

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA SBS İLE BİRLİKTE PR PLASTİK
KATKISININ KARIŞIM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Elif GİRDAP

**MAYIS 2017
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA SBS İLE BİRLİKTE PR PLASTİK KATKISININ
KARIŞIM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Elif GİRDAP

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05 / 05 / 2017

Tezin Savunma Tarihi : 26 / 05 / 2017

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şeref ORUÇ

Trabzon 2017

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Elif GİRDAP Tarafından Hazırlanan

TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA SBS İLE BİRLİKTE PR PLAST S
KATKISININ KARIŞIM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 09 / 05 / 2017 gün ve 1701 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Şeref ORUÇ

Üye : Doç. Dr. M. Vefa AKPINAR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bahadır YILMAZ





Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Öncelikle “Taş Mastik Asfalt Karışımlarda SBS ile birlikte Pr Plast S Katkısının Karışım Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi” isimli bu tezin ülkemize, bilim dünyasına ve uygulamacılara faydalı olmasını diliyorum.

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez aşamamda, tez konumun seçiminde ve çalışmalarımda gösterdiği yardımlardan ve desteğinden dolayı Doç. Dr. Şeref ORUÇ’a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Eğitim ve tez sürecimde bilgi ve tecrübesiyle her zaman yardımcı olan gerek malzeme gerekse laboratuvar aşamalarında göstermiş olduğu tüm yardım ve desteklerinden dolayı Kontrol Şefim Gökhan KILIÇ’a teşekkür ederim.

Dr. Seda MACİT ÖZBEDEN’e yüksek lisans eğitimim boyunca göstermiş olduğu sonsuz yardım ve desteklerinden dolayı ayrıca teşekkür ederim.

Malzemelerimin temini hususunda, Trabzon-Erzurum Yol Kontrol Şefliğine, SBS modifiyeli asfaltta İSFALT A.Ş. Laboratuvar Şefine ve Pr Plast S’ de Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü Kontrol Şefine ayrıca teşekkürü borç bilirim.

KTÜ öğretim üyesi Doç. Dr. M. Vefa Akpınar’a, Bayburt Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Bahadır YILMAZ’a görüş önerileri ile tezime değer kattığı için, Demet ŞAHİN’e tüm destekleri için, Karayolları 10. Bölge Müdürlüğünde çalışan değerli Üstyapı Başmühendislerim İlkey ZİHNİ ve Osman BARAN’a, Üstyapı Arazi Mühendisi Temel SIRTKAYA’ya, Ar-Ge Başmühendisi Aytuna SAYIN’a, Üstyapı Geliştirme Şefi Berna ERDÖL’e, Musa ŞAHİNKAYA ve Adnan KALYONCU’ ya tez sürecimin eğitim ve deney aşamasında tecrübeleriyle ve emekleriyle bana destek oldukları için, deney sürecimde yanımda olup bana destek olan değerli meslektaşlarım Murat Ozan CANDAS, Sümeyye BAYRAKTAR, Fatih KALKAN, Deniz SUCULARLI, Arş. Gör. Ahmet KUVAT’ a ayrıca Esin KALKAN, Vahit KUMAŞ ve Salih ERGENÇ’e teşekkür ederim.

Son olarak, hayatım boyunca yanımda olan, bana güven veren, destek ve yardımları ile bugünlere gelmemi sağlayan değerli ailem, annem Fatma GİRDAP, babam Mustafa GİRDAP ve değerli ablalarım Meltem ve Özlem GİRDAP’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Elif GİRDAP
Trabzon 2017

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Taş Mastik Asfalt Karışımlarda SBS ile birlikte Pr Plast S Katkısının Karışım Performansı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Şeref ORUÇ’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 26/05/2017

Elif GİRDAP

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XVIII
KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ	XX
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Konunun Özgeçmişi.....	2
1.3. Karayolu Üstyapısı.....	18
1.3.1. Rijit Üstyapılar	19
1.3.2. Yarı-Rijit Üstyapılar	20
1.3.3. Esnek Üstyapılar	21
1.4. Bitümlü Sıcak Karışımlar.....	22
1.4.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Türkiye’ de Son Yıllardaki Durumu	25
1.4.2. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Temel Problemler	25
1.4.2.1. Deformasyonlar.....	26
1.4.2.1.1. Tekerlek İzi Oluşumu.....	26
1.4.2.1.2. Oturmalar ve Çökmeler.....	29
1.4.2.1.3. Ondülasyonlar (Dalgalanmalar ve Yığılmalar) ve Kabarmalar	30
1.4.2.2. Çatlaklar	31
1.4.2.3. Ayrışmalar.....	35
1.4.2.3.1. Soyulmalar	35
1.4.2.3.2. Sökülmeler	36
1.5. Taş Mastik Asfalt (TMA)	36
1.5.1. Taş Mastik Asfaltın Hacimsel Yapısı	39

1.5.2.	Taş Mastik Asfaltların Kullanım Amacı ve Uygulama Alanları	39
1.6.	Taş Mastik Asfaltta Kullanılan Malzemeler	40
1.6.1.	Bitümlü Bağlayıcılar	40
1.6.1.1.	Asfaltlar.....	42
1.6.1.1.1.	Asfalt Çimentosu.....	44
1.6.1.1.2.	Sıvı Petrol Asfaltları.....	44
1.6.1.1.3.	Bitüm Emülsiyonları	45
1.6.1.2.	Katranlar.....	46
1.6.2.	Polimer Modifiye Bitümler	46
1.6.2.1.	Polimer Modifiye Bitümlerde Kullanılan Katkılar	47
1.6.3.	Bitümlere ve Polimer Modifiye Bitümlere Uygulanan Deneyler	49
1.6.3.1.	Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426, ASTM D5).....	52
1.6.3.2.	Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427, ASTM D36).....	52
1.6.3.3.	Kuvvet Ölçümlü Düktilite Deneyi (TS EN 12589)	52
1.6.3.4.	Trikloretilende Çözünürlük (TS EN 12592)	53
1.6.3.5.	Parlama Noktası Deneyi (TS EN ISO 2592,TS 1171).....	53
1.6.3.6.	Elastik Geri Dönme Deneyi (TS EN 13398)	53
1.6.3.7.	İnce Film Halinde Isıtma Deneyi, TFOT (TS EN 12607-2) Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi, RTFOT (TS EN 12607-1)	54
1.6.3.8.	Basıncılı Yaşlandırma Kabı (PAV) (AASHTO R 28)	54
1.6.3.9.	Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087)	55
1.6.3.10.	Frass Kırılma Noktası Deneyi (TS EN 12593).....	55
1.6.3.11.	DSR, Dinamik Kesme Reometresi Aleti ile Kompleks Kesme Modülü	56
1.6.3.12.	BBR, Kiriş Eğme Reometresi Aleti ile Eğilme-Sünme Rijitliğinin Tayini Deneyi (TS EN 14771, AASHTO T313).....	56
1.6.3.13.	Dönel Viskozimetre Deneyi (RV).....	57
1.6.3.14.	Modifiye Bitümlerde Depolama Stabilitesi (TS EN 13399).....	58
1.6.4.	Agregalar.....	58
1.6.4.1.	Agregaların Sınıflandırılması.....	58
1.6.4.1.1.	Agregaların Mineralojik Sınıflandırılması.....	58
1.6.4.1.2.	Agregalarda Boyut Sınıflandırılması	59
1.6.4.1.3.	Agregalarda Gradasyon Sınıflandırılması.....	59
1.6.4.1.4.	Agregaların Biçim ve Yüzey Yapısına Göre Sınıflandırılması	60
1.6.4.1.5.	Agregaların Porozite, Yüzey Alanı ve Boşluğa Göre Sınıflandırılması	62

1.6.4.1.6. Agregaların Özgül Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılması	63
1.6.4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	64
1.6.4.3. Agregalara Uygulanan Deneyler.....	64
1.6.4.3.1. Elek Analizi Deneyi (ASTM C136,ASTM C117).....	65
1.6.4.3.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2) ...	65
1.6.4.3.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi) (AASHTO T104, TS EN 1367-1).....	66
1.6.4.3.4. Yassılık İndeksi Deneyi (BS 812).....	66
1.6.4.3.5. Cilalanma Deneyi (TS EN 1097-8).....	67
1.6.4.3.6. Vialit Yöntemi ile Yapışma Deneyi (KTŞ Kısım 403 Ek-B)	67
1.6.4.3.7. Soyulma Mukavemeti Deneyi (KTŞ Kısım 403 Ek-A)	67
1.6.4.3.8. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6).....	68
1.7. Bitümün ve/veya Karışımın Modifiye Edilmesi	70
1.7.1. Katkı Maddeleri	71
1.7.1.1. Stiren-Butadien-Stiren (SBS).....	75
1.7.1.2. Elyaf.....	77
1.7.1.3. Pr Plast S	78
1.7.2. Sıcak Asfalt Karışımlara Uygulanan Deneyleri.....	79
1.7.2.1. Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı ve Marshall Deneyi.....	80
1.7.2.2. Dolaylı Çekme Deneyi.....	84
1.7.2.3. Su Hasarı Deneyi	86
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	87
2.1. Modifiye Asfalt Bağlayıcıların Hazırlanması	88
2.2. Polimer Modifiye Bitümün Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi ...	88
2.2.1. Penetrasyon Deneyinin Yapılışı.....	88
2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi	89
2.2.3. Parlama Noktası Deneyi.....	90
2.2.4. Düktilite Deneyi.....	91
2.2.5. RV Deneyinin Yapılışı.....	91
2.3. Agregalara Uygulanan Deneyler.....	92
2.3.1. Elek Analizi.....	92
2.3.2. Özgül Ağırlık ve Absorpsiyon Deneyi.....	94
2.3.3. Cilalanma Deneyi.....	95

2.3.4.	Donma Deneyi	95
2.3.5.	Los Angeles Aşınma Deneyi.....	95
2.3.6.	Yassılık İndeksi Deneyi	96
2.3.7.	Soyulma Deneyi	97
2.4.	Optimum Asfalt Yüzdesinin Belirlenmesi	97
2.5.	Pr Plast S Katkılı Marshall Briketlerinin Hazırlanması	102
2.6.	Marshall Briketlerinin Yoğunluk Boşluk Analizleri.....	107
2.7.	Marshall Stabilite ve Akma Değerlerinin Tespiti	112
2.8.	Dolaylı Çekme Deneyinin Yapılışı	113
2.9.	Su Hasarı Deneyi	114
3.	BULGULAR VE İRDELEME	117
3.1.	Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları	117
3.2.	Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları	121
3.2.1.	40 °C Sıcaklığında Yapılan Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen.....	121
3.2.2.	25 °C Sıcaklığında Yapılan Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen.....	130
3.2.3.	5°C Sıcaklığında Yapılan Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar ve İrdeleme	139
3.2.4.	Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Sıcaklığa Göre	148
3.3.	Su Hasarı Deneyi	150
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	159
5.	KAYNAKLAR	162
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TAŞ MASTİK ASFALT KARIŞIMLARDA SBS İLE BİRLİKTE PR PLAST S
KATKISININ KARIŞIM PERFORMANSI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ

Elif GİRDAP

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Şeref ORUÇ
2017, 173 Sayfa

Bu tez çalışmasında, Stiren-Butadien-Stiren (SBS) modifiyeli bitüm ile oluşturulmuş Taş Mastik Asphalt karışımına Pr Plast S katkı maddesi eklenerek bitümlü sıcak karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri 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 üzerinde Marshall stabilite ve akma, dolaylı çekme ve su hasarı deneyleri yapılmıştır. %0,7 Pr Plast S katkı oranına kadar stabilite değerlerinde sürekli bir artış olduğu, %0,7'den sonra ise azalma olduğu gözlenmiştir. Aynı şekilde esneklik modülünde %0,7 katkı oranına kadar artış olduğu, bu orandan sonraki ilave katkı oranında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Su hasarına karşı en yüksek direncin ise %0,5 katkı oranında elde edildiği kaydedilmiştir. Elde edilen verilere göre Pr Plast S katkısının SBS modifiyeli Taş Mastik Asphalt karışımlarda özellikle sıcak ve yağışlı iklimlerde önemli derecede iyileşme sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bitümlü Sıcak Karışım, Taş Mastik Asphalt, TMA, Stiren-Butadien-Stiren, SBS, Pr Plast S

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PR PLAST S ADDITIVE ON THE MIX
PERFORMANCE OF SBS WITH STONE MASTİK ASPHALT

Elif GİRDAP

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şeref ORUÇ
2017, 173 Pages

In this study, Pr Plast S additive was added with different ratios into Stone Mastic Asphalt (SMA) mixes that are prepared with Stiren-Butadien-Stiren (SBS) modified bitumen, and its effect on mechanical properties of bituminous hot mixtures was investigated. In the study, 5% SBS modified bitumen was mixed with fiber (0,3% of aggregate content) and samples with Pr Plast S additive (with changing ratios; 0.1%, 0.3%, 0,5%, 0.7% and 1%) were prepared. Marshall Stability and Plastic Deformation, Indirect Tensile and Water Damage experiments were performed on mixes. It was observed that there was a steady increase in the stability values up to 0.7%Pr Plast S additive ration and a decrease after 0.7%. Additionally, it was observed that the modulus of resilient increased up to 0.7 % Pr Plast S additive ratio, while the rate of additional ratio after this additive ratio decreased. It was recorded that the highest resistance to water damage was obtained with 0.5% contribution ratio. According to the obtained datas, the result of PrPlast S addition to SBS modified Stone Mastic Asphalt mixtures has improved significantly in hot and rainy climates.

