İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMERİK KATKILARIN (FRP, Viatop Premium ve SBS) TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

DOKTORA TEZİ

İnş. Yük. Müh. Sepehr SAEDİ

EYLÜL 2019
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

POLİMERİk KATKILARIN (FRP, Viatop Premium ve SBS) TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İnş. Yük. Müh. Sepehr SAEDİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
DOKTOR (İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 12.07.2019

Tezin Savunma Tarihi : 30.09.2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Şeref ORUÇ

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Sepehr SAEDİ Tarafından Hazırlanan

POLİMERİk KATKILARIN (FRP, Viatop Premium ve SBS) TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 30/09/2019 gün ve 1812 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

DOKTORA TEZİ

Olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan:		Prof. Dr. Fazıl ÇELİK	.....
Üye	:	Prof. Dr. Şeref ORUÇ	.....
Üye	:	Prof. Dr. Kemal SANCAK	.....
Üye	:	Prof. Dr. Salim Serkan NAS	.....
Üye	:	Doç. Dr. Erol İSKENDER	.....

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu doktora tezi çalışmasında desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen, üzerimde çok büyük emeği olup daima yardımcı olan ve yol gösteren çok kıymetli hocam Prof. Dr. Şeref ORUÇ'a sonsuz teşekkür eder, saygı ve şükranlarımı sunarım.Kendilerinden ders aldığım, aynı zamanda tez savunma sınavımda yer alarak bana önemli katkılar sağlayan değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Fazıl ÇELİK' ayrıca görüş ve önerileriyle tezime değer katan sayın Prof. Dr.Atakan AKSOY, Prof. Dr. Kemal SANCAK, Yrd.Doç. Bahadır Yılmaz ve Prof. Dr. Metin HÜSEM'e saygı ve şükranlarımı sunarım.

Çalışma için benden yardımlarını esirgemeyen laboratuvar sorumlusu Sayın Hasan Tahsin SELİM den teşekkür ediyorum.

Babam Menouçehr Saedi, Annem Şehin MEFTAHİ, Ağbim Doç. Dr. Siyamak SAEDİ, Kardeşim Yrd. Doç. Dr. Soheil SAEDİ, sevgili canım eşim İnş . Dr. Müh. Golnar SADEGHİAN ASL den sonsuz teşekkür ederim.

Bu çalışmamı, desteklerini üzerimden eksik etmeyen tüm aileme ithaf ediyorum.

Sepehr SAEDİ

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Doktora Tezi olarak sunduğum "POLİMERİk KATKILARININ (FRP, Viatop Premium ve SBS) TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Şeref ORUÇ'un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda 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.

30/09/2019

Sepehr SAEDİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ III

TEZ ETKİ BEYNNAMESİ..... IV

İÇİNDEKİLER V

ÖZET ..... X III

ABSTRACT XIV

ŞEKİLLER DİZİNİ..... XVI

TABLOLAR DİZİNİ XIX

SEMBOLLER VE KISATLAMA DİZİNİ..... XXI

1. GENEL BİLGİLER 1

1.1. Giriş 1

1.2. Çalışmanın Amacı..... 2

1.3. Konunun Özgeçmişi..... 4

1.4. Yol Üstyapısı..... 15

1.4.1. Rijit Üstyapılar 16

1.4.2. Yarı-Rijit Üstyapılar 17

1.4.3. Esnek Üstyapılar 18

1.5. Bitümlü Sıcak Karışımlar…...……... 20

1.6. Bitümlü Sıcak Karışımlardan Beklenen Özellikler…… 21

1.6.1. Stabilite ……..…… 21

1.6.2. Durabilite ……..…… 22

1.6.3. Geçirimsizlik ……..... 22

1.6.4. İşlenebilirlik ……..... 22
1.6.5. Esneklik ……..……. 22
1.6.6. Yorulma Mukavemeti ……..... 22
1.6.7. Kayma Direncı……. 22
1.7. Bitümlü Sıcak Karışım Tipleri …….....……... 23
1.8. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Temel Problemler..... 24
1.8.1. Deformasyonlar ……....…… 24
1.8.2. Tekerlek İzi Oluşumu ……. 24
1.8.2.1. Tekerlek İzi Tahmin Modelleri ……..... 27
1.8.2.1.1. Shell Modeli ……..... 27
1.8.2.1. 2. Belçika Yol Araştırma Merkezi Modeli …… 28
1.8.2.1. 3. Von Quintus Modeli ……..... 28
1.8.2.1. 4. Zahw vd.'lerinin Geliştirdiği Model ……... 29
1.8.2.1. 5. Fernando vd.'lerinin Geliştirdiği Model ……..... 29
1.8.2.1. 6. Saraf vd.'lerinin Geliştirdiği Model ……....……. 30
1.8.3. Oturmalar ……..... 30
1.8.4. Çökmeler ……..... 31
1.8.5. Kabarmalar ……..... 32
1.8.6. Ondülasyonlar ……..... 32
1.8.7. Ayrışmalar ……..... 33
1.8.8. Soyulmalar ……....…. 33
1.8.9. Sökülmeler ……....…. 33
1.8.10. Çatlamalar ……..... 34
1.9. Taş Mastik Asfalt……..... 37
1.9.1. Taş Mastik Asfal Yapısı ……..... 38

1.9.2. TMA Avantajları ……..……. 38
1.10. TMA Karışımlarda Kullanılan Malzemeler …….…..... 39
1.10.1. Agregalar ……..... 39
1.10.1.1. Kaba ve İnce Agrega ……..… 39
1.10.1.2. Mineral Filler …….....…….. 40
1.10.2. Agregalar Uygulanan Deneyler …… 41
1.10.2.1. Elek Analizi Deneyi……... 41
1.10.2.2. Los Angeles Aşınma Deneyi……..... 42
1.10.2.3. Donma-Çözülme Deneyi…… 42
1.10.2.4. Yassılık İndeksi Deneyi……..... 42
1.10.2.5. Agrega Cilalanma Deneyi……... 43
1.10.2.6. Soyulma Mukavemeti Deneyi……..... 43
1.10.2.7. Vialit Yöntemi ile Yapışım Deneyi ……..... 43
1.10.2.8. Özgül Ağırlık ve Su emme Deneyi..... 44
1.10.2.8.1. Kaba Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi..... 45
1.10.2.8.2. İnce Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi..... 46
1.10.2.8.3. Filler Agrega Özgül Ağırlık..... 47
1.10.3. Bitümlü Bağlayıcılar..... 47
1.10.3.1. Bitümlü Bağlayıcıların Genel Özellikleri …….…..... 48
1.10.4. Asfaltlar ……..... 49
1.10.4.1. Asfalt Çimentosu (AC)……..... 49
1.10.4.2. Sıvı Petrol Asfaltları …….…..... 49
1.10.4.3. Asfalt Emülsiyonları …….…..... 50
1.10.5. Katranlar ……..... 50
1.10.6. Polimer Modifiye bitümler …… 51

1.10.7. Bitümün Modifikasyon Yöntemleri…….…….. 51
1.10.8. Modifiye Bitümlerde Kullanılan Ana Kimiyasal Katkılar ……..... 51
1.10.9. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler ……..... 53
1.10.9.1. Penetrasyon Deneyi…….....…… 54
1.10.9.2. Yumuşama Noktası Deneyi ……..... 55
1.10.9.3. Düktilite Deneyi…….....….....… 55
1.10.9.4. Trikloretilende Çözünürlük ……..... 55
1.10.9.5. Viskozite ……..... 56
1.10.9.6. Özgül Ağırlık Deneyi……..... 56
1.10.9.7. Parlama Noktası Deneyi……..... 57
1.10.9.8. Fraass Kırılma Noktası Deneyi……..... 57
1.10.9.9. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi, TFOT…….....….. 57
1.10.9.10. Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi, RTFOT…… 58
1.10.9.11. Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV)……..…….... 58
1.10.9.12. Kiriş Eğme Reometresi (BBR) Deneyi..... 59
1.10.9.13. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) Deneyi..... 59
1.10.9.14. Dönel Viskozimetre Deneyi (RV)……... 59
1.10.10. Sıcak Asfalt Karışımlara Uygulanan Deneyler..... 60
1.10.10.1. Marshall Tasarım Deneyi..... 61
1.10.10.2. Marshall Oranı (S/A) Deneyi..... 63
1.10.10.3. Bitüm Süzülme Deneyi..... 64
1.10.10.4. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi..... 64
1.10.10.5. Su Hasarı Deneyi..... 65
1.10.10.6. Dolaylı Çekme Deneyi..... 66
1.10.10.7. Statik Sünme Deneyi..... 67

1.10.10.8. Tekrarlı Sünme Deneyi..... 68

1.10.10.9. Dolaylı (İndirekt) Çekme Yorulma Deneyi..... 70

1.11. Taş Mastik Asfaltlar Üretimi..... 71

1.12 . Taş Mastik Asfaltlar Depolama ve Nakliye..... 73

2. MATERYAL VE YÖNTEM..... 74

2.1. Asfalt Çimentosu..... 75

2.2. %5 SBS İle modifiye Edilmiş Asfalt Çimentosunun Fiziksel ve Reolojik Özellikleri..... 76

2.2.1. Penetrasyon Deneyi Yapılışı..... 76

2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi Yapılışı..... 77

2.2.3. Düktilite Deneyi Yapılışı..... 77

2.2.4. Parlama Noktası Deneyi Yapılışı..... 78

2.2.5. Trikloretilende Çözünürlük Deneyi Yapılışı..... 78

2.2.6. Özgül Ağırlık Deneyi Yapılışı..... 79

2.2.7. Fraass Kırılma Noktası Deneyi Yapılışı..... 79

2.2.8. Nicholson Soyulma Deneyi Yapılışı..... 80

2.2.9. Dönel İnce Film Isıtma Kaybı (RTFOT) Deneyi Yapılışı..... 80

2.2.10. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi Yapılışı..... 81

2.2.11. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) Deneyi Yapılışı..... 82

2.2.12. PAV Deneyi Yapılışı..... 82

2.2.13. BBR Deneyi Yapılışı..... 83

2.3. Agregalara Uygulanan Deneyler..... 83

2.3.1. Elek Analizi..... 84

2.3.2. Özgül Ağrılık ve Su Emme Deneyi..... 85

2.3.3. Los Angeles Aşınma Deneyi..... 86

2.3.4. Yassılık İndeksi Deneyi..... 86
2.3.5. Donma Deneyi..... 87
2.3.6. Cilalanma Deneyi..... 87
2.4. Katkı Maddeleri..... 88
2.4.1. Styrene- Butadiene- Styrene (SBS)..... 88
2.4.2. Viatop Premium..... 89
2.4.3. Fiber Rainforce Polimer (FRP)..... 91
2.5. Taş Mastik Asfaltların Özelliklerinin Belirlenmesi..... 92
2.5.1. Marshall Tasarımı..... 93
2.5.2. FRP ve Viatop Premium Katkılı Marshall Briketlrinin Üretimi..... 94
2.5.3. Marshall Stabilite ve Akma..... 95
2.5.4. Bitüm Süzülme Deneyi Yapılışı..... 95
2.5.5. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyinin Yapılışı..... 96
2.5.6. Dolaylı Çekme Deneyinin Yapılışı..... 97
2.5.7. Su Hasarı Deneyi Yapılışı..... 98
2.5.8. Statik Sünme Deneyi Yapılışı..... 99
2.5.9. Dinamik Sünme Deneyi Yapılışı..... 100
2.5.10. Dolaylı Çekme Yorulma Deneyi Yapılışı..... 101
3. BULGULAR VE İRDELEME..... 102
3.1. Penetrasyon VE Yumuşama Noktası Deney Sonuçları..... 102
3.2. Düktilite Deney Sonuçları..... 103
3.3. Parlama Noktası Deney Sonuçları..... 103
3.4. Özgül Ağırlık Deney Sonuçları..... 104
3.5. Trikloretilende Çözünürlük Deney Sonuçları..... 104
3.6. Fraass Kırılma Noktası Deney Sonuçları..... 105

3.7. Nicholson Soyulma Deney Sonuçları..... 105
3.8. Dinamik Kesme Reometrisi Deney Sonuçları..... 106
3.9. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney Sonuçları..... 107
3.10. Dönel Viskozimetre Deney Sonuçları..... 108
3.11. Basınçlı Yaşlandırma Kabini Deney Sonuçları..... 109
3.12. Eğilme Kirişi Reometrisi Deney Sonuçları..... 110
3.13. Marshall Tasarımına Göre Optimum Asfalt İçeriğinin Belirlenmesi..... 112
3.14. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları..... 113
3.15. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları..... 116
3.16. Dolaylı Çekme Deney Sonuçları..... 117
3.17. Bitüm Süzülme Deney sonuçları..... 120
3.18. Su Hasarı Deney Sonuçları..... 121
3.19. Nicholson Soyulma Deney Sonuçları..... 123
3.20. Statik Sünme Deney Sonuçları..... 123
3.21. Tekrarlı Sünme Deney Sonuçları..... 125
3.22. Dolaylı (İndirekt) Çekme Yorulma Deney Sonuçları..... 126
3.23. Geleneksel Sıcak Karışımlar ve SBS, Viatop Premium, FRP Katkılı TMA Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi..... 127
3.23.1. İlk İnşaat Maliyeti..... 128
3.23.2. Bakım ve Yenileme Maliyeti..... 128
3.23.3. Büyük Bakım Maliyeti..... 128
3.23.4. Geri Dönüşüm Değeri..... 128
3.23.5. Yol Kullanıcısı Maliyeti..... 128
3.23.6. Faiz Oranı..... 129
3.23.7. Analiz Süresi ve Tasarım Hizmet Ömrü..... 129

3.23.8. Yapım ve Bakım Sterateji Analizi……... 131

3.23.9. Alternatif Tasarımların Karşılaştırılması Prosedürü..... 132

3.23.10. Katkılı TMA ve Normal Sıcak Kaplamalar Km Başına Yılık Maliyet Analizi Karşılaştırılması..... 134

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER..... 135

5. KAYNAKLAR..... 139

6. EKLER..... 150

ÖZGEÇMİŞ

.

Doktora Tezi

ÖZET

POLİMERİK KATKILARIN (FRP, Viatop Premium ve SBS) TAŞ MASTİK ASFALT KAPLAMALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Sepehr SAEDİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Şeref ORUÇ
2019, 149 Sayfa, 11 Sayfa Ek

Bu çalışmada FRP katkı maddesinin SBS ve Viatop Premium katkı maddeleriyle birlikte Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımların performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan asfalt bağlayıcı, %5 SBS (Stiren-Butadien-Stiren) katkı oranında modifiye edilmiş, gerekli ön çalışmaların ardından %0,3 oranında Viatop Premium katılan TMA karışım, 5 cm'lik boyutlarda hazırlanan FRP (Fiber Reinforced Polymers) katkı maddesinin değişik oranlarda (%0,3, %0,5, %0,7 ve %0,9) katılmasıyla modifiye edilmiştir. SBS katkı maddesi ile modifiye edilen asfalt bağlayıcının fiziksel ve reolojik özellikleri, Geleneksel Bağlayıcı Deneyleri ve Süperpave kapsamındaki deneylerle belirlenmiştir. Modifiye bitümle Marshall Dizaynına göre hazırlanan karışımlara %0,3 oranında Viatop Premium ve değişik oranlarda FRP katkı maddesi ilave edilerek elde edilen karışımların mekanik özellikleri, Marshall Stabilite ve Akma, Su Hasarı, Statik Sünme, Tekrarlı Sünme, Dolaylı Çekme, Dolaylı Çekme Mukavemeti, Bitüm Süzülme ve Yorulma deneyleriyle belirlenmiştir. Deney sonuçlarından, çalışma amacına uygun bulgulara ulaşıldığı; FRP katkı maddesinin, SBS modifiyeli bitüm ve Viatop Premium katkısıyla hazırlanmış TMA karışımın, tekerlek izi ve yaşlanma direncini, esneklik ve adezyon özelliğini, yük yayma kabiliyetini ve yorulma ömrünü artırdığı, yüksek sıcaklık hassasiyetini düşürdüğü ve düşük sıcaklıklardaki çatlama eğilimini azalttığı gözlenmiştir. TMA karışımın performans özelliklerini en yüksek düzeyde iyileştiren FRP katkı oranının ise %0,7 olduğu tespit edilmiştir. TMA ve Normal Sıcak karışımların km başına yıllık maliyet analizi sonuçlarına göre katkılı TMA karışımların, ilk yapım maliyetlerinin Normal Sıcak Karışımlara kıyasla daha yüksek olduğu, ancak analiz zamanı sonunda daha ekonomik oldukları tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: TMA, FRP, SBS, Elyaf, Tekerlek izinde oturma

PhD. Thesis
SUMMARY
THE EFFECTS OF POLYMER ADDITIVES(FRP, Viatop Premium and SBS) ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF STONE MASTIC ASPHALT

Sepehr SAEDİ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şeref ORUÇ
2019, 149 Pages, 11 Pages Appendix

In this study, the effects of FRP additive on the performance of Stone Mastic Asphalt (SMA) mixtures with SBS and Viatop Premium additives were investigated. The asphalt binder used in the study, SBS (Styrene-Butadiene-Styrene) additive modified at the rate of 5%, following the necessary preliminary studies, SMA mixture was modified by adding FRP (Fiber Reinforced Polymers) additive prepared in dimensions of 5 cm in different proportions (0.3%, 0.5%, 0.7% and 0.9%). The physical and rheological properties of the asphalt binder modified by the SBS additive were determined by Traditional Binding experiments and the experiments in the context of the Superpave. The mechanical properties of the mixtures prepared according to Marshall Design with modified bitumen, obtained by adding 0.3% Viatop Premium and different proportions of FRP additive, were determined by Marshall Stability and Flow, Water Damage, Static Creep, Repeated Creep, Indirect Tensile, Indirect Tensile Strength, Bitumen Drain Down and Fatigue tests.

From the results of the experiment, it has been observed that the findings are appropriate with the study purpose; The SMA mixture, which was prepared with the addition of FRP additive, SBS modified bitumen and Viatop Premium additive, has been found to increase the rutting and aging resistance, elasticity and adhesion property, load spread ability and fatigue life, decrease the high temperature sensitivity and reduce the tendency to crack at low temperatures. The FRP contribution rate that improves the performance characteristics of the SMA mixture to the highest level is found to be 0.7%.

According to the results of the annual cost analysis of SMA and Normal Hot mixtures per km, it was determined that the first construction costs of SMA mixtureswith additives were higher than the Normal Hot Mixtures, but they were more economical at the end of the analysis time.

Key Words: SMA, FRP, SBS, Fiber, Rutting

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 1.	Rejit üstyapı enkesiti	16
Şekil 2.	Rijit üstyapı (Beton Yol)	17
Şekil 3.	Rijit üstyapı kesiti	17
Şekil 4.	Yarı rijit üstyapı kesiti	18
Şekil 5.	Yol üstyapısı tip enkesiti	18
Şekil 6.	Esnek üstyapı enkesiti	19
Şekil 7.	Esnek üstyapımalzeme davranışları	19
Şekil 8.	Rijit ve esnek üstyapılarda yük dağılımı	20
Şekil 9.	Yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı	20
Şekil 10.	Bitümlü sıcak karışım yayma çalışmaları	21
Şekil 11.	Asfalt betonu, Taş mastik asfalt ve Poroz asfalt yapısal farkları	23
Şekil 12.	Tekerlek izi oluşumu	25
Şekil 13.	Yapısal tekerlek izi	26
Şekil 14.	Akma tekerlek izi	26
Şekil 15.	Konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izi	27
Şekil 16.	Bitümlü sıcak karışımlarda oturma	31
Şekil 17.	Bitümlü sıcak karışımlarda çokme	31
Şekil 18.	Kaplamada ondülasyon	32
Şekil 19.	Kaplamada soyulma oluşumu	33
Şekil 20.	Timsah sırtı çatlaklar	34
Şekil 21.	Termal çatlakları	35
Şekil 22.	Kenar çatlakları	35
Şekil 23.	Boyuna çatlakları	36
Şekil 24.	Derz çatlakları	36
Şekil 25.	Yansıma çatlağı	37
Şekil 26.	Taş Mastik Asfalt Yüzey Dokusu	37
Şekil 27.	Taş Mastik Asfalt Kesiti	38
Şekil 28.	Taş Mastik Asfaltyapısı	38
Şekil 29.	Bitümlü Bağlayıcının sınıflandırılması	48

Şekil 30. Yük-zaman ve deformasyon ilişkisi..... 69
Şekil 31. Temsili deformasyon-yük tekerrür sayısı ilişkisi..... 71
Şekil 32. Selüloz fiber TMA üretimi için önerilen işlemler ve karışım zamanları..... 72
Şekil 33. Penetrasyon deneyi yapılışı..... 76
Şekil 34. Yumuşama noktası deneyi yapılışı..... 77
Şekil 35. Düktilite deneyi yapılışı..... 78
Şekil 36. Parlama noktası deneyi yapılışı..... 78
Şekil 37. Trikloretilende çözünürlük deneyi yapılışı..... 79
Şekil 38. Özgül ağırlık deneyi yapılışı..... 79
Şekil 39. Fraass kırılma noktası deneyi yapılışı..... 80
Şekil 40. Nicholson soyulma deneyi yapılışı..... 80
Şekil 41. Dönel ince film ısıtma kaybı (RTFOT) deneyi yapılışı..... 81
Şekil 42. Dönel viskozimetre (RV) deneyi yapılışı..... 81
Şekil 43. Dinamik kesme reometresi (DSR) deneyi yapılışı..... 82
Şekil 44. PAV deneyi yapılışı..... 83
Şekil 45. BBR deneyi yapılışı..... 83
Şekil 46. Elek analizi deneyi yapılışı..... 84
Şekil 47. Karışımlarda kullanılan agrega granülometri eğrisi..... 85
Şekil 48. Özgül ağırlık deneyi yapılışı..... 85
Şekil 49. Los Angeles Aşınma deneyi yapılışı..... 86
Şekil 50 Yassılık indeksi deneyi yapılışı..... 87
Şekil 51. Donma deneyi yapılışı..... 87
Şekil 52 Cilalanma deneyi yapılışı..... 88
Şekil 53. Stiren-Butadien-Stiren (SBS) görünüşü..... 89
Şekil 54 Viatop Premium görünüşü..... 91
Şekil 55. FRP Malzemeler gerilim ve deformasyon grafı..... 91
Şekil 56. FRP görüntüsü..... 92
Şekil 57. Üretilen Marshall briketleri..... 93
Şekil 58. Katkılı briketlerın üretimi..... 94
Şekil 59. Marshall deneyi yapılışı..... 95
Şekil 60. Bitüm süzülme deneyi yapılışı..... 96
Şekil 61. Dolaylı çekme mukavemeti deneyi yapılışı..... 97
Şekil 62. Dolaylı çekme deneyi yapılışı..... 98

Şekil 63. Nem dayanım deneyi yapılışı..... 99
Şekil 64. Statik sünme deneyi yapılışı..... 100
Şekil 65. Tekrarlı sünme deneyi yapılışı..... 101
Şekil 66. Penetrasyon deney sonuçları..... 102
Şekil 67. Yumuşama Noktası deney sonuçları..... 102
Şekil 68. Düktilite deney sonuçları..... 103
Şekil 69. Parlama Noktası deney sonuçları..... 103
Şekil 70. Özgül Ağırlık deney sonuçları..... 104
Şekil 71. Trikloretilende çözünürlükdeney sonuçları..... 105
Şekil 72. Fraass kırılma noktası deney sonuçları..... 105
Şekil 73. Nicholson soyulma deney sonuçları..... 106
Şekil 74. DSRG*/sinδ, 64°C değerleri..... 106
Şekil 75. RTFOT deneyi sonrası penetrasyon değerleri..... 107
Şekil 76. RTFOT deneyi sonrası yumuşama noktası değerleri..... 107
Şekil 77. RTFOT sonrası G*/sinδ değerleri..... 108
Şekil 78. Viskozite değerleri 135°C, 165°C sıcaklıklardaki..... 109
Şekil 79. PAV sonrası G*. sinδ değerleri..... 110
Şekil 80. Sünme rijitliği (S) değerlerinin sıcaklıkla değişimi..... 111
Şekil 81. Sünme oranı (m) değerlerinin sıcaklıkla değişimi..... 111
Şekil 82. Dp, Vh, Vf ve VMA değerlerini gösteren grafik eğrileri..... 113
Şekil 83. Katkı oranlarına göre stabilite değerleri..... 115
Şekil 84. Katkı oranlarına göre akma değerleri..... 115
Şekil 85. Marshall oranı değerleri..... 116
Şekil 86. Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları..... 117
Şekil 87. Karışımların esneklik modülü değerleri, 5°C..... 118
Şekil 88. Karışımların esneklik modülü değerleri, 25°C..... 118
Şekil 89. Karışımların esneklik modülü değerleri, 40°C..... 118
Şekil 90. Karışımların esneklik modülü değerlerinin sıcaklığa göre değişimi..... 120
Şekil 91. Schellenberger bitüm süzülme deney grafiği..... 121
Şekil 92. Koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme mukavemeti değerleri..... 122
Şekil 93. Dolaylı çekme mukavemeti oranları..... 122
Şekil 94. Nicholson soyulma oranları..... 123
Şekil 95. Karışımların 25°C sıcaklıktaki deformasyon-zaman ilişkisi..... 124

Şekil 96. Karışımların 25°C sıcaklıktaki sünme modülü-zaman ilişkisi..... 124
Şekil 97. Karışımların 25°C sıcaklıktaki deformasyon-yük tekrar sayısı ilişkisi..... 125
Şekil 98. Karışımların 25°C sıcaklıktaki sünme modülü-yük tekrar sayısı ilişkisi..... 126
Şekil 99. Karışımların deformasyon-yük tekrar sayısı ilişkisi..... 126
Şekil 100. Karışımların 4 mm deformasyona karşılık gelen yük tekrar sayıları..... 127
Şekil 101 Optimum tasarım hizmet ömrü gerafı..... 130
Şekil 102 Zaman Esasli Normal Kaplama Yapım ve Bakım Sterateji Analizi…….. 132
Şekil 103 Zaman Esasli SBS, Viatop Premium ve FRP katkılı TMA Kaplama

Yapım ve Bakım Sterateji Analiz…… 132

TABLOLAR DİZİNİ

		Sayfa No
Tablo 1.	Deneysel çalışmada hazırlanan briket dağılımı ve sayıları…….....	4
Tablo 2.	Ağır taşıt trafik hacmine göre tahmin edilen tekerlek izi değerleri.....	28
Tablo 3.	Tabakaların ortalama mekanik özellikleri.....	28
Tablo 4.	KGM teknik şartnamesinde kaba agrega özellikleri.....	40
Tablo 5.	KGM teknik şartnamesinde ince agrega özellikleri.....	40
Tablo 6.	Mineral filler gradasyonu.....	40
Tablo 7.	Asfalt Çimentolarının Sınıflandırılması.....	49
Tablo 8.	Asfalt Emülsiyonlarının Viskozitelerine Göre Türleri.....	50
Tablo 9.	Katkı maddelerinin genel sınıflandırılması.....	52
Tablo 10.	Sıvı Petrol Asfaltlarına Uygulanan Deneyler.....	53
Tablo 11.	Bitüm Emülsiyonlarına Uygulanan Deneyler.....	54
Tablo 12.	Minimum ve Maksimum TMA karıştırma sıcaklığı.....	72
Tablo 13.	Orijinal Asfalt Çimentosunun fiziksel özellikleri.....	75
Tablo 14.	Karışımlarda kullanılan agrega granülometrisi ve şartname sınırları.....	84
Tablo 15.	Özgül ağırlık ve Su emme deneyi sonuçları.....	86
Tablo 16.	SBS Kraton D243 Özellikleri.....	88
Tablo 17	Selülozik Elyaf Özellikleri.....	90
Tablo 18.	FRP Özellikleri.....	92
Tablo 19.	PAV deneyi sonrası DSR test sonuçları.....	109
Tablo 20.	BBR deney sonuçları.....	111
Tablo 21.	%5 SBS modifiyeli asfaltla TMA dizayn sonuçları ve şartname limitleri.....	112
Tablo 22.	Marshall stabilite deney sonuçları.....	114
Tablo 23.	Schellenberger bitüm süzülme deney sonuçları.....	120
Tablo 24.	Sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnç deneyi sonuçları.....	121
Tablo 25.	Nicholson soyulma değerleri.....	123
Tablo 26.	4’ şeritli karayollarda ağır terafikli Yol kullanıcısı maliyeti.....	129
Tablo 27.	Geraf numarasi açıklaması.....	130
Tablo 28.	Bakım servis ömrü, seçilmiş yayınlanan bilgilerin özeti.....	131

Tablo 29. Katkı maddeler maliyet analizi..... 134
Tablo 30. TMA ve Normal sıcak karışımların Optimum Bitüm maliyet analizi..... 134
EK Tablo 1. Dolaylı çekme mukavemeti föyü……..…..... 150
EK Tablo 2 Karışım tasarımına ait Marshall föyü …… 151
EK Tablo 3 %5 SBS katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü ……... 152
EK Tablo 4 %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.3FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü …..... 153
EK Tablo 5 %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.5FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü..... 154
EK Tablo 6 %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.7FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü..... 155
EK Tablo 7 %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.9FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü..... 156
EK Tablo 8 Normal sıcak karışımlarda km başına yıllık maliyet analizi..... 157
EK Tablo 9 Normal sıcak karışımlarda km başına yıllık maliyet analizi hesaplamalrı. 158
EK Tablo 10 TMA kaplamalarda km başına yıllık maliyet azalizi..... 159
EK Tablo 11 TMA kaplamalarda km başına yıllık maliyet azalizi hesaplamalrı..... 160

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

A : Numunenin kesit alanı

AASHTO : Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği

AC: Asfalt Çimentosu

ASTM : Amerikan Test ve Malzeme Kurumu

BBR : Eğilme Kirişi Reometresi

DSC : Diferansiyel Tarama Kalorimetrisi

DSR : Dinamik Kayma Reometrisi

EBA: Etilen-Butil-Akrilat

EVA : Etilen-Vinil-Asetat

FRP : Fiber Rainforce Polimer

HDPE : Yüksek Yoğunluklu Polimer

LCPC : Köprüler ve Yollar Merkez Laboratuarı (Fransa)

LDPE : Düşük Yoğunluklu Polietilen

MPE : Maleik Anhidrit Aşılı Polietilen

NMR : Nükleer Manyetik Rezonans

PAV : Basınçlı Yaşlandırma Kabini

PG : Performans Aralığı

PP : Polipropilen

RTFOT : Dönel İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi

RV : Dönel Viskozimetre

SBS : Sitren-Butadien-Sitren

SEBS : Sitren-Etilen-Butilen-Sitren

SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu

TFOT : İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi

TG : Termogravimetri

THF : Tetrahidrofuran

TYZ : Tall Yağı Zifti

UV : Ultraviyole
VMA : Agregalar arası boşluk
YN : Asfaltın yumuşama noktası sıcaklık değeri
%F : Filler yüzdesi

%İ: İnce agrega yüzdesi

%K : Kaba agrega yüzdesi

°C : Santigrat derece

B_2O_3 : Bor trioksit

C: Kohezyon

cP : Santipoise

dk : Dakika

D_p : Sıkıştırılmış karışımın hacim özgül ağırlığı

D_t: Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı

E_c : Sünme modülü

ε_c: Toplam plastik (kalıcı) eksenel birim şekil değiştirme

E_{cq} (t) : t anındaki sünme modülü

E_m : Esneklik modülü

ε_r: Toplam elastik eksenel birim şekil değiştirme

F: Maksimum düşey yük

G : Numunenin başlangıç yüksekliği

g : Gram

G* : Kompleks kayma modülü

G_b: Bitüm özgül ağırlığı

G_{ef} : Agrega efektif özgül ağırlığı

G_{fa} : Filler zahiri özgül ağırlığı

G_{ia} : İnce agrega zahiri özgül ağırlığı

G_{ib}: İnce agrega hacim özgül ağırlığı

G_{ka}: Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı

G_{kb} : Kaba agrega hacim özgül ağırlığı

G_{sa}: Agrega karışımının zahiri özgül ağırlığı

G_{sb}: Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı

H: Numune yüksekliği

Hy : Toplam yatay deformasyon

ITS : Dolaylı çekme mukavemeti

K, n : Asfalt karışımın özelliklerine ve kompozisyonuna bağlı katsayılar

L1 : LVDT’nin başlangıç referans deplasmanı

L2n : n darbe sayısındaki maksimum deplasman

L3n : (n+1). darbe uygulanmadan önceki deplasman

m : Metre

m-değer : Sünme oranı

mm : Milimetre

mN : Mili Newton

Mpa : Mega Pascal

N : Azot

Nf : Yorulma ömrü

Np: Çatlama ilerlemesi için gerekli yük tekrar sayısı

P : Maksimum yük

Pa : Pascal

Pa.s : Pascal-saniye

Pba : Absorbe edilen asfalt, agreganın ağırlıkça yüzdesi

Pbe : Efektif asfalt, agreganın ağırlıkça yüzdesi

Pen25 : Asfaltın 25°C sıcaklıktaki penetrasyon değeri

PI : Penetrasyon İndeksi

Pmax : Maksimum yük

Rm : Rijitlik modülü

rp : Çatlak ilerleme oranı (darbe sayısı, mm)

rpm : Dakikadaki devir sayısı

S : Sünme sertliği

SiO2 : Silikon dioksit

sn : Saniye

T : Sıcaklık

t : Yükleme süresi veya hızı

TiO2 : Titanyum dioksit

Vd : Düşey deformasyon

Vf : Asfaltla dolu boşluk

Vh : Toplam hacmin yüzdesi olarak hava boşluğu

Wa : Kuru agreganın yüzdesi olarak asfalt

ZnO : Çinko oksit

Δ : Faz açısı

Δf : Bozulma anında toplam deformasyon

Δi: Çatlak başladığı andaki toplam deformasyon

ε : Şekil değiştirme (deformasyon)

εc (t): t anında oluşan toplam kalıcı deformasyon

σ : Gerilme

τ : Kayma mukavemeti

υ : Poisson oranı

ϕ : İçsel sürtünme açısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1 Giriş

Bir yolun güvenliği, gerek kaplama tasarımı gerekse işletme ve bakım giderleri planlamasında çok önemli faktördür. Asfalt 5000 yıllık bir tarihe sahiptir ve yollarda kullanımı yaklaşık 100 yıl öncesine uzanmaktadır.

Artan taşıt trafiği ve dingil yüklerine paralel olarak yolların tahmin edilen hizmet ömürlerinden önce bozulmaya başlaması, asfalt kaplamaların performansını arttırmaya yönelik yapılan çalışmaların bu bozulmalar üzerine odaklanması sonucunu doğurmaktadır. Asfalt kaplamalar düşük sıcaklıklarda trafik yüklerini sönümleyememekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Yuksek sıcaklık ve yükleme sürelerinin fazla olması durumunda ise asfalt kaplamalarda viskoz bir davranış görülmekte deformasyonlara karşı direnci azalmakta ve tekerlek izinde oturmalar meydana gelmektedir.

Üzerinde halen bilimsel çalışmaların devam ettiği yeni kaplama türleri, sıklıkla boşluklu dane boyutu dağılımına sahip, genellikle modifiye ve düşük penetrasyonlu bağlayıcılarla üretilmektedir. Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan Taş Mastik Asfalt (TMA; SMA (Stone Mastic Asphalt)) bu uygulamaların başında gelmektedir.

TMA karışımı çivili kar lastiklerinin oluşturduğu plastik deformasyonlara önlemek amacıyla ilk Almanya'da 1968 yıllarında tasarımlanmıştır. 1975 yılında Avrupa'da çok soğuk olan ülkelerinin dışında çivili lastik kullanımının yasağı gereki' ileAlmanya'da TMA karışımların kullanılmasına ara verilmiştir. Ama bir süre sonra Almanya'da yollarında tekerlekler izi hasarı bir önemli problem olarak gözlenmiştir. Almanya'da yapılan araştırmalara göreTMA karışımlar kalıcı deformasyonlara karşı BSK karışımlaradan daha iyi performance sergilemiştiler.Şu nedenle TMA karışımların Almanya'da yeniden kullanıllmasına kararverilmiştir. TMA karışımları şuanda yaygın olarak dünya ülkelerinde kullanılır ve yolşartnamelerinde yer almaktadır[1].

TMA karışımların kullanımının yaygınlaşması ile birlikte, ilave edilen katkı maddeleri ve miktarları da birçok araştırmaya konu olmuştur. Bitüm modifikasyonunda en sık kullanılan polimer olan elastomer türü Stiren-Butadien-Stiren (SBS) blok kopolimerlerinin, bitümün rijitliğini arttırmasının yanı sıra düşük servis sıcaklıklarında çatlama, yüksek servis

sıcaklıklarında ise tekerlek izi oluşumu ve yorulmaya karşı dayanımı arttırdığı belirlenmiştir. SBS modifikasyonuyla birlikte gerek karışım performansını daha ileri bir seviyeye taşınması ve TMA karışımlarda kullanılabilir bir katkı maddesinin seçenek olarak ortaya konması, gerekse kolay ulaşılabilir ve daha ekonomik bir karışım elde edilmesi amacıyla bu çalışmaya girişilmiştir. Yapılan literatür araştırması ve ön deneme çalışmalarından, lifli yapısıyla FRP katkı maddesinin asfalt karışımların özellikle yorulma ömrünü uzatmak ve düşük sıcaklıktaki çatlama problemine tatmin edici çözüm bulmak üzere çalışılması gereken bir malzeme olduğu bulgularına ulaşılmıştır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

TMA karışımların kullanımının giderek yaygınlaşması ile birlikte karışım modifikasyonunda değişik katkı maddeleri ve miktarlarının da araştırılması gereği ortaya çıkmaktadır. Halen tüm dünyada gerek asfalt bağlayıcıların modifiye edilmesi, gerekse karışımın modifiye edilmesi kapsamında bilinen veya yeni keşfedilen katkı maddelerinin birlikte ya da ayrı ayrı kullanılmasına yönelik çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. SBS katkı maddesiyle bitüm modifiye edilerek karışımın sıcaklık hassasiyeti ve tekerlek izi oluşumuna belli oranda iyileşme sağlandığı kaydedilmiştir. Bu çalışmada, gerek TMA karışım performansını daha ileri bir seviyeye taşımak ve karışımlarda kullanılabilir bir katkı maddesini seçenek olarak ortaya koymak, gerekse kolay ulaşılabilir ve daha ekonomik bir karışım elde etmek amacına odaklanılmıştır. Yapılan literatür araştırması ve ön deneme çalışmalarından, lifli yapısıyla FRP katkı maddesinin TMA karışımların özellikle yorulma ömrünü uzatmak ve düşük sıcaklıktaki çatlama problemine tatmin edici çözüm bulmak üzere çalışılması gereken bir malzeme olduğu bulgularına ulaşılmıştır. Bundan hareketle FRP katkı maddesinin, SBS ve Viatop Premium katkı maddeleriyle birlikte kullanılmasının TMA karışımların mekanik özellikleri üzerinde oluşturacağı etkiyi ortaya koymak amacıyla bu çalışmaya girilmiştir. Bu bağlamda, literatür araştırması ve ön denemeler ışığında asfalt bağlayıcı modifikasyonu için SBS katkısının %5, TMA karışımın modifikasyonu için ise Viatop Premium Elyaf katkısının %0,3 oranında kullanılmasına karar verilmiştir. FRP katkı maddesinin ise gerekli ön denemelerin ardından TMA karışıma 5cm boyutlarında katılmasının uygun olacağı sonucuna ulaşılmıştır. FRP katkı maddesi, TMA karışımına (SBS

modifiyeli bitümle hazırlanmış Viatop Premium katkılı) değişik oranlarda (%0,3, %0,5, %0,7 ve %0,9) ilave edilmiş, SBS ve Viatop ile birlikte TMA karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkisi çok kapsamlı bir deneysel programla incelenmiştir.

Çalışma kapsamında, aşağıda Tablo 1.'de görüldüğü üzere tasarlanan karışımların mekanik ve performans özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Marshall Oranı, Tekrarlı Sünme, Dolaylı Çekme, Dolaylı Çekme Mukavemeti, Su Hasarı ve yorulma deneyleri için 138 adet briket üretilmiş ve hedeflenen sonuçlara ulaşmak üzere deneysel program titizlikle yürütülmüştür. Deney sonuçlarından, çalışma amacına uygun bulgulara ulaşıldığı; FRP katkı maddesinin, SBS modifiyeli bitüm ve Viatop Premium katkısıyla hazırlanmış TMA karışımın, tekerlek izi ve yaşlanma direncini, esneklik ve adezyon özelliğini, yük yayma kabiliyetini ve yorulma ömrünü artırdığı, yüksek sıcaklık hassasiyetini düşürdüğü ve düşük sıcaklıklardaki çatlama eğilimini azalttığı gözlenmiştir. TMA karışımın performans özelliklerini en yüksek düzeyde iyileştiren FRP katkı oranının ise %0,7 olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 1. Deneysel çalışmada hazırlanan briket dağılımı ve sayıları

KARIŞIMLAR	%5 SBS	%5 SBS + %0.3 Viatop Premium + 0.3 FRP	%5 SBS + %0.3 Viatop Premium + 0.5 FRP	%5 SBS + %0.3 Viatop Premium + 0.7 FRP	%5 SBS + %0.3 Viatop Premium + 0.9 FRP	TOPLAM
DİZAYN	18	-	-	-	-	18
MARSHALL ORANI	3	3	3	3	3	15
D.Ç. MUK. (25°C)	3	3	3	3	3	15
D. ÇEKME (5, 25, 40°C)	3	3	3	3	3	15
STATİK SÜNME DENEYİ (25°C)	3	3	3	3	3	15
TEKRARLI SÜNME DENEYİ (25°C)	3	3	3	3	3	15
Yorulma DENEYI (25°C)	3	3	3	3	3	15
SU HASARI DENEYİ	6	6	6	6	6	30
TOPLAM BİRİKET	42	24	24	24	24	138

1.3. Konunun Özgeçmişi

TMA karışımı çivili kar lastiklerinin oluşturduğu plastik deformasyonları önlemek amacıyla ilk Almanya'da 1968 yıllarında tasarımlanmıştır. 1975 yılında Avrupa'da çok soğuk olan ülkelerin dışında çivili lastik kullanımının yasağı gereki' ile Almanya'da TMA karışımların kullanılmasına ara verilmiştir. Ama bir süre sonra Almanya yollarında tekerlekler izi hasarı bir önemli problem olarak gözlenmiştir. Almanya'da yapılan araştırmalara göre TMA karışımlar kalıcı deformasyonlara karşı BSK karışımlaradan daha iyi performance sergilemiştiler. Şu nedenle TMA karışımların Almanya'da yeniden kullanıllmasına karar verilmiştir. TMA karışımları şuanda yaygın olarak dünya ülkelerinde kullanılır ve yol şartnamelerinde yer almaktadır [1].

Tekerlek izi oluşumu ile diğer yüzey bozukluklarına neden olan kalıcı deformasyon oluşumu, birkaç şekilde tanımlanabilmektedir. Birincisi kaplamanın altında bulunan tabakaların oturması ile meydana gelen deformasyonlar olup, yapısal oturma olarak adlandırılır. İkinci kalıcı deformasyon oluşma şekli ise; bitümlü tabakaların bünyesinde oluşan deformasyonlar olup, bitümlü karışımın iç sürtünmesinin trafik yüklerinin oluşturduğu gerilmeleri karşılayamamasından meydana gelmektedir [2].

Virgil Ping W. vd. [3] çalışmalarında %3, %4.5 ve %5 oranlarında bitüme SBS; ilave etmişler. Deneylerin sonuçlarına göre SBS sıcak karışımın esneklik modülünün, düşük sıcaklıklarda iyileşmesini sağlıyor.

Şengül vd. [4] çalışmalarında SBS katkısıyla modifiye edilen asfalt çimentosu Taş Mastik Asfalt karışımı hazırlamak için kullanılmıştır. Marshall tasarımına göre hazırlanan numunelere LCPC tekerlek izi direnci, tekrarlı sünme ve dolaylı çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, Marshall oranı değerleri dikkate alınarak, SBS taş mastik karışımlarının özelliklerinin iyileşmesini sağlar.

Mahamad zade A. vd. [5] TMA karşımın, yapısı iri agrega ve mastik harçınan oluşmuştur, Kaba agrega iskelet trafik yüklerini taşır ken mastik harçı ise boşlukları doldurarak durabiliteyi sağlar. TMA karışımların, zengin bitümlü ve fıllerli bir yapıya sahip olduklarından iyi bir süzülme potansiyele sahiptiler, Bu karışımların bitüm süzülmesini önlemek için elyaf (fiber) kullanılması öneril mektedir.

Alataş vd. [6] yaptıkları çalışmalarında saf ve SBS' ile modifediye edilen bitümün ısı hassasiyeti ve kıvamı üzerindeki etkisi belirlemek amacıyla kısa dönem yaşlanmadan önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri yapmıştılar. Daha sonra Dönel viskozimetre deneyleri yaparken SBS katkı madesinin 135 ˚C ve 165 ˚C sıcaklıklarda bitümün viskozite değerlerinin arttığı sonucuna varmiştilar.

Khodaii, A. vd. [7] İran da yapılan bu calışmada katkısız, %4, %5 ve %6 SBS katkısıyla modifiye edilen asfalt çimentosu sıcak karışımlarda kullanılmışlar. Marshall tasarımına göre hazırlanan briketler tekrarlı sünme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre SBS katkılı numunelere kalıcı deformasyon karşı asfalt daha dayanımlı davranıp ve %5 SBS' li numunelerde daha etkili sonuçlar raporlanmıştır.

Verstraeten, J. vd. [8] poliprolyn bitüme ve cam fiber agrega ilave etmişler. Sonuçlara göre, bitümün penetrasyonü azalmış ve yumuşama noktası artmış ve asfalt karışımının stabilesi yükselmiş ve akımı azalmıştır. Bu karışımların sıcak havali bölgeler için daha uygun olacağı sonucuna varmıştılar.

SBS Kraton MD 243**,** bazlı polimer modifiye bitüm katkısıdır. Kraton MD 243 adı verilen bu SBS, vinil modifikasyon tekniği sayesinde dallanmış bir SBS yapısı gösterir. Polimerin ana gövdesi, bu vinil dallanması nedeni ile kısalır. Bu da modifiyeli bitümün viskozitesinin düşmesine neden olur. Viskozite yüksekse, işlenebilicek özelliği azalır [9].

Kok vd. [10] çalışmalarına göre, %5 SBS kaktılı karşımların yorulmala direnci katkısız karşımlardan 5 kat yükselmektedir, ayreca su hasarı ve tekerelekler izi gibi hasarlara karşı daha direncli davarnmıştılar.

Vural Kok, B. vd. [11] kireç ve SBS, aynı anda asfalta kullanılması halinde asfaltın stabilizesi, sertlik ve çekme kuvvetlerini iyileştirir. Katkı maddelerin karışımın nem hasarına karşı performansını artar. katkı maddelerinin optimum miktarları sırsıyla %2, %6 tespit edilmiştir.

Al-Hadidy, A.I. [12] çalışmalarında %5 Neşasta ve SBS katkılarla modifiye edilen 70/100 bitümle Taş Mastik Asfalt karışımı hazırlamak için kullanılmıştır. Numuneler tekrarlı sünme ve dolaylı çekme mukavemeti deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, %5 Neşasta ve SBS katkılarla modifiye edilen bitüm Su hasarları ve agrega ayrlmasına karşı daha etkili oldğu sunuçına varelmıştır.

Bonnot, J. vd. [13] TMA kaplamaların ilk yapım maliyetleri göz önüne alındığında, oldukça yüksek maliyete sahip oldukları görülmektedir. Fakat servis ömrü boyunca oluşabilecek bakım maliyetleri ve bozulmalardan kaynaklanabilecek gecikme ile kaza maliyetleri gözönüne alındığında, TMA kaplamaların büyük kazançlar sağlayacağı açıktır.

Zhou ve ark. [14] yaptıkları bir çalışmada da PP (Polipropilen), selüloz ve polyester fiber katkılı numuneler kontrol numuneleriyle karşılaştırılmış, DSR (Dynamic–Shear-Rheometer) deneyi ve tekerlek izi deneyi (Wheel-Tracking-Test) sonuçlarında bitüm-fiber katkısının anlık deformasyonlara karşı en güzel direnci sağladığı vurgulanmıştır.

Singh, M vd. [15] %3, %5 ve %7 SBS ile modifyie edilen bitüm, Mermer, Granit ve kovarsit cinsinen olan agregayala Marshall tasarımına göre sıcak karışım hazırlanmiştir. Modifiye bitümlü ve daha fazla Silis mineraline sahip olan karışımılar Tekerlekler izi ve Su hasarı karşı daha direncli davranmıştılar.

Ghasemi ve Marandi [16] çalışmalarına göre, %5 SBS kaktılı TMA karşımların marshal stabilite değeri ve esneklik müdülü %70 ve %127 iyileşimi tespit edilmiştir.

Chelovian ve Shafabakhsh [17] Nano Al_2O_3 maddesinin farklı yüzdelerde Taş Mastik Asfalt eklemiştiler. Agrega arasındaki boşluğa göre %0.3 oranında karışım ağırlığında selüloz elyafları kullanmıştılar. Nano Al_2O_3 katkı maddesinin TMA ile kullanılmasının performansını belirlemek amacıyla yapılan deneyler sonucu farklı yüzdelerdeki Nano Al_2O_3 eklenmesinin TMA performansını önemli derecede iyileştirebildiği belirtilmiştiler.

Park, H.M. vd. [18] yaptıkları bir çalışmada, SBS ve Hydrokarbon katkı maddelerini BSK numunelerinde kullanmışlar. Katkılı karışımlar yorulmaya karşı daha dirençli davranmışlar. Bu karışımların kopru kaplamalarında kullanılması önerilmiştir.

Gençtürk [19] yaptığı çalışmada katkı maddesi olarak sönmüş kireç, çimento ve Pr Plast kullanarak bitümlü sıcak karışımın performansına olan etkilerini araştırmıştır. Çalışmada sönmüş kireç ve çimento için filler oranı azaltılmak suretiyle katkılar adım adım %1, 1,5, 2, 3

ve 5 oranlarında, Pr plast ise karışımın %0,3 ve %0,6 oranında doğrudan granül agregaya karıştırılarak alternatif karışımlar üretmişlerdir. Optimum asfalt içeriğinde 72 adet özdeş briket hazırlanmış ve briketlerin yarısı; tekrarlı su hasarına maruz bırakıldı ve koşullandırma gerçekleştirildi. Bu verilerden yola çıkarak sönmüş kireç ve çimentonun aktif filler olarak kullanılabileceği, Pr Plast' ın ise karışımı güçlendiren katkı olarak kullanılabileceği belirtilmiştir.

