

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÜLEKSİTİN TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA FİLLER OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ersoy KABADAYI**

**HAZİRAN 2019**

**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce**

**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /**

**Tezin Savunma Tarihi : / /**

**Tez Danışmanı :**

**Trabzon**

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında  
Ersoy KABADAYI Tarafından Hazırlanan

ÜLEKSİTİN TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA FİLLER OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

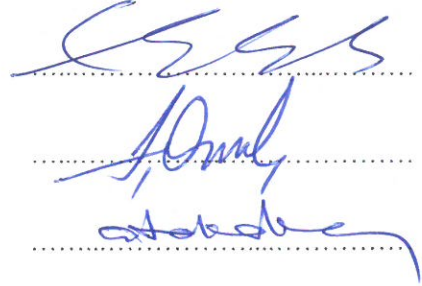
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fazıl ÇELİK

Üye : Prof. Dr. Şeref ORUÇ

Üye : Prof. Dr. Atakan AKSOY



Handwritten signatures of the jury members: Prof. Dr. Fazıl ÇELİK, Prof. Dr. Şeref ORUÇ, and Prof. Dr. Atakan AKSOY.

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

“Üleksitin Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu tez çalışmam boyunca desteğini benden esirgemeyen, zorlandığım durumlarda fikirleriyle bana yön vererek çalışmamın önünü açan, çalışma disiplini ve yaşam vizyonunu kendime örnek aldığım çok değerli hocam Prof. Dr. Şeref ORUÇ’a en içten duygularla teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarında, bana sürekli destek veren Araş. Gör. Erman ÇAVDAR ve Dr. Öğr. Üyesi Bahadır YILMAZ’a, çalışmalarım boyunca laboratuvarını bana açan, malzeme tedariki ve diğer ihtiyaçlarımda sürekli yardımını aldığım Kalite Kontrol Şefi Soner YAMİÇ’e teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim ve iş hayatım boyunca bana sürekli güvenen, elde ettiğim başarılarında ve karşılaştığım zorluklarda yanımda olan çok değerli aileme şükranlarımı sunarım.

*Bu tez çalışması, “Hayatım boyunca bana sürekli yol gösteren, güvenen ve desteğini hep arkamda hissettiğim, talihsiz bir trafik kazası sonucu bizlere veda eden ve yokluğunu hala derinden hissettiğim babam Selahattin KABADAYI’nın anısınadır.*

Ersoy KABADAYI  
Trabzon 2019

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Üleksitin Taş Mastik Asfalt Karışımlarda Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şeref ORUÇ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2019

Ersoy KABADAYI

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ .....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Konunun Özgeçmişi .....	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol.....	5
1.4. Bor .....	6
1.4.1. Bor Mineralleri .....	7
1.4.1.1. Üleksit.....	8
1.4.2. Türkiye'deki Bor Yatakları .....	9
1.4.3. Bor Minerallerinin Kullanım Alanlar .....	11
1.5. Karayolu Yapısı .....	12
1.5.1. Yol Altyapısı.....	13
1.5.2. Yol Üstyapısı .....	14
1.5.2.1. Rijit Üstyapı.....	14
1.5.2.2. Esnek Üstyapı .....	14
1.5.3. Esnek Yol Kaplamaları.....	15
1.5.3.1. Yüzeysel Kaplamalar .....	15
1.5.3.1.1. Sathi Kaplamalar .....	15
1.5.3.1.2. Karartma Tabakası.....	17
1.5.3.1.3. Harç Tipi Örtü.....	18
1.5.3.1.4. Örtme Tabakası.....	19
1.5.3.2. Karışım Kaplamaları.....	20

1.5.3.2.1.	Soğuk Karışım Asfalt Kaplamaları.....	20
1.5.3.2.2.	Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları .....	20
1.5.3.2.3.	Bitümlü Sıcak Karışımlar .....	21
1.5.4.	Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar .....	23
1.5.4.1.	Şekil Değişirme .....	23
1.5.4.2.	Çatlaklar.....	26
1.5.4.3.	Ayrışmalar .....	30
1.6.	Taş Mastik Asfalt Karışımlar.....	32
1.6.1.	Taş Mastik Asfalt Karışımların Tarihçesi.....	33
1.6.2.	Taş Mastik Asfaltın Kullanım Amacı ve Uygulama Alanları .....	35
1.6.3.	Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Üretimi .....	38
1.6.4.	Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Serilmesi ve Sıkıştırılması .....	39
1.6.5.	Taş Mastik Asfaltın Olumlu Tarafları .....	40
1.6.6.	Taş Mastik Asfaltın Olumsuz Tarafları .....	43
2.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	45
2.1.	Agrega Deneyleri.....	45
2.1.1.	Elek Analizi Deneyi.....	45
2.1.2.	Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi .....	47
2.1.3.	Los Angeles Aşınma Deneyi .....	48
2.1.4.	Yassılık İndeksi Deneyi.....	50
2.1.5.	Cilalanma Deneyi .....	51
2.1.6.	Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi).....	51
2.1.7.	Soyulma Mukavemeti Deneyi .....	52
2.1.8.	Metilen Mavisini Deneyi .....	52
2.2.	Bitüm Deneyleri.....	54
2.2.1.	Özgül Ağırlık Deneyi .....	54
2.2.2.	Penetrasyon Deneyi .....	55
2.2.3.	Yumuşama Noktası Deneyi .....	56
2.2.4.	Schlenberger Bitüm Süzülme Deneyi.....	57
2.3.	Marshall Deneyi.....	57
2.4.	Dolaylı Çekme - Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi.....	59
3.	ARAŞTIRMA BULGULARI.....	62
3.1.	Karışım Oranları, Karışım Gradasyonu ve Tolerans Limitleri.....	62

3.2.	Agrega ve Bitüm Deneş Sonuçları .....	62
3.3.	Karışıma Ait Deneş Sonuçları .....	63
3.4.	Üleksit Mineralinin Karışım Filleri Olarak Uygulanması ve Deneş Planı.....	65
3.5.	Marshall Stabilite ve Akma Deneş Sonuçları .....	66
3.6.	Dolaylı ekme-Rijitlik Modülü (ITSM) Deneş Sonuçları.....	67
3.7.	Deneş Sonuçlarının İrdelenmesi.....	69
3.7.1.	Stabilite ve Akma Değerlerinin karşılaştırılması.....	69
3.7.2.	Dolaylı ekme-Rijitlik Modülü (ITSM) Deneş Sonuçları.....	70
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	74
5.	KAYNAKLAR .....	76
ÖZGEÇMİŞ		



Yüksek Lisans Tezi

## ÖZET

### ÜLEKSİTİN TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA FİLLER OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ersoy KABADAYI

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Şeref ORUÇ  
2019, 80 Sayfa

Bu çalışmada, asfalt kaplama teknolojisinde yurt dışında ve artık ülkemizde de yaygın olarak kullanılan Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımlar irdelenmiş, TMA kaplama karışımında kullanılan mineral filler malzemesi yerine ülkemizde yoğun bir rezervi olan Üleksitin, filler malzemesi olarak kullanılmasının kaplama performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Taş mastik asfalt karışımında bulunan bazalt kökenli filler malzemesi, karışımda kullanılan toplam agrega ağırlığının %10'u kadardır. Optimum bitüm oranı ve diğer karışım bileşenleri sabit kalacak şekilde bazalt fillerini yerine değişen oranlarda (%0 üleksit - %10 bazalt, %3 üleksit - %7 bazalt, %6 üleksit - %4 bazalt, %10 üleksit - %0 bazalt) Üleksit katılmıştır. Üleksitin, karışımda kullanılan her bir oranı için 6 adet olmak üzere toplamda 24 adet marshal briketi (numunesi) hazırlanmıştır. Hazırlanan briketler üzerinde Marshall ve Dolaylı Çekme deneyleri yapılmış ve deneylerden elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Deney sonuçlarından, TMA karışımlarda Üleksitin filler olarak kullanımının, kaplamanın stabilite ve esneklik modülü değerlerinde belirgin bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. En yüksek Stabilite değerinin %6, en yüksek Esneklik Modülü değerinin ise %3 Üleksit oranında elde edildiği kaydedilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Üleksit, Taş Mastik Asfalt, Üleksit Filler, Bazalt Filler, Marshall ve Dolaylı Çekme Deneyi

Master Thesis

**SUMMARY**

INVESTIGATION OF THE USE OF THE ULEXITE AS A FILLER IN STONE  
MASTIC ASPHALT MIXTURES

Ersoy KABADAYI

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şeref ORUÇ  
2019, 80 Pages

In this study, Stone Mastic Asphalt (SMA) mixtures which are widely used in our country and abroad in asphalt pavement technology are investigated. The effects of Ulexite, which is used instead of mineral filler material in SMA pavement mixture and which has an intensive reserve in our country, as a material of filler, has been investigated. The basalt-based filler material in the stone mastic asphalt mixture is 10% of the total aggregate weight used in the mixture. Ulexite, the optimum bitumen ratio and the other mixture components remain constant in varying proportions instead of basalt filler (0% ulexite - 10% basalt, 3% ulexite - 7% basalt, 6% ulexite - 4% basalt, 10% ulexite - 0% basalt) was added. A total of 24 marshal briquettes (6 samples) were prepared for each ratio of ulexite used in the mixture. Marshall and indirect tensile tests were performed on the prepared briquettes and the results obtained from the experiments were examined.

From the results of the experiment, it was observed that the use of Ulexite as a filler in SMA mixtures resulted in a significant increase in the stability and elastic modulus values of the pavement. It was recorded that the highest Stability value was obtained at 6% and the highest elastic modulu value at 3% Ulexite ratio.

**Key Words:** Ulexite, Stone Mastic Asphalt, Ulexite Filler, Basalt Filler, Marshall and Indirect Tensile Test

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye Bor Rezervi (milyon ton) .....	10
Tablo 2. Türkiye Bor Rezerv Tipi (milyon ton).....	10
Tablo 3. Türkiyede satıl cinsine göre yol ağı.....	13
Tablo 4. Türkiyede bölünmüş yol uzunlukları.....	13
Tablo 5. Kare delikli elek açıklığı.....	45
Tablo 6. TMA Tip-1 dizayn kriterleri.....	58
Tablo 7. Şantiye elek analizleri sonuçları ve karışım gradasyonu .....	62
Tablo 8. Agreg ve Bitüm Deney Sonuçları .....	63
Tablo 9. TMA karışımı dizayn sonuçları .....	63
Tablo 10. TMA Marshall deneyi sonuçları .....	64
Tablo 11. Stabilite ve akma değerleri .....	67
Tablo 12. Esnek Modülü Değerleri.....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Üleksit .....	8
Şekil 2. Eskişehir-Kırka bor oluşumları .....	9
Şekil 3. Türkiye’de bor rezervinin bulunduğu bölgeler .....	10
Şekil 4. Bor kullanım alanları .....	11
Şekil 5. Esnek üstyapı kesiti.....	15
Şekil 6. Sathi kaplama serimi .....	16
Şekil 7. Karartma tabakası uygulaması .....	16
Şekil 8. Uygun yüzey .....	17
Şekil 9. Karartma tabakasından önce .....	17
Şekil 10. Karartma tabakasından sonra .....	17
Şekil 11. Uygulamadan önce ve uygulamadan onar kaplama .....	18
Şekil 12. Harç tipi örtü .....	19
Şekil 13. Örtme tabakası .....	19
Şekil 14. Üretim sıcaklıklarına göre karışımın sınıflandırılması ve yakıt yüketimi .....	21
Şekil 15. Agrega gronülometrileri.....	23
Şekil 17. Oturma .....	24
Şekil 18. Yerel çökme .....	24
Şekil 19. Tekerlek izi oluşumu.....	25
Şekil 20. Ondülasyon .....	25
Şekil 21. Kabarma .....	26
Şekil 22. Tipik bir esnek üstyapısı (a) ve oluşan bozulmalar (b).....	27
Şekil 23. Yüksek ve orta şiddetli yorulma çatlakları.....	28
Şekil 24. Kenar çatlağı oluşumu .....	28
Şekil 25. Enine çatlaklar.....	29
Şekil 26. Yansıma çatlağı.....	29
Şekil 27. Oyuk.....	30
Şekil 28. Sökülme .....	31
Şekil 29. Soyulma .....	32
Şekil 30. Kusma .....	32

Şekil 31. TMA (solda) ve geleneksel BSK (sağda) yüzey dokuları .....	33
Şekil 32. Taş mastik asfalt bileşimi .....	33
Şekil 33. TMA karışımların otobüs duraklarında kullanımı .....	35
Şekil 34. TMA karışımların yarış pistlerinde kullanımı .....	35
Şekil 35. TMA üretimi .....	39
Şekil 36. Elek analizi tayin aparatları.....	46
Şekil 37. Malzeme eleme işlemi. ....	46
Şekil 38. Los Angeles aşınma cihazı ve deneye tabi tutulmuş numune.....	49
Şekil 39. Los Angeles tamburundan alınan numune.....	49
Şekil 40. Yassılık indeksi şablonu .....	50
Şekil 41. Cilalanma deney cihazı .....	51
Şekil 42. Metilen mavisi deneyi için numune hazırlama .....	53
Şekil 43. Numuneye metilen mavisi eklenmesi ve karıştırılması .....	53
Şekil 44. Penetrasyon deney aleti.....	55
Şekil 45. Yumuşama noktası tayin cihazı .....	56
Şekil 46. Laboratuvar asfalt mikseri .....	56
Şekil 47. Otomatik Marshall kompaktörü.....	59
Şekil 48. Hazırlanan Marshall kalıpları.....	59
Şekil 49. Hazırlanan Marshall briketleri .....	59
Şekil 50. Rijitlik modülü deney düzeneği (KTÜ Ulaştırma Laboratuvarı ).....	60
Şekil 51. TMA Marshall deneyi sonuçları .....	65
Şekil 52. Karışım numunelerinin hazırlanması .....	65
Şekil 53. Karışımların etüve konulması .....	66
Şekil 54. Su banyosu .....	66
Şekil 56. Su banyosuna bırakılan numuneler .....	67
Şekil 56. Su banyosuna bırakılan numuneler .....	67
Şekil 57. Marshall stabilite ve akma cihaz .....	67
Şekil 58. Üleksit oranı (%) – Akma (mm) grafiği.....	69
Şekil 59. Üleksit oranı (%) – Stabilite (kg) grafiği .....	69
Şekil 60. %0 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği .....	70
Şekil 61. %3 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği .....	71

Şekil 62. %6 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği .....	71
Şekil 63. %10 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği .....	72
Şekil 64. Farklı yükleme periyotları için Üleksit oranı - Esneklik modülü (Mpa) grafiği .....	72
Şekil 65. Farklı yükleme periyotları ve farklı yükleme hızları için Üleksit oranı - Esneklik modülü (Mpa) grafiği.....	73



## SEMBOLLER DİZİNİ

%F	: Filler malzemesinin ağırlıkça karışım yüzdeleri
%İ	: İnce agregaların ağırlıkça karışım yüzdeleri
%K	: Kaba agregaların ağırlıkça karışım yüzdeleri
BSK	: Bitümlü sıcak karışım
Cm	: Santimetre
D	: Ortalama yatay deformasyon değeri
dB	: Desibel
Dt	: Maksimum teorik özgül ağırlığı
Gb	: Bitümün özgül ağırlığı
Gef	: Agregata efektif özgül ağırlığı
Gfa	: Filler zahiri özgül ağırlıkları
Gia	: İnce agregaların zahiri özgül ağırlıkları
Gib	: İnce agregaların hacim özgül ağırlığı
Gka	: Kaba agregaların zahiri özgül ağırlıkları
Gkb	: Kaba agregaların hacim özgül ağırlığı
Gr	: gram
Gsa	: Zahiri özgül ağırlık
Gsb	: Hacim özgül ağırlığı
Gse	: Efektif özgül ağırlığı
ITSM	: Dolaylı Çekme - Rijitlik Modülü Deneyi
Km	: Kilometre
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
L	: Düşey yükün maksimum değeri
LA	: Los Angeles aşınma kaybı değeri
M	: 1,6 mm elek üzerinde kalan agregata ağırlığı
Mg	: Metilen mavisi boyasının eklenme ağırlığı
Mk	: Metilen mavisi boyasının eklenme adedi
ml	: mililitre
Mm	: Malzeme ağırlığı
Mm	: Milimetre

Mpa : Megapaskal  
MQ : Marshall oranı  
Ms : Milisaniye  
NCAT : National Center for Asphalt Technology  
RMS : Marshall stabilitesi  
Sm : Dolaylı çekme rijitlik modülü  
SMB : Splittmastixbinder  
t : Ortalama numune kalınlığı  
TMA : Taş Mastik Asfalt  
v : Poisson oranı  
VFA : Asfaltla dolu boşluk  
VMA : Agregalar arası boşluk  
Wa : Agreganın karşımının yüzde değeri olan bitüm miktarı  
WMA : Warm-Mix. Asfalt



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Bir ülkenin ulaşım ağı, ekonomik ve sosyal etkilerinden dolayı büyük öneme sahiptir. Ayrıca bir ülkenin ulaşım altyapılarının gelişmişliği ile ülkenin genel gelişmişliği arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Dolayısıyla karayolları, havayolları, demiryolları, deniz yolları ülke ekonomisi için büyük bir öneme sahiptir.

Günümüzde karayolları, ulaşım sistemleri arasında en fazla kullanılan ulaşım sistemidir. Genel olarak bir ülkenin ulaşım sistemini insan vücudundaki damarların dolaşım sistemine benzetebiliriz. Havayolları, demiryolları ve denizyolları ana damarlardır. Karayolları ise bu diğer ulaştırma sistemlerinin ulaşamadığı yerlere de ulaşabildiğinden bir ülkenin kılcal damarları gibidir. Bu sebeplerden dolayı karayolları ağır ve yoğun trafik yüklerine maruz kalmaktadır. Bu yüklerin altında oluşan ve üstyapıya etki eden gerilmelerdeki artış, karayolu esnek üstyapısında bozulmalara ve yol servis kabiliyetinin azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca esnek üstyapıda kullanılan malzemelerin, farklı iklim etkileri altında durabilitelelerini koruyamadığından dolayı yine yol kullanım ömründe azalmalar meydana gelmektedir.

Böyle durumlarda ulaşım ağının devamlılığı açısından bakım ve tamirat işlemleri yapılması zorunlu hale gelecektir. Bu durum ise ülke ekonomisine ek bir maliyet olarak karşımıza çıkacaktır. Bu ek maliyetlere önlem almak ve yol ömrünün uzatılması amacıyla esnek üstyapının performansını artırıcı katkılar ve yöntemler ortaya çıkmıştır. Buna paralel olarak son yıllarda ülkemizde de yaygın bir şekilde kullanılmaya başlayan taş mastik asfalt kaplamalar, yol üstyapısının maruz kaldığı ve bozulmalara neden olan olumsuz etkilere karşı daha yüksek direnç göstermektedir. Taş mastik asfalt karışımlar yol üstyapısının maruz kaldığı bu etkilere direnç gösterebilse bile bazen yetersiz kaldığı ve olumsuz sonuçların olduğu durumlarda meydana gelmektedir. Böyle durumlar için ülke ulaşım ağının büyük bir bölümünü kapsayan ve ekonomik açıdanda büyük bir paya sahip olan karayollarının, bakım ve tamirat maliyetlerini en aza indirmek amacıyla yeni ve daha maliyeti az yöntemler bulunmalıdır.

Bu yöntemlerin yerli milli olması ve ülke kaynaklarının kullanılmasında büyük önem arz etmektedir. Buna görüşe paralel olarak dünya rezervinin büyük bir bölümünün ülkemizde bulunduğu bor mineralinin asfalt karışım kaplamalarda kullanıldığında performansına nasıl etkiler yaptığı araştırılmalıdır.

## 1.2. Konunun Özgeçmişi

Asfalt kaplama karışımların içeriğinde bulunan filler malzemesi karışımın performansına etkisi bakımından değerlendirildiğinde önemli bir malzemedir. Çoğu araştırma, filler üzerinde ne gibi iyileştirmeler sağlayarak karışımın genel performansını artırmanın cevaplarını aramıştır. Bunun için karışım filler malzemesi yerine farklı malzemeler kullanılarak asfalt karışımın performans araştırmaları yapılmıştır. Bu araştırmaların bazıları aşağıda verilmiştir.

Kalker ve asfaltit taştuzu içeren asfalt karışımlarının optimum bitüm miktarları bulunmuştur. Asfaltit ve kontrol karışımlarının mekanik özellikleri Marshall stabilite, dolaylı çekme ve su hasarı deneyleri yapılarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, karışımların yoğunluk-bosluk özellikleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bu çalışma sonucu elde edilen bulgulardan, asfaltitin, asfalt betonu karışımında bütünüyle mineral filler olarak kullanılması yerine, özellikle bosluk oranı ve stabilite değerleri açısından, belli bir miktar kullanılmasının daha iyi sonuçlar verebileceği gözlenmiştir [1].

Asfalt kaplamalarda, katkı maddesi olarak sönmüş kireç, çimento ve Pr plast kullanımı araştırılmakta ve seçilen örnekler üzerinde performans değerlendirme yöntemlerinden Marshall Oranı kullanılarak, katkıların sıcak asfalt karışım performansına etkisi saptanmaya çalışılmıştır. Çalışmada sönmüş kireç ve çimento için filler oranı azaltılmak suretiyle katkıları adım adım % 1, %1,5, %2, %3 ve %5 oranlarında, Pr plast ise karışımın % 0,3 ve % 0,6 ağırlık oranında granül agregaya karıştırılarak asfalt karışımlar üretilmiştir. Toplam 72 adet numune üretilmiştir. Numunelerin yarısı; su hasarına maruz bırakıldı ve koşullandırma gerçekleştirildi. Bulunan deney sonuçlarından çimento ve sönmüş kirecin asfalt kaplamalarda taştuzu(filler) olarak kullanılabilmesi kanısına varılmıştır. Ayrıca Pr plastın asfalt karışımın performansını iyileştirdiği gözlemlenmiştir [2].

Kırka bor tesisinden temin edinilen tinkalin (bor atığı) taştuzu boyutuna getirilerek asfalt karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılmış ve asfalt karışım üzerinde ki etkileri gözlemlenmiştir. % 4 ağırlık oranından başlayarak aritmetik bir şekilde artarak %8 oranına kadar her oran için briket numuneleri hazırlanmıştır. Bulunan deney verilerini karşılaştırabilmek amacıyla karışıma göre % 6 ağırlık oranında kireçtaşı ilaveli mineral filler ile bitümlü sıcak karışım briketleri hazırlanmıştır. Hazırlanan briket numuneleri üzerinde stabilite, akma ve mekanik batırma deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden sonra Donma – Çözülme dönüşümü yapılarak ardından stabilite, akma ve dolaylı çekme deneyleri tekrar uygulanarak asfalt karışım üzerinde tinkalin (bor atığı) etkisi gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre tinkalin(bor atığı) aşınma kaplamalarda filler malzemesi olarak karışıma katılmasının uygun olacağı görüşüne varılmıştır [3].

Silopi asfaltinin bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak kullanımının etkisi araştırılmıştır. Silopi asfaltiti %1–5 aralığında 5 farklı oranda kullanılmıştır. Saf ve asfaltit içeren karışımların tasarımı Superpave yöntemine göre yapılmıştır. Deneyler kısa dönem yaslandırılmış karışımların yanı sıra uzun dönem yaslandırılmış karışımlar üzerinde de uygulanmıştır. Marshall deneyleri sonucunda asfaltit içeriği arttıkça stabilite, Marshall oranı (MQ) vekalıcı Marshall stabilitesi (RMS) değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Çekme dayanımı oranı deneyleri sonucunda asfaltit içeriği arttıkça karışımların çekme dayanımı ve çekme dayanımı oranının yükseldiği gözlemlenmiştir. Esneklik modülü deneyleri verilerinde asfaltit oranı arttıkça deney numuneleri üzerinde esneklik modülü değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Dolaylı çekme yorulma deneyleri verilerine göre asfaltit içeriği arttıkça yorulma ömrünün arttığı belirlenmiştir. Ayrıca deformasyonun azalması nedeniyle daha gevrek bir kırılmanın meydana geldiği tespit edilmiştir. Tekrarlı sünme deneyi sonucunda asfaltit içeriği arttıkça rezilyans modülü, sünme modülü ve akma sayısı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Kırılma tokluğu deneyleri sonucunda %3 asfaltit içeriğine kadar K<sub>jc</sub> değerlerinin benzer olduğu, %4, %5 asfaltit içeriklerinde bu değer azaldığı belirlenmiştir. J<sub>c</sub> değerlerinden asfaltit içeriği arttıkça karışımların çatlak ilerleyisine karşı dayanımlarının arttığı tespit edilmiştir. Çalışmada J<sub>c</sub> deneylerinin görüntüleri alınarak sayısal görüntü işleme prosedürüne tabi tutularak zamanla çatlak ilerleyisi tespit edilmiştir. Ayrıca doğrusal regresyon analizi ile değişkenler arasındaki ilişki modellenerek birinci derece denklem haline getirilmiştir. Deney sonuçları göz önünde bulundurulduğunda asfaltit içeriği arttıkça karışımların kalıcı deformasyona, yorulma çatlaklarına, nem hasarına ve çatlak ilerleyisine karşı dayanımının ve rijitliğinin arttığı fakat karışımlarda daha gevrek

kırılmanın görüleceği belirlenmiştir. Hacimsel tasarım göz önünde bulundurulduğunda en uygun asfaltit içeriğinin %3 olduğu belirlenmiştir [4].

