasyona sahip olmasına rağmen, yüksek oranda kullanılan filler ve bitümlü bağlayıcı nedeniyle düşük boşluk oranına sahiptir. Yoğun gradasyonlu karışımlar için filler/bitüm oranı 1,2 iken, TMA karışımlarında bu oran 1,5 olmaktadır. Taş mastik asfalt karışımlarının özelliklerini aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Sağlam iskelet yapısına ve iyi kaliteli kaba agregaya sahiptir.
- Zengin bağlayıcılı mastik harç içerir.
- Karışımı geçirimsiz duruma getiren düşük hava boşluğu içerir.
- Bitümün agregadan süzülmesini engellemek için mastik harcın elyaf ile etkin stabilizasyon yapar.
- Kaba parçalardan segregasyonu engellemek için mastik bağlayıcının etkin

stabilizasyonu. Şekil 3.8’de TMA 0/11 karışımının tipik gradasyon eğrileri gösterilmektedir.



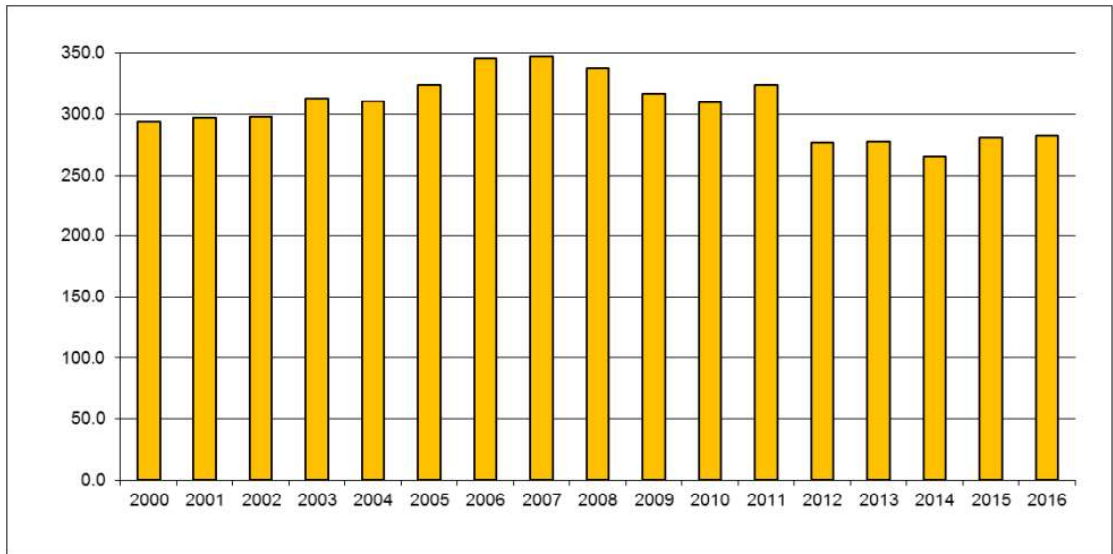
Şekil 3.8: TMA 0/11 karışımının tipik gradasyon eğrileri (NKD, 2014).

3.3 Dünya’da ve Türkiye’de TMA Uygulamaları

TMA, Avrupa genelinde ağır yüklere maruz kalan üstyapı kaplamalarında başarı ile kullanılmaktadır.

Avrupa’da kullanılan asfalt

Yılda milyon ton olarak



Şekil 3.9: 2000’den 2016’ya kadar Avrupa’da Sıcak ve Ilık Karışım Asfaltın Toplam Üretimi(Beuving, 2018).

Tablo 3.5: Avrupa ülkeleri > 10 milyon ton/yıl (Beuving, 2018).

Ülke	2016
Fransa	34
Almanya	41
Büyük Britanya	22
İtalya	23
Polonya	19
İspanya	13
Türkiye	40
Avrupa	282
Japonya	± 42
ABD	340

Tablo 3.6: Avrupa ülkeleri > 10 milyon ton/yıl (Beuving, 2018).

Ülke	Aşınma tabakası(%)	Binder Tabakası(%)	Temel Tabakası(%)
Belçika	55	0	45
Hırvatistan	63	2	36
Çek Cumhuriyeti	56	24	20
Danimarka	50	5	45
Estonya	63	28	9
Finlandiya	91	0	9
Macaristan	69	23	8
Litvanya	47	24	29
Hollanda	37	9	54

Tablo 3.7 (devamı)

Norveç	80	10	10
Slovakya	72	16	12
Slovenya	55	7	38
İspanya	73	19	8
Türkiye	30	41	29

Tablo 3.8: Sıcak ve ılık karışım asfaltın yüzdesi olarak Avrupa’da TMA kullanımı (Beuving, 2018).

Ülke	2016 yılında toplam yıllık sıcak ve ılık karışım asfalt üretiminin yüzdesi		
	Asfalt beton	TMA	Poroz asfalt
Avusturya	33	6	0
Belçika	38	14	1
Hırvatistan	59	3	10
Çek Cumhuriyeti	49	6	0
Danimarka	36	13	0
Estonya	61	2	0
Finlandiya	73	12	
Almanya	20	9	
Macaristan	61	6	
Litvanya	40	5	
Hollanda	18	10	9
Slovakya	68	5	
Slovenya	49	6	0
İspanya	62	1	0
Türkiye	27	4	

Taş Mastik Asfaltın Türkiye’de Kullanımı; Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), ilk TMA uygulamalarına 1997 yılında Alman taş mastik asfalt şartnamesinden yararlanarak ilk TMA şartnamesini yayınlanmıştır. 1998 yılında inşaat çalışmaları KGM sorumluluğunda başlamış ve 1999 yılından itibaren taşıt trafiğine açılmıştır. İlk başlarda taş mastik asfalt maliyetinin fazla olması, modifiye bitüm imalatında ve teminindeki zorlukla, yeni fiyat birim tespitinde meydana gelen zorluklar ve konunun müteahhitler tarafından iyi anlaşılamaması gibi sebeplerle birkaç istisna dışında bu kaplama tipi yaygın olarak uygulanmamıştır.

Türkiye’de ilk TMA deneme kesimleri, Ankara-Polatlı-Sivrihisar Yolu (1999), Bala Ayrımı - Kulu Ayrımı Devlet Yolu (1999) kesimleridir. Deneme kesimi dışındaki uygulamalar, Tarsus-Adana-Gaziantep otoyolu, Pozantı-Tarsus otoyolu, Tarsus-Mersin otoyolu, İzmir Çevre otoyolu, Gebze-İzmit otoyolu, Haydarpaşa-Gebze Ekspres yolu, Antalya-Alanya Devlet yolu, Adana-Tarsus-Mersin Devlet yoludur.

Daha sonra İsfalt A.Ş. bu çalışmaları 2003 yılında başlamıştır. İlk başta Küçükçekmece Çobançeşme kavşağı ve Bakırköy’de Ataköy kavşağı yapılmıştır (2003). Daha sonra 2007 yılında Metrobüs hattı Avcılar-Cevizlibağ kesimi yapılmıştır. 2008 yılında metrobüs hattı Cevizlibağ-Zincirlikuyu arası ile Vatan Caddesi ve Millet Caddesi yapılmıştır. 2009 yılında Metrobüs hattı Zincirlikuyu-Söğütluçeşme arası yapılmıştır. Ülkemizde TMA karışımlarının laboratuvar ve arazi performansının iyi olduğundan dolayı ağır taşıt trafiği olan güzergâhlarda, otoyollarda, şehir içi kavşak kesimlerinde ve toplu taşıma araçları olarak hizmet verilen yol koridorlarında aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır(Arslan, 2014). Şekil 3.10’de TMA karışımının ağır taşıt trafiğinin olduğu yerde kullanımı gösterilmiştir.



Şekil 3.10: TMA'nın ağır trafik hacminin olduğu alanda kullanımı

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

Bu bölümde agrega, bitüm ve bazalt elyaf + hipercell selülozik elyaf katkı maddesi olarak taş mastik asfalta uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar ve grafikler verilmiş olup, bu veriler doğrultusunda irdeleme ve değerlendirmeler yapılmıştır.

4.1 Malzeme

Taş mastik asfalt üretiminde kullanılacak agrega, bitüm ve elyaf katkıları Karayollarının teknik şartnamesi 2013'te belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

4.1.1 Agrega

Taş mastik asfalt kaplamalarda agregalar arasındaki temas, yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt betonu karışımlara göre daha fazla olduğu için bu karışımda

kullanılan agregâ, yoğun gradasyonlu geleneksel asfalt beton kaplamalarda kullanılan agregâdan daha üstün nitelikli olmalıdır.

Kaba Agregâ: kaba agregâ, No.4 elek üzerinde kalan malzeme; kırmataş, kırma çakıl veya bunların bileşiminden oluşacaktır. TMA'daki kaba agregâ, granit ve bazalt gibi kayaçları veya diğer yüksek kaliteli kayaçların ezilmesinden elde edilen agregâlardan oluşmaktadır. Çakıldan kaba agregâ üretildiğinde, agregânın tüm yüzeyleri kırılmış olmalıdır. TMA kaplamalarında kullanılan kaba agregâların özellikleri (KTŞ) göre Tablo 4.1'de belirtilen özelliklere sahip olmalıdır.

Tablo 4.1: TMA karışımlarda kullanılacak kaba agregâ özellikleri (KGM, 2013).

Deney	Şartname Limitleric	Deney Standardı
Parçalanma Direnci (Los Angeles), % Kayıp	≤ 25 (LA25)	TS EN 1097-2 * AASHTO T 96
Aşınma Direnci (Micro-Deval) b , % Kayıp	≤ 20 (MDE 20)	TS EN 1097-1
Hava Tesirlerine Karşı Dayanıklılık, (MgSO4 ile kayıp), %	≤ 14 (MS14)	TS EN 1367-2
Yassılık İndeksi, %	≤ 25	BS 812
	≤ 20 (FI20)	TS EN 933-3 a
Cırlanma Değeri, %	≥ 50 (PSV50)	TS EN 1097-8
	≥ 40 (PSV40) binder için	
Kırılmışlık, ağırlıkça, % (Tüm yüzeyi kırılmış – tüm yüzeyi yuvarlak)	$\geq 100 - \leq 0$ (C100/0)	TS EN 933-5
Soyulma Mukavemeti (Bitüm Kaplı Yüzey), % (24 saat 60 °C suda bekletmeden sonra)	≥ 60	TS EN 12697-11 (Kısım403 EK-A)
Su Emme, %	$\leq 2,0$ (WA242)	TS EN 1097-6
Kil Topakları ve Ufalanabilir Daneler, %	Bulunmayacak	ASTM C 142 AASHTO T 112
* Referans metot.		
* Gerek görüldüğünde yapılacaktır.		
* Parantez içindeki ifade, şartname değerinin TS EN 13043 'deki sınıfını gösterir.		

İnce Agregâ: ince agregâ, 4 No'lu elekten geçen malzeme; sert ve dayanıklı kırma çakıl veya bunların karışımından oluşmalıdır. İnce agregâ olarak kil toprakları, gevrek malzemeler, organik ve diğer zararlı malzemeler kullanılmamalıdır(KGM,

2013). İnce agrega Karayolları Teknik Şartnamesine göre Tablo 4.2’de verilen özelliklere sahip olmalıdır.