Maupin, G.W. [20] polyesterler ve poly-akril-vinil modifiyeli bitümlü sıcak karışım′da kullanmışlar. Elde edilen karışımlar, tekerlekler izine karşı daha dirençli davranmışlar, ama bu katkıların, donma ve çözülmeye karşı olumlu bir etkileri oldukları tespit edilmemiştir.

Behbehani vd. [21] bitümlü selüloz lifi ve stiren bütadien stiren gibi farklı katkı maddeleri ile modifiye edilmiş TMA karışımlarının tekerlekler izine karşı performansını araştırmışlar. Araştırmanın sonucu, SBS kalıcı deformasyona karşı yüksek direnç gösteren ve farklı kullanılan katkı maddeleri arasında en etkin olduğu tespit edilmiştir.

Jahromi ve Khodaii [22] çalışmalarına göre, Karbon fibri ile modifiye olan BSK karışımları, yorulmaya, tekerlekler izilerine ve kalıcı deformasiyonlara karşı daha dirençli davranmışlar.

Wen, G. vd. [23] çalışmalarında SBS ve sülfür maddeleriyle modifiye olan bitümlü bağlayıcının reolojik özellikleri araştırılmışlar. Çalışma sonuclarına göre sülfür maddesinin artışiyla bitümün kıvamı artmıştır.

Ziyari, H. ve Behbahani, H. [24] bitümlü bağlayıcıya değişik oranlarda Lukobit ve WKR-2 polymerler eklemişler ve TMA karışımının özelliklerini belirlemişler. Aynı çalışmada Bitümlü bağlayıcıya %5 SBS eklemiş, Tekrarlı sünme ve Dolaylı çekme ve Marshall oranı deneylerinin sonuçlarını karşılaştırmışlar. Lukobit ve WKR-2 polymerlere sahip olan karışımlar su hasarı ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli davranmışlar

Göli B. [25] gilsonit katkımaddesini farklı oranlarda Taş Mastik Asfalta eklemiştir. Gilsonit katkı maddeli TMA karışımların performansını belirlemek amacıyla Tekrarlı sünme ve Dolaylı çekme ve Marshall oranı deneyleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, TMA karışımına %20 oranında Gilisonit eklenmesi, karışımın performansını önemli derecede etkilemiştir.

Asfalt karışımları basınç kuvvetlerine karşı dayanıklıdır, fakat çekme gerilmelerine karşı zayıftılar, Yüksek çekme gücüne sahip elyafları kullanılması karışımın çekme kuvvetini etkilerken Bitüm ve lifler arasında iyi bir yapışma olmalıdır ve lifin daha fazla yüzey alanı bulunması bu yapışmaya yardımcı olabilir [26].

Ziyari, H. vd. [27] %7.5 SBS ile modifyie edilen bitüm, %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranlarında kül, filler olarak eklemiş ve TMA karışımının özelliklerini belirlemişler. Tekrarlı

sünme ve su hasarı deneyı sonuçlarına göre, SBS'in karışımın özelliklerini etkilediyi üstünlüğü gözlenmiştir

Brown, E. R. [28] yoğun tane boyutu dağılımlı agrega ile 50 ve 100 penetrasyonlu bitüm kullanılarak hazırlanan briketler üzerine statik ve dinamik sünme deneylerinin uygulandığı bir çalışmada, sünme deformasyonları veya deformasyon oranı ilişkisi ile tekrarlı yük deneyi ve tekerlek izi deneyi arasında statik sünme deneyinden daha iyi bir ilişki olduğu, tekrarlı yük altında agrega iskeleti üzerinde yükün belirli periyotta tekrarlanmasının etkisinden dolayı daha büyük gerilmelerin olabildiği, statik sünme deneyinin, malzemenin elastik geri dönme özelliğini artıran katkıların performansını tekrarlı yük koşullarında olduğu kadar iyi yansıtmadığı vurgulanmaktadır

Zhi, S. vd. [29] polipirolin, lastik kırıntısı, azbest fiber, selülöz fiber ve Gilsonit katkı maddelerin kullanılmasının TMA′ların performansı üzerinde etkilerini araştırma amacıyla su hasarı ve yorulma deneyleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, gilsonit katkı maddesi en etkin olandir.

Crispino, M. [30] fiberin, yüksek performanslı bitümlü karışımlara faydalı olduğu kanıtlanmıştır. Yine de, elyaf takviyeli bitümlü mastikler halinde viskozite araştırmaları da dahil olmak üzere uygun karıştırma tasarım prosedürlerini kullanarak hem karıştırma hem sıkıştırma prosedürlerini ve hacimsel özelliklerini daha yakından kontrol etmek, bu tür elyafların kullanımının faydalarını elde etmek için şiddetle tavsiye edilmektedir.

Ghaffarpour. S. ve Khodaii. A. [31] çalışmalarında fiberin bitümlü karışımlar üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla, Fiber içeren ve içermeyen numuneler üzerinde çeşitli deneyıler yapmıştılar. Elde edilen sonuçlara göre karbon fiberli karışım tekerlekler izi ve yorulmaya karşı daha dirençli davranmıştır.

Noor. Z. Vd. [32] polipropilen polimer %1, %2 ve %3 oranlarda bitüm ağırlığına göre kullanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, Polipropilen, bağlayıcının penetrasyonunu düşürüp, viskozitesini arttırır. %3 Polipropilen'le modifiye edilen bağlayıcı daha iyi performans sergilemiştir.

Bradley. J. [33] polyester liflerin asfalt bağlayıcıların özellikleri üzerinde etkilerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar lifin bağlayıcıları nasıl etkilediğini gösterip, farklı liflerin bağlayıcı özellikleri üzerinde farklı etkileri olduğunu tespitlemiştir. Bu çalışmanın en önemli sonucu farklı poliester liflerin bir asfalt karışımı üzerinde aynı etkileri olmamasıdır.

Hyunwook. K. [34] pörüz asfaltlar (PA), Etkin su drenajı ve gürültüyü azaltma gibi olumlu faydalarından dolayı birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiber takviye malzemelerinin uygulanması, PA kaldırımlarındaki yapısal zayıflığa olası bir çözüm olabilir.

PA'nın yorulma direncini güçlendirmek için karbon fiber takviye polimer (FRP) döşemesi kullanılmıştır. FRP döşemesi iki asfalt tabaka arasına yerleştirilmiştir. Dinamik yorulma trafiği yüklemeleri takviyeli numunelerin üst yüzeyine uygulanarak takviye malzemeleri ile performans artışı araştırılmıştır. Yaşlanmayan ve yaşlanan numuneler arasındaki sertlik farkı en az % 25, en fazla % 55 idi. İlaveten, takviye tabakası, yorulma ömrünü % 27 oranında artmıştır.

Chen. Hu. [35] bu çalışmada Dört farklı lif kullanarak, polyester, poliakrilonitril, lignin ve azbest asfalt karışımların hacimsel ve mekanik özellikler araştırılmıştır. Marshall testleri asfalt karışımlarının hacimsel ve mekanik özelliklerini ölçmek için gerçekleştirilmiştir. Su hasarı ve dinamik stabiliteyi incelemek için performans testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre liflerin asfalt karışımlarına ekledikten sonra karışımın Hava boşluğu, Agrega arası boşluğu ve Marshall stabilitesi artır ve özgül ağırlık azalır. Optimum asfalt miktarı, Marshall stabilitesi ve dinamik stabilite başlangıçta fiber miktarı artıkca çoğalır daha sonra artan fiber içeriği ile azalır. Ayrıca, polyester lifı daha yüksek bir stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir.Test sonuçlarına göre karışımlarda %0.35 lif kullanımı tavsiye edilimiştir.

Lavasani, M. [36] Bu çalışmada, modifiye edilmiş bir asfalt karışımının performans özelliklerini değerlendirmek için bir polipropilen ve aramid elyaf karışımı kullanılmıştır. Tempe City ile koordineli olarak, bir asfalt beton, geleneksel karışım, Tempe, Arizona Evergreen Drive kaplama için seçildi. bu çalışmanın iki asfalt karışımı kullanmıştır elyaf siz kontrol karışımı ve bir ton elyaf içeren bir karışım. Laboratuvar deney programında, üç eksenli kesme mukavemeti ve dinamik modülü, tekrarlanan yük kalıcı deformasyon, kiriş yorgunluk, çatlak yayılması ve dolaylı çekme testleri yapılmıştır. Sonuçlara göre, fiberlerin karışımın performansını kalıcı Deformasyona, Yorgunluk ve Isı çatlamasına karşı iyileştirdiğini göstermiştir.

Yıldız, K. [37] bitüm yaşlanmasına, asfalt karışımlarının üretimi sırasında bazı uçucu asfalt bileşiklerinin buharlaşması ve bazı bitümlü bileşiklerin oksidasyonu neden olur. Yaşlanma, asfaltın sertlığına ve kırılganlığına neden olur ve bu da kaplama yüzeyinde çatlakların oluşmasına ve sonunda kaplamanın tahrip olmasına yol açar.

Güngör vd. [38] çalışmalarında, TMA karışımlarında diatomit etkisini araştırılmıştırlar. Diatomit ile modifiye olan TMA karışımları üzerinde; tekerlek izinde oturma, dört nokta eğilmeli kiriş eğme yöntemi ile yorulma deneyleri ve Dolaylı Çekme Mukavemeti deneyleri uygulanmıştır. Normal TMA karışımı ve modifiye yaplan TMA, çekme mükavimet, su hasarı karşı davranış ve tekerlek izine karşı dayanım yönünden yakın sunuclara diatomit ile modifiye olan TMA karışımın yorulmaya karşı daha iyi performans sergilemiştir.

Schmiedlin, R.B. [39] geleneksel asfalt kaplamalar 40 mm aşınma, 60 mm binder tabakası olmak üzere 100 mm kalınlığında yapılmaktadır. Almanyada yapılan oldukça dayanımlı TMA kaplamalar ise 25 mm-40 mm kalınlığında uygulanmıştır.

Mokhtari ve Nejad. [40] daha verimli asfalt karışımları üretmek için, selülozik elyaf, SBS ve vaksı TMA ve BSK karışımlara eklemişler. Elyaf katgı maddesinin TMA karışımlarının performans özellikleri üzerindeki etkisinin çok anlamlı olmadığını ve sadece bağlayıcının süzülmesini engellemesini ancak TMA ve BSK karışımlarında SBS ve selülozik elyafın birlikte kullanılması, kaplamanın hizmet ömrünü, sırasıyla 1,243; 1,154 ve 1,08 kat uzalttığını belirlemişler.

Abiolavd. [41] son zamanlarda, cam elyafı, karbon, polimer ve aramid gibi sentetik elyaflar yüksek bir sertliğe ve çekme özellikleri nedeniyle modifiye edenler olarak Kullanılır. Lif miktarı ve uzunluğu stabilite ve Hacimsel özellikler açısındaniki önemli parametrelerdiler.

Namlı. R. [42] bitüm kalitesı bitümlü sıcak karışımların özelliklerini etkilin önemli faktörlerden sayılır. Genellikle karışımlarda normal bitümün kullanılması halde karşımın yeterlı performas göstermemektedir. Bu nedenle katkı malzemeleri önem bulmaktadır. Bu çalışmada SBS ile modifiye edilen bitümün özellikleri incelenmiştir. Deneyler sununclarına göre SBS birçok bakımdan bitümü iyi etkilemiştir.

Son yıllarda Amerika da, lastiklerin basınçlarının artışıyla lastiklerın temas yüzeyileri kaplamayla azaltılmıştır ve bunun sonucu tekerlek izi hasarı önemli bir problem haline Amrerka yollarında gelmiştir [43].

Goli. [44] Stiren Butadien Stiren bir tür termoplastik elastomerdir, 38 derece Santigrat ve 130 derece Santigrat sıcaklıklarda bitümün özelliklerini geliştirmesi mümkündür. Bu kopolimerde üç blok, stiren Bir bütadien bağla birbirlerinden ayrılırlar. bitümde, üç boyutlu bir elastik bağı oluşturma yeteneğine sahiptir.

TMA, iri agregalı bir iskelet sahiptır.Bu karşımlarda boşlukları doldurmak amacıyla mastik harçı (fıller + bitüm) kullanmaktadır. Kaba agrega trafik yüklerini taşır vemastik harc durabiliteyi sağlamaktadır. TMA karışımlarda, yüksek bitüm oranı nedenile süzülme oluşur, bu nedenden TMA karışımlarda bu problemi önlemek amacıyla elyaf (fiber) kullanır[45].

TMA'dan maksimum faydayı elde etmek için, karışımın iyi tasarlandığından ve yüksek standartlarda üretim ve döşeme yapıldığından emin olmak önemlidir. VIATOP gibi elyaf aracılığıyla etkili bağlayıcı stabilizasyonunun sağlanması iyi bir TMA karışımı üretmek amacına çok önemlidir [46].

TMA kaplamalarda mineral agrega çatısı önemli bir unsurdur. Agrega büyüklükleri büyük oranda 30-40 mm civarında olan mineral agreganın oluşturduğu iskelet, içsel sürtünmeyi oluşturmaktadır. Bu iskelet (çatı) zengin ve boşluksuz mastikle (bitüm + kum + filler) doldurulmakta ve bir arada tutulmaktadır. Asfalt çimentosunun (AC), depolama, taşıma, serme süreçlerinde kaba agrega tanelerinden drene olmaması için "selüloz veya mineral fiberler" kullanılmaktadır. TMA tekerlek izinde oturmaya karşı önemli bir çözümdür [47].

Kök. B. Vd. [48] bu çalışmada SBS ve Sasobit kullanarak bitüm modifiye edilmiş, çalışma kapsamında değşik oranlarda SBS ve Sasobit kullnılmıştır. Modifiye bitümle üretilen karışımların ve düşük sıcaklıktaki kırılma dirençi ve tekerlek izi hasarı değerlendirilmiştir. Çalışmada SBS ve Sasobit ayrı ayrı ve hem birlikte kullanarak etkileri incelenmiştir. Denyler Sonuçlarına göre her iki katkı maddenin düşük sıcaklıktaki kırılma ve tekerlek izi direncini olumlu etkilemiştiler.

Mahrez, A. vd, [49] TMA karışımlarında şişe fiber kullanmıştılar. Sonuçlara göre, şişe fiber katkı maddesi karışımın kıvamını, kontrol karışımlara göre yaklaşık %12 oranında arttırıldığı gözlenmiştir. %0.2'den fazla şişe fiber içeren karışımlar kalıcı deformasyona karşı daha düşük direnç göstermiştirler. Sonuçlara göre fiberin artan trafik yükü nedeniyle yol döşemesinde meydana gelen yapısal sıkıntılara karşı koyma olumlu etkiye sahiptir. Böylece şişe fiberler özellikle yüksek stress seviyesinde çatlama ve kalıcı deformasyona karşı direnci artırarak yorulma ömrünü iyileştirir.

TMA larda kullanılan bağlayıcı sert, düşük penetrasyonlu özelliğna sahip olmalıdır. Bu nedenilemodifiye edilmiş bitüm veya 40/50 veya 60/70 penetrasyonlu bağlayıcı TMA yapımında kullanılması öneriliyor. TMA karışımlarının tasaramında Şartnameye belirli olan agrega gradasyonu ve marshall tasrım metoduuygulanır. Fakat numuneleri her iki yüzüne 50 darbe verilir ve sikiştırılır [50].

Mashaan.N. Vd. [51] bu çalışmanın amacı, TMA Karışım performans özelliklerine katkı maddesi olarak lastik kırıntısı eklenmesinin etkisini incelemektir. Bu araştırmada, TMA karışımın hacimsel, mekanik ve sertlik özellikleri anlamak üzere modifiye asfalt karışımlarının özellikleri incelenmiştir. Çalışmada, saf bitüm 80/100 penetrasyon sınıfı beş farklı, % 6, % 12,% 16 ve% 20, lastik kırıntısı (CRM) ilave edilmiştir. CRM uygun miktarı bitümün ağırlığına göre % 12 olduğu tespit edilmiştir. Bu yüzdede maksimum stabilite elde edilmiştir. Aynı yüzdeye sahip olan tasaremların esneklik modülü (Mr) farklı oranlarda modifiye edilmiş TMA numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tayfur.S. vd. [52] bu araştırmanın amacı, kontrol ve modifiye asfalt karışımlarının mekanik özelliklerini değerlendirmektir. Geleneksel ve beş modifiye asfalt karışımları kalıcı deformasyon karşı direnci üzerinde çalışılmıştır. Modifiye ediciler olarak amorf polialfaolefin, selüloz lifi, poliolefin, bitümlü selüloz lifi ve stiren butadien stiren kullanılmıştır. Dolaylı çekme mukavemeti, dolaylı çekme, statik ve tekrarlı sünme ve LCPC tekerlek izi testler farklı yükleme koşulları ve sıcaklıklar için kullanılmıştır. Dolayısıyla Araştırma, LCPC tekerlek izi ve diğer mekanik testler arasındaki etkileşimin karşılaştırılmasına odaklandı. LCPC tekerlek izleme ve tekrar sünme testi sonuçlarına göre, SBS' li karışımları tekerlek izlerine göre daha iyi performans sergilemiştiler.

Girdap. E ve Oruç. Ş. [53] bu çalışmada, Stiren-Butadien-Stiren (SBS) modifiyeli bitüm ile oluşturulmuş Taş Mastik Asfalt karışımına Pr Plast S katkı maddesi eklenerek bitümlü sıcak karışımların yoğunluk-boşluk analizleri ve Marshall Stabilitesi bakımından incelenmiştir. Çalışmada, %5 oranında SBS modifiyeli bitüm ile agrega ağırlığına göre %0.3 oranında elyaf ve yine agrega ağırlığına göre %0.1, %0.3, %0.5, %0.7 ve %1 oranında Pr Plast S katkı maddesi ilave edilerek numuneler üretilmiştir. Karışım numuneleri üzerine Marshall stabilite ve akma deneyleri uygulanarak, Hacim Özgül Ağırlık, Hava Boşluğu, Agregalar Arası Boşluk, Asfaltla Dolu Boşluk, Stabilite, Akma ve Marshall oranı değerleri üzerinde değerlendirmeler yapılmıştır. %0.7 Pr Plast S katkı oarnına kadar stabilite değerlerinde sürekli bir artış olduğu, %0.7' den sonra ise azalma olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde esneklik modülünde %0.7 katkı oranına kadar artmış olduğu, bu orandan sonraki ilave katkı oranında azalma olduğu gözlenmiştir. Elde edilen verilere göre Pr Plast S katkısının SBS modifiyeli Taş Mastik Asfalt karışımlarda özellikle sıcak ve yağışlı iklimlerde önemli derecede iyileşme sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

TMA karışımların hizmet ömrü, bünyesindeki taşların cilalanmaya karşı direncinin büyük olmasına bağlı olup, bu yüzden bir çok ülkede cilalanma değerinin %55'den büyük

olması istenmektedir. İngiltere'de kullanılan boksitin (calcined bauxite) cilalanma değeri çok yüksek olup, 70'den büyük çıkmaktadır [54].

Malzemelerin davranışını geliştirmek için lif kullanma kavramı eskidir. Lif kullanılması 1960'lı yılların başında başlamıştır. Ama birçok sayıda lif ve lifmalzemeler 1990 lardan piyasaya sürüldü ve piyasaya yeni tanıtıldı.polyester elyaf, asbest elyaf, cam elyaf, polipropilen elyaf, Karbon lif, selüloz lif, vb gibi asfalt karışımlara uygulanmıştır Farklı saha çalışmalarından elde edilen sonuçlar, fiber ilavesinin, daha esnek karışımlar üretmeye yardımcı olacağı ve böylece çatlamaya karşı daha dirençli olduğu için bir yararı olduğunu göstermiştir[55].

Demirkaya. Ö. [56] bu çalışmada karbon lif kullanılarak bitümlü sıcak karışımın mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amacla bitümlü sıcak karışımlara 3 farklı uzunlukta (3, 6 ve 12 mm) farklı oranlarda (%0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50)karbon lif ilave edilmiştir. Deneyler sunucu incelenmiştir ve bu sunuclara göre en iyi mekanik özellik % 0.50 oranındaki 12 mm uzunluğundaki karbon lif içeren karışımlarda gözlenmiştir.

Manosalvas. M. Vd. [57] bu araştırmada, aynı gradasiyona ve tasarıma sahip TMA karışımı, iki farklı bağlayıcı kullanılmıştır. İlk başta kullanılan bağlayıcı elastomerik polimerler, SBS (stiren-butadien-stiren) ile modifiye edilmiş ve 45 / 80-65 PMB olarak adlandırılır. Daha sonra bağlayıcı SBS ve kırıntı lastik ile modifiye edilmiş ve 45 / 80-65 R PMB olarak adlandırılır. Çalışma sonuçlarına, elyafli TMA 45 / 80-65 PMB ve 45 / 80-65 R PMB bitümlü karışımlarına göre su hasarları, bağlayıcı drenajı ve kalıcı deformasyona karşı daha başarılı oldukları gözlenmiştir.

Abtahi. S. Vd. [58] bu araştırma, polipropilen (PP) ve cam elyaflar kullanılarak AC karışımlarının takviyesinin yeni konsepti tanıtıl maktadır. Sonuçlara göre, Cam elyaf ve PP fiber ile modifiye edilen AC ile hazırlanan sıcak karışımlar diğer fiberlerinen modifiye edilen numunelerle kıyaslandığında üstün performans sergilemiştir.

Aschenbrener T. [59] açık gradasyonlu karışımın soyulma davranışı açısından incelediği bir çalışmada, üç ayrı bitüm hem soyulma önleyici sıvı katkı maddesi, hem de hidrate olmuş kireçle birlikte kullanıldı. Bitümlü bağlayıcılar, verilen bir polimerle de modifiye edildikten sonra soyulma açısından incelendi. Testler optimum bağlayıcı oranında yürütülerek, sönmüş kireç katkı maddesi ilavesi ve bağlayıcı modifikasyonu ile, kaynama testi sonuçları soyulmanın azaldığını göstermiştir.

Sandra oda vd, [60] taş mastik asfaltlarda, Agrega etrafında kalın bir mastik harc filmi oluşarak karışımın oksidasyon, rutubet, çatlama ve agregaların ayrılmasını karşı daha direncli davranmasına neden olar.Asfalt içeriğinin daha yüksek olması nedeniyle bağlayıcıyı

süzülmesini önlemek için karışıma elyaf eklemek gerekir. Bu çalışmanın amacı TMA karışımlarda doğal liflerin kullanımını etkilerini araştırmaktır. çalışmada, dört farklı elyaf, hindistan cevizi, sisal, selüloz ve polyester TMA karışımlarıda kullanılmıştır. Mekanik testlerin sonuçları (çekme dayanımı ve esneklik modülü) göre, doğal elyaf daha olumlu davranmıştılar ve bitümün süzülmesine karşı direnc göstermiştiler.

Almeida J. ve ark. [61] çalışmalarında, atık lastikler ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcıları, modifiye etmede en yaygın olarak kullanılan stiren bütadien stiren (SBS) ile karşılaştırmışlar ve atık lastik ile modifiye edilen bitümlü bağlayıcının SBS yerine kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Atık lastikle modifiye edilen bitümlü bağlayıcının, SBS standart özelliklerinin, sadece % 5'ini karşıladığını fakat AC 50/70 saf bitüme göre % 67 daha fazla sertlik gösterdiğini bulmuşlardır. Ekonomik olarak, SBS ile birlikte kullanılması halinde % 10 tasarruf yapılabileceğini belirlemişler.

Taş mastik karışımlar kaplamalar ömrünü uzatmak için özellikle tekerlek izi direncine açısından, yıllardır kullanılmaktadır.Bununla birlikte, performansı ve maliyet etkinliği tartışılmıştır.Bu çalışma, Washington eyaletinin doğusunda bir TMA kaplamanın uzun dönem performansını ve sıcak karışım asfalt (BSK) kaplamaya göre değerlendirmektedir.TMA kaplama ve BSK kaplamalarının saha performansı, kaplama yönetim sistemindeki verilere ve saha ziyaretlerine göre değerlendirildi.Alan çekirdeği hem TMA hem de BSK kaplamalarından çıkarıldı ve dolaylı çekme (IDT) dinamik modül testleri, statik creep testleri, çivili lastik aşınma direnci testleri ve laboratuardaki orta ve düşük sıcaklık yurulma testlerine tabi tutuldu.Çalışma sonuclarına göre, sahada, TMA kaplamalarBSKkaplamalara göretekerlekler izi ve çatlamalara karşıdaha direnci iyi performans sergilrmiştiler.Sahadan çikarilan çekirdeklerinin laboratuar testlerinin sonuçlarına göre, TMA kaplamaların, yukarıdan aşağıya, aşağıdan yukarıya ve termal çatlama direnci açısından BSKkaplamalardan daha iyi performans gösterdiğini doğruladı.Geri kazanılan bağlayıcı testlerinin sonuçları, TMA karışımının BSK karışımından daha az yaşlanma gösterdiğini ve geri kazanılmış TMA bağlayıcısının, BSK bağlayıcısından daha iyi kırılma, yorulma ve ısıl çatlama direnci sağladığını gösterdi.Bu nedenle, TMA kaplamaları, uygun şekilde tasarlanıp üretildiğinde, asfalt kaplama ömrünü uzatmak için uygun bir çözümdür [62].

Şengül. C ve Oruç. Ş. [63] bu çalışmada Taş mastşk asfaltlarda katkı madde olarak sönmüş kirec, SBS ve Viatop 66 kullanmıştılar. Yapılan deneyler neticesinde en iyi sonuçları veren tasarımların tümünde Sönmüş kirecin yer aldığı, Elyaf katkılı karışım ile Sönmüş kireç katkılı karışım değerleri incelendiğinde ortaya çıkan paralellik TMA karışımlarda, sönmüş

kirecin elyaf katkı maddesinin yerini rahatlıkla tutacağı, ayrıca elyafla birlikte kullanılmasının, sadece elyaf kullanıldığındaki dayanım değerlerinden daha olumlu sonuçlar doğurduğu, SBS katkılı karışımlarda da benzer durumların görüldüğü tespit edilmiş olup, Sönmüş kirecin etkili bir katkı maddesi olduğu ve diğer katkı maddeleri ile birlikte ortaya koymuş olduğu performansın göz ardı edilmemesi gerektiği müşade edilmiştir.

Fahami. E. Goli. A. [64] bu çalışmada Taş Mastik Asfaltların bitümün süzülmesini engelleme amacıyla, Selülozik elyaf yanısıra deşik fillerler kullanılmıştır. Schellenberger bitüm süzülme deneyi sonuclarına göre, Silis kokanli fillerler sahip karışımlar bitümün süzülmesini engellemesinde başarısız davarnmalarına rağmen ince lastik kırentiye sahip karışımlar bu konuda çok iyi performans sergilemiştiler.

Hayati. P. Vd. [65] bu çalışmada polimer modifiye TMA asfaltlarının su hasarı karşı performansını araştırmışlar. Bu amaçla, % 3 ve % 5 oranlarında SBS ve EVA polimerleri kullanmıştılar. Bu polimerlerin TMA asfalt karışımları üzerindeki etkisini araştırmak için, bitüm üzerinde penetrasyon deneyi, TMA ve kontrol numuneleri üzerinde Marshall Stabilite ve dolaylı çekme testleri yapılmıştır. Bitümlü bağlayıcının test sonuçları ve asfalt karışım deneyleri sonuçlarına göre, modifiye TMA karışımlarının su hasarı karşı daha iyi performans gösterdiği gözlenmiştir. Test edilen numunelerin arasında, SBS polimeri içeren karışımların, EVA polimeriyle modifiye olan karışımlara göre daha ustun bir performans sergilemiştiler.

1.4. Yol Üstyapısı

Yol üstyapısı, sıkıştırılmış veya modifiye edilmiş zamin üzerinde yapılır. Bu yapı genellikle alt temel, temel ve asfalt veya beton kaplama veya bunların bir kombinasyonu gibi farklı tabakalardan oluşur. Bu bölmelerin her biri teknik özellikleri tabidir ve belirli bir kalınlığa sahiptir. Doğal zemin, iyi sikişmış halde bile, arçların yükünü taşımaya yeterli dirence sahip değil. Bu tür toprakların yüklenmesi kalıcı deformasyona neden olur. Yol üstyapısı bu hasrları meydana gelmesini önler ve rahat ve güvenli taşımacılık sağlar. Üstyapılar genelikle uç sınıfa ayrılabilir [66].

1.4.1. Rijit Üstyapılar

Rijit üstyapılarda, kaplama betonla inşa edilir. Tabanzemin iyi bir sikişma dirençine sahipse ve trafik ağır değilse, taban zemini üzerine beton plakyapılır. Beton yolun elastisite modülü, taban zemininin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu kaplamalarda, beton zaman

zaman deformasiyona ve çekme gerilme marüz kaler beton palakalar çatlaklar oluşup ve bözulmalar başlar. Bu bakımdan yüksek trafikli ve ağır taşıt fazla olan yollarda rijit üstyapı kullanılması önerilmiyor.



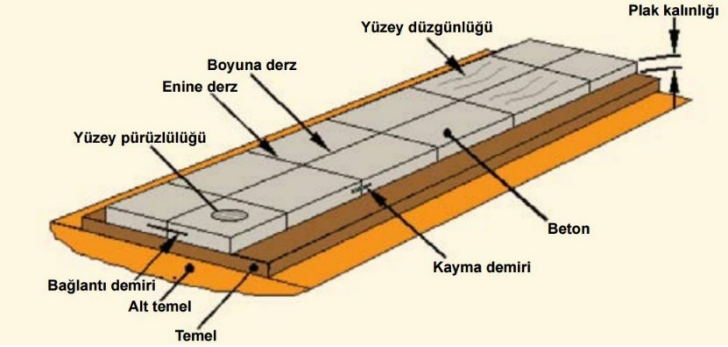
Şekil 1. Rejit üstyapı enkesiti

Soğuk ve sıcak mevsimler arasında büyük bir sıcaklık farkı olan bölgelerde, asfalt kaplamalar viskoelastik davranışlı nedeniyle, sıcak havalarda tekerlek izi hasrı oluşup, soğuk havalarda ise çatlamalar meydana gelebilir, bu hasrları önlemek bitümlü karışımın çok zor olmaktadır. Söz könüsü olan bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygun olabilmektedir [67].



Şekil 2. Rijit Üstyapı

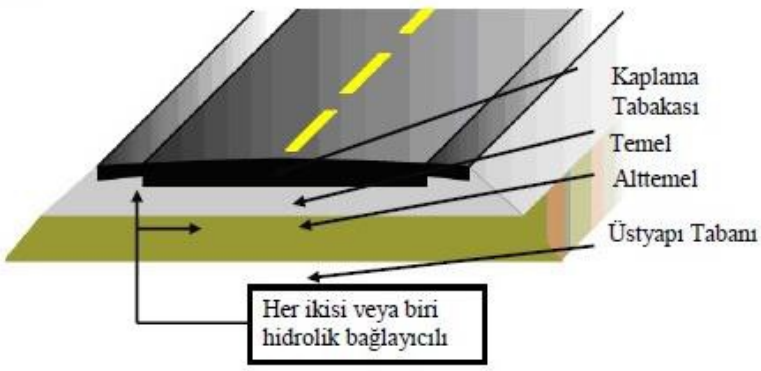
Beton yolların ilk yatırım maliyetleri esnek üstyapılaradan yüksek olmasına rağmen bakım maliyatları düşüktür. ayrıca rijit üstyapılarda, trafik yüklerinde ileri gelen gerilmeler, sıcaklık ve nem farkından dolayı beton plak çatlamalar meydana gelebilir. Şekil 3' de görüldügü gibi kaplamanın serbest hareket etmek amacına ulaşmak için beton plaklarıderzler yaparak bölmek gerekir. Rijit üstyapılar 30 – 40 yıllık hizmet ömrü için tasarımlanır [53].



Şekil 3. Rijit Üstyapı Enkesiti

1.4.2. Yarı-Rijit Üstyapılar

Yarı rijit üstyapılar esnek ve sert kaplamalar arasında bir ara aşamayı temsil eder, Bu tip üstyapılar eğilme dayanımı rijitüstyapılardan çok daha düşüktür, ancak bu tür kaplamalar esnek üstyapılar gibi, yüklerin üstyapının derinliği boyunca dağılmasını desteklenir. Yarı rijit üstyapılarda granüler temel veya çimento toprak alttemel ve bitümle bağlayıcılı stabilize edilmiş alttemel kullanılmaktadır. Bu tabakaların üzerine betonu binder ve aşınma tabakaları serilmesktedir. Ülkemizde çok yüksek tarfiklidevlet ve otoyollarında bu tür üstyapılar kullanılır[68].

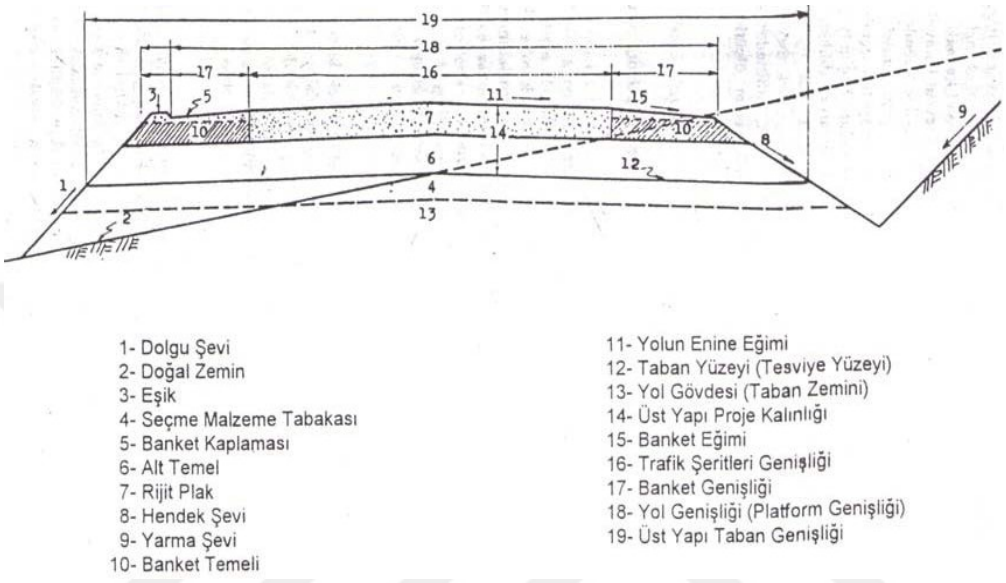


Şekil 4. Yarı rijit üstyapı kesiti

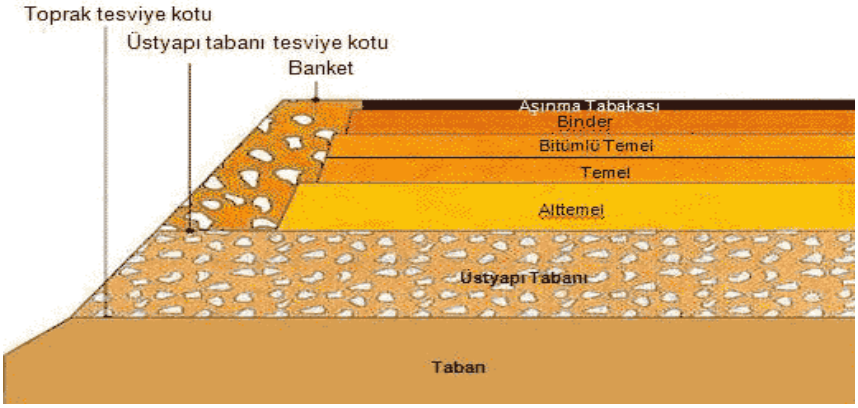
1.4.3. Esnek Üstyapılar

Bu karışım türü bitüm ve geranül malzemedenden yapılmaktadır ve neredeyse tüm dünyadaki en yaygın ve en eski kaplamdır. Esnek üstyapılarda uç farkılı, alttemel, temel ve

aşınma tabakası zemin yüzeyi üzerinde yapılır. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayarak trafik yüklerini, aşınma tabakasından, temel ve alt temel tabakalar yolu ile taban dağıtır, zemin özellikleri (stabilitesi ...) ve agrega özellikeri(daneler arası sürtünm ve kohezyon ve adezyon, esnek üstyapıların tasarımında çok önemli röl almaktadılar [69].

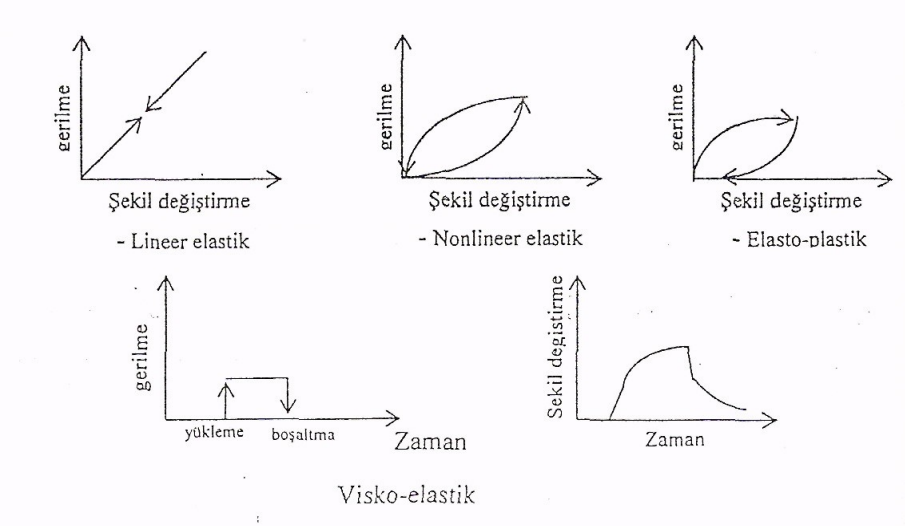


Şekil 5. Yol üstyapısı tip enkesiti



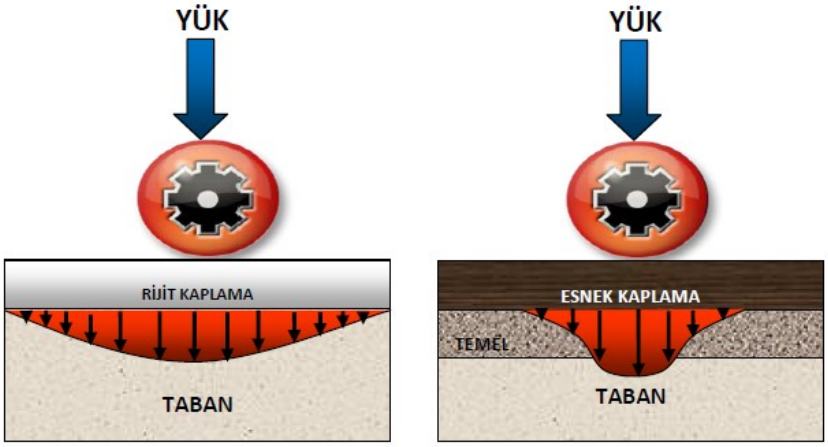
Şekil 6. Esnek üstyapı enkesiti

Bir Esnek üstyapısı, tabakalı bir sistem olduğundan çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Çünkü tabakalar farklı davranış gösteren malzemelerden meydana gelmektedir. Alttemel ve temel tabakalarını olusturan granüler malzemeler nonlinear elastik davranış gösterirler. Aşınma tabakasında ise özellikleri sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan visko-elastik davranış gösteren bitümlü karışımlar kullanılmaktadır.



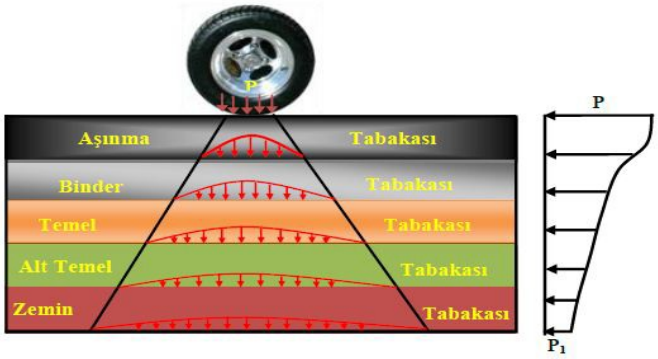
Şekil 7. Esnek üstyapımalzeme davranışları

Şekil 8' Esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme şekilleri yönünden farklılık gösterir.



Şekil 8. Rijit ve esnek üstyapılarda yük dağılımı

Şekil 9'de görüldüğü üzere bir esnek üstyapısı tabakalıdan oluşmaktadır. Trafik yükleri bu tabakalardan zemine iletilmektedir. Yani tekerlek yükleri gerilmelerin yoğunluğunu her tabaka, altındaki azaltarak indirebilmelidir. Böylece, taban zeminine ulaşan yükün büyük bir kısmı yükardaki tabakalarda yayılmaktadır. Gerilme dağılımı grafi incelendiğnde gerilmelerin miktarı üst tabakasından alta düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri ve kalitesi de üst tabakasından alta değişilibilir [70].



Şekil 9. Yol üstyapı kesiti ve gerilme dağılımı

1.5. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), Türkey ve tüm donyada yaygın olarak uygulanır ve her geçen gün kullanımı artmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), bir ham petrol ürünü olan asfalt çimentosu ile birbirine bağlanmış yaklaşık %95 taş, kum veya çakıl kombinasyonudur. Asfalt çimentosu ve agrega ısıtılır, birleştirilir ve Asflt pelentinde karıştırılır. Ortaya çıkan Bitümlü sıcak karışım, asfalt serme alanına taşınmak amacıyla kamyonlara yüklenir. Kamyonlar, Bitümlü sıcak karışım asfaltlama makinelerinin önündeki haznelere boşaltır (finişer). Asfalt yerleştirilir ve daha sonra asfalt üzerinde bir ağır silindir kullanılarak sıkıştırılır. Kaplama soğuduktan hemen sonra yol trafiğe açilir. [71].



Şekil 10. Bitümlü sıcak karışım yayma çalışmaları

1.6. Bitümlü Sıcak Karışımlardan Beklenen Özellikler

Hazırlanan ve yol üzerine serilen bitümlü karışımın bazı özellikleri sağlaması istenmektedir. Bunlar;

- Stabilite

- Durabilite (Dayanıklılık)
- Geçirimsizlik
- İşlenebilirlik
- Esneklik
- Yorulma mukavemeti
- Kayma direnc[72].

1.6.1. Stabilite

Bitümlü sıcak karışımların stabilitesi trafik yükürinen kaynaklanan deformasyonlara karşı gösterdiği kabiliyettir. Çok yüksek stabilite, karışıma zararlıdır. fazla yüksek stabiliteye sahip bitümlü sıcak karışımların gerilmeleremaruz kaldığında rijit davranış gösterep bu nedenle kaplamada çatlaklar oluşabilir[1].

1.6.2. Durabilite

Bitümlü sıcak karışımların durabilitesi, trafiğin aşındırıcı etkilerine çevresel şartlara direnç göstermesi yeteneğidir ile ilgilidir. Durabilite karışımın agrega danelerinin kırılması, ufalanması ve soyulmaya karşı dirençitir [1].

1.6.3 Geçirimsizlik

Bitümlü sıcak karışımların kaplamaya hava veya su girişini önleyen özelliktir. Bu özellik, karışımın hava boşluğu yüzdesi ile belirlenir. Karışımın tasarımında asfalt yüzdesi düşük ise ve hava boşluklar yüksek ise geçirimsizlik azalar ve bu nedenle asfaltın yaşlanması hızlanır, soyulma, donma ve çözülme mukavemetleri azalır[1].

1.6.4. İşlenebilirlik

Karışımın karıştırlma, serilmedaki ve sıkıştırılmadaki bleylyı ifade eder[1].

1.6.5. Esneklik

Bitümlü sıcak karışımların tabakalarda meydana gelen geçici oturma ve hareketlere karşı dirençitir. karışımın bitüm yüzdesi mühtavası ve kullanılan agregaların gradasyon karışımın esneklik özelliğni etkileyen önemli ünsürlediler [1].

1.6.6. Yorulma Mukavemeti

Bitümlü sıcak karışımların, tekrarlanan trafik yüklerinden kaynaklanan geçici deformasyonar karşı mukavemet kabiliyetidir. Bitümlü sıcak karışımların boşluk oranı ve kullanılan bağlayıcının viskozitesi karışımın yorulma mukavemetini etkiliyen faktörlediler[1].

1.6.7. Kayma Direnc

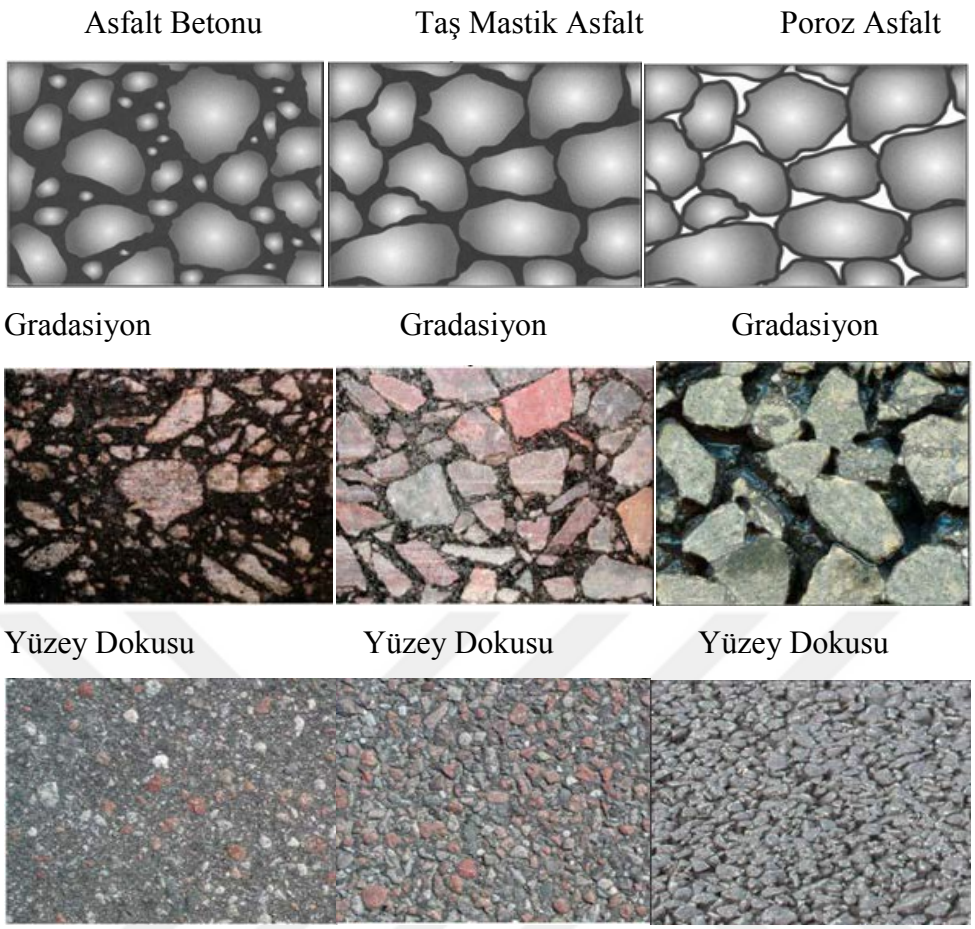
Bitümlü sıcak karışımların Kayma direnci, bir asfalt kaplamanın üzerinden geçen araçların frenleme sırasında emniyetle durabilmesi teker ile kaplama arasında bulunması gereken sürtünme kuvvetini temsil eder. Yoğun gradasyona sahip olan karışımlarda bitüm yüzdesi fazlaysa karışımınların kaymaya uygun olacaktılar [1].

1.7. Bitümlü Sıcak Karışım Tipleri

Bitümlü sıcak karışımlar agrega gradasyonuna ve beklenen performansa göre dört gurupa sınıflandırılabilirer;

- Açık Gradasyonlu sahip olan Karışımlar,
- Kesikli Gradasyonlusahip olan Karışımlar,
- Yoğun Gradasyonlu sahip olan Karışımlar,
- Harç Tipi Karışımlar,

Yukarda verilin dört gurup karışımların dane dağılımı, boşluk miktarı, asfalt mühtevası ve yüzey dokuları açilarınan farklılıklarıvarder [70].



Şekil 11. Asfalt betonu, Taş mastik asfalt ve Poroz asfalt yapısal farkları

1.8. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Temel Problemler

Bitümlü sıcak karışımlarda, kaplamalar genellikle trafiğe meruz kaltktan bir süre sonra yükler ve çevresel koşullar nedenile yol altyapısınıda bozulmalar oluşur. Türkiye' de ise tasarım yönteminin ve malzemesinin yanlış seçimi, iklimsel koşullar, trafiğin hızlı ve kontrolsüz şekilde artması, teknik ve proje açısından uygun olmayan altyapı inşaları, bakım üniteleri ve diğer üniteler arasındaki koordinasyon eksiklikleri, asfalt kaplamalarda bozulmalara sebebiyet vermektedir [73].

Asfalt kaplamalarda oluşan bozulmaları deformasyonlar, çatlamalar ve ayrışmalar olarak üç grupa bölünebilir[74].

1.8.1. Deformasyonlar

Düşük stabiliteli üretilen sıcak karışımların deformasyonlara daha müsait olan karışımlardılar . Deformasyon, asfalt kaplama tabakalarının inşa edildikten bir süre sonra ilk

kotuna göre değişikliğe uğraması olarak tanımlanabilir. Deformasyoların sürüş konforu ve emniyeti açısından önemli sakıncalara neden olabilirler. Deformasyonlara neden olan etkenler;

- Üst yapı Kaplama tabakalarının yetersiz sıkıştırılması
- Aşınma tabakasında aşırı filler ve bitümlü bağlayıcı kullanılması
- Alt tabakalarda ve zeminde aşırı hacim değişikliği olması
- Tabaka kalınlıklarının yetersiz olduğu
- Yol drenaj tesislerinin yetrsizlığı[71].

1.8.2. Tekerlek İzi Oluşumu

Tekerlekler İzi, zaman içinde asfalt kaplama yüzeyinde kalıcı deformasyon veya gerimlilerın birikmesi olduğunda ortya çikmaktadır. Bitümlü sıcak karışım agrega ve bağlayıcı hareket edebildiğinden dolayı tekerlekler izi oluşur. Bu hasar kaplalamada hava durumu, malzeme, zaman ve trafik yukleri gibi faktörlerin tesirlerinin sonucudur. Trafik yükü önemli ölçüde arttığından ve hava sıcak olduğundan, kaplamada tekerlekler izi oluşmak riski çok yüksektir. Asfalt kaplamadaki sıkı rastlanan hasarlardan biri tekerler izidir. Asfalt kaplamada bu hasarı önlemek her zaman yol güvenliğini etkilin temel faktörlerden biridir. Raporlara göre, tekerler izi tamiri için yıllık olarak milyonlarca dolar harcanıyor.[75].

tekerlek izine nedenolan faktörler;

- Alttemelin Kalıcı deformasyon,
- Yetersiz sıkışma,
- Yüksek hava sıcaklıkğı,
- Yuvarlak dere malzemesi,
- Yüksek penetrasyonlu asfalt,
- Ağır trafik yükü ve tekerrür sayısının fazlalığı,
- Ağır taşıtların yavaş hızı (tırmanma şeridi gibi),
- Aşırı asfalt ve filler yüzdesi veya filler/bitüm yüzdesi,
- Yetersiz temel tabaka kalınlığı ve zemin mukavemeti[74].