Volkanik cüruf, hurda cam ve cam şişe atıkları malzemelerinin asfalt kaplamalarda filler olarak kullanıldığı durumlarda etkileri gözlemlenmiştir. Orijinal karışım içeriğinde bulunan fillerin performansı ile alakalı kıyaslamalar ortaya konmuştur. Tez iki aşamalı deneylerden oluşmaktadır. Birinci aşama olan; sabit filler oranı (%7) ve bitüm oranı %4, 4,5, 5,5, 6, 6,5 belirlenerek karışım için optimum bitüm miktarı bulunmuştur. İkinci aşamasında ise farklı filler malzemeleri ile hazırlanmış karışımlar için optimum bitüm oranı ve %5, 6, 7, 8 ve 9 filler oranı ile üretilen numuneler üzerinde Marshall stabilite deneyleri uygulanmış ve elde edilen veriler orijinal karışım sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, ekonomik ve çevresel faktörler düşünüldüğünde kırmataş tozu yerine filler olarak hurda cam tozu, cam şişe tozu ve volkanik cüruf tozunun değerlendirilebileceği tespit edilmiştir [5].

Granit arıtma çamurunun asfalt kaplamalarda kullanılarak karışım üzerinde meydana gelen performans etkileri gözlemlenmiştir. İzmir civarından alınan granit arıtma çamuru malzemesi mikro öğütücülerde filler boyutuna getirilmiştir. Hazırlanan bu filler malzemesi ile briket numuneleri hazırlanmıştır. Bu numunelerin içeriğinde daha önce belli deneylerle uygunluğuna onay verilmiş agregaya, ağırlıkça oranı %4, %4,5, %5, %5,5, %6, %6,5 olan bitüm ve %0, %2, %4, %6, %8 ağırlık oranlarında filler malzemesi bulunmaktadır. Bu karışım oranlarına göre laboratuvarında üretilen briket numuneleri üzerinde stabilite ve akma deneyleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlara göre bitümün optimum oranı tespit edilmiştir. Bu bitüm oranına göre hazırlanan briketler üzerinde Endirekt çekme deneyi ve Marshall mekanik batırma deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmalar sonucunda granit arıtma çamurunun aşınma tabakaları için kullanılmasının performans açısından pozitif sonuçlar vereceği belirlenmiştir [6].

Agrega granülometrisi sabit olacak şekilde, filler malzemesi taştuzu ve mermer olan briketler hazırlanmıştır. Bu briketler hem mermer hemde taş tozu için % 3.5, % 4, % 4.5, % 5, % 5.5, % 6 bitüm oranlarında ayarlanmıştır. Optimum bitüm oranı bulunduktan sonra, filler – bitüm oranı %4, %5, %6, %7, %8 olan her yüzde için %2, %4, %6, %8, %10 filler oranı olacak şekilde briketler hazırlanmıştır. Daha sonra bu şekilde hazırlanan numuneler üzerinde plastik deformasyon deneyi yapılmıştır. Deney sonucundan çıkan verilere göre kullanılması gereken filler oranı belirlenmiştir. Isparta ilinde bulunan iki farklı mermer fabrikasından mermer atığı, taş tozu ve filler haline getirilmiş 7 adet farklı mermer malzemesinden oluşan numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra bu briketler üzerinde plastik

deformasyon değerleri bulunmuştur. Daha sonra deney sonuçlarından çıkan değerlere göre genel bir karşılaştırma yapılmıştır. Mermer atıklarına göre hazırlanan briketler ile milro öğütücülerde öğütülerek filler haline getirilen mermer için hazırlanan briketlerin deformasyon değerleri karşılaştırıldığında, deformasyonların alt üst sınırların arasında kaldığı görülmüştür. Ayrıca bej türünden olan mermer malzemesinin, atık olarak karışıma katılıp hazırlanan numunelerinin değerleri ile filler haline getirilip hazırlanan numunelerinin deformasyon değerlerinin hemen hemen birbirine yakın değerler verdiği izlenmiştir. Bu değerlerden çıkan sonuçlara göre taş tozu yerine mermer tozlarının asfalt karışımlarda filler malzemesi olarak kullanılabilceği düşünülmektedir [7].

Aynı granülometri eğrisine sahip kireç taşı numuneleri % 3, 4, 5, 6, 7 ve 8, zeolit ve pomza taşı numuneleri % 5, 6, 7, 8 ve 9 oranlarında asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanmıştır. Bulunan bitüm oranı kullanılarak ağırlıkça filler oranına göre % 4, % 5, %6, % 7 ve % 8 oranlarında Marshall numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numunelerin stabilite ve akma değerleri belirlenmiştir. Bulunan deformasyon değeri ile filler/bitüm oranına göre optimum filler yüzdesi ve optimum bitüm yüzdesi tayini yapılmıştır. Daha sonra ince agrega zeolit iri agrega kireç taşı, ince agrega kireç taşı iri agrega zeolit, ince agrega pomza iri agrega kireç taşı ve ince agrega kireç taşı iri agrega pomza olacak şekilde numuneler hazırlanmış agrega / bitüm oranı % 4, % 5, %6, %7 ve %8 oranlarında asfalt çimentosu kullanılmıştır. Numuneler Marshall stabilite deneyine maruz bırakılmış ve optimum bitüm yüzdeleri hesaplanmıştır. Bulunan optimum bitüm yüzdeleri karşılaştırılmıştır. Bu değerlerden yola çıkarak pomza ve zeolit tozunun bol miktarda bulunduğu yerler başta olmak üzere nakliye maliyetlerinin ve diğer maliyetlerin kireç taşı maliyetlerinin altında kaldığı yerlerde kireç taşı tozunun yerine pomza ve zeolit tozu kullanılabilceği düşünülmüştür [8].

### **1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol**

Bir bor türevi olan üleksit minerali ülkemizde geniş bir rezervi olan madendir. Ayrıca çeşitli sektörlerde de kullanılarak ülkemiz ekonomisine büyük bir katkı sağlamaktadır. Büyük rezervleri olan bu ulusal kaynağımızın ihtiyacımız olan sektörler başta olmak üzere daha geniş alanlarda kullanılmasını sağlamak önemli bir hedef olmalıdır.

Karayollarında esnek üstyapıda araç trafiğiyle direkt temasta olan aşınma tabakası, geneleksel ya da TMA olarak dizayn edilmektedir. TMA kaba agrega oranından dolayı ağır trafik yüklerini taşımaktadır. Yüksek miktarda bitüm oranına sahip olan TMA' nın içinde oluşan mastik harç ve filler malzemesi, boşlukları doldurarak trafik yüklerinden dolayı meydana gelen yüzey deformasyonlara karşı direnci arttırmaktadır. Asfalt karışımlarda mineral filler, ince agregayı artırarak, boşluk miktarının azalmasını sağlamaktadır. Bu şekilde agregalar arası temas alanını artırarak yoğun bir karışım sağlanması ve mastik harca olumlu etkilerinden dolayı asfalt karışımlar için önem arz etmektedir.

Bu çalışmada üleksit mineralinin; karayollarında trafik yüklerinden, iklim ve bölge şartlarından dolayı oluşan deformasyonlara karşı diğer geleneksel asfalt karışımlara göre daha dayanıklı ve dirençli olan taş mastik asfalt karışımlarda mineral filler olarak kullanılarak performans etkileri araştırılmıştır. Optimum bitüm içeriği bulunarak dizayn edilen taş mastik asfalt karışıma, mikro öğütücüde öğütülerek hazırlanan ve No: 200 elekten geçen üleksit minerali belli oranlarda karıştırılarak her oran için marshall briketleri üretilmiştir. Daha sonra bu briketler üzerinde Marshall stabilite ve akma deneyleri ve farklı trafik yüklerini temsil eden değerlerde dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden çıkan sonuçlara göre üleksit mineralininin bazalt fillerini yerine kullanılmasının performans etkileri değerlendirilmiştir.

#### **1.4. Bor**

Bor çağımızın gelişen teknolojisinin vazgeçilmez bir unsurudur. Çok geniş bir kullanım ağı bulunmaktadır. Bazı alanlarda alternatifi olmayan bir malzemedir. Bu alanlar; seramik sanayi, deterjan sanayi, tarım sektörü, eczacılık, kimya, roket ve jet yakıtları gibi sıralanabilir.

Dünya bor rezervinin %60 kadarı Türkiye'de bulunmaktadır. Ayrıca, cevherlerimiz kalite bakımından da çok üstündür. Fakat bu kadar zengin ve kaliteli bor cevherimiz gerektiği gibi değerlendirilmediği için bundan iyi bir şekilde yararlanamıyoruz. Çünkü; bor ve bor ürünlerinin fazla miktarda tüketimi ileri bir teknolojiyi gerektirir. Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir. Buna bağlı olarak da teknolojik gelişmenin yeterli olmamasından dolayı bor ve bor ürünleri ihracata yönelik olarak işletilmektedir ve bunun da Türkiye ekonomisindeki yeri çok önemlidir. İhracat genelde ham cevher olarak yapılmaktadır. Bu da Türkiye

ekonomisi için büyük kayıp demektir. Halbuki Türkiye'nin yeraltından çıkarılan bor cevherlerinin zenginleştirilip yarı mamul ve mamul bor ürünleri üretimine yurt içi tüketimlerinin arttırılmasına ve en iyi şekilde ihracatına önem vermesi gerekir [9].

Bütün bunların yanında bor tesislerinden çıkan ve şimdilik değerlendirilemeyen düşük tenörlü yıkama artıkları işletme alanlarında stoklanmaktadır ve stok miktarı giderek büyümektedir. Bu durum, stoklama sorunu yaratırken, önemli bir döviz kaynağı değerlendirilmeyi beklemektedir. Çünkü; cevherin yeraltından çıkarılması önemli bir gider oluşturmaktadır. Halbuki bu stokların değerlendirilmesinde böyle bir gider söz konusu değildir. Yapılması gereken sadece uygun bir zenginleştirme tesisinin kurulmasıdır [9].

#### **1.4.1. Bor Mineralleri**

Sektör olarak enüstride kullanılan bor ürünleri, üretim süreçleri, aşamaları ve kullanıldığı alanlara göre; özel bor ürünleri, konsantre bor, ham bor ve rafine bor olmak üzere 4 gruba ayrılabilir. Bor madeninin direkt olarak maden yataklarından çıkarılıp hiçbir zenginleştirme yada sınıflara ayırma işlemi yapılmadan elde edilen türüne ham bor denir. Ham bora üleksit, kolemanit ve tinkal örnek olarak gösterilebilir. Zenginleştirme ve cevher hazırlama işlemlerine takiben; bor minerallerinden gang minerallerinin izole edilmesi ve B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının yükseltilmesiyle elde edilen ve daha sonra farklı yöntemlerle kullanılabilir duruma getirilen bor türüne konsantre bor denmektedir. Konsantre bora örnek olarak konsantre üleksit, konsantre kolemanit ve konsantre tinkal gösterilebilir. Rafine bor işlemi diğer iki işlemin bir uç boyutunu oluşturmaktadır. Rafine borun oluşumu için değişik yöntemler vardır. Arındırılma işlemine uygun olan ham bor ve konsantre bor ürününü kimyasal bir reaksiyona maruz bırakarak temel mineral dışında ki yabancı mineralleri uzaklaştırarak veya daha önce kimyasal reaksiyona uğramış ve yabancı maddelerin olduğu bor türüne, bu yabancı maddeleri uzaklaştırmak amacıyla rafinasyon işlemi uygulanarak rafine bor üretimi yapılabilir. Rafine bor ürünlerine örnek olarak; boraks penrahidrat, borik asit, susuz boraks ve boraks dehidrat gösterilebilir. Rafine bor ürünlerine ileri kimyasal işlemler uygulanarak üretilen ve özel amaçlar ve ihtiyaçlar için kullanılan bor türüne özel bor ürünleri denilmektedir. Özel bor ürünlerine örnek olarak; çinko borat, bor karbür, kristalin bor gösterilebilir [10].

Tarihte değişik uygarlıklar çoğunlukla ham bor türü ürünlerden yararlanmışlardır. Son yüzyılda sanayi ve teknoloji alanlarında gerçekleşen büyüme, bor ürün kullanım

yelpazesinide olumlu bir şekilde etkilemiştir. Günümüzde yaygın olarak sanayi alanında rafine, ham ve özel bor ürünleri kullanılmaktadır [10].

Bor minerallerinin doğada birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu minerallerin bazılarının zengin yatakları varken bazıları ise doğada ender olarak gözlenebilir. Ticari yönden ve türkiyede bulunan ve yatakları bakımından öneme sahip olan bor mineralleri aşağıda listelenmiştir.

- a. Kolemanit
- b. Üleksit
- c. Boraks (Tinkal)
- d. Pandermit
- e. Kernit
- f. Probertit
- g. Hidroborasit

#### 1.4.1.1. Üleksit

$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  kimyasal formülüne sahip olan üleksit, triklinik kristal sistemine sahiptir (Şekil 1.2). Sertlik değeri 2,5 Mohs, yoğunluk değeri 1,955 g/cm<sup>3</sup> ve özgül ağırlık değeri 1,96'dır. Beyaz renksiz, ipeksi ve camsı bir yapıya sahip olan üleksit kırılğan bir yapıya sahiptir. Saf halde bünyesinde %42,95 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve %9,89 Ca ihtiva eder [13].



Şekil 1. Üleksit



Üleksit minerali borik asit üretiminde de kullanılabilir. Üretim sürecinde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile kimyasal reaksiyona girerek jips, borik asit ve sodyum sülfata dönüşmektedir [13].

#### 1.4.2. Türkiye'deki Bor Yatakları

Türkiye'de başlıca dört bölgede bor cevheri üretimi yapılmaktadır. Emet ve Bigadiç kolemanit yatakları ile Kırka'daki tinkal yatağı, dünyadaki sayılı borat oluşumlarındanır.

Eskişehir-Kırka tinkal yatağı, Eskişehir ilinin 60 km güneybatısında yer almaktadır. tinkal yatakları miyosen sonucunda meydana gelen fay çatlaklarından gelen sodyum, borik asit ve magnezyum minerali içeren eksolasyonların, volkanik çamur ve küllerin, neojen göl sularına karışıp çökmesiyle oluşmuşlardır. Derin kesimlerde boraks kristallenirken sığ kesimlerde üleksit birincil olarak çökelmiştir.



Şekil 2. Eskişehir-Kırka bor oluşumları [58].

Kütahya-Emet Bölgesi bor yatakları, Kütahya ilinin 98 km batısındadır. Emet yatağı %1'e varan oranlarda arsenik içermektedir. Arsenik, realgar ve orpiment bileşimindedir ve yer yer kolemanit içerisinde kırmızılıklar olarak görülmektedir.

Balıkesir-Bigadiç bölgesi bor yatakları, Balıkesir ilinin 40 km kadar güneyinde yer almaktadır. Bu bölgede bulunan yataklanmalar batı anadolu borat yataklarında ki gibi neojen göl tortullarının içinde meydana gelmiştir. Alt ve üst taraftan kalker tabakalarıyla dış çevrilmiş boratlı zonun orta kısmında zayıf bir tinkal bölgesi oluşumu vardır. Tinkalin dış kısmı kolemanitle çevrelenmiştir. Boratlar 1-3m'lik tabakalar halinde killerin içerisinde yer

alırlar. Arsenik içeriğinin düşük olması Bigadiç yataklarının önemli bir özelliğidir ve bu nedenle bor pazarında tercih edilmektedir. Bölgede şu anda kolemanit ve üleksit cevheri üretilmektedir.

Bursa-Kestelek bor yatakları Emet bölgesindeki yataklara büyük benzerlik göstermektedir. Yataklar neojen göl tortulları içinde meydana gelmiş ve paleozoik kristalin kayalar üzerine oturmuşlardır. Tabandan tavana doğru dizilen 100m kalınlığındaki taban konglomerası ile başlar. Bunun üzerinde 200m kalınlığında linyitli kil, tuf, marn ve aglomera serisi vardır. Kil, tuf, marn ve aglomera ile karışmış olan borat serisi bu tabakanın üzerine oturmuş ve kalınlığı yer yer 100m'yi bulur. Boratlar killer arasında oluşmuş yumrular halindedir. Üst kireçtaşı tabakasının üzerinde konglomera ve alüvyonlar yer almaktadır [4].

Tablo 1. Türkiye Bor Rezervi (milyon ton) [11].

Rezerv Yeri	Rezervler	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (ppm)
Bigadiç	935	330
Emet	545	200
Kestelek	7	3
Kırka	520	140
TOPLAM	2007	673

Tablo 2. Türkiye Bor Rezerv Tipi (milyon ton) [11].

Ürün Tipi	Rezervler
Kolemanit	1.050
Boraks	519
Üleksit	61
TOPLAM	1.630



Şekil 3. Türkiye’de bor rezervinin bulunduğu bölgeler [50].

### 1.4.3. Bor Minerallerinin Kullanım Alanlar

21. yüzyılın madeni olarak da adlandırılan bor mineralleri; uçak, otomobil, ileri düzey teknoloji camlar, optik camları, kamera ve mercek camlarının üretiminde kullanılmaktadır.

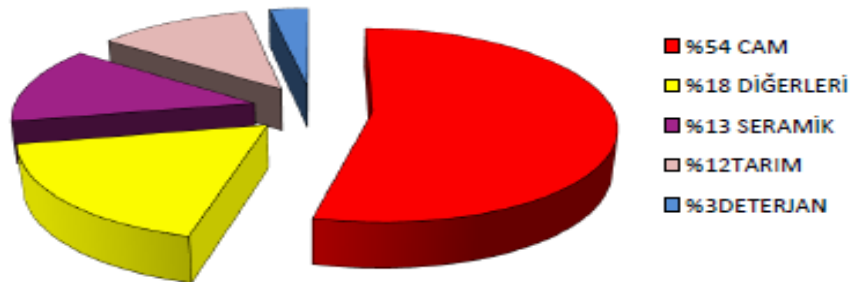
Katkı maddesi olarak bor mineralleri, geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Kayak ayakkabıları, golf sopaları, telefon ve bilgisayar ağları için büyük bir öneme sahip fiber optik kabloları bunlara örnek verilebilir [14].

Manyetik Rezonans Görüntüleme Cihazlarında, yapıştırıcı, antifriz, fren sıvıları, nişasta, soğutucu kimyasal maddeler, yangın söndürücü granüle ve sıvı kimyasallar, korozyon önleyiciler, mürekkep, böcek ilaçları, bitki ilaçları, orman ürünleri koruyucuları, boya koruma ürünleri, kibrit, kireç önleyicileri, sentetik motor yağları, patlayıcı, havuz temizleyici kimyasal maddeler, ağartıcılar, kolonya, parfüm, krem, şampuan, makyaj malzemesi, diş macunu imalinde, sabunlar, deterjanlar gibi ürünlerin üretiminde bor mineralleri kullanılmaktadır.

Enerji sektöründe bor minerali ürünlerinin kullanım alanları için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Bu araştırma sonuçları bakılırsa bor madeni ve rafine bor ürünlerinin gelecekte enerji sektöründe geniş bir kullanım alanı bulacağı söylenebilir.

Bor bileşiklerinde geniş bir kullanım alanı bulunmaktadır. Elektrolit elde edilmesi ve elektrolitlerin kaplama aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Borun kullanım alanları oldukça geniştir. Araştırmalar devam ettikçe farklı uygulama alanları ortaya çıkmaktadır. Bor ürünleri sanayi sektörü için önemli bir üründür. Ekonomik anlamda katma değer olarak yüksek kazançlar sağlamaktadır. Bu yüzden sektör sayılı şirketlerin elinde bulunmaktadır. Şüphesiz ki Türkiye bu pazar içerisinde önemli bir yerdedir. Fakat zengin yataklara ve kaliteli cevherlere sahip olmasına rağmen hala yurtdışı ve yurt içi pazarda hedeflenen seviyeye gelememiştir [15].



Şekil 4. Bor kullanım alanları [56].

### 1.5. Karayolu Yapısı

Karayolu trafik yoğunluğunun artmasıyla birlikte buna paralel olarak karayolu ağında genişlemesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Özellikle 1960 ve 1970 yılları arasında yol yapım işlerine ağırlık verilerek ulaşımda doğan ihtiyaç bu şekilde karşılanmaya çalışılmıştır. Motorlu taşıt sanayisinin kurulmasıyla birlikte motorlu taşıtların sayısında artmıştır. Trafik yoğunlukları artmasıyla beraber ulaşım konusunda devlet yeni kararlar ve politikalar belirlemiştir. Trafik yoğunluklarının fazla olduğu şehir geçişleri ana geçiş kısımlarında çok şeritli yolların ve otoyolların yapılması devlet politikası bakımından mantıklı hale gelmiştir. Öncelik haline gelen bu yol inşaatlarının yapımı için finansman kaynağı, planlama yöntemleri ve ayrıca yeni yapım yöntemleride ihtiyaç haline gelmiştir. Diğer yollara oranla daha karmaşık yapım yöntemleri içeren bu yollara ilk örnek olarak; İstanbul Çevre Yolu ve 15 Temmuz Şehitler Köprüsü projeleri örnek gösterilebilir [16].

Ülkemiz şuan 3 kıtayı kapsayan jeopolitik konumundan dolayı bu kıtaların ulaşım bağlantılarını sağlayan önemli bir ülke konumundadır. Bu konumundan dolayı ülkemizde bulunan karayolu ağının genişlemesi ve aynı zamanda kalitesinin artması ve diğer bölgelerle birleşmesi ülkemiz ve çevre ülkelerin ekonomileri için önem arz etmektedir [16].

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün sorumluluk kapsamında olan yol miktarı 67.119 km dir. Bu uzunluk 01.01.2018t tarihine kadar yapılan yol imalatıdır. Bu uzunluğu kapsayan karayolu 3 sınıftan oluşmaktadır.

- İl Yolu
- Devlet Yolu
- Otoyol

Karayolları 6001 sayılı kanunla kurulmuş bir kurumdur. Bu kurum tüzel kişiğe sahip olmakla beraber Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığına bağlıdır. Görev tanımı, il yolları, devlet yolları ve otoyolların proje, plan yapım işi ve devamında bakım ve işletme devamlılığını sağlamaktır. Karayollar Genel Müdürlüğü'nün sorumluluğu altında olmayan diğer yollar aşağıda vermiştir.

- Şehiriçi Yolları
- Orman Yolları
- Turistik Yollar
- Köy Yolları'dır.

Kültür ve Turizm Bakanlığı, turistik yolların yapımından ve bakımından sorumludur. Yapım işini kendi bünyesi dışında finansman sağlayarak Karayolları Genel Müdürlüğüne yaptırmaktadır. İl Özel İdare Müdürlükleri köy yollarından, Orman Bakanlığı orman yollardan ve Belediyeler de şehiriçi yollardan sorumlu olmaktadır [16].

Tablo 3. Türkiyede satıh cinsine göre yol ağı [16].

SATIİH CİNSİNE GÖRE YOL AĞI (KM) 01.01.2018 tarihi itibariyle							
	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Diğer Yollar	TOPLAM
Otoyol (*)	2 157	-	-	-	-	-	2 157
Devlet Yolları	16 991	13 691	66	36	-	282	31 066
İl Yolları	3 802	26 492	248	632	520	2 202	33 896
TOPLAM	22 950	40 183	314	668	520	2 484	67 119

(\*) Otoyol uzunluğuna Ana Gövde ve Bağlantı yolu dahil olup, Yanyol ve Kavşak kolları ile Yapı-İşlet-Devret kapsamında yapılan Otoyollar dahil değildir.

Tablo 4. Türkiyede bölünmüş yol uzunlukları [16].

BÖLÜNÜMÜŞ YOLLAR (KM) 01.01.2018	
Otoyollar	2 157
Devlet Yolu	20 237
İl Yolu	1 613
Toplam	24 007

Hızlı nüfus artışı ile birlikte insanların ulaşırma ağıyla olan bağlantısı giderek artmaktadır ve bu da beraberinde ulaşım sistemlerinin güncellenmesini gerektirmektedir. Bundan dolayı ulaşım sistemlerinin ve ağlarının rehabilitasyonu ve yeni ve en ekonomik ulaşırma sistemlerinin inşası gerekmektedir [16].

### 1.5.1. Yol Altyapısı

Karayolu genel olarak üstyapı ve altyapı olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Yol altyapısı, üstyapıdan gelen yükleri direkt olarak karşılayan kısımdır. Yarma ve dolgu imalatları şartnamelere uygun bir şekilde yapılmalıdır. Altyapıda meydana gelen deformasyonlar üstyapıya direkt olarak etki edeceği için yapım esnasında tüm olumsuz durumlar göz önünde bulundurulmalıdır [17].

## **1.5.2. Yol Üstyapısı**

Yol üstyapısı, trafik yüklerini direkt olarak karşılayan ve sonrasında yol altyapısına aktaran katmanlı bir yapıya sahiptir. Genel olarak yaptığı davranış ve imalatında kullanılan malzemeye göre esnek üstyapı ve rijit üstyapı olarak iki tipi vardır [17]

### **1.5.2.1. Rijit Üstyapı**

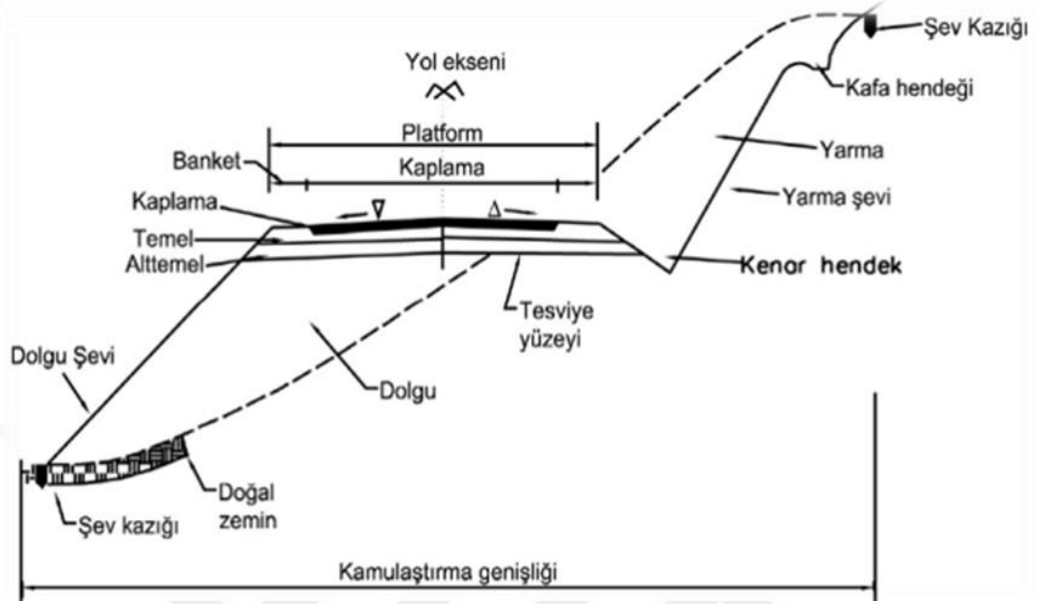
Trafik yüklerinin beton katmana direkt etki ettiği ve bu yükleri kendi içinde bir miktar absorbe ettikten sonra altyapıya aktaran aktaran üstyapıya rijit üstyapı denilmektedir. Rijit üstyapı donatılı betonarme bloklardan oluşmaktadır. Rijit üstyapı esneklik modülü değerleri ve taşıma gücü değerlerinin yüksek olmasından dolayı trafik yüklerine karşı güçlü bir direnç göstermektedir. Esnek kaplamaya kıyasla üzerine gelen yükler karşısında eğilen beton plaklar vasıtası ile yükleri daha geniş alanlara dağıtabilir.