Tablo 4.2: TMA karışımlarda Kullanılacak İnce Agrega Özellikleri(KGM, 2013).

Deney		Şartname Limitleri	Deney Standardı
Plastisite İndeksi		N.P.	TS-1900-1
Organik Madde, %		Negatif	TS EN 1744-1 Madde 15.1
Su Emme, %		≤ 2,0 (WA242)	TS EN 1097-6
Metilen Mavisi, g/kg	İnce agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 1,5 (MB1,5) ≤ 3,0 (MB3,0)*	TS EN 933-9
	Öğütülmüş magmatik agreganın 0/2 mm kısmına	≤ 3,0 (MB3,0)*	
* Magmatik kökenli kayalarda, şantiye konkasöründe üretilmiş ince agregada istenen şartname değerinin sağlanamaması durumunda bu şart aranacaktır.			

Mineral Filler: 200 numaralı elekten geçen malzemeye filler denir. Karışımdaki mineral filler taş tozu veya sönmüş kireçten oluşmalıdır. Mineral filler tamamen kuru olmalı, topak, organik madde, kil ve diğer zararlı maddelerden arındırılmış olmalıdır(KGM, 2013).

TMA ve yoğun gradasyonlu karışımlar karşılaştırıldığında, taş mastik asfalt karışımlarında mineral filler gereksinimi yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha fazla olmalıdır. Bunun nedeni, TMA karışımlarının ayrı bir derecelendirmeye sahip olmasıdır. TMA karışımlarında, mineral fillerin çoğunun bağlayıcı içerisinde asılı kaldığı, geri kalanının ise yük taşıyan agregaların iskeleti içinde kaldığı kabul edilmektedir.

Filler gibi diğer malzeme türlerinden yüksek fırın cürufu, sönmüş kireç, taş tozu ve uçucu kül kullanılabilir.

Tablo 4.3: TMA Kaplamalarda Kullanılacak Mineral Filler Gradasyon Limitleri(KGM, 2013).

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

Agrega Gradasyonu: Mineral agregası, filler dahil en az dört ayrı dane grubunun belli oranda karşılaştırılmasından oluşacaktır. Agregası, bitümlü malzemeler ile karşılaştırıldığında üniform olmalıdır(KGM, 2013). Bitümlü sıcak karışımlarda istenen kalitede kaplama elde edilmesi, agregaları kontrol etme, yerel olarak mevcut malzemelerin optimal kullanımını sağlama, boyutları standartlaştırma ve maliyetleri düşürme ihtiyacı nedeniyle agrega gradasyon şartnamesi geliştirilmiştir.

TMA karışımlarındaki yüksek mukavemet, iri agrega oranının fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle iri agregaların dayanımdaki katkısı göz ardı edilmemelidir. Genellikle 4 numaralı elekten geçen elek için yüzde 25 - 40, 10 numaralı elekten geçen agrega için yüzde 20 - 30 ve 200 numaralı elekten geçen kısım için yüzde 8 - 12 oranları yaygın bir şekilde kullanılmaktadır(KGM, 2013; Şahin, 2021). Taş mastik asfalt karışımının dizayn gradasyonu ve tolerans limitleri tablo 4.4 ve 4.4'te belirtilmiştir.

Tablo 4.4: TMA aşınma gradasyon ve tolerans sınırları

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

Tablo 4.5: TMA Binder Gradasyonu ve Tolerans Sınırları(KGM, 2013).

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

4.1.2 Bitüm

Bitümlü bağlayıcı, asfalttaki malzemeleri birbirine bağlayarak karışımın genel yapısal mukavemetini artırır. Ancak bitüm şartnamelerde belirtilen değerlere ve limitlere sahip değilse bu sefer yağlayıcı görevi yapar ve yolların bozulmasına sebep olacaktır.

TMA Yapımında Bitümlü Bağlayıcılar

- Geleneksel Bitüm (AC) Kaplama Sınıfı Bitüm EN 12591
- Polimer Modifiye Bitüm (PmB) EN 14023
- Çok Sınıflı (Multigrade) Bitümler pr EN 13924-2

Kaplama sınıfı bitümler (Geleneksel -AC) Avrupa'da, ağır trafiğin olmadığı yerlerde kullanılıyor. Ülkemizde BSK uygulanan her yolda ağır trafik olduğundan polimer modifiye bitüm kullanılması tercih ediliyor. Bitüm seçimi bölgenin iklim şartlarına bağlı olarak seçilir.

Genellikle sert, düşük penetrasyona sahip bitümlü bağlayıcılar taş mastik asfalt karışımlarında kullanılmaktadır. Taş mastik asfalt karışımlarında kullanılan bitüm bağlayıcısı TS EN 12591 bitüm standardına göre 60/40 penetrasyonlu veya 70/50 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı veya modifiye edilmiş bağlayıcılar olabilir. Ayrıca

bitüm bağlayıcısı, bitüme eklenen çeşitli katkı maddeleri ile modifiye edilebilir. TMA karışımlarında yüksek olan bitümün akmasını önlemek için karışıma %0,3 oranında lif ilave edilmelidir. Yol kaplamasında kullanılan bitümün özellikleri Tablo 4.6'da verilmiştir(KGM, 2013; şahin, 2021).

Tablo 4.6: Yol Kaplamalarında Kullanılan Kaplama Sınıfı Bitümlerin Özellikleri (KGM, 2013).

Sıra No	Deney Adı	Deney Standardı	Bitüm Sınıfları				
			B 40/60	B 50/70	B 70/100	B 100/150	B 160/220
1	<u>Penetrasyon</u> , (25 oC) 0,1 mm	TS EN 1426	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
2	<u>Yumuşama Noktası</u> (oC)	TS EN 1427	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43
3	<u>Frass Kırılma Noktası</u> (oC)	TS EN 12593	≤ -7	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15
4	<u>Yaşlanmaya Karşı Dayanım*</u>	TS EN 12607-1					
4.1	<u>Kütle Değişimi</u> (%)		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
4.2	<u>Kalıcı Penetrasyon</u> (%)	TS EN 1426	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
4.3	<u>Yumuşama Noktası Yükselmesi</u> (oC)	TS EN 1427	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
5	<u>Parlama Noktası</u> (oC)	TS EN ISO 2592	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230
6	<u>Çözünürlük</u> (%)	TS EN 12592	≥ 99	≥ 99	≥ 99	≥ 99	≥ 99
7	<u>Parafin Mumu İçeriği*</u> (%)	TS EN 12606-1	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 4,5
		TS EN 12606-2	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5
a Soğuk bölgelerde kullanılacak bitümlerde yapılacaktır. b Kalite kontrol amaçlı olarak bu deneyin TS EN 12607-2 (TFOT) deney standardı kullanılabilecektir. c Gerek duyulduğunda yapılacaktır.							

4.1.3 Selülozik ve Mineral elyaf

4.1.3.1 Selülozik Elyaf

HiperCell Selülozik Elyaf, TMA ve poroz asfalt gibi açık gradasyonlu ve kesik gradasyonlu asfalt karışımlarda bitümün drenajını önleyen ve stabiliteyi artıran yüksek performanslı selülozik elyafıdır. TMA karışımlarda kullanılan bitüm miktarı diğer asfalt karışımlara göre daha fazla olduğu için bitüm akması da sorun olmaktadır. HiperCell selülozik elyaf bitümün süzülmesini önleyerek, kaplamadaki kusmayı da engeller. Bunun yanında hiperCell selüloz elyaf, asfaltta 3 boyutlu bir yapı olarak dağılarak asfaltın mekanik mukavemetini arttırmak, bitümün agregadan soyulmasını azaltmak, karışıma diğer faydalı özellikleri kazandırmak için kullanılır.

Süzölme

Taş mastik asfalt tasarımı, standart asfalt uygulamasına göre %30-40 daha fazla bitüm içermektedir. Üretimden sonra kamyonu yüklenen asfalt karışımındaki bitüm yola serilinceye kadar geçen sürede yerçekimi etkisiyle aşağı doğru süzölmeğe başlar. Asfalt karışımının homojenliği bozulur. Fiber kullanılması süzölmeği önleyerek asfalt karışımının homojenliğini korur.

Kusma

TMA'daki yüksek bitüm yüzdesi, silindirlerin basıncı nedeniyle yüzeye doğru çıkma (kusma) eğilimindedir. Fiber kullanılması kusmayı önleyerek asfalt karışımının homojenliğini korur.

Daha önce de söylendiği gibi TMA karışımlarda bitümün süzölmesini (akmasını) engellemek için selüloz fiber veya mineral fiber kullanmaktadır. HiperCell Selülozik elyaf kaplamanın kalınlığına, agreganın gradasyonuna ve bitümün modifiyeli olup olmamasına bağılı olarak asfalt karışımının %0.25 - 0.35'i arasında kullanılır. Çalışmada kullanılan HiperCell Selülozik elyaf şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: HiperCell selülozik elyaf

4.1.3.2 Bazalt Elyaf

Yapılan çalışmada karışım içerisinde selülozik fibere alternatif olarak katılan diğer katkı maddesi ise bazalt mineral elyafıdır. Bazalt lifi, sert, yoğun ve kararlı bir magmatik kaya olan ezilmiş bazaltın eritilmesi ve daha sonra yaklaşık 1500°C'de döndürülerek veya ekstrüde edilerek fiziksel olarak lifler oluşturulmasıyla üretilen bir mineral liftir. Bazalt lifi yüksek elastiklik modülüne ve çekme mukavemetine sahiptir ve hava veya su ile zararlı reaksiyonu yoktur. Kimyasallarla temas ettiklerinde sağlığa veya çevreye zarar verebilecek hiçbir kimyasal reaksiyon oluşturmazlar. Güçlü ve stabil olduğu için altyapı için mükemmel bir güçlendirme malzemesidir. Ancak nispeten pürüzsüz yüzey nedeniyle selüloz kadar emici değildir. Çalışmada kullanılan bazalt elyaf görseli şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Bazalt elyaf

4. 2 Deneysel çalışmalar

Deneysel çalışmada numunelere Schellenberger Süzülme Deneyi ve Hamburg Tekerlek İzi Deneyi (Rutting Test) uygulanmıştır.

Schellenberger Bitüm Süzülme Deneylerin numune tablosu ekte verilmiştir.

Tablo 4.7: Schellenberger Süzülme Deney için kullanılan oranlar.

	Selülozik Elyaf	Bazalt Elyaf	
		12mm	26mm
Numune Şahit	0.35%	0	0
Numune 1	0	0,2%	0
Numune 2	0	0,3%	0
Numune 3	0	0,4%	0
Numune 4	0	0	0,2%
Numune 5	0	0	0,3%
Numune 6	0	0	0,4%
Numune 7	0,1%	0,2%	0
Numune 8	0,1%	0,3%	0
Numune 9	0,1%	0,4%	0
Numune 10	0,1%	0	0,2%
Numune 11	0,1%	0	0,3%
Numune 12	0,1%	0	0,4%
Numune 13	0,2%	0,2%	0
Numune 14	0,2%	% 0,3	0
Numune 15	0,2%	0,4%	0
Numune 16	% 0,2	0	0,2%
Numune 17	0,2%	0	0,3%
Numune 18	0,2%	0	0,4%

Tablo 4.7’de Süzülmede en iyi olanları Tekerlek İzi için seçtik. Yani Şahit, Numune 1, Numune 4, Numune 10 ve Numune 14 ile aşınma yani Tekerlek İzi Deneyi yapılmıştır.