Şekil 12. Tekerlek izi oluşumu (Hanlı 2009)

Tekerlek izi hasarı kaynakları üç gurupa bölünmektedir;

- Yapısal kaynağı olan tekerlek izileri
- Bitümlü tabakanın akması kaynağı olan tekerlek izileri
- Konsolidasyon ve yüzeysel kaynağı olan tekerlek izileri

Yapısal kaynağı olan tekerlek izileri;

Yapısal tekerlekler izine neden olan en önemli faktörler alt tabakaların zafı ve trafik yüklerine uygun tasarlanmamış üstyapılardır (Şekil 13) [63].



Şekil 13. Yapısal tekerlek izi

Bitümlü tabakanın akması kaynağı olan tekerlek izileri;

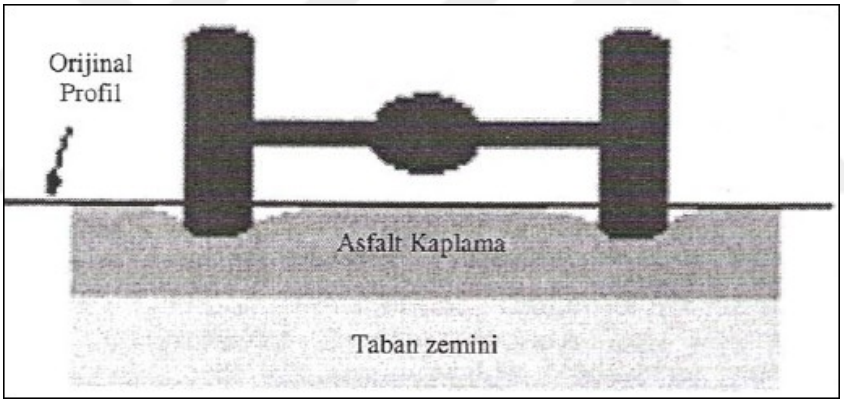
Akma tekerlekler izine neden olan bitümlü tabaka zafı ve kendi içlerindeki oluşan deformasyonlar etkileridir (Şekil 14) [63].



Şekil 14. Akma tekerlek izi

Konsolidasyon ve yüzeysel kaynağı olan tekerlek izileri

Konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izine neden olan en önemli faktör ise çivili kiş lastiklerin kullanılması ve kaplamanın yüzeyin sürtünmesidir (Şekil 15) [63].



Şekil 15. Konsolidasyon ve yüzeysel tekerlek izi

1.8.2.1. Tekerlek İzi Tahmin Modelleri

Tekerlek izi tahmini için farklı tahmin modelleri geliştirilmiştir**;**

- Shell Modeli
- Belçika Yol Araştırma Merkezi Modeli
- Von Quintus Modeli
- Zahw vd.'lerinin geliştirdiği Model
- Fernando, vd'lerinin geliştirdiği Model
- Saraf vd'lerinin geliştirdiği Model

1.8.2.1.1 Shell Modeli

Bu model' de tekerlek izi derinliği aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\Delta\square = C.h\frac{\sigma av}{Sm} \quad (1)$$

C : Dinamik etki için düzeltme faktörü.

h : Bitümlü tabakanın kalınlığı.

σ_{av} : Standart dingil yükü altında oluşan ve sıcaklığa göre değişen gerilme.

S_m : Karışımın rijitlik modülü.

1.8.2.1.2. Belçika Yol Araştırma Merkezi Modeli

Bu model' de kalıcı deformasyon aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$D= \Sigma\Delta h_i\ f_i\ (N) \quad (2)$$

D : Toplam kalıcı deformasyonu

Δhi : Her tabaka deformasyonı

Tablo 2. Ağır taşıt trafik hacmine göre tahmin edilen tekerlek izi değerleri (mm).

	Temel Kalınlığı **(cm)**	Ağır Taşıt Cinsinden Hizmet Ömrü			
		$N_c = 5x10^4$	$N_c = 5x10^5$	$N_c = 5x10^6$	$N_c = 5x10^7$
Esnek Üstyapı	40	3,8	5,5	6,4	8,8
	20	5,5	7,7	9	12,2
	10	8	10,3	10,8	13,6

Tablo 3. Tabakaların ortalama mekanik özellikleri (Belçika Modeli)

Malzeme	f(N)	Modül (Mpa)
Bitümlü bağlayıcılı tabakalar	4,49 $N^{0,25}$	5000
Kırmataş temel	h<12 cm ise $2N^{0,3}$ h>12 cm ise $2N^{0,2}$	500
Granüler alttemel	$2N^{0,3}$	200
Yol tabanı	1+0,7 logN	Parametre olarak 5,10,20,40

1.8.2.1.3. Von Quintus Modeli

Bu model' de kalıcı deformasyon aşağıdaki formül ile hesaplanır;

$$\text{Log } \varepsilon_p = \log A + m^* \log N \quad (3)$$

ε_p :Kalıcı deformasyon

N :Tekrarlı yük adedi

A,m: Regresyon sabitleri

$$m = \frac{\log a + 3{,}5563 * mc + \log(1 - x) - \log[a * (0{,}1)mc - \varepsilon rt]}{4{,}5563} \quad (4)$$

$$A = a^* (t_1)^{mc} - \varepsilon_{rt} \quad (5)$$

m_c : Statik sünme eğrisinin doğru olduğu kesimdeki eğimi.

a : Sünme – zaman eğrisinin 1. saniyesindeki sünme deformasyonu miktarı.

t_1 :Yükleme süresi (sn)ε_{rt} = Tekrarlı sünme deneylerinde oluşan toplam geriye dönen deformasyon.

x : Geri dönme yeteneğidir[63].

1.8.2.1.4. Zahw vd.'lerinin Geliştirdiği Model

Zahw vd. kaplamanın çekme ve kesme mukavemetlerini asası alarak bir model geliştirmiştiler.

Tekerlek İzi = 61,525-50,695 Ab – 0,0226 Visc - 0,315 Comp + 23,562 St – 11,688T (6)

Burada;

Ab: Kaba agreganın su absorbsiyonu,
Visc: Karışımda kullanılan asfalt çimentosunun kinematik viskositesi (santistok),
Comp: Sıkıştırma enerjisi, darbe sayısı,
St: Uygulanan gerilme, Mpa,
Ts: Dolaylı çekme mukavemeti, Mpa [76].

1.8.2.5. Fernando vd.'lerinin Geliştirdiği Model

Bu model' de Tekerlek izi derinliği : 279 x (kümülatif kesme deformasyonu) olarak hesaplanmıştır.

1.8.2.6 Saraf vd.'lerinin geliştirdiği Model

Bu yöntem 'de 152 mm'den fazla kalınlığı olan kaplamalarda;

$$\log RR = -1{,}173 + 0{,}717 \log d - 0{,}658 \log (N_{18}) + 0{,}666 \log \sigma_c \quad (7)$$

ve 152 mm'den az kalınlığı olan kaplamalarda ise;

$$\log RR = -5{,}617 + 4{,}343 \log d - 0{,}167 \log (N_{18}) - 1{,}118 \log \sigma_c \quad (8)$$

formülleri tekerlek izi oranı hesplamak için önerilmiştir.
RR: Tekerlek izi oranı = 25,4 nm ($1x10^{-6}$ in) / tekerrür,
d : Yüzey defleksiyonu = 25,4 μm ($1x10^{-3}$ in)
N_{18}: 8,2 tonluk (18.000 pound) dingil yükünü
σ_c: Düşey basınç gerilmesi = 6,9 kpa

1.8.3. Oturmalar

Oturmalar kaplamanın altındakı malzemede oluşur (Şekil 16). Otuermalara sebep olan etkenler;

- Altyapıda oturmalar,
- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- Banketlerin yetersizliği
- Yetersiz drenaj
- YüksekYer altı su seviyesin sahip olan zeminler
- Temel ve alt temel tabakalarının malzemelerinin taban zemininden kaynaklanan kille karışması gibi etkenler oturmaya neden olur [76].



Şekil 16. Bitümlü sıcak karışımlarda oturma

1.8.4. Oturmalar ve Çökmeler

Çökmeler, çatlakları içeren veya içermeyen ve orjinal kaplama sathına göre 2.5 cm veya daha fazla olabilen derinlikta 0.5 - 1.5m dairesel çukurlardır. Çökmeler, trafik güvenliğini ve sürüş kontrolünü azaltır. Çökmelere sebep olan etkenler;

- Temel, alt temel ve üstyapının yetersiz olarak sıkıştırılması,
- Temel, alt temel ve üstyapıda kalitesiz agrega kullanımı,
- Temel ve alt temel tabakalarının malzemelerinin kille karışması,
- Yetersiz drenaj nedeniyle temel tabakasının altında su birikimesi,
- Kaplamanın taşıyabileceği daha ağır trafik yükü ile karşılaşması,

- Yanlış yapım teknikleri ve yetersiz kalite kontrolü,
- Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimidır [74].



Şekil 17. Bitümlü sıcak karışımlarda çokme

1.8.5. Kabarmalar

Kabarmalar ise üstyapının bir kısmının ya da tabii zeminin şişmesi sonucu yukarı yönde yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır.[74].

1.8.6. Ondülasyonlar

yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve aralıkları yaklaşık olarak eşit olan dalga seklinde ortaya çıkan sathi deformasyonlardır [78].

ondülasyonlara sebep olan nedenler;

- Karışımların stabilitesini düşük olduğu,
- Aşınma tabakasının kalınlığı yetersizolduğu,
- Karşımda kullnılan bağlayıcının penetrasion yüksek veya viskozitesi çok düşükolduğu,
- Karışımda optimum değerden fazla bitüm kullanımı,
- Zayıf yapıştırma tabakası,

- Aşınma tabakasının kalınlığı yetersiz olduğu,
- Duraklarda vb. Kalkma ve durma (frenleme)[53].



Şekil 18. Kaplamada ondülasyon

1.8.7. Ayrışmalar

Trafik ve iklim koşulları ve trafik neden ile agrega danelerinin küçük parçalar halinde aşınma tabakasından kopmasına meydana gelen buzulmalardır[74].

1.8.8. Soyulmalar

Soyulmalar su ve trafiğin etkisi ile bitüm filminin agrega üzerinden soyulması ve bunun sonucu olarak agrega parçalarının yüzeyden kopması şeklinde oluşmaktadır (şekil 19).

.



Şekil 19. Kaplamada soyolma oluşumu

1.8.9. Sökülmeler

Trafik ve iklimsel koşulları nedeniyle sürekli olarak kaplama malzeme kaybı sunucu meydana gelir.

Sökülmelere sebep olan nedenler;

- İnce tabaka kalınlığı
- Parçalanmış agrega kullanması
- Yağmurlu havalarda imalat
- Karışımda bitüm miktarı azlığı
- Karışımın aşırı ısıtılması [53].

1.8.10. Çatlamalar

Çatlaklar, trafik yükleri ve tekrarlından ve iklimsel etkiler sunucu meydanan gelirler. Ayrıca araçların ani hızlanma veya yavaşlamalarıyla ortaya çıkan yatay doğrultudaki kuvvetler de neden olabilir.

Çatlamalar tipi;

- Timsah sırtı çatlaklar
- Termal çatlakları
- Kenar çatlakları
- Boyuna çatlakları
- Derz çatlakları
- Yansıma çatlaklarıdır [79].

Timsah sırtı çatlama veya yorgunluk çatlama asfalt kaplamanın yüzey tekrarlı yükleme meruz kaldığında ortaya çikar(Şekil 20)[79].



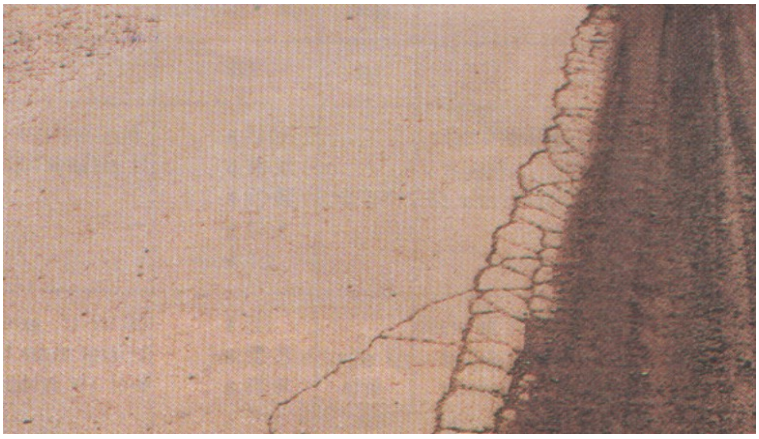
Şekil 20. Timsah sırtı çatlaklar

Termal çatlakları soğuk havalarda asfalt kaplamanın oluşur. Bu bozolmalar iklimsel ve mevsim değşimi sunucu meydana gelmektedirler (Şekil 21)[79].



Şekil 21.Termal çatlakları

Kenar çatlaklarıgenellikle 30 ila 60 cm arasında asfalt kaplamasını dış kenarı boyunca paralel olarak bulanmaktadılar. Kenar çatlakları nedeni kaplamanın kenarlarındaki toprağın veya malzemelerin dayanıklılığının olmaması olabilir(Şekil 22)[79].



Şekil 22.Kenar çatlakları

Boyuna çatlakları, kaplamanın ekseni ile paralel olarak meydana gelmektediler (Şekil 23)[79].



Şekil 23.Boyuna çatlakları

Derz çatlakları, Bu çatlamaların nedeni kaplamanın serme ve sikiştırma sirasinda ara derzin uygulanmasında hatalar yapmaktir (Şekil 24)[79].



Şekil 24.Derz çatlakları

Yansıma çatlakları,eski asfalt veya beton kaplamanın boyuna ve enine çatlaklarının temir etmeden üstüne yeni asfalt kaplama uygulandiktan sonra yükariya doğru yansılama sunucu oluşurlar ve yeni kaplamada yansıma çatlakları olarak buzulmasına neden olmaktadılar (Şekil 25)[79].



Şekil 25.Yansıma çatlağı

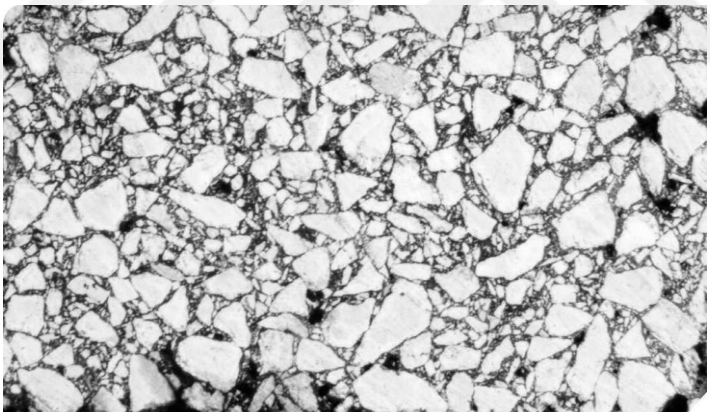
1.9. Taş Mastik Asfalt (TMA)

Taş mastik asfalt bir kesikli gradasyona sahip olan sıcak karşım türüdır. Taş mastik asfalt yapısal olarak kaba agrega ve bitümlü bir harçtan (selülozik veya mineral lifleri içeren bitüm ve filler) oluşmaktadılar. Bu karışımlarda, kaba dane, kaba danyedayanması gerekmektedir. TMA lar genlikle sicak iklimli bölgelerin yollarında ve ağır taşıtli yollarda ve yuğun trafikli yollarda kullnılır. Bu karışımlarda, yüksek kaliteli malzemeve 4.75 mm'den büyük olan agrega kullanılması nedinile, kalıcı deformasyon karşı yüksek performans

sergilemektediler(Şekil 26)(Şekil 27). Türkiye'de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), yakın geçmişte kaplamalarda oluşan deformasyonları azaltmak için karayolu asfalt aşınma tabaka tasarımında agrega gradasyonunu kabalaştırmıştır. Henüz çok yakın bir sürede de, TMA dizaynına geçmiştir. Bu doğrultuda, 2006 yılında yayınlanan " Karayolu Teknik Şartnamesi" nde taş mastik asfaltlarla ilgili koşullar tanımlanmıştır[63] [69].



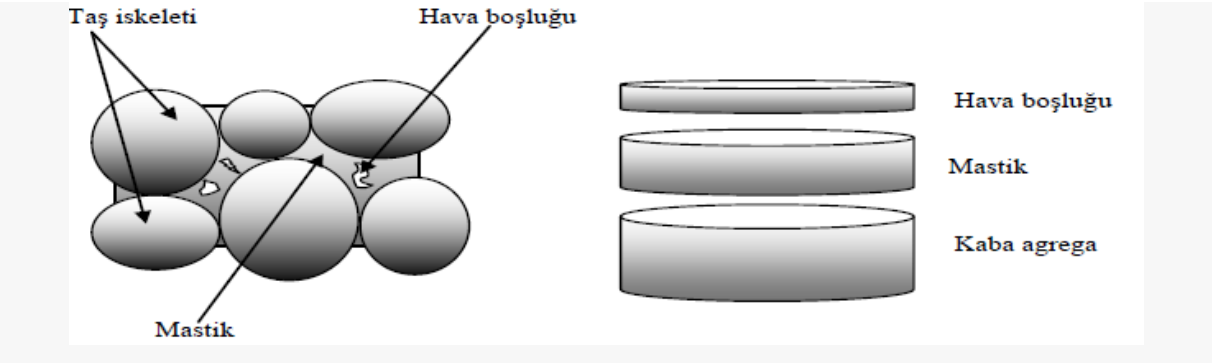
Şekil 26. Taş Mastik Asfalt Yüzey Dokusu



Şekil 27. Taş Mastik Asfalt Kesiti

1.9.1. Taş Mastik Asfal Yapısı

Taş Mastik Asfal yapısında genelikle yüzde 75 oranında kaba agrega, yüzde 20 oranında ince agrega ve yüzde 10 oranında filer ve yüzde 7 oranında bitüm, yüzde 0.3 oranında elyaf içeren kullanılmaktadır (Şekil 28). [53] [69].



Şekil 28. Taş Mastik Asfaltyapısı

1.9.2. TMA Avantajları

Taş mastik asfaltların başda gelen avantajları aşağada verilmiştir;

- Tekerlek izine ve kalıcı deformasyolara karşı direnç
- Kuvvetli yapısal iç direnç
- Düşük gürültü seviysi
- Kaymaya karşı daha direnç
- Görünürlük
- Daha üzün service ömrü.

1.10. TMA Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

TMA karışımlarda kullanılan agrega, bitümlü bağlayıcı ve katkı malzemelerinin özellikleri ve bileşim karakteristikleri, karışımların performanslarını doğrudan etkilemektedir.

1.10.1. Agergalar

Karışımın yük taşıma kapasitesini sağlamak için iyi kalitede kaba agregalar gerekir. Genel olarak, normal sıcak asfalt karışımları uygun olan agregaların özellikleri Taş mastik asfalt karışımlar için yeterlidir .Bununla birlikte, yassı ve uzun parça agregalar açisindan daha yüksek bir standardının uygulanması gerekebilir. Maksimum bir yassılk endeksi 25 önerilir. Agregaların cilalanma özellikleri de önemli olabilir. Bu nedenle Taş Mastik Asfalt

karışımlarda kullanılacak agregalar için temel özellikler vardır. Genelikle TMA karsımında kullanılan agerga sert ve sağlam olmalıdır[88].

1.10.1.1 Kaba ve İnce Agrega

Taş Mastik Asfalt karışımlarda kullanılacak ageregalar için ülkelerin istedikleri şartname sınır değerleri, genel olarak çok değişmemektedir. Kaba ve ince agregaların kırılmışlık yüzdesi yüksek olmalı, İnce agrega oranı ise düşük olmalıdır. Kaba agrega için kırılmışlık yüzdesi, çoğu ülke şartnamesinde %100' dür. KGM teknik şartnamesinde kaba agrega No.4 (4.75 mm) elek üzerinde kalan malzeme ve ince agrega No.4- No.200 (4.75-0.075mm) elekler arasında kalan malzeme olarak tanımlanmaktadır. Türkiyė de TMA kaplamalarda kullanılacak kaba ve ince agregalar için istenen sınır değerlerı Tablo 4' ve Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 4. KGM teknik şartnamesinde kaba agrega özellikleri

Özellikler	Şartname Limitleri	Deneyı standardı
Kırılmışlık Oranı, min	100	TS EN 933-5
Aşınma Los Angeles, maks%	25	TS EN 1097-2
Cilalanma Değeri, min%	50	TS EN 1097-8
Su Emme	2.0	TS EN 1097-6
Yassılık İndeksi, maks%	25	BS 812
Soyulma mukavemeti, min%	60	TS EN 12697-11
Hava Tesirlerine karşı Daynıklılık, (Mgso4 ile kayıp) maks%	14	TS EN 1367-2

Tablo 5. KGM teknik şartnamesinde ince agrega özellikleri

Özellikler	Şartname Limitleri	Deneyı standardı
Plastik İndeksi	N.P	TS - 1900-1
Organik Madde %	Negatif	TS EN 1744-1
Su Emme	2.0	TS EN 1097-6

1.10.1.2. Mineral Filler

TMA tipi karışımlar, kesik gradasyonlu karışımlar olduğundan, mineral filler gereksinimi yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha fazladır. TMA karışımlarda mastik kısmı; bağlayıcı malzeme, ince agreganın bir kısmı ve mineral fillerden oluşur. TMA karışımlarda, mineral fillerin büyük kısmı bağlayıcı içinde asılı kalırken, kalan kısmının yük taşıyan agrega iskeleti içinde kaldığı kabul edilmektedir. Filler olarak; Taş tozu, Yüksek fırın cürufu, Portland çimentosu, Sönmüş kireç ve uçucu kül kullanılabilir. Türkiyė de Karayollar Müdürlüğü nün TMA şartnamesinde ilave mineral filler için öngördüğü elek analizi Tablo 6' da verilmektedir.

Tablo 6. Mineral filler gradasyonu

Elek No	Elek Boyutu (mm)	Geçen (%)
40	0.42	100
80	0.177	85-100
200	0.075	70-100

1.10.2. Agregalara Uygulanan Deneyler

Karayollar üst yapısında kullanılacak agrega karışımının özelliklerini belirlemek için çeşitli deneyler uygulanmaktadır. Bu deneyler;

1. Elek Analizi Deneyi (TS EN 933-1, 2, ASTM C 136, C117, AASHTO T-11, T-27)
2. Los Angeles Aşınma Deneyi (TS EN 1097-2, ASTM C 131, C535, AASHTO T-96)
3. Donma-Çözülme Deneyi (TS EN 1367-1)
4. Yassılık İndeksi Deneyi (BS 812, ASTM D 4791)
5. Agrega Cilalanma Deneyi (TS EN 1097-8, ASTM E 303)
6. Soyulma Mukavemeti Deneyi (KTŞ Kısım 403 EK-A)
7. Vialit Yöntemi ile Yapışım Deneyi (KTŞ Kısım 403 EK-B)
8. Özgül Ağırlık ve Su emme Deneyi (TS EN 1097-6, ASTM C 127, AASHTO T-85) [1].

1.10.2.1. Elek Analizi Deneyi (TS EN 933-1, 2, ASTM C 136, C117, AASHTO T-11, T-27)

Bu deneyi kaba ve ince taneli agregaların boyut dağılımının açıklar. Ağırlıklı belilenen kurutulmuş agreganı büyükten küçüğe sıralanan bir eleklerden geçirilir ve dane boyutu dağılımı belirlenir. Her elek üzerinde kalan ve geçen agrega yüzdesi hesaplanır sonolarak agrega dağlımı gerafı çizilir.

Örnek alınan yığını temsil ettiği varsayılan malzeme 110±5°C sıcaklıktaki etüvde 24 saat bekletilerek kurutulur. Elek analizi yapabilmek için, standart boyuttaki elekler ASTM veya TSE standartlarında verilen agrega elek serilerine uygun olarak büyükten küçüğe doğru sıralanır ve birbiri üzerine yerleştirilir. En altta deliksiz toplama kabı (tava) bulunmalıdır. Etüvden tamamen kuru bir şekilde alınan agrega numunesi değişik elek açıklıklarına sahip eleklerin üzerine boşaltılarak elle sarsma veya otomatik eleme yöntemi uygulanır. Eleme işlemi tamamlandıktan sonra her elek üzerinde kalan malzeme miktarı ayrı ayrı tartılarak kaydedilir ve bir çizelge oluşturularak hangi tane boyutunda ne kadar malzeme olduğu belirlenir [80], [87].

1.10.2.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (TS EN 1097-2, ASTM C 131, C535, AASHTO T-96)

Bu deney agregaların aşınma direncini belirlemek amacı ile yapılır. Los angeles deneyisi, aynı mineral bileşimine ve çeşitli kaynaklardan sahip olan agergaların aşınma özelliklerini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılır. Deneye agrega numunesinin hazırlanmasıyla başlanır. En az 15 kg agrega numunesi yıkanılır ve sabit bir ağırlığa ulaşana kadar 221 ila 230 derece Fahrenheit (105 ila 110 santigrat derece) sıcaklıkta bir fırında kurutulur. Deneyden önce, numune ağırlığı yaklaşık 1 gram hassasiyetle kaydedilmelidir. malzeme getirilmelidir. Numune alırken bütün agrega yığının özelliklerini verecek şekilde alınmalıdır. 5000 ±5 gr 10-14 mm çaplı elekler arasında kalacak numune alınır bir Los Angeles makinesine (11 adet bilye konulmalıdır, bilyelerin çapı:45≈49 mm ağırlığı:400≈445 gr'dır) yerlaştirilir, Ardından malzemeyi makineden çıkarlır 1.6 mm elekten elenirve elek

üzerinde kalan malzeme tartılır. Elekten üzerinde kalan numune miktarı yüksek ise agregalar aşınmaya karşı daha direnclı sayelerlar[84].

1.10.2.3. Donma-Çözülme Deneyi (TS EN 1367-1)

Bu deneyi, Agregaların tekrarlı donma çözülme kuşullarda davrnışını belılemek amacıyla yapılmaktadir. Deney hızlanmış halinde Na_2SO_4, $MgSO_4$ kimyasal maddeler kullanılmaktadır. 8-16 mm arasında tane büyüklüğüne sahip olan agregalara numunsini 10 kez -17.5 de donma ve 20˚C çözme işlemine tabi tutulur. Daha sonra numunelerde meydana gelen değişimler incelenir[85].

1.10.2.4. Yassılık İndeksi Deneyi (BS 812, ASTM D 4791)

Bu deneyi agerga yassı tanelerinoranını agrega ağırlığna belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Deneyi, En küçük boyutu boyutunun 0.6 mmagrega numunelerinin üzerinde yapılır ve yassılık indeksi belirli açıklıkları olan bir şablon kullanarak yassı tanelerin ağırlığının, toplam numune ağırlığına oranını yüzdesi bulunur [83].

1.10.2.5. Agrega Cilalanma Deneyi (TS EN 1097-8, ASTM E 303)

Bu deney, Agregaların trafik yükleri etkisi altında aşınmaya karşı direncini ölçmek amacı ile yapılır. Deneyde 10mm̀ lik eleğinde geçip 10-14 mm̀ lik yassılık eleğinde kalan agrega kullanılır. Cilalanma makinesinin alt tekerleğine 14 adet numune sabitlenir. Üstteki teker 6 saat süreyle bu numunelere temas eder. Tekerlekle agregalar arasına ince aşındırıcı maddeler eklenir. Deney sonucunda elde edilen cilalanma miktarı yoğun trafikli bir yolların birkaç ayda düşük yoğunluklu yolların ise birkaç yılda ulaşacağı aşınma miktarına tekabül etmektedir. Deney sonucunda ölçülen kayma direnci, ilk kayma direncine oranlanarak cilalanma katsayısı elde edilir. Beton asfalt kaplamalarda kullanılacak agregaların minimum cilalanma katsayısının % 50 olması gerekmektedir. Bazalt, granit vb. Agregalarda cilalanma değeri yüksektir [1].

1.10.2.6. Soyulma Mukavemeti Deneyi (KTŞ Kısım 403 EK-A)

soyulma deneyinde, su ve sıcaklık etkisiyle agrega-bitüm adezyonundaki azalma belirlenir (Gırdap 2017). Bu deney sayesinde inşa ettiğimiz yollarımızın zamanla gerek su gerek kar gerekse diğer çevre koşulları yüzünden malzemelerinin birbirinden ayrılıp ayrılmadığına, ayrıldıysa da % kaç ayrıldığına karar vermek amacı ile yapılır. Deneyde 1 / 4" ile 3 / 8" arasında kalan elekteki agrega'dan 100 gram ve 5 gramlık bitüm alınır. 100 gramlık agrega 150 C derecede etüvde 2 saat ısıtınır. 2 saat sonra etüvden çıkan agrega ile bitüm ilave edilir daha sonra birlikte iyice karıştırılır. Agreganın sıcak olması ile bitüm ile agrega arasında bir aderans oluşuyor. Hazırlanan numunelerimizi 50 gram olmak şartıyla kaplara ayırılır. Kaplar oda sıcaklığına gelene kadar bekletilir. Oda sıcaklığına gelen numunelere saf su katarak her tarafını suyla kaplıyor ve etüve koyuyor 24 saat etüvde bekletilir. Etüvden çıkan kaplardaki sular boşaltılır ve ışık tutarak agrega ile bitümün birbirlerinden ayrılıp ayrılmadığına bakılır. Gayet ayrıldılarsa da ayrılma % yüzdesi bulunur.Beton asfalt için min soyulma direnci % 50 olmalıdır [88].

1.10.2.7. Vialit Yöntemi ile Yapışım Deneyi (KTŞ Kısım 403 EK-B)

Vialit Deneyi sathi kaplamalarda agrega ve bağlayıcı arasında ki yapışımı su etkilsi altında incelemek amacıyla yapılır. Deneyde, çelik deney levhaları (200*200*3 mm), mekanik mıcır serici, lastik bandajli laboratuvar silindiri, 500 ± 5 g ağırlığında ve 50 mm çapında çelik bilye ve deney cihazı kullanılır [88].

1.10.2.8. Özgül Ağırlık ve Su emme Deneyi (TS EN 1097-6, ASTM C 127, AASHTO T-85)

Agreganın özgül ağırlığı, agreganın havada ağırlığının ve 25˚C deki suyun ağırlığına oranıdır. Özgül ağırlık üç türü vardır.

1. Zahiri Özgül Ağırlık (Gsa): Belli sıcaklık ve birim hacimdeki geçirimsiz agrega numunesinin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış saf suyun havadaki ağırlığına oranıdır.

2. Hacim Özgül Ağırlık (Gsb): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirgen olan ve olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun oranıdır.

3. Efektif Özgül Ağırlık (Gse): Belirli bir sıcaklıkta agreganın asfalt geçirimli boşlukları hariç geçirimli ve geçirimsiz boşluklarının içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır. Sıkıştırılmış kaplamanın, hava boşluğu hesabında efektif özgül ağırlık, agrega tarafından absorbe edilen asfalt miktarını dikkate alınarak bulunan, kullanılır. Belirlenen karışım gradasyonuna uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde kaba agrega hacim ve zahiri özgül ağırlık, ince agrega hacim ve zahiri özgül ağırlık ile absorbsiyonu ve filler zahiri özgül ağırlığı deneylerle bulunur. Kaba, ince ve filler malzemenin özgül ağırlıkları kullanılarak, agrega karışımının özgül ağırlıkları aşağıdaki formüllerden hesaplanır[1].

$$\mathrm{Gsb} = \frac{\%\mathrm{K} + \%\dot{\mathrm{I}} + \%\mathrm{F}}{\frac{\%\mathrm{K}}{\mathrm{Gkb}} + \frac{\%\dot{\mathrm{I}}}{\mathrm{Gib}} + \frac{\%\mathrm{F}}{\mathrm{Gfa}}} \tag{9}$$

$$\mathrm{Gsa} = \frac{\%\mathrm{K} + \%\dot{\mathrm{I}} + \%\mathrm{F}}{\frac{\%\mathrm{K}}{\mathrm{Gka}} + \frac{\%\dot{\mathrm{I}}}{\mathrm{Gia}} + \frac{\%\mathrm{F}}{\mathrm{Gfa}}} \tag{10}$$

Gsb: Agerga karışımının hacim özgül ağırlığı

Gsa: Karışımım Zahiri özgül ağırlığı

%K, %İ, %F: Agregaların ağırlıkça yüzdeleri

Gkb, Gib: Agregaların hacim özgül ağırlıkları

Gka, Gia, Gfa : Agregaların Zahiri özgül ağırlıkları

Agrega efektif özgül ağırlık ise iki şekilde belirlenir;

a) Agrega özgül ağırlıkları aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\mathrm{Gef} = \frac{\mathrm{Gsb} + \mathrm{Gsa}}{2} \tag{11}$$

Gef: Agrega efektif özgül ağırlığı

b) Bitümlü karışımın maksimum teorik özgül ağırlık deneyi ile bulunur.

Beklenilen optimum bitüm yüzdesinden hazırlanan karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı deneyle belirlenir ve efektif özğül ağırlık aşağıdaki şekilde hesaplanır [1].

$$\mathrm{Gef} = \frac{100}{\frac{100+\mathrm{Wa}}{\mathrm{Dt}} + \frac{\mathrm{Wa}}{\mathrm{Gb}}} \tag{12}$$

Dt: Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı

Wa: Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı

Gb: Bitüm özgül ağırlığı

1.10.2.8.1. Kaba Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Bu deney iri agrega 4.75 mm elek üzerinde kalan agregaların özgül ağırlık ve su emme oranını tayin etmek amacıyla yapılmaktadır. Agrega tane dağlımını temsil edecek şekilde 2 kg numune alınır ve yıkanır. Numuneler 24 saat su içinde bekletilir. Sudan çıkarılan numuneleri havlu yardımı ile yüzey kuru, suya doygunhale getirilir. Bu halde tartım yapılır (B). Bu numuneler tel sepet yardımı ile agrega numuneleri üstten 5 cm su içerisinde kalacak şekilde su dolu kovaya daldırlır ve sudaki ağırlığı (C) bulunur. Agrega taneleri arasında hava boşluğu kalmaması için sepet birkaç defa sarsılabilir. Numuneler su içersinden çıkarılır 110˚C de etüvde kurutulur. Oda sıcaklığında değişmez ağırlığa ulaştığı kuru agrega ağırlığı (A) bulunur [87].

Hacim özgül ağırlık;

$$\mathrm{Gsb} = \frac{\mathrm{A}}{(\mathrm{B} - \mathrm{C})} \tag{13}$$

Zahiri özgül ağırlık;

$$\mathrm{Gsa} = \frac{\mathrm{A}}{(\mathrm{A} - \mathrm{B})} \tag{14}$$

$$\mathrm{SE}, \% \ = \frac{(\mathrm{B} - \mathrm{A})}{\mathrm{A}} * 100 \tag{15}$$

1.10.2.8.2. İnce Agrega Özgül Agırlık ve Su Emme Deneyi

Bu deney ince agregaların 4.75 mm ile 0.075 mm elekler arasında kalan agregaların özgül ağırlık ve su emme oranını tayin etmek amacıyla yapılmaktadır. İnce agregaların tel sepet ile tartımı mümkün olmadığından dolayı, ince agrega özgül ağırlık deneyleri piknometre yardımı ile yapılır. Agrega tane dağılımını temsil edecek şekilde 1 kg numune alınır. Numuneler 24 saat tepside su içinde bekletilir. Sudan çıkarılan numuneler sıcak hava kaynağı yardımı ile yüzey kuru, suya doygun hale getirilir. Bu halde tartım yapılır. Yüzey kuru, suya doygun numunelerden 500 gr alınır, piknometreye yerleştirilir. Bu halde piknometre tartılır (C). Numune üzerine su ilave edilir. El ile boşluk kaymayacak şekilde piknometre yatay olarak ileri geri hareket ettirilir. Piknometre çizgisine kadar su ilavesi yapılır ve tartılır (D). Sonra numuneler piknometre içersinden çıkarılır ve 110˚C de etüvde kurutulur. Oda sıcaklığında değişmez ağırlığa ulaştığı kuru agrega ağırlığı (E) bulunur [87].

A: Piknometre ağırlığı, (gr).
B: Piknometre + Su ağırlığı, (gr).
C: Piknometre + yüzey kuru, suya doygun numune ağırlığı, (gr).
D: Piknometre + yüzey kuru, suya doygun numune + Su ağırlığı, (gr).
E: Kuru numune ağırlığı, (gr).

$$\text{Gsb} = \frac{\text{E}}{(\text{B} - \text{A}) - (\text{D} - \text{C})} \tag{16}$$

$$\text{Gsa} = \frac{\text{E}}{(\text{B} - \text{D}) + \text{E}} \tag{17}$$

$$\text{SE} = \frac{(\text{C} - \text{A}) - \text{E}}{\text{E}} \tag{18}$$

1.10.2.8.3. Filler Agrega Özgül Ağırlık

Bu deney ince agregaların 0.075 mm elekten geçen agregaların özgül ağırlık tayin etmek amacıyla yapılmaktadır**.** Agrega tane dağılımını temsil edecek şekilde 100 gr numune alınır. Etüvde110˚C denumuneler değişmez ağırlık sağlanana kadar kurutulur. Kurutulan numuneler piknometre içerisine konulur ve tartım yapılır. Numune üzerine su ilave edilir.

Vakum pompası ile hava boşluğu kalmayacak şekilde kabarıcıklar bitene kadar vakumlanır. Piknometre çizgisine kadar su ilavesi yapılır ve tartılır (D) [87].

$$\text{Gsa} = \frac{\text{E}}{(\text{B} - \text{A}) - (\text{D} - \text{C})} \quad (19)$$

A: Piknometre ağırlığı, (gr).

B: Piknometre + Su ağırlığı, (gr).

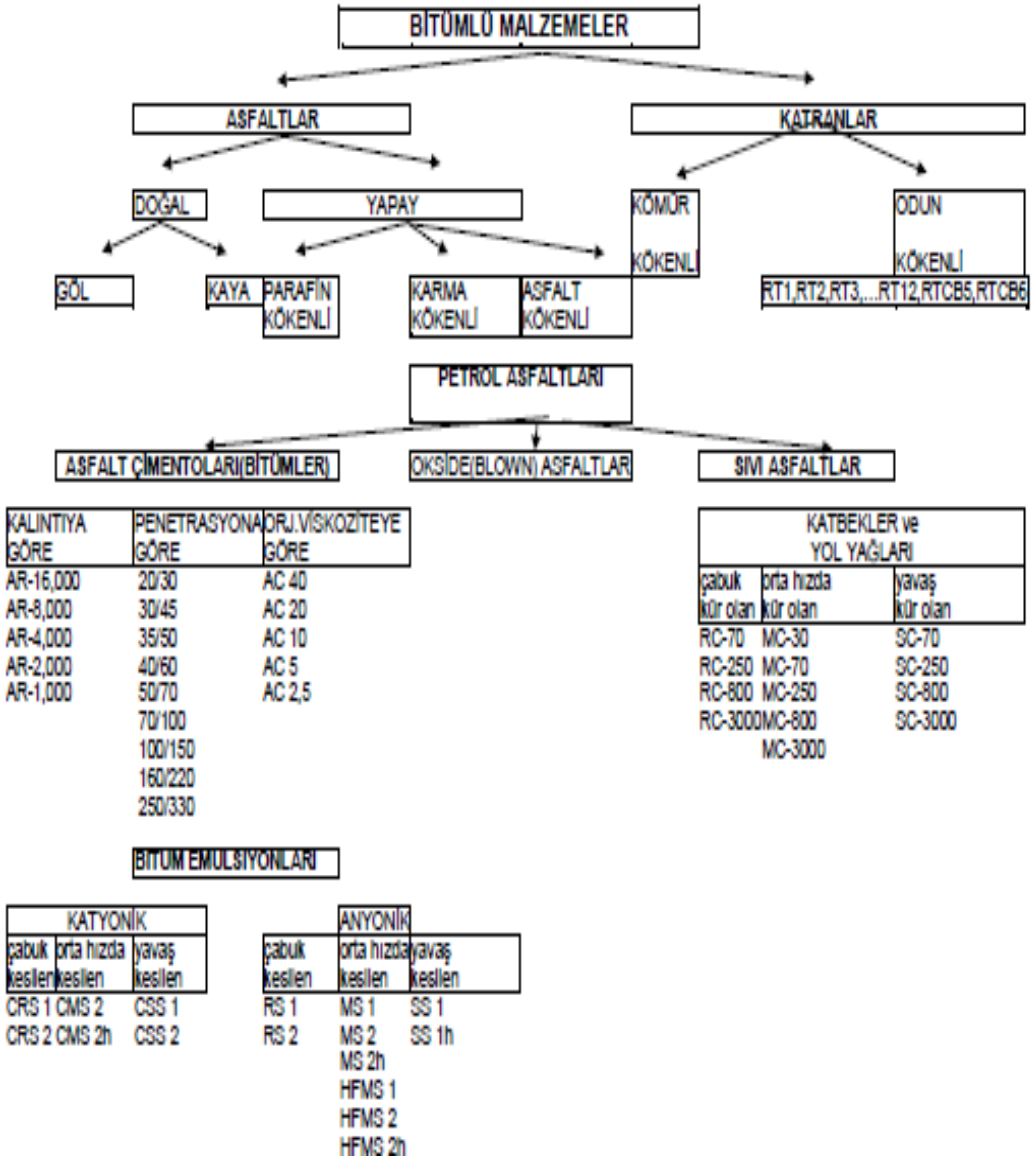
C: Piknometre + numune ağırlığı, (gr).

D: Piknometre + numune + Su ağırlığı, (gr).

E: Kuru numune ağırlığı, (gr)

1.10.3. Bitümlü Bağlayıcılar

Bitüm, Doğal veya pirojen kaynaklı hidrokarbonların tekli veya birlikte karışımlarından ibaret olup, gaz, sıvı, katı veya yarı katı halde bulunan, yapıştırıcı özelliklere sahip, CS_2 de çözünen karışımlardır. Bitümlü bağlayıcıların fonksiyonu, agrega taneleri ve agrega ile yol yüzeyi arasında bağlantıyı sağlamaktır. TMA karışımlarda tekerlek izi ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dirençli olan düşük penetrasyonlu bitümlü bağlayı kullanmanın doğru olacağı açıktır [70]. Bitümün kimyasal bileşenleri Şekil 29' de verilmiştir. Şekil de görüleceği üzere, bitümlerin % 95 – 99 luk oranı hidrokarbonlardan oluşmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar asfaltlar ve katranlar olarak iki grupta incelenebilirler [89].



Şekil 29. Bitümlü Bağlayıcının sınıflandırılması

1.10.3.1. Bitümlü Bağlayıcıların Genel Özellikleri

- Siyah ve ya koyu kahve rengidilır.
- Su geçirmezlik ve bağlayıcılık özelliklerine sahiptir.
- Uçucu değildir ve ısıtıldığı zaman tedricen yumuşar**.**

1.10.4. Asfaltlar

Rangi koyu kahve renginden siyaha kadar değişebilen, doğal olarak veya petrolün damıtılmasından elde edilen, çok viskoz , sıvı ,katı veya yarı katıolabilen, yapıştırma özelliğine sahip yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonlardan oluşan bağlayıcı malzemedir. Doğal asfaltlar doğada minerallerle karışmış halde bulunurlar. Göl veya kaya asfaltı olabilir. Doğal asfaltı kullanılabilir hale gelmesi için bir takım işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Trinidad göl asfaltı, en yaygın kullanılan doğal asfaltıdır. Yapay asfaltlar ham petrolün damıtılmasından elde edilir. Asfalt çimentosu (AC), sıvı asfaltlar (katbek) ve asfalt emülsiyonları şekilinde bulunmaktadır [68].

1.10.4.1. Asfalt Çimentosu (AC)

Petrolün ileri derecede damıtılmasından SC sınıfı yavaş kür olan yağlar elde edilir. Geriye kalan madde asfalt çimentosudur. Penetrasyon derecesine göre sınıflandırılan AC Tablo 7' de verilmiştir [89].

Tablo 7 . Asfalt Çimentolarının Sınıflandırılması

Penetrasyon Sınıflandırılması	Penetrasyon Sınıflandırılması
20 – 30 Penetrasyonlu AC	70 – 100 Penetrasyonlu AC
30 – 45 Penetrasyonlu AC	100 – 150 Penetrasyonlu AC
35 – 50 Penetrasyonlu AC	160 – 220 Penetrasyonlu AC
40 – 60 Penetrasyonlu AC	250 – 330 Penetrasyonlu AC
50 – 70 Penetrasyonlu AC	-

1.10.4.2. Sıvı Petrol Asfaltları

Pentrasyon derecesi bilinen bir asfaltın, içinde eriyebileceği bir çüzücü ile karıştırılması ile elde edilirler. 0 – 5 arasında numaralandırlırlar. Numara büyüdükçe kıvamlılıkları artar. RC sıvı petrol asfaltları bitüm ile kaynama noktası düşük (benzin) karıştırılması ile elde edilir. MC sıvı petrol asfaltları bitüme orta derecede çözücü (gaz yağı) ilave edilmesi sonucu elde edilir. SC bitüme ağır yağlar (bakiye yağ) ilave edilmesi sonucu elde edilir [68], [1].

1.10.4.3 Asfalt Emülsiyonları

Emülsiyon; biribiri içersinde çözünemeyen iki sıvıdan birini diğeri içersinde küçük küre tanecikleri şeklinde homojen olarak dağılmasıdır.

Bitüm ile sudan oluşan karışıma emülgatör adı verilen katkı maddesi katılır. Bu şekilde küreciklerin birbirine yapışması önlenir. İlave edilen katkı maddesine göre anyonik veya katyonik asfalt emülsiyonları olarak adlandırılırlar. Suyun buharlaşması ile bitüm küreciklerin agregalara yapışır böylece emülsiyon kesilir, ve istenilen karışım elde edilir [89].

Tablo 8 .Asfalt Emülsiyonlarının Viskozitelerine Göre Türleri

Emülsiyon Tipi	Çabuk Kesilenler	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilenler
Anyonik Asfalt Emülsiyonu	RS-1 RS-2 HFRS-2	MS-1 MS-2 MS-2h HFMS-1 HFMS-2 HFMS-2h HFMS-2s	**SS-1** **SS-1h**
Katyonik Asfalt Emülsiyonu	**CRS-1** **CRS-2**	**CMS-2** **CMS-2h**	**CSS-1** **CSS-1h**

1.10.5. Katranlar

Odun veya kömürün kuru olarak yüksek sıcaklıklarda özel yöntemlerle damıtılmasından elde edilir. Yol yapımında kömür kaynaklı katranlar kullanılırlar. Agregalara yapışma özelliği asfalta nazaran daha iyi olan katran, sıcaklık değişimlerinden olumsuz etkilenerek daha hızlı bozulur. Bu eksikliği gidermek için katran içerisine ağır yağlar katılmaktadır. Katranın özelliklerini iyileştirmek amacıyla uygulanabilecek diğer bir yöntem ise %15-20 civarında asfalt ilave etmektir.

RT sembolü ile gösterilen yol katranları kıvamlılıklarına göre RT - 1, RT - 2, ... RT – 12 ve RTCB – 5, RTCB – 6 olmak üzere 14 sınıfa ayrılırlar. Numaralar büyüdükçe kıvamlılık artar [68], [90].

1.10.6. Polimer Modifiye Bitümler

Saf bitumen mekanik , kimiyasal ve fiziksel özlliklerin modifıye etmek amacıyla kullanılan yapaı (kimiyasal) maddelerin kullanılmasıyla elde edilem bitüm türdüler. PMB kullanarak iklimsel ve trafik yuklerinden dolayı gelen ve hasarlara göre daha başarlı sıcak karşımlarlar üğretile bilirler[1].

1.10.7. Bitümün Modifikasyon Yöntemleri

Modifikasyon işlemi genel olarak iki türlü yapılabilmektedir. Bunlar:

1- Katkı maddesi bitüme katılarak, “modifiye bitüm” elde edilir.

2- Katkı maddesi, asfalt plentinde doğrudan karışıma katılarak, ”modifiye karışım” elde edilir.

[77], [91].

1.10.8. Modifiye Bitümlerde Kullanılan Ana Kimiyasal Katkılar

Karışımların kullanılan bölgenin hava ve ikllimi ve yola uygulana tarfik yükleı ve yolun özellikllerıne göre modifiye edici tipi ve türü seçilmektedir. Zaman Zaman duğruma göre bir den fazla modifiye katkısı karışımlarda kullanmak gerkiyor. Katkı maddelerinin genel sınıflandırılması Tablo 9’ de verilmiştir [61], [77], [1].

Tablo 9. Katkı maddelerinin genel sınıflandırılması (Ensar 2011)

TİP		ÖZELLİKLER	Modifiyerlerin Asfalt Çimentosunun Kıvamına Genel Etkisi
1- Filler		• Mineral Filler : Taş tozu Kireç Portland çimentosu Uçucu kül • Karbon siyahı • Sülfür	Sertleştirme
2- Uzatıcı (Extender)		• Sülfür • Lignin (Odun özü)	Sertleştirme
3- Kauçuk a) Doğal lateks b) Yapay lateks c) Blok copolymer d) İşlenmiş kauçuk	POLİMERLER	• Doğal kauçuk • Strene -butadien veya SBR • Strene-butadien-Strene veya SBS • Dönüştürülmüş kauçuk	*
4-Plastik		• Polietilen • Polipropilen • Etil-vinil-asetat, EVA • Polivinil klorid, PVC	Sertleştirme
5- Bileşim		• 3 ve 4'deki polimerlerin karışımı	*
6- Fiber		• Doğal : Asbest Taş yünü • Yapay : Polipropilen Polyester Fiberglas	Sertleştirme
7- Oksidan		• Manganez tuzu	Sertleştirme
8- Antioksidan		• Kurşun karışımları • Karbon • Kalsiyum tuzu	Yumuşatma
9- Hidrokarbon		• Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları • Sertleştirme ve doğal asfaltlar	Yumuşama Veya Setleştirme
10- Soyulma önleyici		• Aminler • Kireç	Yumuşatma

*Bazı malzemeler, sıcaklık sırasına bağlı olarak asfalt çimentosunu sertleştirir yada yumuşatır.

1.10.9. Bitümlü Bağlayıcılara Uygulanan Deneyler

Bir yol kaplamsında kullanılacak bağlayıcının teknik şartname sınırlarına uyup veya uymadığnı belirlemek amacıyla aşağıda verilrn deneylerin yapılması gerekmektedir.