Key Words: Bituminous Hot Mixtures, Stone Mastic Asphalt, SMA, Stiren-Butadien-Stiren, SBS, Pr Plast S

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Rijit üstyapı enkesiti	19
Şekil 2. Rijit üstyapı (Beton yol)	19
Şekil 3. Rijit üstyapı kesiti	20
Şekil 4. Yarı rijit üstyapı kesiti	20
Şekil 5. Rijit ve esnek üstyapılarda yük dağılımı	21
Şekil 6. Yol üstyapı kesiti	22
Şekil 7. Bitümlü sıcak karışım sıkıştırma çalışmaları.....	22
Şekil 8. Yol tip enkesiti (2*2 Yol)	23
Şekil 9. Tekerlek izi oluşumu	27
Şekil 10. Akma tekerlek izi oluşumu.....	28
Şekil 11. Yapısal tekerlek izi oluşumu	28
Şekil 12. Bitümlü sıcak karışımlarda oturma	29
Şekil 13. Bitümlü sıcak karışımlarda çökme	30
Şekil 14. Kaplamalarda ondülasyon oluşumu.	31
Şekil 15. Timsah sırtı çatlaklar	33
Şekil 16. Kenar çatlakları.....	33
Şekil 17. Enine çatlaklar	34
Şekil 18. Boyuna çatlaklar	34
Şekil 19. Düşük ısı çatlakları	34
Şekil 20. Yansıma Çatlağı	35
Şekil 21. Taş Mastik Asfalt yüzeyi.....	37
Şekil 22. Aşınma tabakası (BSK) kesiti	38
Şekil 23. TMA kesiti.....	38
Şekil 24. Taş Mastik Asfalt bileşimi.....	39
Şekil 25. Ham petrolden bitüm üretilme süreci	41
Şekil 26. Bitümlü bağlayıcının sınıflandırılması	42
Şekil 27. Agregaların tane şekli sınıflandırılması.....	60
Şekil 28. Agregaların tane şekli.....	61

Şekil 29. Köşeli agrega	61
Şekil 30. Yuvarlak agrega.....	61
Şekil 31. Agregaların yüzey yapısı sınıflandırılması.....	62
Şekil 32. Agregaların poroziteye göre sınıflandırılması.....	62
Şekil 33. Agreganın özgül ağırlık hesaplamalarında dikkate alınan hacimleri	63
Şekil 34. SBS'nin görünüşü.....	76
Şekil 35. SBS'nin yapısı	76
Şekil 36. Bitümle karışım sıcaklığında ve düşük sıcaklıklarda SBS'in yapısı	77
Şekil 37. Elyafın görünüşü	77
Şekil 38. Pr Plast S katkı maddesi görünüşü	78
Şekil 39. Pr Plast S katkı malzemesinin karışımdaki sert çekirdek etkisi	79
Şekil 40. Asfalt Tester cihazı.....	85
Şekil 41. Bitüm numunesinin 25°C su banyosunda.....	89
Şekil 42. Penetrasyon deneyi yapılışı	89
Şekil 43. Bitümün yüzüklere koyulması ve bilyaların yerleştirilmesi.....	89
Şekil 44. Yumuşama noktası deneyi yapılışı.....	90
Şekil 45. Parlama noktası deneyi yapılışı	90
Şekil 46. Düktilite deneyi yapılışı	91
Şekil 47. RV deneyi yapılışı	92
Şekil 48. RV deney sonuç ekranı.....	92
Şekil 49. Elek analizi yapılışı	93
Şekil 50. Elekten geçen agregaların tartımı	93
Şekil 51. Agreganın granülometri eğrisi.....	94
Şekil 52. Los Angeles aşınma deneyi yapılışı	96
Şekil 53. Yassılık indeksi deneyi yapılışı	96
Şekil 54. Marshall briketleri kalıplarında bekletilirken.....	98
Şekil 55. Marshall briketleri	98
Şekil 56. Marshall briketlerinin boylarının ölçülmesi	98
Şekil 57. Marshall briketlerinin havada ağırlıklarının ölçülmesi	99
Şekil 58. Marshall briketlerinin suda bekletilmesi	99
Şekil 59. Marshall briketlerinin suda ki ağırlıklarının ölçülmesi	99
Şekil 60. Hacim özgül ağırlık grafiği	101
Şekil 61. Asfaltla dolu boşluk grafiği	101

Şekil 62. Hava boşluğu grafiği	102
Şekil 63. Agregalar arası boşluk grafiği	102
Şekil 64. Etüve koyulmuş olan karıştırma kapları,kalıp ve tartılan agregalar	103
Şekil 65. Agregalara elyaf eklenmesi	104
Şekil 66. Agregalara ve elyaf karışımına Pr Plast S eklenmesi	104
Şekil 67. Karışıma SBS modifiyeli bitüm eklenmesi	104
Şekil 68. Karışımın son hali.....	105
Şekil 69. Karışımın kalıba dökülerek şişlenmesi.....	105
Şekil 70. Karışımın sıkıştırılmadan önce uygun sıcaklığa gelmesi	105
Şekil 71. Karışımın sıkıştırılması	106
Şekil 72. Karışımın sıkıştırıldıktan sonraki hali	106
Şekil 73. Karışımların kalıptan çıkartmadan önce bekletilmesi	106
Şekil 74. Karışımın kalıptan çıkarılması	107
Şekil 75. Marshall Briketleri.....	107
Şekil 76. Marshall briketlerinin boyutlarının ölçülmesi	108
Şekil 77. Marshall briketlerinin havadaki ağırlıklarının ölçülmesi	108
Şekil 78. Marshall briketlerinin sudaki ağırlıklarının ölçülmesi	108
Şekil 79. Briketlerin 60° C' lik su havuzunda bekletilmesi.....	112
Şekil 80. Marshall deneyi yapılışı	113
Şekil 81. Cihaza briketin yerleştirilmesi.....	114
Şekil 82. Deney gerçekleşirken	114
Şekil 83. Vakumlu kap ile suya doyurulan briketler	115
Şekil 84. Streç film ile sarılmış briketler	115
Şekil 85. Dondurucuya yerleştirilen briketler.....	115
Şekil 86. Dondurulmuş briketler.....	116
Şekil 87. Su havuzun bekletilen briketler	116
Şekil 88. Katkı oranlarına göre stabilite değerleri	119
Şekil 89. Katkı oranlarına göre akma değerleri	120
Şekil 90. Marshall oranları grafiği.....	121
Şekil 91. 40 °C'de katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri.....	122
Şekil 92. 40 °C'de %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri.....	123

Şekil 93.	40 °C’de %0,3 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	123
Şekil 94.	40 °C’de %0,5 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	124
Şekil 95.	40 °C’de %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	124
Şekil 96.	40 °C’de %1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	125
Şekil 97.	40 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	125
Şekil 98.	40 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	126
Şekil 99.	40 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	126
Şekil 100.	40 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	127
Şekil 101.	40 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	127
Şekil 102.	40 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	128
Şekil 103.	40 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	128
Şekil 104.	40 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	129
Şekil 105.	40 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri	129
Şekil 106.	40 °C’de karışımların esneklik modülü değerleri	130
Şekil 107.	25 °C’de katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	131
Şekil 108.	25 °C’de %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	132
Şekil 109.	25 °C’de %0,3 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	132
Şekil 110.	25 °C’de %0,5 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	133
Şekil 111.	25 °C’de %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerler	133
Şekil 112.	25 °C’de %1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	134

Şekil 113. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	134
Şekil 114. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	135
Şekil 115. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	135
Şekil 116. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	136
Şekil 117. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	136
Şekil 118. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	137
Şekil 119. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	137
Şekil 120. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	138
Şekil 121. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	138
Şekil 122. 25 °C’de karışımların esneklik modülü değerleri.....	139
Şekil 123. 5 °C’de katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri.....	140
Şekil 124. 5 °C’de %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	140
Şekil 125. 5 °C’de %0,3 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	141
Şekil 126. 5 °C’de %0,5 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	141
Şekil 127. 5 °C’de %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	142
Şekil 128. 5 °C’de %1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	142
Şekil 129. 5 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	143
Şekil 130. 5 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	143
Şekil 131. 5 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	144
Şekil 132. 5 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	144

Şekil 133. 5 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	145
Şekil 134. 5 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	145
Şekil 135. 5 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	146
Şekil 136. 5 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	146
Şekil 137. 5 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri.....	147
Şekil 138. 5 °C sıcaklıkta karışımların esneklik modülü değerleri.....	148
Şekil 139. Karışımların esneklik modülü değerlerinin sıcaklığa göre değişimleri.....	149
Şekil 140. 25 °C’de koşullandırılmış katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	151
Şekil 141. 25 °C’de koşullandırılmış %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	151
Şekil 142. 25 °C’de koşullandırılmış %0,3 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	152
Şekil 143. 25 °C’de koşullandırılmış %0,5 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	152
Şekil 144. 25 °C’de koşullandırılmış %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	153
Şekil 145. 25 °C’de koşullandırılmış %1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri	153
Şekil 146. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	154
Şekil 147. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	154
Şekil 148. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	155
Şekil 149. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	155
Şekil 150. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	156
Şekil 151. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	156
Şekil 152. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri	157

Şekil 153. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değışimleri	157
Şekil 154. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değışimleri	158



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Türkiye’de satıh tipine göre karayolu uzunluğu-01.01.2015	25
Tablo 2. Türkiye'de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi	25
Tablo 3. TMA dizayn kriterleri	37
Tablo 4. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması	44
Tablo 5. Bitüm emülsiyonu tipleri	45
Tablo 6. Bitüm modifikasyon tipleri.	48
Tablo 7. Fiber malzemeleri	49
Tablo 8. Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümlerin özellikleri	49
Tablo 9. Modifiye bitümün fiziksel özellikleri	50
Tablo 10. Asfalt katkı maddelerinin genel sınıflandırılması	72
Tablo 11. Yaygın kullanılan bazı modifiyerlerin bağlayıcı üzerindeki etkisi	73
Tablo 12. Asfalt karışımlara eklenen kimyasal katkıların olumlu etkileri	73
Tablo 13. Yaygın kullanılan asfalt modifiyerlerinin bozulmalar üzerinde olumlu etkileri	74
Tablo 14. Mineral Elyaf Özellikleri	78
Tablo 15. Selüloz Elyaf Özellikleri	78
Tablo 16. Agrega Özellikleri.....	81
Tablo 17. Malzemelerin karıştırma sıcaklığı	81
Tablo 18. Marshall düzeltme katsayıları	83
Tablo 19. Dizayn kriterleri	84
Tablo 20. Agrega karışım gradasyonu	93
Tablo 21. Özgül ağırlık deney sonuçları	94
Tablo 22. Marshall tasarım sonuçları	100
Tablo 23. TMA dizayn sonuçları	101
Tablo 24. Marshall briketlerinin özellikleri	109
Tablo 25. Marshall stabilite deney sonuçları.....	117
Tablo 26. Marshall deneyi sonuçları	118
Tablo 27. 40°C sıcaklığında karışımların esneklik modülü ortalama değerleri (MPa).....	122
Tablo 28. 25°C sıcaklığında karışımların esneklik modülü ortalama değerleri (MPa).....	131