4. 2.1 Schellenberger Süzülme Deneyi

TMA karışımları geleneksel sıcak karışım asfalt ile karşılaştırıldığında, TMA karışımları genellikle daha yüksek bitüm içeriğine ve daha yüksek iri agrega yüzdesine sahiptir. Yüksek bitüm içeriğine sahip TMA karışımlarının taşınması ve serme işlemleri sırasında bitümün agregalar arasından süzülerek aşağı yönde hareket etmesi veya kaplama yapımı bittikten sonra bitümün kusması gibi problemler ortaya çıkabilir. Bu nedenle, süzülme problemini önlemek ve TMA karışımlarındaki lif yüzdesini belirlemek için Schellenberger bitüm süzülme deneyi yapılır. Bu test Alman uzman

Schellenberger tarafından geliştirilmiş bir test yöntemi olup, uluslararası kabul görmüş başka bir test yöntemi olmadığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu deney Ulusal Asfalt Teknolojisi Merkezi tarafından geliştirilen ve önerilen bir testtir. Bu deney hem laboratuvar tasarımı hem de saha kontrolü olarak geliştirilmiştir. Test eşitli stabilizatörlere uygulanabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Bu test, bitümün süzülme miktarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Normal bitümlü karışımlarda 135 ± 5 °C’de ve modifiye bitümlü karışımlarda için 145 ± 5 °C’de hazırlanan 1000 g TMA karışımı 1000 ml’lik önceden 110 °C’lik etüvde 15 dakika ısıtılmış cam behere konularak 0,1 g hassasiyetinde tartılır. Beher, üzeri kapatıldıktan sonra 1 saat ± 1 dk süre ile normal bitümlü karışımlar 175°C sıcaklıktaki, modifiye bitümlü karışımlar ise 185 °C sıcaklıktaki etüvde bekletilir. Bu sürenin sonunda etüvden çıkartılır ve karışım beheri sarsmadan boşaltılır. Cam behere yapışan agrega varsa temizlenir. Deney sonu cam beher 0,1gr hassasiyetinde tartılır ve boş beher ağırlığı çıkartılır. Süzülen bitüm miktarı ilk başlangıçta deneye alınan karışım miktarına oranlanarak belirlenmiş olur. KTŞ’ye göre bitümün süzülmesi maksimum % 0,3 olmalıdır. Çıkan sonuç; % 0,2’ den küçükse iyi performans , % 0,2 ile % 0,3 arasında ise kabul edilir performans, % 0,3’ den büyükse kötü performans olarak kabul edilir(KGM, 2013). Şekil 4.2’de bitüm süzülme deneyi görülmektedir.

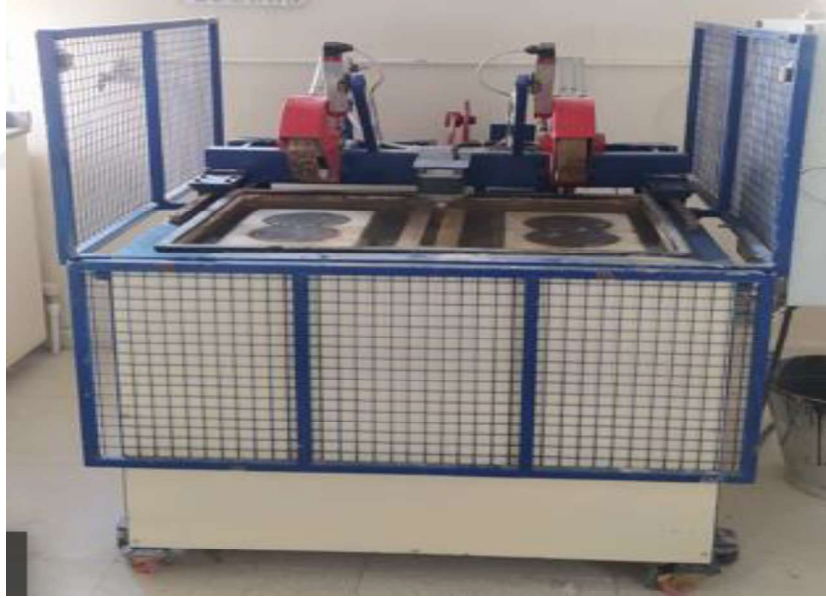


Şekil 4.3: Bitüm süzülme deneyi

4.2.2 Hamburg Tekerlek İzi Deney cihazı (HWTD)

Bitümlü sıcak karışım kaplamalarda, tekerlek yükleri altında meydana gelen kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği davranışı daha görebilmek amacıyla Tekerlek İzi deneyi yapılmaktadır(Şanlıer, 2018).

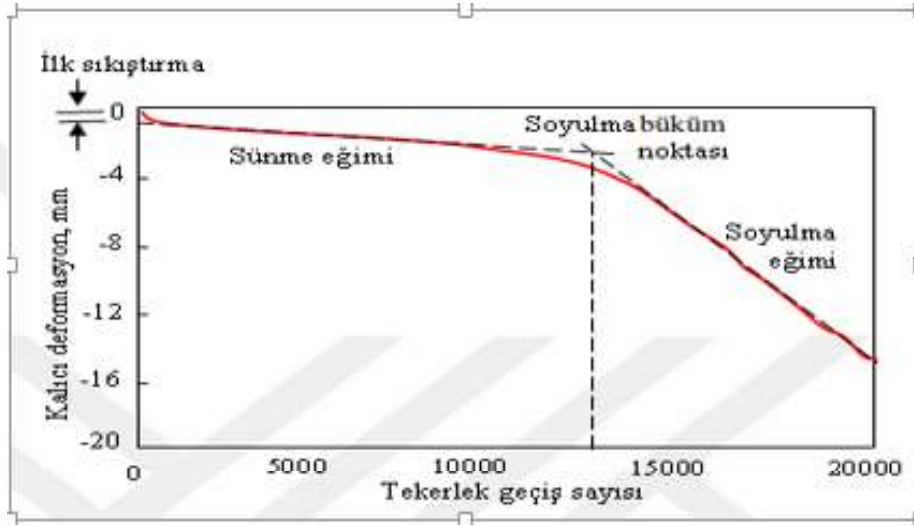
Hamburg Tekerlek İzi deney aleti (HWTD) Almanya'nın Hamburg şehrinde Helmut-Wind tarafından geliştirilmiştir. Almanya'da en çok seyahat edilen yollarda tekerlek izi ve soyulmayı değerlendirmek için şartname gereksinimi olarak Tekerlek İzi deneyi uygulanmıştır. HWTD'deki testler 260 mm genişliğinde 320 mm uzunluğunda ve genellikle 40mm kalınlığındaki ebatlarda üretilmektedir. Bu briketler normalde $\pm 1\%$ hava boşluğuna sahip olacak şekilde doğrusal yoğurmalı kompaktöründe sıkıştırılır(E-c ve diğerleri 2000). Şekil 4.3'te HWTD deney cihazı gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Hamburg Tekerlek İzi Deney cihazı

Hamburg tekerlek izi deneyi 25°C ila 70°C (77°F ila 158°F) arasında değişen sıcaklıklarda su altında gerçekleştirilir. En yaygın kullanılan sıcaklık 50°C'dir. Numunelerin HWTD'ye yüklenmesi, 47 mm genişliğindeki çelik bir tekerleğin üzerine 705-N kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Çelik tekerlek daha sonra levha şeklindeki numuneler üzerinde ileri geri yuvarlanarak gerçekleştirilir. Test numuneleri 20.000 geçiş için veya 20 mm deformasyon oluşana kadar yüklenir. Tekerleğin hareket

hızı saniyede yaklaşık 340 mm'dir. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi, Hamburg Tekerlek İzi deney aletinden elde edilen sonuçlar sünme eğimi, sıkıştırma sonrası ve soyulma öncesi (eğer soyulma meydana gelirse), deformasyon eğrisinin doğrusal bölgesi içinde, deformasyon oranının tersidir. Soyulma eğimi, soyulmanın başladıktan sonra, deformasyon eğrisinin doğrusal bölgesi içinde, deformasyon oranının tersidir. Soyulma büküm noktası, sünme eğimi ve soyulma eğiminin kesiştiği noktadaki tekerlek geçiş sayısıdır. Bu değer, sıcak karışım asfalt briketlerinin hasara neden olan suya karşı bağlı direncini tahmin etmek için kullanılır(E-c ve diğerleri 2000).



Şekil 4.5: Şematik Hamburg tekerlek izi test eğrisi(İskender, 2017)

4.3 BULGULAR

Kullanılan malzemeler yukarda verilmiştir. Bu deneysel çalışma için agrega gradasyonu ekte verilmiştir.

Çalışmada Nam Nam Deresi Mutlu Kaplan Taşocağında üretilen(0-5mm), (5-13mm), (13-19mm) dane boyutunda 3 grup agrega ve Dalama Kalker Taşocağından elde edilen mineral filler, 50/70 penetresyon sınıfında bitümlü bağlayıcı, Hipercell selülozik fiber ve Bazalt mineral mineral elyaf kullanılmıştır.

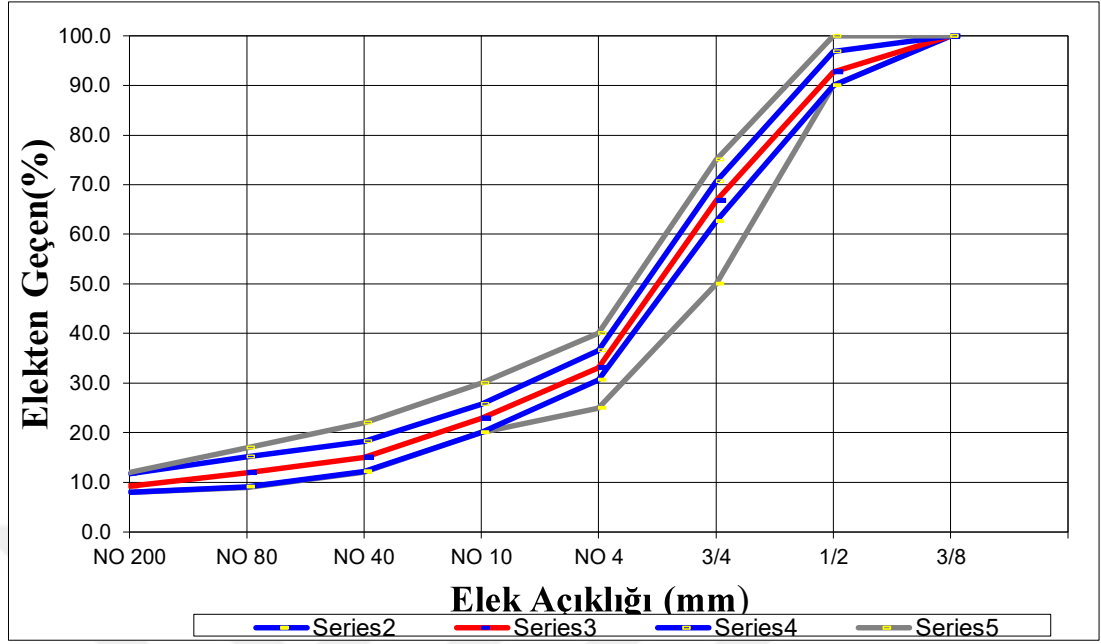
Elek analizi

Yapılan çalışmada kullanılan (0-5mm), (5-13mm), (13-19mm), dane boyutunda 3 grup Dünit/Gabro agregalar Nam Nam Deresi Mutlu Kaplan Taşocağından, kalker filler Dalama Kalker Taşocağından temin edilmiştir. KGM şartnamesinde TMA Tip-1 için belirtilen elek serisi kullanılarak elek analizine tabi tutulmuştur.