- Bitümlere Uygulanan Deneyler
    1. Penetrasyon
    2. Yumuşama Noktası
    3. Trikloretilende çözünürlük
    4. İnce film halinde ısıtma
    5. Parlama noktası
    6. Özgül Ağırlık
    7. Fraass kırılma noktası
    8. Parafin mumu içeriği

- Sıvı Petrol Asfaltlarına Uygulanan Deneyler Tablo 10' de verilmiştir;

Tablo 10. Sıvı Petrol Asfaltlarına Uygulanan Deneyler

Yavaş Kür Olan (SC)	**Orta Hızda Kür Olan (MC) ve Çabuk Kür Olan (RC)**
- Saybolt-Furol viskozitesi **- Kinematik Viskozite** **- Parlama noktası (Cleveland açık kabı)** **- Destilasyon** **Destilasyon kalıntısında:** **-Yüzme deneyi** **-Belirli penetrasyonlu kalıntı 100 penetrasyonlu kalıntıda:** **-Yüzme deneyi** **-Trikloretilende çözünürlük** **-Su miktarı** **-Özgül Ağırlık**	- Saybolt-Furol viskozitesi - Kinematik Viskozite - Parlama noktası (Cleveland açık kabı) - Destilasyon Destilasyon kalıntısında: - Penetrasyon - Düktilite - Trikloretilende çözünürlük - Su miktarı - Özgül ağırlık

- Bitüm Emülsiyonlarına Uygulanan Deneyler Tablo 11' de verilmiştir;

Tablo 11. Bitüm Emülsiyonlarına Uygulanan Deneyler

Anyonik Bitüm Emülsiyonları	Katyonik Bitüm Emülsiyonları
-Saybolt Furol viskozitesi	-Saybolt Furol viskozitesi
-Çökme	-Çökme
-Depolanma stabilitesi	-Depolanma stabilitesi
-Emülsiyon kesilmesi	-Emülsiyon kesilmesi
-Örtme kabiliyeti ve suya karış direnç	-Örtme kabiliyeti ve suya karış direnç
-Çimento ile karıştırma	-Partikül yükü
-Elek deneyi	-Çimento ile karıştırma
-Destilasyon	-Elek deneyi
Destilasyon kalıntısında:	-pH tayini
-Penetrasyon	-Destilasyon
-Duktilite	Destilasyon kalıntısında:
-Triklorelitende çözünürlük	-Penetrasyon
-Kül miktarı	-Duktilite
	-Triklorelitende çözünürlük
	-Kül miktarı

- Modifiye Bitümlere Uygulanan Deneyler
    1. Penetrasyon
    2. Kuvvet Ölçümlü Duktilite
    3. Yumuşama Noktası
    4. Elastik geri dönme
    5. Parlama noktası
    6. Depolama stabilitesi
    7. RTFOT (dönmeli ince film etüvü testi) / TFOT (İnce film halinde ısıtma)
    8. Özgül Ağırlık
    9. DSR (dinamik kesme reometresi)
    10. BBR (kiriş eğme reometresi)[1].

1.10.9.1. Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426, AASHTO T49, ASTM D5)

Bitüm penetrasyon deneyi, bitümün sertliğini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. için kullanılır. penetrasyon, 5 saniye içinde 100 gramlık bir yükün etkisi altında standart bir iğnenin, 25 °C bir bitümün içine girenmiktardır (milimetre cinsinden).Bu nedenle, bitümün penetrasyon derecesi küçük ise bitüm sertdir, bitümün penetrasyon derecesi yüksek ise, bitüm yumuşaktır. Böğylece bitümün kullanılacağı bölgenin hava koşulları sıcak ise, daha fazla trafik ve araçların yükü ağır ise, yüksek penetrasyon derecesine sahip bitüm kullanımılıdır ve bölgedeki hava durumu soğuk ise küçük penetrasyon derecesine sahipbitüm kullanılmalıdır [66], [1].

1.10.9.2. Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427, AASHTO T53-08, ASTM D36)

Bitümün sıcaklık değişmelerine karşı olan duyarlılıklarını belirlemek. Bunu ölçmek için en kısa ve en basit yöntem "yüzük ve bilya yöntemi" ile yumuşama noktasının bulunmasıdır. Bitümlerin yumuşama noktası ile viskozite değerleri doğru orantılıdır. Başlangıç deney sıcaklığı 5ºC olarak şekilde içi su dolu beher ayarlanır. Deney numuneleri, bilye sabitleme aparatı ve termometre; halka ve termometre düzeneğine takılarak behre içersine yerleştirillir. Deney sıcaklığı dakikada 5ºC artacak şekilde ısıtıcı ayarlanır. Deney halkaları içerisindeki bitümün, bilyelerle birlikte aşağıya sarkan kısmı düzeneğin taban yüzeyinde değdiği anda termometreden sıcaklık değerleri okunur [92], [93].

1.10.9.3. Düktilite Deneyi (TS EN 12589, AASHTO T51, ASTM D113)

Asfaltın uzama ve çekilebilme özelliği düktilite olarak ifade edilmektedir. Ayrıca düktilite, asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanabilir. Asfaltın bağlama yeteneği düktilitesine bağlıdır. Düktilite değeri yüksek olan asfaltların bağlayıcılık özellikleri de yüksektir.Düktilite cihazı, içi 25°C sıcaklıkta su ile dolu olan ve asfalt numunesini 5cm/dk hız ile yatay olarak çekilir[94], [73].

1.10.9.4. Trikloretilende Çözünürlük (TS EN 12592)

Deney, bitümün bonyesinde mineral madde bulunmayan ya da çok az bulunan trikloretilen, benzen, karbon sülfür çözünürlüğünü belirlemek amacıyla yapılr. Şartname sinirlrine göre Bitümün trikloretilende en az % 99 çözülmesi gerekmektedir[1], [95].

1.10.9.5. Viskozite (TS 117, AASHTO T72, ASTM D88, 2161)

Bitümün Akışkanın hareketini ve akışını önleyen iç direncine viskozite denir. Viskozite bitümün, kıvamlılığı göstrmektedir. Viskozite miktar, bitüm performansının belirlenmesinde etkilidir, böylece bitümün, yüksek sıcaklıklarda viskozitesi düşük olacaktır. Saybolt Furol Viskozimetresisıvı bitümlerin viskozitlerini belirlemek için kullanılır. Saybolt Furol test alentinin delikinen, 60 cm^3 sıvı bitümün 135°C akmasi için gereken süre saniye cinsinden değer ölçülür [1].

1.10.9.6. Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087, AASHTO T228, ASTM D70)

Bu deney bitümün özgül ağırlığını tayin etmek amacıyla yapılmaktadır. Asfalt bağlayıcının özgül ağırlığı, 25^{o}C'de hacmi bilinen bir miktarının ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına bölünen orandır. Genellikle piknometre yöntemi ile özgül ağırlık belirlenir. Yüksek viskoziteli sıvı ve yarı-katı bitümlü maddeler ve asfalt emülsiyonları özgül ağırlığlıklarını belirlemekiçin piknometre test aleti kullanılır. Deney de ilk olarak piknometre temizlenir ve tartılır. Ardından piknometre su ile doldurulur, ağzı kapatılır ve dışı kurulanarak tekrar tartılır. Sonrasında piknometre içerisine bitüm konulur ve ısıtılır. Bu ısıtma esnasında bitüm içerisinde buharlaşmanın olmaması sağlanmalıdır. Üzerine damıtılmış su ilave edilir. Piknometrni ağzı kapaliken e 25°C±0.5 de 30 dakika bekletilir. Dış kısımları kurutulduktan sonra tartım yapılır. özgül ağırlık hesabı Formül 19 de verilmiştir [1], [63], [93].

$$\mathrm{Gsb} = \frac{\mathrm{E}}{(\mathrm{B}-\mathrm{A})-(\mathrm{D}-\mathrm{C})} \tag{20}$$

A: Piknometre Ağırlığı, (gr).

B: Piknometre + Su ağırlığı, (gr).

C: Piknometre + Bitüm ağırlığı, (gr).

D: Piknometre + Bitüm + Su ağırlığı, (gr).

E: Sade bitüm ağırlığı, (gr).

G_{sb}: Bitüm Özgül Ağırlğı, (gr/cm^3).

1.10.9.7. Parlama Noktası Deneyi (TS EN ISO 2592, AASHTO T48, ASTM D92)

Bir maddenin alev temasında geçici olarak parladığı ancak yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık parlama noktası olarak tanımlanır. Saf bitüm, katran yanıcı maddelerdir, bu yüzden çalıştığımız bitümü ne kadar ısınabileceğimizi bilmemiz gerekiyor. Bu konu pelentde şantiyada ve laboratuarda güvenlik açısından çök önemli bir hususdır. Deney de ilk olarak numune kabı belirli bir seviyeye kadar bitümle doldurulur. Ardından numunenin sıcaklığı önce parlama noktasına tahminen 28ºC yaklasıldığında yavaş ve sabit hızla yükseltilir. Belirli sıcaklık aralıklarıyla tüp alevi bitüm haznesi üzerinde gezdirilir. Deney alevinin bitüm üzerine tatbik edilmesiyle, numunenin parladığı en düşük sıcaklık parlama noktası olarak alınır [1], [97], [98].

1.10.9.8. Fraass Kırılma Noktası Deneyi (TS EN 12593, AASHTO T315, ASTM D7175)

Bu deney bitümün düşük sıcaklıklarda kırılganlık ölçüsü olan Fraass kırılma noktasını belirlemek için kullanılır. Fraass Kırılma Noktası, Genelikle soğuk bölgelerde kullanılacak bitümün tipini belirlemek amacıyla yapılan deneyidir. Deney başlangıçında 0.40 gr bitüm starndart metal lehva üzerine konulur. Daha sonra ısıtılarak akışkan hale getirilen bitümün lehva üzerinde homojen bir şekilde dağılması sağlanır. Bu işlemler 10 dakika içersinde yapılmalıdır. Tahmin edilen kırılma noktasının en az 15ºC üzerinde bir sıcaklık değerinde lehva kaplanır. Deney süresi 30–240 dakika arasında değişebilir. Numune plakaları 1 ºC/dak. şeklinde soğutulur. Tahmin edilen kırılma noktasının 8–12ºC öncesinden metal plakaların bükülmesi sağlanır. İlk çatlakların oluştuğu sıcaklık derecesi kayd edilir. Deney 2 veya 4 adet yapılır. Sonuçlar arasındaki fark 2 ºC yi aşmamalıdır [99], [100].

1.10.9.9. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi, TFOT (TS EN 12607-2, AASHTO T179, ASTM D1754)

Yarı katı asfalt bağlayıcıların üzerindeki ısı ve hava etkilerini araştırmak amacıyla kullanılan bir deneyidir. Asfalt betonunn hazırlanması ve serilmesı sırasında oluşan yüksek ısılardan dolayı bitüm miktarında meydana gelen malzeme kaybını tespit etmek amacı ile yapılır. İnce film halinde ısıtma deneyi, 3.2 mm kalınlığındaki bir asfalt filminin, 5 saat süre ile 163°C sıcaklıktaki döner tablalı bir etüvde ısıtılmasından sonra, numune dikkatli bir

şekilde etüv dışına çıkarılarak soğutulur. Numunenin son ağırlığı ölçülür. Bitümlü maddenin ısıtma kaybı Formül 20 yardımıyla hesaplanır [70], [101].

$$\text{Bitüm Isıtma Kaybı} = \frac{W1 - W2}{W1} * 100 \quad (21)$$

W_1; Deney öncesi ilk numune ağırlığı, (gr).

W_2; Deney sonrası son numune ağırlığı, (gr).

1.10.9.10. Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi, RTFOT (TS EN 12607-1, , AASHTO T240, ASTM D2872)

Bitümlü Sıcak Karışımlar üretimi ve yapımı süresinde bitümün yaşlanmasını belirlemek amacı ile gerçekleştirilen bir deneydir. Kısa dönem yaşlanmanın etkilerini belirlemek için kullanılır. Bitümün yaşlanmasından dolayı bir kütle kaybı oluşur; ancak bazı asfaltlarda okside ürünler oluşumundan dolayı bir ağırlık artışı da söz konusudur. Dönel ince film halinde ısıtma deneyi, dairesel, dikey dönen 8 adet numune şişelerine 35 gr bitüm konulur, 5 saat süre ile 163ºC sıcaklıktaki kendi ekseni etrafında döner tablalı bir etüvde ısıtılmasından sonra, Kütle kaybının belirlendiği, Kalıntıda penetrasyon ve yumuşama noktası açısından meydana gelen değişmelerin saptandığılır [70], [73], [102].

1.10.9.11. Basınçlı Yaşlandırma Kabı (PAV) (AASHTO R 28)

Basınçlı yaşlandırma kabı (PAV) sahadaki uzun süre yaşlanmayı temsil eder. Bu test sadece sıcaklık etkilerini gösterir, karışım, hava boşlukları, agrega tipi ve agrega absorbsiyon özelliklerinin etkilerini amaçlamaz. İşlem TFOT veya RTFOT sonrası bitümlü bağlayıcılar üzerinde yapılan işlemleri içerir. Eğer TFOT kullanıldıysa bitüm hazneleri direkt olarak PAV'a transfer edilir. Eğer RTFOT kullanıldıysa bitüm numuneleri en az iki şişe karışımı bir araya getirilerek homojen bir karışım elde edilir [103].

Deneyde, RTFOT deneyinden çıkan numuneler her birine 50 gr olacak şekilde numune kaplarına konur. Numune kapları 10 adet numune kabı alabilen raflı numune taşıyıcıya yerleştirilir. Sonra basınçlı yaşlandırma kabına alınarak 2.2 MPa basınç altında 100°C, de 20 saat süre ile yaşlandırılır. Böylece kaplamanın hizmet sırasında karşılaşacağı yaşlanma etkileri yansıtılmış olur [1].

1.10.9.12. BBR, Kiriş Eğme Reometresi Aleti ile Eğilme-Sünme Rijitliğinin Tayini Deneyi (TS EN 14771, AASHTO T313)

Bu deney, Asfalt bağlayıcıların düşük sıcaklıklardaki davranışını tehmin etmek amacıyılakullanılır. BBR basit olarak bağlayıcının zaman içerisinde değişimini gösterir [1].

Bu deney' de 12.5*25*6.25 mm kiriş şeklinde asfat çubuğa 980mN sabit tekil kuvvet 240 saniye uygulanır ve bu süre boyunca çubuğun ortasında oluşan defleksiyon ölçülerek sünme sertliği ve sünme oranı hesaplanır. Superpave şartname sinirina göre 60 sn. yükleme süresi için sünme sertliği değeri en fazla 300 MPa olmalıdır [73].

1.10.9.13. DSR, Dinamik Kesme Reometresi Aleti ile Kompleks Kesme Modülü ve Faz Açısı Tayini Deneyi (TS EN 14770, AASHTO T315)

DSR deneyi, asfaltın tekerlek izi ve yorulma çatlaklarına karşı dirençlerini tespit etmek amacıyla kullanılan bir deneydir. Bu deney ile asfaltın orta ve yüksek sıcaklıklardaki özellikleri belirlenir. Asfalt bağlayıcıların tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımlarını belirlemek amacıyla işlem görmemiş (yaşlandırılmamış) ve RTFOT yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar kullanılırken, bağlayıcıların yorulma davranışlarını tespit etmek için ise PAV yöntemiyle yaşlandırılmış bağlayıcılar kullanılmaktadır. Tekerlek izi dayanımını tespit etmek için 25 mm çapında ve 1000 mikron yükseklikte, yorulma dayanımını tespit etmek için ise 8 mm çapında ve 2000 mikron yüksekliğinde numuneler kullanılmaktadır [1].

1.10.9.14. Dönel Viskozimetre Deneyi (RV) (AASHTO R 28, ASTM D 6521)

Dönel Viskozimetre Deneyi, asfaltın sıcak karışım tesisinde, ne derece pompalanabilirlik ve işlenebilirliğe sahip olduğunu ve akış karakteristirklerini belirlenmesinde kullanılır. Dönel viskometre deneyi farklı sıcaklıklarda yapılabilmekle beraber, bitüm imalat ve yol yapım şartları büyük ölçüde benzer olduğundan Superpave Bağlayıcı Şartnamesinde deney sadece 135ºC, de yapılmaktadır. Dönel viskoziteyi ölçen aparat viskometre ve termosel olmak üzere iki parçadan oluşur. Viskometre bir motor, silindirik çubuk, kontrol tuşları ve dijital bir göstergeden ibarettir. Motor, çubuğun kendi

etrafında dönmesini sağlayan kuvveti üretir ve şartnameye göre 20 dev/dak olacak şekilde ayarlanır. Yukarıda sıkça bahsedilen silindirik çubuk şakule topuzuna benzer ve dönüş hareketi viskoz bitüm tarafından dirençle karşılanır. Teste tabi tutulan numunenin viskozitesine göre farklı çubuklar kullanılabilir. Termosel sistemi ısı kontrollü taşıyıcı, numune kabı ve sıcaklılığı kontrol altında tutan bir parçadan oluşur. Numune kabı paslanmaz çelik veya alüminyumdan yapılmıştır. Isı kontrollü taşıyıcı ise numune kabını içine alır ve ısıtıcı elemanlara sahiptir. Bu elemanlarla deneyin 135ºC de yapılması sağlanır. Doğu bir sonuç için viskometre ve ısı kontrollü taşıyıcı terazi yardımıyla ve ayar vidaları ile teraziye alınmalıdır. Kontrol panelinde çubuk numarası, dönüş hızı ve açma kapama kontrolünün yapılabileceği tuşlar bulunur. Silindirik çubuk bitüm numunesi içerisine doğru indirilir ve viskometreye takılır. 135ºC 'lik üniform bir numune sıcaklığına ulaşılıncaya kadar yaklaşık 15 dakika beklenir. Bu süre boyunca motor çalıştırılır ve viskozite ve dönme oranı gözlemlenir. Eğer dönme yüzdesi sınırların dışında ise (%2 ile %98 arasında olmalıdır) daha farklı bir boyutlu çubuk gerekebilir. Numune sıcaklığı stabil duruma geldikçe viskozite okumaları da sabitleşmeye başlar ve deney sonuçları kaydedilir. Deney ile ilgili bilgiler (deney sıcaklığı, viskozite, çubuk numarası ve dönüş hızı) dijital göstergeden bir tuşa basmak suretiyle alınır. Bir dakika aralıkla üç viskozite okuması kaydedilir. Bazen 135ºC den farklı sıcaklıklarda da bitüm viskozitesinin ölçülmesine gerek duyulabilir. Örneğin pek çok kurum karışım dizaynı sırasında karıştırma ve sıkıştırma için eşit viskozite sıcaklıklarını kullanmaktadır. Derecesine bakılmaksızın bitüm sıcaklığı laboratuarda karışım hazırlama sırasındaki viskoziteyi verecek sıcaklıklara ayarlanır. Bu nedenle bitüm için viskozite-sıcaklık ilişkisini ortaya koyan bir tabloya ihtiyaç duyulur. Bunu yapmak için de termosel 165ºC gibi daha yüksek bir sıcaklığa ayarlanır ve deney daha önceki gibi tekrar edilir [104].

1.10.10. Sıcak Asfalt Karışımlara Uygulanan Deneyler

Karayolu üstyapısında temel ve alttemel tabakalarının üzerinde yer alan Bitümlü Sıcak Karışım kaplama tabakasının performanslarını değerlendirmek, bu tabakalarda oluşan deformasyonlar ve sonuçları hakkında bilgi sahibi olmak için gerçekleştirilen deneylerdir. Bu yapılan deneylerin sayısı arttıkça; kaplama tabakasının uygulanan yükler karşısında davranışı hakkında daha iyi bilgi sahibi olabiliriz.

1.10.10.1. Marshall Tasarım deneyi (TS EN 3720, 12697, AASHTO T245, ASTM D 1559)

Asfalt betonu içinde kullanılacak optimum bitüm miktarını tayin etemek üzerine yapılan deneydir. Bu deney; tane boyutu 0.075 mm ve 254 mm arasında değişen, belli bir granülometriye sahip agregalardan oluşan bitümlü karışımların dayanım, akma ve numune özellikleri hakkında sonuçlarının elde edilmesini sağlar. Bitümlü sıcak karışımların dizaynın' da ki kullanılan Marshall dizayn yöntemı TMA karışımların dizaynında da kullanılabilir. Bitümlü sıcak karışımların dizaynı için sıkıştırılmasında 2 x 75 darbe kullanılırken, TMA karışımlarda 2 x 50 darbe kullanılır [63].

Marshall metodu ile hazırlanan sıcak karışım tasarımı aşamaları;

1. Agrega granülometrisi belirlenir ve eğirisi çizilir. Karışıım garanülometrisinin tolerans sınırları eğrileri çizilir. Karışım garanülometri eğrisi şartname ideal ya da ona çok yakın bir granülometri eğrisi elde edilmesini sağlayan karışım oranları belirlenir.
2. Agregaların (Kaba, İnce ve mineral filler) özgül ağırlıkları belirlenir, Agrega karışımı toplam zahiri ve efektif özgül ağırlıkları hesaplanır. Tablo 3 ve 4' de karışımda kullanılan agrega şartname kriterleri verilmiştir.
3. 1200 gr agrega karışımı hazırlanır. Etüvde 185ºC ye kadar ısıtılır, ayrıca %4, %4.5, %5, %5.5, %6, %6.5, %7 oranlarında yedi adet bitüm hazırlanır. Bitüm 120º C ye kadar ısıtılır. Isıtılmış malzeme etüvden alınarak yukarıda belirlenen oranlarda hazırlanan bitümle karıştırılır. Farklı bağlayıcı yüzdesine sahip karışımlardan üçer adet karışım hazırlanır. Sıkıştırma aletine (Marshall tokmağında) 4.5 kg ağırlığındaki tokmak 45 cm yükseklikten numunenin her iki yüzüne 75 (TMA için 50) şer defa düşürülerek numuneler sıkıştırılır. Sıkıştırması biten numune kalıptan çıkarılarak soğumaya bırakılır.
4. Sıkıştırılan ve soğutulan briketlerin havada ağırlıkları (A), doygun yüzey ağırlıkları (B) ve sudaki ağırlıkları (C) tartılır. A,B,C ağırlıkları ile briketlerin özgül ağırlıkları, boşluk oranları ve asfaltla dolu boşluk oranları belirlenir.
5. Yükseklikleri (3 yerinden) ölçülen briketler üzerinde Marshall stabilite ve Akma deneyinin yapılması için 30-40 dakika 60ºC su banyosunda bekletilir.
6. Yükleme hücresine konan numune 51 mm / dk hızla stabilite aletinde sıkıştırılır. Cihazda iki adet kadran mevcuttur. Birisi stabiliteyi diğeri akma değerini verir. Deney esnasında yükleme sırasında stabilite yükselerek

maksimuma ulaşır ve bir noktadan sonra düşmeye başlar. Okunan maksimum değer Marshall stabilitesini verir. Kırılma sırasında düşey deformasyon miktarı da ölçülür. Buna akmadenir. Numunenin kırıldığı andaki deformasyon değeridir [103].

$$V = B - C \tag{22}$$

$$Dp = \frac{A}{V} \tag{23}$$

$$Dt = \frac{100 + Wa}{\frac{100}{Gef} + \frac{Wa}{Gb}} \tag{24}$$

$$Pba = 100 * \frac{Gef - Gsb}{Gsb * Gef} \tag{25}$$

$$Pbe = Wa - Pba \tag{26}$$

$$VMA = 100 - \frac{Dp * (100 - \frac{Wa*100}{100+Wa})}{Gsb} \tag{27}$$

$$Vh = \frac{Dt - Dp}{Dt} * 100 \tag{28}$$

$$Vf = \frac{VMA - Vh}{VMA} * 100 \tag{29}$$

D_p : Sıkıştırılmış Karışımın Hacim Özgül Ağırlığı

P_{ba} : Absorbe edilen Asfalt, Agreganın Ağırlıkça Yüzdesi

P_{be} : Efektif Asfalt, Agreganın Ağırlıkça Yüzdesi

VMA : Agregaların Arası Boşluk

V_h : Toplam Hacmin Yüzdesi Olarak Hava Boşluğu

V_f : Asfaltla Dolu Boşluk

Farklı bütün yüzdelerinde bir seri deney yapıldıktan sonra aşağıdaki grafikler çizilir. W_a = Bitüm yüzdesi olmak üzere;

- W_a – Stabilite Grafiği
- W_a – Birim Hacim Özgül Ağırlığı (gr)
- W_a – Boşluk Yüzdesi (Vh)
- W_a – Asfaltla Dolu Boşluk (Vf)

Optimum bağlayıcı oranını (W_a opt) bulmak için grafiklerden şu şekilde okuma yapılır.

1. W_a – Stabilite, grafiğinden mak. stabiliteyi veren bitüm yüzdesi (W_{a1}),
2. W_a – Birim Hacim Özgül Ağırlığı, grafiğinden max. birim ağırlığı veren bitüm yüzdesi (W_{a2}),
3. W_a – Boşluk Yüzdesi, grafiğinden şartname limitlerinin ortalamasını sağlayan değer (W_{a3}),
4. W_a – Asfaltla Dolu Boşluk, grafiğinden şartname limitlerinin ortalamasını sağlayan değer (W_{a4}),

Bu şekilde bulunan dört adet bitüm yüzdesinin aritmetik ortalaması alınır. Optimum bağlayıcı yüzdesi Formül (29) dan bulunur;

$$\text{Optimum asfalt içeriği} = (W_{a1}+W_{a2}+ W_{a3}+ W_{a4})/4 \quad (30)$$

Son olarak W_a – Akma grafiği çizilir. Şartnamenin öngördüğü akma değeri arasında olup olmadığı kontrol edilir [53], [89].

1.10.10.2. Marshall Oranı (S/A) Deneyi (ASTM D 1559)

Stabilite/akma oranı Marshall oranı olarak tanımlanmakta, karışım rijitliğinin ve asfalt betonunun deformasyon karşısındaki direncinin bir göstergesi olmaktadır. Oran değerleri, briketlerin deformasyon direncinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Daha yüksek bir oran değeri, daha rijit bir karışım ve bundan dolayı daha dirençli bir karışım olabilmektedir. Aletin kelepçeleri arasına yerleştirilen numuneler basınca maruz bırakıldı. Numunenin deforme olmasını (akmasını) sağlayan değer tespit edildi ve gerekli dönüşümlerle “kg”

cinsine çevrildi. Buradaki akma miktarıda diğer akma göstergesinden okundu. Bu değer 0.001 inch'e karşılık geldiğinden mm'ye çevirmek için 0.0256 ile çarpılarak "mm" cinsinden tespit edilir [63].

1.10.10.3. Bitüm Süzülme Deneyi

Üretim, depolama, nakliye ve serim esnasında karışımın dayanaklılığı, hemojenitesi ve bağlayıcı madde süzülmesi Schellenberg test ile değerlendirlmektedir.

Bu deneyde ilk olarak 1000 ml'lik boş beher tartır, sonra 1000gr 135°C'de hazırlanan TMA karışımı aynı behere koyullur, 0.1 gr hassasiyetinde olan tartıda tartıldı. Daha sonra kapağı kapatılan behere 60 dakika 170°C sıcaklığı olan etüve berakılır,. 60 dakika sonunda beherini hiç sarsmadan boşaltılır ve ona yapışan agrega varsa koparılır. Son olarak beher 0.1 aynı tartıda tartılır. Süzülen bitüm miktarı ilk başlangıçta deneye alınan karışım miktarına oranlanarak bulunur. Teknik Şartnamiye bitüm süzülmedeğeri maks. % 0.3 olabilir. [1][63].

1.10.10.4. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi (TS EN 12697-23, AASHTO T322, ASTM D 6931)

Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyi, genellikle asfalt karışımların çekme mukavemeti özelliklerini ve karışımın kohezyon kuvvetini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Bu deney, Agrega - bitüm ilişkisi bağlamında belirleyici bir deneydir. Bitümlü Sıcak Karışımların yorulmaya karşı direncin gösterir. Ayrıca asfalt betonunda oluşan gerişilmeler hakkında bilgi verir.

Deneyin yapılışı; Marshall Tasarım Deneyine uygun olarak numuneler üretilir ve numunelerin yükseklik ve özgül ağırlık ölçümleri yapılır. Numuneler 25ºC su banyosunda 30 – 120 dakika bekletilir. Numunelerin alt ve üstüne yükleme plakaları tam simetrik ortalayarak Marshall aletine yerleştirilmesi sağlanır. 51mm/dk hızla yükleme yapılır. Numunelere bozuluncaya kadar bir basınç yükü uygulanır. Marshall aletinden kırılma yükü okuması yapılır [63], [106].

Dolaylı Çekme Mukavemeti aşağıda verilen formül yardımı ile hesaplanabilir.

$$\mathrm{ITS} = \frac{2\mathrm{Pmax}}{\pi * \mathrm{D} * \mathrm{H}} \tag{31}$$

ITS : Dolaylı Çekme Mukavemeti (İndirect Tensile Strength) (GPa)

P_{max} : Kırılma yükü (KN)

D : Numune çapı (mm)

H : Numune yüksekliği (mm)

1.10.10.5. Su hasarı Deneyleri (TS EN 12697-12, AASHTO T283, ASTM D 4867)

Dolaylı Çekme Mukavemeti ve su hasarıdeneyleri birbiri ile çok yakından ilişkilidir. su hasarıdeneyisinde; genel olarak standartlarda normal numune ile suya doygun olarak koşullandırılmış numunelerin dolaylı çekme mukavemeti karşılaştırlmasına dayanmaktadır.

Deneyin yapılışı; Marshall Tasarım Deneyine uygun olarak numuneler üretilir. Numunelerin yükseklik ve özgül ağırlık ölçümleri yapılır. Deneyde kullanılacak numune sayısı 6 adetir. Numuneler normal ve koşullandırılmış olarak 2 set halinde gruplanır. Kuru numuneler 25ºC de muhafaza edilir. Islak numuneler; numunelerin üzerinde en az 2 cm su seviyesi olacak şekilde 25ºC de 30 dakika koşullandırılır. Vakumlama basıncı 10 dakika da 7 kPa olmalıdır. Daha sonra vakum pompasının basıncı yavaş olarak atmosfer basıncına düşürülür. Koşullandırılma sonrasında numunelerin yükseklik ve özgül ağırlık ölçümleri yapılır. Numunelerin hacim artması %2 den fazla olmamasına dikkat edilir. Ayrıca numunelerin vakumlama ile boşluklarına su altması sağlanırken, bu dolan suyun boşluk hacminin %80 ini geçememesi gerekir. Islak numunelerin 72 saat 40ºC su banyosunda koşullandırılması sağlanır. Numuneler -18ºC de 24 saat bekletilir. Normal ve koşullandırılmış numuneler 2 saat 25ºC' de su banyosunda bekletilir. Aşağıda verilen formül yardımı ile; Dolaylı Çekme Mukavemeti oranı (%) belirlenir.

$$\text{Dolaylı Çekme Mukavemeti oranı (ITSR)} = İÇM_k / İÇM_n \quad (32)$$

$İÇM_k$: Koşullandırılmış numunelerin Dolaylı Çekme Mukavemeti

$İÇM_n$: Normal numunelerin Dolaylı Çekme Mukavemeti

Bu oranın minimum %70-80 olması istenir. Aksi halde söz konusu olan asfalt karışımın nem dayanımının düşük olduğu söylenir [70].

1.10.10.6. Dolaylı Çekme Deneyi (TS EN 12697-26, AASHTO T322, ASTM D 6931)

Dolaylı çekme deneyi (Indirect Tensile Strenght Modulus) dinamik yükler altındaki asfalt karışımların esnekliğini tespit etmek amacıyla yapılan bir deneydir. Sıcak asfalt karışımların esneklik modülünün deneysel olarak belirlenmesinde, direk basınç, burulma ve dolaylı çekme deneyleri uygulanabilmektedir. Bu deneylerin her biri, viskoelastik bir malzemenin kısa süreli yüklemelerde elastik davrandığı kabulüne dayanmaktadır. Deney yöntemleri periyodik olarak uygulanan yükü ve bu esnada oluşan ani deformasyonları içermektedir. Esneklik modülü uygulanan gerilme ve geri dönen birim şekil değiştirme ile hesaplanmaktadır [78], [107].

Asfalt kaplamaların en önemli performans özelliği esneklik modülüdür ve asfalt kaplamalarda yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsüdür. Esneklik modülü, trafik etkisiyle kaplamanın altında meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme ve basınç gerilmelerinin neden olduğu kalıcı deformasyonları kontrol eder. Dolaylı çekme deneyi, farklı sıcaklıklarda ve yükleme süreleri altında yapılır, her bir sıcaklık ve yükleme süresi için numunelere ait esneklik modülü değerleri belirlenir [73].

Dolaylı çekme deneyi, BS DD 213 standardına göre tanımlanmış hasarsız ve deformasyon kontrollü bir deneydir. Bu deneyde standart sıcaklık 25°C olmasına rağmen iklimlendirme kabini sayesinde farklı sıcaklıklarda deney yapılabilmektedir. Deney öncesinde numuneler en az 3 saat deney sıcaklığında bekletilmektedir. Numune yüksekliği, çapı, tahmini poisson oranı, hedef yatay deformasyon, yük etki süresi ve yük artış süreleri, tahmini rijitlik modülü gibi değerler önceden yazılıma girilmektedir. Deneyde ön yükleme işlemi uygulanır ve 5 defa tekrarlanan ön yükleme sırasında cihaz otomatik olarak numunede yatay eksende hedef yükte ve yarı sinüzodial 5 darbe uygulanır. Numunede oluşan yatay ve düşey deformasyonlar ölçülür. Aynı işlem briket 90 derece çevrilerek tekrar uygulanır. Esneklik modülü değeri bu iki deneyin ortalaması alınarak elde edilir. Esneklik modülü (Em), uygulanan yük, kabul edilen veya hesaplanan poisson oranı ve numune yüksekliğine bağlı olarak Formül 32'deki gibi hesaplanır.

$$\mathrm{Em} = \frac{\mathrm{P}(\upsilon + 0.2734)}{\mathrm{Hy.h}} \tag{33}$$

Em : Esneklik modülü (MPa)

P : Maksimum yük (N)

Hy : Toplam yatay deformasyon (mm)

H : Numune kalınlığı (mm)

υ : Poisson oranı

Sıcaklık, yükleme frekansı ya da hızı ve karışımın hava boşluğu, karışımın esneklik modülünü etkileyen en önemli faktörlerdir. Düşük sıcaklıklar, yüksek yükleme hızı ve yüksek viskoziteli asfalt kullanımı karışımın esneklik modülünü arttırmaktadır. Esneklik modülü, deneyde kullanılan numunenin büyüklüğüne ve poisson oranına göre farklılık gösterdiğinden 100 mm ve 150 mm'lik numunelerin poisson oranları Formül 33 ve 34 ile hesaplanabilir [78].

$$\upsilon = 3.59 * \frac{Hy}{Vd} - 0.27 \quad (34)$$

(100 mm 'lik numuneler için)

$$\upsilon = 4.09 * \frac{Hy}{Vd} - 0.27 \quad (35)$$

(150 mm 'lik numuneler için)

Hy : Yatay deformasyon (mm)

Vd : Düşey deformasyon (mm)

Dolaylı çekme deneyi, tahribatsız bir deneydir. Bu nedenle bir numune üzerine bir den fazla deneyi yapılabilir. Numunenın Kalıcı deformasyonların azaltma amacıyla deneyi en düşük sıcaklıklarda, en kısa yükleme süresı ve en düşük yükle başlatılır (Gırdap 2017).

1.10.10.7. Statik Sünme Deneyi (TS EN 3720, AASHTO T245, ASTM D 6927)

Statik sünme deneyi, sıcak asfalt karışımların statik yükler tesirinde dayanımnıbelirlemek amacıyla numune üzerine bir yük uygulayıp yük kaldırıldıktan sonra oluşan kalıcı deformasyonun ölçülmesi esasına dayanır. Bu deney, yoğun gradasyonlu sıcak karışımların dairesel ve tek eksenli basınç yüklemesi altında sünme modülü değerinin belirlenmesini içermektedir. Karışımların tekerlek izi oluşumuna karşı dirençlerini değerlendirmek amacıyla da kullanılmaktadır. Statik sünme deneyi sonucunda elde edilen

sünme modülü değeri, ısı ve dingil yükleriyle karşılaşan sıcak karışımların düşük sıcaklıktaki sertliğinin tahmininde, çatlama potansiyeli veya tekerlek izinin hesaplanmasında kullanılır. Ayrıca statik sünme modülü değeri, numunelerin değerlendirilmesi yanında üstyapı tasarımında ve değerlendirme modellerinde kullanılabilir. Deney sırasında bir saatlık süre boyunca numuneye belirli bir statik eksenel gerilme (σ) uygulanarak, zamanın bir fonksiyonu olarak eksenel deformasyonlar ölçülmektedir. Numunenin ilk yüksekliği belli olduğundan, eksenel şekil değiştirme (ε) ve sıcaklık ile yükleme zamanına bağlı olarak, Sünme modülü (Ecq) değeri Formül 35'deki gibi hesaplanır [73].

$$Ecq\ (t) = \sigma / \varepsilon c(t) \qquad (36)$$

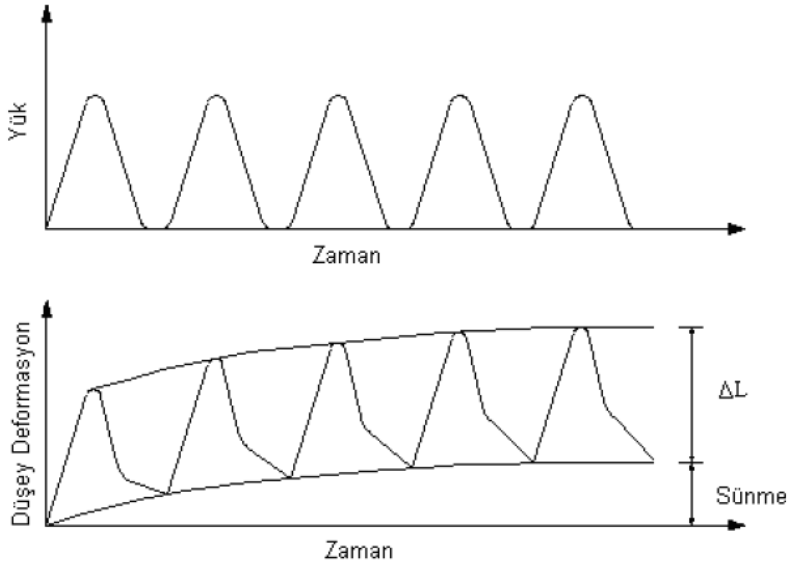
Ecq (t): t anındaki sünme modülü (MPa)
σ**:** Uygulanan gerilme (Mpa)
εc(t): t anında oluşan toplam kalıcı deformasyon (mm/mm)

1.10.10.8. Tekrarlı Sünme Deneyi (TS EN 3720, AASHTO T245, ASTM D 6927)

Tekrarlı yükler etkisi altında asfalt betonu içinde meydana gelen kalıcı deformasyonların (tekerlek izi) ölçülmesi için yapılan deneydir.

Dinamik sünme deneyinde, numunelere belirli bir vuruş periyodu içerisinde, tek eksenli tekrarlanan basınç yüküne maruz bırakılır ve her bir yük tekrarından sonra numune içerisinde oluşan kalıcı deformasyon ölçülür [89].

Deneyin yapılışı; Marshall Tasarım Deneyine uygun olarak numuneler üretilir numunelerin yükseklik ve özgül ağırlık ölçümleri yapılır. Deney farklı sıcaklıklarda ve yüklemelerde yapılabilmektedir. Numuneler, en az 3 saat deney sıcaklığında bekletilmektedir. Numune yüksekliği, çapı, ön yükleme süresi, uygulanacak gerilme, ön yükleme gerilmesi, yük artış süresi ve yük periyodu gibi değerler önceden yazılıma girilmektedir. Numune yükleme çerçevesine yerleştirildikten sonra, düşey deformasyonu okuyacak LVDT'ler ayarlanarak deneye başlanmaktadır. Deneyde ilk olarak girilen süre ve gerilme değerinde ön yükleme uygulanarak birincil oturmanın oluşması hedeflenmektedir. Ön yükleme süresinin sonunda normal gerilme seviyesinde tekrarlı yük uygulanmaktadır. Uygulanan yük ile numunede oluşan deformasyonların zamana göre değişimi Şekil 30'da gösterilmiştir [73].



Şekil 30. Yük-zaman ve deformasyon ilişkisi

$$\varepsilon_c = 3n - L1)/G \quad (37)$$

$$\varepsilon_r = (L2 - L3\ ) /[G - (L3 - L1)] \quad (38)$$

$$\sigma = F/A \quad (39)$$

$$E_c = \sigma/\ \varepsilon c \quad (40)$$

$$E_r = \sigma/\ \varepsilon r \quad (41)$$

εc : Toplam plastik (kalıcı) eksenel birim şekil değiştirme

εr : Toplam elastik eksenel birim şekil değiştirme

E_c : Sünme modülü (sertliği)

E_r : Esneklik modülü (sertliği)

G : Numunenin başlangıç yüksekliği (mm)

L1 : LVDT'nin başlangıç referans deplasmanı (mm)

L2n : n darbe sayısındaki maksimum deplasman (mm) (elastik+plastik)

L3n : (n+1). darbe uygulanmadan önceki deplasman (mm) (plastik)

σ : Maksimum düşey gerilme (kPa)

F : Maksimum düşey yük (N)

A : Numunenin kesit alanı (cm^2)

1.10.10.9. Dolaylı (İndirekt) Çekme Yorulma Deneyi

Asfalt betonlarının yorulma dayanımlarını tespit etmek için bir çok sayıda deney vardır. İndirekt çekme yorulma deneyi ile numune kırılıncaya kadar etki eden yük tekerrürsayısı olarak tanımlanan yorulma ömrü belirlenmektedir. Ayrıca her bir numune türü değişik gerilme seviyelerinde yorulma deneyine tabi tutularak farklı gerilme seviyelerindeki kırılmalara neden olan yük tekerrür sayıları tespit edilmektedir (N_f). N_f ile gerilme (σ) arasındaki klasik yorulma ilişkisi logaritmik ölçekte çizilen grafikten ya da Formül 42'den yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$N_f = k_1 \cdot \left(\frac{1}{\sigma}\right)^{k_2} \tag{42}$$

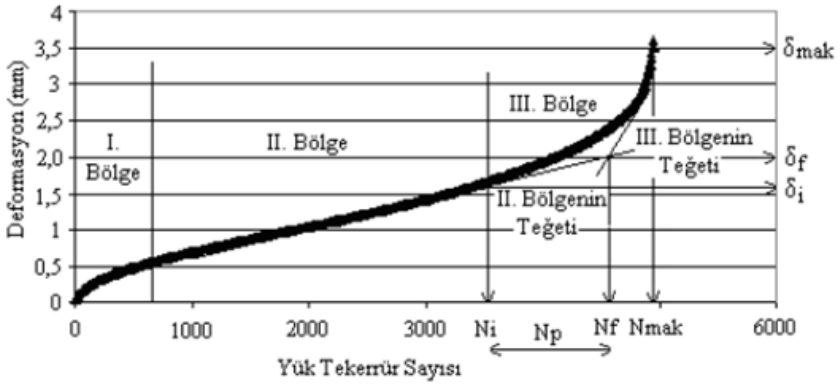
N_f : Yorulma ömrü

k_1 ve k_2 : Malzeme karakteristikleri

σ : Uygulanan gerilme

Sıcak asfalt karışımların yorulma dayanımlarını belirlemek amacıyla eğilme, direkt veya indirekt çekme deneyleri uygulanabilmektedir. İndirekt çekme yorulma deneyi, hem basit olması hem de geometrisi nedeniyle (numulerin laboratuvar ortamı ya da araziden rahatlıkla temin edilebilmesi) en fazla tercih edilen deneylerden biridir.

Deneyin yapılışı; Marshall Tasarım Deneyine uygun olarak numuneler üretilir. Deneyi öncesinde numuneler, en az 3 saat deney sıcaklığında bekletilmektedir. Numune çapı, yüksekliği, uygulanacak gerilme yük periyodu ve yük artış süreleri gibi değerler önceden yazılıma girilmektedir. Numune yükleme çerçevesine yerleştirildikten sonra, düşey deformasyonu okuyacak doğrusal değişken türevsel dönüştürücüler ayarlanmakta ve deneye başlanmaktadır. Numuneler tam olarak kırılıncaya kadar deneye devam edilmektedir. Gerilim kontrollü yorulma deneyi sonucunda Şekil 31'de görüldüğü gibi yük tekerrür sayısı-deformasyon miktarı grafiği çizilebilmektedir [108], [109].



Şekil 31. Temsili deformasyon-yük tekerrür sayısı ilişkisi

I. Bölgede numunedeki boşluklar nedeniyle önce aşırı deformasyon değişimi oluşmakta ardından eksenel deformasyon oranı azalmaktadır. II. Bölgede sabit oranda deformasyon mevcuttur ve yaklaşık olarak lineer değişim meydana gelmektedir. III. Bölgede çatlak oluşumu başlamıştır. Bu bölgede deformasyon değişimi artmaktadır. Çatlak ilerleme oranı (rp), çatlak oluştuktan itibaren yorulma ömrünün sonuna kadar her 1 mm deformasyon oluşabilmesi için gerekli yük tekrar sayısını belirtmektedir. Çatlak ilerleme oranı Formül 43'de verilmiştir. Çatlak ilerleme oranı çatlak ilerleme hızıyla ters orantılıdır. Çatlak ilerleme oranının büyük olması, çatlak ilerleyişinin daha yavaş olduğunu göstermektedir [110].

$$rp = \frac{Np}{\delta f - \delta i} \tag{43}$$

rp : Çatlak ilerleme oranı (darbe sayısı, mm)
Np : Çatlama ilerlemesi için gerekli yük tekrar sayısı
δf : Bozulma anında toplam deformasyon (mm)
δi : Çatlak başladığı andaki toplam deformasyon (mm)

1.11. Taş Mastik Asfaltlar Üretimi

TMA üretimi asfalt betonu gibi üretilmektedir. Kaba agerganın yüksek oranda kullanımından dolayı iki dozaj silosu kullanılması gerekebilir. Kaba agregaların yüksek oranından dolayı, sıcak eleme üst eleklerinde darboğaz oluşup, eleme olumsuz etkilenebilir. KGM Teknik Şartnamesi TMA karışımların yapım kademeliböyle siranalabilr.

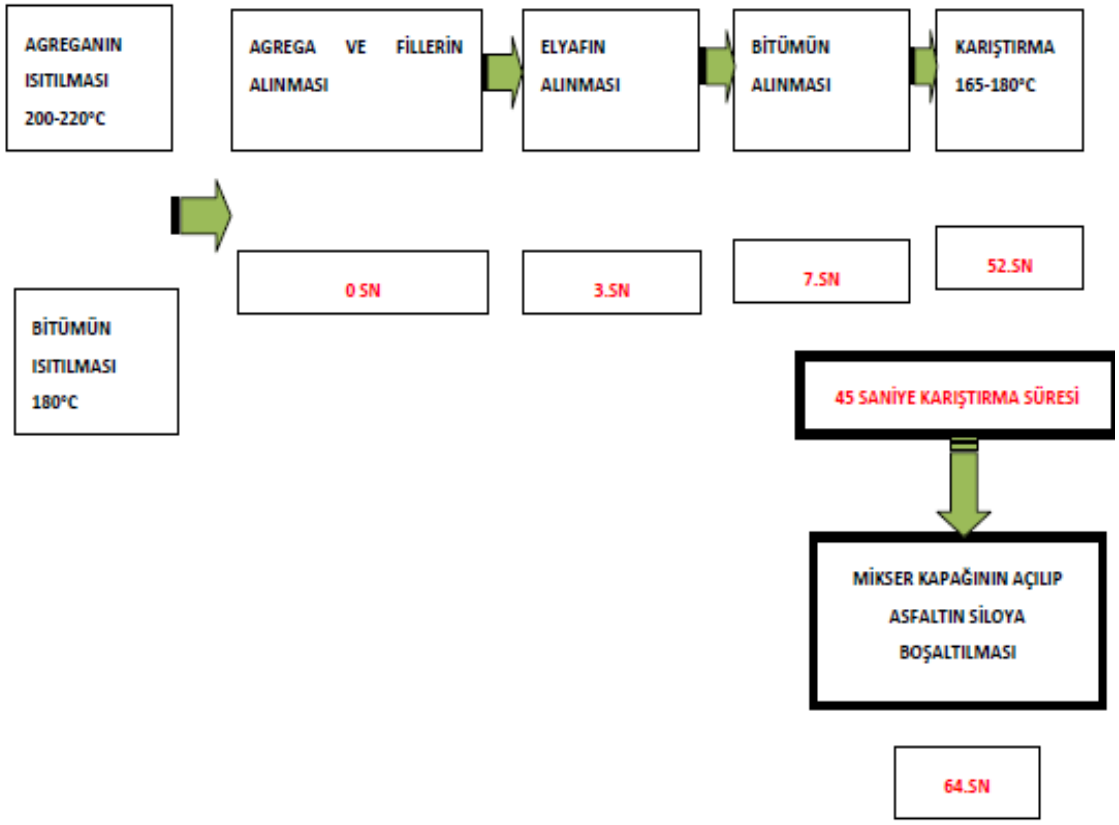
1. TMA yapımında kullanılan agrega ve asfalt bağlayıcısı ve mineral agrega 165 ºC - 180 ºC' sıcaklığılarda üretilmiş bir karşım eldetmeamacıyla ısınır ve karıştırılıre.
2. Katkı maddeleri karıiıma ilave edilir.
3. TMA Karışımı; sericiye boşaldığındaen az 145ºC sıcaklıkta olmalıdır
4. TMA Karışımıları sermek için bölge sıcaklığı gölgede en az 10ºC olması şartdır[88].

Almanyada kullanılan minimum ve maksimum karıştırma sıcaklıkları Tablo 12' de gösterilmiştir.

Tablo 12. Minimum ve Maksimum TMA karıştırma sıcaklığı

Bağlayıcı Kalitesi	TMA Karıştırma Sıcaklığı ºC
50/70	150 - 190
70/100	140 - 180
PMB 45	150 - 190
PMB 65	140 - 180

Selüloz fiber kullanıldığında, Taş mastik asfalt karışım için önerilen işlemler ve süreleri Şekil 32' de sunulmuştur.



Şekil 32. Selüloz fiber TMA üretimi için önerilen işlemler ve karışım zamanları

1.12. Taş Mastik Asfaltlar Depolama ve Nakliye

Bütün asfalt tipleri gibi taş mastik asfaltlarda uzun süre silolarda depolanmamalıdır. Bu süre içersinde bağlayıcı madde istenmeyen değişkiliklere uğrayabilir.