Tablo 29. 5°C sıcaklığında karışımların esneklik modülü ortalama değerleri(MPa)	139
Tablo 30. 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri (MPa).....	149
Tablo 31. 25°C’de koşullandırılmış numunelerin ortalama esneklik modülü değerleri (MPa)	150



KISALTMALAR VE SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Numunenin kesit alanı
AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği
AB	: Asfalt Betonu
AC	: Asfalt Çimentosu
APP	: Ataktik-Polipropilen
BA	: Beton Asfalt
BBR	: Eğilme Kirişi Reometresi
BSK	: Bitümlü Sıcak Karışım
cm	: Santimetre
CR	: Kırıntı Kauçuk
ÇBG T	: Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel
DSR	: Dinamik Kayma Reometrisi
EPDM	: Etilen-Proclendien Harmoliper
EVA	: Etilen-Vinil-Asetat
FM	: Florasan Mikroskobu
FT-IR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
g	: gram
G_b	: Asfalt Özgül Ağırlığı
G_{ef}	: Agregas Etkif Özgül Ağırlığı
G_{fa}	: Filler Zahiri Özgül Ağırlığı
G_{ia}	: İnce Agregas Zahiri Özgül Ağırlığı
G_{ib}	: İnce Agregas Hacim Özgül Ağırlığı
G_{ka}	: Kaba Agregas Zahiri Özgül Ağırlığı
G_{kb}	: Kaba Agregas Hacim Özgül Ağırlığı
G_{sa}	: Agregas Karışımının Zahiri Özgül Ağırlığı
G_{sb}	: Agregas Karışımının Hacim Özgül Ağırlığı
GT	: Granüler Temel
h	: Numune yüksekliği
HDPE	: Yüksek Yoğunluklu Polimer
HMAB	: Yüksek Modüllü Asfalt Bağlayıcılar

IIR	: Isobüten-İsopren Kopolirner
ITSM	: Indirect Tensile Strength Modulus
İÇM	: İndirek Çekme Mukavemeti
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
LCPC	: Köprüler ve Yollar Merkez Laboratuvarı (Fransa)
LDPE	: Düşük Yoğunluklu Polietilen
LVDT	: Yatay Deformasyonu Ölçen Sensörler
m	: Metre
mm	: Milimetre
MS	: Marshall Stabilitesi
PAV	: Basıncılı Yaşlandırma Kabini
PE	: Polietilen
PET	: Polietilen Tereftalat
PG	: Performans Aralığı
PMB	: Polimer Modifiye Bitüm
PMT	: Plent-miks Temel
PP	: Polipropilen
PRM	: Pr Plast Module
PRS	: Plast S
PS	: Polistren
PVC	: Polivinil klorid
RAP	: Geri Kazanılmış Asfalt Kaplama
RT	: Road Tar
RTFOT	: Dönel İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi
RV	: Dönel Viskozimetre
S	: Sünme Sertliği
SBR	: Sentetik-butodien kopolirner
SBS	: Stiren-Butadien-Stiren
SEBS	: Stiren-Etilen-Butilen-Stiren
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SMA	: Stone Mastic Asphalt
sn	: Saniye
TFOT	: İnce Film Halinde Yaşlandırma Deneyi

TİO	: Tekerlek İzinde Oturma
TMA	: Taş Mastik Asfalt
TYZ	: Tall Yağı Zifti
UV	: Ultraviyole
VMA	: Agregalar Arası Boşluk
YN	: Yumuşama Noktası
%F	: Filler Yüzdesi
%İ	: İnce Agrega Yüzdesi
%K	: Kaba Agrega Yüzdesi
°C	: Santigrat derece
E_m	: Esneklik Modülü (MPa)
P	: Maksimum Yük (N)
H_y	: Toplam Yatay Deformasyon (mm)
h	: Numune Kalınlığı (mm)
H_y	: Yatay Deformasyon (mm)
V_d	: Düşey Deformasyon (mm)
G^*	: Kesme Modülü
D_t	: Karışımın Maksimum Teorik Özgöl Ağırlığı
W_a	: Agreganın Yüzdesi Olarak Bitüm Miktarı
G_b	: Bitüm özgül ağırlığı
D_p	: Sıkıştırılmış Karışımın Hacim Özgöl Ağırlığı
P_{ba}	: Absorbe Edilen Asfalt, Agreganın Ağırlıkça Yüzdesi
P_{be}	: Efektif Asfalt, Agreganın Ağırlıkça Yüzdesi
V_h	: Toplam Hacmin Yüzdesi Olarak Hava Boşluğu
V_f	: Asfaltla Dolu Boşluk
δ	: Faz Açısını
ν	: Poisson Oranı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Ülkemizde yolcu ve yük taşımacılığında genellikle karayolu tercih edilmektedir. Özellikle ekonomi ve yaşam standartlarındaki artışa bağlı olarak trafik yük ve hacimlerinin artması çeşitli nedenlerle (iklim, üretim yanlışları, yetersiz ve geç bakım vb.) birleşince karayollarında meydana gelen deformasyonların artmasına sebep olmaktadır.

Asfalt 5000 yıllık bir tarihe sahiptir ve yollarda kullanımını yaklaşık 100 yıl öncesine uzanmaktadır. Karayolu ağında önemli yer tutan asfalt kaplamalar, genel olarak agrega, bitüm ve havanın birleşmesinden oluşan bir yapıdır. Ancak asfalt kaplamalar düşük sıcaklıklarda trafik yüklerini sönmüleyememekte ve çatlaklar oluşmaktadır. Yüksek sıcaklık ve yükleme sürelerinin fazla olması durumunda ise asfalt kaplamalarda viskoz bir davranış görülmekte deformasyonlara karşı direnci azalmakta ve tekerlek izinde oturmalar meydana gelmektedir. Deformasyonların oluşmasını azaltmak ve performansı arttırmak amacıyla bitüme veya karışıma çeşitli katkıları eklenerek modifikasyon yapılmaktadır.

Asfalt modifikasyonu ve özelliklerinin geliştirilebilmesi için çeşitli polimerler, karbon bazlı malzemeler farklı hammaddelerden üretilmiş çeşitli modifiyerler ve atık malzemeler kullanılmaktadır. Dünyada kullanılan modifiyerlerin ortalama %75'ini elastomerik katkıları, %15'ini plastomerik katkıları, geriye kalan %10'unu da kauçuk ve diğer katkıları oluşturmaktadır (Bardesi 1999; Yılmaz, 2016).

Halen tüm dünyada ve ülkemizde gerek asfalt bağlayıcıların modifiye edilmesi, gerekse karışımın modifiye edilmesi kapsamında bilinen ve/veya yeni keşfedilen katkı maddelerinin birlikte ya da ayrı ayrı kullanılmasına yönelik çalışmalar tüm hızıyla devam etmektedir. Bu bağlamda, asfalt kaplamaların kalıcı deformasyon direncini arttıran SBS ve tekerlek izine karşı karışımın direncini arttırdığı bilinen Pr Plast S katkı malzemesinin birlikte kullanılmasının Taş Mastik Asfalt kaplamaların mekanik özellikleri üzerinde nasıl bir etki yapacağı düşüncesinden hareketle bu çalışmaya girişilmiştir. Bu kapsamda SBS ile modifiye edilmiş bitüm ile elde edilen Taş Mastik Asfalt karışımına Pr Plast S katkı maddesi değişik oranlarda ilave edilerek elde edilen karışımların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

1.2. Konunun Özgeçmişi

Günümüzde pek çok araştırmacı tarafından asfalt kaplamalarda oluşan bozulmaların önlenmesi, deformasyonların azaltılması ve kaplama performans özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla asfalta çeşitli tip ve oranlarda katkıları eklenerek çalışmalar yapılmış ve sıcak karışımlar üzerinde performans etkileri tespit edilmeye çalışılmıştır.

Bu doğrultuda, SBS, Taş Mastik Asfalt (TMA) ve Pr Plast S ile modifiye edilmiş asfalt üzerine yapılmış olan çalışmalardan bazıları;

- SBS ve SBS'in diğer katkı maddeleriyle birlikte kullanılarak bitümün modifiye edildiği çalışmalar;

Chen ve Huang (2007), çalışmalarında SBS ve sülfürün asfalt çimentosu üzerindeki mekanik davranışını incelemiştir. AC-10 (Pen: 96 dmm, Yn: 38 °C) ve AC-20 (Pen: 68 dmm, Yn: 50 °C) iki farklı asfalta, iki tip SBS katkısı (SBS-lineer ve SBS-radyal) asfalt ağırlığının %1, %3, %5 ve %7 oranlarında ayrı ayrı ilave edilmiştir. Karışıma, 170 °C sıcaklıkta 60 dakika karıştırıldıktan sonra SBS ağırlığının %1, %3 ve %5 oranlarında sülfür eklenmiş ve aynı şartlarda 60 dakika daha karıştırılmıştır. Elde edilen numunelere, yumuşama noktası, penetrasyon, elastik geri dönme ve DSR deneyleri yapılmıştır. Sülfür ilavesinin, asfalt ve SBS arasındaki kimyasal ve fiziksel etkileşimi arttırarak, modifiye asfaltın reolojik ve elastikiyet özelliklerini artırdığı tespit edilmiştir.

Ahmedzade vd. (2007), Tall yağı zifti (TYZ), Stiren-Butadien-Stiren (SBS) ve TYZ ile SBS karışımından oluşan katkıları sırasıyla asfalta, asfalt ağırlığının %9 (TYZ); %3, %6, %9 (SBS); %8+%3, %8+%6, %8+%9 (TYZ+SBS) oranlarında 160 °C sıcaklıkta ayrı ayrı katılmıştır. Laboratuvar mikseri kullanılarak 160 °C sıcaklıkta 2 saat karıştırılmış ve bu sürenin sonunda karıştırıcının hızı 500 rpm kadar artırılarak 30 dakika daha devam ettirilmiştir. Üretilen 5 farklı modifiye asfaltdan Marshall numuneleri hazırlanarak farklı sıcaklık ve kür koşulları uygulanmış basınç dayanım deneyi, yorulma ömrü ve plastik deformasyon özelliklerinin belirlenmesi için tekrarlı yükler altında dolaylı çekme deneyi yapılmıştır. En iyi sonucu %8+%6 (TYZ+SBS) karışımının verdiği kaydedilmiştir.

Tayfur vd. (2007), çalışmalarında Amorf polialfaolefin, selüloz fiber, poliolefin, bitümlü selüloz, fiber ve SBS katkı maddelerinin asfalt kaplamalarda oluşan tekerlek izine karşı etkileri incelenmiştir. Amorf polialfaolefin katkısı granüler olarak doğrudan asfalt/agrega karışımına asfalt ağırlığının %6 oranında, selüloz fiber ve bitümlü selüloz ayrı ayrı olarak mineral agrega ağırlığının %0,4 oranında, poliolefin katkısı toplam agrega

ağırlığının %0,6 oranında, SBS katkısı da asfalt ağırlığın %5 oranında asfalta katılmıştır. Farklı yüklemeye koşullarında ve sıcaklıklarda statik ve dinamik sünme, dolaylı çekme, dolaylı çekme dayanımı ve LCPC tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından, SBS katkısı ile üretilen karışımların tekerlek izine karşı en dayanıklı olduğu, ayrıca modifiyesiz karışımlara göre tüm modifiyeli karışımların kalıcı deformasyona karşı daha dirençli oldukları bildirilmiştir.