Rijit üstyapılarda hava koşullarından dolayı meydana gelen farklı hava koşullarından dolayı oluşan genleşme ve büzölmeler çatlak oluşumlarına ve ayrışmalara neden olacaktır. Bu yüzden geniş bir alanı kapsayan veya belirli bir yönde çok uzun olan beton plakalarda bu olumsuz durumun görülme ihtimali fazla olabilir. Oluşabilecek bu olumsuz duumlara karşı çatlakların ve ayrışmaların kontrolünü sağlamak amacıyla optimum ano boylarında ve her ano için derz olacak şekilde beton panel imatları yapılması gerektir. Esnek üstyapıya kıyasla ilk yatırım maliyeti az olmaktadır. Aynı zamanda yol işletmesi boyunca fazla bakım ve tamirat gerektirmemektedir [17], [18].

### **1.5.2.2. Esnek Üstyapı**

Karayolu imatlarında altyapı kısmı yapıldıktan sonra bu yapının üzerine yapılan bir veya daha fazla tabakadan oluşan yapıya esnek üstyapı denir. Esnek üstyapı taşıt yükünü direkt olarak alır ve kendi içinde bulunan bağlayıcı yapısında bir miktar taşıdıktan sonra ferik kalan yükü altyapıya aktarmaktadır. Esnek üstyapı tabakasının performansı, içeriğinde bulunan agregalar arası aderans, sürtünme ve kohezyon ile ilişkilidir. Üstyapı tabaka kalınlıkları veya tabaka sayısı, yapılacak yolun kullanım amacı, trafik yoğunluğu gibi nedenlere bağlıdır. Tabaka kalınlıklarını belirlediğimiz birçok yöntem vardır [17,19].

### 1.5.3. Esnek Yol Kaplamaları



Şekil 5. Esnek üstyapı kesiti

#### 1.5.3.1. Yüzeysel Kaplamalar

##### 1.5.3.1.1. Sathi Kaplamalar

Sathi kaplamalar, alttemel ve temel tabakası üzerine inşaa edilen, belli bir granüle malzemeden oluşan, düzgün yuvarlanma yüzeyi sağlayan, yeterli kayma sürtünme katsayısı sağlayan, trafik yükü taşıma kapasitesi olmayan ve yüzey sularının alt tabakalara geçmesini engelleyen bir kaplama türüdür [20].

Son zamanlarda bitümlü sıcak karışım (BSK) kaplama yapımı artsa da geriye kalan oran azımsanmayacak kadar büyüktür. Buda sathi kaplamanın önemini ortaya koymaktadır. Şekil 6'da sathi kaplama serimi görülmektedir.



Şekil 6. Sathi kaplama serimi

Sathi kaplama, yol sathına ince bir film halinde bitüm püskürtme ve üzerini agregayla örtme işlemdir [21].

Sathi kaplamaları 4 başlık altında inceleyebiliriz.

Tek katlı sathi kaplama: Granüler, plent-miks ve çimento bağlayıcılı granüler yol altapısı, asfalt veya beton kaplamalar üzerine, ince bir katman oluşturulacak şekilde bağlayıcının uygulanmasının ardından bağlayıcın üzerine gradasyon limitlerine uygun agreganın serilip silindirlenmesi ile yapılan kaplama tipidir [21].

Çift katlı sathi kaplama: Tek katlı sathi kaplamada olduğu gibi serim ve sıkıştırma işlemleri yapılmaktadır. Fakat ikinci katmana serilecek olan malzemenin ortalama dane boyutu birinci katmanın dane boyutunun yarısından fazla olmamalıdır.

Bitümlü Koruyucu Sathi Kaplama: Mevcut kaplamanın ömrünü uzatmak, sürtünme direncini arttırmak, eski ve soyulmuş yüzeyleri yenilemek ve yüzey rengi değişikliği ile daha iyi bir görüş sağlamak amacıyla, asfalt üzerine ince bir film tabakası şeklinde bitüm içerikli bağlayıcı serilir. Daha sonra bu bitümlü bağlayıcı üzerine koruma amaçlı olan sathi kaplama serilerek sıkıştırılma işlemi yapılır. Bu şekilde uygulanan ve asfalt yüzeyini iyileştiren uygulamaya bitümlü koruyucu sathi kaplama denilmektedir. Bu tür kaplamaların kalınlıkları minimum 12,5 cm olmalıdır.

Makadam Sathi Kaplama: Tasarım taşıma gücünün altına inmeyen asfalt kaplamalar için kullanılabilen bir sathi kaplama türüdür. İlk olarak kaplanacak asfalt yüzeyi astarlanır daha sonra sırayla; kaba agrega serimi, bitümlü bağlayıcı serimi, orta agrega serimi, bitümlü bağlayıcı serimi, ince agrega serimi ve sıkıştırma işlemleri yapılarak imalat tamamlanır [22].

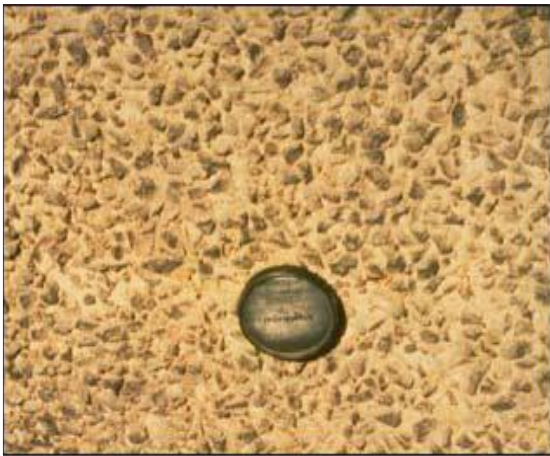


### 1.5.3.1.2. Karartma Tabakası

Karartma tabakasının yapılma amacı, asfalt kaplama yüzeyinin geçirimsizliğini artırmak ve daha düzgün bir yüzey elde etmektir. Asfalt kaplama yüzeylerine emülsiyon malzemeleri serilmesi veya uzun yıllar ağır trafik yüklerine maruz kalmış yüzeylerde meydana gelen yüzey agrega kaybını iyileştirmek amaçlı ek çakıllı koruma imalatları bu uygulamaya örnek gösterilebilir. Yapım yöntemleri dışına çıkıldığında olumsuz bir durum olan kaygan zeminlerin oluşmasına neden olabilir [23]. Uygun yapıldığı durumda ise asfalt kaplama tabakasının eski ve yıpranmış yüzeyini iyileştirir ve kaplama ömrünü uzatır [24].



Şekil 7. Karartma tabakası uygulaması [25] Şekil 8. Uygun yüzey [25]



Şekil 9. Karartma tabakasından önce [25] Şekil 10. Karartma tabakasından sonra [25]



a) uygulamadan önce

b) uygulamadan sonra

Şekil 11. Uygulamadan önce ve uygulamadan 18onar kaplama [25]

### 1.5.3.1.3. Harç Tipi Örtü

Bu kaplama türü yaygın olarak kullanılan bir kaplama türüdür. Yol üstyapısında meydana gelen çatlakları kapatmak, trafik yüklerinden dolayı tekrarlı yüklere maruz kaldıktan sonra oluşan agrega soyulmalarını iyileştirmek ve cilalanma durumuna gelmiş yüzeylerin sürüş güvenliğini artırmak amacıyla yapılan bir uygulamadır. Harç tipi kaplamalar iyi granülometriye sahip agrega, su ve emülsiyondan oluşan bir kaplama türüdür [25].

Yol üstyapısında oluşan çatlaklara hızlı müdahale edebilme avantajıyla tercih edilebilir bir kaplama türü haline gelmiştir. Uygulama sonucunda Çatlak bölgelerinde su ve hava ile asfalt kaplamanın temasını keserek asfalt kaplama ömründe iyileştirme yapmaktadır.

Akıcı harç tipi örtünün bir takım yararları aşağıda listelenmiştir:

- Hızlı ve pratik imalat,
- Küçük asfalt bozulmalarına müdahale edebilme,
- Yol üstyapı üzerine minimum ek imalat,
- Yol üstyapı sınırlarında bulunan rögarlar kanallar için imalat kolaylığı,
- Asfalt kaplamanın dış görünüşünü iyileştirme,
- Yüzey sürtünme direncini artırma [26].



Şekil 12. Harç tipi örtü

#### 1.5.3.1.4. Örtme Tabakası

Örtme tabakasının amacı bozulmuş asfalt kaplamalar üzerine uygun boyuttaki agrega ile tek kat sathi kaplama yapıldıktan sonra üzerine emülsiyon asfaltlı harç tipi tabaka yapılarak kaplamanın bir süre daha kullanılmasını sağlamaktır. Bu tabaka ile kaplamanın kayma direnci artırıldığı gibi geçirimsiz bir yüzeyde oluşturulmaktadır. Bu tip kaplama özellikle esnek kaplamalı havaalanı pistlerinde yabancı madde hasarını azaltmak amacıyla, küçük yarıçaplı yonca kavşaklarda ve çok dik eğimli yollarda kayma direncini arttırmak amacıyla yapılmaktadır [27].



Şekil 13. Örtme tabakası

### **1.5.3.2. Karışım Kaplamaları**

#### **1.5.3.2.1. Soğuk Karışım Asfalt Kaplamaları**

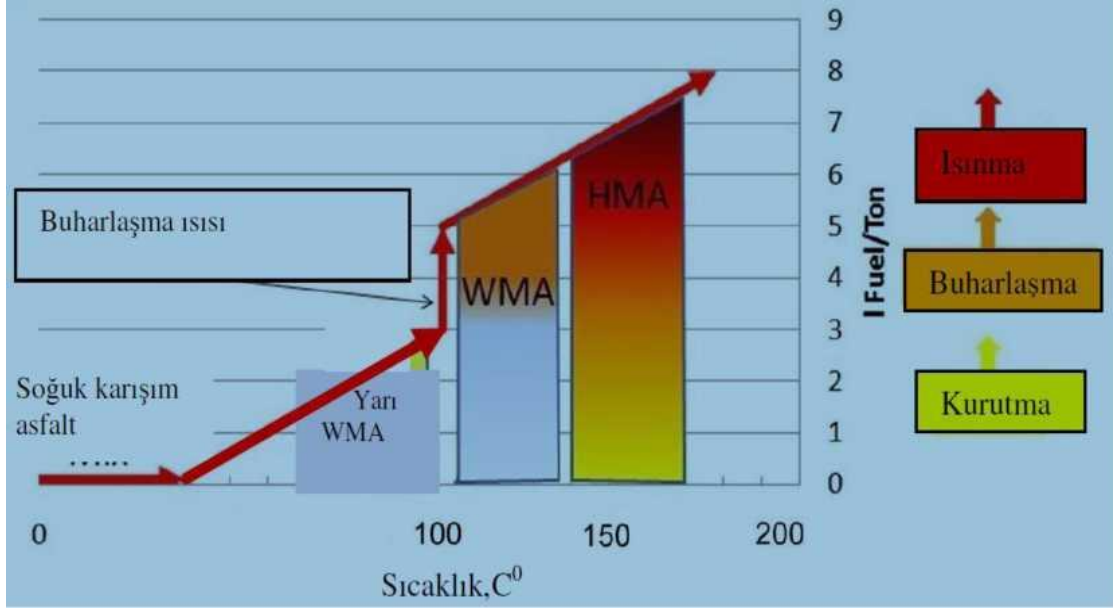
Soğuk karışım asfalt kaplamaları, genellikle asfalt emülsiyonları veya katbek asfalt ile agreganın soğuk halde yada agrega yüzeyindeki nemin kurumasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılması ile elde edilen karışım tipidir. Karıştırma yol üzerinde, yol kenarı boyunca veya sabit bir karıştırma tesisinde yapılabilir. Soğuk karışımlar aşınma, temel veya alttemel tabakalarında kullanılabilir. Hafif ve orta dereceli trafik yoğunluğunda aşınma tabakası olarak kullanılması uygundur. Temel ve alttemel için her türlü trafikte uygulanabilir. Soğuk karışımlarda kullanılacak asfalt agregaya karıştırma yöntemine ve iklim koşullarına bağlıdır [28].

#### **1.5.3.2.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları**

Son yıllarda artan çevre ve sürdürülebilirlik kavramı bilinciyle, çevreye verdiği olumsuz etkileri en az olan uygulamalarda ve üretim tekniklerinde yeni gelişmeler yaşanmaktadır. Bilindiği üzere sıcak karışım asfalt kaplamaların ısıtma işlemlerinde büyük bir enerji gerekmektedir. Bu ısıtma işlemi, ek bir maliyet gibi olumsuz bir durumun oluşturmasının yanı sıra çevre ve hava kirliliğine de neden olmaktadır “Ilık Karışım Asfalt” - Warm-Mix. Asphalt (WMA) olarak bilinen bu teknoloji, yoğun gradasyonlu asfalt, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve mastik asfalt karışımları dahil tüm bitümlü karışımların hazırlanmasında kullanılmaktadır [29]. Ayrıca ılık karışım asfalt daha yüksek oranlarda geri kazanılmış asfalt kullanımına da olanak sağlamaktadır.

Bitümlü sıcak karışımlara göre 20-50 °C daha düşük sıcaklıklarda yaklaşık 100-140 °C arasında üretilen ve sıkıştırılan karışımlar, ılık karışım asfalt olarak tanımlanır. Son zamanlarda geri dönüşümün artması ile birlikte ılık karışım asfaltının da kullanımı artmıştır. Asfalt karışımları üretim sıcaklıklarına bağlı olarak; soğuk, yarı ılık, ılık ve sıcak asfalt olarak sınıflandırılır. Aynı şekilde üretim sırasında kullanılan yakıt miktarı da görülmektedir.





Şekil 14. Üretim sıcaklıklarına göre karışımın sınıflandırılması ve yakıt yüketicimi [29]

### 1.5.3.2.3. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü sıcak karışımlar yaygın olarak kullanılan asfalt kaplama türlerindedir. Malzeme içeriği olarak; agrega, bitüm ve hava olmak üzere 3 ana bileşenden oluşmaktadır. Bu 3 farklı bileşende farklı fazlardan oluşmaktadır. Katı fazı agrega, sıvı fazı bitüm ve gaz fazı ise havadır. Bitüm termoplastik ve viskoelastik bir malzemedir. Viskoelastik malzemelerde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi yüklenme zamanı ile değişmektedir. Yüklenme hızının yüksek olduğu durumlarda viskoelastik malzemeler rijit bir davranış yani elastik bir davranış ve yüksek mukavemet göstermektedir. Termoplastik malzemelerde ise gerilme-şekil değiştirme davranışı sıcaklıkla ilişkili olarak değişmektedir. Yüksek sıcaklıklarda rijitliğin ve mukavemetin azaldığı, düşük sıcaklıklarda ise rijitliğin ve mukavemetin arttığı görülmektedir. Bitüm'ün bu özellikleri, bitümlü sıcak karışımlara yansiyarak karışımın mekanik özellikleri üzerinde önemli etki yapmaktadır.

BSK'ların en önemli mekanik özellikleri, rijitlik, çekme dayanımı, kalıcı deformasyonlar, tekerlek izi oluşumu ve yorulma davranışlarıdır [30].

Bitümlü sıcak karışımlar imalatı sırasıyla; malzemenin asfalt plentine taşınması, plentte agrega ve bitümün sıcak bir şekilde karıştırılması, plentten alınan sıcak karışımın uygulanacak bölgede belli sıcaklıkta serilip sıkıştırılması şeklinde verilebilir. Plentte agrega ve bitümün karıştırılması esnasında bitümün tüm agrega yüzeyini sarması açısından bitüm

agregaya püskürtme işlemi yapılarak karıştırılır. Bu karışım uygulama bölgesinde sıcak bir şekilde uygulanıp soğuduktan sonra setleşmiş ve belli mukavemeti olan bir yapıya dönüşmektedir. Sürekli olarak trafik yüklerine maruz kalan asfalt kaplamalar mukavemet ve durabilite olarak dayanıklı olmalıdır. Genel olarak bir asfalt kaplamalarda mukavemet değerlerinin yanı sıra konforda aranmaktadır. Bu yüzden asfalt kaplama yüzeyleri, konforu bozmayacak şekilde pürüzsüz ve sürüş güvenliği emniyetini sağlaması açısından belli bir sürtünme direncinde olması gerekmektedir. Bu kaplamalara trafik yükleri karşısında esnek davranması ve her yükleme – boşaltma durumundan sonra elastik bir davranış göstermesinden dolayı “esnek üstyapı kaplamaları” denilmektedir [31].

Yüksek kalite ve standartlardaki karayolları, otoyollar ve havaalanı üstyapılarında kullanılacak esnek kaplamalar için bitümlü sıcak karışımlar kullanılmaktadır. Bu karışımlar bütün dünyada yol üst yapısında geniş bir şekilde uygulanmaktadır.

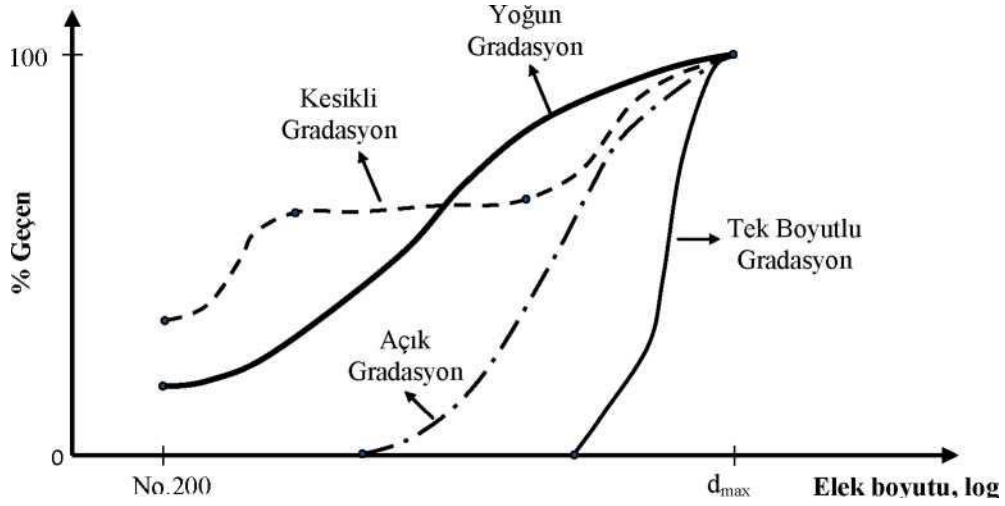
Bitümlü sıcak karışım kaplamalar malzeme içeriğinde kullanılan agrega granülometrisinden ve imalat kullanım amacından dolayı 4 sınıfa ayrılmaktadır.

**Açık Granülometrili Sıcak Karışımlar:** Bu karışımlarda ince agrega oranı çok az, dolayısıyla boşluk oranı fazladır (%5-15). Makadam tipi kaplamalar bu sınıfa girer.

**Kesikli Granülometrili Sıcak Karışımlar:** Agregada oranı belli elek aralarında fazla belli elek aralığında çok az veya hiç yoktur. Boşluk oranı %8 ila %12 arasında olan bu tür karışımlar, pürüzlü bir yüzey verirler ve tekerlek izine karşı dirençleri yüksektir. Taş mastik asfalt bu karışımlara en iyi örnektir.

**Yoğun Granülometrili Sıcak Karışımlar:** Agregada granülometrisi düşük boşluk verecek şekilde süreklilik gösterir. Bunlar boşluk oranı %2-5 arasında olan bitümlü karışımlardır. Bitümlü temel ve asfalt betonu bu sınıfa girer. Yüzey pürüzlülüğü azdır.

**Harç Tipi Karışımlar:** İnce malzeme miktarı fazladır ve kaba agrega, ince malzeme bitüm karışımı içinde dağılmış halde bulunmaktadır. Bu tür karışımlarda boşluk oranı az olup bitüm yüzdesi çok yüksek olduğundan penetrasyonu düşük (viskozitesi yüksek) asfalt yani sert bitüm kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü azdır. Beton ve çelik köprüler üzerinde de kullanılan mastik asfalt bu tür kaplamalara örnek olarak verilebilir [32].



Şekil 15. Agrega gradasyonları

#### 1.5.4. Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar

Dingil yükleri altında çatlamayacak ve plastik deformasyona uğramayacak stabiliteye sahip olması, temel veya alttemel tabakasından oluşacak oturmalara uyum sağlamak açısından yeterli derecede esnek olması ve sürüş güvenliği açısından yeteri kadar sürtünme katsayısına sahip olması gereken kaplamalarda şekil değiştirme, çatlamalar ve ayrışmalar olmak üzere üç tip bozulma meydana gelmektedir. Bu bozulmaların bir kısmı tasarım ve yapım hatalarından bir kısmı malzeme kusurlarından bir kısmı ise trafik ve çevre şartlarından meydana gelmektedir [48].

##### 1.5.4.1. Şekil Değiştirme

Kaplama yüzeyinin orijinal kota göre değişikliğe uğramasıdır. Temel veya alttemele bağlı olduğu gibi kaplama tabakasının stabilitesine de bağlıdır. Şekil değiştirmeye bağlı bozulmalar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

Oturmalar; Oturmalar kaplama tabakasına bağlı olmayan alt tabakalarda meydana gelen bozulmaların yüzeye yansımalarıdır. Oturmaları diğer şekil değiştirmelerden ayıran, deforme olmuş kısmın eğrilik yarıçapının büyük olmasıdır. Oturmalar, alt tabaka kalınlıklarının yetersiz olması, doğal zeminde meydana gelen oturmalar, banketlerden gelen yanal desteğin az olması, yeraltı su seviyesinin yüksek olması ve buna bağlı olarak drenaj

sistemin yetersiz kalması gibi nedenlerden oluşmaktadır. Bu tip bozulmalar ancak alt tabakaların yeterli olarak projelendirilmesi ile önlenir [48].



Şekil 17. Oturma

Yerel Çökmeler; Yerel çökmeleri oturmada ayıran kısım bölgesel olmasıdır. Yani yüzey tabakasının, temel veya alttemel tabakasının bazı noktalarda yetersiz sıkışması, drenaj yetersizliğine bağlı olarak bir noktada su birikmesi ve rijitlik kazanmış temelin bir noktada ayrılmaya uğraması yerel çökmelerin nedenleri arasında sayılabilir. Yapım sırasında yeterli kontrol ve özenli işçilik ile yerel çökmeler önlenir [48].



Şekil 18. Yerel çökme

Tekerlek İzi Oluşumu; Tekerlek izi sıcak asfalt karışımlarında en sık rastlanan bozulma türüdür. Türkiye gibi ağır taşıt trafiğine sahip ve bölgesel olarak sıcak yerlerde tekerlek izi oluşumu sıklıkla görülür. Tekerlek izleri, üstyapıyı oluşturan tabakaların



hepsinde veya bir kısmında meydana gelen deformasyonlardan veya trafik tekerrür sayısına bağlı olarak deformasyonların birikmesinden oluşabilir [48]. Şekil 19’da tipik bir tekerlek izi oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 19. Tekerlek izi oluşumu

Ondülasyonlar; Bitümlü tabakalardaki stabilite yetersizliğinden meydana gelen bozulma türüdür. Ondülasyonlar;

- Bitüm yüzdesinin yüksek olmasına
- İnce agrega oranının yüksek olmasına
- Filler yüzdesinin fazla olmasına
- Yuvarlak malzeme kullanımına
- Yüksek penetrasyonlu bitüm kullanılmasından dolayı oluşmaktadır.

Ondülasyonlara genellikle kavşaklarda, otobüs duraklarında, yaya geçitlerinde ve tırmanma şeritlerinde rastlanılmaktadır [48].



Şekil 20. Ondülasyon

Kabarmalar; Zeminde meydana gelen donma-çözünme sonucu kabarmalar meydana gelmektedir. Bu da yol yüzeyinin yer yer yukarı doğru deplasman yapmasına neden olur. Dona hassas zeminlerin bulunduğu durumlarda kaplama altında dona duyarsız malzeme kullanılmalı, zemin iyileştirilmeli ve drenaj ile suyun olası etkileri ortadan kaldırılmalıdır [28].