Nakliye araçlarının yükleme rampaları temiz olmalıdır. Asfalt rampalarda yapışmasını önlemek için sadece asfalta zarar vermiyan çözücüler kullanılmalı veya ince bir su tabakası yeterlidir. Mazot kullanılması kaliteye olumsuz etkisinden ve iş emniyeti açısından yasaktır. Nakliye araçlarının üzeri asfalt soğuması ve havadaki oksijenle birleşerek bağlayıcı madde sertleşmesini önlemek için her zaman, yaz mevsiminde dahi, rüzgar geçermeyen örtü ile örtülmelidir. Küçük miktarlarla veya düşük randımanla çalışmalarda ısı izolasyonlu kamyon üstü tanklar veya yatay bantlı termo kazanlı römorklar çok uygundur. Uzak nakliye mesafelerinde karışımın soğumaması için yüksek ısıda üretilmesi kesinlikle yanlıştır. Bağlayıcı ve karışımın nakliye ve serim esnasında ayrılma ve akması halinde bağlayıcı sertleşir ve sonuç olarak sıkıştırmada sorun yaşanır [111].

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada Taş Mastik Asfalıtarın özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla %5 SBS ile modifiye edilmiş bitüm, %0.3 Viatop Permium ve farklı oranlarda FRP (Fiber Rainforce Polimer) kullanılmıştır. Son olarak malliyet değerlendirilmesi yapılımıştır. Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ve uygulanan deneyler aşağıda verilmiştir.

Kullanılan malzemeler:

- %5 SBS modifiyeli 50/70 penetrasyonlu bitüm
- Agrega
- Viatop Permium (Elyaf)
- FRP (Fiber Rainforce Polimer)

1. %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün Fiziksel ve Reolojik Özellikleri İçin Uygulanan Deneyler:
    - Penetrasyon
    - Düktilite
    - Özgül Ağırlık
    - Parlama Noktası
    - Yumuşama Noktası
    - Fraass Kırılma Noktası
    - Nicholson Soyulma
    - Trikloretilende Çözünürlük
    - DSR
    - RTFOT
    - RV
    - PAV
    - BBR
2. Agreegalara Fiziksel Özellikleri için Uygulanan Deneyler:
    - Elek Analizi
    - Özgül Ağırlık
    - Su Emme
    - Soyulma Deneyi

- Cilalanma Deneyi
- Yassılık İndeksi
- Soyulma Deneyi
- Donma Deneyi

3. Taş Mastik Asfaltlara Uygulanan Deneyler:
    - Marshall Stabilite ve Akma (Marshal Oranı)
    - Bitüm Süzülme Deneyi
    - Dolaylı Çekme Mukavemeti
    - Dolaylı Çekme
    - Su Hasarı
    - Statik Sünme
    - Dinamik Sünme
    - İndirekt Çekme Yorulma

2.1. Asfalt Çimentosu

Bu çalışmada bitümlü bağlayıcı olarak Pasargad rafinerisi 50/70 penetrasyonlu, %5 SBS ile modifiye edilmiş bitüm kullanılmıştır. Orijnal bitümün fiziksel özellikleri Tablo 13' de verilmiştir.

Tablo 13. Orijinal Asfalt Çimentosunun fiziksel özellikleri

Deney	**Standart**	**Değer**
Penetrasyon (100g, 25°C, 5sn), dmm	ASTM D5	63
Düktilite (25°C, 5cm/dk), cm	ASTM D113	100
Özgül Ağırlık, (25°C), g/cm^3	ASTM D70	1.021
Parlama Noktası, °C	ASTM 92	256
Yumuşama Noktası,°C	ASTM D36	50.2
Noktası, °C	IP80	-10
Trikloretilende Çözünürlük, %	ASTM D-2042	99
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) Sonrası Orijinal Asfalta fiziksel özellikler		
Penetrasyon (100g, 25°C, 5sn), dmm	ASTM D5	32
Yumuşama Noktası,°C	ASTM D36	59
Kalıcı Penetrasyon (%)	ASTM D5	52

Kütle Kaybı (%)	ASTM D2872	0.073
Düktilite (25°C, 5cm/dk), cm	ASTM D113	104

2.2. %5 SBS ile Modifiye Edilmiş Asfalt Çimentosunun Fiziksel ve Reolojik Özellikleri

Katkısız ve modifiye asfalt bağlayıcıların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla penetrasyon, yumuşama noktası, düktilite, parlama noktası, trikloretilende çözünürlük, özgül ağırlık, Fraass kırılma noktası ve Nicholson soyulma deneyleri uygulanmıştır. Reolojik özelliklerin belirlenmesi amacıyla DSR, RV, RTFOT, PAV ve BBR deneyleri yapılmıştır.

2.2.1. Penetrasyon Deneyi Yapılışı

Penetrasyon deneyi minde ASTM D5 standardı kullanılmıştır. Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak, daha akışkan bitüm söz konusudur. Bu deneyi %5 SBS ile modifiye edilmiş bağlaıyıcı kıvamını belirlemek amacıyla yapılmıştır (Şekil 33).







Şekil 33. Penetrasyon deneyi yapılışı

2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi Yapılışı

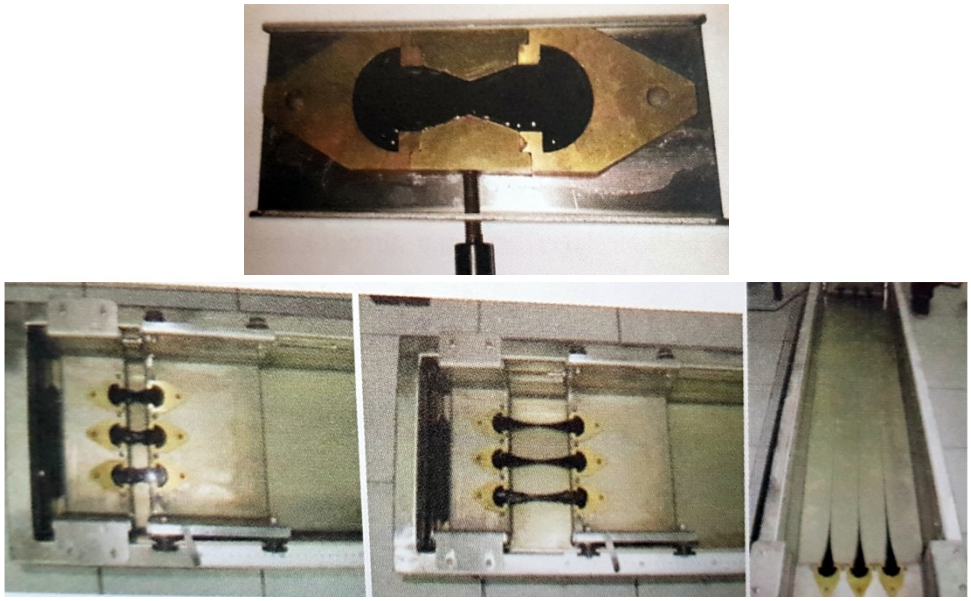
Yumuşama noktası deneyi minde ASTM D36 standardı kullanılmıştır. Bağlayıcının sıcaklık karşısındaki davranışını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Bu çalışmada %5 SBS ile modifiye edilmiş bağlaıyıcı kıvamını belirlemek amacıyla yüzük-bilya yöntemi uygulanmıştır (Şekil 34).



Şekil 34. Yumuşama noktası deneyi yapılışı

2.2.3. Düktilite Deneyi Yapılışı

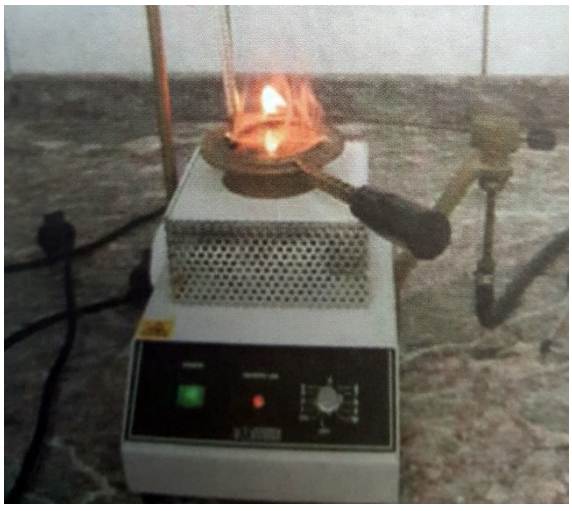
Çalışmada %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün yavaş etkiyen yükler altında uzama kabiliyetini belirlemek amacı ile ASTM D113 standardı kullanılarak düktilite deneyi yapılmıştır (Şekil 35)



Şekil 35. Düktilite deneyi yapılışı

2.2.4. Parlama Noktası Deneyi Yapılışı

Parlama noktası deneyiminde ASTM D92 standardı kullanılmıştır. %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün aleve temas etmesi halinde parladığı sıcaklık derecesini bulmak amacıyla yapılmıştır (Şekil 36).



Şekil 36. Parlama noktası deneyi yapılışı

2.2.5. Trikloretilende Çözünürlük Deneyi Yapılışı

%5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün içerisinde mineral madde bulunup va bulunmayan amacıyla TS EN 12592 standardına göre yapılmıştır (Şekil 37).



Şekil 37. Trikloretilende çözünürlük deneyi yapılışı

2.2.6. Özgül Ağırlık Deneyi Yapılışı

Özgül ağırlık deneyiminde ASTM D70 standardı kullanılmıştır. Bu deneyi %5 SBS ile modifiye edilmiş asfalt çimentosunun özgül ağırlığını tayın etmek amacıyla yapılmıştır (Şekil 38).



Şekil 38. Özgül ağırlık deneyi yapılışı

2.2.7. Fraass Kırılma Noktası Deneyi Yapılışı

Fraass kırılma noktası deneyi, %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün düşük sıcaklıklarda kırılganlık noktasını belirlemek amacılya ASTM D7175 standardına göre yapılmıştır (Şekil 39).



Şekil 39. Fraass kırılma noktası deneyi yapılışı

2.2.8. Nicholson Soyulma Deneyi Yapılışı

Nicholson soyulma deneyi, sıkıştırılmamış agrega-asfalt karışımının su etkisiyle soyulmaya karşı dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 12697 standarıdına göre yapılmıştır (Şekil 40).



Şekil 40. Nicholson soyulma deneyi yapılışı

2.2.9. Dönel İnce Film Isıtma Kaybı (RTFOT) Deneyi Yapılışı

Bu Çalışmada %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün yaşlanmasını belirlemek amacı ile ASTM D2872 standardına göre RTFOT deneyisi yapılmıştır (Şekil 41).



Şekil 41. Dönel ince film ısıtma kaybı (RTFOT) deneyi yapılışı

2.2.10. Dönel Viskozimetre (RV) Deneyi Yapılışı

RV deneyi, %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiklerini belirlemek amacıyla ASTM D 4402 standardına göre yapılmıştır (Şekil 42).



Şekil 42. Dönel viskozimetre (RV) deneyi yapılışı

2.2.11. Dinamik Kesme Reometresi (DSR) Deneyi Yapılışı

Dinamik kesme reometresi (DSR) deneyi, %5 SBS ile modifiye edilmiş asfalt çimentosunun zamana bağlı orta ve yüksek sıcaklıklarda reolojik özellikleri (kompleks kesme modülü ve faz açısından) belirlemek amacıyla TS EN 14770 standardına göre yapılmıştır (Şekil 43).



Şekil 43. Dinamik kesme reometresi (DSR) deneyi yapılışı

2.2.12. PAV Deneyi Yapılışı

Bu Çalışmada %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün, PAV deneyiminde AASHTO R28 standardı kullanılmıştır. PAV deneyi, %5 SBS ile modifiye edilmiş bitümün uzun dönem yaşlanmayı tespit etmek amacıyla uygulanmıştır. Deneyde, RTFOT deneyindeın çıkan numuneler kullanılmıştır (Şekil 44).



Şekil 44. PAV deneyi yapılışı

2.2.13. Kiriş Eğme Reometresi aleti ile Eğilme-Sünme Rijitliğinin Tayini (BBR) Deneyi Yapılışı

BBR deneyi minde TS EN 14771 satandardı kullanılmıştır. %5 SBS ile modifiye edilmiş bağlaıyıcı basit olarak belirli bir sıcaklıkta ve sabit bir yük altında sünme veya defleksiyona maruz kaldığını miktarını belirlemek amacıyla BBR deneyi uygulanmıştır (Şekil 45).



Şekil. 45. BBR deneyi yapılışı

2.3. Agregalara Uygulanan Deneyler

Bu çalışmanın deneylerinde kullanılan agregalar Bağışli bazalt Taşocağından temin edilmiştir.

2.3.1. Elek Analizi

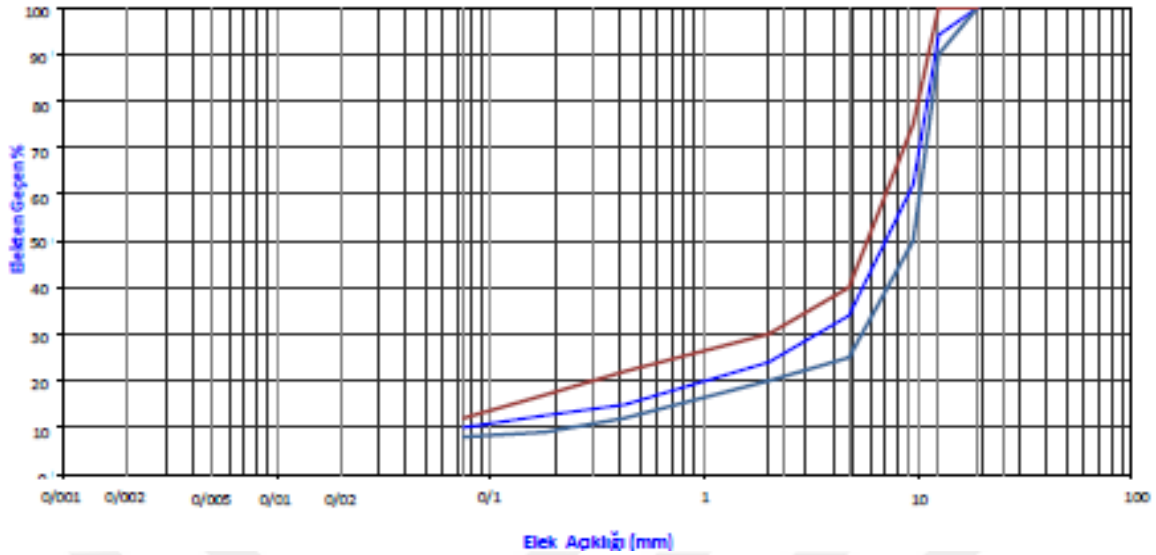
Bitümlü kaplamalarda kullanılacak agregaların, tane boyutu dağılımını belirlemek amacıyla Bağışli bazalt Taşocağından tedarik edilmiş olan agregalar üzerine ASTM C136, ASTM C117 standardlarına göre elek analiz deneyi yapılmıştır. TMA Tip-1Aşıma önerilen elek serisi kullanılarak tane boyutu dağılımı bulunup (Şekil 46) ve agrega granülometri eğrisi çizilmiştir (Şekil 47).



Şekil. 46. Elek analizi deneyi yapılışı

Tablo 14. Karışımlarda kullanılan agrega granülometrisi ve şartname sınırları

Elek Çapları (inç)	Elek Çapları (mm)	TMA Tip -1 A (% Geçen)		Tolerans Limitleri (%Geçen)		Karışım Geçen (%)	Karışım Kalan (%)	Karışım Kalan (gr)
3/4"	19.00	100	100	100	100	100	0	0
1/2"	12.50	90	100	90.1	98.1	94.1	5.9	67.85
3/8"	9.50	50	75	58.1	66.1	62.1	37.9	435.85
No:4	4.75	25	40	31	37	34	66	759
No:10	2.00	20	30	21	27	24	76	874
No:40	0.425	12	22	11.9	17.9	14.9	85.1	978.65
No:80	0.180	9	17	9.6	15.6	12.6	87.4	1005.1
No:200	0.075	8	12	8	12	10	90	1035
Tava	Tava						100	1150



Şekil. 47. Karışımlarda kullanılan agrega granülometri eğrisi

2.3.2. Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi

Özgül ağırlık ve Su emme deneyi ASTM C127, ASTM C128 ve ASTM D854 standardlarına göre yapılmıştır (Şekil 48). Özgül ağırlık ve Su emme deneyi sonuçları Tablo 15' de verilmiştir.



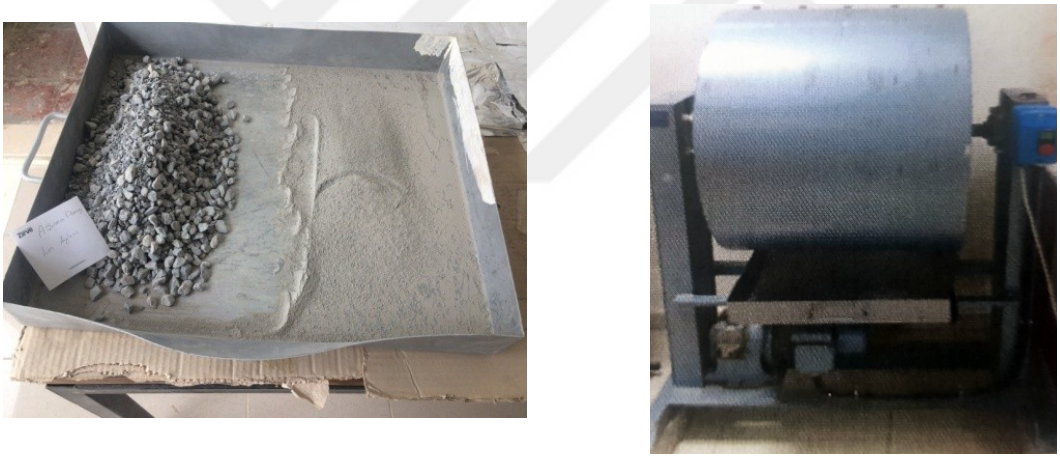
Şekil. 48. Özgül ağırlık deneyi yapılışı

Tablo 15. Özgül ağırlık ve Su emme deneyi sonuçları

Özellikler	Standart	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler
Hacim özgül ağırlık (gr/cm^3)	ASTM C127	2.625	-	-
Zahiri özgül ağırlık (gr/cm^3)	ASTM C127	2.651	-	-
Hacim özgül ağırlık (gr/cm^3)	ASTM C128	-	2.514	-
Zahiri özgül ağırlık (gr/cm^3)	ASTM C128	-	2.603	-
Zahiri özgül ağırlık (gr/cm^3)	ASTM D854	-	-	2.757
Su Emme %	ASTM C127	0.75	0.95	-

2.3.3. Los Angeles Aşınma Deneyi

Los Angeles Aşınma deneyi, darbelenme ve sıkıştırma etkisiyle agrega tanelerinin aşınma oranını belirlemek amacıyla ASTM C131 standardına göre şekil 49' de görüleceği gibi yapılmıştır. Deneyi sonucuna göre Aşınma kaybı **%17** olarak hesaplanmıştır.



Şekil. 49 Los Angeles Aşınma deneyi yapılışı

2.3.4. Yassılık İndeksi Deneyi

Yassılık indeksi deneyi agrega yığını içindeki yassı tane miktarının kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığının belirlenmesi amacıyla BS 812 standardına göre Bağışli bazalt Taşocağından temin edilmiş olan agregalar üzerine uygulanmıştır. Yassılık indeksi değeri **%14** olarak elde edilmiştir (Şekil 50).



Şekil. 50 Yassılık indeksi deneyi yapılışı

2.3.5. Donma Deneyi

Agreganın olumsuz hava koşulları altında, donup çözülerek dayanımını belirlemek amacıyla TS EN 1367-1 standardı kullanılmıştır (Şekil 51). Deneyi de $Mgso_4$ donma kaybı %5.1 tespit edilmiştir.



Şekil. 51 Donma deneyi yapılış

2.3.6. Cilalanma Deneyi

Deneysel Calışmada Bağışli bazalt Taşocağından tedarik edilmiş olan agregaların trafik yükleri altında aşınmaya karşı dierncini ölçmek için TS EN 1097-8 standardı Şekil 52' de görüldğü gibi kullanılmıştır. Deneyi sonucu cilalanma degeri **60** olarak tespit edilmiştir.



Şekil. 52 Cilalanma deneyi yapılışı

2.4. Katkı Maddeleri

Bu bölümde bu araştırmada kullanılan katkı maddelerinin özellikleri verilmiştir. Modifiye edici katkı maddelerinin kullanım amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesidir. Son yıllarda hız kazanan modifiye bitüm ve modifiye karışım çalışmaları, farklı katkı maddelerinin Bitümlü Sıcak Karışımlar üzerindeki performans etkilerini tespit etme konusunda yoğunlaşmıştır (Sönmez 2012).

Bu çalışmada kullanılan katkı maddeler;

- Stiren- Butadien- Stiren (SBS Kraton D 243),
- Viatop Premium (Elyaf),
- Fiber Rainforce Polimer (FRP),

2.4.1. Stiren- Butadien- Stiren (SBS Kraton D 243)

Artan trafik yükü ve araç sayısı asfalt yol kaplamalarının daha hızlı bozulmasına sebep olmaktadır. Günümüzde asfalt yol üstyapı kaplamalarında başta olmak üzere SBS olmak üzere modifiye edici katkı maddeleri kullanılarak bu bozulmalar engellenmektedir (Şekil 53). SBS modifiye edici katkı olarak bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesi amacıyla kullanılır. Bitümün SBS ile homojen bir şekilde karışması için SBS'yi öğüterek bitümle karıştıran, değirmen denen bir yüksek devirli öğütücü (high shear

mixer) tesisi gereklidir. SBS ve bitümün optimum karışma sıcaklığı 180°C-190°C aralığıdır. Tamamen çözünme olduktan sonra, karışımın olgunlaşması için beklenmesi tavsiye edilir. Böylece SBS'in, bitümün tüm uygun bileşenlerini absorblaması sağlanır. SBS'li bitüm, beklediğinde bozulan bir ürün değildir. Depolama (birkaç günden, 1-2 haftaya kadar) yapmak gerekirse, 130°C-140°C de düşük devirli karıştırıcı ile sürekli karıştırılarak homojen tutulmalıdır. Daha uzun süreli depolama istenirse karışım soğutulup daha sonraki kullanımlar için saklanabilir. Bitüm ve SBS değirmenden geçirilmeden tamamen homojen bir şekilde karışmaz. Karayolu uygulamalarında SBS bitüme, bitümün ağırlıkça yüzdesi olarak, % 4 ila % 5 arasında karıştırılabilir. SBS bitüme katıldığında, hacmi 10 kat artar ve üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Böylece % 5 oranında SBS bitüme katıldığında, % 50'si polimer fazı olan bir karışım elde edilir. Böylece çok geniş bir sıcaklık aralığında visko-elastik bir yapı oluşur. Karışımın yüksek sıcaklıklarda kıvamı artarken, düşük sıcaklıklarda kırılganlığı azalır [69]. SBS Kraton D 243 özellikleri Tablo 16 da veilmiştir.



Şekil 53. Stiren-Butadien-Stiren (SBS) görünüşü

Tablo 16. SBS Kraton D 243 Özellikleri

Esneklik Modülü	1 MPa
Çekme Mukavemeti	2 MPa
özgül ağırlık	0.94 gr/cm^3
Vinil İçeriği	35 %

2.4.2. Viatop Premium

Viatop Premium (selülozik elyaf) aslında tamamen TMA da kullanılan bir malzemedir. Viatop Premium'in asıl amacı yüksek bitüm içeriğine sahip olan TMA karışımında Bitümün akmasını ve agregalar arasındaki bağları kuvvetlendirmesi içindir. Şöyle düşünebilirsiniz

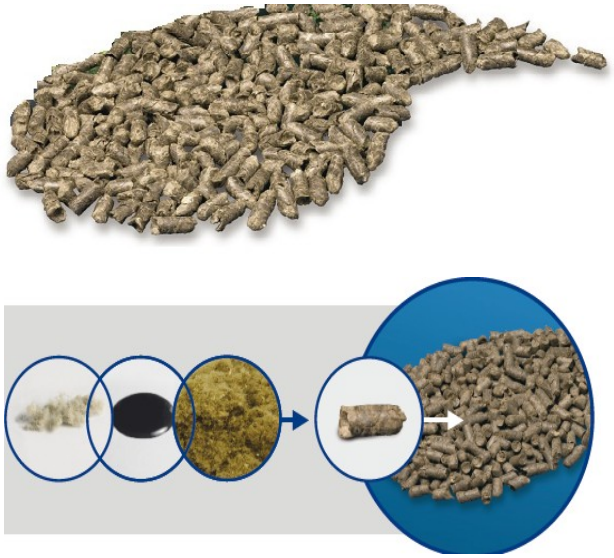
DNA yapısı gibi. TMA yüksek bitüm içeriğinden dolayı Modifiye edilmiş bitüm ile yapılmaktadır. Yaklaşık bitüm miktarı % 6-7 arasındadır. Bu haliyle bitüm içeriğinin yüksek olması ağır trafik koşullarında tekerlek izine sebep olması ve bitümün agregadan ayrılması gibi sebepler içermektedir. TMA işleminde Viatop Premium bu tür etkenlere karşı koyarak İskelet yapısını güçlendirmekte Bitümün agrega ile daha iyi adelansını sağlamaktadır. Normal şartlarda Viatop Premium Dizayn işleminde % 0.3 katılmaktadır. Tabi ki bu işlem süzülme deneyi ile belirlenmektedir. Karayolları dizayn kriterlerinde mevcut olan Fiber özellikleri Tablo 17' da verilmiştir.

Tablo 17. Selülozik Elyaf Özellikleri

Elyaf uzunluğu (mak.)	**6mm**
No 20 elekten geçen (yüzdesi)	%85±%10
No 40 elekten geçen (yüzdesi)	%65±%10
No 100 elekten geçen (yüzdesi)	%30±%10
Kül muhtavası	%18±%5
PH	%7.5±1
Yağ absorpsiyonu	Elyaf Ağırlığının 5±1 katı
Nem absorpsiyonu	(Ağırlıkça) <%5

Viatop Premium Teknik çözümler için pelet formunda, bitüm-kaplı selülozik elyaf dır.Viatop Premiumfiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir ;

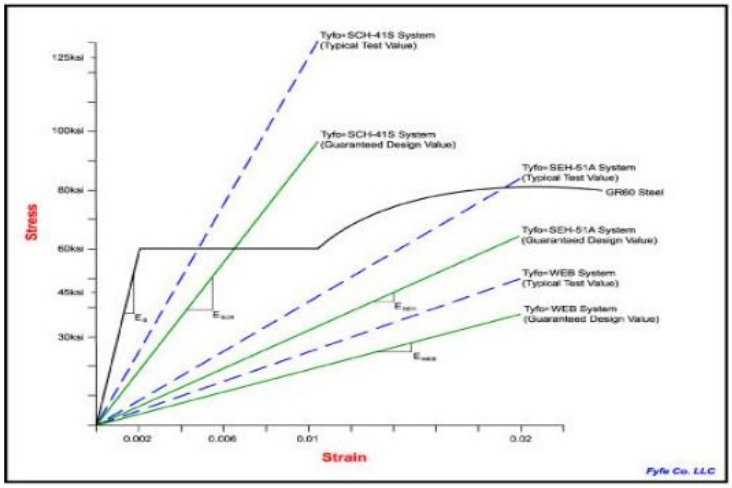
- Selüloz içeriği : %90 ARBOSEL ZZ 8.1
- Bitüm içeriği : %10 50-70 AC
- Fiziksel Şekli : Silindirik topak
- Ortalama topak boyutu : 2-6 mm
- Ortalama topak kalınlığı : 3±1 mm
- Ateş sıcaklığı : yaklaşık 500 ^{0}C
- Patlama Limiti : Patlamaz
- Suda Çözünürlük : Çözünmez
- Elek Analizi : 3.55 mm'den ince kısmı maks. %5
- Yoğunluk : 480-530 g/l (Şekil 54).



Şekil 54. Viatop Premium görünüşü

2.4.3. Fiber Rainforce Polimer (FRP)

İngilizce Fiber Reinforced Polymers **(**FRP), dilimize Türkçe lifli polimer olarak geçen ve son yıllarda yurtiçi ve yurtdışında giderek kullanılan yapısal güçlendirme malzemesidir. Karbon, aramid, kevlar, cam ve bazalt gibi yüksek fiziksel özellikleri olan malzemelerden üretilen kompozit sistemlerdir. Çeşitli epoksilerle kompozit hale getirilirler. FRP kompozit malzemelerinin, gerilme ve deformasyon grafiği şekil 55' de verilmiştir. Cam esaslı FRP malzemeler çeliğe yakın değerler verirken karbon esaslı FRP malzemeler çeliğin çok üzerinde değerler vermektedir.



Şekil 55. FRP Malzemeler Gerilim ve Deformasyon Grafı

Karbon lifli polimer (CARBON FABRICS FRP) olarak bir ABD firmasında (ZOLTEX) üretilen ve Avrupa ülkeleri yaygın kullanımı olan "FRP" kullanılmıştır (Şekil 56). Karbon lifli polimer (CARBON FABRICS FRP) özellikleri Tablo 18' da verilmiştir;

Tablo 18. FRP Özellikleri

Çekme mukavemeti	4137 MPa
Çekme Modülü	242 GPa
Yoğunluk	1.81 gr/ml
Fiber Çapı	7.2 mikronz
Karbon içeriği	%95

FRP Kullanım Yararları aşağıda verilmiştir;

- Paslanmaz ve manyetik alan oluşturmaz
- Bakım gerektirmez
- Kalite kontrol ve güvence sistemleri mevcuttur
- Dinamik yükten gelen malzeme yorulması direncini güçlendirir
- Esnek olup her türlü forma adapte edilebilir
- Suda Çözünmez
- Yaklaşık 1000 ^{0}C sıcaklığa dayanaklıdır
- Karbon cinsinden olduğundan bitümlü bağlaycılarla uyum sağlar
- Çekme mukavemeti yüksekdir.



Şekil 56. FRP görüntüsü

2.5. Taş Mastik Asfaltların Özelliklerinin Belirlenmesi

Bu bölümde, Marshall tasarımına göre hazırlanan briketler üzerinde yapılan deneylerin yöntemleri açıklandırılmıştır.

2.5.1. Marshall Tasarımı

Bitümlü sıcak karışımların dizaynı için kullanılan Marshall dizayn metodu Taş mastik asfalt karışımların dizaynında da kullanılabilir. TMA karışımlarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ilk olarak Marshall tasarımı yapılmıştır. %5 SBS modifiyeli bitüm %4.5, %5, %5.5, %6, %6.5, %7 oranlarında gradyasonu belli olan 1150 gr agrega numunesine katılarak 18 adet marshall briketi hazırlandırılmıştır marshall briket numunelerinin her iki yüzüne 50 darbe uygulanmıştır (Şekil 57). Buradaki amaç Marshall tokmağı ile sıkıştırma enerjisi uygulanması sırasında TMA karışımındaki agregaların kırılarak gradasyonun bozulmamasıdır. Taş mastik asfaltlarda Karayolları Teknik Şartnamesine göre Boşluk miktarı %2 ile %4 arasında olaması lazım. Boşluk miktari %3' e karşılık gelen bitümün miktarı, en yüksek pratik yoğunluk değerine karşılık gelen bitüm miktarı, VMA ve asfaltla dolu boşluk (V_f) miktarına karşılık gelen bitüm miktarı dikkate alınarak optimum bitüm miktarı belirlenmiştir.



Şekil 57.Üretilen Marshall briketleri

2.5.2 FRP ve Viatop Premium Katkılı Marshall Briketlerinin Üretimi

Marshall tasarımından belirlenmiş olan optimum asfalt yüzdesini asas alarak karışımın mikatrının %0.3'ü oranında Viatop Premium ve %0.3, %0.5, %0.7, %0.9 FRP katkılı 120 adet Marshall briketleri hazırlanmiştır (Şekil 58). Üretilen briketler üzerinde Marshall Stabilite, Dolaylı Çekme Mukavemeti, Dolaylı Çekme, Statik Sünme, Dinamik Sünme, Dolaylı Çekme Yorulma ve Su hasarı deneyleri yapılmıştır.



Şekil 58. Katkılı briketlerın üretimi

2.5.3. Marshall Stabilite ve Akma (Marshal Oranı)

Marshall testi sonuclarında, TMA karışımların Marshall stabilitesinin geleneksel beton asfalt karışımlardan düşük olduğu gözlenmiştir. Bu yüzden Marshall stabilitelerine bakarak TMA karışımlarına kabul veya red sonucu vermek yanlıştır. Ancak stabilite/akma oranı Marshall oranı olarak tanımlanmakta, karışım rijitliğinin ve asfalt betonunun deformasyon karşısındaki dirençinin bir göstergesi olmaktadır. Daha yüksek bir oran değeri, daha rijit bir karışım ve bundan dolayı daha dirençli bir karışım olabilmektedir. Marshall stabilite ve akma değerlerinin tespit etmek amacıyla her bir katkı oranında üretilen üçer adet Marshall briketi ölçumleri yapıldıktan sonra, 30-40 dakika 60ºC lik su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra Marshall test cihazı kelepçeleri yerleştirlmiştir ve 50.8 mm/dk' sabit hızla yük uygulanmıştır (ASTM D1559). Maksimum yük ve deformasyonun değerleri tespit edilmiştir (Şekil 59).



Şekil 59. Marshall deneyi yapılışı

2.5.4. Bitüm Süzülme Deneyi Yapılışı

Deneysel çalışmada Schellenberger bitüm süzülme deneyi kullanılmıştır. Her bir katkı oranından hazırlanan karışıma Schellenberger bitüm süzülme deneyleri optimum bitüm oranlarında yapılmıştır. 1000 ml'lik cam beherin boş ağırlığı tartıldı, 135°C'de hazırlanan 1000 gr TMA karışımı 1000 ml'lik cam behere konularak 0.1 gr hassasiyetinde tartıldı.

Beher, üzeri kapatıldıktan sonra 1 saat süre ile, 170°C sıcaklıktaki etüvde bekletildi. Bu sürenin sonunda etüvden çıkartıldı ve karışım beheri sarsmadan boşaltıldı. Cam behere yapışan agrega varsa agrega temizlendi. Deney sonu cam beher tartıldı ve boş beher ağırlığı çıkartıldı. Süzülen bitüm miktarı ilk başlangıçta deneye alınan karışım miktarına oranlanarak belirlenmiştir (Şekil 60) [63].



Şekil 60. Bitüm süzülme deneyi yapılışı

2.5.5. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deneyinin Yapılışı

Bu çalışmada Dolaylı çekme mukavemeti deneyi ASTM D6931 standardına göre yapılmıştır. Üçer adet Marshall briketi her bir katkı oranından, 24 saat boyunca 25°C'lik su banyosunda bekletilmiştir. Daha sonra Marshall test cihazına entegre edilen dolaylı çekme başlığı yerleştirilip 50.8 mm/dk' sabit hızla kırılmıştır (Şekil 61).



Şekil 61. Dolaylı çekme mukavemeti deneyi yapılışı

2.5.6. Dolaylı Çekme Deneyinin Yapılışı

Dolaylı Çekme deneyinde kullanılmak üzere, her bir katkı oranında üretilen üçer adet Marshall briketi, 5°C, 25°C ve 40°C sıcaklıklarda deformasyon kontrollü olarak deneye tabi tutulmuştur. Her bir sıcaklık için yükleme periyodu 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms, yük artış süresi (rise time) 40 ms, 60 ms ve 80 ms olarak belirlenerek deney gerçekleştirilmiştir. Deneye başlan madan önce numuneler 24 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra numuneler tek tek yükleme başlıkları arasına yerleştirilerek yatay deformasyonu ölçecek sensörler (LVDT) ayarlanmıştır. Numune yüksekliği, çapı ve poisson oranı (0.35) bilgisayara girilmiştir. Cihaz kabini içindeki referans numunesinin içerisinde ve yüzeyinde bulunan sıcaklık ölçen sensörlerin aynı sıcaklık değerini göstermesinden sonra deneye başlanmıştır. Briketlere önceden belirlenen parametrelerde beş kez yarı sinüzoidal (haversin) yük uygulanmıştır. Numune içerisinde oluşan yatay ve düşey deformasyonlar cihaz tarafından otomatik olarak kaydedilmiştir. Esneklik modülü değeri için bir numuneye birbirine dik iki eksen doğrultusunda iki defa deney yapılmıştır. İlk deney tamamlandıktan sonra numune 90° döndürülerek ikinci kez deneye tabi tutulmuştur. Esneklik modülü değeri olarak üç örneğe uygulanan altı deney sonucunun ortalaması alınmıştır. Deneyin tahribatsız olması nedeniyle, bir numuneye birden fazla deney yapılması imkanı vardır (Şekil 62).



Şekil 62. Dolaylı çekme deneyi yapılışı

2.5.7. Su Hasarı Deneyi Yapılışı

Çalışmada Su hasarı deneyi ASTM D4867 standardı kullanılmıştır. Her bir katkı oranında karışım için 3 adet kuru ve 3 adet koşullandırılmak üzere toplam 6 adet briket hazirlanmiştır. Koşullandırılmayan briketler 25ºC su banyosunda 2 saat bekletildikten sonra, koşullandırılan briketler ise -18ºC' de 16-24 saat bekletildikten 60ºC de 24 saat bekletip daha sonra Marshall stabilite cihazına entegre edilen dolaylı çekme başlığı ile 50.8 mm/dk hızda kırılarak koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme mukavemetleri ile dolaylı çekme mukavemeti oranları Şekil 63' de görüldü gibi belirlenmiştir.



Şekil 63. Nem dayanım deneyi yapılışı

2.5.8. Statik Sünme Deneyi Yapılışı

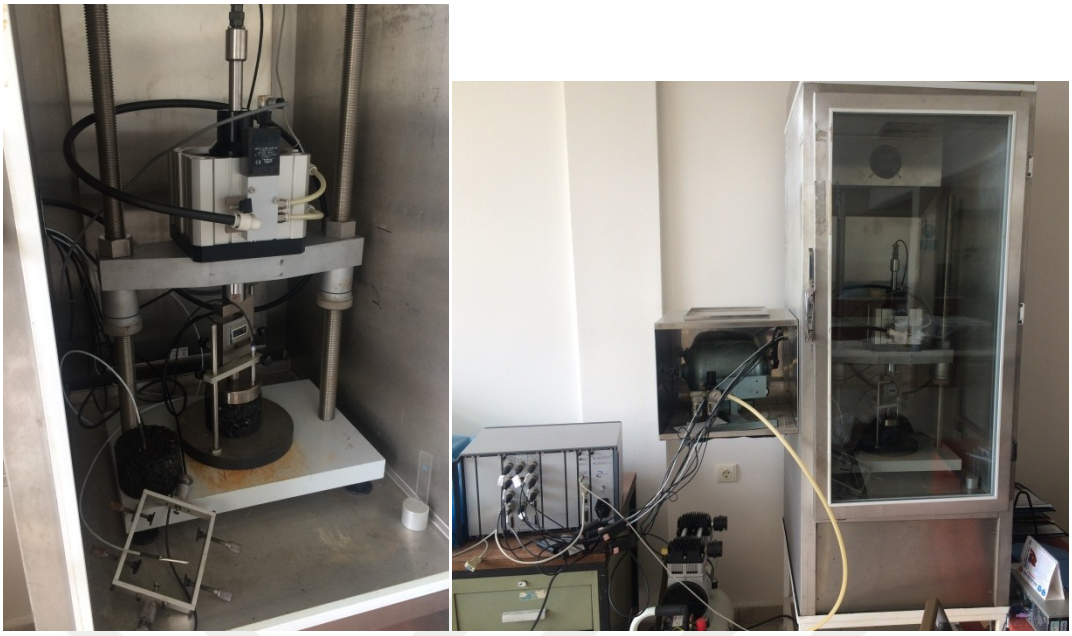
Bu deneysel çalışmada Statik sünme deneyi ASTM D6927 standardına göre yapılımıştır. Deneyi için her bir katkı oranında üretilen üçer adet Marshall numunesi, 25°C sıcaklıkta, 3600 sn boyunca 150 kPa'lık basınç yüküne maruz bırakılmış ve 3600 sn boyunca oluşan deformasyonlar ölçülmüştür. Bu sürenin sonunda numuneler üzerindeki yük kaldırılarak 3600 sn yüksüz bırakılmış ve bu sürenin sonunda geriye dönen deformasyon miktarları ölçülmüştür. Ayrıca, her numune için ölçülen deformasyon değerlerine karşılık gelen sünme modülü değerleri hesaplanmıştır (Şekil 64).



Şekil 64. Statik sünme deneyi yapılışı

2.5.9. Tekrarli Sünme Deneyi Yapılışı

Deneysel çalışmada Tekrarlı sünme deneyi belirlemek amacıyla ASTM D6927 standardı kullanılmıştır. Tekrarlı sünme deneyi için her bir katkı oranında üretilen üçer adet Marshall numunesi, 25°C sıcaklıkta, 1000 ms vuruş periyodu boyunca 500 ms yüklü, 500 ms yüksüz olmak üzere 100 kPa'lık tek eksenli basınç yüküne 12.5 saat (45000 yük tekrarı) boyunca maruz bırakılmış ve numunelerde oluşan kalıcı deformasyon miktarları ölçülmüştür. Her numune için ölçülen deformasyon değerlerine karşılık gelen sünme modülü değerleri hesaplanmıştır (Şekil 65).



Şekil 65. Tekrarlı sünme deneyi yapılışı

2.5.10. Dolaylı Çekme Yorulma Deneyi Yapılışı

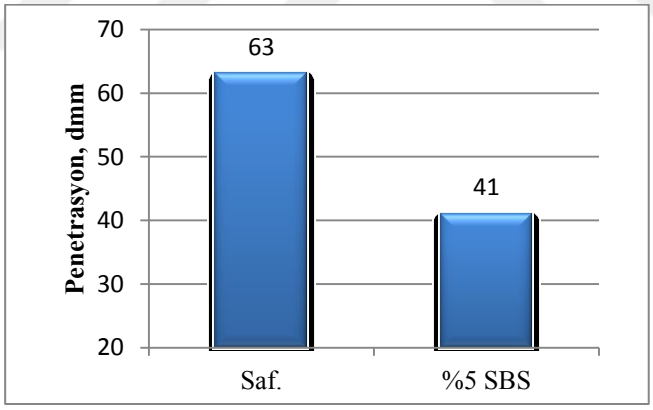
Dolaylı çekme yorulma deneyi için her bir katkı oranında hazırlanan üçer adet Marshall numunesi, 25°C sıcaklıkta ASTM D 6927 standardına göre yapılmıştır. Deney gerilme kontrollü olarak 300 kPa'lık gerilme altında gerçekleştirilmiştir. Yükleme periyodu 1500 ms olarak seçilmiş, bu sürenin 124 ms'si yük etki süresi, geriye kalan 1376 ms ise dinlenme süresi (rest time) olarak ayarlanmıştır. Numuneler tam olarak kırılıncaya kadar deney devam etmiş ve kırılmanın oluştuğu yük tekrar sayıları belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

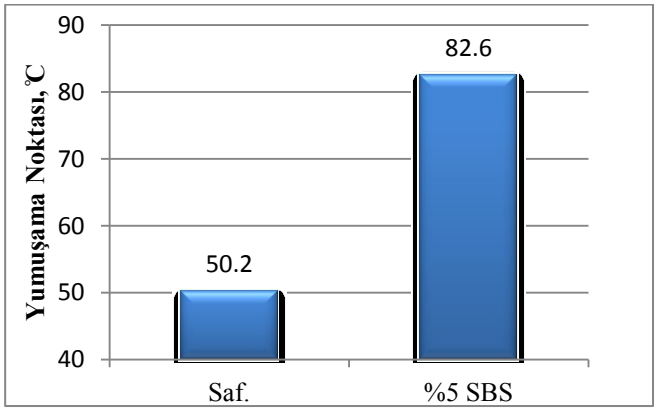
Bu bölümde SBS ile modifiye edilen bitüm, Agrega, Viatop Premium ve FRP katkı maddeleri ile üretilen Taş Mastik Asfalt üzerinde uygulanan deneylerin grafikleri ve sonuçları verilmiş ve değerlendirilmiştir. Ayrıca bu tür karışımların katkısız karışımlara göre maliyet değerlendirilmesi yapılmıştır.

3.1. Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deney Sonuçları

SBS ile modifiye edilen bitümün ve katkısız bitümün penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları Şekil 66 ve 67'de verilmiştir. %5 SBS ile modifiye edilen bitümün saf bitüme göre penetrasyon değerinin azaldığı, yumuşama noktası değerinin arttığı görülmektedir. Böylece SBS in bitümün sıcaklık hassasiyetini düşürdüğü tespit edilmiştir.



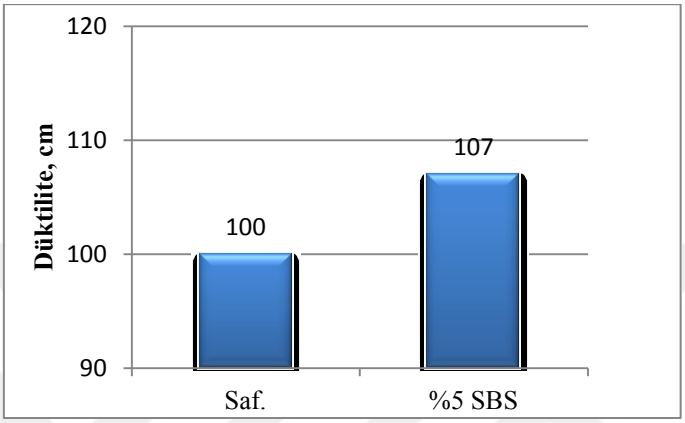
Şekil 66.Penetrasyon deney sonuçları



Şekil 67.Yumuşama Noktası deney sonuçları

3.2. Düktilite Deney Sonuçları

%5 SBS ile modifiye edilen bitümün orijinal bitüme göre Düktilite deney sonuçları Şekil 68' de görülmektedir.

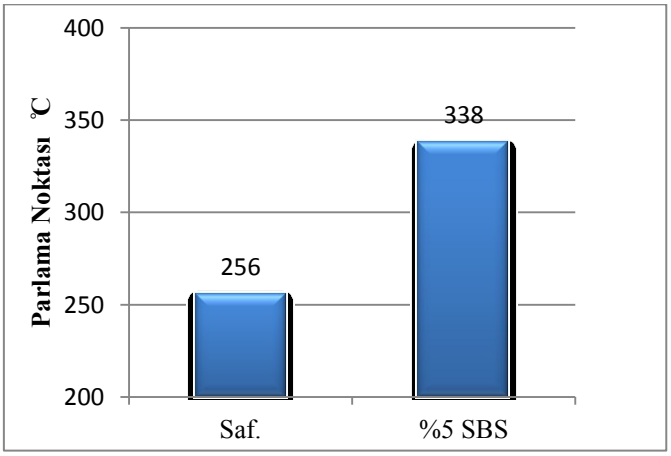


Şekil 68.Düktilite deney sonuçları

Şekil 68'de görüldüğü üzere, %5 SBS katkısı, bitümün kohezyon özelliğini artırdığı anlaşılmaktadır. %5 SBS ile modifiye edilen bitüm saf bitüme göre daha yüksek düktilite değerine sahip olmaktadır.

3.3. Parlama Noktası Deney Sonuçları

Parlama noktası deneyi Celevland açik kabı kullanarak orijinal ve SBS katkı bitüm üzerinde yapılmıştır. Deneyi sonuçları Şekil 69'da görülmektedir.

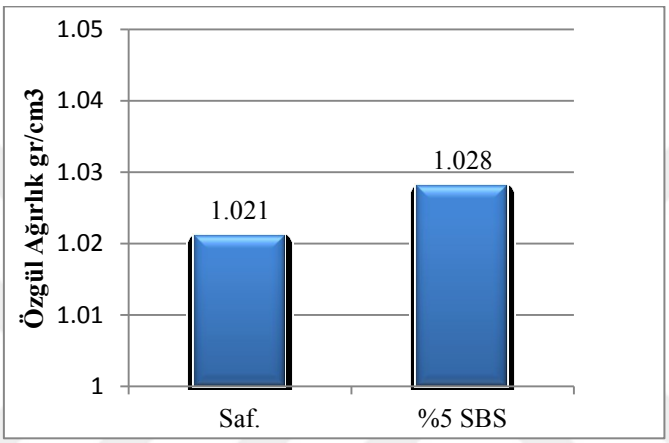


Şekil 69.Parlama Noktası deney sonuçları

Deneyi sonuçları incelendiğinde, %5 SBS katkılı asfaltın orijinal asfalta göre parlama noktası değeri %32 oranında artdığı görülmektedir.

3.4. Özgül Ağırlık Deney Sonuçları

SBS katkılı ve orijinal asfaltların Özgül ağırlık deneyi sonuçları şekil 70' de verilmiştir.

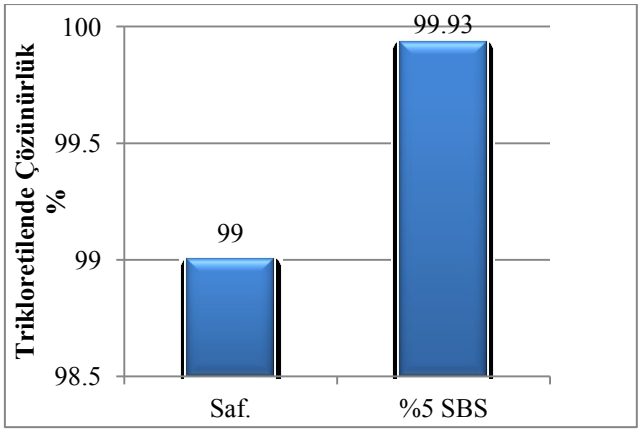


Şekil 70.Özgül Ağırlık deney sonuçları

Şekil 70'de görüldüğü gibi, SBS katkılı asfaltın orijinal asfalta göre Özgül Ağırlık değeri artmıştır.

3.5. Trikloretilende Çözünürlük Deney Sonuçları

SBS katkılı ve orijinal asfaltların Trikloretilende çözünürlükdeneyi sonuçları şekil 71' de verilmiştir.