Şengöz vd. (2009), çalışmalarında 50/70 penetrasyon dereceli asfalta SBS, EVA ve EBA esaslı polimer katkıları, 180 ve 185 °C sıcaklıkta, 1000 ve 1200 rpm karıştırma hızında, farklı oranlarda ayrı ayrı ilave edilmiştir. Oluşturulan polimer modifiyeli asfalt numunelerinin morfolojik yapısı floresan ışık mikroskobu yardımıyla incelenmiştir. Çalışma sonucunda, düşük polimer oranında sürekli asfalt yapısı içinde polimer parçacıklarının dağılımı görülmüş, yüksek polimer oranında ise sürekli polimer fazının görüldüğü bildirilmiştir.

Görkem ve Şengöz (2009), yol kaplamalarında suyun etkisiyle oluşan hasarlar üzerine yaptıkları çalışmada; farklı agrega tipleri kullanılarak (kireçtaşı ve bazalt-kireçtaşı karışımı) sıcak asfalt karışımların soyulma potansiyelleri ve su hassasiyet özellikleri üzerinde sönmüş kireç, SBS (Kraton D-1101) ve EVA (Evatane 2805) katkılarının etkileri araştırılmıştır. SBS katkısı asfalt ağırlığının %2-%6 oranlarında, EVA katkısı asfalt ağırlığının %3-%7 oranlarında ayrı ayrı asfalta katılmıştır. Sönmüş kireç katkısı ise agrega ağırlığının %1, %1,5 ve %2 oranlarında agrega gradasyonu kullanılmıştır. Elde edilen karışım numunelerinin soyulma potansiyeli stereo mikroskop yardımıyla görüntülenmiş olup, su hassasiyet özellikleri ise Nicholson soyulma ve Modifiye Lottman deneyleriyle değerlendirilmiştir. Deney sonuçlarından, sönmüş kireç katkısının ve polimer modifikasyonunun asfalt karışımların su hasarına karşı direncini arttırdığı, SBS katkısıyla hazırlanan numunelerin EVA katkısıyla hazırlanan numunelere göre su hasarına karşı daha dirençli oldukları kaydedilmiştir.

Keyf (2010), yapılan çalışmada kent içi karayollarında uygulanmakta olan asfalttaki bitümün modifiye edilerek özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bitümün sıcaklığa karşı duyarlılığını azaltmak ve üst yapının hizmet ömrünü artırmak amacıyla bitüme katkı maddesi ekleyerek yeni asfalt bileşimi elde edilmiştir. Yeni bir katkı malzemesi olarak DUPONT firması tarafından geliştirilen elastomerik reaktif terpolimer olan ELVALOY RET kullanılmış, Elvaloy RET ve SBS'nin bitüme ilave edilmesiyle elde edilen karışımın;

saf bitümlü bağlayıcıya göre penetrasyon değerinin azaldığı, penetrasyon indeksinin ise arttığı belirtilmiştir.

Şengül (2011), Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımları incelenmiş, katkı maddesi olarak sönmüş kirecin kaplama performansına olan etkisi, SBS (Kraton-D) ve Elyaf (Viatop-66) katkı maddeleri ile birlikte araştırılmıştır. Katkı maddesi olarak kullanılan Sönmüş Kireç (SKK 80-T) karışıma %1 oranlarında ilave edilmiştir. SBS (Kraton-D) %5 ve Elyaf (Viatop-66) ise %0,6 oranlarında kullanılmıştır. Bu oranlar ile katkı maddelerinin hem tek başlarına hem de beraber karışımlara ilavesi gerçekleştirilerek numuneler oluşturulmuştur. Yapılan deneyler sonrasında 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 edilmiştir. Sönmüş kirecin etkili bir katkı maddesi olduğu ve diğer katkı maddeleri ile birlikte ortaya koymuş olduğu performansın göz ardı edilmemesi gerektiği müşahade edilmiştir. Agregada özellikleri tanımlandıktan ve sönmüş kireç-agrega etkileşimi araştırıldıktan sonra gerçekleştirilen sönmüş kireç ilavesinde, ekonomiklik ve ulaşılabilirlik bakımından avantajlı olan bu katkının TMA karışımlara olumlu etkiler sağlayacağı görülmüştür.

Kök vd. (2011), çalışmalarında kullanım maliyeti yüksek olan polimerin daha ekonomik olarak değerlendirilmesi amacıyla yalnız SBS kullanılarak modifiye edilen bağlayıcılara ait reolojik özellikler, SBS ve gilsonitin değişik oranlarda beraber kullanıldığı modifiye bağlayıcıların reolojik özellikleri ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak %1 oranında daha az SBS kullanılması için gereken gilsonit miktarının normalden 3-4 kat daha fazla olmasına rağmen gilsonitin SBS maliyetini azaltacak bir modifiyer olarak değerlendirilebileceği bildirilmiştir.

Dessouky vd. (2011), çalışmalarında performans aralıkları sırasıyla PG64-22, PG70-22 ve PG76-22 olan saf ve iki tip SBS modifiyeli asfalt, ısıtma sıcaklıkları ve sürelerinin reolojik özelliklerine etkisinin araştırılmıştır. Numuneler 143 °C ve 185 °C sıcaklıklarda 1/2, 2 ve 4 saat süreyle ısıtılmış ve RV, DSR, RTFOT, PAV ve BBR deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre, ısıtma sıcaklıklarının ve sürelerinin numunelerin reolojik özelliklerini etkilediği, 143 °C sıcaklığa kadar ısıtılan asfalt numunelerinin daha az yaşlandığı kaydedilmiştir.

Kök vd. (2011), bitümlü sıcak karışımların performansını iyileştirmek amacıyla petrol kökenli bir kayaç olan asfaltit ve bitüm modifikasyonunda kullanımı yaygınlaşan SBS katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Asfaltit, karışıma filler oranının ağırlıkça %50'si oranında, SBS ise bitümlü bağlayıcıya ağırlıkça %5 oranında ilave edilmiştir. Karışımlarda kullanılan orijinal bağlayıcı B 160/220, agrega ise kalker kökenli olmakla birlikte deney numuneleri Marshall standardına uygun olarak hazırlanmıştır. Katkı maddeleri ve kontrol numuneleri ile birlikte 4 farklı kombinasyonda bitümlü sıcak karışım numuneleri üretilmiştir. Bu kombinasyonlar sayesinde katkı maddelerinin ayrı ayrı, ayrıca birlikte kullanmanın etkileri değerlendirilmiştir. Hazırlanan numuneler üzerinde indirekt çekme rijitlik modülü, indirekt çekme dayanımı ve yorulma deneyleri uygulanmıştır. Modifiyeli karışımların mühendislik özelliklerinin kontrol numunesine göre önemli derecede iyileştiği, bu iyileşmenin deney yöntemleri arasında değişik sonuçlar gösterdiği, özellikle yorulma deneyinin katkı maddelerinin etkilerini belirlemede çok etkin olduğu, SBS ve asfaltitin birlikte kullanıldığı karışımların çok iyi performans sergilediği belirlenmiştir.

Aksoy vd. (2012), araştırmalarını SBS polimer ve yağ asidi türevli amin modifiye asfaltların performans karşılaştırması amacıyla yapmışlardır. Laboratuvarında üretilen geleneksel ve modifiye briketlerle, kontrol ve su hasarına dayalı iki koşullama sisteminin uygulandığı üç deney grubu oluşturulmuştur. Çatlama direnci için dolaylı çekme mukavemeti 10 °C ve 20 °C sıcaklıkta, karışımların yük dağıtma kapasitesi ve su hasarı problemini irdelemek için de dolaylı çekme mukavemeti ve dolaylı çekme deneyleri 20 °C sıcaklıkta üç yüklü sürede uygulanmıştır. Her iki katkının da mekanik özellikleri geleneksel karışımlara göre iyileştirdiği, SBS modifiye karışımların amin ile modifiye edilenlere göre daha yüksek esneklik modülü değeri verdiği, genelde daha yüksek çatlama direnci gösterdiği anlaşılmıştır. Su hasarı için, yüksek yükleme süreleri ve ağırlaşan koşullandırma sistemlerinde SBS modifiye karışımlar daha yüksek performans oluşturmaktadır.

Kök vd. (2012), Şırnak (Silopi) bölgesinden temin edilen asfaltit B160/220 bitümüne ağırlıkça %2, %4, %6 ve %8 oranlarında ilave edilmiş, orjinal bitüm ve asfaltit katkılı modifiye bitümlerin mekanik özellikleri incelenmiş, asfaltit ilavesi ile standart penetrasyonun azaldığı, viskozite ve kompleks modülünün arttığı, yumuşama noktası ve faz açısı değerlerinde ise kayda değer değişimler olmadığı görülmüştür. Marshall numuneleri üzerinde yapılan test sonuçları bitüme asfaltit katılması ile kalıcı Marshall stabilitesinde, indirekt çekme oranında, 15°C, 25°C ve 35°C sıcaklıklardaki rijitlik

modülünde ve yorulma ömründe artışlar olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak, bitüme belli oranlarda asfaltit katılmasının bitümlü sıcak karışımların neme karşı direncini ve mekanik özelliklerini etkili şekilde iyileştirebileceği görüldü. Test edilen karışımlar için %4 asfaltit katkı oranının optimum olduğu belirlenmiştir.

Alataş ve Kirizgil (2012), çalışmalarında, saf ve iki farklı oranda SBS içeren bitümlü bağlayıcıları değerlendirmişlerdir. Öncelikle saf ve modifiye bitümlere kısa dönem yaşlanmadan önce ve sonra penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulamışlardır. Böylece SBS katkı maddesinin bitümlü bağlayıcının kıvamı ve ısı hassasiyeti üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Daha sonra saf ve SBS modifiyeli bağlayıcıların agregayla karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları, AASHTO TP48 standardına göre belirlenen dönel viskozimetre deney sonuçlarından faydalanılarak tespit edilmiştir. Dönel viskozimetre deneyleri sonucunda SBS içeriği arttıkça hem 135 °C sıcaklıkta hem de 165 °C sıcaklıkta bağlayıcıların viskozite değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Viskozite değerlerine bağlı olarak bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının arttığını belirtmişlerdir.

Kök vd. (2012), SBS polimer katkısı (Kraton D-1101) ve ılık asfalt karışımlarda kullanılan Sasobit katkı maddesi 50/70 penetrasyonlu asfalta, asfalt ağırlığının %2, %3 ve %4 oranlarında ayrı ayrı ve birlikte katılarak modifiye edilmiştir. 180 °C sıcaklıkta, 1 saat süreyle ve mekanik dört kollu mikser yardımıyla 1000 rpm hızda karıştırılarak modifikasyon yapılmıştır. 16 adet modifiye numune elde edilmiştir. Bu numunelere DSR, RV ve yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin penetrasyon indeksi değerleri hesaplanarak sıcaklık hassasiyetleri birbirine göre kıyaslanmıştır. Sıcaklık hassasiyeti bakımından Sasobit katkı maddesinin, SBS katkı maddesine göre daha iyi olduğu, SBS katkı maddesinin ise tekerlek izi dayanımına ($G^*/\sin\delta$) göre Sasobit katkısından daha iyi olduğu bildirilmiştir. Her iki katkı maddesinin beraber kullanılması durumunda Sasobit'in, SBS katkısının elastik özelliğini artırdığı belirtilmiştir.

Feng vd. (2013), iki ultraviyole (UV) soğurucu ajan octabenzene ve bumetrizole, SBS ile modifiye edilmiş asfalta katılarak UV performansları ve DSR sonuçları değerlendirilmiştir. 180 °C sıcaklığa kadar ısıtılan asfalta asfalt ağırlığının %3,5'i oranında SBS ilave edilerek yüksek parçalayıcı karıştırıcı yardımıyla 180 °C sıcaklıkta, 4000 rpm hızda ve 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Daha sonra oluşan karışıma asfalt ağırlığının %0,6 oranında UV 9 ajanı (octabenzene) ve %0,1 oranında sülfür ilave edilerek karışım mekanik karıştırıcı yardımıyla 2 saat daha karıştırılmıştır. Diğer ajan da aynı işleme tabii tutulmuştur. Elde edilen modifiye asfalt numunelerine fiziksel deneyler (düktilite,

penetrasyon ve dönel viskozimetre deneyleri), ince film halinde yaşlandırma (TFOT), DSR, UV spektroskopisive depolama stabilitesi testleri yapılmıştır. Sonuç olarak; asfaltın fiziksel özelliklerinin iyileştiği, DSR deneyine göre octabenzene ajanının yüksek sıcaklıklarda yalnızca SBS ile modifiye edilmiş asfalta göre elastikiyetini artırdığı, bumetrizole ajanının ise orta sıcaklıklarda elastik tepkiyi ve yüksek sıcaklıklardaki viskoz tepkiyi artırdığı tespitinde bulunmuşlardır.