Aşağıda Tablo 4.8’de TMA karışım dizayn gradasyonu ve şartname sınırları, Şekil 4.6’da agrega granülometri eğrisi verilmektedir.

Tablo 4.8: aşınma gradasyon ve şartname sınırları(KGM, 2013).

Elek Açıklığı		TMA Tip-1 A (% Geçen)	Karışım Gradasyonu (% Geçen)
mm	inch		
19,1	3/4"	100-100	100
12,7	1/2"	90-100	93
9,52	3/8"	50-75	67
4,76	No.4	25-40	33
2,00	No.10	20-30	23
0,42	No.40	12-22	15
0,177	No.80	9-17	12
0,075	No.200	8-12	9



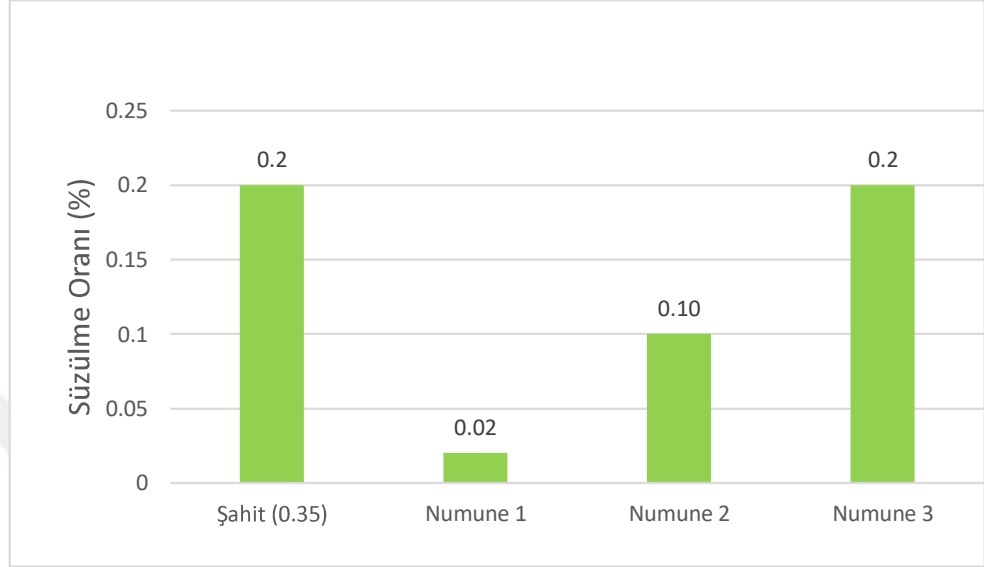
Şekil 4.6: TMA karışımlarında kullanılan agrega granülometri eğrisi

Deneyisel çalışmada bazalt mineral elyaf ve hipercell selülozik elyaf ile üretilcek numunelerde bazalt ve hipercell oranı tayini için hipercell selülozik fiber kullanılarak üretilen dizayn numunelerin optimum bitüm oranı olan %6'ya göre Schellenberger Süzülme testi, bazalt lifle birlikte selüloz ve bazalt lifi katılarak uygulanmıştır.

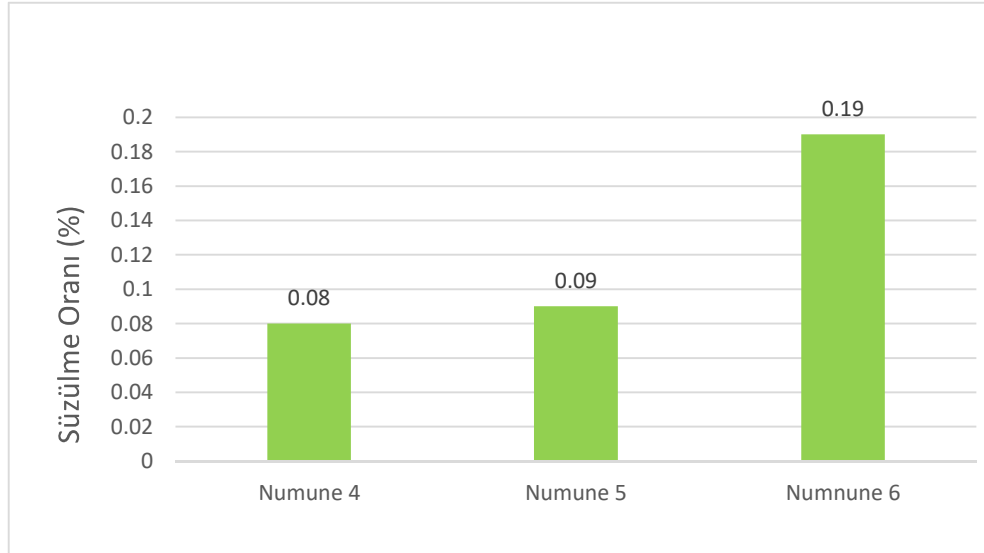
Schellenberger Süzülme Deneyi Sonuçları

Karayolları Teknik Şartnamesi'ne göre bitüm süzülmesinin maksimum %0,3 olması şartı vardır. Bu şartın hangi elyaf oranında sağlandığını ayrıca elyaf katkı oranının ve bazalt mineral lifi boyunun deney sonucu etkisinin belirlenmesi niyetiyle toplam 19 adet Schellenberger süzülme testi yapılmıştır. Bu testlerden 1 adedi lif içermeyen, 6 adedi 12 mm, 26 mm boylarındaki ve %0.2,0.3,0.4 oranlarda bazalt mineral lifi içeren 6 adedi, aynı anda %0.2,0.3,0.4 bazalt lif ve %0.1 hipercell selülozik lif içeren ve diğer 6 adedi ise yine aynı anda %0.2,0.3,0.4 oranlarda bazalt elyaf ve %0.2 oranında hipercell selülozik elyaf içeren karışımlardan oluşmaktadır.

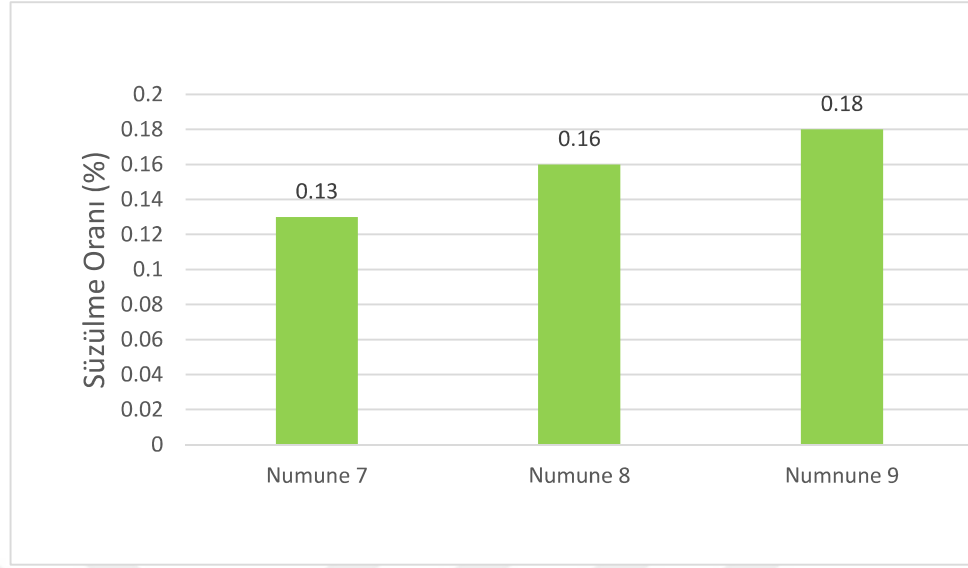
Yapılan deneyler neticesinde elde edilen deney sonuçlar Şekil 4.7- 4.12’de görülmektedir. Burada süzülmede en iyi olanları Tekerlek izi için seçtik.



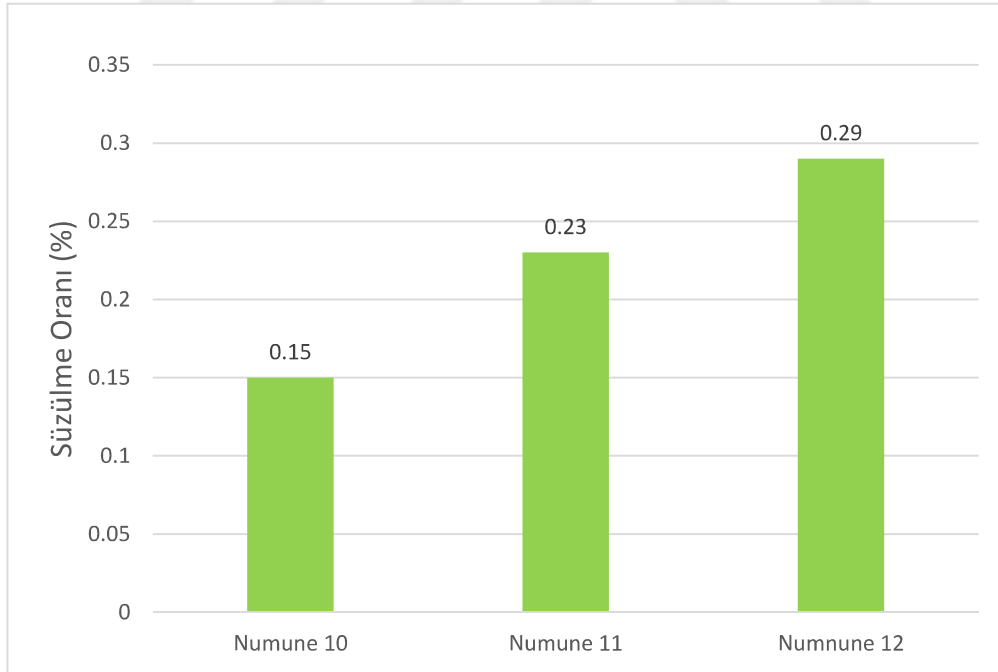
Şekil 4.7: 12mm’lik Bazalt Elyafı hazırlanan numunelerin süzülme değeri