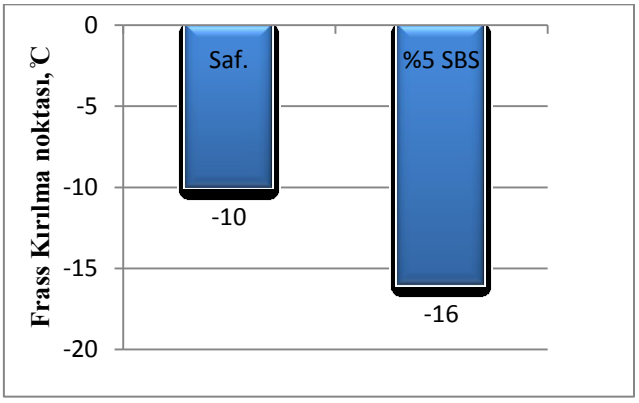


Şekil 71.Trikloretilende çözünürlükdeney sonuçları

Karayollar Şartnamesine göre asfalt bağlayıcıların trikloretilende en az %99 oranında çözünmesi gerekmektedir. Yaptığımız deneyler sonucunda, %5 SBS katkılı asfalt bağlayıcının trikloretilende %99.93 oranında çözünmüştür.

3.6. Fraass Kırılma Noktası Deney Sonuçları

Orijinal ve SBS katkılı modifiye asfalt numunelerinin üzerinde yapılan Fraass kırılma noktası deneyi sonuçları Şekil 72'de verilmiştir.

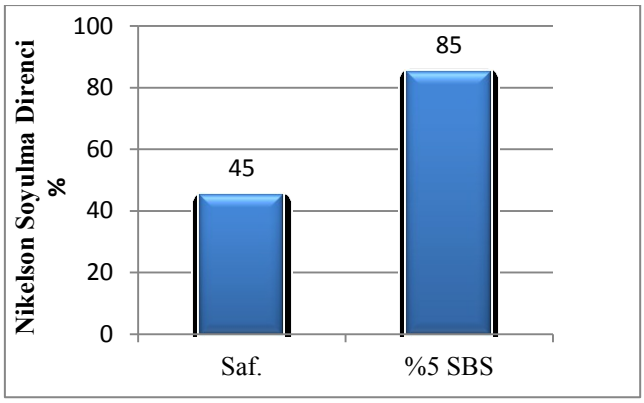


Şekil 72.Fraass kırılma noktası deney sonuçları

Deney sonuçlarına göre, %5 SBS katkılı asfaltın düşük sıcaklıklardaki çatlama özelliğinin iyileştiği ve kırılma sıcaklığının %60 oranında düştüğü görülmektedir.

3.7. Nicholson Soyulma Deney Sonuçları

SBS katkılı ve orijinal asfaltların Nicholson soyulma deneyi sonuçları Şekil 73'de verilmiştir.

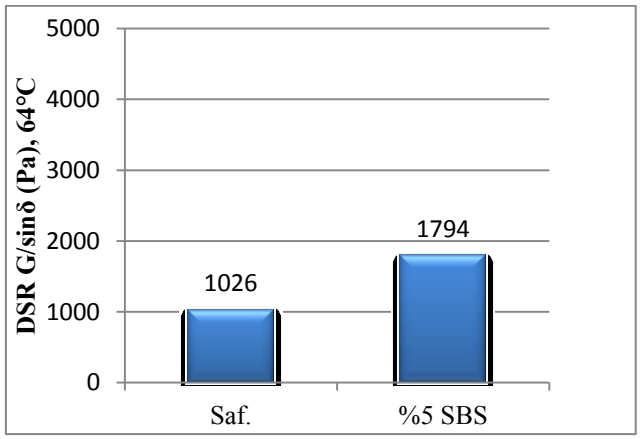


Şekil 73.Nicholson soyulma deney sonuçları

Şekil 73'de görüldüğü üzere, %5SBS katkılı bağlayıcıyla hazırlanan karışımın soyulma direnci orijinal bitüm ile hazırlanan karışıma göre %89 oranında iyileşmesi ve SBS'in asfaltla agrega arasındaki adeziv bağı güçlendirdiği görülmektedir.

3.8. Dinamik Kesme Reometrisi Deney Sonuçları

SBS katkılı ve orijinal asfaltların yaşlanmadan önce 64°C sıcaklıkda, DSR deneyinden elde G*/sinδ değerlerine ilişkin bulgular Şekil 74'de görülmektedir. DSR değerinin limiti 64°C sıcaklıkda 1000 Pa olarak Şartname'de belirlenmiştir.

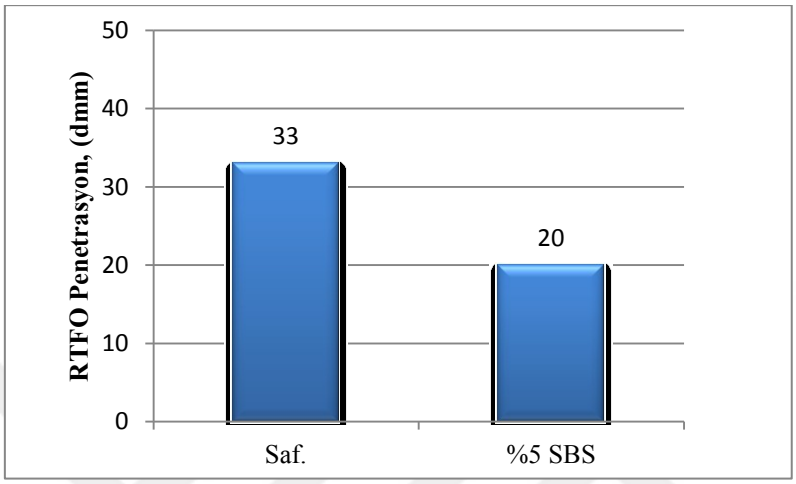


Şekil 74. DSRG*/sinδ, 64°C değerleri

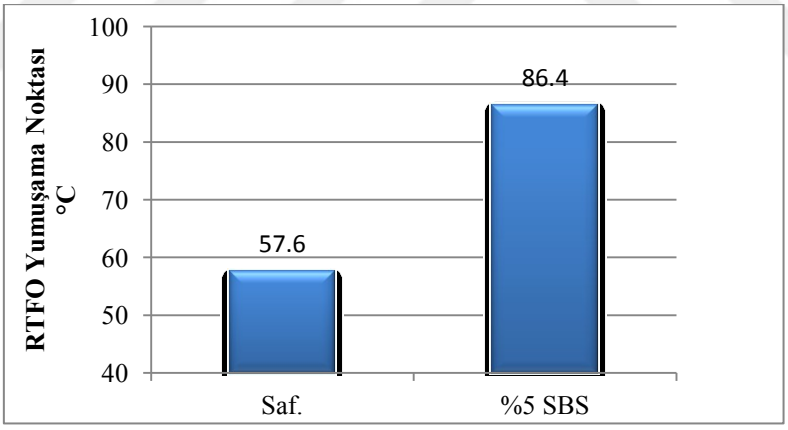
Deneyi sonuçları incelendiğinde, %5 SBS katkılı asfaltın orijinal asfalta göre G*/sinδ parametre değeri %74 oranında artmıştır. SBS orijinal asfaltın elastik özelliğinin artmasına ve tekerlek izi bozulmalara karşı dayanımına yardımcı olabilmektedir.

3.9. Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deney Sonuçları

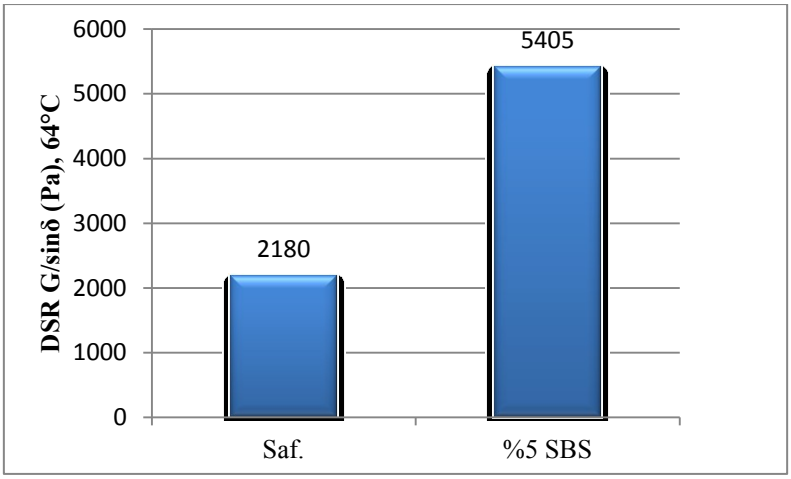
RTFOT sonrası %5 SBS katkılı ve orijinal asfaltların üzerinde penetrasyon, yumuşama noktası ve DSR deneyleri yapılmıştır (Şekil 75, 76, 77). RTFOT sonrası DSR değerinin limiti 64°C sıcaklıkda 2200 Pa olarak Şartname' de belirlenmiştir.



Şekil 75. RTFOT deneyi sonrası penetrasyon değerleri



Şekil 76. RTFOT deneyi sonrası yumuşama noktası değerleri

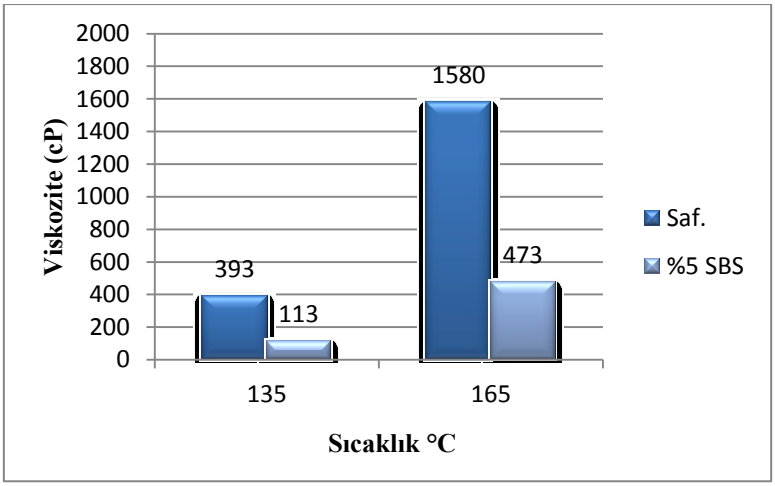


Şekil 77. RTFOT sonrası G*/sinδ değerleri

RTFOT sonrası asfalt numunelere penetrasyon, yumuşama noktası ve DSR deneyleri yapılmıştır. %5 SBS ile modifiye edilen bitümün saf bitüme göre penetrasyon değerinin azaldığı, yumuşama noktası değerinin ise arttığı görülmektedir. RTFOT sonrası %5 SBS katkılı asfaltın orijinal asfaslta göre G*/sinδ parametre değeri %247 oranında artmıştır. RTFOT sonrası deney sonuçlarına göre, SBS katkılı asfalt yaşlanmaya karşı daha yüksek performans sergilemiştir.

3.10. Dönel Viskozimetre Deney Sonuçları

SBS katkılı ve orijinal asfaltların RV deney 135°C, 165°C sonuçları Şekil 78'de görülmektedir. Viskozite değerinin limiti 135°C sıcaklıkda 3000 cP olarak Şartname' de belirlenmiştir.



Şekil 78. 135°C, 165°C sıcaklıklardakiViskozite değerleri

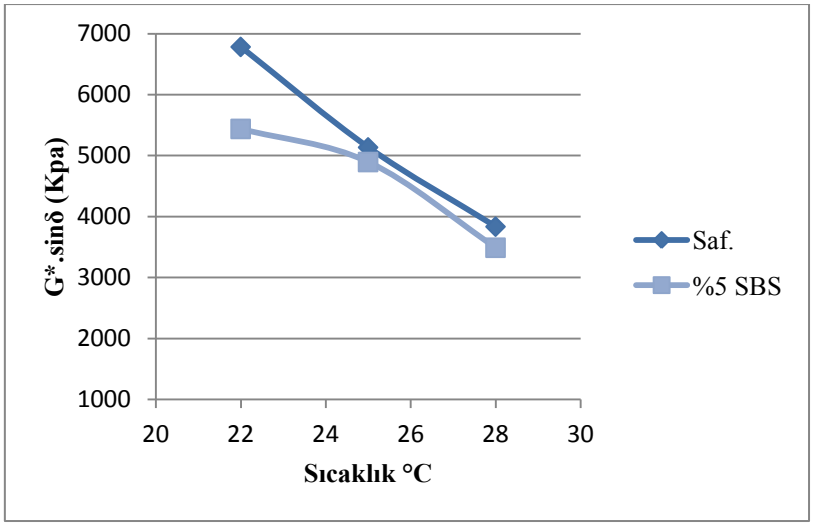
%5 SBS katkılı asfaltın orijinal asfaslta göre viskozite değeri 135°C ve 165°C'de, 4 kat oranında artmıştır. RV deneyi sonuçlarına göre, SBS asfaltın kıvamını artırarak tekerlek izi gibi bozulmalara karşı etkili olabilmektedir.

3.11. Basınçlı Yaşlandırma Kabini Deney Sonuçları

RTFOT ile yaşlandırılmış orijinal ve %5 SBS katkılı asfalt numunelerinin uzun süreli yaşlanmaları basınçlı yaşlandırma kabini deneyine tabi tutularak simüle edilmiştir. PAV deneyi sonrasında orijinal ve modifiye asfalt bağlayıcılara DSR deneyi uygulanmıştır. Deney verileri Tablo 19'de verilmiş olup, yorulma direnci parametresinin (G*.sinδ), sıcaklıkla değişimi Şekil 79'da gösterilmiştir.

Tablo 19. PAV deneyi sonrası DSR test sonuçları

Numune Adi	Sıcaklık °C	G*.sinδ	Şartname Limiti (kPa)
Saf.	22	6783	5000 maks
	25	5135	
	28	3835	
%5 SBS	22	5438	
	25	4895	
	28	3489	



Şekil 79. PAV sonrası G*. sinδ değerleri

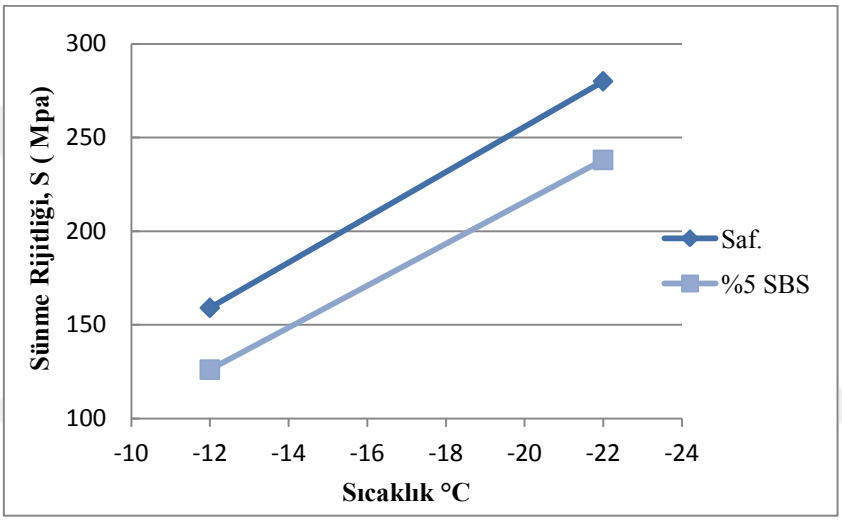
DSR deneyi, 22, 25 ve 28°C sıcaklıklarda yapılmıştır. G*. sinδ değerinin düşük olması, bağlayıcının uzun süreli yaşlanma sonrası yorulmalara karşı daha dirençli olduğu anlamına gelir. Şekil 79'da görüldüğü gibi, 22°C saf ve % 5SBS katkılı bağlayıcıların 5000 kPa superpave şartname limitini aşmışlar. Ancak %5 SBS katkılı bağlayıcı G*. sinδ değeri saf bağlayıcı G*. sinδ değeri ile kıyaslandığında, %20 oranında azalmıştır. 25°C sıcaklıkda saf asfalt şartname limitini aşarken %5 SBS katkılı asfalt şartname limitini sağlamıştır. 25°C sıcaklıkta G*. sinδ değerinde katkılı asfaltda orijinal asfalta göre %5 oranında azalma görülmektedir. Bu bulgular, SBS katkı maddesinin orijinal asfaltın yorulma direncini arttığını açıklamaktadır.

3.12. Eğilme Kirişi Reometrisi Deney Sonuçları

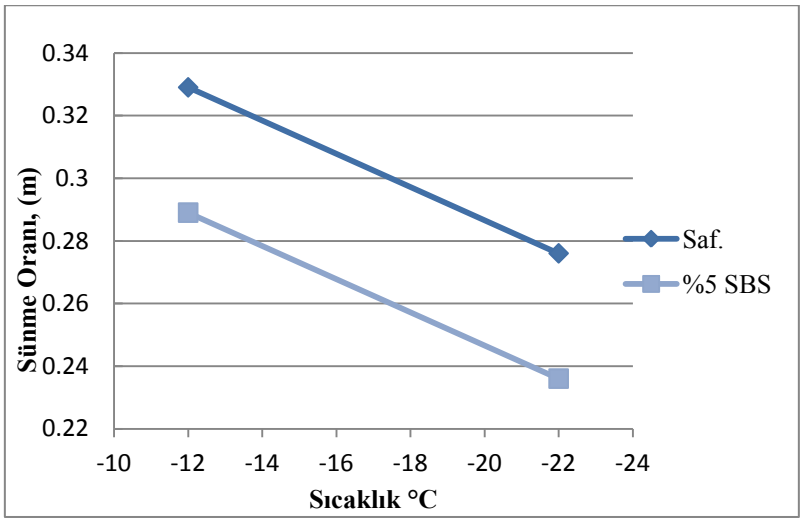
PAV deneyinden sonra elde edilen orijinal ve %5 SBS katkılı asfalt numunelerinin üzerinde BBR deneyi uygulanmıştır. Deney verileri Tablo 20'da verilmiştir. Sünme rijitliği (S) ve sünme oranı (m) değerleri Şekil 80 ve 81' de gösterilmiştir. Superpave şartnamesinde sünme rijitliği (S) değerinin 300 MPa değerinden fazla olması istenmemektedir. Aynı şartnamede sünme oranı (m) değerinin de en az 0.300 olması gerekmektedir.

Tablo 20. BBR deney sonuçları

Numune Adi	Sıcaklık °C	Sünme Rijitliği, S (MPa) ≤ 300 olmalı	Sünme Oranı, m ≥ 0.300 olmalı
Saf.	-12	159	0.329
	-22	280	0.276
%5 SBS	-12	126	0.299
	-22	238	0.238



Şekil 80. Sünme rijitliği (S) değerlerinin sıcaklıkla değişimi



Şekil 81. Sünme oranı (m) değerlerinin sıcaklıkla değişimi

Şekil 80'den görüldüğü gibi -12°C sıcaklıkda %5 SBS katkılı asfalt numunelerin sünme rijitliği (S) değeri orijinal asfalta göre %21 oranında azalmıştır. -22°C sıcaklıkda ise SBS katkılı asfalt numunelerin sünme rijitliği (S) değeri orijinal asfalta göre %15 oranında azalmıştır. Bu verilere göre, SBS katkı maddesi asfaltın çatlama özelliğini iyileştirir. Şekil 81'den görüldüğü üzere -12°C sıcaklıkda %5 SBS katkılı asfalt numunelerin sünme oranı (m) değeri orijinal asfalta göre %10 artmıştır. -22°C sıcaklıkda ise SBS katkılı asfalt numunelerin sünme oranı (m) değeri orijinal asfalta göre %16 oranında artmıştır. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde, SBS katkı maddesinin düşük sıcaklıklarda asfaltın çatlamalara karşı direncini artırdığı görülmektedir.

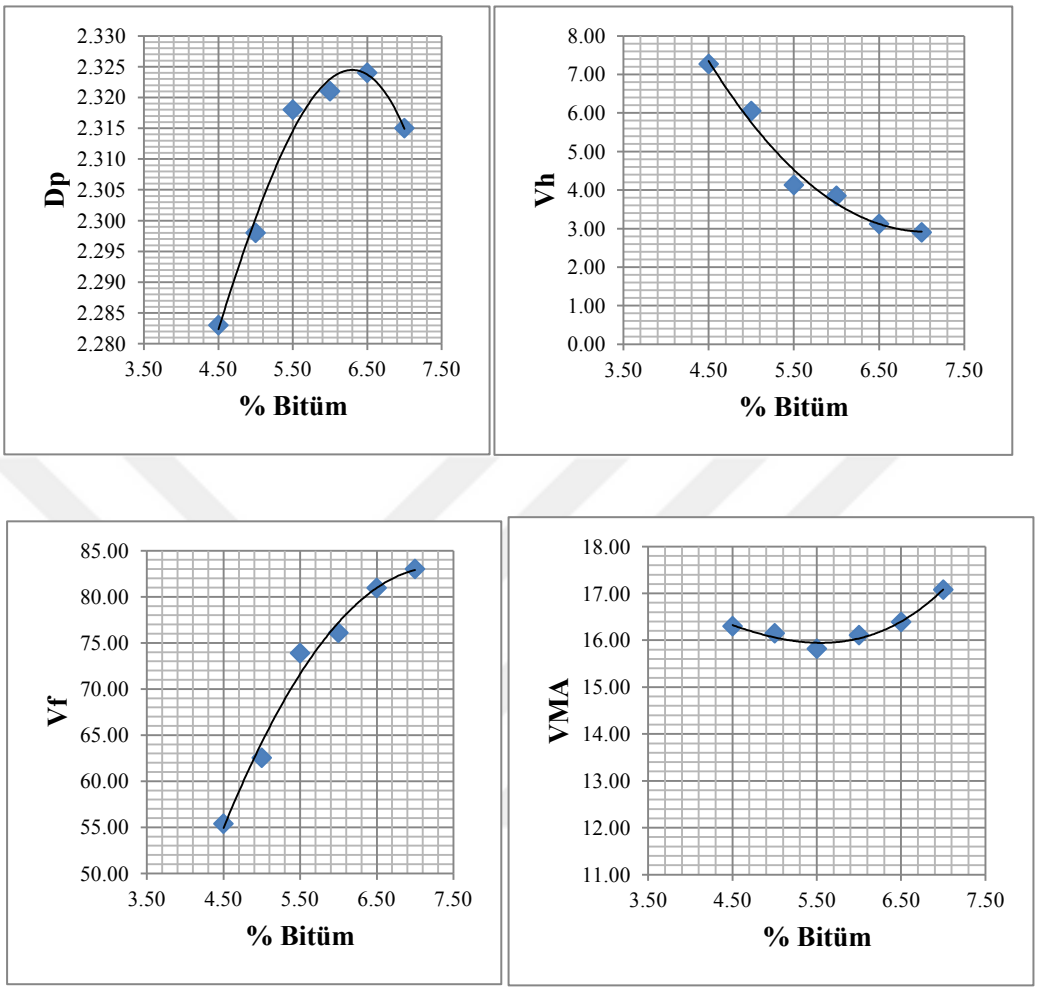
3.13. Marshall Tasarımına Göre Optimum Asfalt İçeriğinin Belirlenmesi

%5 SBS modifiyeli bitüm ve gradasyonu belli olan agrega ile taş mastik asfalt optimum bitüm oranını belirlemek amacıyla Marshall tasarımı yapılmıştır. %4.5-%7 oranları arasında %5 SBS modifiyeli asfalt bağlayıcı %0.5'lik artışlarla kullanılmış ve her asfalt içeriğinde üçer adet Marshall briketi hazırlanmıştır. Marshall briketlerinin yoğunluk-boşluk analizleri yapıladan sonra briketlerin pratik yoğunluğu (D_p), teorik özgül ağırlığı (D_t), hava boşluğu (V_h), agregalar arası boşluk (VMA) ve asfaltla dolu boşluk (V_f) değerleri Tablo 21' de verilmiştir.

Tablo 21. %5 SBS modifiyeli asfaltla TMA dizayn sonuçları ve şartname limitleri

Karışım Özelliği	**Şartname Kriteri TMA Aşınma TİP-2**		**Asfalt İçeriği (%)**					
	Min.	Maks.	**4.5**	**5**	**5.5**	**6**	**6.5**	**7**
Hacim Özgül Ağırlık (Dp-g/cm^3)	-	-	2.283	2.298	2.318	2.321	2.324	2.317
Maks. Teorik Özgül Ağırlık (D_t-g/cm^3)	-	-	2.462	2.446	2.418	2.414	2.399	2.384
Hava Boşluğu (Vh-%)	2	4	7.27	6.05	4.13	3.85	3.12	2.89
Agregalar Arası Boşluk (VMA-%)	16	-	16.3	16.15	15.82	16.11	16.39	17.00
Asfaltla Dolu Boşluk (Vf-%)	-	-	55.39	62.54	73.89	76.10	80.96	83.02
Schellenberger Bitüm süzülme %	-	0.3	-	-	-	-	-	-
Elyaf Miktarı	0.3	1	-	-	-	-	-	-

Tablo 20’ de verilen sonuçlardan yararlanarak, D_p - Wa, V_f – Wa, V_h – Wa, VMA – Wa, grafikleri çizilmiş ve Şekil 82’de gösterilmiştir.



Şekil 82. Dp, Vh, Vf ve VMA değerlerini gösteren grafik eğrileri

Şekil 82’ de görüldüğü üzere boşluk miktarı TMA için karayolları şartnamesinde %3 olarak belirlenmiştir. %3 Boşluk miktarına karşlık gelen asfalt miktarı, en yüksek pratik yoğunluk değerine karşılık gelen asfalt miktarı, VMA ve V_f miktarlarına karşılık gelen asfalt miktarı dikkate alınarak optimum asfalt miktarı %6.9 olarak belirlenmiştir. Marshall tasarımı kapsamında %5 SBS modifiyeli bitüm ile üretilen briketlere ait özellikler Ek Tablo 6-1’de verilmiştir.

3.14. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları

%6.9 oranındaki optimum bitüm miktarına sahip Marshall briketleri, sadece %5 SBS modifiyeli bitümle hazırlanan numuneler, %0.3 Viatop Premium Elyaf ile birlikte %0.3,

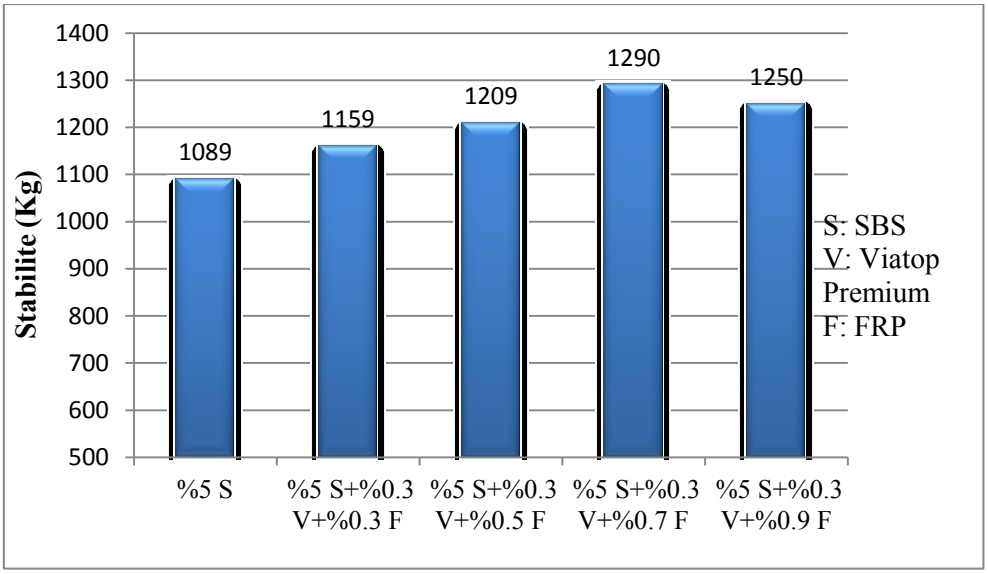
%0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında optimum bitüm yüzdesine göre FRP katkılı numuneler olmak üzere 5 farklı tipte üretilmiştir. Briketlerin yoğunluk-boşluk analizleri, stabilite, akma ve Marshall oranı değerleri Tablo 22'de bulunmaktadır.

Tablo 22. Marshall stabilite deney sonuçları

Karışım Özellikleri	**Numune Adı**				
	(%5) SBS	%5 SBS + %0.3 Viatop Permium + %0.3 FRP	%5 SBS + %0.3 Viatop Permium + % 0.5 FRP	%5 SBS + %0.3 Viatop Permium + % 0.7 FRP	%5 SBS + %0.3 Viatop Permium + % 0.9 FRP
Bağlayıcı Özgül Ağırlığı (Gb-g/cm^3)	1.028	1.028	1.028	1.028	1.028
Optimum Asfalt İçeriği (%)	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
Hacim Özgül Ağırlık (Dp-g/cm^3)	2.299	2.306	2.30	2.304	2.31
Hava Boşluğu (Vh-%)	3.76	3.47	3.72	3.56	3.3
Asfaltla Dolu Boşluk (Vf-%)	78.65	80	78.82	79.56	80.82
Agregalar Arası Boşluk (VMA-%)	17.61	17.35	17.57	17.42	17.21
Stabilite (kg)	1089	1159	1209	1290	1250
Akma (mm)	3.61	3.65	3.74	3.59	3.82
Marshall Oranı (kg/mm)	301.66	317.53	323.26	359.33	327.22

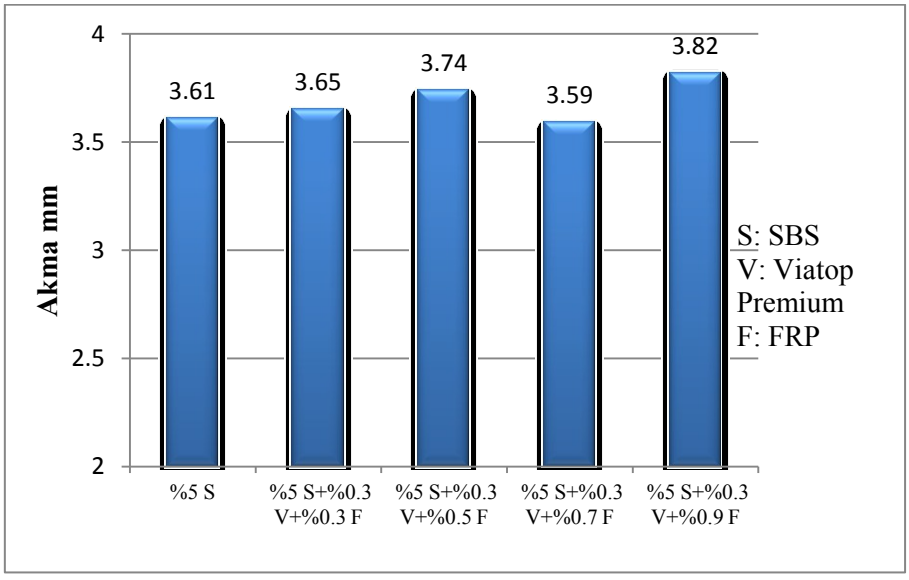
Tablo 21 incelendiğinde, en düşük özgül ağırlık değerinin sadece SBS (%5) katkılı numunelerde görüldüğü, en yüksek özgül ağırlık değerinin ise %5 SBS, %0.3 Viatop Premium ve %0.9 FRP katkı oranlarına sahip numunelerde görüldüğü kaydedilmiştir. Şartname limitlerine göre, boşluk oranı % 2 ve % 4 arasında olmalıdır. Bu da karışımın ağır taşıtlar ve yüksek sıcaklık nedeniyle kaplamada meydana gelebilecek terleme ve kusmaya karşı daha dirençli olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 21'de verilen stabilite, akma ve Marshall oranı değerleri grafik olarak 83, 84 ve 85 şekillerinde gösterilmiştir.



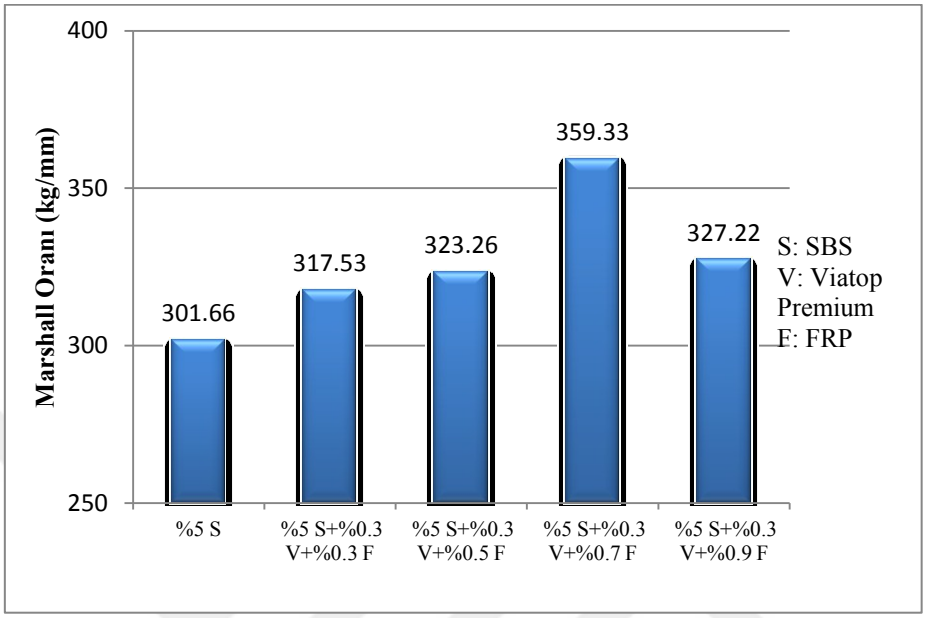
Şekil 83. Katkı oranlarına göre stabilite değerleri

Şekil 83' de görüldüğü üzere tüm numuneler Şartname limitini sağlamışlar. En yüksek stabilite değeri %3 Viatop Premium ile birlikte %0.7 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. En düşük stabilite değeri ise %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmaktadır. %5 SBS modifiyeli bitümle yapılan karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların stabilite değerleri sırasıyla %6.4, %11, %18.46 ve %14.78 oranlarında artmıştır.



Şekil 84. Katkı oranlarına göre akma değerleri

Şekil 84'den de izlenebileceği üzere en yüksek akma değeri %3 Viatop Premium ve %0.9 FRP katkılı numunelerde ve en düşük akma değeri ise %3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı numunelerde gözlemlenmiştir.



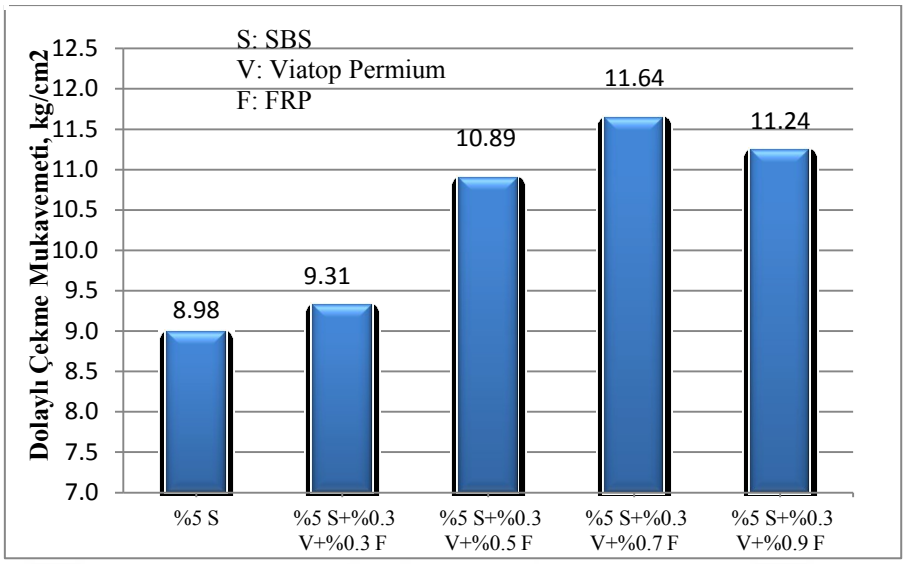
Şekil 85. Marshall oranı değerleri

Şekil 85'de görüldüğü gibi, en yüksek marshall oranı değeri %0.3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. En düşük stabilite değeri ise %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmaktadır. %5 SBS modifiyeli bitümle yapılan TMA karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katklı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların stabilite değerleri sırasıyla %5.2, %7.16, %19.1 ve %8.4 oranlarında artmıştır. FRP katkı oranın %0.7 katkı oranına kadar karışımın stabilitesini arttırdığı, bu orandan sonra düşmeye başladığı görülmüştür. Dolayısıyla FRP katkı maddesinin, SBS ve Viatop Premium katkılarıyla birlikte kullanımının karışımın plastik ve kalıcı deformasyonlara karşı dayanımını artırdığı söylenebilir.

Optimum asfalt içeriğine göre üretilen orijinal ve modifiye asfalt bağlayıcılı karışımların Marshall tasarım özellikleri Ek Tablo 2-6'da verilmiştir.

3.15. Dolaylı Çekme Mukavemeti Deney Sonuçları

Marshall stabilite deneyinden elde edilen optimum asfalt içeriğinde her bir karışım için üçer adet Marshall briketi üretilmiş olup, 25°C sıcaklıkta deneye tabi tutulmuştur. Her bir karışımdaki üç briketin deney sonucu ortalamaları alınarak, deney sonuçları Şekil 86'da grafik olarak verilmiştir.

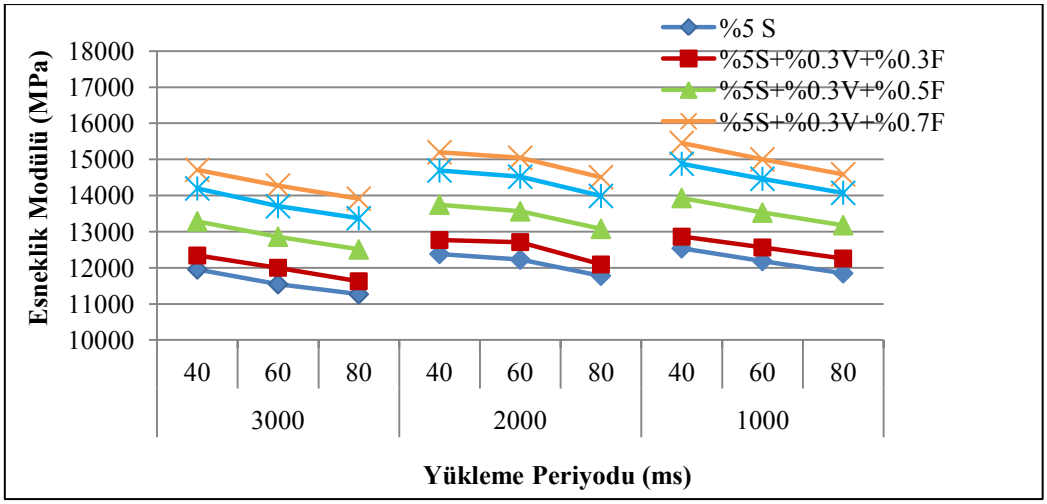


Şekil 86. Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları

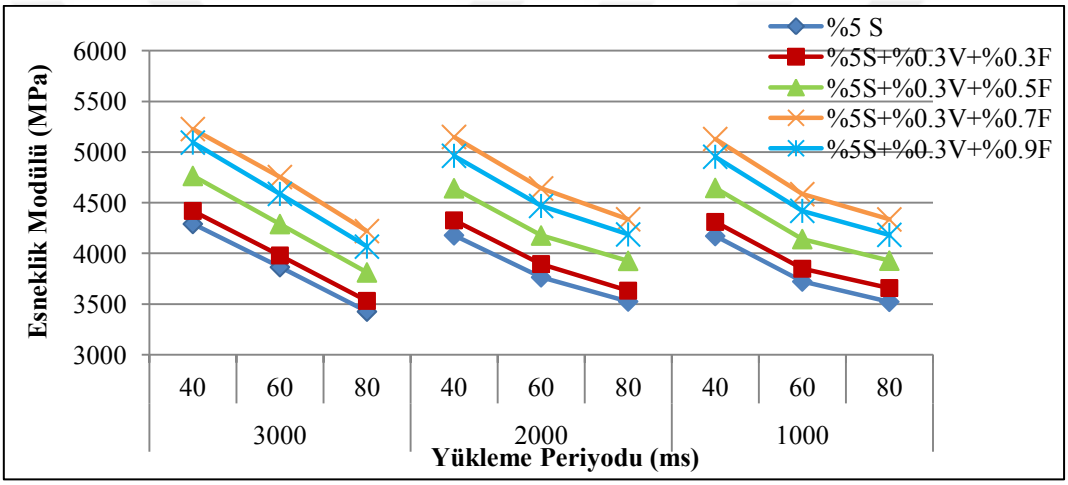
Şekil 86 incelendiğinde en yüksek dolaylı çekme mukavemeti değerinin %0.3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı numunelerden elde edildiği görülmektedir. En düşük dolaylı çekme mukavemeti değeri ise %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmaktadır. %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların dolaylı çekme mukavemeti değerleri sırasıyla %3.67, %21.27, %29.57 ve %25.11 oranlarında artmıştır. Dolayısıyla FRP katkı maddesinin, SBS ve Viatop Premium ile birlikte TMA karışımın trafik yükleri altında oluşan çekme gerilmelerine karşı direncinin artmasına neden olduğu gözlenmiştir.

3.16. Dolaylı Çekme Deney Sonuçları

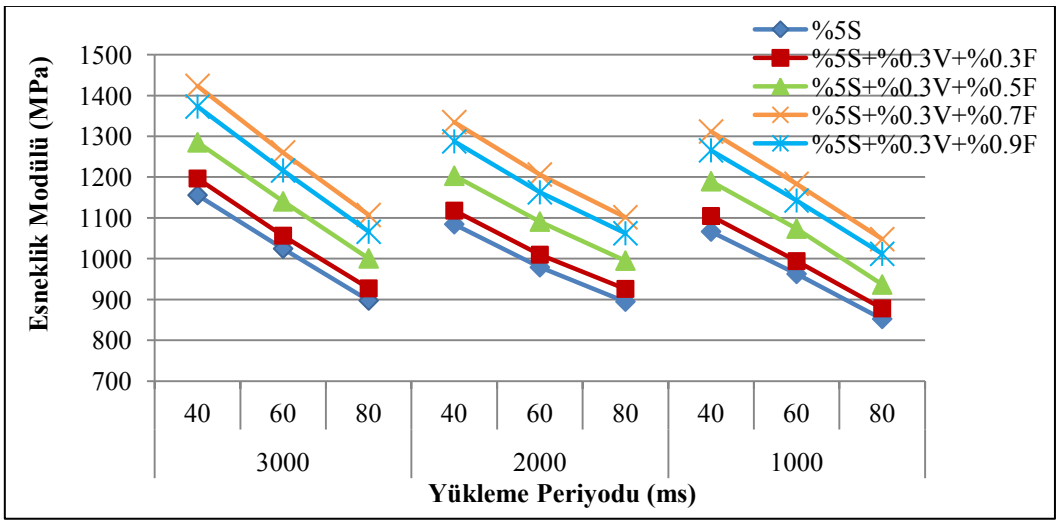
Optimum bitüm içeriğinde hazırlanan karışımların esneklik modülü değerlerinin belirlenmesi amacıyla 5ºC, 25ºC ve 40ºC sıcaklıklarında, 1000 ms (1.00 Hz), 2000 ms (0.50 Hz) ve 3000 ms (0.33 Hz) yükleme periyotlarında ve 40 ms, 60 ms ve 80 ms yük artış sürelerinde dolaylı çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları Şekil 87-89'da grafik olarak verilmiştir.



Şekil 87. Karışımların esneklik modülü değerleri, 5°C

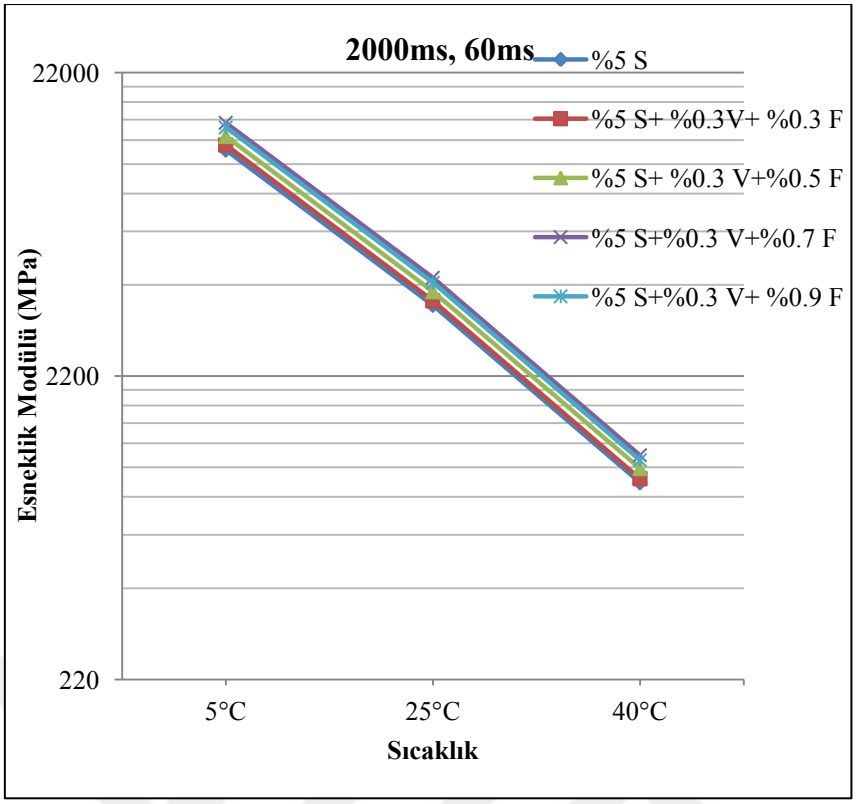


Şekil 88. Karışımların esneklik modülü değerleri, 25°C



Şekil 89. Karışımların esneklik modülü değerleri, 40°C

Şekillerden görüldüğü gibi en yüksek esneklik modülü %3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. Aynı yükleme ve periyotları ve yük artış sürelerinde %0.3 Viatop Premium sabit olarak FRP katkı maddelerin oranının artmasına paralel olarak esneklik modülünde sürekli bir artış meydana gelmiştir. % 0.7 oranından sonraki ilave FRP (%0.9 FRP) katkı oranının esneklik modülünde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Böylece, FRP katkı maddesinin, trafik yükü nedeniyle kaplama tabakası altında meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme ve basınç gerilmelerinin sebep olduğu kalıcı deformasyonlara karşı TMA karışımın direncini arttırdığı, esneklik modülündeki artışla birlikte kaplamanın yük dağıtma kabiliyetini iyileştirdiği söylenebilir. Bununla birlikte her bir yükleme periyodu için, kısa yükleme süresinde beklenildiği gibi daha yüksek esneklik modülü değeri elde edilmiştir. Bu sonuç, yükleme süresi kısaldıkça, malzemenin daha elastik davrandığının bir göstergesidir. %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların esneklik modülü değerleri sırasıyla %3, %11, %23 ve %18 oranlarında aynı yükleme ve periyotları ve yük artış sürelerinde artmıştır. Deneyin yapıldığı her sıcaklık, her yükleme periyodu ve farklı hızlarda bütün karışımlardan elde edilen esneklik modülü değerleri, Asphalt Aggregate Mixture Analyzing System (AAMAS) tarafından hazırlanan ve karışımların esneklik modüllerinin değerlendirildiği nomografa göre incelenmiştir. Bu nomografa göre, 5°C sıcaklık için uygun esneklik modülü aralığı yaklaşık 8411 MPa ile 23212 MPa arasında kalırken, bu aralığın üzerindeki değerler yüksek esneklik modülüne, altındaki değerler ise düşük esneklik modülüne sahipler. Benzer şekilde 25°C ve 40°C sıcaklıklar için sırasıyla uygun esneklik modülü değerlerinin yaklaşık 1946 MPa-6205 MPa ve 781MPa-2355 MPa arasında olduğu belirtilmiştir [118]. Deney sonuçlarına göre tüm numunelerin esneklik modülü değerleri bütün sıcaklıklarda belirtilen bu sınır değerleri içerisinde kalmıştır.



Şekil 90. Karışımların esneklik modülü değerlerinin sıcaklığa göre değişimi

Şekil 90 incelendiğinde esneklik modülü değerleri tüm karışımlarda en yüksek 5ºC'de, en düşük ise 40ºC'de bulunmuştur. Bulunan bu değerler, viskoelastik olarak davranan malzemelerin davranışı ile uyumludur.

Dolaylı çekme deneyi için hazırlanan her bir brikete ait detaylı deney sonucu Ek Tablo 3-7'de verilmiştir.

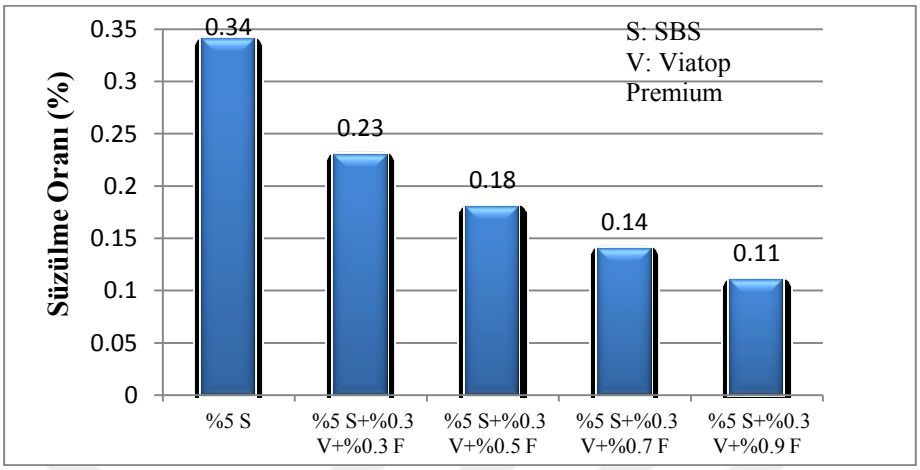
3.17. Bitüm Süzülme Deneyi Sonuçları

Schellenberger bitüm süzülme deneylerinin sonucunda elde edilen değerler, Tablo 23'de verilmiştir.

Tablo 23. Schellenberger bitüm süzülme deney sonuçları

TMA Karışım Dizaynları	Süzülme Sonucu Yüzdeler (%)
%5 SBS	0,34
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %3 FRP	0,23
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %5 FRP	0,18
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %7 FRP	0,14
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %9 FRP	0,11

Tablo 21.'de görüldüğü gibi %5 SBS katkılı numuneler şartname limitinin üzerinde sonuç vererken Viatop Premium ve FRP katkı maddelerine sahip olan karışımlar, olumlu değerler ortaya koymaktadır.