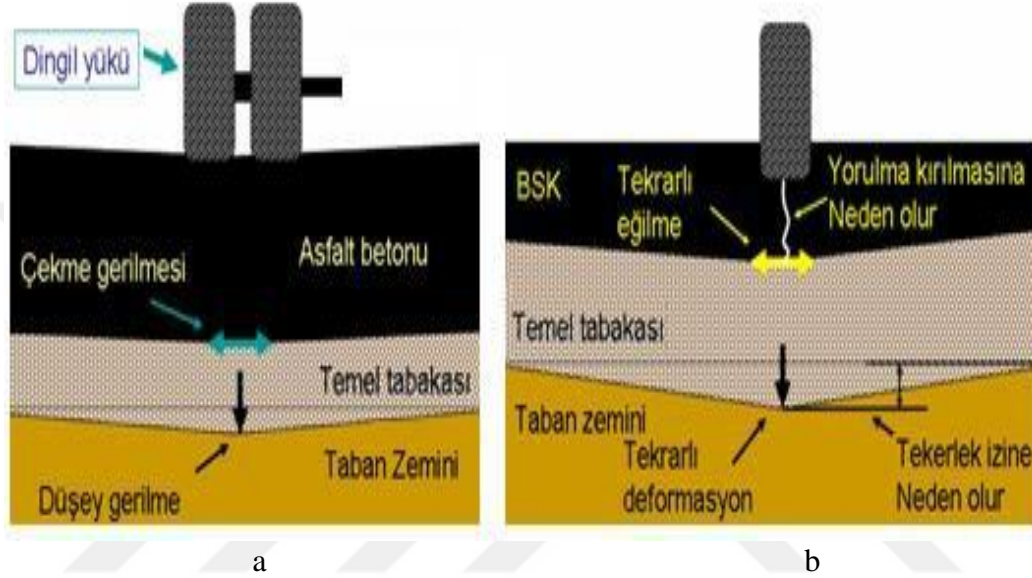
Şekil 21. Kabarma

Yığılmalar; Kaplamanın üst kısmının sıcak havalarda tekerleklerin mekanik etkisiyle veya sünme yoluyla ötelenerek, yol eksenine dik ya da paralel olarak yığılması olarak tanımlanmaktadır. Yığılmalar, stabilite yetersizliğine, yüksek sıcaklıklara ve astar tabaksının yetersiz olması ile meydana gelen bozulma tipidir. Yüksek stabiliteli karışımlar ve sert bitüm kullanılarak önlenmesi mümkündür [48].

#### 1.5.4.2. Çatlaklar

Çatlaklar çeşitli durumlar ve şartlarda oluşmaktadır. Ağır trafik yükleri, imalat hataları ve iklimsel etkiler çatlak oluşum sebeplerine örnek gösterilebilir. Çatlaklar yansıma, yorulma ve stabilite çatlakları olarak 3 kısımda incelenir. Yansıma çatlakları çatlak oluşmuş ilk tabakadan ziyade iyileştirme işlemleri yapıldıktan sonra alt tabakada kalan çatlakların yeni koruma tabakasında çatlatması şeklinde olmaktadır. Bilindiği üzere asfalt kaplamaların bir yorulma direnci bulunmaktadır. Uzun yıllar trafik hizmeti vermiş ya da ağır trafik yüklerine maruz kalmış karayollarında bu sebepten dolayı yorulma çatlakları meydana

gelmektedir. Esnek üstyapı kaplamalarında sadece bu 3 sınıf çatlak çeşidi yoktur. Asfalt kaplamalar ortam sıcaklığı değişikliğinden dolayı genleşme ve büzülme davranışları göstermektedir. Bu ortam durumlarına maruz kalan asfalt kaplamalarda çatlaklar meydana gelmektedir. Trafik yüklerinden oluşan gerilmelerden dolayı oluştuğunda küçük olan bu çatlaklar daha da genişler ve derinleşir [37].



Şekil 22. Tipik bir esnek üstyapısı (a) ve oluşan bozulmalar (b) [49].

Timsah Sırtı Çatlaklar; Kaplamanın birbirine bağlı bloklar halinde çatlamasıdır. Sıcak karışım asfaltlarda en sık görülen çatlama tipidir.

Aşırı dingil yükleri, kaplamada veya alt tabakalarda meydana gelen hacim değişimleri, aşınma ve binder tabakasının yetersiz kalınlıkta olması, yetersiz drenaj ve alt tabakaların yetersiz olması bu tür bozulmalara yol açar. Karışımın gevrek olması veya düşük sıcaklıklarda esnekliğinin az olması yani kırılğan olması çatlamaı kolaylaştırır [48].

Yorulma Çatlakları; Yorulma çatlakları, dingil yüklerinin aynı noktaya birden fazla etki etmesiyle oluşmaktadır. Yani herhangi bir araç geçişinde kaplamaya etki eden gerilme, kaplamanın çekme mukavemetinden düşüktür ve bir kere etki etmesinden çatlamlar oluşmaz. Ancak yüklerin defalarca aynı noktaya etki etmesiyle kalıcı deformasyonlar birikerek kaplamanın çekme mukavemetini aşması ile birlikte çatlamlar başlar ve zamanla tüm kaplamaya yayılabilir.

Kaplamaların yorulma açısından uzun hizmet ömrüne sahip olması için; sıkışmanın iyi olması yani boşluk yüzdesinin az olması, karışımda sert bitüm kullanılması ve bitüm yüzdesinin optimumdan biraz fazla (%1 kadar) olması gerekmektedir [48]. Yüksek ve orta şiddetli yorulma çatlakları verilmiştir.



Şekil 23. Yüksek ve orta şiddetli yorulma çatlakları

**Büzülme Çatlakları;** Büzülme çatlakları kaplamanın kendi içinde veya alt tabakalarda meydana gelen hacim değişimleri sonucunda oluşan çatlak tipidir. Asfalt yüzdesi yüksek, sert asfalt ile üretilmiş ve ince daneli karışımlarda görülmektedir. Kaplamanın uzun süre kullanılmaması büzülme çatlakları oluşumunu hızlandırır. Son teknolojilerle üretilen asfalt kaplamalarda bu tip bozulmaya fazla rastlanmaz [48].

**Kenar Çatlakları;** Kenar çatlakları, genellikle banketlerin yeteri kadar yanıl destek sağlamaması sonucu oluşan çatlak tipidir. Drenaj yetersizliği, don etkisi, banketlerin büzülmesi ve kaplama kenarındaki bitki örtüsü de bu tür çatlaklara neden olabilir.



Şekil 24. Kenar çatlak oluşumu



Derz Çatlakları; İki kaplama şeridi arasında oluşan çatlaklardır. Genellikle yapım sırasında ikinci şerit serilirken yeterli bindirmenin yapılmaması ile zamanla iki şerit birbirinden ayrılır. Kaplama ile banket arasında da oluşabilmektedir.

Enine Çatlaklar; Yol eksenine dik olarak oluşan çatlaklardır. Yukarıda açıklanan çatlak oluşum sebeplerine ek olarak sericinin uzun süre duraklaması ve ani sıcaklık değişimlerinden dolayı kaplamada meydana gelen gerilmelerden kaynaklanan çatlak tipidir [48]. Plent kapasitesi, taşıma mesafesi ve serim hızı arasında iyi bir koordinasyon ile enine çatlaklar önlenebilir [48].



Şekil 25. Enine çatlaklar

Yansıma Çatlakları; Genellikle rijit kaplamalar üzerine takviye tabakası olarak inşa edilen bitümlü kaplamalarda görülmektedir. Beton kaplamada bulunan enine ve boyuna derzler ve diğer çatlaklar bitümlü kaplamaya yansır. Takviye tabaka kalınlığının az olması çatlak oluşumunu kolaylaştırır. Yansıma çatlaklarının önlenmesi için takviye tabakasından önce var olan çatlaklar onarılmalıdır [47].



Şekil 26. Yansıma çatlağı

### 1.5.4.3. Ayrışmalar

Agrega danelerinin iklim ve trafiğin etkisiyle kaplamadan kopmasıdır. Ayrışmanın nedenleri;

- Bağlayıcın mekanik etki ile kopması
- Kaplama kalınlığının az olması
- Drenaj yetersizliği
- Nemli ve soğuk havada yapım
- Yapım sırasında segregasyon meydana gelmesi
- Su ve kil etkisi ile soyulma
- Yetersiz sıkıştırma

Ayrışma bu faktörlerin bir veya bir kaçının bir arada bulunması halinde trafiğin mekanik etkisi ile başlar [48].

Oyuklar; Yaklaşık 25-75 cm çapında dairesel olarak meydana gelen oluklardır. Ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu tırmanma şeritlerinde sıklıkla görülmektedir. Timsah sırtı çatlakların bakımının zamanında yapılmaması oyukların oluşmasına neden olabilir.

Kaliteli bitüm ve karışım kullanılması, trafik yoğunluğuna uygun üst yapı inşası, drenaj ve özellikle yeterli sıkıştırma ile oyuklar önlenir [48].



Şekil 27. Oyuk

Sökülmeler; Agregada tanelerinin yerlerinden ayrılarak kaplama yüzeyinden aşağıya veya kenardan içeri doğru gelişen ayrışma tipidir. Sökülme önce ince agreganın yüzeyden

kopması ile başlar ve zamanla iri agregalar da sökülür. Asfalt betonunun erozyonu olarak adlandırılır.

Sökülmenin nedenleri; yetersiz sıkıştırma, yağışlı ve soğuk havada yapım, kirli agrega kullanımı, bitüm yüzdesinin az olması ve karışımın gereğinden fazla olması şeklinde sıralanabilir [28].



Şekil 28. Sökülme

Tabaka Halinde Sökülme; Kaplama tabakasının yeterli kalınlıkta olmaması, alt tabaka ile yüzey arasındaki yapıştırmanın az olması, trafiğin mekanik etkisiyle agregaların bitüm filminden ayrılması, stabilite düşüklüğü, filler yüzdesinin az veya fazla olması sonucunda oluşan ayrışma tipidir [28,48].

Soyulmalar; Soyulma, agrega ile asfalt bağlayıcı arasındaki adezyon bağının zayıflamasından dolayı bitümlü sıcak karışımların zamanla yapısının bozulması olarak tarif edilir. Soyulma genellikle asfalt kaplamanın alt tabakalarından başlayıp yukarı doğru hareket eder ve agrega danelerini saran ince asfalt filminin su, kil ve trafiğin mekanik etkisiyle agregadan ayrılması ve dolayısı ile agrega danelerinin çıplak kalması olayıdır. Soyulmada rol alan önemli faktörler, agrega ve bağlayıcının fiziksel ve kimyasal özellikleri, aralarındaki etkileşimi, üstyapı tasarımı, karışım tasarımı, serim ve sıkıştırma, yüzey ve alt tabakalardaki drenaj ve trafik olarak sıralanabilir. Bu tür bozulmalarda en önemli faktör, agrega ve asfalt ara yüzeyinde su ve nemin olmasıdır. Kuru ve temiz agrega kullanımı, iyi bağlayıcılık karakteri olan asfalt, yüksek asfalt oranı ve yüksek viskoziteli (sert bitüm) asfalt kullanımı soyulmayı azaltır [37].



Şekil 29. Soyulma

Kusma; Karışım içindeki bitümün sıcaklığın etkisiyle zamanla yüzeye çıkması ve yüzeydeki agregaları tamamen sararak ince bir asfalt filmi oluşturması olayıdır. Kaplamın sürtünme katsayısının düşmesine neden olur. Genellikle bitüm yüzdesi yüksek karışım türlerinde ve sıcak havalarda meydana gelmektedir [48]. Kusma olayı şekil 30'da görülmektedir.



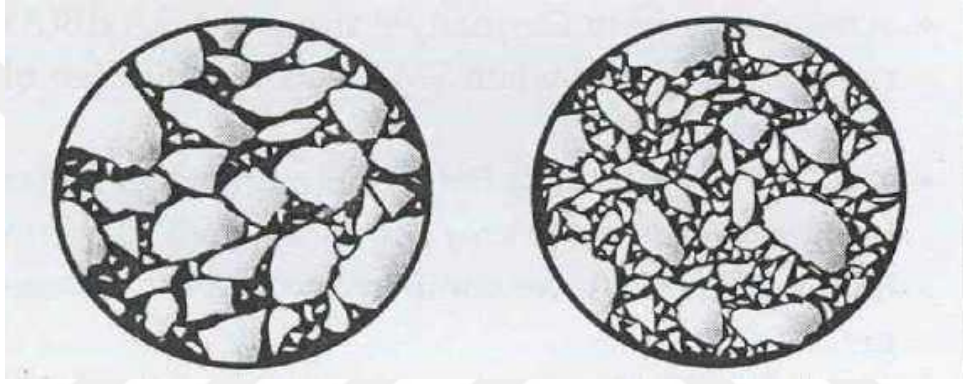
Şekil 30. Kusma

### 1.6. Taş Mastik Asfalt Karışımlar

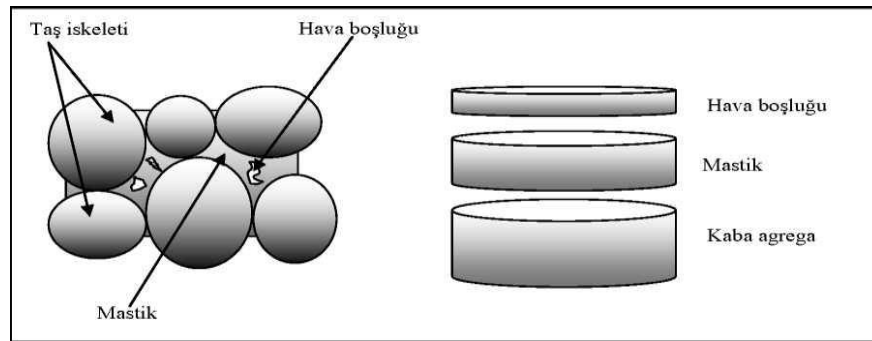
Taş mastik asfalt ülkemizde son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan bir asfalt kaplama türüdür. Diğer asfalt kaplama tipleri gibi agrega, bitüm ve havadan oluşan bir malzeme içeriğine sahiptir. Taş mastik asfalt kaplamalarda iri agrega, karışımın iskelet sistemini oluşturmaktadır. Agregada dane çapı büyük olduğu için agregalar arası boşlukların



arası ince agrega, mineral filler ve bitüm harcıyla dolmaktadır. Oluşan bu karışım, kaba agregalar arası yüksek temas ve bütün bir yapı olarak yüksek kenetleme kuvveti ile beraber diğer kaplama türlerine kıyasla stabilite açısından yüksek dirençler göstermektedir. Taş mastik asfalt karışımlarda yüksek oranda bitüm bulunmaktadır. Bu kadar yüksek oranda bitüm bulunmasının karışım için pozitif ve negatif etkileri olmaktadır. Bitüm oranının fazla olması durabilite açısından olumlu sonuçlar gösterirken diğer açıdan bitümün karışımdan süzülmesine (kasma) neden olmaktadır. Kasma durumunda karışıma ek olarak fiber (elyaf) ilave edilerek bu problemin önüne geçilmektedir [17].



Şekil 31. TMA (solda) ve geleneksel BSK (sağda) yüzey dokuları [33]



Şekil 32. Taş mastik asfalt bileşimi [59]

### 1.6.1. Taş Mastik Asfalt Karışımların Tarihçesi

Taş mastik asfalt karışımların oluşum süreci Almanya 'da başlamıştır. Araçların karlı yollarda sürüş güvenliğini artırmak amaçlı kullandığı çivili lastikler yol üst yapısında bozulmalara ve plastik deformasyonlara neden olmaktadır. Bu olumsuz durumun önüne

geçmek adına Taş mastik asfalt kaplamalar geliştirilmiştir. Günümüzde artık sadece Avrupa ülkelerinde değil Amerika Birleşik Devletleri ve Japonya gibi ülkelerde de Taş mastik asfalt kaplamalar kullanılmaktadır. Taş mastik asfalt karışımların ilk kullanım amacı ağır kış şartları altında bulunan soğuk iklim bölgelerinde sürüş güvenliği için kullanılan çivili lastiklerinin zarar verdiği asfalt kaplamaların yerine daha dayanıklı bir kaplama kullanmaktır. Taş mastik asfalt kaplamaların çivili lastiklerin yasaklanmasıyla (İskandinav ülkeleri hariç) beraber kullanımında azalma meydana gelmiştir. Motorlu taşıtların artmasıyla beraber artan ağır taşıt yüklerinden dolayı mevcut teknik yöntemlerle yapılan üstyapı kaplamaları bu yükler karşısında çatlamalara ve bozulmaya başlamıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda Taş mastik asfalt kaplamaların diğer asfalt kaplamalara oranla ağır trafik yükleri altında iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu şekilde Taş mastik asfalt karışımlar üstyapı kaplamalarda yeni bir kaplama karışımı olarak sektöre giriş yapmıştır [32,34,35].

Amerika birleşik devletlerinde de yine benzer bir olumsuz durumdan dolayı Taş mastik asfalt karışımların kullanılma ihtiyacı doğmuştur. Araç lastik iç basınçlarının artmasından dolayı yola temas eden lastik temas yüzeyinde bir miktar azalma meydana gelmiştir. Bu durumda asfalt kaplama yüzeylerine aktarılan birim yüzey alanına düşen yük miktarı arttığından dolayı yol yüzeylerinde plastik deformasyonlar ve tekerlek izi oluşumları meydana gelmiştir [36].

Kalıcı deformasyonlara dayanıklı asfalt karışımlar üzerinde çalışma yapan Amerikalı bilim adamları Almanyada kullanılmaya başlayan Taş mastik asfalt karışımları incelemeye başlamışlardır. Taş mastik asfalt karışımlar inceleme sonucunda diğer kaplama türlerine göre kalıcı deformasyonlarda daha üstün özellik göstermişlerdir. Daha sonra Amerika Birleşik Devletlerinde deneme imalatları yapıldıktan sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [36].

Taş mastik asfalt karışımların yol üstyapısında ki performansı ABD' de düzenli olarak takip edilmektedir. ABD Almanya' dan başka bugün Taş mastik asfalt karışımlar; Norveç, İsveç, Danimarka, Belçika, Hollanda, Macaristan, Fransa, Japonya, İsviçre, İngiltere ve Portekiz gibi ülkelerde kullanılmaktadır [36]. Taş mastik asfalt karışımların yoğun olarak kullanıldığı imalatlar olarak; kavşak noktaları, otoyollar, otobüs yolları, otobüs durakları, hava alanları ve yarış pistleri gibi yerleri sayabiliriz.



Şekil 33. TMA karışımların otobüs duraklarında kullanımı [36]



Şekil 34. TMA karışımların yarış pistlerinde kullanımı [36]

### 1.6.2. Taş Mastik Asfaltın Kullanım Amacı ve Uygulama Alanları

TMA geleneksel aşınma tabakalarına nazaran daha yüksek oranda asfalt içeriğine sahip olması nedeniyle, daha kalın film tabakası oluşmakta dolayısı ile dayanım da artmaktadır. Daha fazla asfalt bağlayıcı kullanıldığından ötürü serme ve sıkıştırma anında bağlayıcının drenajını önlemek amacıyla karışıma katılan stabilizör (selüloz veya mineral

elyaf), karışımın segragasyonunu önleyerek karışımın daha homojen olmasını sağladığı gibi daha çok asfalt bağlayıcı kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Böylece hem stabilite hem de performans (sürüş konforu ve emniyeti) açısından daha üstün nitelikli bir aşınma tabakası elde edilebilmektedir. Zira TMA karışımında boşluklu gradasyona sahip yüksek oranda kırılmış agrega kullanılmasından dolayı içsel sürtünme direnci artmakta ve tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha dirençli olmaktadır. Ancak karışıma pahalı stabilizör katılması, daha çok bağlayıcı kullanılması ve daha dayanıklı agrega kullanmak zorunluluğu nedeniyle maliyeti nispeten (% 20 ila % 30) daha fazla olmaktadır.

TMA tabakası geleneksel asfalt aşınma tabakasından daha ince olarak yapılabilmesi nedeniyle, daha çabuk imal edilmekte ve daha az bakım gerektirmektedir. Dolayısı ile TMA tabakası, kalıcı deformasyonlara, aşınmaya karşı daha dirençli, homojen ve geçirimsiz oluşu nedeniyle yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır [32], [37], [18].

TMA karışımları önceleri yüzey kaplamaları için dizayn edilmelerine karşın Almanya ve Amerika Birleşik Devletleri gibi ülkelerde, binder (orta) tabakalarında da (Splittmastixbinder adıyla) denenmeye başlanmıştır. Ancak halen bu özel karışımların bu tabakalarda uygulanmasının getirdiği ilâve maliyete karşılık elde edilen fayda konusunda bazı tereddütler vardır. TMA'nın esas avantajı, sağladığı yüksek kaliteli yüzey özelliği, dayanımı ve kalıcı deformasyona karşı yüksek performansı ile çatlak oluşumuna karşı gösterdiği dirençtir. Binder ve temel tabakaları kalıcı deformasyona karşı yüksek direnç gerektirmezler [18], [38].

TMA'nın potansiyel uygulama alanları aşağıda belirtilmiştir:

Havaalanı kaplamaları: Yüksek performanslı TMA kaplamalarının, havaalanı idarelerinin dikkatini çekmesiyle, havaalanı pistlerinde, TMA uygulaması ile yeni bir değişim süreci başlamıştır. Çok sayıda başarılı uygulama, giderek yaygınlaşmıştır. (Frankfurt'ta Fraport, Oslo'da Gardermoen, Güney Afrika'da Johannesburg). Özellikle Fraport Havaalanı, devâsâ trafik kapasitesi ve yılda 200.000'den fazla olan uçak kalkış-iniş miktarları bakımından, dünyanın en büyük havalimanlarından biridir. Burada uygulanan TMA kaplaması sasobit ile modifiye edilmiştir. Yıpranmış beton kaplamanın sökülmesi ve TMA ile yenilenmesi iki yıl sürmüş ve bu arada havaalanı hizmet vermeye devam etmiştir [38].

Köprü döşemeleri: Köprülerde kullanılacak kaplamaların, toprak zeminde uygulanan kaplamalardan farklı olması gerekir. Çünkü köprülerde uygulanacak döşemeler, soğuma ve ısınma etkilerine daha hassastır. Örneğin, kış şartlarından kaynaklanan buzlanma, köprü

kaplamasında, toprak zemindeki asfalt kaplamadan daha önce, hızlı ve yoğun bir şekilde kendini gösterir. Dolayısı ile köprü kaplamalarında yorulma direncine karşı yüksek dayanımlı modifiyeli yüksek bağlayıcı oranına sahip mastik asfalt kullanılır. Bazı ülkelerde, ince dereceli TMA'da kullanılmaktadır (Hollanda, Danimarka, Polonya) [38].

İnce takviye tabakaları: İnce TMA tabakaların teknolojisi göz önüne alındığında, sadece agrega gradasyonunun değil, aynı zamanda bağlayıcı tipi ve kalitesinin de, standart bir finişerle, 3 cm'den küçük sıkışma kalınlığının elde edilebilmesine izin vermesi gerekir. Normal TMA tabakalarının sahip olduğu performansa benzer özelliklere sahip olmalıdır. İnce TMA tabakaları dünyanın birçok yerinde kullanılmaktadır. Örnek olarak, ABD, Arjantin, İngiltere, İsveç, Polonya verilebilir. 1993 yılında, Polonya'da yapılan 2,5-3 cm kalınlıkta TMA tabakası üzerinde 13 yıl sonra yapılan bir değerlendirmede çok iyi şartlarda olduğu gözlenmiştir [38].

Tipik olmayan TMA'lar: Orta tabakalarında kullanılan TMA (binder tabakası), sessiz kaplamalar, Kjelbase ve renkli TMA, tipik olmayan TMA tabakalarına örnek olarak gösterilebilir. Binder tabakalarında kullanılan TMA karışımları ABD ve Almanya'da denenmiş ve yorulma performansı bakımından kesinlikle geleneksel karışımlara oranla üstünlük sağladığı ispatlanmıştır. Almanya'da bu tabakalar Splittmastixbinder (SMB) olarak anılmaktadır. Poroz (boşluklu) karışımlar, trafik gürültüsünü engelleyen en etkin karışımlardır. Bu tabakalar bazen iki tabaka olarak inşa edilirler. Ancak bu çözümler pahalıdır. Diğer yandan, kentsel alanlarda uygulanmak üzere, poroz asfalta alternatif olarak von Bochove ve Hamzah tarafından 2008 yılında TMA karışım dizaynına benzer, hava boşluğu % 9-16 oranında olan karışım bulunmuştur. Sessiz TMA, Almanya'da geliştirilmiş ve bugün başarılı uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Güçlü mineral agregadan oluşan iskelet yapısıyla TMA, bazı takipçilerin ilgisini çekmiştir. Bu takipçilerden Kjell Sardal ve S. Gouw, Kjelbase olarak isimlendirdikleri bir karışım yapmışlardır (1997). % 79 mıcır, % 15 kırılmış kum, % 6 filler, % 5 oranında modifiyeli bitümden oluşan karışımın, geleneksel karışım ile karşılaştırıldığında, kalıcı deformasyona karşı daha yüksek direnç gösterdiği tespit edilmiştir. Renkli TMA göze hitap eden estetik kaygısı ile üretilen bir karışımdır. İşaretlenmesi gereken yaya geçişlerinde veya emniyetle ilişkili özelliklerin öne çıkarılması gereken yerlerde kullanılır [38].

Çivili lastik aşınmasına karşı direnç gerektiren kesimler: Çivili lastik kullanımının yasal olduğu ülkelerde ise bu amaçla TMA uygulanmaktadır. İsveç'teki çalışmalarda,

nominal agrega boyutu 12 mm'den 16 mm'ye çıkarılmış olan TMA karışımlarında çivili lastik aşındırmasının % 40 daha düşük olduğu saptanmıştır [39].

### 1.6.3. Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Üretimi

Genellikle TMA karışımının üretimi, bir kaç nokta dışında yoğun gradasyonlu beton asfalt karışımlara benzemektedir. Karışım sıcaklığı geleneksel beton asfaltlardan düşüktür. Geleneksel beton asfaltlarda karışım sıcaklığı 160 °C ile 180 °C arasında iken, TMA karışımlarında 160 °C ile 171 °C arasındadır. Diğer bir farklılıkta karışıma mineral filler eklenme şeklindedir. Filler tesiste silolara depo edilir ve otomatik olarak kesikli karışım tesisinde tartıya veya sürekli karışım tesisinde karıştırıcıya gerektiği kadar eklenir.