Kök vd. (2013), çalışmalarında değişik oranlarda SBS ve bir organik ılık karışım katkısı içeren bağlayıcıların geleneksel özellikleri ayrıca orta ve yüksek sıcaklıktaki kompleks modülleri incelenerek, katkıların bağlayıcı içinde hem ayrı hem de birlikte kullanılmalarının etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ise ısıya karşı duyarlılıkta ılık karışım katkısı modifikasyonun, kompleks modül açısından da yüksek sıcaklıkta SBS modifikasyonunun daha iyi performans sergilediği, katkıların karışımda birlikte kullanılmaları durumunda benzer özelliklerin elde edilebilmesi için SBS modifikasyonunda belli oranlarda ılık karışım ikamesi yapılabileceği tespit edilmiştir.

Singh vd. (2013), çalışmalarında SBS katkısı, 180 °C sıcaklığa kadar ısıtılmış saf asfalta (VG-30 tipi) asfalt ağırlığının %3, %5 ve %7 oranlarında topaklanma olmaması için yavaşça ilave edilmiştir. Karışım 1,5 saat ve 500 rpm hızda yüksek parçalayıcı karıştırıcıyla gerçekleştirilmiş sonrasında homojenlik sağlanması amacıyla ASTM 100 nolu elekten süzülmüştür. Elde edilen modifiye asfalt numuneleri alüminyum kaplarda -25 °C'de depolanmıştır. Numunelere penetrasyon, yumuşama noktası, özgül ağırlık ve TFOT deneyleri yapılmıştır. Farklı oranlardaki modifiye asfalt numuneleri içerdikleri SiO₂ (silis) ve CaCO₃ (kalsiyum) oranlarına göre (asidik ve bazik) üç farklı tip agrega (mermer, granit ve kuvarsit) ile karıştırılarak briketler oluşturulmuştur. Numunelere Marshall stabilite, nem hassasiyeti ve tekerlek izi direnci testleri yapılmıştır. Sonuç olarak; saf asfaltın bazik özellik taşıyan agregalarla daha iyi bağ yaptığı, asidik özellik gösteren agregalarla ise modifiye edilen asfaltın daha iyi bağ yaptığı ve mekanik özelliklerinin iyileştiği belirtilmiştir.

Kök vd. (2013), SBS ve FT-parafin katkısı ile modifiye edilen bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları 3 farklı yöntemle belirlenmiş ayrıca SBS modifikasyonu içinde FT-parafin ilavesinin etkileri incelenerek, faz açısı yönteminin çok esnek olan bağlayıcılar için kullanılamayacağı, sabit kesme viskozite yönteminin ise SBS ve SBS ile FT-parafin modifiyeli bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıklarını dönel viskozimetre yöntemine göre 20-40 °C daha düşük verdiği ayrıca FT-parafin ilavesinin, SBS

modifikasyonu ile üstel bir şekilde artan viskozitedeki artış oranını önemli ölçüde düşürdüğü sonuçlarına varılmıştır.

Xiao (2014), polimer katkılarının, asfalta katılma miktarını azaltmak ve modifiye asfalt üretim maliyetlerini düşürmek için polifosforik asit katkısı; SBS, oksitlenmiş polietilen, propilen maleik anhidrit ve öğütülmüş araç lastiği katkıları ile birlikte ayrı ayrı kullanılarak modifiye asfalt numuneleri elde edilmiştir. SBS, oksitlenmiş polietilen ve propilen maleik anhidrit katkıları literatürde yaygın olarak asfalt ağırlığının %3 oranında, öğütülmüş araç lastiği ise %10'u oranında optimum sonuçlar verirken, %3 polimer katkı içeriği %0.5 (asfalt ağırlığının) polifosforik asit kullanımı ile %2 polimer katkı oranına düşürülerek aynı performans özelliklerinin sağlandığı, %10 araç lastiği ve %0,5 polifosforik asit karışımının diğer modifiye asfalt karışımlara göre viskozite değerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Ayrıca polimer tipi, asfalt kaynağı ve test sıcaklıkların reolojik özellikleri etkilediği kaydedilmiştir.

Kök (2014), bu çalışmada sıcak karışım içinde SBS ve Sasobitin hem ayrı hem de birlikte kullanılmalarının etkileri incelenmiş, karışımların hazırlanmasında B 50/70 bitümü ve kireç taşı agrega kullanılmıştır. Karışımlara Marshall stabilite ve indirek çekme rijitlik modülü deneyleri uygulanmış ve Marshall testi hem koşullu hem de koşulsuz numunelere uygulanarak kalıcı Marshall stabilite de tespit edilmiştir. Rijitlik modülü üç farklı sıcaklıkta belirlenmiştir. Aynı karışım içinde SBS ve Sasobitin birlikte kullanılması stabilite ve rijitliği ayrı kullanılmalarına göre önemli derecede iyileştirmiştir. Nem hassasiyeti dışında mekanik özellikler açısından Sasobit, SBS katkısının etkinliğini artırmıştır.

Liang vd. (2015), çalışmalarında aynı penetrasyona ve farklı kimyasal bileşime sahip iki tip asfalt (80/100 penetrasyon dereceli) lineer yapıli stiren-butadien oranı (20/80, 30/70, 40/60) farklı üç tip SBS kopolimeri ve Polistiren ile modifiye ederek farklı polimer yapılarının asfaltın üzerindeki etkisini araştırmıştır. 175 °C sıcaklığa kadar ısıtılan asfalta, asfalt ağırlığının %3'ü oranında bahse konu katkılar ayrı ayrı katılarak, 30 dakika yüksek parçalayıcı karıştırıcı yardımıyla 4000 rpm hızda karıştırılmıştır. Karışımın homojen olduğundan emin olmak için karıştırma işlemine 3 saat daha devam edilmiştir. Elde edilmiş olan 12 modifiye asfalt numunelerine yumuşama noktası, penetrasyon, özgül ağırlık, düktilite, kinematik viskozite, DSR (frekans taraması) ve floresan mikroskopu deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, %30 stiren içeren modifiye asfalt numunesinin en yüksek viskoziteye sahip olduğu buna bağlı olarak asfaltın viskoelastik özelliğine diğer

katkılara göre daha fazla katkı sağladığı ve sıcaklık değişimlerinden daha az etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca stiren içeriğinin artmasıyla asfaltın kesme kuvveti hassasiyetinin ve asfalt matrisiyle katkı arasında oluşan uyumun azaldığı raporlanmıştır.

Miró vd. (2015), geleneksel asfalt, öğütülmüş araç lastiği modifiyeli ve SBS modifiyeli asfaltları laboratuvar ortamında yaşlandırılarak (RTFOT ve PAV deneyleriyle) yaşlanmanın, asfaltın yorulma davranışı üzerine etkisi incelenmiştir. Yaşlanmamış ve yaşlandırılmış numunelere yumuşama noktası, penetrasyon, RV, DSR, Fraass kırılma noktası, elastik geri dönme ve kuvvet ölçümlü düktilite deneyleri yapılmış, EBADE diye adlandırılan yeni bir test sitemi geliştirilerek bağlayıcılara tekrarlı yükler altında döngüsel bir çekme-basınç kuvveti uygulanmış ve yorulma davranışları incelenmiştir. Sonuç olarak, modifiyeli bağlayıcıların yaşlanmadan sonra fiziksel özelliklerinde geleneksel bağlayıcıya göre daha fazla bir değişim olduğu ve sıcaklığın yorulma davranışı üzerinde etkili bir rol oynadığı buna bağlı olarak modifiyeli bağlayıcıların yaşlandırıldıktan sonra bu durumdan daha çok etkilendiği yayınlanmıştır.

Karakaş vd. (2015), çalışmalarında 50/70 penetrasyon dereceli asfalt, asfalt ağırlığının %5 oranında SBS katkı maddesiyle modifiye edilmiştir. Marshall tasarımına göre optimum asfalt içeriği belirlenmiş, katkılı ve katkısız olacak şekilde oluşturulan sıcak asfalt karışımlar 50 metre uzunluğundaki ikinci sınıf bir yola yarısı katkısız, diğer yarısı SBS katkılı sıcak asfalt karışım olacak şekilde serilip sıkıştırılmıştır. Bir yıl süreyle dört farklı zaman periyodunda sıcaklık ve çevresel faktörlerin kaplama üzerindeki etkisini izlemek amacıyla yolun banket ve araç lastiklerinin geçtiği kısımlarından karot numuneleri alınmış, numunelere Marshall stabilite, rijitlik modülü, dolaylı çekme mukavemeti ve yorulma deneyleri yapılmıştır. Bir yılın sonunda alınan katkısız karışım karot numunelerinin rijitlik modülünün bir ayın sonunda alınan karot numunelerinden 2,8 kat, benzer şekilde SBS katkılı karot numuneleri için ise 3 kat fazla olduğu görülmüştür. Bir yılın sonunda katkısız karot numunelerinin stabilitesi %34 oranında, SBS katkılı karot numunelerinin ise %76 oranında artış göstermiştir. Kaplama sıcaklığı ile hava sıcaklığı arasında oluşan sıcaklık farklarının genellikle sıcak havalarda fazla olduğu ve buna bağlı olarak toplam sıcaklık indeksi ile rijitlik modulu, stabilite, dolaylı çekme mukavemeti ve yorulma direnci değerleri arasında lineer bir ilişkinin olduğu belirtilmiştir.

Liı vd. (2016), bu çalışmada, asfalt bağlayıcı ve ilgili karışımların özelliklerini değerlendirmek için kapsamlı testler yapılmıştır. Ilık karışım ve SBS modifiyeli sıcak karışımlara çeşitli sıcaklıklarda Marshall Sıkıştırma testleri uygulanmıştır. Plent

similasyonlu Marshall sıkıştırma testleri esnasında, agreganın nem kaybını içeren parametreler göz önüne alınmış ardından çeşitli aşamalarda yapım sıcaklığı önerilmiş ve tünellerdeki test bölümleri döşenerek ve değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, %3 Sasobit'in optimum katkı içeriği olduğunu görülmüştür. Ayrıca geleneksel yöntemle karışım plenti metodu arasında sıkıştırma sıcaklığında 15 °C'lik bir fark olduğu tespit edilmiştir.

Roman vd. (2016), makalede, tri-blok kopolimer SBS ile düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) modifiye edilmiş bitümlü mastikler karşılaştırılmıştır. Lineer ve non-lineer titreşim ölçümleri sırasıyla orta ve yüksek servis sıcaklıklarının temsil edildiği 25 ve 55 °C deki sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Ağırlıkça %3 polimer için farklı reolojik tepkiler bulunmuştur. LDPE-mastik, 55 °C'de gelişmiş lineer kompleks kayma modülü ve elastikiyet göstermiş, tersine doğrusal viskoelastisite (LVE) sınırının ötesinde deformasyonlara maruz kalırsa, SBS-mastic, LVE rejimine döndüğünde, 25 °C'de gelişmiş bir kompleks modül geri kazanım kapasitesi sunmuştur.