Şekil 91. Schellenberger bitüm süzülme deney grafiği

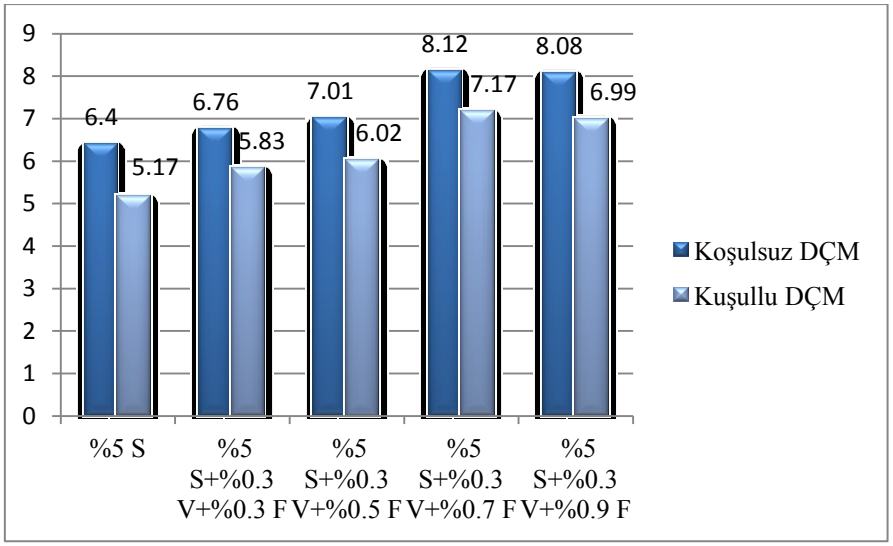
Şekil 91'de izlendiği gibi, Bitüm süzülme deneyinde en iyi sonuçları veren %0.3 Viatop Permium ve %0.9 FRP sahip olan karışım yer almaktadır. En olumsuz değer ise %5 SBS tasarımda ortaya çıkmıştır. Bu değerin en olumlu değer olan "%0.3 Viatop Premium ve %0.9 FRP" katkılı karışımın değeriyle kıyasta, 3 kat olduğu gözlenmektedir. Deney sonuçlarına göre tüm Viatop ve FRP katkılı numunelerin süzülme oranı şartname sınır değerleri içerisinde kalmıştır.

3.18. Su Hasarı Deney Sonuçları

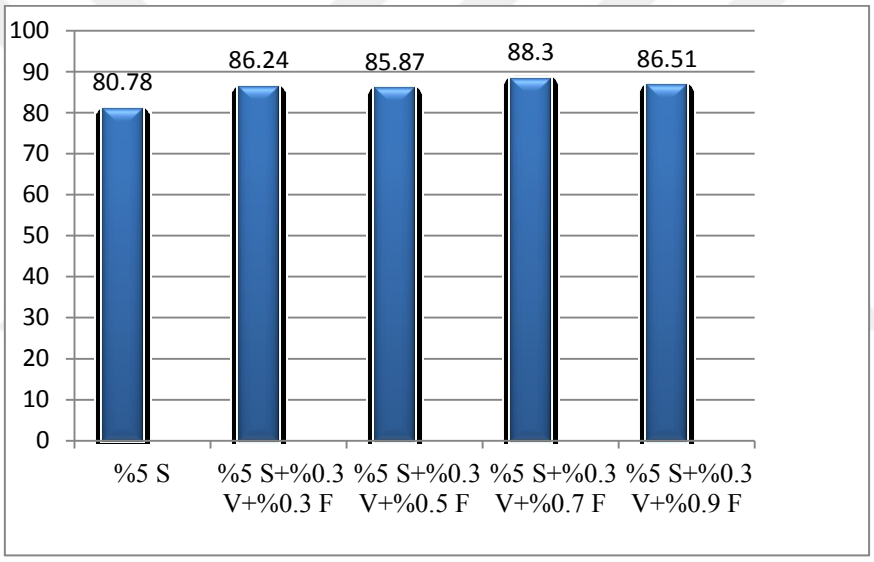
Her bir karışım için üçer adet koşullu ve üçer adet koşulsuz olmak üzere toplam altı adet briket üretilmiş ve briketlere ait koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme mukavemeti değerleri hesaplanmıştır. Deneylerin sonucunda elde edilen değerler Tablo 24'de verilmiştir.

Tablo 24. Sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direnç deneyi sonuçları (Lottman deneyi)

TMA Karışım	Koşulsuz dolaylı çekme mukavemeti (kg/cm^2)	Koşulıu dolaylı çekme mukavemeti (kg/cm^2)	Dolaylı çekme mukavemeti oranı
%5 SBS	6.4	5.17	80.78
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %0.3 FRP	6.76	5.83	86.24
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %0.5 FRP	7.01	6.02	85.87
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %0.7 FRP	8.12	7.17	88.3
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %0.9 FRP	8.08	6.99	86.51



Şekil 92. Koşullu ve koşulsuz dolaylı çekme mukavemeti değerleri



Şekil 93. Dolaylı çekme mukavemeti oranları

Şekil 92 incelendiğinde FRP katkı maddesinin %0.7 oranına kadar, koşulsuz ve koşullu numenelerin dolaylı çekme mukavemeti artmıştır. En yüksek dolaylı çekme mukavemeti değeri %0.3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı numunelerden elde edilmiştir. En düşük dolaylı çekme mukavemeti ise koşulsuz ve koşullu %5 SBS sahip olan karışım numunelerinden elde edilmiştir.

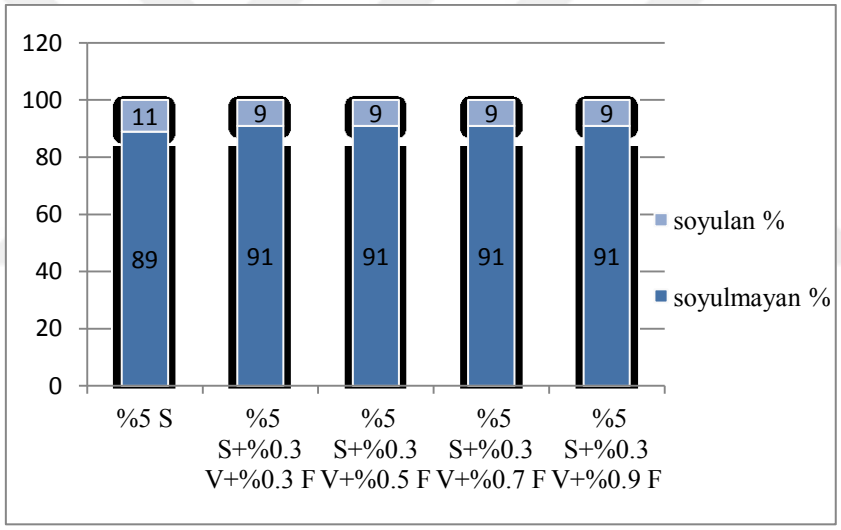
Şekil 93' de görüldüğü gibi tüm karışımların dolaylı çekme mukavemeti oranlarının Superpave şartname limiti olan %80 değerinin üstünde kaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, FRP katkı maddesinin karışımların nem hasarına karşı direncini önemli ölçüde artırdığı açıkça söylenebilir.

3.19. Nicholson Soyulma Deneyi Sonuçları

Nicholson soyulma deneylerinin sonuçlarından elde edilen değerler Tablo 25'de verilmiştir. SBS, Viatop Premium ve FRP maddelerin bağlayıcı ile agrega arasındaki adezyonun su etkisindeki değişimini incelemek amacıyla Nicholson soyulma deneyi yapılmıştır.

Tablo 25. Nicholson soyulma değerleri

TMA Karışım Dizaynları	Nicholson soyulma Yüzdeler (%)
%5 SBS	89
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %3 FRP	91
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %5 FRP	91
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %7 FRP	91
%5 SBS + % 0.3 Viatop Premium + %9 FRP	91

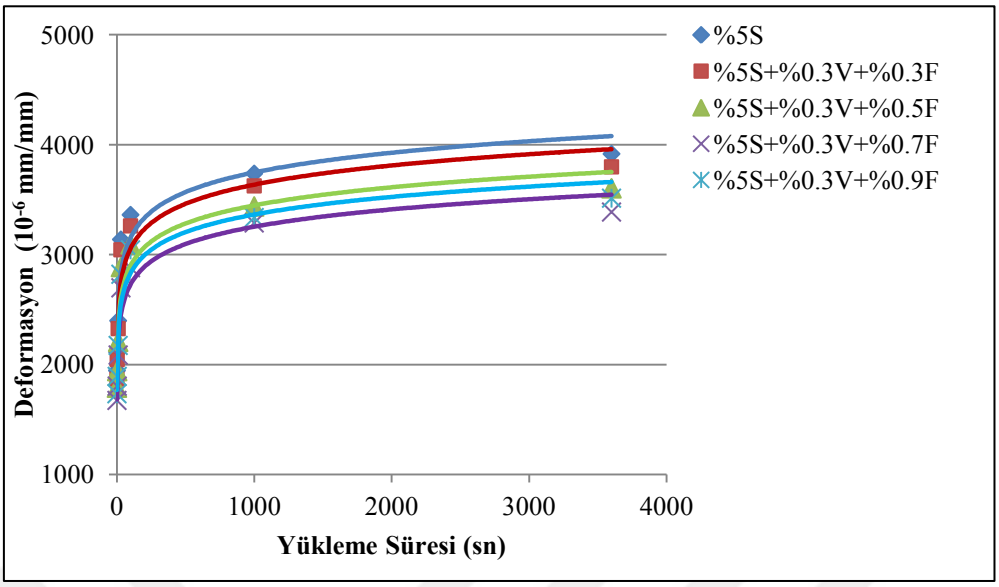


Şekil 94. Nicholson soyulma oranları

Şekil 94 incelendiğinde, FRP katkı maddesinin agrega arasındaki adezyona etkili olmadığı ve Viatop Premium katkı maddesinin agrega arasındaki adezyonun su etkisindeki değişimine çok küçük katkısının olduğu açıkça gözlenmiştir.

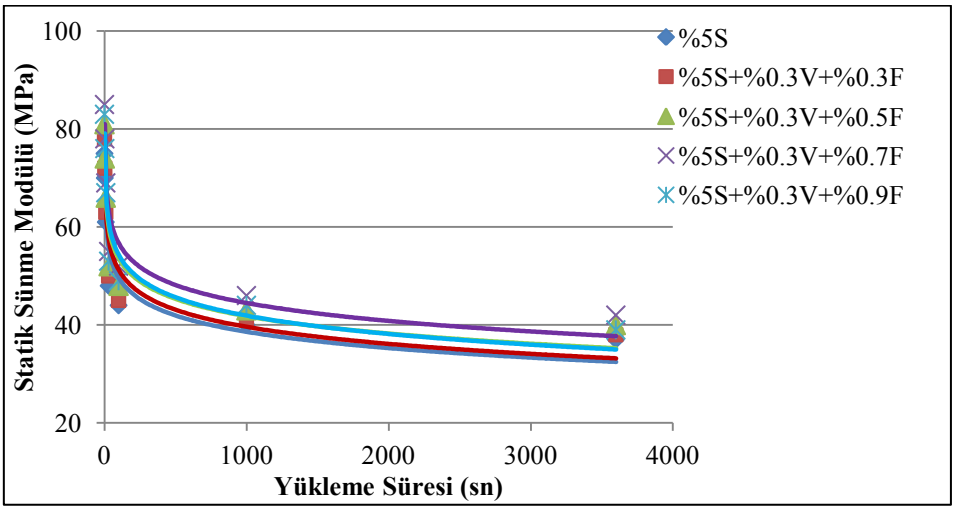
3.20. Statik Sünme Deney Sonuçları

Marshall stabilite deneyinden elde edilen optimum asfalt içeriğinde her bir karışım, 25°C sıcaklıkta tek eksenli statik sünme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 95'de sünme deformasyonunun (kalıcı deformasyonun) zamana göre değişimi ve Şekil 96'da deformasyon değerlerine göre hesaplanan sünme modülü değerleri grafik olarak verilmiştir.



Şekil 95. Karışımların 25°C sıcaklıktaki deformasyon-zaman ilişkisi

Şekil 95'de görüldüğü gibi, en yüksek deformasyon miktarı sadece %5 SBS katkılı numunelerde oluşmuştur. En düşük deformasyon miktarı ise %0.3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. %5 SBS modifiyeli bitümle yapılan karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Permium katkılı karışımların deformasyon değerleri 3600 sn sonunda sırasıyla %3.1, %8.68, %15.62 ve %11.47 oranlarında azalmıştır. Dolayısıyla, %0.7 FRP katkı oranında tekerlek izi oluşma riskinin en aza indiği gözlenmiştir.

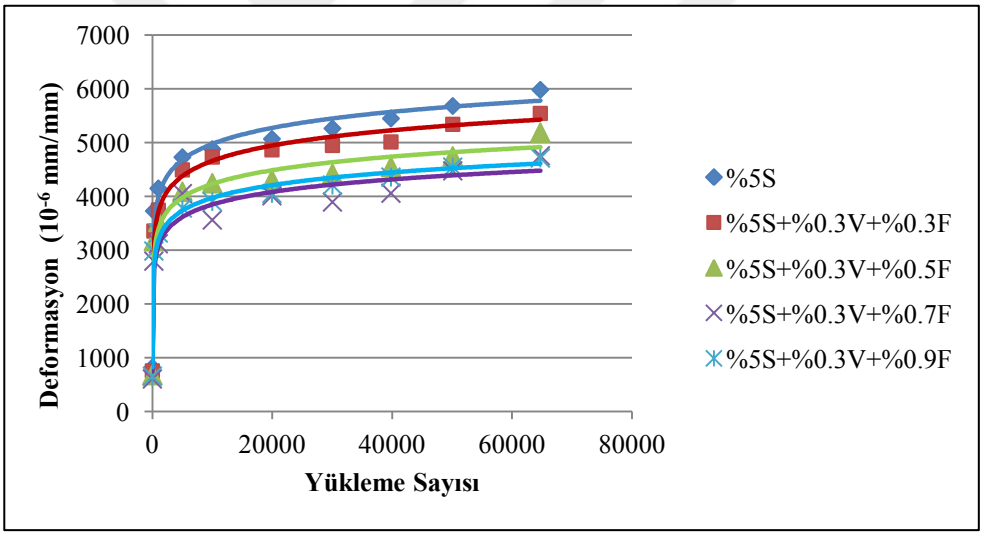


Şekil 96. Karışımların 25°C sıcaklıktaki sünme modülü-zaman ilişkisi

sünme modülü değerleri Şekil 96' da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, 2000 saniyeye kadar sünme modülü değerlerinde, ani bir azalmanın olduğu ve bu süreden itibaren deneyin bittiği ana kadar sünme modülü değerlerinde daha az bir azalmanın oluştuğu görülmektedir. En yüksek sünme modülü %0.3 Viatop Premium artı %0.7 FRP sahip olan en düşük ise %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmuştur. Böylece FRP Katkı maddesinin TMA karışımların kalıcı deformasyonlara karşı dayanımını artırdığını açıkça söylenebilir.

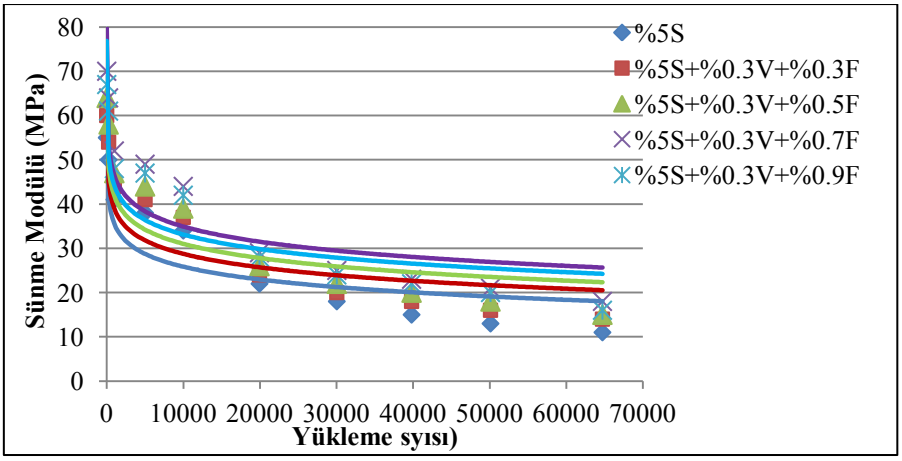
3.21. Tekrarlı Sünme Deney Sonuçları

Marshall stabilite deneyinden elde edilen optimum asfalt içeriğinde her bir karışım, 25°C sıcaklıkta tek eksenli tekrarlı sünme deneyine tabi tutulmuştur. Şekil 97'de sünme deformasyonunun (kalıcı deformasyonun) zamana göre değişimi ve Şekil 98'de deformasyon değerlerine göre hesaplanan sünme modülü değerlerine ilişkin grafik verilmiştir.



Şekil 97. Karışımların 25°C sıcaklıktaki deformasyon-yük tekrar sayısı ilişkisi

Şekil 97' de görüldüğü gibi, FRP katkı maddesinin miktarının artışıyla karışımlarda oluşan kalıcı deformasyonlar azalmış ve en çok %0.7 FRP içeriğinde azalma göstermiştir.

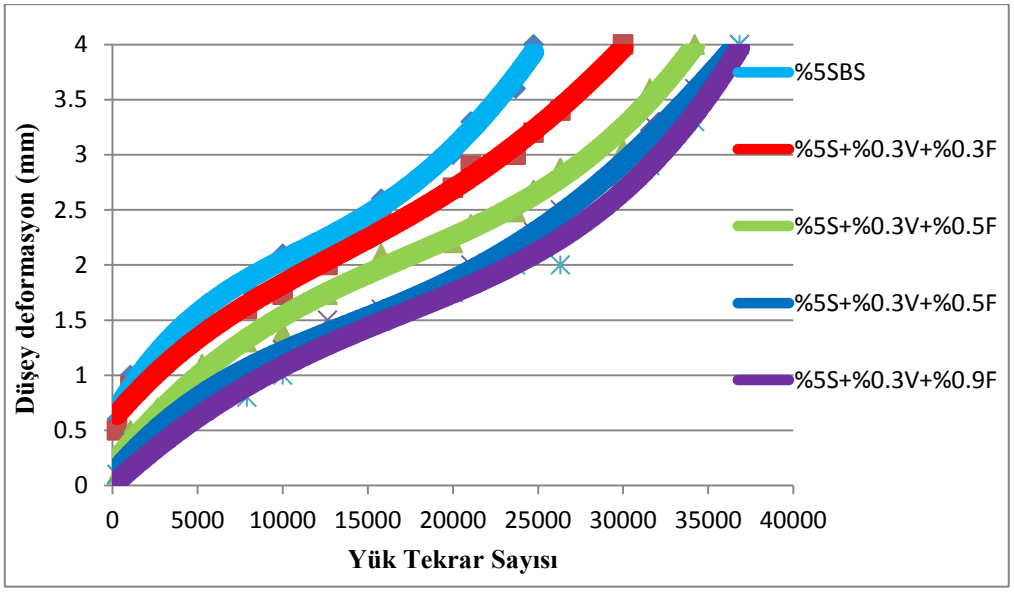


Şekil 98. Karışımların 25°C sıcaklıktaki sünme modülü-yük tekrar sayısı ilişkisi

Sünme modülü değerleri Şekil 98'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, 2000 yük tekrar sayısına kadar sünme modülü değerlerinde ani bir azalmanın olduğu ve bu yük tekrar sayısından sonra sünme modülü değerlerinde daha az bir azalmanın oluştuğu görülmektedir. En yüksek sünme modülü değeri %0.3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı karışımdan elde edilmiştir.

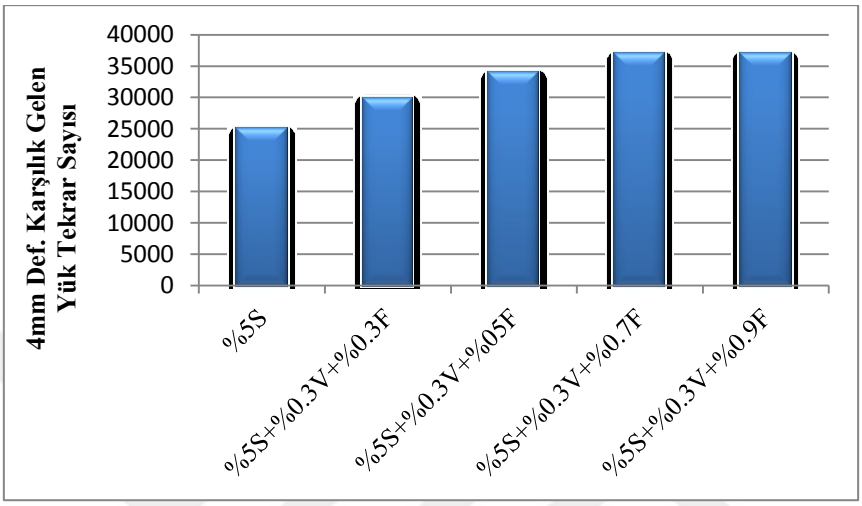
3.22. Dolaylı (İndirekt) Çekme Yorulma Deney Sonuçları

Marshall stabilite deneyinden elde edilen optimum asfalt içeriğinde her bir karışım, 25°C sıcaklıkta tek eksenli tekrarlı sünme deneyine tabi tutulmuştur. Üçer numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınıp ve Şekil 99'da verilmiştir.



Şekil 99. Karışımların deformasyon-yük tekrar sayısı ilişkisi, 25°C ve 300 kPa

Şekil 99’ incelendiğinde yük tekrar sayısının artışıyla, oluşan ani deformasyon artışlarının azaldığı görülmektedir. FRP katkı maddesinin miktarının artışıyla karışımların kırılması için gerekli olan yük tekrar sayısı artışına bağlı olarak, yorulma ömürlerinin önemli derecede arttığı görülmektedir.



Şekil 100. Karışımların 4 mm deformasyona karşılık gelen yük tekrar sayıları

Şekil 100’de karışımların 4 mm deformasyona karşılık gelen yük tekrar sayıları grafiksel gösterim olarak verilmiştir. %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların yük tekrar sayıları sırasıyla %21.2, %38.3, %48.93 ve %48.93 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. FRP katkı maddesinin karışımın yorulma direncini artırdığı, dolayısıyla TMA kaplamaların, FRP kullanılması ile daha uzun süre bakım gerektirmeden hizmet vereceği sonuçlarına ulaşılmıştır.

3.23. Geleneksel Sıcak Karışımlar VE SBS, Viatop Premium, FRP Katkılı TMA

Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi

Ortalama yıllık maliyet analizini etkileyen başlıca faktörler şunlardır: ilk inşaat maliyetleri, kaplama yenileme maliyetleri, rutin bakım maliyetleri, geri dönüşüm değeri, faiz oranı ve analiz süresi. Bakım ve yenileme işlemleri sırasında gecikme ve kaza nedeniyle yol kullanıcı maliyetleri bazı çalışmalarda dikkate alınmıştır. Bu faktörler aşağıda açıklanmıştır

3.23.1. İlk İnşaat Maliyeti

Her bir üstyapı (Temel, Alttemel, yüzey) kalınlığına göre birim fiyatı ve maliyetı, toprak (zemin), trafik, çevresel koşullar, malzeme ve işçilik maliyetlerı gibi değişik faktörlere bağlıdır.

3.23.2. Bakım ve Yenileme Maliyeti

Bakım maliyetleri, rutin bakım ve büyük bakım olarak bölünür. Rutin bakım, çukurların doldurulması veDrenaj iyileştirmeler gibi nispeten ucuz faaliyetleri içerir. Bu tedaviler 1 ila 4 yıllık bir hizmet ömrüne sahiptir. Büyük bakım ise daha önemlidir ve genellikle bir yapı veya yüzey ile ilişkilidir. Yamama veya mikrosurfacing gibi bakımlar büyük bakımlardan sayılmaktadır. Bu tedaviler 5 ila 10 yıllık bir hizmet ömrüne sahiptir.

3.23.3. Büyük Bakım Maliyeti

Büyük bakım maliyeti, yüzey yenileme kalınlığına dayanarak hesaplanabilir. Büyük bakım maliyetini etkileyen faktörler aşağıda verilmiştir;

- yenileme süresi
- trafik
- yüzey yenileme
- toprak altı koşulları
- çevresel koşullar
- faiz oranı

Bu çalışmada, kaplama yenileme 5 yıldan büyük aralıklarda kabul edilmiştir. Seal kot ise 10 yıldan büyük aralıklarda kabul edilmiştir.

3.23.4. Geri Dönüşüm Değeri

Oglesby karayolları ekonomik çalışmalarda geri dönüşüm değerini sıfır önerir, Bu çalışmada geri dönüşüm değeri sıfır olarak varsayılmıştır.

3.23.5. Yol Kullanıcısı Maliyeti

Yol kullanıcısı maliyeti ağır trafik kuşullara 23.7 olarak varsayılmıştır.

Tablo 26. 4' şeritli karayollarda %15 ağır taşıta sahip ağır trafikli yol kullanıcısı maliyeti

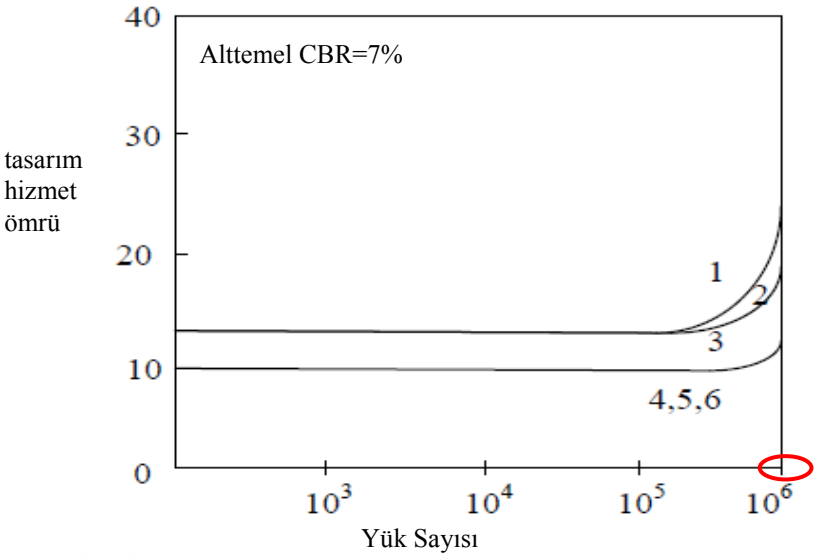
Yol çalışmaları nedeniyle Tek şerit açik durumunda		**Tüm Yol şeritleri açik durumunda**	
Ortalama günlük trafik (ADT)	Yol kullanıcısı maliyeti	Ortalama günlük trafik (ADT)	Yol kullanıcısı maliyeti
10000	0	10000	0
20000	1.00	20000	0
30000	3.00	30000	1.00
35000	9.00	35000	1.00
40000	1.900	40000	1.00
45000	1.700	45000	2.00
50000	5.200	50000	3.00
55000	7.500	55000	4.00
60000	9.800	60000	1.200
65000	12.300	65000	2.200
70000	14.600	70000	3.000
75000	17.200	75000	4.000
80000	19.100	80000	4.400
85000	21.600	85000	6.400
90000	23.700	90000	7.600
95000	25.600	95000	9.400

3.23.6. Faiz Oranı

Uygun bir faiz oranı birkaç yıl boyunca kullanılan ve süresi için geçerli olduğu tahmindir. Bu çalışmada faiz oranı% 6 kabul edilmiştir.

3.23.7. Analiz Süresi VE Tasarım Hizmet Ömrü

Baldock 40 yıllık bir analiz süresi tavsiye etmiştir. Karayollar çalışmalarında kabul edilen analiz süreleri 20 ila 40 yıl arasında değişmektedir. Bu çalışmada göz önüne alınan analiz dönemi ve tasarım hizmet ömrü sırasıyla 40 ve 25 yıl varsayılmıştır.



Şekil 101. Optimum tasarım hizmet ömrü grafı

Tablo 27. Graf numarası açıklaması

Geraf No	açıklama
1	i=6%,Bakım nedeniyle yol kullanıcısı maliyeti
2	i=6%, Yol kullanıcısı maliyeti olmayan
3	i=13%, Bakım nedeniyle yol kullanıcısı maliyeti
4	i=13%, Yol kullanıcısı maliyeti olmayan
5	i=20%, Bakım nedeniyle yol kullanıcısı maliyeti
6	i=20%, Yol kullanıcısı maliyeti olmayan

Tablo 28. Bakım servis ömrü, seçilmiş yayınlanan bilgilerin özeti

Agency	Treatment	Service Life (approx.)	Comments, Source and Reference
Indiana DOT	Chip Seal	4 years average	For pavement in good condition. [Feighan, et al., 1986]
	AC crack seal	2.2 years average	
Ontario MTC	AC Rout and Seal	2-5 years	[Joseph et al., 1992]
New York State DOT	PCC Joint & Crack Filling	2 years	[New York State DOT, 1992]
	PCC Joint & Crack Sealing	8 years	
	AC Rout & Crack seal	5 years	
	AC Crack filling	2 years	
	Thin Overlay	8 years	
	Surface Treatment	3 years median	
NCHRP	Chip Seal	1-6 years	[Shuler, 1984]
	Slurry Seal	1-6 years	
	Micro-surfacing	4-6 years	
	Thin Overlay	> 6 years	
FHWA	Micro-surfacing	5-7 years	[Raza, 1994]
	Slurry Seal	3-5 years	
	Thin Overlay	8-11 years	
	Chip Seal	4-7 years	
Oregon DOT	Chip Seal	3-6 years	[Parker, 1993]
U.S. Corps of Engineers	Slurry Seal	3-6 years	[Brown, 1988]
	Surface Treatment	3-6 years	
	Crack seal	3-5 years	

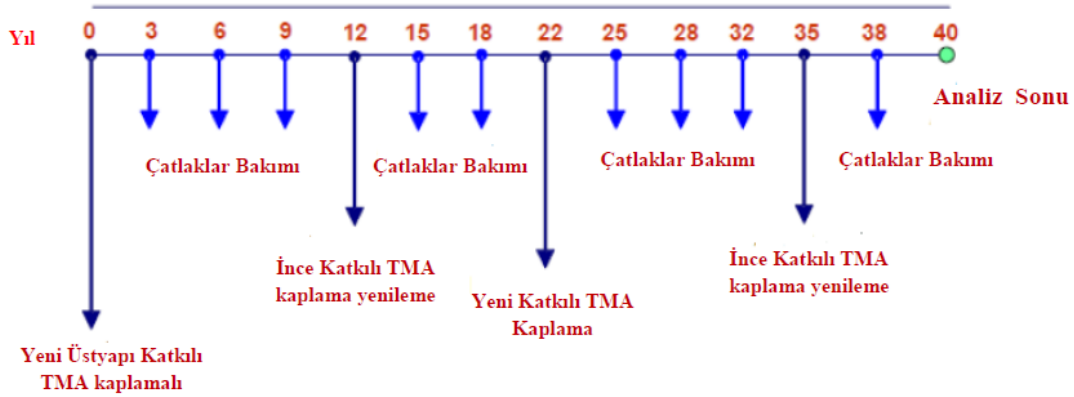
Bu çalışmada ince kaplama yenileme 8 ila 11 yıllık bir sure kaplamanın ilk yapımından sonra FHWA stantardına göre var sayılmıştır.

3.23.8. Yapım VE Bakım Strateji Analizi

Zaman Esaslı Normal Kaplama Yapım ve Bakım Strateji Analizi Şekil 102 ve Zaman Esasli SBS, Viatop Premium ve FRP katkılı TMA Kaplama Yapım ve Bakım Sterateji Analizi Şekil 103 de verilmiştir. Şekillerde görüleceği üzere analiz süresinde TMA katkılı kaplamalı yollarda daha az bakım ve yenileme işlemi gerekmektedir.



Şekil 102. Zaman Esaslı Normal Kaplama Yapım ve Bakım Sterateji Analizi



Şekil 103. Zaman Esasli SBS, Viatop Premium ve FRP katkılı TMA Kaplama Yapım ve Bakım Strateji Analizi

3.23.9. Alternatif Tasarımların Karşılaştırılması Prosedürü

Bu çalışmada Baldock tarafından önerilen formül, yıllık alternatif tasarımların maliyetleri ve karşılaştırılması için kullanılmıştır. Baldock, kilometre başına ortalama yıllık maliyeti hesaplamak için aşağıdaki formülü önermiştir:

$$c = [CRF_n\,[\,A + E_1(\,PWF_{n1}) + RE_1(\,PWF_{n1}) + E_2(\,PWF_{n2}) + RE_2(PWF_{n2}) + \ldots + E_m(\,PWF_{nm}) + RE_m(PWF_{nm}) - \left(1 - \frac{Y}{X}\right)(\,E_m)(\,PWF_{nm}\,) + \sum_{i=1}^{n} M_1(PWF_{\,1}\,) + \sum_{i=1}^{n} RM_1(PWF_{\,1}\,)\,]]\,/\,1.6 \quad (44)$$

Burada:

C : karayolunun kilometre başına ortalama yıllık maliyeti

CRF_n : n yıllık bir analiz için ve belirli bir faiz oranı için sermaye geri kazanım faktörü

A : karayolunun kilometre başına ilk inşaat maliyeti

E_1 : karayolunun kilometre başına ilk kaplama yenileme maliyeti

n1 : ilk kaplama servis ömrü

PWF: n1, n2 için mevcut değer faktörü, veya belirli bir faiz oranı için nm yılı

RE_1 : ilk kaplama yenileme tesirinde yol kullanıcısı maliyeti

E_2 : karayolunun kilometre başına ikinci kaplama yenileme maliyeti

n2 : ikinci yüzey yenileme işleminin yapıldığı yıldan sonraki yıl sayısı

RE_2 : ikinci kaplama yenileme tesirinde yol kullanıcısı maliyeti

nm :yüzey m yıl sonrası yeniden yenileme işleminin yapıldığı yılların sayısı

RE_m : m' inci kaplama yenileme tesirindeyol kullanıcısı maliyeti

Y : son yüzey yenileme süresinden analiz dönemine kadar geçen yıl sayısı

X : son yüzey son kullanım ömrünün tahmini

M_i : kilometre başına inşaattan sonraki ilk yıldaki bakım maliyeti

PWF_i : belirli bir faiz oranı i yıl için mevcut değer faktörü

RM_i : kilometre başına i' incı yılda bakım çalışması nedeniyle yol kullanıcı maliyeti.

3.23.10. Katkılı TMA ve Normal Sıcak Kaplamalar Km Başına Yıllık Maliyet Analizi ve Maliyet Karşılaştırılması

Baldock tarafından önerilen formülü, Zaman Esasli Yapım ve Bakım Strateji Analizi , katkı maddeleri maliyet analizi, kullanarak TMA ve normal sıcak karışımlar km başına yıllık maliyet analizi ve karşılaştırması yapılmıştır.

Tablo 29. Katkı maddeler maliyet analizi

Katkı Maddesi	Katkı Yüzdesi		Katkı Miktarı 1 Ton karışımda (kg)	Katkı Fiyatı 1 Ton karışımda (TL)
	Bitüme Göre	Karışıma Göre		
SBS	%5	-	3.25	19
Viatop Premium	-	%0.3	3	49
FRP	%0.7	-	48.3	21
Toplam fiyat (TL)				89

Tablo 30. TMA ve Normal sıcak karışımların optimum bitüm maliyet analizi

Karışım Tipi	Optimum Bitüm (%)	Bitüm Miktarı 1 To karışımda (kg)	Bitüm Fiyatı 1 Ton karışımda (TL)
TMA	6.9	69	190
Noraml Sıcak Karşım	6	60	166

Tablo 29 ve 30 incelendiğinde katkılı TMA karışımlar normal sıcak karışıma göre optimum bitüm ve katkı fiyatlarını göz önünde alarak 1 Ton karışımda 73 TL daha pahalı gözlenmiştir. Böylece km başına yıllık maliyet analizi sırasında 10 cm kalınlığına, katkılı TMA fiyatı 51193 TL ve normal sıcak karışıma 51120 TL kullanılmıştır. Yüzey yenileme kaplama fiyatı 3cm kalınlığına km başına 17241 TL, faiz oranı %6 ve yol kullanıcısı maliyeti ağır trafik koşullara 23.7 olarak var sayılmıştır**.**

Analiz sonuçlarına göre Katkılı TMA ilk yapım maliyetleri daha yüksek olmalarına rağmen analiz zamanı sonunda Normal Sıcak Karışımlara göre daha ekonomik oldukları gözlenmiştir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Taş Mastik Asfalt karışımların performansının arttırılması, özellikle TMA karışımların düşük sıcaklık performansının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında, %5 SBS ve %0,3 Viatop Premium (Elyaf) ile modifiye edilen bitümle hazırlanan TMA karışıma farklı oranlarda (%0,3, %0,5, %0,7 ve %0,9) FRP katkı maddesi ilave edilerek karışım performansı detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- %5 SBS ile modifiye edilen bitümün orjinal bitüme göre penetrasyon değerinin azaldığı, yumuşama noktası değerinin ise arttığı, SBS modifiyeli bitümün daha yüksek düktilite değerine sahip olduğu, SBS'in, bitümün kohezyon özelliğini artırdığı, bitümün parlama noktası değerini %32 oranında artırdığı, bitümün özgül ağırlık değerinin artmasına neden olduğu, soyulma direncini orijinal bitüme göre %89 oranında iyileştirdiği ve asfaltla agrega arasındaki adeziv bağı güçlendirdiği, orijinal asfaslta göre G*/sinδ parametre değerini %74 oranında artırdığı, dolayısıyla tekerlek izi oluşumuna karşı dayanımını artırdığı, asfaltın yaşlanmaya karşı direncini artırdığı, asfaltın yorulma direncini arttığı, böylece literatürle uyumlu olarak SBS modifikasyonunun bitümün fiziksel ve reolojik özellikleri üzerinde çok önemli düzeyde iyileştirmeler sağladığı tespit edilmiştir.
- PAV deneyinden sonra elde edilen Orijinal ve %5 SBS katkılı asfalt numunelerinin üzerinde BBR deney yapılmıştır. Deneyi sonuçlarına göre SBS katkı maddesi asfaltın düşük sıcaklıklarda çatlamalara karşı direncini artırdığı görülmektedir.
- Marshall stabilite deney sonuçlarına göre en yüksek stabilite değeri %3 Viatop Premium artı %0.7 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. En düşük stabilite değeri ise %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmaktadır. %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %3, %5, %7 ve %9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların stabilite değerleri sırasıyla %6.4, %11, %18.46 ve %14.78 oranlarında artmıştır. En yüksek akma değeri %3 Viatop Premium artı %0.9 FRP katkılı numunelerde ve en düşük akma değeri ise %3 Viatop Premium artı %0.7 FRP katkılı numunelerde gözlemlenmiştir.
- Marshall oranı değeri %0.3 Viatop Premium artı %0.7 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. En düşük stabilite değeri ise %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmaktadır. %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %3, %5, %7 ve %9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3

sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların stabilite değerleri sırasıyla %5.2, %7.16, %19.1 ve %8.4 oranlarında artmıştır. Dolayısıyla SBS artı Viatop Premium artı FRP katkı maddelerin karışımın, plastik ve kalıcı deformasyonlara karşı dayanımını artırdığı söylenebilir.

- Dolaylı çekme mukavemeti deney sonuçları incelendiğinde, %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %3, %5, %7 ve %9 oranlarında FRP katkılı ve %0,3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların dolaylı çekme mukavemeti değerleri sırasıyla %3.67, %21.27, %29.57 ve %25.11 oranlarında artmıştır. Dolayısıyla FRP katkı maddesinin, SBS ve Viatop Premium ile birlikte TMA karışımın trafik yükleri altında oluşan çekme gerilmelerine karşı direncinin artmasına neden olduğu gözlenmiştir.

- Dolaylı çekme deney sonuçlarına göre, En yüksek esneklik modülü %3 Viatop Premium ve %07 FRP katkılı numunelerde bulunmuştur. Aynı yükleme ve periyotları ve yük artış sürelerinde %3 Viatop Premium sabit olarak FRP katkı maddelerin oranının artması ile paralel olarak sürekli bir artış esneklik modülünde bulunmaktadır. %0.7 oranından sonraki ilave FRP (%0,9 FRP) katkı oranında esneklik modülünde düşüşe neden olduğu görülmektedir. Böylece, FRP katkı maddesinin, trafik yükü nedeniyle kaplama tabakası altında meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme ve basınç gerilmelerinin sebep olduğu kalıcı deformasyonlara karşı TMA karışımın direncini arttırdığı, esneklik modülündeki artışla birlikte kaplamanın yük dağıtma kabiliyetini iyileştirdiği söylenebilir.

- Bitüm süzülme deneyinde en iyi sonuçları veren %3 Viatop Premium ve %0.9 FRP sahip olan karışım yer almaktadır. En olumsuz değer ise %5 SBS tasarımında ortaya çıkmıştır. Bu değerin en olumlu değer olan "%3 Viatop Premium ve %0.9 FRP" katkılı karışımın değerine kıyasla 3 kat olduğu gözlenmiştir.

- Karışımların nem hasarına karşı dayanımlarını tespit etmek amacıyla yapılan su hasarı (modifiye Lottman) deney sonuçlarına göre FRP katkı maddesini karışımların nem hasarına karşı direncini arttırdığı ve Superpave şartname limiti olan %80 değerinin üstünde kaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlara dayanarak, FRP katkı maddesinin karışımların nem hasarına karşı direncini önemli ölçüde artırdığı açıkça söylenebilir.

- Nicholson soyulmadeneylerinin sonuçlarından elde edilen değerler incelendiğinde, FRP katkı maddesinin agrega arasındaki adezyona etkili olmadığını ve Viatop Premium katkı maddesinin agrega arasındaki adezyonun su etkisindeki değişimine çok küçük katkısının olduğu gözlenmiştir.

- Statik sünme deneyi sonuçlarına göre en yüksek deformasyon miktarı %5 SBS sahip olan numunelerde bulunmaktadır. En düşük deformasyon miktarı %0.3 Viatop Premium artı %0.7 FRP sahip olan numunelerde bulunmuştur. %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %3, %5, %7 ve %9 oranlarında FRP katklı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların deformasyon değerleri 3600 sn sonunda sırasıyla %3.1, %8.68, %15.62 ve %11.47 oranlarında azalmıştır. Dolayısıyla, %0.7 FRP katkı oranında tekerlek izi oluşma riskinin en aza indiği gözlenmiştir.
- Dinamik sünme deneyi sonuçuları incelendiğinde, 2000 yük tekrar sayısına kadar sünme modülü değerlerinde ani bir azalmanın olduğu ve bu yük tekrar sayısından sonra sünme modülü değerlerinde daha az bir azalmanın oluştuğu görülmektedir. En yüksek sünme modülü değeri %0.3 Viatop Premium ve %0.7 FRP katkılı karışımdan elde edilmiştir. FRP katkı maddesinin karışımın kalıcı deformasyonlara karşı direncini artırıcı özellik gösterdiği tespit edilmiştir.
- İndirekt çekme yorulma deney sonuçlarına göre, %5 SBS asfaltla yapılan karışıma göre %0.3, %0.5, %0.7 ve %0.9 oranlarında FRP katkılı ve %0.3 sabit olarak Viatop Premium katkılı karışımların yük tekrar sayıları sırasıyla %21.2, %38.3, %48.93 ve %48.93 oranlarında arttığı tespit edilmiştir. FRP katkı maddesinin karışımın yorulma direncini artırdığı, dolayısıyla TMA kaplamaların, FRP kullanılması ile daha uzun süre bakım gerektirmeden hizmet vereceği sonuçlarına ulaşılmıştır.
- Baldock tarafından önerilen formülü, Zaman Esaslı Yapım ve Bakım Strateji Analizi, katkı maddeleri maliyet analizi, kullanarak TMA ve Normal Sıcak karışımlar km başına yılık maliyat analizi sonuçlarına göre Katkılı TMA ilk yapım maliyetleri daha yüksek olmalarına rağmen analiz zamanı sonunda Normal Sıcak Karışımlara göre daha ekonomik oldukları gözlenmiştir.

Bu çalışmanın devamı yönünde ilerde yapılabilecek çalışmalar için şu öneriler sıralanabilir;

1) Bu çalışmada, ön denemeler neticesinde FRP katkı maddesinin 5 cm boyutlarında kullanımına karar verilmiş ise de değişik boyutlardaki FRP kullanımının etkileri araştırılabilir.

2) FRP katkı maddesinin, bu çalışmada kullanılan modifiyerler dışında başka katkı maddeleri ile birlikte kullanımının getireceği etkiler araştırılabilir.

3) TMA karışımlarda FRP'nin döşeme şeklinde kullanılması araştırılabilir. FRP döşemelerinin TMA kaplamalarda farklı kaplama kalınlığında yerleştirilme sonuçları araştırılabilir.

4) TMA karışımlarda çalışma farklı kökenli agregalar ve gradasyonlar kullanılarak tekrar araştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

1. Orhan, F., Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme ŞubesiMüdürlüğü, Ankara, 2012.

2. Şamlıoğlu, K., Asfalt Katkı Maddelerinin Bitümlü Karışımların Davranışına Etkisi, Karayolları Vakfı, Kasım-Aralık, 1995.

3. Virgil Ping, W. ve Yuan, Xiao., Evaluation of SBS Polymer Binder Effect on Resilient Modulus Properties HMA Mixtures, The 24th ICTPA Annual Conference & NACGEA International Symposium on Geo-Trans, May 2011, USA, ISBN 978-0-615-42857-4.

4. Şengül, E. C., Oruç, Ş., İskender, E. ve Aksoy, A., Evaluation of SBS Modified Stone Mastic Asphalt Pavement Performance, Construction and Building Materials, 41 (2013) 777–783.

5. Mahamadzadeh, E., Efect of Fibers Stone Mastic Asfalt Fatique Performance, Journal of Transportation Research, 3 (2010) 275-289.

6. Alataş, T. Ve Kirizgil, M.E, Saf ve modifiyeli bitümlü bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının dönel viskozimetre deneyi ile belirlenmesi, Erciyes üniversitesi Fen Bilimler dergisi, 28.3, (2012) 249-256.

7. Khodaii, A., Mehrara, A., Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test, Construction and Building Materials, 23 (2009) 2586 –2592.

8. Verstraeten, J., Bituminous Materials with A High Resistance to Flow Rutting, Piarc Technical Committee on Flexible Roads, Paris 1995.

9. ÖZAY, O. and ÖZTÜRK, E.A., Modifiye Edilmiş Poroz Asfalt Karışımların Performansı, Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University, 28,3 (2013) 577-586.

10. Kök, B. V. and Çolak, H., Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt, Construction and Building Materials, 25, (2011) 3204-3212.

11. Vural Kok, B., Yilmaz, M., The effects of using lime and styrene–butadiene–styrene on moisture sensitivity resistance of hot mix asphalt, Construction and Building Materials 23, (2009) 999 –2006.

12. Al-Hadidy, A.I., Tan, Y., Mechanistic analysis of ST and SBS-modified flexible pavements, Construction and Building Materials, 23 (2009) 2941–2950.

13. Bonnot, J., Bitümlü Bağlayıcılar Ve Bitümlü Karışımlar Üzerine Avrupa Standartları Tasarıları, II.Asfalt Sempozyumu, Aralık 1998, Ankara.

14. Zhu, F., Fon, W., Wang, A. ve Zhu, Y., Tribological Study of Novel S, N Style 1,3,4-thiodiazole-2-thione Derivatives in Rapeseed Oil, Wear, 266 (2009) 233-238.

15. Singh, M., Kumara, P., Maurya, M.R., Strength characteristics of SBS modified asphalt mixes with various aggregates, Construction and Building Materials, 41 (2009) 815–823.

16. Ghasemi, M. and Marandi , S. M., Laboratory investigation of the properties of stone matrixasphalt mixtures modified with RGP–SBS, Digest Journal of nanomaterials and biostructures, 6 (2010) 1823-1834.

17. Chelovian, A. and Shafabakhsh, G., Laboratory evaluation of Nano Al_2O_3 effect on dynamic performance of stone mastic asphalt, International Journal of Pavement Research and Technology, 10,2 (2017) 131-138.

18. Park, H.M., Choi, J.Y., Lee, H.Y., Hwang, E.Y., Performance evaluation of a high durability asphalt binder and ahigh durability asphalt mixture for bridge deck pavements, Construction and Building Materials, 23(2009) 219–225.

19. Genctürk, G., Sönmüş kirec ilr çimento ve Pr Plast kullanımın asfalt kaplamaların mekanik özellikleri üzerinde etkisi,Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.

20. Maupin, G.W., Effectiveness Of Anti-stripping In The Field, Virginia Transportation Research Council, VA 22903-0817 Charlottesville, Edgemont (1995).

21. Behbahani H, Nowbakht S, Fazaeli H, Rahmani J. Effects of fiber type andcontent on the rutting performance of stone matrix asphalt. Journal of Applied Polymer Science, 9(2009) 1980–1984.

22. Jahromi, S. and Khodaii, A., Carbon fiber reinforced asphalt concrete, Arabian Journal of Science and Engineering, 33(2008) 355–364.

23. Wen, G., Zhang, Y., Sun, K., Fan, Y., Rheological characterization of storage-stable SBS-modified asphalts, Polymer Testing, 21(2002) 295–302.

24. Ziary, H. Behbahani, M., Influence of Polymer Thermoplastic Elastomer on the Moisture Sensitivity of Stone Matrix Asphalt Mixtures, Journal of Transportation Research, 6 (2015) 413-428.

25. https://www.civilica.com/Paper-JR_JTE-JR_JTE-8-1_001.html

26. Katman, H.Y., Ibrahim, M. R., Karim, M. R., Salim Mashaan, N. and Koting, S.,Evaluation of permanent deformation of unmodified and rubberreinforced SMA asphalt mixtures using dynamic creep test, Advances in Materials Science and Engineering, l. (2015) 1-11.

27. https://www.civilica.com/Paper-JR_JTE-JR_JTE-12-4_006.html.

28. Brown, E. R., Haddock, J. E., Crawford C., Investigation of Stone Matrix Asphalt Mortars, Transportation Research, 1530(1995) 95-102.

29. Zhi, S., Gun, W.W., Hui, L.X., Tian B., Evaluation of fatigue crack behavior in asphalt concrete pavements with different polymer modifiers, Construction and Building Materials, 24(2012) 72-78.

30. Crispino, M., Mariani, E. and Toraldo, E., Assessment of fiber-reinforced bituminous mixtures compaction temperatures through mastics viscosity tests, Construction and Building Materials, 38(2013) 1031-1039.

31. Ghaffarpour Jahromi, S. Khodaii, A., Carbon Fiber Reinforced Asphalt Concrete, The Arabian Journal for Science and Engineering, 33(2008) 355-364,.

32. Noor Zainab H., Kamaruddin I, Effect of Mixing Process on Polypropylene Modified Bituminous Concrete Mix Properties, World Academy of Science Engineering and Technology, 58 (2011), 830-835.

33. Bradley J., Effects of Fiber Finish on the Performance of Asphalt Binders and Mastics, Hindawi Publishing Corporation Advances in Civil Engineering, (2011) 2-11.

34. Kim, H., et al., Fatigue evaluation of porous asphalt composites with carbon fiber reinforcement polymer grids, Journal of the Transportation Research Board, 2116 (2009) 108-117.