TMA karışımı üretmek için kesikli karışım tesisi kullanılırsa, gevşek fiber tesiste karıştırıcının içine direkt olarak veya tartının içine eklenir. Fiberler, ister organik ister mineral olsun, kuru karıştırmanın başlangıcında eriyebilen plastik torbalarda tutulur ve karıştırıcıya katılabilir.

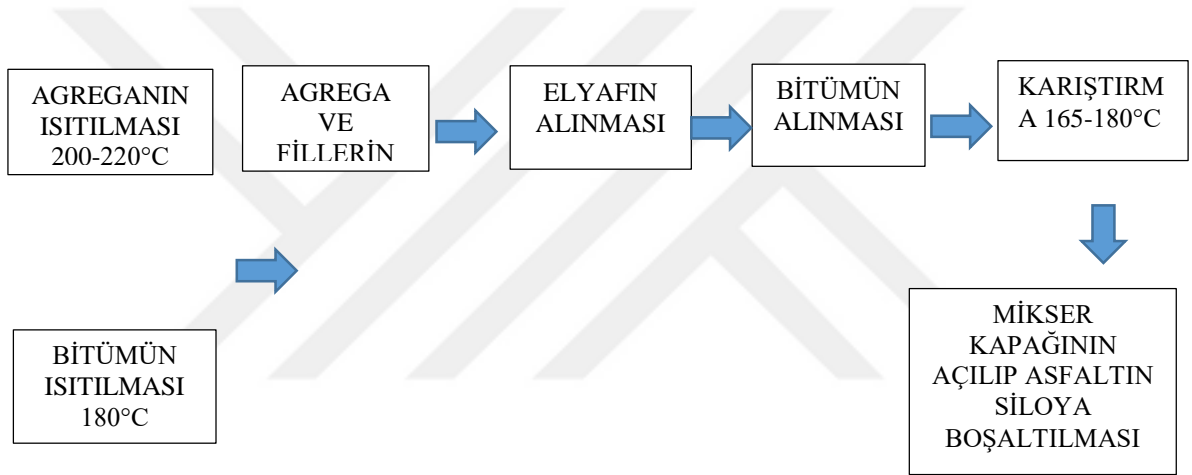
Bazı tesislerde, fiberler silodan karıştırıcıya hava yoluyla katılır. Fiberlerin tamamen dağılımını sağlamak için, kuru ve bitümlü bağlayıcı ile karıştırma süreleri uzatılır. Uzatma süreleri, karışıma eklenen fiberlerin tipinin ve miktarları yanısıra, kullanılan kesikli karışım tesisinin modeline bağlıdır. Genellikle, kuru karıştırma süresinin 5 ile 15 saniye arasında artırılmasına gerek duyulur. Bitümlü bağlayıcı ile karıştırma süresinde, yoğun gradasyonlu beton asfalt karışımlardakine göre 5 ile 20 saniye arasında artırılmasına ihtiyaç duyulabilir.

Eğer sürekli karışım tesisi kullanılırsa, karışımda gevşek fiberler kullanılamaz. Çünkü kurutucu içerisinde yanabilmekte ve dışarıya atılan gazla birlikte dışarıya taşınabilmektedir. Bu durumda fiber parçacıkları, yarısı fiber yarısı bitümlü bağlayıcı olarak, karıştırıcının içine katılır veya geri dönüşümlü asfalt sisteminin içinden eklenir. Gevşek fiberlerle karşılaştırıldığında, parçacıklar halindeki fiberlerin ağırlığı, karışımın tonu başına, gevşek fiberlerin iki katıdır. Parçacıklar, karışım karıştırıcıdan boşatılmadan önce fiberlerin karışım içerisinde tamamen dağılabileceği ve eriyebileceği noktada karıştırıcıya eklenmelidir. Çünkü sürekli karışım tesisi işlemlerinde, fiber kullanıldığında karışım süresi değişmemektedir.

Eğer TMA karışımlarına polimer ile modifiye edilmiş bitümlü bağlayıcı katılacaksa, polimer önceden bitümlü bağlayıcı ile harmanlanmalıdır. Harmanlanarak modifiye edilmiş

bitümlü bağlayıcı, kesikli karışım tesisinin veya sürekli karışım tesisinin karıştırıcısına eklenir. Eğer polimer parçacıklar halinde ise, malzeme kesikli karışım tesisinde tartıya veya karıştırıcıya, sürekli karışım tesisinde geri dönüşümlü asfalt sisteminden karıştırıcı kısmına katılır. Polimer malzemesi kullanımında, ister önceden harmanlanmış ister parçacıklar halinde katılmış olsun, sürekli karışım tesisi veya kesikli karışım tesisleri işlemlerinin karışım sürelerinde değişiklik olmaz.

TMA karışımları, uzun bir süre için büyük silolarda depolanamaz. Eğer depolama süresi artarsa, agregadan binder malzemesinin akıp gitmesi beklenmektedir. TMA karışımının yapışkanlığından dolayı, büyük miktardaki ayırıcı katkı maddesi, karışımın taşıyıcı kamyonuna yapışmasını önlemek için kullanılmaktadır [40].



Şekil 35. TMA üretimi

#### 1.6.4. Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Serilmesi ve Sıkıştırılması

TMA karışımlarının serilmesi geleneksel beton asfalttaki gibidir. Geleneksel şekilde karışım, taşıyıcı kamyonun sericiye boşaltılır. Sericiye boşaltıldığı sırada karışım, en az 143 °C sıcaklığa sahip olmalıdır. Serici ilerledikçe, karışımın açık gradasyonu açıkça görülmekte ve karışım sanki aşırı fazla bitümlü bağlayıcı içeriyormuş gibi gözükmektedir. Bu durum karışımdaki ince agreganın azlığından, yüksek orandaki bitümlü bağlayıcı oranından dolayı oluşmakta ve sonucunda da agrega daneleri arasındaki film kalınlığı artmaktadır [39], Avrupa’da TMA karışımlarının sıkıştırılması, ağırlığı 10 ton olan çelik tamburlu silindir kullanılarak yapılmaktadır. İstenilen yoğunluk 6-8 geçişle elde edilmektedir. Vibratörlü silindirler sınırlı koşulda kullanılmaktadır, Vibratörlü silindirlerin

TMA'da kullanılmasında farklı görüşler vardır. Bazı uzmanlar vibratörlü silindirlerin karışım içindeki agregaları kırdığına inanmakta, bazıları ise bu tip silindirlerin başarılı uygulandığında, istenilen yoğunluğa kolayca erişileceğine inanmaktadırlar. Bu yüzden vibratörlü silindirler, yüksek frekans ve düşük genlik modunda uygulanmalıdır. 6-8 geçiş yerine, 4-5 geçişle aynı yoğunluğa ulaşılmaktadır [40], TMA karışımlarının sıkıştırılmasında, bitümlü bağlayıcının kalın film tabakasından ve malzemenin toplanmasından dolayı pnömatik lastik silindirler kullanılmamalıdır [40], Sıkıştırma bitişinde en az sıcaklık 116 °C olmalıdır [41], Sıkıştırmanın miktarı, maksimum teorik birim ağırlığın %94'ü veya %6 hava boşluğu ile kontrol edilmektedir. Avrupa'da TMA karışımlarda bu maksimum teorik birim ağırlığı sağlamak genellikle problem olmamıştır [40].

TMA karışımlar, yoğun gradasyonlu beton asfalt karışımlar kadar yumuşak değildir, sıkıştırma ekipmanı altında yuvarlanmazlar. Normal yoğun gradasyonlu karışımlar, 5 cm'lik sıkıştırılmış kalınlığı elde etmek için 6.35 kalınlığında serilirler ve kalınlığının 2.5 cm'i başına 0.64 cm sıkıştırılırlar, buna başparmak kuralı denir. Diğer yönden TMA karışımları, yoğun gradasyonlu karışımların yarısı kadar sıkıştırılır. TMA karışımları, açık gradasyonlu karışımlar gibi davranır ve kalınlığının 2.5 cm'i başına 0.32 cm sıkıştırılır. Gerek duyulan maksimum teorik birim ağırlığa erişmek için kaplama yüzeyinin her bir noktasından 6-8 geçiş TMA karışımının sıkışması için yeterlidir [40].

### **1.6.5. Taş Mastik Asfaltın Olumlu Tarafları**

Polimer modifiyeli veya modifiyesiz bitümlü TMA karışımları, artan dingil yüklerine ve trafik hacmine sahip yollarda, uygun maliyetli olabilen yenilikçi karışımlardır. TMA karışımı sahip olduğu yüksek dayanım özelliğinden dolayı yenilenme süresi daha uzundur. Dolayısı ile yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfalta göre geliştirilmiş üstyapı performansı ile TMA'nın en önemli avantajı sağladığı uzun hizmet ömrüdür [37], [43], [44].

TMA'nın olumlu tarafları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Geliştirilmiş üstyapı performansı:

TMA dizaynı, taşın taşta teması özelliğinin sağlanması ve zengin bir bağlayıcı harcıyla da dayanımın elde edilmesi düşüncesine dayanır. Bu hedefler, genellikle kesikli gradasyonlu agrega, elyaf ve/veya polimer modifiyeli yüksek oranda bağlayıcı içeriği ile sağlanmaktadır. TMA tabakası, kalıcı deformasyonlara ve aşınmaya karşı daha dirençli, dayanımı fazla, daha



homojen ve geçirimsiz oluşu nedeniyle yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır. TMA'da boşluklu gradasyona sahip yüksek oranda kırmataş agrega kullanıldığından, içsel kilitlenme direnci artmakta ve bu karışımlar, tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha dirençli olmaktadır. Geleneksel aşınma tabakalarına nazaran daha yüksek oranda asfalt içeriğine sahip olması nedeni ile daha kalın film tabakası ve boşlukları daha çok bağlayıcı ile doldurulması sonucu dayanımı da artmaktadır. Daha fazla asfalt bağlayıcı kullanıldığından ötürü serme ve sıkıştırma anında bağlayıcının drenajını önlemek amacıyla karışıma stabilizör (seliloz veya mineral elyaf) karışımın segregasyonunu önleyerek karışımın daha homojen olmasını sağladığı gibi daha fazla asfalt bağlayıcı kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Böylece hem stabilite açısından hem de performans (sürüş konforu ve emniyeti) açısından daha üstün nitelikli bir aşınma aşınma tabakası elde edilmektedir [37], [43], [33].

ABD'de uygulanan 85 TMA projesinde üstyapı performansı ve Almanya'daki deneyimler değerlendirildiğinde; TMA kaplamaları kalıcı deformasyon, tekerlek izine dayanıklılık, yorulma çatlama karşı direnç açısından yoğun gradasyonlu asfalttan çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Soyulma, yüzey çatlakları (sıcaklık ve trafiğin etkisine bağlı) ve sökülme gibi bozulmalara genellikle TMA'da rastlanmamıştır. Dolayısı ile bu kaplamalar uzun hizmet ömrüne sahiptirler ve az bakım gerektirirler. Düşük sıcaklıklarda iyi performans gösterirler. Uzun vadede daha ekonomiktir [43], [18], [38], [33] [44]. TMA karışımlarının yüksek sıcaklıklardaki sünme deformasyonlarının daha düşük ve rijitlik modüllerinin daha fazla oluşu geleneksel aşınma tabakalarına nazaran olumlu bir özelliktir [37].

Gürültü seviyesinin düşüklüğü:

Almanya'da ve İtalya'da yapılan çalışmalara göre, yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfalt yerine, TMA kullanıldığında gürültü seviyesinde önemli mertebede azalma olmaktadır. İngiltere'de yapılan çalışmada bazı karışımlar için agrega boyutu ile gürültü seviyesi arasındaki ilişkiyi değerlendirilmiş ve nominal maksimum dane boyutu yüksek olan TMA karışımlarının geleneksel sıcak karışım asfalta göre daha sessiz olduğu saptanmıştır. TMA'nın akustik özelliklerinin de iyi olduğu tespit edilmiştir. TMA kaplamalarında her ne kadar yüzey pürüzlülüğü bir miktar daha fazla olsa da yapılan ölçümlerde gürültü seviyesinin 2 ila 5 dB azaldığı saptanmıştır [37], [43], [18], [38], [33].

Yüksek kayma direnci:

Kaplamanın kayma direncinin artırılması için TMA karışımlarında; kaba agreganın cilalanma direncinin yüksek olması ve yüzey dokusunun boşluklu olması gerekir. Bu

nedenle, kullanılacak kaba agrega muhakkak kırmataş olmalı ve aşınma-cilalanma direnci yüksek kayaçlardan elde edilmelidir. Kaplamanın yüzey yapısı (yani dokusu), hem tekerlek/kaplama arasındaki sürtünme kuvvetine hem de tekerlek arasından parçalanan su filminin yüzeysel boşluklara penetre olmasına etki eden önemli bir husustur. Ancak sürüş konforu açısından kaplama yüzeyinin pürüzsüz ve çok düzgün yüzeyli olması istenirken sürüş emniyeti açısından yüzeyin belirli oranda boşluk ihtiva etmesi gerekmektedir. Bu nedenle birçok TMA şartnamesinde yapımı tamamlanmış yüzeyde kum yama metodu (Sand Patch Method, ASTM E-965) ile makro pürüzlülüğün yani pürüzlülük derinliğinin tayin edilmesi ve belli bir değerden daha az olmaması şart koşulmaktadır [37].

TMA yol uygulamalarının birçoğu, gerekli olan kayma direnci düzeyini sağlayacak şekilde dizayn edilebilir. Bu dizayn, agrega boyutunun ve boşlukları dolduran harcın bir fonksiyonudur. Yüzey suyu, TMA içinden drene olmamasına rağmen, TMA'nın yüzey dokusu, açık gradasyonlu karışımlara benzemektedir. Bu nedenle TMA yüzeyi, ıslak kaplama üzerinde seyreden motorlu taşıtların güvenliğini sağlayacak şekilde yüksek sürtünme direncine sahiptir. Ayrıca trafik altında doku kaybının olmaması için, karışımın aşırı derecede harç ile doldurulmaması gerekmektedir. TMA karışımları, diğer geleneksel asfalta göre yüzeyde daha kalın bağlayıcı filmi oluşturmaktadır. Bu nedenle birçok ülkede, ilk birkaç aylık trafik süresince TMA'nın kayma direnci beklenilenden daha düşük olabilir. Zamanla trafiğin aşındırma etkisiyle yüzeydeki agregayı saran aşırı asfalt filmi azalacaktır. Ancak bu varsayımı destekleyen çok az sayıda kanıt vardır. Yine de bazı ülkelerde bu problem olasılığına karşı serim sırasında yüzeye 0-2/5 mm'lik kırmataş mıcır uygulanmaktadır [27], [43], [118], [33]. [44].

#### Görünürlük:

Yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfalta göre daha iri yüzey dokusuna sahip olan TMA, yüzeyinde daha fazla su tutabilmektedir. Sonuçta, yüzeyde daha az su görüldüğünden, gece seyreden araçların farlarının yansımaları ile oluşan parlamalar azalır, yol işaretlerinin görünürlüğü artar ve su sıçraması da kısmen önlenmiş olur [43], [18], [33].

#### Çevresel yararları:

İnce tabaka halinde uygulanması nedeniyle TMA'da daha düşük oranda agrega kullanılır. Uzun hizmet ömrü nedeni ile daha düşük bakım ihtiyacı gerektirdiğinden, uzun vadede yol trafiğe az kapatılır ve trafik sıkışıklığı engellenir; böylece yüksek seviyede hava kirliliği de önlenmiş olur. Ayrıca genelde bakım işlemleri sırasında kaza sıklığının daha fazla olmasından dolayı, yol kullanıcıları ve bakım operatörleri için TMA daha güvenli bir

kaplama olarak görülmektedir. TMA'nın doğal yüzey yapısı sonucu görünürlüğü artması ile yol ve can güvenliği de artmaktadır. Deformasyonlara gösterdiği direnç sayesinde TMA, sürüş konforuna ve güvenliğine önemli katkılar sağlamakta ve sürücü yorgunluğunu azaltmaktadır. Ayrıca TMA yüzeylerinin gürültü seviyesinin düşük olması, yolun geçtiği çevredeki yerleşim yerleri için müspet bir katkı olarak görülmektedir. TMA % 100'e yakın düzeyde geri dönüştürülebilir bir karışım türüdür [18].

### 1.6.6. Taş Mastik Asfaltın Olumsuz Tarafları

Pek çok yapısal ve işlevsel olumlu tarafları nedeniyle TMA, ağır trafik yüküne sahip yollardaki kaplamalar için en iyi mühendislik seçim olarak kabul edilmektedir. Ancak, kendine has birleşimi ve malzeme özelliği nedeni ile üretim, nakliye ve serme açılarından bazı önemli olumsuz tarafları da bulunmaktadır. Bunlar ana hatları ile şu şekilde sıralanabilir.

- Yüksek oranda bağlayıcı ve filler ile stabilize edici katkı gereksinimi nedeniyle maliyeti daha yüksektir.
- Fazladan filler eklenmesi gerektiğinden, plent verimliliği daha düşüktür. Ancak, bu uygun plent modifikasyonları ile üstesinden gelinebilecek bir durumdur.
- Bağlayıcının yüzeyde toplanmaması için TMA karışımının 40°C'a kadar soğumadan trafiğe açılmaması gerekir. Bu yüzden yolun trafiğe açılması gecikecektir.
- Yüzeyde biriken kalın bağlayıcı filmi trafikle yok oluncaya kadar tabakanın başlangıç kayma direnci daha düşük olabilmektedir. Bu nedenle trafiğe açılmadan önce, ince temiz bir mıcırın yüzeye serilmesi veya düşük hızla seyir için sürücülerin işaretlerle uyarılması gerekebilir.
- TMA yapımında üretim, depolama, taşıma ve serme-sıkıştırma işlemleri büyük bir itina gerektirir. Ancak uygulamada yeterli deneyim kazanıldığında diğer kaplama işlemlerinden daha zor değildir. Ayrıca TMA'nın yüksek bağlayıcı içeriğinden ve boşluk yapısından dolayı, üretim, nakliye ve serme sırasında bitümün süzülmesi söz konusu olabilir. Bitümün süzülmesini engellemek için karışıma elyaf eklenir. Karışıma elyafın ilave edilmesi, özel bir ilave donanımı gerektirir. Bu hassas işlem, genellikle operasyonel sorunlar yaratmaktadır.

- Polimer kullanıldığında asfaltın sıcaklığı daha yüksek olması gerektiğinden, taşıma mesafesine sınırlamalar getirilebilir.
- TMA diğer asfalt karışımlarına göre daha sert ve işlenebilirliği düşüktür. Bu nedenle özellikle modifiye bitüm kullanıldığında, işlenebilirliği düşük olduğundan, sıkıştırma işlemi daha fazla itina gerektirmektedir.
- Yüksek yoğunluklu bağlayıcı (genellikle bu modifiye bitümlerde) ve mastik içindeki elyaftan dolayı, karışım sıcaklığı artar. Geleneksel BSK'lara nazaran, TMA çok sıcak bitümlü karışımdır (karışım sıcaklığı 170-190°C arasındadır) [43], [38], [44].



## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmalar bölümünde, üleksit mineralinin taş mastik asfalt karışımlarda mineral filler olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla yapılacak olan deneyler için kullanılacak malzemeler ve farklı üleksit – bazalt filler oranlarında hazırlanmış karışım numuneleri üzerinde yapılan deneyler anlatılmaktadır.

### 2.1. Agregada Deneyleri

Agregaların fiziksel özelliklerinin tespit edilebilmesi için numuneler üzerinde standart kırmataş deneyleri yapılmıştır.

#### 2.1.1. Elek Analizi Deneyi

Asfalt kaplamalarda kullanılan agregaların granülometrisini bulmak için standart kare delikli elek açıklıkları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 5. Kare delikli elek açıklığı [45]

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

Bu deney agregada granülometrisini belirlemek amacıyla kullanılan bir deneydir. Beton dizaynı için oluşturulan agregada granülometrisini bulmak için farklı standartta elekler

kullanılmaktadır. Elek analizleri yapıldıktan sonra çizilen granülometri eğrileri şartname limitleri sınırları içinde kalmalıdır [32].

Agrega stok yığınlarından alınan malzeme, dörtleme veya bölgeç yöntemiyle homojen bir hale getirilmeye çalışılır. Daha sonra numune bir kaba yerleştirilerek etüvde 1100 sıcaklıkta kurumaya bırakılır.

Ön kurutma işleminden sonra agrega numuneleri etüvden çıkarılır. Numunenin yüzeylerini tamamen temizlemek amacıyla 200 nolu elek içinde yıkama yapılır. Bu yıkamadan sonra tekrar 1100 agrega numuneleri etüvde kurumaya bırakılır. Tekrar etüvde kuruyan numuneler dışarı alındıktan sonra eleme işlemlerine başlanır. Agregaların %100'ünün geçtiği elekten başlanarak elek üzerinde kalan malzeme ağırlıkları tartılır. Daha sonra bu eleklerden geçen agrega miktarları belirlenerek yüzdelik oranlarla ifade edilir [32].



Şekil 36. Elek analizi tayin aparatları



Şekil 37. Malzeme eleme işlemi.

### 2.1.2. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi

Bir agreganın birim hacimdeki ağırlığının, 2500C sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranına o agreganın özgül ağırlığı denir. Özgül ağırlık türleri 3 sınıfta incelenebilir.

1. Zahiri Özgül Ağırlık (Gsa): Agreganın geçirimli boşlukları düşüldüğünde ortaya çıkan birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı hacimde ve aynı sıcaklıkta olan içinde hava boşlukları kalmayan suyun ağırlığına oranına Zahiri özgül ağırlık denir.
2. Hacim Özgül Ağırlığı (Gsb): Agreganın hem geçirimli hemde geçirimsiz boşlukları ile beraber oluşturduğu birim hacminin havada ki ağırlığının, boşlukları alınmış suyun aynı sıcaklık ve hacimdeki ağırlığına oranına agreganın Hacim özgül ağırlığı denir.
3. Efektif Özgül Ağırlık (Gse): Agreganın geçirimli ve geçirimsiz boşluklarının oluşturduğu hacminden, asfalt geçirimli boşluklarının minha edilmesiyle ortaya hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve boşlukları alınmış suyun ağırlığına oranına Efektif özgül ağırlığı denir.

Agrega karışımının özgül ağırlığını bulmak için sınıflara ayırdığımız agreg gruplarının özgül ağırlıkları üzerinden gidilir. Karışım özgül ağırlığı bulunurken kaba agreg, ince agreg ve filler boyutunda ki agreg özgül ağırlıkları kullanılır. Genellikle kaba agreg için zahiri ve özgül ağırlık, ince agreg için zahiri ve hacim özgül ağırlık ve filler boyutundaki agreg için ise zahiri özgül ağırlık deneyleri yapılmaktadır [32].

$$Gsb = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{Gkb} + \frac{\%I}{Gib} + \frac{\%F}{Gfa}} \quad (2.1)$$

$$Gsa = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{Gka} + \frac{\%I}{Gia} + \frac{\%F}{Gfa}} \quad (2.2)$$

Gsa = Zahiri özgül ağırlık

Gsb = Hacim özgül ağırlık

%K, %İ, %F = Kaba, ince ve filler agregaların ağırlıkça karışım yüzdeleri

Gkb, Gib = Kaba ve ince agregaların hacim özgül ağırlığı

Gka, Gia, Gfa = Kaba, ince ve filler agregaların zahiri özgül ağırlıkları

Efektif özgül ağırlıklar ise iki farklı şekilde bulunabilir.

a) Zahiri ve hacim ağırlıkları üzerinden gidilerek bulunur.

$$G_{ef} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (2.3)$$

G<sub>ef</sub> = Agreganın efektif özgül ağırlığı

G<sub>sa</sub> = Zahiri özgül ağırlık

G<sub>sb</sub> = Hacim özgül ağırlık

b) Asfalt karışım maksimum teorik özgül ağırlığı, agreganın yüzdesi ve bitüm özgül ağırlığı üzerinden gidilerek bulunur.

Bulunan karışım optimum bitüm miktarlarına göre dizayn edilen kaplamanın maksimum teorik ağırlığı deneylerle belirlendikten sonra aşağıda verilen formülle efektif özgül ağırlık bulunabilir.

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (2.4)$$

G<sub>ef</sub> = Agreganın efektif özgül ağırlığı

D<sub>t</sub> = Maksimum teorik özgül ağırlığı

W<sub>a</sub> = Agreganın karışımının yüzde değeri olan bitüm miktarı

G<sub>b</sub> = Bitümün özgül ağırlığı

### 2.1.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Asfalt karışım kaplamalarda sürekli bir yük etkisi olacağı için aşınmalar meydana gelecektir. Agregalar asfalt karışımların iskelet sistemini oluşturduğu için dayanıklılıkları tüm karışıma etki edecektir. Los Angeles Aşınma Deneyi karışımda kullanacağımız agregaların aşınma miktarlarını belirleyebildiğimiz bir deneydir. Bu deney standart olarak 5 kg agreganın numunesi üzerinde yapılmaktadır. Ayrıca alınan bu numunenin 10 – 14 mm elek



açıklığında ve deney kazanının içinde 11 adet bilye olacağı kabul edilmiştir. Fakat farklı elek aralıklarında bulunan agrega numuneleri içinde her elek açıklığı için değişen bilye sayıları olacak şekilde aşağıda verilen kabullerde kullanılmaktadır.

- Agreganın elek açıklığı 4-8 mm olan numune için 8 adet bilye kullanılmaktadır.
- Agreganın elek açıklığı 6,3 - 10 mm olan numune için 9 adet bilye kullanılmaktadır.
- Agreganın elek açıklığı 8 - 12 mm olan numune için 10 adet bilye kullanılmaktadır.
- Agreganın elek açıklığı 11,2 - 16 mm olan numune için 11 adet bilye kullanılmaktadır.