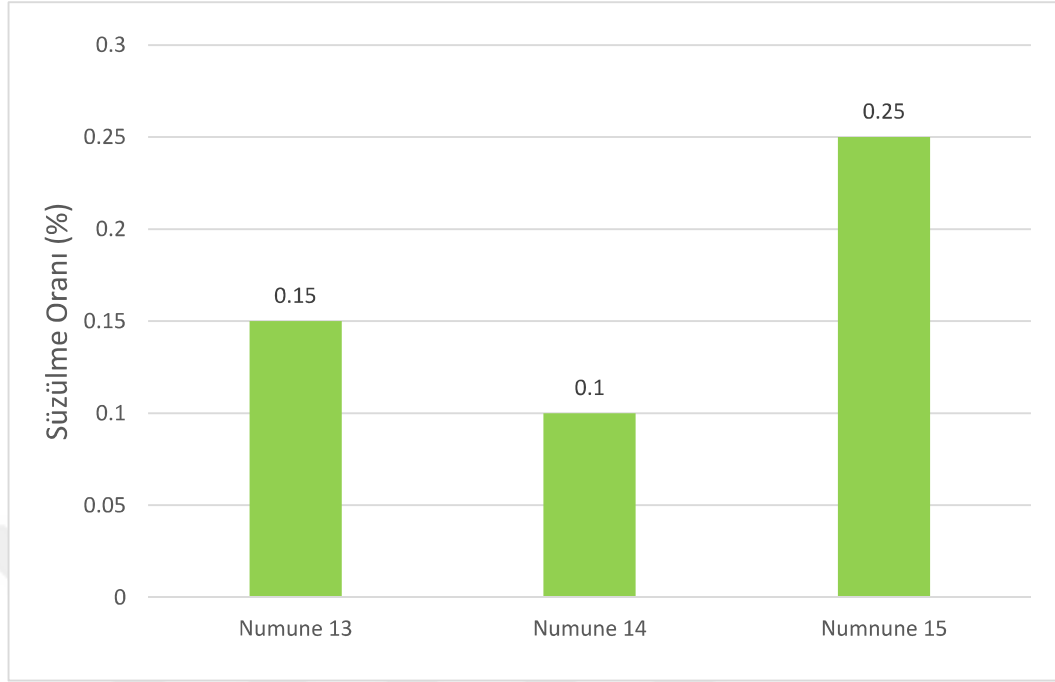
Şekil 4.8: 26’mmlik Bazalt Elyafı hazırlanan numunelerin süzülme değeri



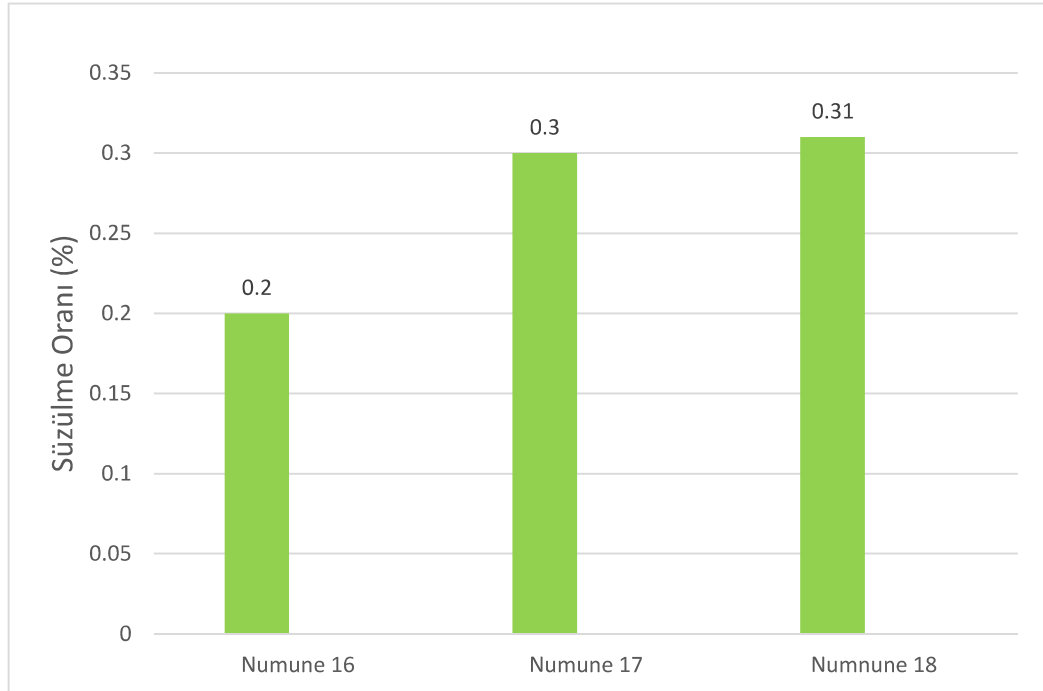
Şekil 4.9: 12mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı hazırlanan numunelerin Süzülme değeri



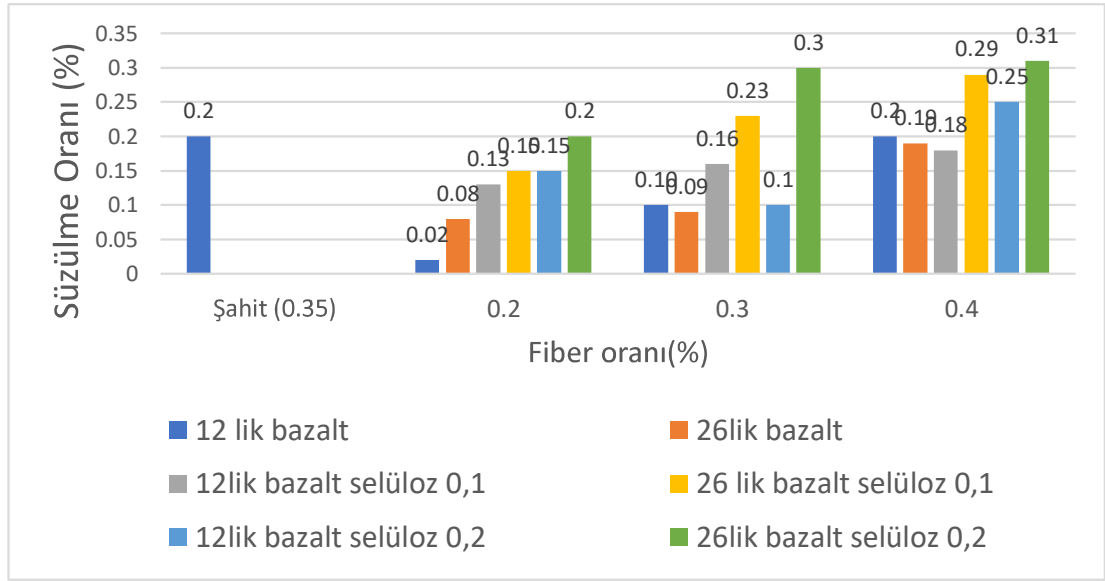
Şekil 4.10: 26mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı hazırlanan numunelerin Süzülme değeri



Şekil 4.11: 12mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı hazırlanan numunelerin Süzülme değeri



Şekil 4.12: 26mm'lik Bazalt + Selülozik Elyafı hazırlanan numunelerin Süzülme değeri



Şekil 4.13: Farklı Elyaf kombinasyonların Süzülme değerleri

KTŞ'ne göre bitüm süzülmesi maksimum %0.3 olmalıdır. Süzülme miktarı, % 0.2'den küçükse iyi, % 0.2 ile % 0.3 arasında ise kabul edilebilir, % 0.3den büyükse kabul edilmez. Tablo 5.2 ve Şekil 5.4'göre 26 'lık bazalt elyaf + % 0.2 oranında selüloz elyaf dışında, tüm numuneler sonuçlara göre standart olarak karayolları teknik şartnamesinde Schellenberger deney sonucunun maksimum % 0,3 belirttiği değerin altında kaldığını göstermektedir. Ancak bazalt fiber kullanımında en iyi sonuç 12'lik bazalt fiber %0.2 oranında verirken, selülozik fiber ve bazalt fiber katkıların aynı anda karışıma katılmasında ise en iyi sonuç veren 12'lik bazalt fiber% 0.3 oranında + %0.2 oranında selüloz fiber olarak görülmektedir.

Hamburg Tekerlek İzi deneyi ve sonuçları

Deneyisel çalışma kapsamında kullanılacak olan Hamburg Tekerlek İzi deneyi (Hamburg Wheel Tracking Test-HWTD) ilk olarak Almanya'nın Hamburg kentinde Helmut Wind tarafından üretilmiştir. Hamburg Wheel Tracking Test, bitümlü sıcak karışımının tekerlek izi direncini belirlemeyi amaçlayan yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

AASHTO T 324 standartına göre Şekil 5.6'de görülmekte olan Superpave döner kompaktör(SGC) kullanılarak numuneler hazırlanmıştır.



Şekil 4.14:Gyratory Compactor

150 mm çapında, Superpave Döner Kompaktöründe hazırlanan TMA numunelerini test kalıplarına uygun boyuta getirilmesi için aşağıda şekil 4.13'te görülen kesme makinesinde kenarlarından 13 mm olacak şekilde kesilmiştir.



Şekil 4.15: Asfalt kesme makinesi ile kesilen numuneler

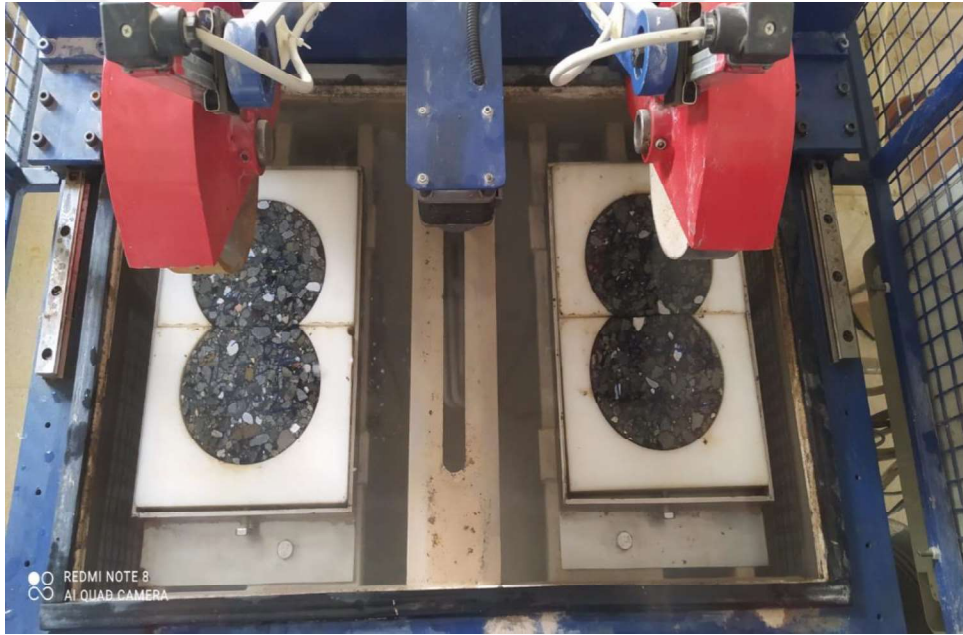
Asfalt kesme makinesi ile kesilen numuneler Şekil 5.8’de gösterildiği gibi düzgün bir yüzeye konularak Hamburg Tekerlek izi testine hazır hale getirilmiştir.