Dong vd. (2016), temel asfalt, kırıntı kauçuk (CR), SBS kopolimeri ve sert asfalt dahil olmak üzere SBS / CR bileşik modifiye asfaltın reolojik davranışı ve mikroyapısı araştırmışlardır. CR, SBS ve sert asfaltın bozunma sıcaklığı, sıcaklık duyarlılığı, uyumluluk ve modifiye asfaltın mikroyapı üzerindeki etkileri, sırasıyla reolojik testler, Cole-Cole alanları, floresan mikroskopu ve FTIR ile değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, CR, SBS ve sert asfaltın; kompozit modifiye sert asfaltın performansı üzerinde çok büyük farklı etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Temel asfalt ile karşılaştırıldığında, asfaltta CR ve SBS ilavesi, viskoelastik davranış ve sıcaklık hassasiyetinde kayda değer bir iyileşme sağlamıştır. Kompozit modifiye sert asfaltın sıcaklığı düşer ve kompozit modifiye sert asfalt içeriğinin artması sıcaklığa daha duyarlı olmasına rağmen, sert asfalt kompozit modifiye asfaltın uyumluluğunu ve işlenebilirliğini geliştirmiş ve kompakt sıcaklığı düşürmüştür. Ayrıca, hazırlama esnasında kompozit değiştirilmiş sert asfaltın morfolojisinde önemli bir farklılık gözlemlenmiştir. CR, SBS ve sert asfalt ilavesi ile faz morfolojisi dağınık polimer fazlı sürekli bir asfalt fazından iki bükülmüş sürekli faza dönüştürülmüş ve daha sonra tekrar dağınık polimer fazlı sürekli asfalt faza dönüştürülmüştür. Bu arada, asfalt ve SBS arasındaki kimyasal reaksiyon oluşabileceği ve sert asfalt kimyasal reaksiyon derecesini yükseltebileceği çıkarılmış sonuçlar arasındadır.

Zhao vd. (2016), çalışmalarında temel asfalt (BA) ve SBS modifiye asfaltın (SBSMA) doğal havalandırma süreci, farklı yaşlı asfaltların reolojik ve yapısal özelliklerini karakterize edilmesine dayandırılarak, RTFOT ve UV yaşlanması gibi suni

yaşlandırma ile havalandırma sürecindeki karşılaştırılmıştır. Bu değişimi analiz etmek için kızıl ötesi spektroskopu, permabilite kromatografisi ve dinamik kesme reometresi kullanılmıştır. Sonuçlar doğal havalandırma sürecinde SBSMA'nın kimyasal yapısında ve reolojik özelliklerinde önemli değişikliklerin meydana geldiğini göstermiştir. SBSMA, reolojik ve kimyasal değişim açısından BA ile aynı yaşlanma eğilimini göstermiş, Reolojik ve kimyasal değişimin dönemlerinde SBSMA'nın BA'dan daha ağır yaşlanma eğilimini gösterirken; karbon indeks oranı açısından BA'nın eğilimi daha ağır olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, BA'nın yaşlanmasındaki moleküler yoğunlaşma SBSMA'ninkinden daha baskın olduğu sonucuna ulaşılmıştır. SBSMA'nın suni yaşlanması ve doğal hava koşullarını karşılaştıran RTFOT ve UV yaşlanmasının, SBSMA'nın doğal hava koşullarını tamamen simüle edemediği kaydedilmiştir.

Singh ve Girimath (2016), bu çalışma iki tip geri kazanılmış asfalt kaplama(RAP) bağlayıcının reolojik özellikleri üzerinde ve SBS'in, (PG) co-plimer modifiye bağlayıcının(PMB), Superpave performans derecesine (PG) olan etkilerini değerlendirmek için yapılmıştır. Çalışma için iki RAP malzemelerden biri kent otoyolundan (RAP-A), diğeri de kırsal otoyoldan (RAP-S) alınmış olup RAP-A ve RAP-S den ayrıştırılan asfalt bağlayıcıların farklı vizkoziteleri, reolojik ve kimyasal özelliklere sahiptir. RAP-A'dan ayrıştırılan asfalt bağlayıcı RAP-S den elde edilen bağlayıcıya kıyasla daha sert olduğu bulunmuştur. PMB, RAP-A ve RAP-S bağlayıcıların farklı oranları ile (yani bağlayıcı ağırlığının %0, 15, 25 ve 40) karıştırılmıştır. RAP bağlayıcılarla karıştırılan PMB'lere penetrasyon, yumuşama noktası, vizkozite, duktilite ve elastiklik indeksi gibi fiziksel deneyler uygulanmıştır. Buna ek olarak RAP ile karıştırılmış PMB'nin yüksek ve düşük sıcaklıklarda sırasıyla DSR ve BBR testlerine dayanılarak superpave PG'si belirlendi. Fiziksel Özelliklerden elde edilen sonuçlar RAP bağlayıcıların ilavesinin PMB'nin performansını olumsuz etkilediğini göstermiştir. Her iki RAP bağlayıcı türü PMB'nin fiziksel özellikleri üzerinde farklı etkilere sahip, RAP'ın %15 'inin ilavesi, PMB'nin PG'sini bir kademe aralıkla (yani PG76'dan PG82'ye) sıçratmıştır. Yüksek sıcaklıktaki PG için en büyük sıçrama %40 RAP eklenmesinden sonra bile bir kademe aralığı olduğu bulunmuştur. Düşük PG derecesi Rap bağlayıcıların eklenmesi ile değişmemiştir. İki tip RAP bağlayıcının PMB özelliklerine etkilerini karşılaştırmak için istatistiksel analizler yapılmıştır. Sonuç olarak, RAP bağlayıcının tipinin PMB'nin tutarlılığı ve Superpave PG üzerinde farklı etkileri olabileceğini gösterdiğinden, bir baz bağlayıcının derecesinin seçimi sırasında dikkatli olunması gerektiği gözlemlenmiştir.

Sun vd. (2017), çalışmalarında Asfalt bağlayıcıların kendini iyileştirme sürecinde nemlendirerek iyileştirme ve moleküler yayılım iyileştirme aşamasını ayırt etmek için; Florasan mikroskobu (FM) ile birlikte görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. İyileştirme indeksi çatlak alanlarının çeşitliliğine dayandırılarak ortaya koyulmuştur. Belirlenmiş kılcal difüzyon teorisine dayandırılarak, iyileştirme süresi ile birlikte iyileştirme indeksindeki çeşitliliği iyileştirme eğrilerine uyacak şekilde karakterize eden İki Aşamalı Model oluşturulmuştur. Islatma iyileştirmesi ilk olarak; asfalt moleküllerinin her iki yüzündeki çatlakları kendiliğinden ıslanması süresince oluşmuş, bu aşamada mukavemetteki iyileşme belirgin olmamasına rağmen, SBS modifiyeli asfalt, diğer katkısız asfalt bağlayıcılara göre daha yüksek nemlilik iyileştirmesi dayanımı göstermiştir. Nemlenme süreci neredeyse bittiğinde, molekül difüzyonundaki iyileşme oranı önemli ölçüde hızlanmıştır ve moleküler difüzyon hızındaki azalma sırasıyla SBS> PEN 100> PEN 70> PEN 50> PEN 20'dir. Test sonuçlarının ayrıca görünür çatlak oluşum mukavemetinin tamamen iyileştiğini göstermediği belirtilmiştir. Burada, Çekme dayanım testi çatlak tamamen kapatıldıktan sonra mukavemetin iyileştirilmesi belirlemek için geliştirilmiştir ki bu da mukavemet rejenerasyonunun uzun bir süreç olduğunu belirtmiştir.

- TMA üzerine yapılan çalışmalar;

Wu vd. (2007), TMA karışımlarında cürufu agrega olarak kullanmanın fizibilitesini araştırmayı ve bu gibi asfalt karışımların özelliklerini de değerlendirmeyi amaçlandığı bu çalışmada, agregalara XRD, SEM ve MIP deneyleri yapıldı. TMA karışımının çelik cürufu ile birlikte hacimsel özellikleri ve performansları, bazaltın agreganın bazalt olarak kullanıldığı durumda değerlendirilmiştir. Deneyler neticesinde çelik cürufu TMA karışımının hacimsel özelliklerinden pozitif sonuçlar alınmış ve 7 gün sonra genişleme oranının %1'in altında olduğunu görülmüştür. Bazalt ile karşılaştırıldığında, çelik cürufun agrega olarak kullanılması, TMA karışımının yüksek sıcaklık mukavemetini ve düşük sıcaklıkta çatlama karşı direncini geliştirmiştir. Çelik cürufu ile birlikte hizmet içi TMA kaplaması ayrıca pürüzlülük üzerinde mükemmel performans sergilediği belirtilmiştir.

Casey vd. (2008), İrlanda'da polimer modifiyeli bitümlerin kullanımının artması ve geri dönüşüm oranlarında büyük artışlar sağlanması doğrultusunda, geri dönüştürülmüş polimerin etkisini değerlendirmek için temel bitüm testleri ve bir karıştırma metodolojisi geliştirilmiştir. %4 geri dönüştürülmüş HDPE'nin bağlayıcıya eklenmesinin en umut verici sonuçları verdiğini ve ardından karıştırma işlemi, karıştırma parametreleri ve bağlayıcı katkı maddeleri açısından optimize edildiği bulunmuştur. Gelişimsel geri dönüştürülmüş

bir bağlayıcı üretilmiş ve performans testlerinde şu anda yol yapımı uygulamasında kullanılan bağlayıcılarla karşılaştırılmıştır. Tekerlek izi ve yorulma testlerinden elde edilen sonuçlara göre, bağlayıcı, tescilli bir polimer modifiye bağlayıcıya eşdeğer performans seviyeleri sağlamasa da, Taş Mastik Asfaltta kullanılan geleneksel bağlayıcılara göre daha iyi sonuç vermiştir. Gereksinim duyulan standartlara ulaşmak için geri dönüştürülmüş polimer modifiye bağlayıcının daha da geliştirilmesi için öneriler sunulmuştur.

Deniz vd. (2009), metrobüs hattı üstyapısında, kullanılan geleneksel karışıma göre farklı özelliklere sahip TMA betonunun analizini yapmışlardır. Bu karışımda, iri agrega olarak, Çorlu-Karatepe Taş ocağından elde edilen “bazalt”, ince agrega olarak İstanbul-Cebeci bölgesinden elde edilen “kalker”, filler olarak, Eskişehir’den temin edilen “kalsit” kullanmışlar, bitümün karışımdan ayrışmasını önlemek amacıyla selülozik elyaf (viatop), bitüm modifikasyonunda ise SBS blok kopolimerleri kullanılmışlardır. Karışımdaki SBS miktarını azaltmak ve karışımın işlenebilirliğini arttırmak amacıyla ek olarak Sasobit katkı maddesi ilave etmişlerdir. Ayrıca mineral agrega olarak kalkerin kullanıldığı kontrol amaçlı geleneksel karışımlar hazırlamışlardır. Sonuç olarak, TMA karışımlarında meydana gelen tekerlek izi derinliklerinin geleneksel karışımlara göre iki kat daha az olduğunu analiz etmişlerdir.

Güngör vd. (2009), çalışmalarında BSK yol üstyapısının en üst tabakası olan aşınma tabakasında kullanılan Asfalt Betonu Aşınma ve Taş Mastik Asfalt karışım tiplerinin dizaynı Marshall ve Superpave yöntemleri ile hazırlanarak, farklı bitümlü bağlayıcı tipleri ile hazırlanan karışımların İndirekt Çekme Mukavemeti, Tekerlek İzinde Oturma, Çevrimsel Basınç (cycling compression) ve Yorulma (fatigue) deneyleri yapılarak performansları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca karışımların elastisite modülleri de belirlenmiştir. Plastik deformasyonlara karşı dayanım açısından iyi bir gösterge kabul edilen, tekerlek izinde oturma deneyi sonucunda, polimer modifiye bitümlü karışımların daha iyi olduğu ancak, normal bitümlü, AB Aşınma karışımının değerlerinin TMA karışımına göre çok yüksek olduğu görülmüştür. Çalışmada kalıcı deformasyonlara karşı en dayanıklı karışım tipinin modifiye bitümlü AB aşınma karışımı olduğu görülmüştür.