Agrega stok yerinden 5000 gr agrega alınır. Daha sonra gerekli elekler ile eleme işlemleri yapılır. Elekler arasında kalan agregalar için yıkama işlemi yapılır. Bu yıkamanın amacı agrega üzerinde kalan toz ve kilin temizlenmesi amaçlıdır. Elenen ve temizlenen agrega numuneleri 1050C de etüve konularak kurumaya bırakılır. Kurutma işleminden sonra agrega numuneleri 31/33 devir/dakika arasında dönüş hızıyla dönebilen Los Angeles deneyi aletinin tambur kısmına boşaltılır. Agreganın numunelerinin içine elenen elek açıklığı boyutlarına göre yukarıda kabul edilen bilye sayısı kadar bilye atılır.



Şekil 38. Los Angeles aşınma cihazı ve deneye tabi tutulmuş numune



Şekil 39. Los Angeles tamburundan alınan numune

Gerekli işlemler yapıldıktan sonra deney aleti çalıştırılır. Yaklaşık 500 devirden sonra deney sona erdirilir. Deney aletinin tamburunda bulunan malzeme 1,6 mm elek göz aralığında olan elekten elenerek ne kadar elek üstü malzeme kaldığı tartılır [50].

Los Angeles aşınma kaybı değeri aşağıda verilen formül ile bulunmaktadır.

$$LA = \frac{(5000 - M)}{50} \quad (2.5)$$

Burada;

M: 1,6 mm elek üzerinde kalan agrega ağırlığıdır. (gr).

#### 2.1.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Agregaların kalınlığının ortalama boyuna oranının 0,6 değerinden daha düşük olduğu durumlarda yassı ifadesi ortaya çıkmaktadır. Yassılık indeksi değeri standart bir şablon kullanılarak bulunur. Şablonda bulunan gözeneklerden geçen yassı olarak ifade edilen agregaların toplam agrega ağırlığındaki yüzdesi olarak ifade edilmektedir [32].



Şekil 40. Yassılık indeksi şablonu

### 2.1.5. Cilalanma Deneyi

Üstyapı kaplamalarda kaplama mukavemetinin yanısıra yüzey pürüzlülüğü ve cilalanma değerleride önemlidir. Bu deney ile birlikte agreganın belli bir trafik yükü altında cilalanma değerlerine bakılmaktadır. Laboratuvar ortamında bir asfalt kaplamasının yüzeyine etki eden sürtünme etkileri oluşturulur. Briket numuneleri hazırlanır ve deney aletinde trafik etkileri hızlandırılarak bir aşınmaya maruz bırakılır. Daha sonra cilalanma deneyi aletinde cilalanma değeri bulunur [32].

Bazalt ve granit gibi sert kayalarda cilalanma değeri yüksek çıkmaktadır. Kalker gibi orta sertlikte olan bir malzemede ise cilalanma değeri daha düşük çıkmaktadır. Cilalanma değerinin yüksek olması demek yol yüzeyinde ki sürtünme direncinin fazla olması demektir. Bu durumda sürüş güvenliğini artıran bir durumdur [32].



Şekil 41. Cilalanma deney cihazı

### 2.1.6. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi)

Bu deneyle birlikte hava tesirleri etkisinde kalan agregaların hızlandırılmış ortam koşulları sağlanarak dayanımları belirlenir. Bilindiği üzere donma ve çözülme olayları bir

yapının tümden bozulmasına kadar sonuçlar çıkarabilir. Bu yüzden donma çözülme etkilerine karşı dayanıklı malzemelerin kullanılması büyük önem arz etmektedir. Deney 4,75 mm göz açıklığı olan elek üzerinde kalan agreganın 5 kez donma – zlme olayına maruz bırakılarak uygulanır. Deney sonucunda agregada meydana gelen kayıp yüzdesi belirlenir [32].

### **2.1.7. Soyulma Mukavemeti Deneyi**

Agrega üzerinde soyulmaların meydana gelmesi asfalt yüzeyleri için istenmeyen bir durumdur. Bu yüzden dizayn edilen asfalt karışımlar üzerinde, sıcaklık ve su etkisinde bitüm ile agrega arasında ki aderansı belirleyen soyulma mukavemeti deneyi yapılır. Soyulma miktarı değişik parametrelere bağlı olabilir. Bunların başlıcaları kullanılan karışım malzemeler olan agrega ve bitüm tipidir. Bazen soyulma mukavemeti yüksek olan agrega ve bitüm kullanılmama durumu olanılır. Böyle durumlarda soyulma mukavemetini artırıcı katkı maddeleri kullanılarak bitüm ve agrega aderans sorunu çözülebilmektedir.

Her agrega ve bitüm arasında farklı aderans oluşmaktadır. Aynı agrega için farklı tip bitümlü bağlayıcı kullanıldığında yapılan deney sonuçlarında, farklı soyulma miktarlarının oluştuğu görülmektedir. Bu nedenle, imalat sırasında agrega veya bitümlü bağlayıcının değişikliği durumunda soyulma mukavemeti deneyleri yapılarak, yeterli soyulma miktarının sağlandığı kontrol edilmelidir. şartname sınırları üzerinde çıkan soyulma miktarlarında ise soyulmayı önleyici katkılar kullanılarak önlem alınmalıdır [32].

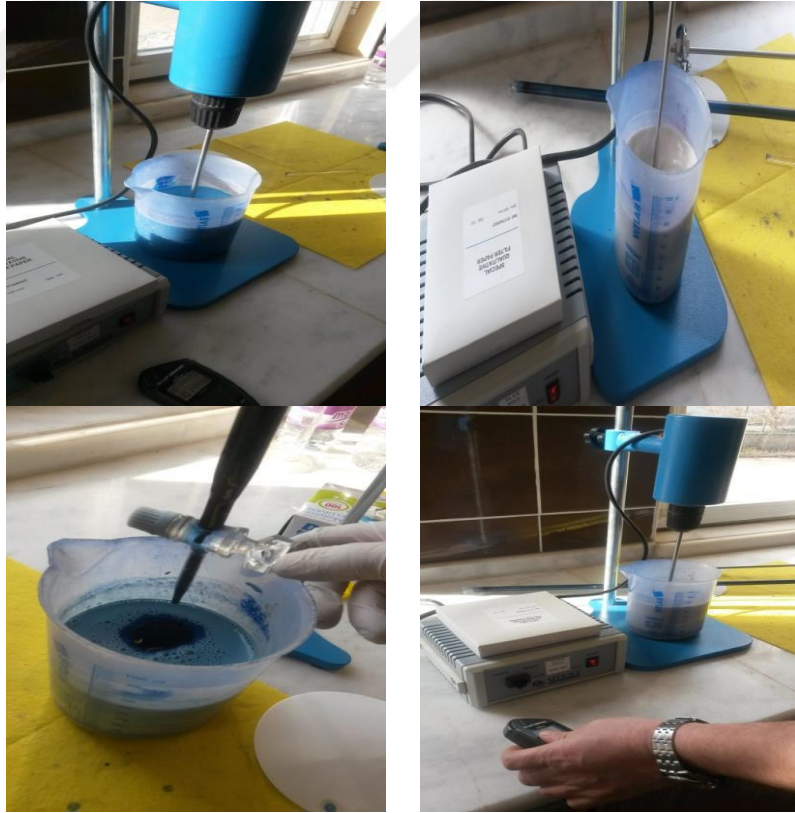
### **2.1.8. Metilen Mavisi Deneyi**

Agrega yüzeyinde bulunan zararlı kil mineralleri, agrega ve bitümlü bağlayıcı aderansını olumsuz etkilemektedir. Katyon değişimi ile metilen mavisi boyası kil mineralleri üzerinde tutunur. Kil mineralleri üzerine tutunan metilen mavisi boyasını tespit etmek için TS EN 933-9 şartlarına uygun olarak Metilen Mavisi Deneyi yapılır.



Şekil 42. Metilen mavisi deneyi için numune hazırlama

İlk olarak 200 gr numune alınarak hazırlanır. Hazırlanan numune üzerine 500 ml su ilave edilir. Daha sonra deney aletinin mikserinde 600 devirde 15 dakika karıştırılır. İlk karışım tamamlandıktan sonra numuneye 5 ml ölçüsünde metilen mavisi boyası ilave edilerek 400 devirde 4 dakika boyunca karıştırılır.



Şekil 43. Numuneye metilen mavisi eklenmesi ve karıştırılması

Karıştırılan numune içinden bir miktar alınarak süzgeç kağıdına bir leke bırakılır. Daha sonra tekrar 5 ml metilen mavisi boyası eklenerek karıştırılır. Tekrar süzgeç kağıdına damlatma işlemi yapılır. Bu işleme, süzgeç kağıdında oluşan lekenin renginin açık mavi, genişliğinin 1 mm ve 5 dk varlığını koruyabilene kadar devam edilir.

$$M_{metilen} = \frac{M_k + M_g}{M_m} * 10 \quad (2.6)$$

Burada;

M<sub>k</sub>: Metilen mavisi boyasının eklenme adedi.

M<sub>g</sub>: Metilen mavisi boyasının eklenme ağırlığı (gr)

M<sub>m</sub>: Malzeme ağırlığı (gr)

Sonuç olarak kil malzemesi metilen mavisi boyasını üzerine çekmektedir. Kil miktarı fazla olduğunda deney kabının içine eklenen metilen mavisi boyasının miktarı artacaktır. Metilen mavisi değeri arttıkça malzemenin kirli malzeme olduğu söylenebilir [3].

## 2.2. Bitüm Deneyleri

Kullanılacak bağlayıcının, yapılacak işe ait özel şartnamede istenilen özellikleri sağlayıp sağlamadığını kontrol etmek maksadıyla bir takım deneyler yapılmaktadır.

### 2.2.1. Özgül Ağırlık Deneyi

Bitümlü bağlayıcının özgül ağırlığı, belli bir hacimdeki bağlayıcı ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığının bilinmesi, bağlayıcı cinsinin ve ağırlıkla hacim arasındaki ilişkinin bilinmesi bakımından çok önemlidir.

Bağlayıcının özgül ağırlığı, bir piknometre ile tayin edilir. Piknometrenin, hava kabarcıklarının çıkabilmesi için alt yüzeyi iç bükey olan ve içinde 1-2 mm çapında kılcal bir çıkış borusu bulunan bir cam kapağı mevcuttur. Piknometre cam kapağı ile birlikte tartılarak ağırlığı belirlenir. (A). Sonra damıtık su ile tamamen doldurularak tartılır(B). Piknometre içerisindeki su tamamen boşaltılarak 110°C'lik etüvde kurutulur. Etüvde kurutulduktan sonra piknometre içine uygun miktarda (piknometrenin yaklaşık 2/3 kadar) eritilmiş



bağlayıcı konular ve tartılır (C). Eritilmiş malzeme piknometre içine dökülürken kabın üst kısımlarına bulaşmamasına ve hava kabarcıklarının numune içerisinde kalmamasına dikkat edilmelidir. Daha sonra numunenin üzeri damıtık su ile doldurularak yaklaşık 40 dakika 25°C'lik su banyosunda bekletildikten sonra tartılır (D). Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{(B - A) - (D - C)}{C - A}$$

A = Piknometrenin boş ağırlığı

B = Piknometrenin su ile dolu ağırlığı

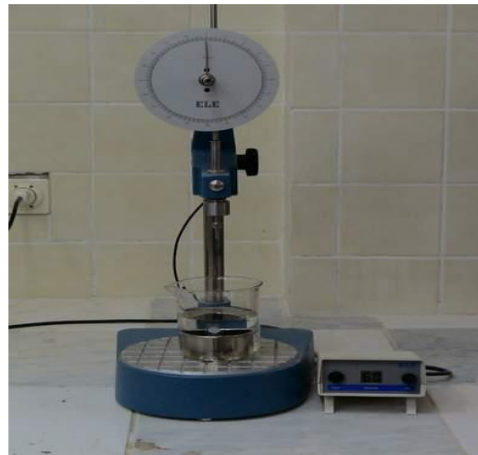
C = Piknometrenin bağlayıcı ile birlikte ağırlığı

D = Piknometrenin bağlayıcı ve su ile dolu ağırlığı

Deneyde 0,1 grama duyarlı teraziler kullanılır ve deney 25°C de yapılır. Eğer deney farklı sıcaklıkta yapılmış ise kesinlikle deneyin yapıldığı sıcaklık belirtilmelidir. Ayrıca bağlayıcı ve suyun sıcaklığı da belirtilmelidir [56].

### 2.2.2. Penetrasyon Deneyi

Standart kalınlıkta bir iğnenin belirli bir yük altında (100 gr) belirli bir süre (5 sn) boyunca asfalt çimentosuna batırılma işlemine penetrasyon deneyi denir. Bu deneyle birlikte bitümün kıvamı belirlenmektedir. Penetrasyon değeri arttıkça kıvamda azalma meydana gelecektir. Kıvam arttıkça bitümlü bağlayıcı sertleşmektedir [50].

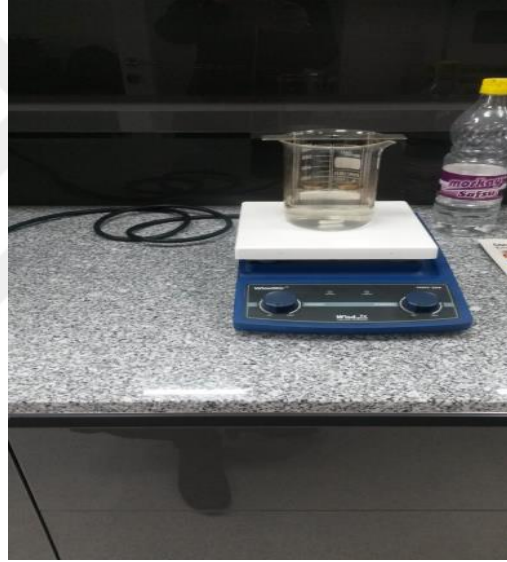


Şekil 44. Penetrasyon deney aleti

### 2.2.3. Yumuşama Noktası Deneyi

Bu deney, bitümlü bağlayıcıların akmaya başladığı sıcaklığı tespit etmemizi sağlamaktadır. Yüzük - bilye yöntemi ile bitümlü bağlayıcının yumuşama bokağı belirlenir. Yumuşama noktası yüksek olan bitümlerin akma sıcaklıkları yüksek olacağından asfalt karışım sıcaklıklarıda yüksek olmaktadır [51].

Bu amaçla TS EN 1427-2008 yöntemin belirtildiğı üzere yumuşama noktası deneyi gerçekleştirilir. Farklı tip bitümlerin farklı yumuşama noktaları vardır. Oda sıcaklığında aynı penetrasyon değerlerine sahip iki bitümlü bağlayıcı, sıcaklık arttıkça farklı davranışlar göstermektedir.



Şekil 45. Yumuşama noktası tayin cihazı

Cam bir kaba 5 °C sıcaklığında ve 8,25 cm yüksekliğinde saf su konulur. Numunenin bulunduğu halka kabın içindeki suya sarkıtılır. Cam içine sarkıtılan halka cam kabın dibinden 2,52 cm yükseliğinde ve su yüzeyinden 5,08 cm aşağıda olacak şekilde ayarlanır. Bilyeler su dolu beher içine konulduktan sonra kabın içine termometreler batırılır. Termometre, civa haznesinin altı halka dibiyle aynı hizada ve halkaya uzaklığı 0,5 cm olacak şekilde yerleştirilir. Bilye cam kabın tabanından alınarak halkanın ortasına yerleştirilir. Dakikada 5 °C yükselecek şekilde su ısıtılmaya başlanır. Deney başladıktan sonra ilk 3 dakika içinde sıcaklık artışındaki sapma 0,5 °C geçmemelidir. Bu şekilde devam edilen



deneyde halka içerisinde bulunan bitümün, cam kabın dibine temas ettiği anda termometrede okunan sıcaklık değeri yumuşama noktası değeridir [50].

#### **2.2.4. Schlenberger Bitüm Süzülme Deneyi**

Bu deney Almanlar tarafından geliştirilen bir deneydir. Uluslararası bir deney niteliğinde olmakla beraber başka bir deney olmadığı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Asfaltta süzülme deneyi NCAT tarafından geliştirilerek önerilen bir deneydir. Bu deney hem şantiye kontrolü hem de bir laboratuvar dizayn deneyi olarak geliştirilmiştir. Deney çeşitli stabilizörler için uygulanabilir şekilde tasarlanmıştır [48], [60].

135 °C ± 5 °C’de hazırlanan 1000 g TMA karışımı 1000 ml’lik cam behere konularak 0,1 g hassasiyetinde tartılır. Beher, üzeri kapatıldıktan sonra 1 saat + 1dk süre ile 170 °C sıcaklıktaki etüvde bekletilir. Bu sürenin sonunda etüvden çıkartılır ve karışım beheri sarsmadan boşaltılır, boşaltılan kısım 0,1 g hassasiyette tartılır ve ağırlık kaybı yüzde olarak hesaplanır. KTŞ’ye göre bitümün süzülmesi (% ), maks. 0,3 olmalıdır [46].

#### **2.3. Marshall Deneyi**

Bitümlü sıcak karışımların dizaynı için kullandığımız Marshall dizayn metodu TMA karışımların dizaynında da bir metod olarak kullanılabilir. Marshall metodu kavramı ilk olarak bitüm mühendisi Bruce Marshall tarafından formülize edilmiştir. Daha sonra “U.S. Corps of Engineers” (ABD istihkam sınıfı) kuruluşu tarafından çok geniş araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla karışım dizayn kriterlerini geliştirmiştir. “American Society for Testing and Materials” Amerikan deney ve materyal topluluğu tarafından ASTM D 1559 Marshall test metodu adıyla standart hale getirilmiştir. Marshall test metodunun Türk standartlarındaki karşılığı TS 3720’ de verilmiştir [51].

Bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde kullanılan Marshall dizayn metodu sıkıştırma enerjisinde uygulanan bir miktar azaltmayla TMA karışımlar içinde kullanılır. Bitümlü sıcak karışımların dizaynı için sıkıştırılmasında 2 x 75 darbe kullanılırken, TMA karışımlarda 2x50 darbe kullanılır. Buradaki amaç Marshall tokmağı ile sıkıştırma enerjisi uygulanması sırasında TMA karışımındaki agregaların kırılarak gradasyonun bozulmamasıdır.

Marshall dizayn metodunun yapılış aşamaları:

Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyutu 25 mm veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış bitümlü bağlayıcı kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar dizaynı için tasarlanmıştır. Marshall dizayn metodunun aşamalarını kısaca aşağıdaki sırada verebiliriz [51,52].

- 1) Agrega gruplarının gradasyonu ve kullanım oranları belirlenir.(kaba, orta, ince)
- 2) Karışım gradasyonunun şartname limitlerine uygunluğuna bakılır.
- 3) Agrega özgül ağırlıkları hesaplanır.
- 4) Marshall briketleri düşükten büyüğe doğru artan bitüm yüzdelerinde ve uygun karıştırma, sıkıştırma sıcaklıklarında hazırlanır.
- 5) Hazırlanan briketler üzerinde yoğunluk, stabilite, akma, boşluk, VFA(asfaltla dolu boşluk), VMA(agregalar arası boşluk) hesapları yapılır ve bitüm yüzdesi değişimine bağlı olarak grafikleri çizilir.
- 6) Optimum bitüm oranı hesaplanır ve optimum bitüm %'si değerinde yoğunluk, stabilite, akma, boşluk, VFA, VMA değerlerinin şartnameye uygunluğuna bakılır.

Deneyisel çalışmalarda uyguladığımız Karayolları Teknik Şartnamesi TMA Tip-1'in dizayn kriterleri aşağıdaki tabloda verilmiştir [53].

Tablo 6. TMA Tip-1 dizayn kriterleri [53]

Özellikler	Şartname Limitleri
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50
Hava Boşlukları, (%)	2-4
Sıcak İklim bölgelerinde hava boşlukları, (%)	3-4
Agregalar arası boşluk (VMA), (%), min. TMA Tip-1	16
Tekerlek izinde oturma *(30 000 devir, 60°C'de), (%), maks.	6
Elyaf miktarı, %	0,3 - 1,5
Schellenberger bitüm süzülme deneyi, (%), maks.	0,3
* Fransız NF P 98-253-1 deneyi ile tespit edilecektir.	



Şekil 46. Laboratuvar asfalt mikseri



Şekil 47. Otomatik Marshall kompaktörü



Şekil 48. Hazırlanan Marshall kalıpları



Şekil 49. Hazırlanan Marshall briketleri

#### 2.4. Dolaylı Çekme - Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi

Esneklik modülü değerleri, malzemelerin rölatif kalitesini değerlendirmesinin yanı sıra kaplama tasarımı veya değerlendirme ve analizleri için girdi üretmeye yaramaktadır. Bu

deney sayesinde sıcaklık, yükleme hızı ve süresi gibi etkiler araştırılmaktadır. Deney tahribatsız olduğu için bir numune üzerinde sıcaklık veya nem koşullarını değerlendirmek amacıyla deneyler tekrarlanabilir [58, 59, 60].

Sıcaklık kontrollü hücreye konulan numune belirlenen sıcaklığa gelmesi için 24 saat beklenir. Numunelerin istenilen sıcaklığa gelip gelmediği kukla numune içerisine yerleştirilen bir derece ile tespit edilir. Numuneler deney ekipmanına yerleştirilir. Ön hazırlık yüklemesi yapılarak numunenin yerleşmesi yapılır.

Numuneye dolaylı çekme mukavemeti değerinin % 10'u ile % 50'si arasında değişen bir yük belirlenen bir periyot boyunca beş kez yarı sinüzoidal (haversin) olarak uygulanır ve numune içerisinde oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülür. Deney aşamasında yük tekrarründe 0.33, 0.5 ve 1 Hz'lik frekansların uygulanması önerilmektedir.

Esneklik modülü değeri için bir numuneye iki defa deney uygulanır. İlk deney tamamlandıktan sonra numune 90° çevrildikten sonra ikinci kez deneye tabi tutulur ve esneklik modülü değeri olarak iki deney sonucunun ortalaması alınır.

Deneyin tahribatsız olması nedeniyle, bir numuneye birden fazla deney yapılması imkanı vardır. Bu nedenle numunede kalıcı deformasyonları azaltmak için en düşük sıcaklıklarda, en kısa yükleme süresi ve en düşük yük ile başlanmalıdır.



Şekil 50. Rijitlik modülü deney düzeneği (KTÜ Ulaştırma Laboratuvarı)

Esneklik modülü, uygulanan yük, kabul edilen veya hesaplanan poisson oranı ve numune yüksekliğine bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$S_m = \frac{L \cdot (\nu + 0,27)}{D \cdot t}$$

Bu eşitlikte:

$S_m$ : Dolaylı çekme rijitlik modülü (MPa)

$\nu$ : Poisson oranı (0.35)

$L$ : Düşey yükün maksimum değeri (N)

$D$ : Ortalama yatay deformasyon değeri

$t$ : Ortalama numune kalınlığı

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

#### 3.1. Karışım Oranları, Karışım Gradasyonu ve Tolerans Limitleri

Karışım için ikisu bazalt Taşocağından üretilen (19-12,5 mm), (12,5-9,5), (5-9,5), (0-5 mm) ve filler dane boyutu grubu agregalar, %0,3 elyaf ve 50/70 bitüm kullanılmıştır. Karışım gradasyonunun hazırlanmasında, aşağıdaki tabloda verilen elek analizi sonuçları esas alınmıştır. Tabloda agregaların kullanım oranları ile dizayn gradasyonu ve tolerans limitleri verilmektedir.

Tablo 7. Şantiye elek analizleri sonuçları ve karışım gradasyonu

ŞANTIYE ELEK ANALİZLERİ														
Elek Açıklığı		8%	53%	8%	22%	9%	Dizayn Karışım % Geçen	Tolerans Sınırları				KTŞ Kisim-408		
mm	inch	19-12,5	12,5-9,5	5-9,5	0-5	Filler		ALT		ÜST	TMA Tip-1-A			
37.5	1" 1/2"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	±	100.0	-	100.0	100	-	100
25.4	1"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	±	100.0	-	100.0	100	-	100
19.1	3/4"	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	±	100.0	-	100.0	100	-	100
12.5	1/2"	40.3	100.0	100.0	100.0	100.0	95.2	±4	91.2	-	99.2	90	-	100
9.5	3/8"	1.0	49.7	100.0	100.0	100.0	65.4	±4	61.4	-	69.4	50	-	75
4.75	No.4	0.5	1.0	52.9	100.0	100.0	35.8	±3	32.8	-	38.8	25	-	40
2.00	No.10	0.0	0.6	11.2	71.8	100.0	26.0	±3	23.0	-	29.0	20	-	30
0.425	No.40	0.0	0.0	3.1	30.7	100.0	16.0	±3	13.0	-	19.0	12	-	22
0.180	No.80	0.0	0.0	2.3	20.8	96.4	13.4	±3	10.4	-	16.4	9	-	17
0.075	No.200	0.0	0.0	1.4	12.1	80.7	10.0	±2	8.0	-	12.0	8	-	12

#### 3.2. Agrega ve Bitüm Deney Sonuçları

Dizayn gradasyonuna uygun olarak hazırlanan agregalara yapılan deneyler ile bitüme ait deneylerin sonuçları aşağıda verilmektedir.

Tablo 8. Agrega ve Bitüm Deney Sonuçları

Ocak Adı			İkisu - Şiran Taşocağı		
Kayanın Cinsi			Bazalt		
		Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlığı		2.580	2.580		TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlığı		2.645	2.670	2.720	
Absorpsiyonu %		1.41	2.03		
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (deneyle)				2.627	ASTM D-2041
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (hesapla)				2.626	
Cilalanma Değeri				61.7	
Mg2SO4 Donma Kaybı, %				1.3	ASTM C-88
Los Angeles Aşınma Kaybı, %				13.06	AASHTO T-96
Yassılık İndeksi, %				16.3	BS 812
Soyulma Mukavemeti, %				(80-85)*	KTŞ Kısım 403 Ek-A
Metilen Mavisi %				1.2	TS EN 933-9
Bitüm Özgül Ağırlığı				1.038	TS1087
Bitüm Penetrasyonu, dmm				59	TS EN 1426
Yumuşama Noktası, oC				50	TS EN 1427
İmalatta Kullanılacak Bitümlü Bağlayıcı				Rafinerisi	Tüpraş
				Tipi	Bitüm
				Sınıfı	B 50/70

### 3.3. Karışıma Ait Deney Sonuçları

Marshall Metoduna göre 2x50 darbeyle yapılan dizayn sonucunda, Optimum Bitüm kuru agregaya göre ağırlıkça %6,80 (100g. Kuru agregaya + 6,80 g uygun özellikteki bitüm) olarak bulunmuştur. Optimum bitümdeki diğer sonuçlar aşağıda verilmektedir.