Şekil 4.16: Numunelerin düzgün bir yüzeye konulması

Test için kullanılan suyun sıcaklığı genellikle 40-50 °C arasında ayarlanır ancak genellikle 50 °C kullanılmaktadır. Deneyde kullanılan çelik tekerlekler 204 mm çapında ve 47 mm genişliğindedir. Çelik silindirik tekerlekler tarafından her bir numuneye uygulanan yük 703 N'dur. Çelik silindir tekerlekler, dakikada 52 geçiş yapacak şekilde ayarlanmıştır. Cihazın sınır geçişi 10010 tur olduğundan dolayı Her numuneye maksimum 10010 geçiş olacak şekilde ya da numunenin merkezinde max.20 mm çökme limiti olacak şekilde yani tekerlek izi oluşuncaya kadar tekerlek yükü numune üzerine uygulanmaktadır. Numuneler belirtilen geçiş veya deformasyona ulaştığında cihaz otomatik olarak durmakta ve deneyi ve sonlandırmaktadır(Han ve Shiwakoti, 2016; Izzo ve Tahmoressi, 1999).

Çelik kalıplara yerleştirilen numuneler deney kabinine aşağıda şekil 4.17’de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 4.17: Kalıplara konulan numunelerin Hamburg cihazına yerleştirilmesi

Hamburg tekerlek izi (HWTT) cihazında deney öncesi ve deney sonrası numune durumları Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.18: H.T.İ.D. öncesi ve sonrası numunelerin durumu

Asfalt betonun kaplamalarının bozulmasının en önemli nedenleri trafik ve su etkileridir. Hamburg Tekerlek İzi testinde, tekerlek geçişleri ile birlikte su hasarı da deformasyonun artmasında etkili olur. Su, bitüm ile agrega arasındaki yapışmayı zayıflatarak deformasyonu hızlandırmaktadır. Şekil 4.19’da taş mastik asfalt karışım numunelerinde tekerlek izi derinliği ile su hasarından kaynaklanan asfalt ve agreganın adezyon kaybı görülmektedir.(Lorasokkay, 2014; Torun, 2015).



Şekil 4.19: Hamburg Tekerlek izi deneyi sonrası numuneler ve kesitleri

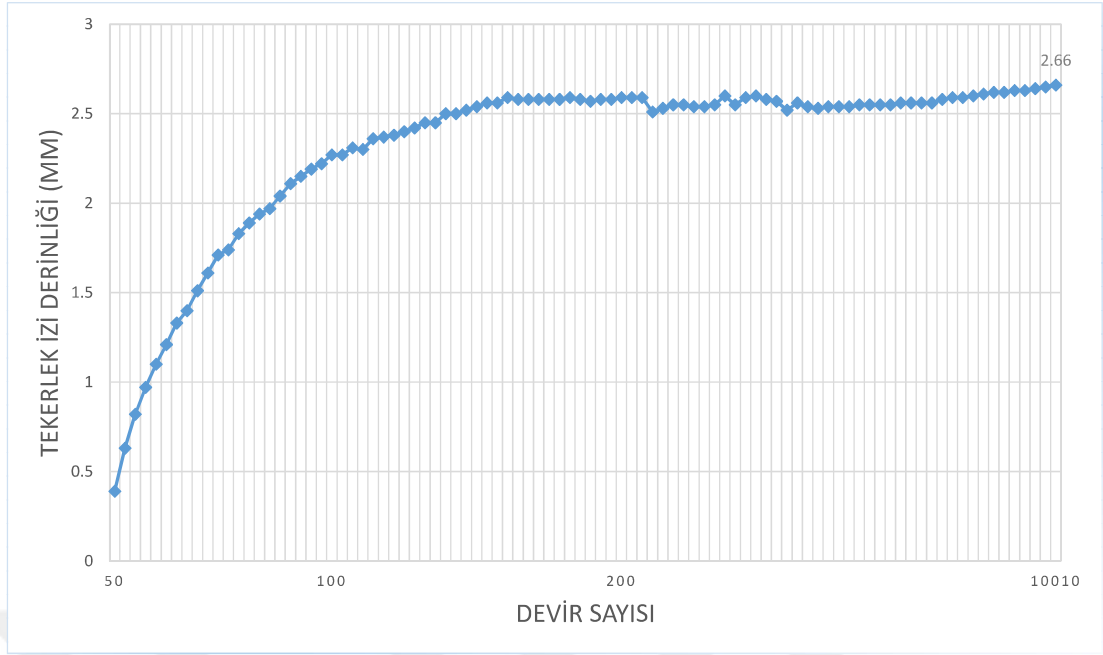


Şekil 4.20: Test numunelerinde oluşan tekerlek izi derinliği

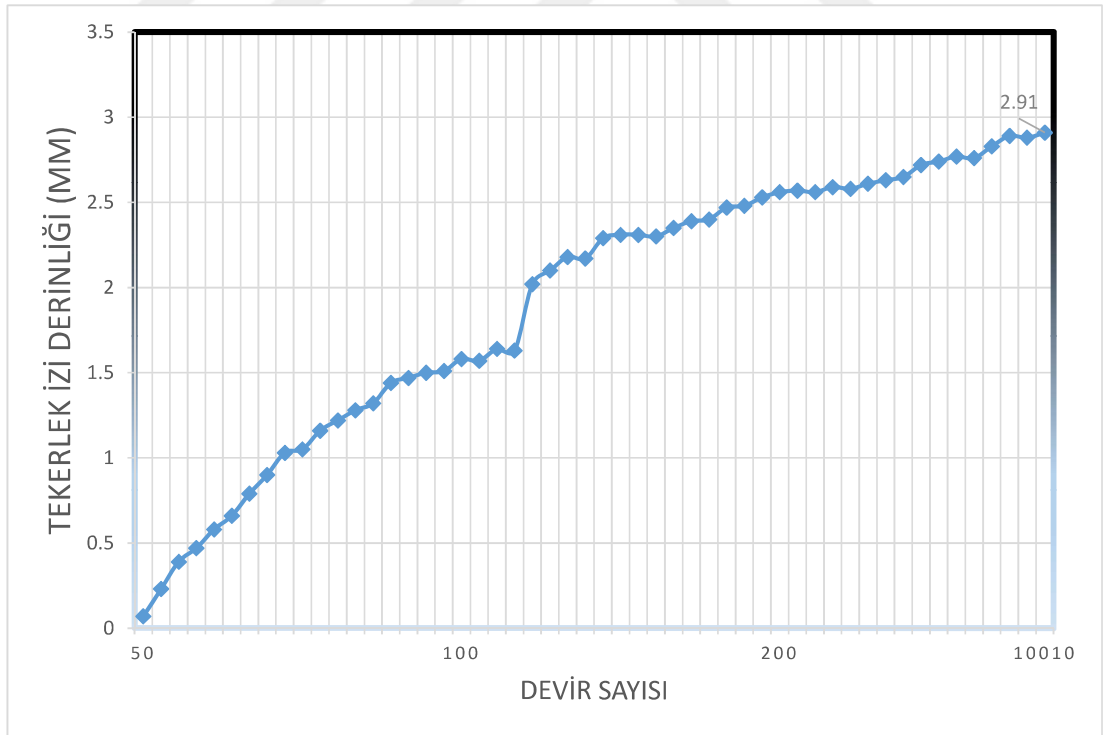
ABD’de uygulanan tekerlek izi geçiş sayısı 100000 olmasına rağmen uygulanan tekerlek geçiş sayısı 20000’dir. Colorado Ulaşım bölümü (CDOT), su hasarı ile yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfaltlardaki test sonuçları arasındaki korelasyona dayanarak, izin verilen maksimum tekerlek izi derinliğini 10000 tekerlek geçişinde 4 mm ve 20000 tekerlek geçişinde 10 mm önermektedir. Hamburg şehri, 19200 tekerlek geçişlerinde izin verilen maksimum tekerlek izi derinliğini 4 mm ile sınırlamaktadır(Aschenbrener ve diğerleri. 1994; İskender, 2017).

Hamburg tekerlek izi testi başlatıldıktan sonra 50 °C’deki su sıcaklığı 50, 100, 200 ve 10010 devirdeki tekerlek izi derinlikleri kayıt edilmiştir. Daha sonra bu değerlerin ortalaması alınarak meydana gelen tekerlek izi derinlikleri hesaplanmıştır.

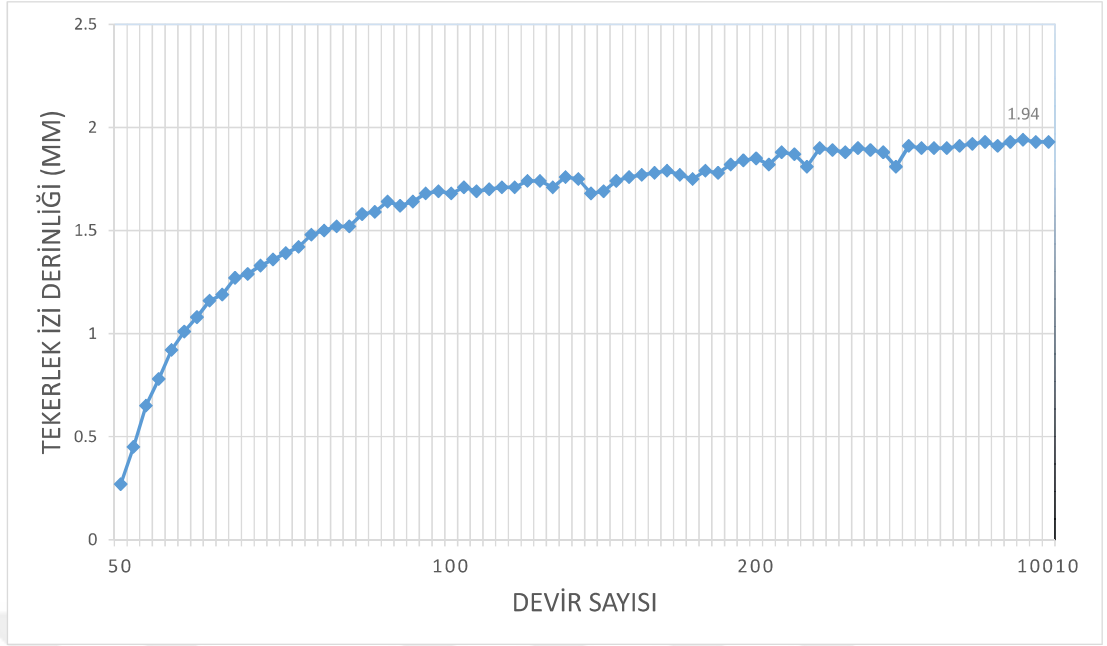
Taş mastik asfalt karışım numunelerinin Hamburg Tekerlek İzi deneyi sonucu meydana gelen tekerlek izi performansları aşağıda verilen şekillerde (Şekil 4.21- Şekil 4.25) görülmektedir.