Güngör vd. (2009), bu çalışmalarında, diatomit malzemenin TMA karışımındaki etkisi araştırılmıştır. Normal TMA ile diatomit katkılı TMA karışımların performansları karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, önce normal TMA ve diatomitli TMA karışım dizaynları hazırlanmış ve TMA karışımları üzerinde; tekerlek izinde oturma tayini (TİO), dört nokta

eğilmeli kırış eğme yöntemi ile yorulma (Fatigue) deneyleri ve İndirekt Çekme Mukavemeti (İÇM) deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, her iki tip TMA kırışımı, çekme dayanımı, sudan kaynaklanan hasarlara karşı davranış ve tekerlek izine karşı dayanım yönünden yaklaşık olarak benzer davranış gösterdiği tespit edilmiş, Fiberli TMA yorulmaya karşı daha iyi performansa sahiptir, özellikle 200×10^{-6} birim deformasyon seviyesinde, 2×10^6 döngüye kadar başlangıç stiffness değerinin %70'ini korumuştur. Diatomitli TMA'nın yorulma davranışı iyileştirmek için daha düşük oranda diatomitli kırışımın incelenmesi gerektiği belirtilmiştir.

Ahmadinia vd. (2011), çalışmalarında polimer modifiye asfalt kırışımının maliyetini düşürmek için ucuz polimerler, yani atık polimerler kullanmışlardır. Bu araştırmanın temel amacı TMA kırışımının mühendislik özelliklerine atık plastik şişelerin (Polietilen Tereftalat (PET)) kırıştirilmesinin etkilerinin belirlemesidir. Çeşitli yüzdelerdeki PET (%0, %2, %4, %6, %8 ve %10) içeren asfalt kırışımının hacimsel ve mekanik özellikleri hesaplanmış ve deneyler yapılmıştır. Uygun PET miktarı bitüm ağırlığının %6'sı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışmada polietilen ile modifiye edilmiş asfalt kırışımı üzerinde yapılan bazı çalışmalar da dikkate alınmıştır. Bu çalışma PET ilavesinin TMA'nın özellikleri üzerinde önemli bir olumlu etkisi olduğunu ve atık maddenin çevre dostu ve ekonomik bir şekilde yeniden kullanılmasının sağlanabileceğini göstermiştir.

Karakuş (2011), taş işleme tesislerinden gelen bazalt atıklarının agrega ve mineral dolgu maddesi olarak kullanılması üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Diyarbakır'daki bazalt işleme tesislerinden alınan agregalar üzerinde elek analizi, kimyasal analiz, özgül ağırlık, su emme, Los Angeles aşınma testi, agreganın Na_2SO_4 ile sağlamlığı gibi ince ve kaba bazalt atıklarının başlıca önemli bazı malzeme özellikleri ve soyulma mukavemeti belirlenmiştir. Daha sonra bu atık materyal kullanılarak Karayolları Teknik Şartnamesi'ne göre bir TMA tasarlanmıştır. Tasarlanan TMA numuneleri üzerinde Marshall stabilite ve süzülme testleri yapılmıştır. Test sonuçları bazalt atığının ve üretilen TMA'nın özelliklerinin belirtilen sınırlar dahilinde olduğunu ve bu atıkların TMA'da agrega ve mineral dolgu maddesi olarak kullanılabilmesini göstermiştir.

Moghaddam vd. (2012) çalışmalarında, atık polietilen tereftalatın (PET) ile optimum asfalt içeriklerinde TMA kırışımının bir arada kullanılmasının sertlik ve yorulma özelliklerinde etkileri araştırmışlardır. En fazla 2.36 mm boyutunda atık PET'in farklı yüzdeleri TMA kırışımına ilave edilmiştir. Dolaylı çekme testi ve dolaylı çekme yorulması testi 20°C sıcaklıkta ve üç farklı seviyesinde (250, 350, 450 kPa)

gerçekleştirildi. Çalışma neticesinde PET içeriğinin daha az olması durumunda karışımın sertlik modülünün arttığı ve daha yüksek miktarda PET eklenerek elde edilen karışımın daha az sertleştiği belirlenmiştir. Buna ek olarak, PET eklenmiş karışımların PET içermeyen karışımlara kıyasla çok daha yüksek yorulma ömrüne sahip olduğu ortaya koyulmuştur.

Şengül vd. (2013), 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 katkısının tekerlek izi direncini artırdığı raporlanmıştır.

Awanti (2013), polimer modifiye bitüm PMB 70 ile SBS ve hindistancevizi lifleri kullanılarak hazırlanan TMA karışımları üzerinde asfaltın kusmasını önlemek için deneysel araştırmalar yapmışlardır. Çalışmada VG 30 sınıfı saf bitüm, hindistancevizi ve selüloz elyafları ile hazırlanan TMA karışımları kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, PMB 70 ve hindistancevizi elyafı ile TMA karışımı, TMA'nın kontrol karışımı ile karşılaştırıldığında, farklı sıcaklıklar, yüksek yorulma ömrü ve daha yüksek sürünme direncinde daha yüksek mukavemete sahip olduğu görülmüştür.

Yan vd. (2015), bu çalışmada, %30 çimento ve %20 kireç içeren TMA karışımlarında farklı donma-çözülme etkileri araştırılmıştır. TMA karışımları laboratuvar ortamında üretilerek optimum bitüm miktarı hesaplanmış ve hesaplanan optimum bitüm miktarı temel alınarak %2,5-6,0 arasında değişen hava boşluğu oranları ile karışımlar hazırlanmıştır. Marshall Stabilitesi (MS), akma ve dondurma-çözülme, çekme mukavemetleri ayrıca her bir numune için 1., 3., 5., 8., 10., 15. ve 20. devirlerin sonunda hacimsel özellikleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre , hava boşluğu oranının donma-çözülme döngüleri altında TMA performansında önemli bir rol oynadığını göstermiş; TMA karışımlarının kireç ile donma-çözülme direnci, çimentolu olanlardan daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. TMA'nın MS değerleri, katkısız numuneler için sırasıyla %24,4, %56,5, %26,5, %45,5, %17,9 ve %14,1, çimentoya sahip numuneler ve kireci 20 donma-çözülme etkisinden sonra numuneler arasında düşüş göstermiştir. TMA karışımları, donma-çözülme hasarına direnç açısından parlak performans sergilediği belirtilmiştir.

Yadykina vd. (2015), TMA'nın yapısal oluşum süreçlerinin, fiziksel ve mekanik performansının bitüm ile stabilize edici katkı maddeleri yüzeyi arasındaki etkileşimden büyük ölçüde etkilendiğini varsayarak yola çıkılan çalışmada, teorik olarak ve deneysel

olarak poliamid lifinin yüksek TMA kalitesi üzerinde pozitif bir etkiye sahip olan lifin kimyasal niteliğine bağlı olarak organik bağlayıcıya reaktivite sağladığı belirtilmiştir. Granül stabilize edici katkı maddeleri üretmek için kağıt hamuruna kağıt atığı hammaddesi kullanırken orijinlerinin dikkate alınması gerektiği de kanıtlanmıştır. Kartondan üretilen katkı, bitümünü daha iyi koruduğu ve böylece diğer selülozik kaynak malzemelerden daha yüksek performans ile TMA elde edilmesine izin verdiği ortaya koyulmuştur.

Chelovian ve Shafabakhsh (2016), Nano Al_2O_3 maddesinin farklı yüzdelerde Taş Mastik Asfalta eklenmesinin araştırıldığı bu çalışmada, maksimum agrega boyutu 20 mm olan Taş Mastik Asfalt için İran Yolu (Yayın 234) Asfalt Yol Yönetmeliği tarafından önerilen ortalama gradasyon olarak kullanılmıştır. Agregalar arasındaki boşluğa göre %0,3 oranında asfalt ağırlığında selüloz elyafları kullanılmıştır. Nano Al_2O_3 katkı maddesinin Taş Mastik Asfalt ile kullanılmasının performansını belirlemek amacıyla yapılan deneyler sonucu farklı yüzdelerdeki Nano Al_2O_3 eklenmesinin Taş Mastik Asfaltın performansını önemli derecede iyileştirebildiği belirtilmiştir.

Manosalvas-Paredes vd. (2016), çalışmalarında, aynı derecelendirme eğrisi ile iki farklı bağlayıcı ile tasarlanmış iki TMA 11 karışımı incelenmiştir. Kullanılan ilk bağlayıcı, elastomerik polimerler SBS (stiren-bütadien-stiren) ile değiştirilmiş ve PMB 45 / 80-65 olarak adlandırılmıştır. İkinci bağlayıcı, lastik - ömrünü tamamlamış lastiklerin (ELT'ler) ve PBS 45/80-65 R olarak adlandırılan SBS ile modifiye edilmiştir. Çalışma sonuçları, elyafsız TMA11-PMB 45/80-65 ve elyaf içermeyen PMB 45/80-65 R bitümlü karışımların su hassasiyet testlerini, bağlayıcı drenajını ve kalıcı deformasyona karşı direncini başarılı bir şekilde yerine getirdiğini göstermiştir.

- Pr Plast S katkı maddesi kullanılarak yapılan çalışmalar;

Önal vd. (1998), Pr Plast ile yaptıkları çalışmalarında, Pr Plast bitümlü sıcak karışımlara katıldığında stabilite değerlerinde artış olduğu, koşullandırma sonucunda stabilite değerlerinde önemli bir düşüş görülmediğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmada polimer ilave edilmesi durumunda, karışımın plastik deformasyonlara karşı direncinin büyük ölçüde arttığı ve uygulamada sıkça rastlanan fazla bitüm kullanılması durumunda dahi tekerlek izi oluşumu açısından karışımın performansında büyük bir kayıp olmadığını bildirmişlerdir.

Aşık vd. (1998), yaptıkları deneysel çalışmada Pr Plast katkılı karışım değerlerinin koşullandırılmış numunelerde dahil olmak üzere indirekt çekme mukavemetlerinde artış olduğu, stabilite değerlerinde de %35'e varan artışlar sağladığı gözlemlenmiştir.

Sönmez vd. (1999), çalışmalarında Pr Plast katkısı içeren numunelerde katkılı ve geleneksel karışımların stabilite, yorulma ve tekerlek izi oluşumu performansı üzerine olan etkilerini değerlendirmek amacıyla; Marshall Tasarımı, Dolaylı Çekme Mukavemeti, Dolaylı Çekme Deneyi, Statik Sünme Deneyi, Tekrarlı Sünme Deneyi ve LCPC Tekerek İzi deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak Pr Plast katkısı içeren numunelerin bitümlü sıcak karışımların maruz kaldığı yükler, çevre ve diğer olumsuz etkiler karşısında farklılık arz etmekle birlikte, katkı maddesinin birden fazla olumlu etkisi olduğunu, tekerlek izi oluşumunda geleneksel karışımlara göre üstün performans sağladığını tespit etmişlerdir.

Gençtürk (2011), temel amacı farklı katkıları kullanarak bitümlü karışımların performansının iyileştirilmesini sağlamak olan 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 %1, 1,5, 2, 3 ve 5 oranlarında, Pr plast ise karışımın %0,3 ve %0,6 oranında doğrudan granül agregaya karıştırılarak alternatif karışımlar üretilmiş, optimum asfalt içeriğinde 72 adet özdeş briket hazırlanmış ve briketlerin yarısı; tekrarlı su hasarına maruz bırakılarak ve koşullandırma gerçekleştirilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak sönmüş kireç ve çimentonun aktif filler olarak kullanılabilmesi, Pr Plast'ın ise karışımı güçlendiren katkı olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir.

Torun (2015), iki aşamada gerçekleştirdiği çalışmasının ilk bölümünde %3,0, 3,5, 4,0, 4,5, 5,0, 5,5, 6,0 bağlayıcı oranlarında orijinal katkısız, %0,40 Pr Plast S katkılı ve %0,80 Pr Plast S katkılı üç grup numune üretilmiş, Marshall Tasarım Yöntemi ile üç grup karışım için optimum bitüm miktarları tespit edilerek mühendislik özellikleri karşılaştırılmıştır. Katkı maddesinin optimum bitüm miktarını arttırmakla birlikte karışım özelliklerini iyileştirdiği gözlenmiştir. Çalışmasının ikinci bölümünde ise Hamburg Tekerek İzi Deneyi için yağurmalı sıkıştırıcı kullanılarak optimum bitüm oranlarında katkılı ve katkısız numuneler üretilmiştir. Tekerek izi deneyleri sonucu en yüksek tekerlek izi deformasyonları orijinal katkısız numunelerde, en düşük tekerlek izi deformasyonları ise %0,80 Pr Plast S katkılı numunelerde görülmüştür. Pr Plast S katkı maddesinin tekerlek izi oluşumuna karşı direnci arttırdığı anlaşılmıştır.