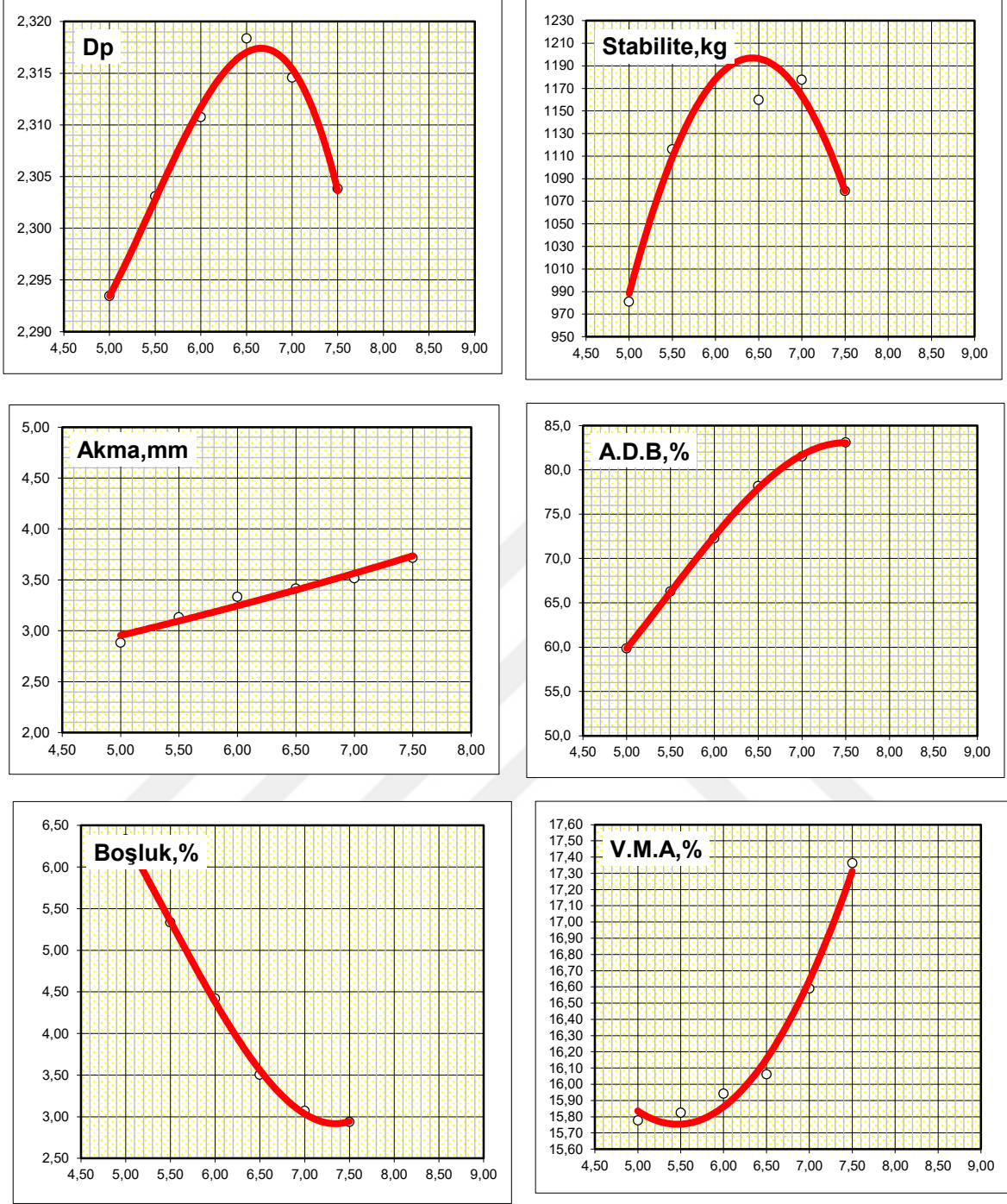
Tablo 9. TMA karışımı dizayn sonuçları

	Dizayn	Şartname
Optimum Bitüm ( Ağırlıkça, 100'e)	6,80	
Pratik Özgül Ağırlık	2.316	
Stabilite, kg	1180	
Boşluk, %	3,2	2 ~ 4
Asfaltla Dolu Boşluk (VFA), %	81	
Agregalar Arası Boşluk (VMA), %	16,5	Min. 16
Akma, mm	3,5	2 ~ 4
Elyaf Miktarı,%	0,30	0,3 ~ 1,5
Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi, (%) maks,	3,5	0,3

Tablo 10. TMA Marshall deneyi sonuçları

<b>TMA TABAKASI MARSHALL DENENEYİ SONUÇLARI</b>																				
No	BİTÜM		Sıcaklık °C	YÜKSEKLİKLER,mm			Havadaki Sudaki			Hacim Özg.Ağırlığı	Hacim Özg.Ağırlığı	Maks. Teo. Özgül Ağ.	% Boşluk	V.M.A	Düzeltilen Faktörü	Düzeltilen Stabilite	kg			
	Wt.%	g		1	2	3	ortm	A	B									C	Doy.Yüz. Ağırlık.g	Doy.Yüz. Ağırlık.g
1	5,00	55,0	143	65,2	65,9	65,8	65,6	1194,8	681,2	1202,6	521,4	2,292					2,90	1045	0,951	994
2	5,00	57,5	145	65,5	65,5	65,5	65,5	1199,7	677,8	1201,9	524,1	2,289					2,90	1018	0,954	971
3	5,00	57,5	142	64,3	63,9	63,9	64,0	1198,6	681,0	1202,2	521,2	2,300					2,85	992	0,986	978
4	5,50	63,3	145	65,5	65,6	65,5	65,5	1205,0	683,6	1208,5	524,9	2,296					3,10	1132	0,953	1079
5	5,50	63,3	144	64,2	64,3	64,5	64,3	1199,6	682,0	1202,0	520,0	2,307					3,20	1180	0,979	1155
6	5,50	63,3	145	64,4	64,8	65,2	64,8	1202,9	684,6	1206,1	521,5	2,307					3,10	1150	0,969	1114
7	6,00	69,0	145	63,6	63,7	63,5	63,6	1206,5	685,8	1208,6	522,8	2,308					3,40	1225	0,997	1221
8	6,00	69,0	145	64,1	64,7	64,7	64,5	1205,0	686,3	1207,6	521,3	2,312					3,30	1196	0,975	1167
9	6,00	69,0	145	64,7	64,7	64,7	64,7	1193,0	679,4	1195,2	515,8	2,313					3,30	1250	0,971	1214
10	6,50	74,8	145	64,6	64,1	61,5	63,4	1203,6	687,9	1207,4	519,5	2,317					3,40	1190	1,002	1166
11	6,50	74,8	144	64,3	64,1	64,1	64,2	1195,5	683,0	1197,8	514,8	2,322					3,40	1180	0,983	1160
12	6,50	74,8	145	65,3	65,1	65,0	65,1	1202,9	685,9	1205,3	519,4	2,316					3,45	1200	0,962	1154
13	7,00	80,5	144	62,2	62,3	62,3	62,3	1211,6	690,1	1212,9	522,8	2,318					3,50	1208	1,031	1246
14	7,00	80,5	143	63,8	64,3	64,2	64,1	1220,2	693,2	1221,0	527,8	2,312					3,45	1200	0,985	1182
15	7,00	80,5	142	65,1	65,6	65,3	65,3	1202,3	685,2	1204,7	519,5	2,314					3,60	1155	0,957	1106
16	7,50	86,3	142	63,7	63,8	63,8	63,8	1212,2	687,2	1213,3	526,1	2,304					3,80	1098	0,993	1090
17	7,50	86,3	141	64,2	64,3	64,5	64,3	1196,6	679,3	1198,9	519,6	2,303					3,70	1098	0,979	1075
18	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,65	1100	0,975	1072
19	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
20	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
21	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
22	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
23	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
24	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
25	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
26	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
27	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
28	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
29	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
30	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
31	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
32	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
33	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
34	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
35	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
36	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
37	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
38	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
39	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
40	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
41	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
42	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
43	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
44	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
45	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
46	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
47	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
48	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
49	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
50	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
51	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
52	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
53	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
54	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
55	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
56	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
57	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
58	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304					3,72	1100	0,975	1072
59	7,50	86,3	140	64,6	64,5	64,5	64,5	1199,7	685,3	1205,9	520,6	2,304								





Şekil 51. TMA Marshall deney sonuçları

### 3.4. Üleksit Mineralinin Karışım Filleri Olarak Uygulanması ve Deney Planı

Karışım dizaynı yapıldıktan sonra üleksit minerali Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat mühendisliği Ulaştırma laboratuvarında halkalı öğütücü makinesi ile filler boyutunda

öğütüldü. Bu malzeme 200 numaralı (0,76 mm) elekten elendikten sonra tamamen filler boyutunda hazırlandı.

Karışım dizaynına göre ağırlıkça %10 bulunan filler oranı, toplam oran sabit kalmak şartıyla, filler boyutuna getirilmiş üleksit tozu ile lineer bir değişim olarak farklı oranlarda uygulanmıştır. Buna göre üleksit tozunun karışımda ki performans etkilerini görebilmek için filler oranları %10 taş tozu - %0 üleksit tozu, %7 taş tozu - %3 üleksit tozu, %4 taş tozu - %6 üleksit tozu ve %0 taş tozu - %10 üleksit tozu olarak belirlenmiştir. Her filler oranı için 6 briket olacak şekilde 24 briket numunesi hazırlanmıştır. Üleksit tozunun karışıma filler olarak karıştırılması sonucunda performanslardaki değişimi görmek amacıyla; üretilen briket numuneleri üzerinde stabilite, akma ve dolaylı çekme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 52. Karışım numunelerinin hazırlanması Şekil 53. Karışımların etüve konulması

### 3.5. Marshall Stabilite ve Akma Deneyi Sonuçları

Briketler 60°C sıcaklıkta su banyosunda 1 saat tutulduktan sonra marshall stabilite aletine yerleştirildi. Her numunenin kırılmaya başladığı andaki yük ve deformasyon değerleri tespit edildi. Değerler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.



Şekil 54. Su banyosu



Şekil 56. Su banyosuna bırakılan numuneler



Şekil 56. Su banyosuna bırakılan numuneler



Şekil 57. Marshall stabilite ve akma cihazı

Tablo 11. Stabilite ve akma değerleri

Briket No	Filler Oranı (%)	Yükseklikler,mm				Akma mm	Stabilite kg	Marshall Oranı Stabilite / Akma
		1	2	3	ortlm			
1	%0 Üleksit %10 bazalt	64,3	64,2	64,8	64,4	3,52	1184	336
2		65,2	64,8	64,7	64,9	3,48	1174	337
3		65,2	64,2	64,3	64,6	3,54	1186	335
Ortalama						3,51	1182	336
4	%3 Üleksit %7 bazalt	64,5	65,0	65,2	64,9	3,61	1218	337
5		64,8	65,3	65,3	65,1	3,57	1216	341
6		65,0	64,9	64,8	64,9	3,58	1226	342
Ortalama						3,59	1220	340
7	%6 Üleksit %4 bazalt	65,1	65,4	65,3	65,3	3,75	1267	338
8		65,3	65,3	65,0	65,2	3,74	1272	340
9		65,8	64,3	64,3	64,8	3,76	1285	342
Ortalama						3,75	1275	340
10	%10 Üleksit %0 bazalt	65,4	65,4	65,7	65,5	3,65	1251	343
11		65,5	65,1	65,1	65,2	3,66	1264	345
12		65,0	64,9	65,3	65,1	3,64	1266	348
Ortalama						3,65	1261	345

### 3.6. Dolaylı Çekme-Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi Sonuçları

Bu deney K.T.Ü İnşaat Mühendisliği Ulaştırma laboratuvarlarında yapılmıştır. Karışım numuneleri üzerinde yapılan tüm deneyler farklı yükleme periyotları (1000 ms, 2000 ms, 3000 ms) için farklı yükleme hızı (40 ms ,60 ms, 80 ms) ile yapılmıştır Poisson oranı 0.35 olarak kabul edilmiştir. Deneyler %0, %3, %6, %10 filler oranlarını temsil eden numuneler (her oran için 3 adet) üzerinde yapılmıştır. Deney sıcaklığı 25°C olarak belirlenmiştir.

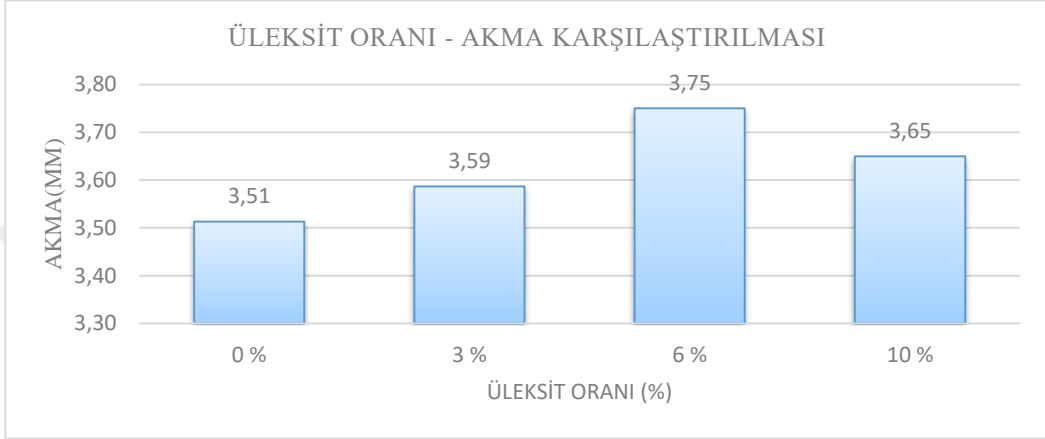
Tablo 12. Esnek Modülü Değerleri

Briket No	Filler Oranı (%)	Briket Yüksekliği	Deney Sıcaklığı	Yükleme periyodu	Yükleme Hızı	Esneklik Modülü (0°)	Esneklik Modülü (90°)	Esneklik Modülü
		(mm)	°C	ms	ms	Mpa	Mpa	Mpa
1	%0 Üleksit %10 bazalt	65,3	25	3000	40	1565	1612	1589
				3000	60	1120	1206	1163
				3000	80	867	1023	945
2	%0 Üleksit %10 bazalt	64,9	25	2000	40	1616	1512	1564
				2000	60	1128	1105	1117
				2000	80	935	937	936
3	%0 Üleksit %10 bazalt	65,2	25	1000	40	1515	1403	1459
				1000	60	1414	1312	1363
				1000	80	1191	1056	1124
4	%3 Üleksit %7 bazalt	65,3	25	3000	40	2238	2305	2272
				3000	60	2959	2856	2908
				3000	80	2629	2602	2616
5	%3 Üleksit %7 bazalt	66,2	25	2000	40	2156	2213	2185
				2000	60	2302	2246	2274
				2000	80	2446	2203	2325
6	%3 Üleksit %7 bazalt	65,6	25	1000	40	1902	1962	1932
				1000	60	1846	1952	1899
				1000	80	1856	1732	1794
7	%6 Üleksit %4 bazalt	64,7	25	3000	40	2971	2047	2509
				3000	60	2074	1470	1772
				3000	80	1680	1232	1456
8	%6 Üleksit %4 bazalt	64,9	25	2000	40	2833	2212	2523
				2000	60	1975	1369	1672
				2000	80	1655	1186	1421
9	%6 Üleksit %4 bazalt	65,0	25	1000	40	2392	1750	2071
				1000	60	1792	1417	1605
				1000	80	1711	1388	1550
10	%10 Üleksit %0 bazalt	65,2	25	3000	40	2029	2220	2125
				3000	60	1330	1652	1491
				3000	80	1148	1352	1250
11	%10 Üleksit %0 bazalt	65,4	25	2000	40	1544	2169	1857
				2000	60	1129	1576	1353
				2000	80	1025	1456	1241
12	%10 Üleksit %0 bazalt	65,0	25	1000	40	1624	1930	1777
				1000	60	1540	1577	1559
				1000	80	1354	1511	1433

### 3.7. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

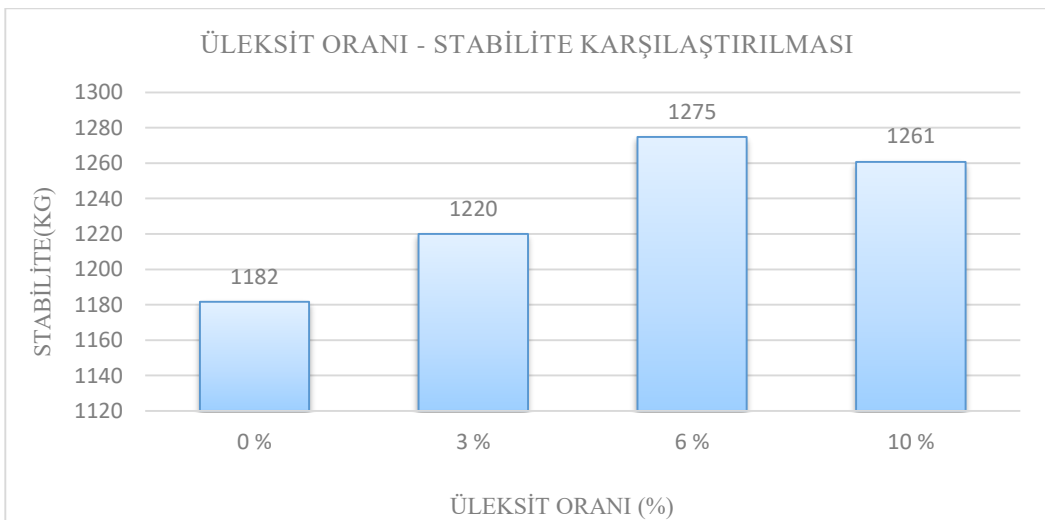
#### 3.7.1. Stabilite ve Akma Değerlerinin karşılaştırılması

Aşağıdaki grafikler Tablo 20’de verilen değerlere göre çizilmiştir.



Şekil 58. Üleksit oranı (%) – Akma (mm) grafiği

Üleksit miktarları %0, %3, %6 ve %9 oranlarında artırılmıştır. Her oran için 3’ er numune hazırlanmıştır. Bu numunelerin ortalama değerleri alınarak Şekil 58’ de grafik oluşturulmuştur. Karışımların akma değerleri Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen TMA akma sınır değerleri arasında kalmıştır.



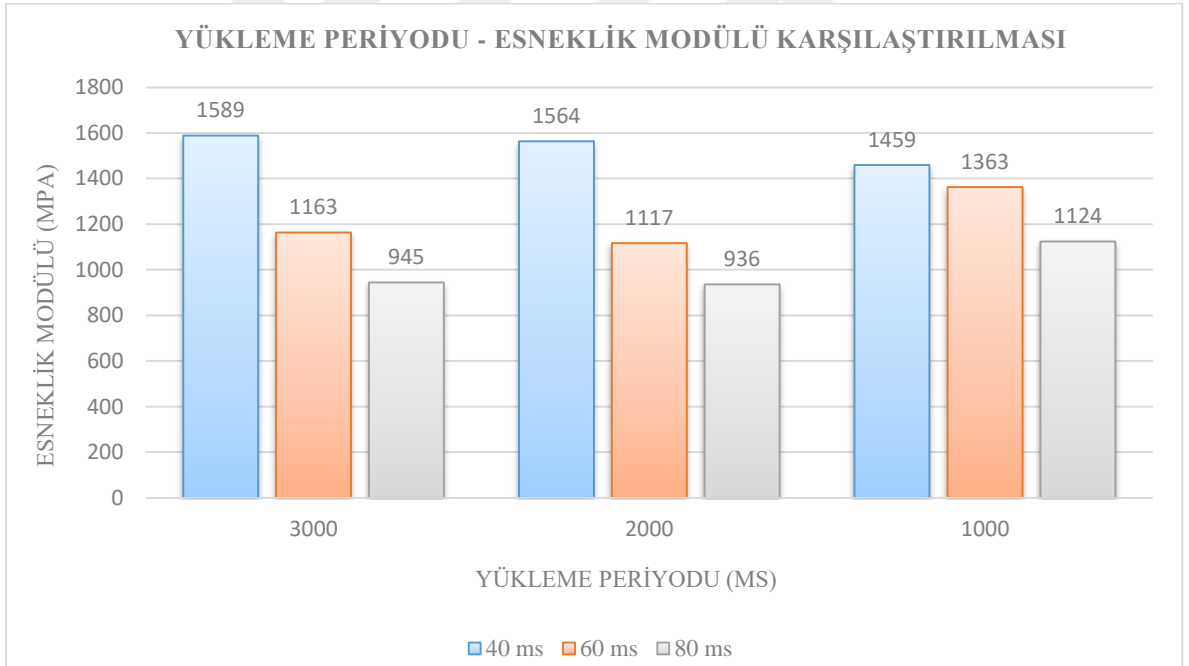
Şekil 59. Üleksit oranı (%) – Stabilite (kg) grafiği

Şekil 59’da gösterildiği gibi en düşük stabilite değeri %0 oranında, en yüksek stabilite değeri ise %6 oranında elde edilmiştir.

### 3.7.2. Dolaylı Çekme-Rijitlik Modülü (ITSM) Deneyi Sonuçlar

Tablo 21’ de bulunan değerlere göre deney sonuçlarını daha net bir şekilde değerlendirebilmek için aşağıda gösterilen grafikler çizilmiştir. Deneyi daha geniş yorumlamak adına tüm üleksit oranları için 3 farklı yükleme periyodunda bulunan değerlerin grafikleri oluşturulmuştur.

Bu şekilde farklı yükleme periyotlarında farklı yükleme hızları için deneyler yapılmasının amacı, farklı trafik yoğunluklarında ve farklı trafik hızlarında taş mastik asfalt dizaynımızın esneklik modülü performansını görebilmek içindir.



Şekil 60. %0 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği

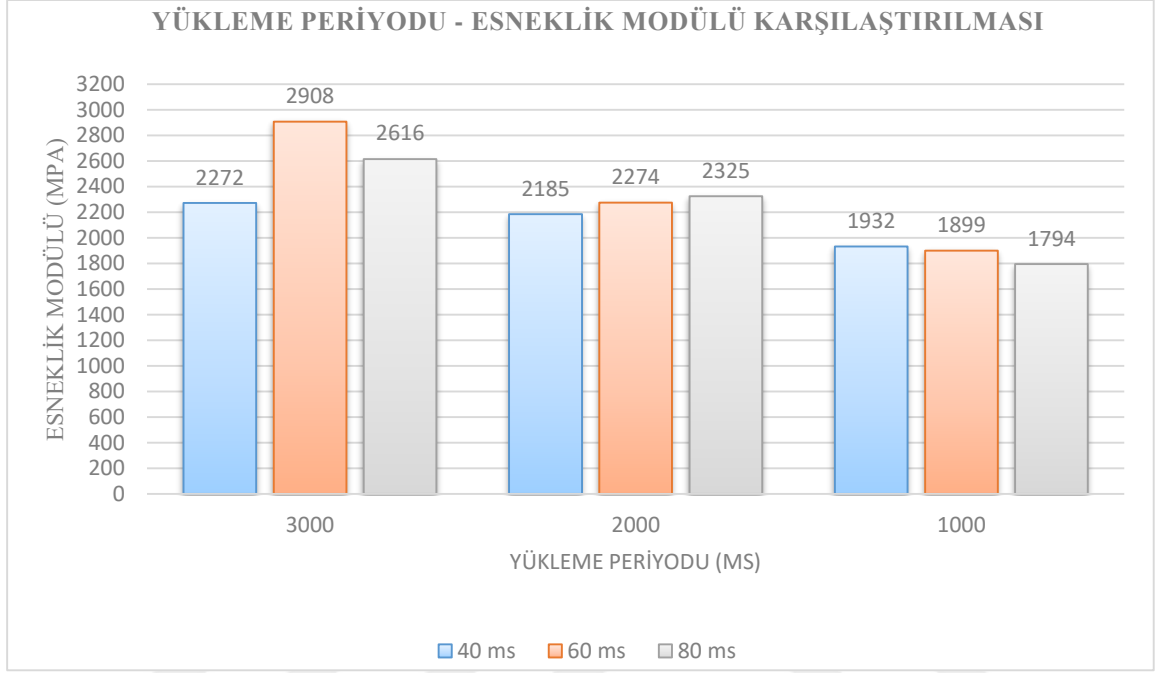
Grafikte ‘de belirtildiği üzere mavi sütunlar 40 ms yükleme hızını, turuncu sütunlar 60 ms yükleme hızını ve gri sütunlar ise 80 ms yükleme hızını göstermektedir.

Filler oranı %0 üleksit olan numunelerimiz üzerinde uygulanan sonuçlara göre farklı yoğunluklu trafik durumlarında taşmastik asfalt malzemesi çok farklı davranış göstermemiştir.