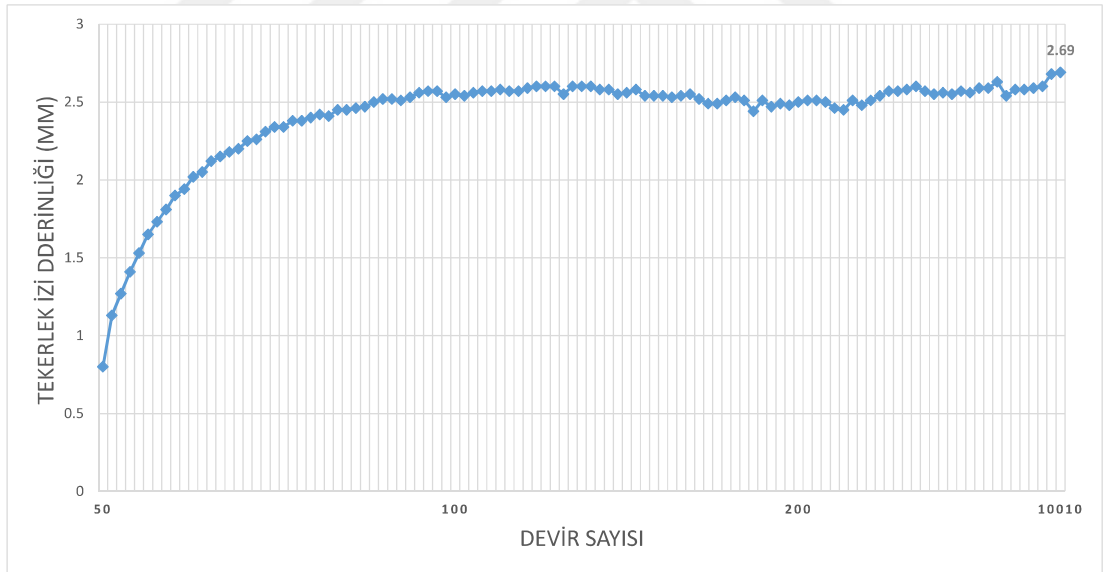
Şekil 4.21: Şahit numunenin ortalama tekerlek izi deformasyonu (mm)



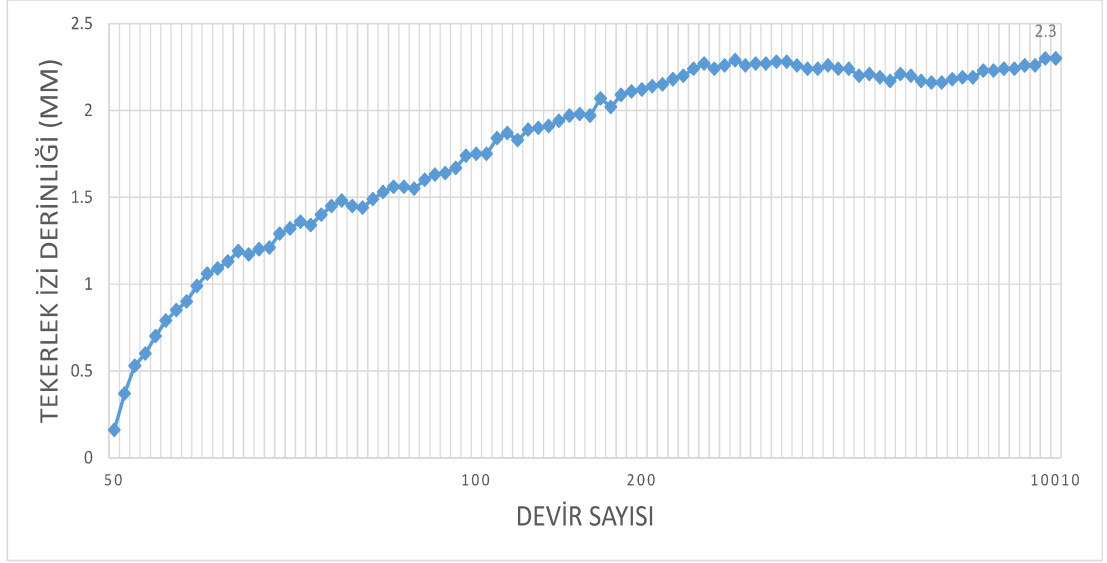
Şekil 4.22: Numune 1 ortalama tekerlek izi deformasyonu(mm)



Şekil 4.23: Numune 10 ortalama tekerlek izi deformasyonu (mm)



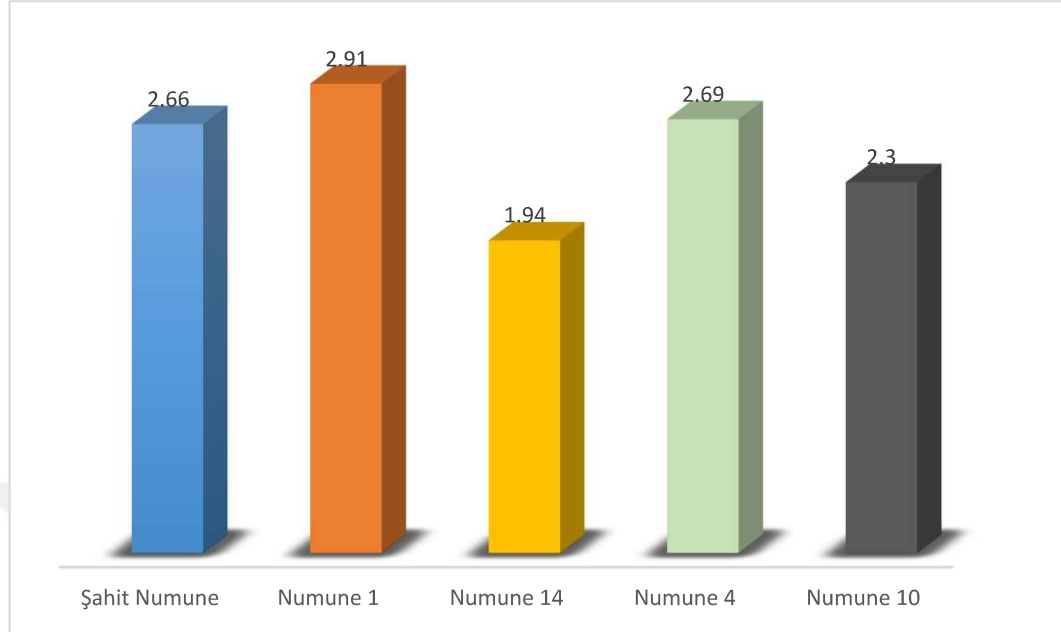
Şekil 4.24: Numune 14 ortalama tekerlek izi defromasyonu (mm)



Şekil 4.25: Numune 4 ortalama tekerlek izi deformasyonu (mm)

Hamburg Tekerlek izi deneyi sonuçlarına göre, en yüksek tekerlek izi miktarı 12 mm boyundaki bazalt elyaf % 0.2 orana sahip olan karışım numunesinde oluşmuştur. İkinci sıradaki yüksek tekerlek izi miktarı 26 mm boyundaki bazalt elyaf % 0.2 orana sahip katkı karışım numunesinde görülmüştür. Üçüncü sıradaki yüksek tekerlek izi miktarı % 0.35 HiperCell selülozik elyaf katkı karışım numunesinde meydana gelmiştir. Dördüncü sıradaki yüksek tekerlek izi miktarı 26 mm bazalt elyaf % 0.2 oranında +% 0.1 HiperCell selülozik elyaf katkı karışım numunesinde gözlenmiştir. En düşük tekerlek izi miktarı ise 12 mm boyutundaki bazalt elyaf % 0.3 oranında +% 0.2 HiperCell selülozik elyaf karışım numunesinde görülmüştür. Veriler değerlendirildiğinde, tekerlek izine karşı en yüksek dirence 12 mm boyundaki bazalt elyaf % 0.3 oranında +% 0.2 oranında HiperCell selülozik katkı karışım numunesinin sahip olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 4.26’da şahit ve katkıli numunelerin 10010 devirdeki ortalama deformasyon değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.26: Farklı Elyaf kombinasyonların ortalama tekerlek izi deformasyonları (mm)

4.4 Maliyet Analizi

Deneyisel çalışmada kullanılan malzemelerin oranları ve fiyatları değerlendirildiğinde ise;

Ekonomik analizi olarak sadece ilk yatırım maliyetine bakılmıştır. Şuanda Hipercell selülozik fiberin fiyatı 1\$/ kg’dur. Bazalt elyafın fiyatı 4\$/ kg’dur. Karayolların şartnamesine uygun olarak % 0,35 hipercell selülozik elyaf kullanılmıştır. Güncel kur ile % 0,35 selüloz elyaf 0,65 TL yapmaktadır. Bizimki en iyi dizaynda selülozik fiber % 0, 2 + bazalt fiber katkısının % 0, 3 oranlarında olduğu göz önüne alındığında, 2, 61 TL yapmaktadır. Günümüzde taş mastik afaltın fiyatı 3000 TL/ton civarlardadır. Hesaplamaları göz önüne alındığında 0.002 civarında artış var.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler verilmiştir.

Yapılan çalışmada taş mastik asfalt karışım dizaynının optimum bitüm oranını belirlemek amacıyla farklı oranlarda bitüm ve tedarikçi firmanın tavsiyesi doğrultusunda % 0,35 oranında selülozik elyaf katkısı kullanılarak karışımlar oluşturulmuştur. Üretilen taş mastik asfalt numunelerinin deney sonuçlarına göre optimum bitüm oranı %6 olarak belirlenmiştir. Daha sonra optimum bitüm oranı %6'yi esas alarak selülozik elyaflar ile farklı boyuttaki bazalt elyafların kombinasyonu denenerek TMA stabilitesi üzerindeki etkileri araştırmak için numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere yapılan deneyler neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Schellenberg süzülme deneyinde optimum bitüm oranında deney numunelerine % 0.2, % 0.3, ve % 0.4 oranlı 12 mm'lik bazalt elyaf ilavesiyle süzülme deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deney neticesinde numunelere % 0.2 oranında bazalt elyaf ilavesi % 0.02 süzülmeyi sağlamıştır. KTŞ'ne göre bitümün süzülmesi maksimum %0.3 olması gerekmekte olup deney sonuçları şartname sınırlarına uymaktadır.

Optimum bitüm oranında deney numunelerine % 0.2, % 0.3, ve % 0.4 oranlı 26 mm'lik bazalt elyaf ilavesiyle Schellenberger süzülme deneyi uygulanmıştır. Bu deney sonucunda numunelere %0.2 oranında bazalt elyaf ilavesi % 0.08 süzülmeyi sağlamış olup bu değer şartname sınır kriterini sağlamaktadır.

Optimum bitüm oranı % 6 olan numunelere % 0.2, % 0.3, ve % 0.4 oranında 12 mm'lik bazalt elyaf ve % 0.1 Hipercell selülozik elyaf ilavesiyle Schellenberger süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda numunelere %0.2 oranında bazalt elyaf +% 0.1 selülozik elyaf ilavesi % 0.13 süzülmeyi sağlamış olup bu değer şartname sınır kriterini sağlamaktadır.