35. Chen, H. Xu, Q., Chen, SH. VE Zhang, ZH., Evaluation and Design of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures, Materials and Design, 30(2009) 2595–2603..

36. Lavasani , M. Latifi Namin , M. Fartash, H., Experimental investigation on mineral and organic fibers effect on resilient modulus and dynamic creep of stone matrix asphalt and continuous graded mixtures in three temperature levels, Construction and Building Materials, 42(2015) 535–525.

37. Yıldız, K., Marshall Dizayn Metodu İle Optimum Bitüm Muhtevasının Belirlenmesinde Deney Parametrelerinin Sonuca Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2003.

38. Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Çubuk, M. K,. Diatomit' in Taş Mastik Asfalt karışımında kullaınlması, 5. Ulusal Asflat Sempozyumu, Kasım 2009, Ankara.

39. Schmiedlin, R.B., Stone Mastic Asphalt, The Wisconsin Experience, Transportation Research Record, Meterials and Construction, 1616 (1998) 34-41.

40. Mokhtari, A. and Nejad, F.M., Comparative study on performance of wax-modified and typical SMA mixtures, Journal of Materials in Civil Engineering, 25,3(2012.)419-427.

41. Abiola, O. S., Kupolati, W. K., Sadiku, E. R. and Ndambuki, J. M., Utilisation of natural fibre as modifier in bituminous mixes, Construction and Building Materials, 54(2014) 305- 312.

42. Namlı, R., SBS Türü Polymerleryn Sıcak Asfalt Karışımnda Katkı Olarak Kullanılması, Engineering Sciences, 6(2) (2011) 663-671.

43. Brown, E.R. and Manglorkar, H., Evaluation of laboratory properties of SMA mixtures, National Center for Asphalt Technology 1993.

44. Goli, A. Asfalt Karışımına SBS Polimer Etkisiİsfahan ilinin iklim bölgelerine göre, Yüksek Lisans Tezi, elm ve senet IRAN Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tehran, 2004.

45. Asphalt Institute, Cause and Prevention Of Stripping In Asphalt Pavements, Educational Series-10, Secand Edition, College Park, Maryland 20740, 1987.

46. Schneider B., Stone Mastic Asphalt. Regional Export Manager, Road Construction Division Journal, 3(2), (1990) 342-348.

47. Aschenbrener T. ,Comparison of results obtained from the French rutting tester with pavements of known field performance, Colorado Department of Transportation Report No: CDOT-DTD-R-92-11, October; (1992).

48. Kök, B.V., Yilmaz, M., Güler, M., Parafin ve SBS Modifiyeli Karışımların Tekerlek İzi ve Kırılma Dirençlerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 26 (1), (2013) 61-68.

49. http://eprints.um.edu.my/id/eprint/8789

50. Crandall, R.C., Finke, F.L., A Report On Hydrated Lime For Use In Experimental Hot-Mix Asphaltic Concrete, Texas Highways, September (1961).

51. Mashaan, N.S., et al., Performance evaluation of crumb rubber modified stone mastic asphalt pavement in Malaysia. Advances in Materials Science and Engineering, (2013).

52. Tayfur, S., H. Ozen, and A. Aksoy, Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. Construction and Building Materials, 21(2), (2007) 328-337.

53. Gırdap, E., Taş Mastik Asfalt Karışımlarda SBS İle Birlikte Pr Plast S Katkısının Karışım Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2017.

54. Verhasselt, A., F. S. Choquet, Comparing Field and Laboratory Aging of Bitumens on a Kinetic Basis, Transportation Research Record, 1391(1993) 30-38.

55. Serfass, J.P. and Samanos. J., Fiber-Modified Asphalt Concrete Characteristics, Applications and Behavior, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 65(1996) 193-230.

56. Demirkaya, Ö. and Terzi, S., Karbon Liflerin Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanımının Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 21,2 (2017) 542-548.

57. Manosalvas-Paredes, M. Gallego, J. Saiz, L. Jose, M., Rubber modified binders as an alternative to cellulose fiber – SBS polymers in Stone Matrix Asphalt, Construction and Building Materials, 121(2016) 727–732.

58. Abtahi, S.M., Esfandiarpour, S., Kunt, M., Hejazi, S.M. and Ebrahimi, M.G., Hybrid reinforcement of asphalt-concrete mixtures using glass and polypropylene fibers, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, 8,2 (2013) 155892501300800203.

59. Aschenbrener T. Comparison of results obtained from the French rutting tester with pavements of known field performance. Colorado Department of Transportation Report No: CDOT-DTD-R-92-11, October; 1992.

60. Oda S, Fernandes Jr JL, Ildefonso JS., Analysis of use of natural fibers and asphalt rubber binder in discontinuous asphalt mixtures, Construction and Building Materials. 1,26(2012) 13-20.

61. Lorasokkay, M.A., Piroliz yöntemi kullanılarak sıvılaştırılmış atık lastikle modifiye edilen bitümlü karışımların mühendislik özellikleri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2014.

62. Wu S, Wen H, Chaney S, Littleton K, Muench S., Evaluation of long-term performance of stone matrix asphalt in Washington State, Journal of Performance of Constructed Facilities, 11,31(2017) 401-407.

63. Şengül, C.E., Sönmüş Kireç ile SBS ve Elyaf Türü Katkı Maddelerinin SMA Karşımlsrın Performansı Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.

64. https://www.civilica.com/Paper-CAAM08-CAAM08_103.html

65. https://www.civilica.com/Paper-CAAM08-CAAM08_067.html

66. Yılmaz, M., Asfaltitin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2011.

67. Kuloğlu, N., Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Rijitliğine Etki Eden Parametreler, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 25 (2001) 61-67.

68. Torun, S., Bitümlü sıcak karışımlarda katkı maddesi olarak Pr Plast S kullanımının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2015.

69. Arslan, D., Esnek Üstyapıların Performans Özelliklerinin Sentetik Metal Ve Polibor Katkı Maddeleriyle Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.

70. Arslan, F., Taş mastik asfalt karışımlarda İstanbul çevresindeki Cebeci-Dolamitli Kireçtaşı, Gölcük-Kumtaşı ve Karatepe-bazaltı kullanımının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.

71. Tunç A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, 2001, İstanbul.

72. Önal, M. A., Kahramangil, M., Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2012.

73. Yılmaz, B., Bor İçerikli Organik Katkıyla Modifiye Edilen Asfaltın Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2016 .

74. Kizirgil, M. E., Stiren-Butadien-Stiren ve Uçucu Külün Birlikte Kullanılmasının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2013.

75. Bağdatlı, M., Esnek üst yapı kaplamalarındaki hasar özelliklerinin bakım maliyetleri üzerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, , Fen Bilimleri Enstitüsü, Namık Kemal Üniversitesi, Takirdağ, 2010.

76. Autret, P., Boissoudy, A., Gramsammer, J.-C., Le manege de fatigue, Bulletin de liaison des Laboratoires des Fonts et Chaussees, No 155, maijuin 1988..

77. Şengül, C.E., Asfalt kaplamalarda Tekerlek İzinde Oturma ve Su hasarı Problemlerinin Azaltılması İçin Sönmüş Kireç Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2006.

78. Bostancıoğlu, M., Bitkisel Atıklardan Elde Edilen Kimyasal Ürünler İle Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2012.

79. Hanlı, E., Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar Ve Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,2009.

80. ASTM C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, USA: American Society for Testing and Materials, 2001.

81. ASTM C131, M-14 , Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, USA: American Society for Testing and Materials, 2003.

82. ASTM C127 - 04, Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate, USA: American Society for Testing and Materials, 2004.

83. ASTM D4791, Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate, USA: American Society for Testing and Materials, 2005.

84. TS 1097-2, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TSE, Ankara, 1998.

85. TS EN 1367-1, Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler -Bölüm 1: Donmaya Ve Çözülmeye Karşı Direncin Tayini, TSE, Ankara, 1999.

86. TS EN 1097-8, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 8: Taş Parlatma Değerinin Tayini, TSE, Ankara, 1999.

87. TS EN 1097-6, Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler -Bölüm 6: Dane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara, 2000.

88. Karayolu Teknik Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2013.

89. Oruç, Ş., Yoğun Granülometrili Emülsifiye Asfalt Betonunda Çimentonun Karışım Performansı Üzerindeki Etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.

90. Gençtürk, G., Sönmüş Kireç ile Çimento Ve Pr Plast Kullanımın Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerinde Etkileri, Yüksek Lisans Tezı, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2011.

91. Çubuk, M., Katkı Maddeleri ile Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Probelemlerin Giderilmesi, Doktora Tezı, Gazi Üniversitesii, Fen Bilimleri Enistitüsü, Ankara, 2007.

92. Karkaş, A. S., Bitümlü Sıcak Karışımların Trafik Etkisi Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezı, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2014.

93. TS 118, EN 1426, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Batma Derinliği Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

94. ASTMD113, Standard test method for ductility of bituminous materials. Annual Book of Standards, 2007.

95. TS 1090 EN 12592, Bitümlü ve Bitümlü Bağlayıcılar-Çözünürlük Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

96. ASTM D70 – 03, Standard Test Method for Density of Semi-Solid Bituminous Materials (Pycnometer Method), USA: American Society for Testing and Materials, 2003.

97. ASTM D92 – 05, Standard Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Tester, USA: American Society for Testing and Materials 2002.

98. TS EN ISO 2592, Petrol Ürünleri-Parlama ve Yanma Noktası Tayini-Cleveland Açık Kap Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2006.

99. ASTM D7175, Standard test method for determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer. USA: American Society for Testing and Material, 2008.

100. Türk Standardı TS EN 12593, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Fraass Kırılma Noktasının Tayini, Ankara, 2003.

101. ASTM D1754, Standard test method for effects of heat and air on asphaltic materials (thin-film oven test), 2009.

102. TS EN 12607–1, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Sıcaklık ve Havanın Etkisiyle Sertleşmeye Karsı Direncin Tayini – Bölüm 1: RTFOT (Etüvde Hareket Halinde İnce Film Deneyi) Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.

103. Birliker, R.Y., Ilıcalı, M. ve Tayfur, S., Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Özelliklerinin Saptanmasında Kullanılan Standart Olmayan Test Yöntemleri, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, 10-11 Aralık, Ankara, 1998.

104. Sağlık, A., Türkiye'de Üretilen Rafineri Bitümlerinin Karayolu Üstyapılarında Kullanımı İçin Performans Sınıflarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.

105. ASTM D1559, Test method for resistance of plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus. USA: American Society for Testing and Material, 1998.

106. ASTM D6931, Standard test method for indirect tensile (IDT) strength of bituminous mixtures, USA: American Society for Testing and Material, 2012.

107 Kök, B.V., Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.

108. Yılmaz, M., Asfaltitin Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2011.

109. Molenaar, A. A. A. ve Medani, T. O., Rational Testing Methods for Performance Based Specifications, Proceedings of the 1st International Conference World of Asphalt Pavements, July 2000, Sydney, Australia, 484-500.

110. Ghile, D. B., Effects of Nanoclay Modification on Rheology of Bitumen and on Performance of Asphalt Mixtures, MSc Thesis, Delfth University of Technology, Delfth, 2006.

111. NAPA, Designing and Constructing SMA Mixtures- State-of-the-Practice; Quality Improvement Series:122, Maryland 1999.

112. http://www.konyaninsesi.com.tr

113. http://www.2sasfalt.com.

114. http://karyapsan.com.tr

115. https://www.otopark.com

116. https: //www.zoltex.com

117. https: //www.jrs.eu.com

118. Von Quintus, H. Scherocman J., Hughes, C. ve Kennedy, T., NCHRP Report 338, Asfalt-Aggregate Mixture Analysis System (AAMAS), TRB, National Research Council, Washington D.C., 1991.

119. Krutz, N.C., Stroup-Gardiner, M., Relationship Between Permanent Deformation Of Asphalt Concrete And Moisture Sensitivity, Transportation Research Record, 1259, (1990), 163-168.

120. Khudyakova, T.S., Rozental, D.A., Mashkova, D.A., Korshunova, I.A., Effect Of Mineral Material On Adhesive Strength Of Asphalt Mineral Mixtures, Chemistry And Technology Of Fuels And Oils, 26, (1991) 646-648.

121. Lee, A.R., Adhesion In Relation To Bituminous Road materials, Journal Of The Society Of Chemical Industry, 55 (1936), 23-29.

122. Ağır Yüklere Maruz Üstyapılar Taş Mastik Asfalt-SMA, Çeviri Editörü Zeliha Temren, Asfalt Müteahhitleri Derneği, 5,10 (2005) 17-19.

123. Epps, J. A., Hydrated Lime Hot Mix, Presentation Manual, FHWA, AASHTO, NLA, 1992.

124. Robertus C, Mulder EA, Koole RC. SBS modified bitumen for heavy duty asphalt pavements. Second International Conference on Roads and Airfield Pavement Technology, Singapore, September 1995.

125. Önal, A. M., Kahramangil, M., "Bitümlü Karışımlar Laboratuar El Kitabı" T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara 7, 16-18, 26-29,179-185 (1993).

126. Versraeten, J., The Use Of Bituminous Mixes In Road Consriction And Measures Against Rutting, Fatigue And Thermal Cracking, Contribution To The JH'S Program, Tokyo, December, 1992.

127. Ilıcalı, M., Erdemir Cürufunun Yol Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul 1988.

128. Öztürk, A., Çubuk, K., M., Karayolu Esnek Üstyapı Tasarımında Yeni Bir Yöntem: Yüksek Performanslı Asfalt Kaplama, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Ankara, 19,2 (2004) 175-184.

129. Kutluhan, S., Ağar, E., "Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi oluşumunun İncelenmesi", 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara, 213-223 (2004).

130. Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage, AASHTO T 283 Standard, (2003).

131. Petersen, J.C., Chemical Composition Of Asphalts As Related To Asphalt Durability; State of Art, Transportation Research, 999(1984) 13-30.

132. Kaya, M., Türkiye Coğrafi Bölgeleri İçin Bitümlü Bağlayıcıların Performans Derecelerinin Belirlenmesi ve SBS Katkılı Gözlem Yolu Yapılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Konya, 2011.

133. www.movea.com.tr/asfalt-bozulmalari-neden-olusur/. 30 Ocak 2016

134. TS EN 12607–1, Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – Sıcaklık ve Havanın Etkisiyle Sertleşmeye Karsı Direncin Tayini – Bölüm 1: RTFOT (Etüvde Hareket Halinde İnce Film Deneyi) Yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.

135. TS 1090 EN 12592, Bitümlü ve Bitümlü Bağlayıcılar-Çözünürlük Tayini, TürkStandartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

136. www.roadscience.net/services/distress-guide. 29 Ocak 2016.

137. Sustersic, E., Tusar, M. ve Zupancic Valant, A., Rheological and Mechanical Characterization of Waste Pmma/Ath Modified Bitumen, Construction and Building Materials, 38 (2013) 119–125.

138. Asi IM., Performance evaluation of SUPERPAVE and Marshall asphalt mix designs to suite Jordan climatic and traffic conditions, Construction and Building Materials, (2007) 1732–1740.

139. Nciri, N., Kim, N. and Cho, N., New insights into the effects of styrene-butadiene-styrene polymer modifier on the structure properties and performance of asphalt binder, The case of AP-5 asphalt and solvent deasphalting pitch, Materials Chemistry and Physics, 193(2017) 477-495.

140. Majidzadeh, K. and Brovold, F. N.,Effect of Water on Bitumen-Aggregate Mixtures, Highway Research Board, 98(1968) 77-85.

141. Brovelli, C., Crispino, M., Pais, J. and Pereira, P. ,Using polymers to improve the rutting resistance of asphalt concrete, Construction and Building Materials, 77(2015) 117-123.

142. Ameri, M., Reza Seif, M., Abbasi, M. and Khavandi Khiavi, A.,Viscoelastic fatigue resistance of asphalt binders modified with crumb rubber and styrene butadiene polymer, Petroleum Science and Technology, 35(2017) 30-36.

143. Zhang, F. and Hu, C.,The research for SBS and SBR compound modified asphalts with polyphosphoric acid and sulfur, Construction and Building Materials, 43(2013) 461-468.

144. Xiaoming L., Shaopeng W., Ning L., Bo G., Self-monitoring application of asphalt concrete containing graphite and carbon fibers, Journl of Wuhan University Technical Material Science, 23,2 (2008) 268–271.

145. Decoen,Y., Method for Desiging Open–Graded Friction course mixtures, National Asphalt Pavement Association, (1999) 64-242.

146. Martínez-Anzures, J.D., Zapién-Castillo, S., Salazar-Cruz, B.A., Rivera-Armenta, J.L., Antonio-Cruz, R.D.C., Hernández-Zamora, G. and Méndez-Hernández, M.L., Preparation and properties of modified asphalt using branch SBS/nanoclay nanocomposite as a modifier. Road Materials and Pavement Design, 20,6 (2019) 1275-1290.

147. Polacco. G, Berlincioni, S., Asphalt Modification with DifferentPolyethylene-Based Polymers, Eurpean Polymer Journal, 141(2005) 2831-2844 .

148. Camomilla. G, Malgarini, M., Gervasio, S., Sound Absorbation and Winter Performance of Porous Asphalt Pavement, Transportation Research Record 1265 (1990) 1-8 .

149. Moghadas Nejad, F., Aflaki, E., Mohemmadi, M. A., Fatigue behavior of SMA and HMA mixtures, Construction and Building Materials, 24(2010) 1158-1165.

150. Yousefy, A. , Ait-Kadi, A. and Roy, C., Composite Asphalt Binders:Effect of Modified RPE on Asphalt, Journal of Materials in Civil Engineering, DOI (ASCE) 0899-1561 (2000) 12:2(113).

151. Aksoy, A., İskender, E., Oruç, Ş., Özen, H., SBS Polimeri ve Su Hasarı Önleyici Katkıların Asfalt Kaplamalarda Performans Karşılaştırması, İMO Teknik Dergi, 23,113 (2012) 5967-5986.

6. EKLER

Ek Tablo 1. Dolaylı çekme mukavemeti föyü

Numune Adı	Biriket No	Biriket Yüksekliği (h, cm)	Briket Çapı (d, cm)	Pmaks. (kg)	ITS (kg/cm^2)
%5 SBS	26	6.81	10.16	975.62	8.98
	28	6.78	10.16	994.89	9.20
	39	6.88	10.16	961.78	8.76
				Ortalama	**8.98**
%5SBS+%0.3 Viatop+ %0.3 FRP	91	6.79	10.16	989	9.13
	93	6.89	10.16	1018	9.26
	103	6.8	10.16	1035.44	9.55
				Ortalama	**9.31**
%5SBS+%0.3 Viatop+ %0.5 FRP	118	6.9	10.16	1191.22	10.82
	129	6.9	10.16	1177.91	10.70
	133	6.76	10.16	1202.20	11.15
				Ortalama	**10.89**
%5SBS+%0.3 Viatop+ %0.7 FRP	142	6.92	10.16	1284.30	11.64
	144	6.9	10.16	1276.10	11.59
	145	6.82	10.16	1271.00	11.68
				Ortalama	**11.64**
%5SBS+%0.3 Viatop+ %0.9FRP	160	6.8	10.16	1234.00	11.38
	162	6.75	10.16	1207.12	11.21
	173	6.76	10.16	1199.34	11.12
				Ortalama	**11.24**

Ek Tablo 2. Karışım tasarımına ait Marshall föyü

Sıra No	Bitüm		Briket Yükseklikleri (mm)	Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim (cm3)	Hacim	Maks.	Boşluk	Agr.Arası	Asf.Dolu
				Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)		Özg.Ağr.	Teo. Özg. Ağr.	(%)	Boşluk (%)	Boşluk (%)
	Wa (%)	Ağırlık (gr)	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf
19	4.50	54	71.1	1183.2	684.0	1201.6	517.6	2.286				
25	4.50	54	70.6	1164.7	674.0	1182.7	508.7	2.290				
31	4.50	54	69.6	1179.4	677.0	1195.1	518.1	2.276				
								2.284	**2.462**	**7.27**	**16.30**	**55.40**
20	5.00	60	70.2	1209.4	695.0	1222.3	527.3	2.293				
26	5.00	60	70.7	1211.0	698.0	1224.4	492.3	2.300				
32	5.00	60	68.2	1180.6	678.0	1191.0	513.0	2.301				
								2.298	**2.446**	**6.05**	**16.15**	**62.54**
21	5.50	67	69.6	1208.7	693.1	1214.1	521.0	2.320				
27	5.50	67	69.9	1227.6	698.4	1228.8	530.4	2.314				
33	5.50	67	70.1	1179.5	674.0	1182.1	508.1	2.321				
								2.318	**2.418**	**4.13**	**15.82**	**73.89**
22	6.00	73.5	69.9	1224.1	699.1	1227.0	527.9	2.319				
28	6.00	73.5	68.9	1204.0	690.0	1208.0	518.0	2.324				
34	6.00	73.5	69.3	1170.5	607.0	1174.0	504.0	2.322				
								2.321	2.414	3.85	16.11	76.10
23	6.50	80	68.8	1212.0	695.0	1215.0	520.0	2.330				
29	6.50	80	68.9	1206.9	687.6	1207.2	519.6	2.322				
35	6.50	80	69.1	1206.8	688.4	1207.3	518.9	2.321				
								2.324	**2.399**	**3.12**	**16.39**	**80.96**
24	7.00	86	70.7	1237.5	705.5	1240.0	534.5	2.315				
30	7.00	86	70.1	1230.0	703.4	1234.0	530.6	2.318				
36	7.00	86	69.5	1249.0	711.0	1251.0	540.0	2.312				
								2.315	**2.384**	**2.90**	**17.08**	**83.62**

Ek Tablo 3. %5 SBS katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü

	Sıcaklık	Briket No		3000						2000						1000					
				40		60		80		40		60		80		40		60		80	
				με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E
%5 SBS	5°C	21	A	9.981	11234	10.818	11097	10.988	10332	9.612	11211	9.844	11318	10.17	11214	9.99	11431	9.519	11311	8.978	12015
			B	9.816	11312	10.051	11212	10.941	10213	9.571	11112	9.994	11312	10.35	11021	9.805	11981	9.655	10999	8.44	12168
		24	A	9.712	11801	9.916	11739	8.777	12672	8.485	12313	8.661	12188	8.677	12208	8.761	12412	8.446	11997	9.985	10971
			B	9.313	12245	9.213	11092	8.877	11784	8.793	12171	8.665	12221	8.444	12306	8.35	12612	8.321	12657	9.678	11002
		27	A	8.941	12716	8.998	12001	9.011	11085	7.977	13921	8.115	13112	9.106	11916	7.741	13800	7.876	13653	8.535	12314
			B	8.71	12425	8.769	12125	9.659	11512	7.509	13566	7.927	13214	9.212	12010	8.011	12991	8.321	12498	8.434	12612
		Ortalama		***9.4122***	***11956***	***9.6275***	***11544.3***	***9.7088***	***11266.3***	***8.6578***	***12382.33***	***8.8677***	***12227.5***	***9.3265***	***11779***	***8.77633***	***12538***	***8.6897***	***12186***	***9.0083***	***11847***
	25°C	21	A	27.62	4415	28.91	4792	31.39	3812	26.72	4896	29.81	4348	31.93	4065	26.61	4863	29.8	4012	31.14	3995
			B	27.71	4487	29.62	4893	31.65	3705	26.12	4889	29.46	4301	31.82	4084	26.28	4885	29.65	4082	31.42	3899
		24	A	26.88	4272	30.23	3412	32.48	3591	27.66	4117	30.92	3854	32.67	3558	27.76	4149	29.19	3857	32.62	3599
			B	27.78	4389	31.02	3571	32.59	3526	27.54	4213	30.28	3756	33.34	3438	27.81	4119	29.12	3867	32.87	3621
		27	A	29.88	4085	32.44	3032	37.85	3104	32.52	3524	35.76	3197	39.56	2996	32.84	3562	35.34	3299	38.25	3048
			B	28.97	4098	31.99	3489	39.92	2817	33.61	3434	35.86	3131	38.74	3012	33.6	3451	36.02	3220	40.7	2973
		Ortalama		***28.14***	***4291***	***30.702***	***3864.83***	***34.313***	***3425.83***	***29.028***	***4178.833***	***32.015***	***3764.5***	***34.677***	***3525.5***	***29.15***	***4171.5***	***31.52***	***3722.8***	***34.5***	***3522.5***
	40°C	21	A	107.5	1354	114.7	1193	127.4	999.6	107.9	1256	125.8	1115	134.4	993.2	116.4	1199	123.9	1079	134.1	865.4
			B	105.2	1271	117.3	1102	131.3	991.1	108.8	1237	118.4	1096	142.6	937.1	109.4	1206	121.6	1089	132.1	991.7
		24	A	99.8	1448	103.3	1301	132.1	993	102.4	1378	117.3	1102	122.1	1094	106.1	1219	118.8	1101	127.6	998.3
			B	106.2	1245	118.9	1112	121.7	1094	109.5	1121	115.5	1149	126.7	1029	102.8	1242	117.9	1111	129.8	991
		27	A	141.1	851.4	163.6	721.2	178.1	654.7	154.3	801.3	163.3	711.1	173.9	683.1	148.6	771.3	159.9	737.1	181.9	644.1
			B	155.2	764.2	164.1	717.3	181.7	651.4	158.6	712.6	165.8	699.7	186.9	630.8	154.9	760.1	168.9	657.6	188.6	622.4
		Ortalama		***119.17***	***1155.6***	***130.32***	***1024.42***	***145.38***	***897.3***	***123.58***	***1084.317***	***134.35***	***978.8***	***147.77***	***894.53***	***123.033***	***1066.2***	***135.17***	***962.45***	***149.02***	***852.15***

Ek Tablo4. %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.3FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü

	Sıcaklık	Briket No		3000						2000						1000					
				40		60		80		40		60		80		40		60		80	
				με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E
%5SBS+%0.3 Viatop Premium+ %0.3FRP	5°C	97	A	9.681	11671	10.387	11519	10.548	10665	9.275	11513	9.45	11643	9.966	11340	9.592	11740	9.343	11116	8.709	12323
			B	9.471	11807	9.65	11605	10.503	10790	9.218	11556	9.649	11584	9.936	11318	9.413	12088	9.462	10919	8.145	12808
		98	A	9.324	12273	9.028	12008	8.513	13102	8.272	12707	8.401	12678	8.503	12623	8.498	12784	8.234	12321	9.744	11467
			B	9.126	12481	8.89	12128	8.695	12762	8.458	12536	8.328	12634	8.19	12876	8.099	13028	7.988	13999	9.358	11754
		99	A	8.718	12817	8.818	12241	8.978	11428	7.769	14296	7.871	13731	8.714	12214	7.586	14076	7.539	14021	8.278	12532
			B	8.449	12987	8.565	12497	9.369	11012	7.358	13996	7.749	13992	8.935	12174	7.817	13454	7.998	12998	8.215	12654
		Ortalama		***9.1282***	***12339***	***9.223***	***11999.7***	***9.4343***	***11626.5***	***8.3917***	***12767.33***	***8.5747***	***12710.3***	***9.0407***	***12091***	***8.50083***	***12862***	***8.4273***	***12562***	***8.7415***	***12256.33***
	25°C	97	A	26.891	4539	28.476	4749	30.511	3941	25.758	5029	29.213	4496	30.812	4203	25.817	4994	28.608	4340	30.299	4110
			B	27.145	4626	28.289	4980	31.017	3805	25.467	5136	28.281	4422	30.929	4199	25.281	5036	28.879	4212	30.163	4031
		98	A	25.941	4388	29.355	3617	31.44	3712	26.83	4257	29.806	3977	31.755	3679	26.65	4381	28.022	3827	32.015	3699
			B	27.057	4530	29.903	3792	31.612	3624	26.714	4364	29.674	3887	32.439	3531	27.087	4235	27.995	3999	31.967	3744
		99	A	28.745	4199	31.531	3245	36.79	3209	31.284	3647	34.508	3312	38.017	3077	32.183	3672	34.35	3407	37.102	3290
			B	28.274	4236	30.966	3498	38.52	2900	32.366	3527	34.784	3278	37.578	3108	32.693	3548	34.615	3310	38.949	3077
		Ortalama		***27.342***	***4419.7***	***29.753***	***3980.17***	***33.315***	***3531.83***	***28.07***	***4326.667***	***31.044***	***3895.33***	***33.588***	***3632.8***	***28.2852***	***4311***	***30.412***	***3849.2***	***33.416***	***3658.5***
	40°C	97	A	103.737	1402	112.406	1231	123.96	998	105.114	1289	122.403	1144	130.772	1020	112.209	1210	120.183	1107	129.674	888.9
			B	103.096	1325	113.781	1138	127.623	993	106.448	1269	113.664	1126	137.182	961.136	106.366	1260	119.168	1117	128.137	1008
		98	A	96.202	1500	100.828	1336	126.816	1023	100.352	1341	113.781	1137	118.532	1157	103.978	1275	114.523	1133	125.048	1035
			B	104.076	1279	114.976	1141	119.266	1196	105.339	1179	111.342	1183	123.532	1058	100.127	1298	113.419	1195	125.516	1029
		99	A	135.559	884	154.602	749.3	171.1	677	151.214	828.544	157.788	745.66	167.291	706.325	144.885	799.667	156.702	763.116	178.262	664.711
			B	149.147	788	155.074	741.9	172.615	675	155.428	799	159.499	722.09	180.732	651.895	151.802	783.663	164.17	647.643	181.056	641.694
		Ortalama		***115.3***	***1196.3***	***125.28***	***1056.2***	***140.23***	***927***	***120.65***	***1117.591***	***129.75***	***1009.63***	***143.01***	***925.73***	***119.895***	***1104.4***	***131.36***	***993.79***	***144.62***	***877.8842***

Ek Tablo5. %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.5FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü

	Sıcaklık	Briket No		3000						2000						1000					
				40		60		80		40		60		80		40		60		80	
				με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E
%5SBS+%0.3 Viatop Premium+ %0.5FRP	5°C	120	A	8.923	12481	9.595	12362	9.656	11520	8.554	12489	8.712	12507	8.965	12425	8.891	12831	8.509	12510	7.987	13352
			B	8.755	12600	8.965	12523	9.847	11275	8.498	12401	8.894	12522	9.232	12189	8.677	13239	8.563	12187	7.486	13530
		121	A	8.676	13217	8.746	13006	7.82	14192	7.467	13652	7.665	13528	7.774	13599	7.753	13715	7.516	13317	8.826	12225
			B	8.195	13518	8.218	12423	7.9	13021	7.914	13473	7.66	13492	7.549	13733	7.391	13986	7.442	13998	8.555	12212
		122	A	7.957	14115	8.044	13261	8.01	12304	7.131	15131	7.174	14706	8.104	13227	6.904	15346	6.97	15291	7.613	13758
			B	7.76	13767	7.804	13580	8.635	12732	6.683	15333	7.505	14624	8.198	13295	7.137	14472	7.447	13861	7.539	13999
		Ortalama		***8.3777***	***13283***	***8.562***	***12859.2***	***8.6447***	***12507.3***	***7.7078***	***13746.5***	***7.935***	***13563.2***	***8.3037***	***13078***	***7.79217***	***13932***	***7.7412***	***13527***	***8.001***	***13179.33***
	25°C	120	A	24.416	4898	25.731	4272	27.748	4247	23.917	5410	26.59	4826	28.226	4487	23.762	5368	26.641	4461	27.59	4402
			B	24.661	4988	26.124	4168	28.041	4142	23.037	5471	26.042	4748	28.256	4525	23.441	5388	26.299	4522	27.995	4308
		121	A	24.03	4772	26.723	4659	28.972	3989	24.645	4541	27.58	4250	29.146	3956	24.595	4597	26	4273	29.064	3994
			B	24.641	4852	27.699	4422	33.461	3892	24.254	4676	26.858	4165	29.472	3805	24.667	4547	25.918	4292	29.392	3997
		122	A	26.354	4583	28.709	4171	33.345	3476	29.017	3925	31.647	3574	35.247	3355	29.368	4089	31.24	3689	34.04	3480
			B	25.899	4496	28.631	4047	35.808	3128	30.013	3836	32.099	3498	34.478	3433	30.105	3890	32.165	3612	35.998	3391
		Ortalama		***25***	***4764.8***	***27.27***	***4289.83***	***31.229***	***3812.33***	***25.814***	***4643.167***	***28.469***	***4176.83***	***30.804***	***3926.8***	***25.9897***	***4646.5***	***28.044***	***4141.5***	***30.68***	***3928.667***
	40°C	120	A	94.6	1499	102.542	1330	113.64	1152	96.031	1370	110.83	1206	117.062	1121	101.5	1282	109.899	1197	117.749	957.96
			B	93.312	1410	103.224	1227	115.675	1098	95.179	1389	104.665	1271	126.058	1039	96.928	1386	107.494	1205	116.776	1059
		121	A	88.833	1602	91	1436	117.965	1081	90.828	1525	102.754	1298	108.669	1205	93.898	1349	105.138	1218	113.564	1083
			B	93.031	1398	103.918	1239	107.096	1214	95.922	1244	101.579	1281	112.129	1136	91.581	1408	104.577	1237	114.843	1098
		122	A	126.284	950.162	146.75	801.974	158.865	732.264	137.635	897.324	144.475	785.341	153.727	765.074	130.808	863.965	143.11	817.443	162.982	719.117
			B	139.214	850.554	143.587	807.68	162.076	725.659	141.788	793.123	147.893	703.102	167.088	703.973	138.636	849.032	150.687	766.512	168.231	701.445
		Ortalama		***105.88***	***1285***	***115.17***	***1140.28***	***129.22***	***1000.49***	***109.56***	***1203.075***	***118.7***	***1090.74***	***130.79***	***995.01***	***108.892***	***1189.7***	***120.15***	***1073.5***	***132.36***	***936.4203***

Ek Tablo6. %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.7FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü

	Sıcaklık	Briket No		3000						2000							1000				
				40		60		80		40		60		80			40		60		80
				με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E
%5SBS+%0.3 Viatop Premium+ %0.7FRP	5°C	145	A	7.635	13930	8.383	13505	8.462	12646	7.439	13711	7.639	13944	7.831	13881	7.532	14111	7.424	13935	5.828	14938
			B	7.597	14126	7.839	13803	8.512	12479	7.342	13635	7.735	13948	8.011	13692	7.549	14625	7.422	13606	6.498	14894
		146	A	7.497	14397	7.744	14223	6.801	15612	6.567	15022	6.776	14930	6.785	15018	6.589	15267	6.503	14820	7.368	13549
			B	7.32	15061	7.094	14610	6.817	15001	6.876	14995	6.706	15207	6.604	15261	6.429	15538	6.448	15492	7.471	13598
		147	A	6.929	15515	7.018	14716	7.028	13614	6.262	17122	6.362	16075	7.057	14486	6.038	16891	6.08	16861	6.674	15084
			B	6.689	15245	6.839	14814	7.476	14128	5.982	16714	6.183	16161	7.191	14715	6.161	16305	6.382	15297	6.495	15475
		Ortalama		***7.2778***	***14712***	***7.4862***	***14278.5***	***7.516***	***13913.3***	***6.7447***	***15199.83***	***6.9002***	***15044.2***	***7.2465***	***14509***	***6.71633***	***15456***	***6.7098***	***15002***	***6.7223***	***14589.67***
	25°C	145	A	21.277	5298	22.105	5689	24.609	4650	20.895	5987	21.772	5304	24.745	4963	20.81	6005	23.065	4934	24.413	4918
			B	21.42	5537	22.873	5578	24.528	4538	20.243	5998	22.861	5264	24.628	4998	20.312	6008	22.949	4996	24.036	4776
		146	A	20.96	5349	23.125	4457	24.847	4461	21.107	5064	24.241	4738	25.351	4396	21.486	5083	22.476	4795	25.15	4444
			B	21.223	5267	23.978	4518	24.996	4317	20.93	5190	23.8	4612	26.072	4232	22.012	5029	22.509	4772	25.244	4421
		147	A	23.157	4989	25.043	4051	29.144	3779	25.04	4375	27.249	4022	30.144	3692	25.483	4388	27.494	4068	29.911	3817
			B	22.249	4925	24.952	4230	30.538	3578	26.04	4283	27.612	3910	29.789	3743	25.771	4261	27.663	3945	31.154	3638
		Ortalama		***21.714***	***5227.5***	***23.679***	***4753.83***	***26.444***	***4220.5***	***22.376***	***5149.5***	***24.589***	***4641.67***	***26.788***	***4337.3***	***22.6457***	***5129***	***24.359***	***4585***	***26.651***	***4335.667***
	40°C	145	A	82.993	1638	87.745	1498	98.862	1223	84.162	1541	96.614	1364	102.413	1221	89.628	1391	94.783	1321	101.782	1073
			B	82.161	1595	90.556	1348	101.757	1212	84.23	1522	91.404	1342	109.089	1147	83.254	1482	95.344	1333	100.548	1212
		146	A	76.347	1781	80.057	1578	101.056	1221	78.541	1691	89.734	1372	95.238	1368	83.076	1501	91.476	1356	98.89	1224
			B	82.305	1531	90.602	1362	93.1	1347	80.989	1427	90.552	1411	96.925	1259	78.642	1542	90.547	1358	99.946	1219
		147	A	109.07	1051	126.79	890.682	137.671	827.245	117.576	982.238	125.741	880.341	133.905	834.311	115.165	992.55	123.123	919.318	142.609	795.463
			B	118.573	944.551	127.013	885.148	139.053	810.781	121.646	845.073	127.666	866.928	142.791	779.038	118.498	960.243	129.343	812.793	144.279	762.44
		Ortalama		***91.908***	***1423.4***	***100.46***	***1260.31***	***111.92***	***1106.84***	***94.524***	***1334.719***	***103.62***	***1206.04***	***113.39***	***1101.4***	***94.7105***	***1311.5***	***104.1***	***1183.4***	***114.68***	***1047.651***

Ek Tablo7. %5SBS+%0.3Viatop Premium+ %0.9FRP katkılı karışımına ait dolaylı çekme föyü

	Sıcaklık	Briket No		3000						2000						1000					
				40		60		80		40		60		80		40		60		80	
				με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E	με	E
%5SBS+%0.3 Viatop Premium+ %0.9FRP	5°C	166	A	8.224	13301	8.805	13082	8.889	12130	7.815	13182	8.121	13412	8.382	13222	8.081	13466	7.815	13561	7.388	14262
			B	8	13392	8.221	13297	8.994	12041	7.887	13134	8.145	13325	8.383	13103	8.009	14197	7.888	12995	6.993	14346
		167	A	7.916	13951	8.009	14040	7.256	15130	6.915	14689	7.102	14491	6.984	14493	7.184	14733	7.679	14264	8.157	13055
			B	7.636	14534	7.573	13288	7.19	14170	7.157	14339	7.079	14516	6.957	14645	6.805	14895	6.848	14990	7.984	12916
		168	A	7.278	15005	7.405	14209	7.344	13115	6.589	16538	6.654	15590	7.376	14180	6.78	16122	6.419	15974	6.914	14792
			B	7.16	14992	7.147	14308	7.815	13647	6.135	16273	6.484	15784	7.498	14291	6.601	15861	6.656	14992	6.79	15068
		Ortalama		***7.7023***	***14196***	***7.86***	***13704***	***7.9147***	***13372.2***	***7.083***	***14692.5***	***7.2642***	***14519.7***	***7.5967***	***13989***	***7.24333***	***14879***	***7.2175***	***14463***	***7.371***	***14073.17***
	25°C	166	A	22.51	5383	23.562	5332	25.772	4490	21.75	5753	24.265	5152	26.023	4788	21.66	5748	24.257	4714	25.442	4742
			B	22.777	5412	24.377	5383	26.048	4379	21.497	5778	24.246	5097	26.188	4844	21.681	5769	24.402	4849	25.858	4612
		167	A	21.96	4978	24.697	4280	26.536	4262	22.598	4878	25.138	4589	26.757	4219	22.846	4891	24.023	4575	26.65	4243
			B	22.918	5191	25.591	4376	26.821	4175	22.748	4996	24.981	4554	27.239	4150	22.72	4885	23.791	4591	26.821	4305
		168	A	24.412	4892	26.698	3986	30.772	3697	26.568	4281	29.109	3741	32.163	3574	26.668	4320	27.151	3966	31.518	3668
			B	23.842	4706	26.008	4167	32.974	3398	27.426	4094	29.513	3677	31.883	3548	27.653	4110	29.5	3825	33.496	3528
		Ortalama		***23.07***	***5093.7***	***25.156***	***4587.33***	***28.154***	***4066.83***	***23.765***	***4963.333***	***26.209***	***4468.33***	***28.376***	***4187.2***	***23.8713***	***4953.8***	***25.521***	***4420***	***28.298***	***4183***
	40°C	166	A	88.58	1553	103.929	1410	104.85	1178	87.938	1481	102.778	1310	110.611	1189	94.866	1316	100.608	1271	110.498	1019
			B	86.579	1536	96.538	1336	107.272	1174	88.891	1464	99.443	1308	115.649	1110	91.02	1431	100.32	1286	108.718	1161
		167	A	82.135	1750	84.189	1514	108.983	1178	84.582	1635	94.425	1325	100.732	1299	86.683	1487	97.06	1303	103.866	1213
			B	86.765	1477	97.855	1330	100.646	1320	90.112	1347	93.905	1359	103.767	1213	84.604	1541	96.796	1338	106.176	1178
		168	A	116.125	1013	134.806	858.228	145.864	779	125.754	953.547	133.416	844	143.12	814.256	122.595	919.389	132.397	872.73	150.433	769.055
			B	122.332	906.341	134.234	847.849	148.449	765.395	130.528	843.095	134.961	828.445	153.82	746.867	125.469	897.678	138.16	783.86	155.255	729.412
		Ortalama		***97.086***	***1372.6***	***108.59***	***1216.01***	***119.34***	***1065.73***	***101.3***	***1287.274***	***109.82***	***1162.41***	***121.28***	***1062***	***100.873***	***1265.3***	***110.89***	***1142.4***	***122.49***	***1011.578***

Ek Tablo8.Normal sıcak karışımlarda km başına yıllık maliyet analizi

Parameters	Parameters value
A	51120
CRF40	0.0665
E1	17421
PWF12	0.49
RE1	23.7
PWF12	0.49
E2	17421
PWF22	0.28
RE2	23.7
PWF22	0.28
E3	17421
PWF35	0.13
RE3	23.7
PWF35	0.13
(1 - Y/x)	0.55
Σ Mn(PWFn) = M3(PWF3)	0
Σ Mn(PWFn) = M6(PWF6)	0
Σ Mn(PWFn) = M9(PWF9)	0
Σ Mn(PWFn) = M15(PWF15)	0
Σ Mn(PWFn) = M18(PWF18)	0
Σ Mn(PWFn) = M25(PWF25)	0
Σ Mn(PWFn) = M28(PWF28)	0
Σ Mn(PWFn) = M32(PWF32)	0
Σ Mn(PWFn) = M38(PWF38)	0
Σ RMn(PWFn) = RM3(PWF3)	0
Σ RMn(PWFn) = RM6(PWF6)	0
Σ RMn(PWFn) = RM9(PWF9)	0
Σ RMn(PWFn) = RM15(PWF15)	0
Σ RMn(PWFn) = RM18(PWF18)	0
Σ RMn(PWFn) = RM25(PWF25)	0
Σ RMn(PWFn) = RM28(PWF28)	0
Σ RMn(PWFn) = RM32(PWF32)	0
Σ RMn(PWFn) = RM38(PWF38)	0

Mn	value	PWFn	value
M3		PWF3	0.84
M6		PWF6	0.7
M9		PWF9	0.59
M15		PWF15	0.42
M18		PWF18	0.35
M25		PWF25	0.23
M28		PW28	0.19
M32		PWF32	0.15
M38		PWF38	0.11
RM3		PWF3	0.84
RM6		PWF6	0.7
RM9		PWF9	0.59
RM15		PWF15	0.42
RM18		PWF18	0.35
RM25		PWF25	0.23
RM28		PWF28	0.19
RM32		PWF32	0.15
RM38		PWF38	0.11

Ek Tablo9.Normal sıcak karışımlarda km başına yıllık maliyet analizi hesaplamalrı

Normal sıcak karışım kaplamalarda Km başına yıllık maliyet analizi												
Equation components											mil başına toplam maliyeti (net mevcut değer)	Km başına toplam maliyeti (net mevcut değer)
A	CRF40	E1(PWF12)	RE1(PWF12)	E2(PWF22)	RE2(PWF22)	E3(PWF35)	RE3(PWF35)	(1 - Y/x)(E3)(PWF35)	ΣMn(PWFn)	ΣRMn(PWFn)		
51120	0.0665	8536.29	11.613	4877.88	6.636	2264.73	3.081	1245.6015	0	0	4360.712795	2725.445497
$c = [CRF_{40}(A + E_{12}(PWF_{12}) + RE_{12}(PWF_{12}) + E_{22}(PWF_{22}) + RE_{22}(PWF_{22}) + \dots + E_{n35}(PWF_{n35}) + RE_{n35}(PWF_{n35}) - \left(1 - \frac{Y}{x}\right)(E_{35})(PWF_{35}) + \sum_{n=1}^{n} M_n(PWF_n) + \sum_{n=1}^{n} RM_n(PWF_n)]$								$CRF_{40} = \frac{r[1+r]^{40}}{[1+r]^{40}-1}$	$PWF = \frac{1}{(1+r)^t}$			

Ek Tablo10.TMA kaplamalarda km başına yıllık maliyet azalizi

Parametereler	Parameterer değeri
A	51247
CRF40	0.0665
E1	17241
PWF15	0.42
RE1	23.7
PWF15	0.42
E2	17241
PWF30	0.17
RE2	23.7
PWF30	0.17
(1 - Y/x)	0.09
Σ Mn(PWFn) = M3(PWF3)	0
Σ Mn(PWFn) = M6(PWF6)	0
Σ Mn(PWFn) = M9(PWF9)	0
Σ Mn(PWFn) = M12(PWF12)	0
Σ Mn(PWFn) = M18(PWF18)	0
Σ Mn(PWFn) = M21(PWF21)	0
Σ Mn(PWFn) = M24(PWF24)	0
Σ Mn(PWFn) = M27(PWF27)	0
Σ Mn(PWFn) = M33(PWF33)	0
Σ Mn(PWFn) = M36(PWF36)	0
Σ RMn(PWFn) = RM3(PWF3)	0
Σ RMn(PWFn) = RM6(PWF6)	0
Σ RMn(PWFn) = RM9(PWF9)	0
Σ RMn(PWFn) = RM12(PWF12)	0
Σ RMn(PWFn) = RM18(PWF18)	0
Σ RMn(PWFn) = RM21(PWF21)	0
Σ RMn(PWFn) = RM24(PWF24)	0
Σ RMn(PWFn) = RM27(PWF27)	0
Σ RMn(PWFn) = RM33(PWF33)	0
Σ RMn(PWFn) = RM36(PWF36)	0

Mn	değer	PWFn	değer
M3		PWF3	0.84
M6		PWF6	0.7
M9		PWF9	0.59
M12		PWF12	0.49
M18		PWF18	0.35
M21		PWF21	0.29
M24		PW24	0.25
M27		PWF27	0.21
M33		PWF33	0.15
M36		PWF36	0.12
RM3		PWF3	0.84
RM6		PWF6	0.7
RM9		PWF9	0.59
RM12		PWF12	0.49
RM18		PWF18	0.35
RM21		PWF21	0.29
RM24		PWF24	0.25
RM27		PWF27	0.21
RM33		PWF33	0.15
RM36		PWF36	0.12

Ek Tablo11.TMA kaplamalarda km başına yıllık maliyet hesaplamaları

%5SBS, %0.3 Viatpo Permium, %0.7 FRP katkılı TMA kaplamalarda Km başına yıllık maliyet analizi										
Equation components									mil başına toplam maliyeti (net mevcut değer)	Km başına toplam maliyeti (net mevcut değer)
A	CRF40	E1(PWF15)	RE1(PWF15)	E2(PWF30)	RE2(PWF30)	(1 - Y/x)(E2)(PWF30)	Σ Mn(PWFn)	Σ RMn(PWFn)		
51247	0.0665	7241.22	9.954	2930.97	4.029	263.7873	0	0	4067.764149	2542.35259
$$\text{EUAC} = [\text{CRF}_{40}[A + E_1(\text{PWF}_{15}) + \text{RE}_1(\text{PWF}_{15}) + E_2(\text{PWF}_{30}) + \text{RE}_2(\text{PWF}_{30}) + \dots + E_{40}(\text{PWF}_{40}) + \text{RE}_{40}(\text{PWF}_{40}) - \left(1 - \frac{x}{y}\right)(E_{30})(\text{PWF}_{30}) + \Sigma_{n=1} M_n(\text{PWF}_n) + \Sigma_{n=1} \text{RM}_n(\text{PWF}_n)]]$$						$$\text{CRF}_{40} = \frac{r(1+r)^{40}}{(1+r)^{40}-1}$$	$$\text{PWF}^n = \frac{1}{(1+r)^n}$$			

ÖZGEÇMİŞ

Sepehr SAEDİ, 1979 yılında Tabriz'de doğdu. 1990 yılında Shahriyar İlköğretim Okulu'ndan, 1993 Şehit Rezaii Ortaokulu'ndan mezun olarak İlk ve Orta öğrenimini Tabriz'de tamamladı. 1998 yılında Sema Lisesindan mezun oldu. Aynı yıl girdiği Üniversite sınavında Tabriz Üniversitesi Müh. Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 2002 Bahar yılı sonunda "İnşaat Mühendisi" ünvanıyla mezun oldu. Ardından 2003 yılında Tabriz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans yapmaya hak kazandı. 2006 Güz dönmı yılı sonunda "Yüksek İnşaat Mühendisi" ünvanıyla mezun oldu. 2004 yılında Tabriz'de özel bir Yapı Denetim Şirketinde Kontrol mühendisi olarak görev yaptı. 2007 yılında Tahran' da bir uluslararası Muşavir Şirketinde Kontrol mühendisi olarak göreve başladi 2009 yılında aynı Şirketin IRAN, Kuzey Batı bölgesi Müdürü olarak göreve başladı ve halan be göreve devam ederkan bir çok Baraj, Metro, Tunel, Zemin (Geoteknik) ve Yol projelerde Baş Mühendis olrak görevlendirildi. Aynı zaman da Azad Tabriz özel üniversitesinde Öğretim Görevliliğna hak kazanarak sadece lisans progeramı Hocası olarak göreve başladı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Müh. Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Doktora yapmaya hak kazandı.

Evli olan Sepehr Saedi ingilizce, Turkçe, farsca ve Azerice bilmekte ve İnşaat Mühendisliği iki anabilm dalında Hidrolik yapılar ve Geoteknik "Yüksek İnşaat Mühendisi" ünvanıyla halen P.O.R Consulting IRAN, Kuzey Batı bölgesi Müdürü görevini sürdürmektedir.