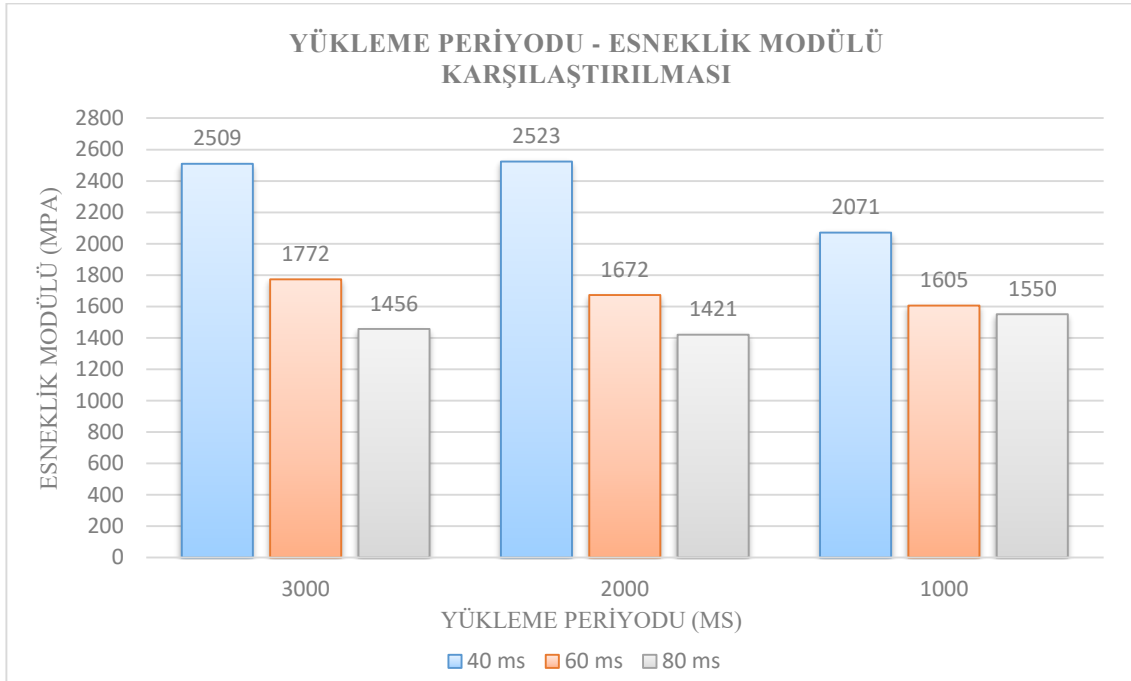


Fakat trafik hızı yüksek bir yol için asfalt malzemesi rijit bir davranış göstermiştir. Trafik hızı azaldıkça ise daha esnek bir davranış gözlemlenmeye başlanmıştır.

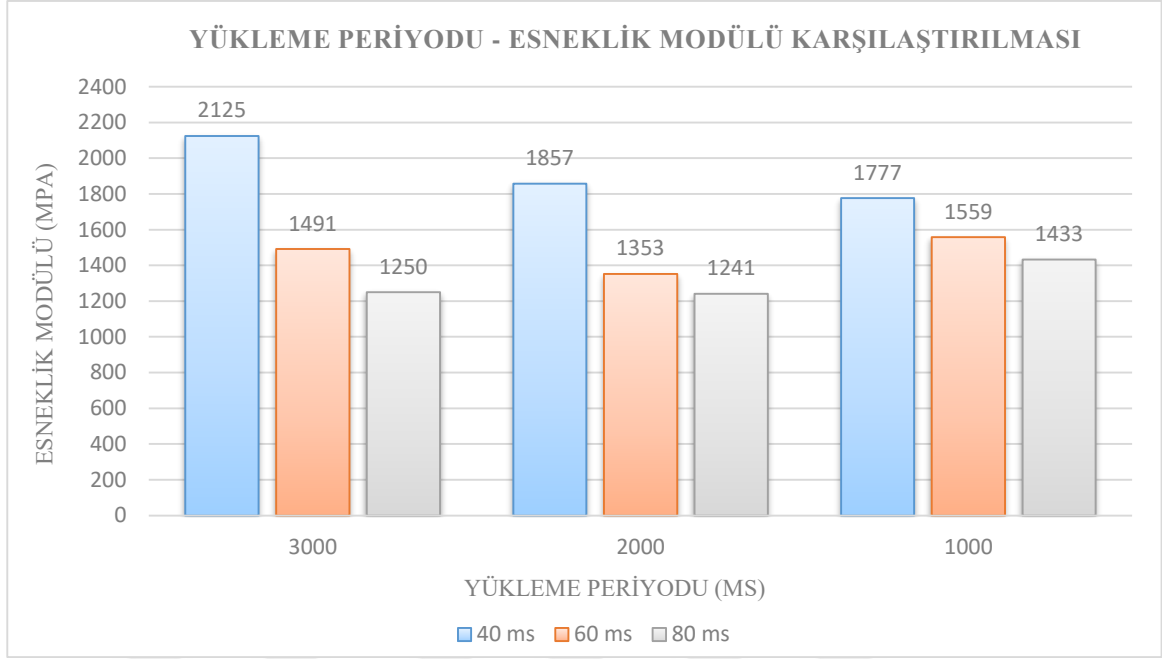
Aşağıda farklı filler üleksit oranları için grafikler verilmiştir.



Şekil 61. %3 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği

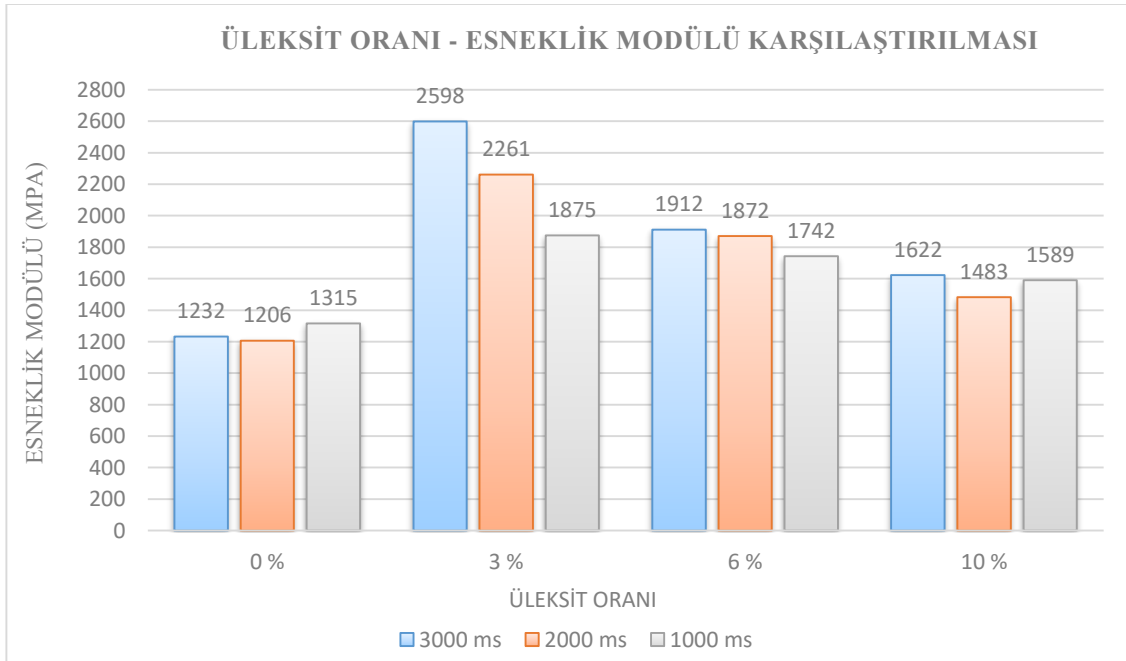


Şekil 62. %6 üleksit oranı için yükleme periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği



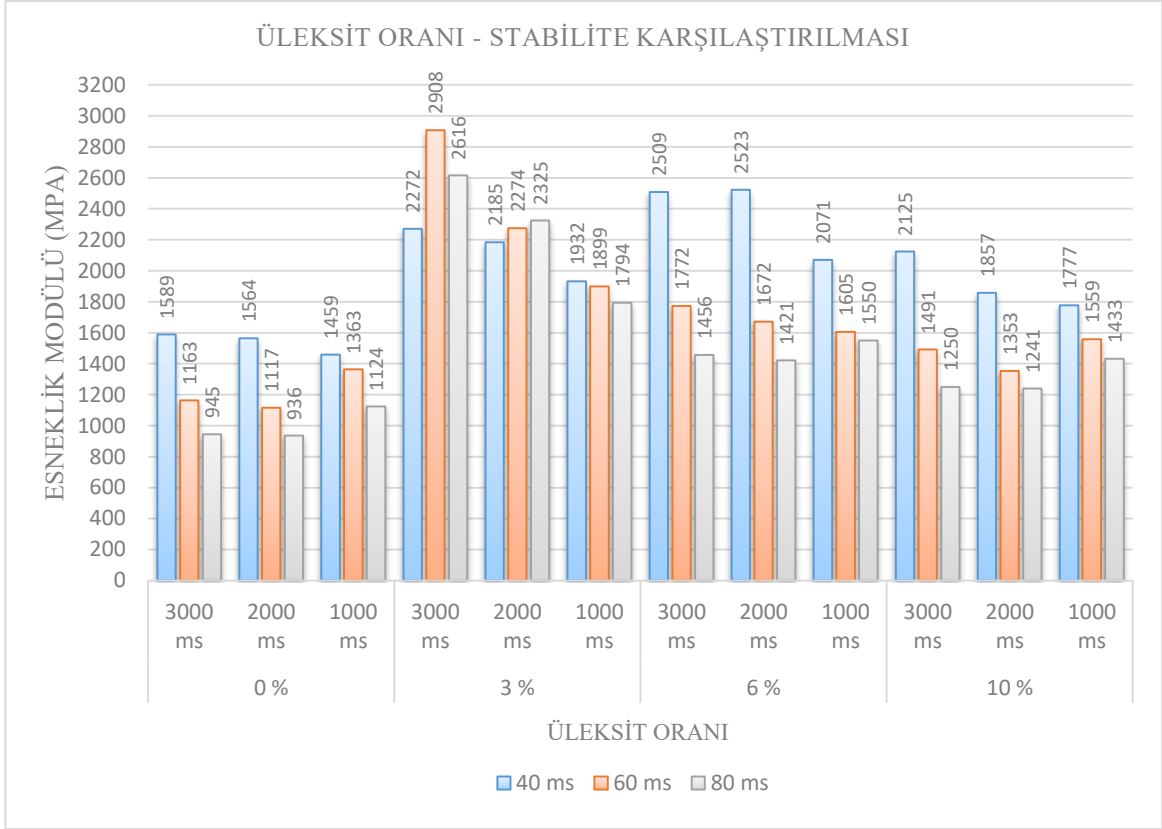
Şekil 63. %10 üleksit oranı için yüklem periyodu (ms) - Esneklik modülü (Mpa) grafiği

Genel olarak bir değerlendirme yapılırsa trafik yoğunluğu arttıkça taş mastik asfalt az da olsa esnek bir davranış göstermiştir. Trafik hızı arttığında ise belirgin bir şekilde esnek davranış göstermiştir.



Şekil 64. Farklı yüklem periyotları için Üleksit oranı - Esneklik modülü (Mpa) grafiği





Şekil 65. Farklı yükleme periyotları ve farklı yükleme hızları için Üleksit oranı - Esneklik modülü (Mpa) grafiği

Esneklik modülü ve filler üleksit karışım oranı arasında bir değerlendirme yapacak olursak; Grafiklerden de görüldüğü üzere %3 üleksit oranına kadar esneklik modülünde artış %3 sonra %6 ve %10 üleksit oranlarında ise azalma gözlemlenmiştir.

Bilindiği üzere esneklik modülünün üstyapıya etki eden çekme gerilmeleri ve basınç gerilmeleriyle bir ilişkisi vardır. Esnek üstyapı yaz aylarında ısıyı absorbe ederek daha esnek bir hal alır. Bunun sonucunda rijitliğin azalmasıyla yoğun trafik yüklerine karşı direnci azalır. Direncin azalmasıyla üstyapıda çatlaklar meydana gelebilir.

Üleksit mineralinin taşmastik asfalt malzemesinde bazalt filleri yerine %3 oranında kullanılmasıyla daha rijit bir üstyapı elde edileceği ve bunun sonucunda çatlak oluşumlarına ve yoğun trafik yüklerine daha direçli bir üstyapı malzemesi ortaya çıkacağı sonucuna varılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, bor minerali olan üleksitin, TMA karışımlarda filler yerine kullanılabilirliğini görmek amacıyla yapılmıştır. Optimum bitüm oranı ve diğer karışım bileşenleri sabit kalacak şekilde bazalt fillerini yerine değişen oranlarda (%0 üleksit - %10 bazalt, %3 üleksit - %7 bazalt, %6 üleksit - %4 bazalt, %10 üleksit - %0 bazalt) Üleksit katılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan Marshall ve dolaylı çekme deneyi verilerine göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

- Üleksit mineralinin karşısında belli oranda filler olarak kullanılması, stabilite değerinin artmasını sağlamıştır. Karışımda bulunan malzemenin ağırlıkça %10'u bazalt filleridir. Bazalt fillerini yerine tamamen üleksit fillerini kullanılması durumunda, %6 üleksit - %4 bazalt fillerini oranlarından sonra stabilite değerinde bir azalma meydana gelmiştir. Marshall deneyi sonuçlarına göre en yüksek Stabilite değeri %6 üleksit - %4 bazalt oranında elde edilmiştir. Marshall Deneyi sonuçlarından, %6 oranına kadar Üleksitin filler olarak kullanılmasının TMA karışım stabilitesinde artırıcı bir etki sağladığı tespit edilmiştir.
- Esnek yol kaplamaları performans ölçümleri için önemli kriterlerden olan Marshall oranı değerlerinde (Stabilite/Akma) (Tablo 11) üleksit oranı arttıkça bir iyileşme olduğu görülmüştür.
- Esneklik modülü deneyleri, farklı yoğunlukta ve hızda olan trafik durumları için yapılmıştır. Deneylerde, farklı parametlerdeki esneklik modülü değerlerinin bulunmasının amacı, farklı trafik durumlarında Taş Mastik Asfalt malzemesinin davranışını görebilmektir. Filler oranı %0 üleksit - %10 bazalt olan numuneler için 3000 ms 2000 ms 1000 ms yükleme periyotlarında deneyler yapıldığında, her yükleme periyodu için yükleme hızı arttıkça (40 ms, 60 ms, 80 ms) esneklik modülü değerinde bir azalma meydana gelmiştir.

- %3 üleksit - %7 bazalt filleri oranı için yükleme periyodu süresi kısaldıkça esneklik modülü değerlerinde bir azalma meydana gelmiştir. Fakat her periyot için farklı yükleme hızında yapılan deney sonuçları için belirgin bir sonuca gidilememiştir.
- %6 üleksit - %4 bazalt filleri ve %10 üleksit - %0 bazalt filleri için yükleme periyot süreleri kısaldıkça esneklik modülü değerinde azalma meydana gelmiştir. Aynı şekilde her periyot süresi için, yükleme hızı arttıkça esneklik modülü değerinde azalma meydana gelmiştir.
- Genel olarak esneklik modülü değerlerinde, filler oranlarındaki ortalama değerleri göz önüne alınırsa; %3 üleksit - %7 bazalt filleri oranına kadar artış meydana gelmiştir. Bu orandan sonra üleksit oranı arttıkça esneklik modülü değerinde bir azalma meydana gelmiştir.

Marshall stabilite ve akma deneylerinin sonuçlarına göre; ağır trafik yüklerine maruz kalan TMA karışımında maksimum stabilite değerini sağlamak için, filler malzemesi olarak tamamen bazalt kullanmak yerine, optimum üleksit – bazalt oranı kullanılmaktadır. Akma değerlerinin artmasından dolayı ne gibi olumsuz sonuçlar olabileceği konusunda bu amaca uygun performans deneyleri yapılarak, elde edilecek sonuçlara göre optimum üleksit miktarının tespiti yapılabilir.

En yüksek Esneklik Modülü değeri %3 Üleksit oranında elde edilmiştir, başka bir deyişle TMA karışım rijitliği %3 Üleksit oranında en yüksek rijitlik değerine ulaşılmıştır. Yaz aylarında ısıyı absorbe eden asfalt karışımların rijitliğinde bir miktar azalma meydana gelecektir.

Esneklik Modülüne göre %3 Üleksit minerali filler olarak kullanıldığında, Taş Mastik Asfalt karışımın rijitliğinin arttığı, dolayısıyla karışımın sıcak havalardaki davranışının daha iyi olacağı, asfaltın kuması ve tekerlek izine karşı daha dirençli olacağı sonucuna ulaşılabilir. Farklı yükleme periyotlarında farklı yükleme hızları için bulunan esneklik modülü değerlerinin, üleksit – bazalt filleri oranıyla net bir ilişkisi olduğu belirlenmemiştir.

Genel olarak bir değerlendirilme yapılırsa bu çalışma Üleksit mineralinin Taş Mastik Asfalt karışımında filler olarak kullanılmasının performansa etkilerini belli bir hassasiyette göstermektedir. Üleksit mineralinin filler olarak kullanılması, Marshall Stabilite ve Dolaylı Çekme deneylerinden elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, stabilite ve esneklik modülü değerlerinde olumlu sonuçlar vermiştir. Optimum üleksit–bazalt filleri karışım oranının ne olduğu/olacağı konusunda ileri düzey performans deneyleri ile birlikte yeni çalışmalar yapılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Eren, Ü., Asfaltitin Asfalt Betonunda Mineral Filler Olarak Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
2. Gençtürk, G., Sönmüş Kireç ile Çimento ve Pr Plast Kullanımının Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.
3. Selman, G.Ş., Bor Atıklarının Asfalt Kaplamalarda Mineral Filler Olarak Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2015.
4. Yılmaz, M., Asfaltitin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
5. Öksüz, B., Asfalt Betonu Kaplamalarda Volkanik Cüruf ve Cam Atıklarının Filler Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2011.
6. Elmacı, A., Asfalt Betonunda Granit Arıtma Çamurunun Filler Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2011.
7. Terzi, S., Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanılmasının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2000.
8. Büyükdoğaç, E.M., Zeolit ve Pomzanın Asfalt Betonunda Filler ve Agrega Malzemesi Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2014.
9. Savaş, M., Etibank Emet Kolemanit İşletmesi Gölet Artıklarının Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, O.G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 1994.
10. Elçiçek, H., Sulu Ortamda Karbondioksit Basıncı Altında Üleksit Cevherinin Çözünme Kinetiği ve Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, A.Ü., Erzurum, 2012.
11. Şahan, H., Üleksit'in Öğütülebilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, O.G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2010.
12. Buluttekin, M.B., Bor Madeni Ekonomisi: Türkiye'nin Dünya Bor Piyasasındaki Yer, 2. Ulusal İktisat Kongresi, İzmir, 2008.

13. Sarı, M., Değişik Minerallerin Borik Asit Çözeltilerinde Çözünme Kinetiği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2008.
14. Bulut, A.D., vd., Madencilik Sektöründeki Sorunların Araştırılarak Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi, Ankara, 2010.
15. Poslü, K., Çebi, H., Özel Bor kimyasalları ve bor dünyasındaki gelişmeler, Madencilik Bülteni, pp.25-26, 2001.
16. <http://www.kgm.gov.tr/sayfalar/kgm/sitetr/kurumsal/yolagi.aspx> 15 Mart 2019
17. Orhan, F., Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 2006.
18. EAPA, "Heavy Duty Surfaces"; Çevirmen: Temren, Z., "Ağır Yüklere Maruz Üstyapılar/Taş Mastik Asfalt-SMA", ASMÜD Yayınları, Ankara, 1998.
19. Önal, A. M., Kahramangil, M., "Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı" T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 1993.
20. Karaşahin, M. ve Açar, E., Sathi Kaplamalar Üzerine Bir Değerlendirme, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 2004.
21. Kuloğlu, N., Kök, B. V. ve Öndağ, M., Sathi Kaplamalarda Kusma Olayına Etki Eden Faktörler, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 2004.
22. Karayolları Teknik şartnamesi., 2013.
23. The Asphalt Institute, A Basic Asphalt Emulsion Manual No:19, Lexington, Kentucky, 1999.
24. State of California Department of Transportation. Technical Advisory Guide For Microsurfacing Pilot Projects, Office of Pavement Preservation Division of Maintenance, Sacramento, 2003.
25. Caltrans Division of Maintenance, Maintenance Technical Advisory Guidelines. State of California Department, California, 2003.
26. Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Asfalt ve Uygulamaları, Seçil Ofset, İstanbul, 2001.
27. Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN 978-9944-77-216-7, Ankara, 2007.
28. Uluçaylı, M., ve Yavuz, A., Asfalt El Kitabı, Sistem Ofset, İstanbul, 2002.
29. Temren, Z., Ilık Karışım Asfalt Uygulamaları ve Performansı, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 50-60, 2009.

30. Kök, B.V., Bitümlü sıcak karışımların üretiminde yeni bir karıştırma yönteminin araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.
31. Grer, C., Atık Mermer Parçalarının Yol Kaplamasında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2005.
32. Orhan, F., "Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı alışmaları" T.C. Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı, Karayolları Genel Mdrlğ Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı styapı Şubesi Mdrlğ, Ankara, 2012.
33. NAPA, Designing and Constructing SMA Mixtures- State-of-the-Practice; Quality Improvement Series:122, Maryland, 1999.
34. Harris, B. M., Stuart, K. D., "Analysis of Mineral Fillers and Mastics Used in Stone Matrix Asphalt", Association of Asphalt Paving Technologists, 64,1 (1995) 44-46.
35. Scherocman, J. A., "Mix Design, Production and Placement and Compaction of Stone Mastic Asphalt Pavements", Annual Meeting of the American Association, USA, 1-16 1993.
36. Tayfur S., "Taş Mastik Asfalt (SMA) Kaplamalar İçin Uygun Karışımın Araştırılması ve Bir Hizmet mr Modeli Geliştirilmesi", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15,107, 2001.
37. Tunç, A., Esnek Kaplama Malzemeleri Elkitabı, Birinci Baskı, Asil Yayın, Ankara, 2004.
38. Blazejowski, K., Stone Matrix Asphalt "Theory and Practice", Second Edition, Taylor and Francis Group, Newyork, 2011.
39. Brown, E. R. and Bassett, C. E., Effects of Maximum Aggregate Size on Rutting Potential and Other Properties of Asphalt–Aggregate Mixtures Transportation Research Record, 1259, 107-119, 1990.
40. Scherocman, J.A. Construction of Stone Mastic Asphalt Test Sections in the U.S.A, 1992.
41. Scherocman, J.A. Mix Design, Production, and Placement and Compaction of Stone Mastic Asphalt Pavements, 1993.
42. FHWA, Guidelines for Materials, Production, and Placement of Stone Matrix Asphalt, 1993.
43. Temren, Z., Taş Mastik Asfalt Dizaynı, retimi ve Uygulamaları", ASMD Yayınları, Ankara, 2009.
44. Campbell, C., The Use of Stone Mastic Asphalt on Aircraft Pavements, Research/Professional Practice Projects, School of Engineering and Technology, Final Report, Melbourne, 1999.

45. Svechinsky, G., Ishai, I. and Sousa, J.B., Developing Warm Sma Paving Mixes Using Activated Mineral Stabilizers and Bitumen Flow Modifiers, 2nd International Conference on Warm Mix Asphalt, October 2011, St. Louis Missouri.
46. Umar, F. ve Açar, E., Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 5-98 ,1985.
47. Dündar, G., Esnek Üstyapı Tasarım Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 61-94, 1998.
48. Uluçaylı, M., Türkiye’de Asfalt Beton Kaplamalar ve Alternatifleri, Karayolları Teknik Bülteni, 1976.
49. Karaşahin, M., Ağırını dingil Yüklemesinin Karayollarına Verdiği Zararlar, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, 2007.
50. Anonim İnşaat Mühendisliği Laboratuvar-1 Deney Föyü. Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, 2009-2010.
51. Yıldız, K., Marshall Dizayn Metodu ile Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 4,8,11,13,14,44,46 ,2003.
52. TS 3720., Bitümlü Kaplama Karışımlarının Hesap Esasları Marshall ve Hubbart Field Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1983.
53. Karayolları Teknik Şartnamesi, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Yayın No: 267, Ankara, 456-478, 531-536 ,2006.
54. www.boren.gov.tr 20 Şubat 2019
55. Oruç, Ş., Totul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonu İçersindeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
56. www.mta.gov.tr 20 Şubat 2019
57. Yardım, M.S. ve Arslan, F., Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım 2013, Ankara, Bildiriler Kitabı : Sayfa 10.
58. Majidzadeh, K., Herin, M., Modes of Failure and Strength of Asphalt Films Subjected to Tensile Stresses, Highway Research Record, 67 (1965) 98.
59. Kulash, D.J., Toward Performance – Based Specifications for Bitumen and Asphalt Mixtures, Proceedings of Institution of Civil Engineering Transport, 105 (1994) 187-194.

60. Tian, P., Zaman, M.M., Joakim, G., Laguros, G., Variation of Resilient Modulus of Aggregate Base and Its Influence on Pavement Performance, Journal of Testing and Evaluation, JTEVA, 26, 4 (1998) 329-335.





## ÖZGEÇMİŞ

Ersoy KABADAYI, 1992 yılında Giresun'da doğdu. 2006 yılında Çatak İlköğretim Okulu'ndan ve 2010 yılında Tirebolu Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2010 yılında girdiği üniversite sınavında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2012 yılında Harita Mühendisliği Bölümü'nde Çift Anadal Programına başladı. 2014 yılında İnşaat Mühendisliği (Bölüm 1.si) ve Harita Mühendisliği Bölümleri'nden mezun oldu. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2015-2018 yılları arası Gümüşhane Çevre Yolu Projesi kapsamında Saha imalat şefi ve Teknik ofis mühendisi, 2018-2019 yılları arası Ankara'da özel bir inşaat şirketinin genel merkezinde karayolu projeleri teknik ofis ve kesin hesap şefi olarak görev yapmıştır.

Ersoy KABADAYI, yabancı dil olarak İngilizce bilmekte ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi uhdesinde devam eden Ataköy – İkitelli metro projesinde, Proje tasarım ve kontrol şefi olarak çalışmaktadır.