Optimum bitüm oranında deney numunelerine % 0.2, % 0.3, ve % 0.4 oranında 26 mm'lik bazalt elyaf + % 0.1 selülozik elyaf ilavesiyle süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda numunelere %0.2 oranında bazalt elyaf +% 0.1 selülozik elyaf ilavesi % 0.15 süzülmeyi sağlamış olup bu değer şartname sınır kriterine uymaktadır.

Bulunan optimum bitüm oranında üretilen taş mastik asfalt numunelerine % 0.2, % 0.3, ve % 0.4 oranında 12 mm'lik bazalt elyaf + % 0.2 Hipercell selülozik elyaf katılmasıyla süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda numunelere % 0.3 oranında bazalt elyaf +% 0.2 selülozik elyaf eklenmesi % 0.1 süzülmeyi sağlamış olup bu değer şartname sınır kriterini sağlamaktadır.

Deney numunelerine % 0.2, % 0.3, ve % 0.4 oranında 26 mm'lik bazalt elyaf ve % 0.2 oranında Hipercell selülozik elyaf katmasıyla süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda numunelere % 0.2 oranında bazalt elyaf +% 0.2 selülozik elyaf eklenmesi %0.1 süzülmeyi sağlamış olup bu değer şartname sınır kriterini sağlamaktadır.

Şahit olarak, optimum oranda % 0.35 hipercell selülozik elyaf numune hazırlanarak bitümün süzülmesine etkisini belirlemek amacıyla Schellenberger süzülme deneyi yapılmıştır. Bu deney sonucunda, %0.02 süzülme kaybı göstermiş olup bu değer karayolları teknik şartname sınır kriteri maks. süzülme yüzdesi olan % 0.3 değerini sağlamaktadır.

Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuçlarına bakıldığında tüm numuneler sonuçlara göre standart olarak karayolları teknik şartnamesinde Schellenberger bitüm süzülme deney sonucunun maksimum % 0,3 belirttiği değer altında kaldığını göstermektedir. Ancak tek başına bazalt elyaf kullanımında en iyi sonuç 12 mm'lik bazalt elyaf %0.2 oranında verirken selüloz ve bazalt lifleri aynı anda karışım numunelerine ilave edildiğinde ise en iyi sonucu 12 mm'lik bazalt fiber % 0.3 oranlı + % 0.2 oranında selülozik fiberin verdiği görülmektedir.

Gelecek deneysel çalışmalarda farklı uzunluk ve oranlarda elyaf kullanılarak bitümün süzülmesindeki değişimler incelenebilir.

Hamburg Tekerlek izi deneyi sonuçları incelendiğinde, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Hamburg Tekerlek izi deneyi (HWTĐ) 50°C sıcaklıkta, su içerisinde yapılmıştır. Üretilen numuneler 50°C sıcaklığında suda 30 dakika boyunca bekletilmiştir. Hamburg Tekerlek izi testi sonucunda elde edilen tekerlek izi derinlikleri değerlendirdiğinde, bazalt + selüloz katkı ilaveli taş mastik asfalt karışım numunelerinin şahit ve tek başına bazalt ilaveli karışım numunelerine göre tekerlek izi oluşumuna karşı daha dayanıklı oldukları tespit edilmiştir. Deney sonuçlarına göre 12 mm boyutundaki bazalt elyaf %0.3 oranında + %0.2 oranında hiperzell selülozik elyaf, 26mm'lik bazalt elyaf % 0.2 oranında + % 0.1 oranında hiperzell selülozik katkı ilaveli karışıma kıyasla tekerlek izi oluşumuna karşı yaklaşık % 19 daha dirençli, 26mm boyundaki bazalt elyaf % 0.2 oranında olan katkı ilaveli karışıma kıyasla tekerlek izi oluşumuna karşı yaklaşık % 39 daha dirençli, 12mm boyundaki bazalt elyaf % 0.2 oranında katkı ilaveli karışıma kıyasla tekerlek izi oluşumuna karşı yaklaşık %50 daha dirençli, şahit olan % 0.35 selülozik karışıma kıyasla ise %37 daha dirençli olduğu tespit edilmiştir. Buna göre taş mastik asfalt karışımlarda, katkı maddesi olarak kullanılan bazalt elyaf + selülozik elyaf miktarı arttıkça aşınma tabakasında tekerlek izi meydana gelme olasılığının azaldığı anlaşılmaktadır.

Sonuç olarak tekerlek izi, yol kaplamanın en üst tabakası olan aşınma tabakasında yaygın olarak görülür. Daha çok ağır taşıt trafiği, dingil yükleri, yüksek sıcaklık ve yol malzeme özelliklerinden dolayı meydana gelen deformasyonları önlemek amacıyla, selüloz elyafla bazalt elyaf aynı anda karışıma ilave edilir ve bunun sonucunda taş mastik asfalt karışımının kaplamanın mühendislik özelliklerini iyileştirdiği tespit edildi ve katkı maddesi olarak kullanılması önerilmektedir.

Yapılan deneyde su sıcaklığı tekerlek izi deformasyon miktarını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle sonuçlar Hamburg Tekerlek İzi deneyi farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilerek çıkan sonuçların karşılaştırılması yapılabilir.

Yapılan çalışmada, laboratuvar ortamında hazırlanan katkı ilaveli taş mastik asfalt karışım numunelerinde 12 mm'lik ve 26 mm'lik bazalt elyaf kullanılmıştır.

Farklı uzunluk ve oranlarda elyaf kullanılarak karışımın mühendislik özelliklerindeki değişimler araştırılabilir.

Tekerlek İzi performans değerlendirmesi için farklı parametrelerin (Şekil 4.4'te gösterilen sünme eğimi gibi) kullanma olasılığı da gelecekteki bir çalışmada araştırılmalıdır. Numunelerin suya batırılmadan (bunun yerine sıcaklığı bir ısıtma cihazı aracılığıyla kontrol ederek) Hamburg Tekerlek İzi deneyine uygulanmasının etkisi gelecekteki bir çalışmada araştırılmalıdır.

Deney, cihazın tur sayısı veya diğer adıyla devir sayısı, tekerlek izi miktarını etkileyen faktörlerden biridir. Bu çalışmada toplam tur sayısı 10010 olarak seçilmiştir. Daha yüksek devirde denenerek tekerlek izindeki deformasyonlar incelenebilir.

7. KAYNAKLAR

- Arsalan, F.,“Taş mastik asfalt karışımlarda İstanbul çevresindeki cebeci dolamitli kireçtaşı gölcük-kumtaşı ve karatepe-bazalt kullanımının incelenmesi”,Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2014).
- Aschenbrener, T., Terel, R., and Zamora, R., “Comparison of the Hamburg Wheel-Tracking Device and the Environmental Conditioning System to Pavements of Known Stripping Performance”,*Colorado Department of Transportation, Denver, CDOT-DTD-R-94-1*,(1994).
- Beuving, E.,“Use of SMA in Europe”. *European Asphalt Paving Industry(EAPA)*, Japan, (2018).
- E-c, N., Brock, J. D., Decker, D. S., Donnelly, D. E., Harman, T. P., and Kandhal, P. S., “Loaded Wheel Testers in the United States: State of the Practice”. *Transportation Research E- Circular*, E-C016, (2000).
- European Asphalt Pavment Association, EAPA., “ *Taş mastik asfalt dizayni, üretimi ve uygulamaları*”,(Çev:Z.Temren), Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği Ankara,62-63,(2009).
- Han, J., and Shiwakoti, H., “Wheel tracking methods to evaluate moisture sensitivity of hot-mix asphalt mixtures”. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10(1), 30–43,(2016).
- İskender, C., “Cam Agregası Boyutlu ve Agregası Gradasyonunun Asfalt Kaplama Performansına Etkisi”. ,Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, (2017).
- Izzo, R. P., and Tahmoressi, M., “ Use of the Hamburg Wheel-Tracking Device for Evaluating Moisture Susceptibility of Hot-Mix Asphalt”. *Transportation Research Record*, 1681(1), 76–85, (1999).
- Karayollar genel müdürlüğü, KGM., “Karayolu teknik şartnamesi”, *Yayın No:276*, (2013).
- Koçyiğit, H., “Asfalt Üretimi ve Uygulaması(Taş Mastik) ”, *İsfalt İstanbul Büyükşehir Belediyesi*,33-34, (2014).
- Lorasokkay, M. A., “Piroliz Yöntemi Kullanılarak Sıvılaştırılmış Atık lastikle Modifiye Edilen Bitümlü Karışımların Mühendislik Özellikleri” ,Doktora Tezi,

- Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, (2014).*
- Ministry of Roads and City Planning, MRCP., “*Iran Highway Asphalt Paving*”, *Yayın No: 234*, (2003).
- Myers, N. M., “Stone Matrix Asphalt The Washington Experience”, Master's thesis, *University of Washington, Civil Engineering*, (2007).
- Mansourian, A., Stone mastic asphalt (SMA), Ministry of road and urban development road research center, 44, (2019).
- National Asphalt Pavement Association(NAPA)., “Designing and Constructing SMA Mixtures - State-of-the-Practice”, *National Asphalt Pavement Association*, (2002).
- Nasrazadany, R., “The effect of fiber in preventing loss of bitumen in Stone Mastic Asphalt”. *DaneshpajoohanPishro, Institute of Higher Education, Department of Postgraduate Studies, Isfahan*, (2016).
- Nömayg kalite departmanı, (NKD)., “Taş mastik asfalt sunumu” *Otoyol A.Ş. Kalite Birimi*, 102-103, (2014).
- Sharma, P., “An Introduction to Basalt Rock Fiber and Comparative Analysis of Engineering Properties of BRF and Other Natural Composites”, *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, 4(I), 141–148.(2016).
- Sultani, K. A., “Polipropilen Pirolyzi Kullanılarak Yapılan Taş Mastik Asfalt Karışımların Marshall Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya*, (2021).
- Sanlier, İ., and Pamuk, İ., “Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt(TMA) Uygulamaları, Performanslarının Karşılaştırılması Ve Maliyet Analizi”, 5. *Uluslararası Mühendislik ve Bilimde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, Baku, 29-30, (2017).
- Şahin, B., “Taş Mastik Asfalt Kaplamalarda Selülozik Fiber Yerine Vermikülit Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat*, (2021).
- Şanlier, İ., “Kuzey Marmara Otoyolu Projesi Kapsamında Taş Mastik Asfalt(TMA) Uygulamaları, Performanslarının Karşılaştırılması Ve Maliyet Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Skarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*, (2018).

Tayfur, S., “Taş Mastik Asfalt(SMA) Kaplamalar İçin Uygun Karışımın Araştırılması Ve Bir Hizmet Ömrü Modeli Geliştirilmesi”,Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2001).

Temren, Z., “Avrupa ve ABD ’ de SMA Uygulamaları Avrupa SMA Standardı”, *Türkiye Asfalt Müteahhitleri Derneği*, Ankara, (2009).

Torun, S., “Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Maddesi Olarak PR Plast S Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (2015).