Zou vd. (2015), makalelerinde yüksek modüllü asfalt bağlayıcıların (HMAB'ler) mikro-morfolojisini gözlemek için bir taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve bir floresans mikroskopu kullanılmış ve bu bağlayıcıların kullanıldığı karışımların karakteristik performansları, laboratuvar karışım testleri ile değerlendirilmiştir. Bağlayıcı

morfolojisi yüksek modüllü modifiye edicilerin, Pr Plast S® (PRS) ve Pr Plast Module® (PRM), parçacık boyutunun ve modifiye asfaltın viskozitesinin zamanla arttığını, PRS modifiye parçacıklarının da bir ağ oluşturma eğilimine girdiğini göstermiştir. Karışımların test sonuçları orijinal asfalt karışımı ile SBS karışımı karşılaştırıldığında; HMAB'lerin, yüksek sıcaklık performansını, su stabilitesini, nem-ısı sentez özelliği ve karışımın dinamik modülünü önemli ölçüde yükselttiğini göstermiştir. Araştırma sonuçları; bir yıllık servis süresince ortalama tekerlek izi oturması ve yüzeysel eğilimlerin HMAC'nin kullanılarak yapılan testlerin SBS kullanılarak yapılan testlerden çok daha küçük olduğunu göstermiştir. Kolloidal (pelteli) sistem dengesi ve en düşük enerji prensibine dayandırılan PRS ve PRM ile modifiye edilen HMAB'nin modifikasyon dengesi şişme ve iç katmanlardaki etkileri kullanılarak analiz edilmiştir. HMAB'nin HMAC performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Karışımların test sonuçları, modifikasyon mekanizması ile ilgili analizin doğruluğunu teyit etmiştir.

1.3. Karayolu Üstyapısı

Karayolu, her türlü kara taşıtı ve yaya ulaşımı için oluşturulmuş ve kamunun yararlanmasına açık arazi şerididir. Yolun trafik yüklerini taşımak ve bu yükü taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak şekilde taban yüzeyine dağıtmak üzere altyapı üzerine inşa olunan alttemel ile temel ve kaplama tabakalarından oluşan kısmı üstyapı olarak tanımlanır (Yayla, 2009).

Üstyapılar, tabakalardan kullanılan malzemelerin özelliklerine göre Rijit, Yarı-Rijit ve Esnek üstyapı olmak üzere üçe ayrılırlar. Taban zeminine, trafiğe, çevre şartlarına ve ekonomik faktörlere bağlı olarak en uygun üstyapı seçilir (Sağlık vd., 2008; Orhan, 2011).

Üstyapının Görevleri;

- Trafik yükünden dolayı oluşan gerilmeleri üzerine alacak tabakalar boyunca dağıtmak ve taban toprağına fazla yük gelmesini önlemek.
- Üzerinde trafiğin akabileceği düzgün bir yüzey oluşturmak.
- Yol gövdesini doğanın bozucu etkilerine karşı korumak (Orhan, 2011).

1.3.1. Rijit Üstyapılar

Yüklerin büyük bölümünün Portland çimentosundan yapılmış beton plaka tarafından taşındığı, kalan kısmının altyapıya aktarıldığı üstyapı tipidir. Şekil 1’de rijit üstyapı enkesiti görülmektedir (Orhan, 2011).



Şekil 1. Rijit üstyapı enkesiti

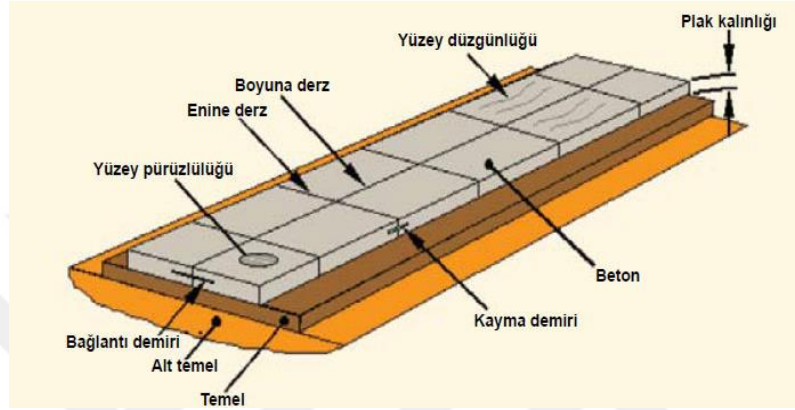
Rijit kaplamalar, ülkemizde maliyeti ve iklim değişkenlerinden fazlaca etkilenecek zarar görmesi ve yapım zorluğu gibi nedenlerle fazla tercih edilmemektedir (Şekil 2). Ancak proje ömrü 20 yıl olan ve 8,2 ton standart dingil yükü sayısının 60 ile 75 milyondan fazla olan veya yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari vasıtalarına sayısı 5000’den fazla olan yollarda ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5000’den fazla kalkış yapan havaalanlarında kaçınılmaz hale gelmiştir (Tunç, 2001).



Şekil 2. Rijit üstyapı (Beton yol) (URL-1, 2017).

Beton yolların ilk yatırım maliyetleri esnek üstyapılara oranla yüksek olmasına karşın, tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirirler ayrıca rijit

üstyapılarda, trafik yüklerinden ileri gelen gerilmeler, sıcaklık ve nem farkından dolayı beton plak çatlamlar meydana gelebilir. Çatlakların belirli yerlerde oluşmasını veya önlenmesini sağlamak amacıyla Şekil 3’de görüldüğü üzere derzler yaparak kaplamayı serbest hareket eden plaklar halinde bölmek gerekir. Ayrıca rijit üstyapılar 30 – 40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilir (Giriş, 2007).

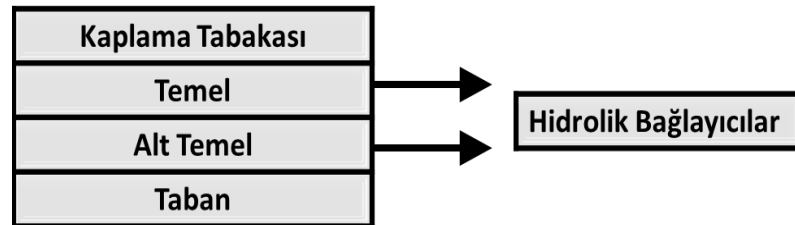


Şekil 3. Rijit üstyapı kesiti (URL-2, 2017).

1.3.2. Yarı-Rijit Üstyapılar

Bitümlü kaplama ve bir ya da birden fazla hidrolik bağlayıcı tabakayı içeren ve yükleri geniş bir yüzeye yayarak tabana aktaran bir üstyapı tipidir (Orhan, 2011).

Türkiye’de genellikle otoyollar ve devlet yollarında kullanılan yarı rijit üstyapılarda, alttemel veya granüler temel yerine çimento bağlayıcı granüler temel veya çimento ile stabilize edilmiş alttemel kullanılır. Şekil 4’de yarı rijit üstyapı kesiti görülmektedir.

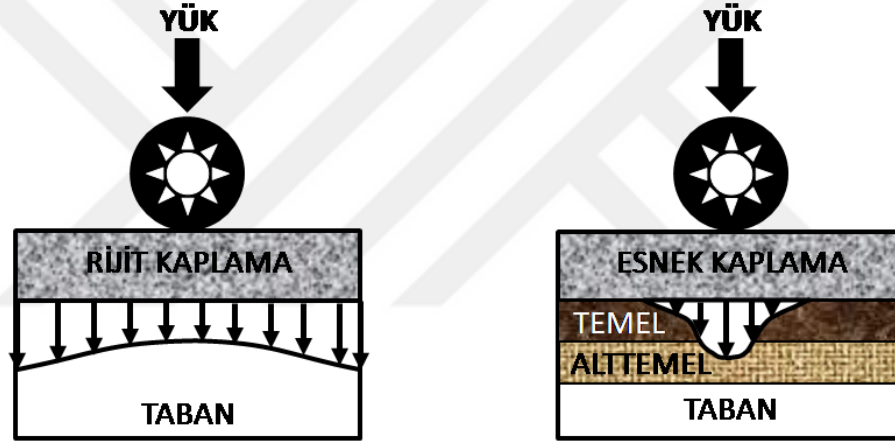


Şekil 4. Yarı rijit üstyapı kesiti

1.3.3. Esnek Üstyapılar

Yüklerinin büyük bir kısmının üstyapıyı oluşturan bitümlü bağlayıcı ya da bağlayıcısız tabakalar tarafından taşındığı, kalan yükün tabana aktarıldığı üstyapı tipidir. Esnek üstyapılarda stabilite, agrega kenetlenmesine, dane sürtünmesine ve koheziona bağlıdır. Esnek üstyapı belirli özelliklere sahip malzemelerden oluşmuş bir seri tabakayı içerir (Orhan, 2011).

Şekil 5’de görüldüğü üzere rijit ve esnek üst yapılar trafik yükünü tabana farklı şekillerde iletirler. Esnek üstyapılarda trafik yükleri dolayısıyla oluşacak gerilmeler, en üst tabakadan alt tabakalara doğru azaltarak iletilir.



Şekil 5. Rijit ve esnek üstyapılarda yük dağılımı

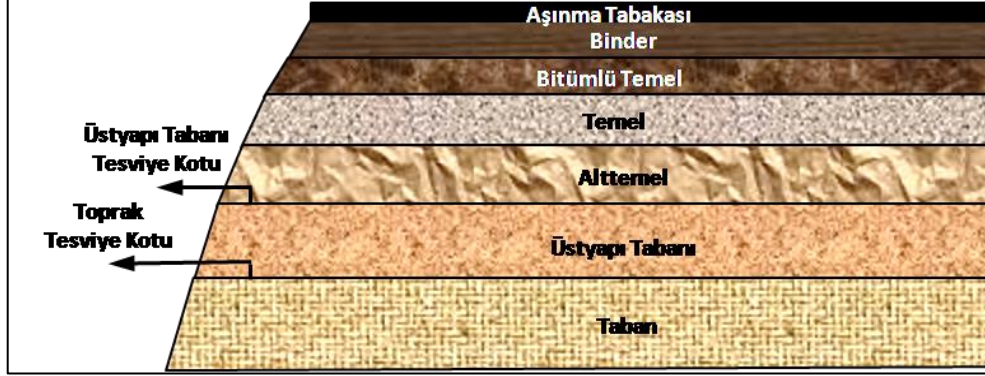
Üstyapı tabakalarının yük yayma özelliği kullanılan malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır. Ayrıca esnek üstyapılarda gerilme, deformasyon ve defleksiyon kaplama tabakasından temele doğru azalır. Bu yüzden üst tabakalarda bitümlü bağlayıcı karışımlar, alt tabakalarda ise daha düşük mukavemetli ama dren kabiliyeti daha yüksek granüler malzemeler kullanılmaktadır. Kullanılan malzeme özellikleri ne kadar iyi bilinirse yapılan üstyapı kaplama tasarımı da o derece iyi olacaktır. Şekil 6’da da yol üstyapı kesiti görülmektedir (Hınıslioğlu ve Ağar, 2004).

Esnek kaplamalar genel olarak iki sınıfa ayrılırlar;

1. Karışım tipi kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar)
2. Sathi kaplamalar (soğuk karışımlar)

Bu sınıflandırma dışında, kullanılan asfaltın cinsine bağlı olarak;

1. Soğuk kaplamalar
2. Sıcak kaplamalar olarak da iki sınıfa ayrılabilir (Orhan, 2011).



Şekil 6. Yol üstyapı kesiti

1.4. Bitümlü Sıcak Karışımlar

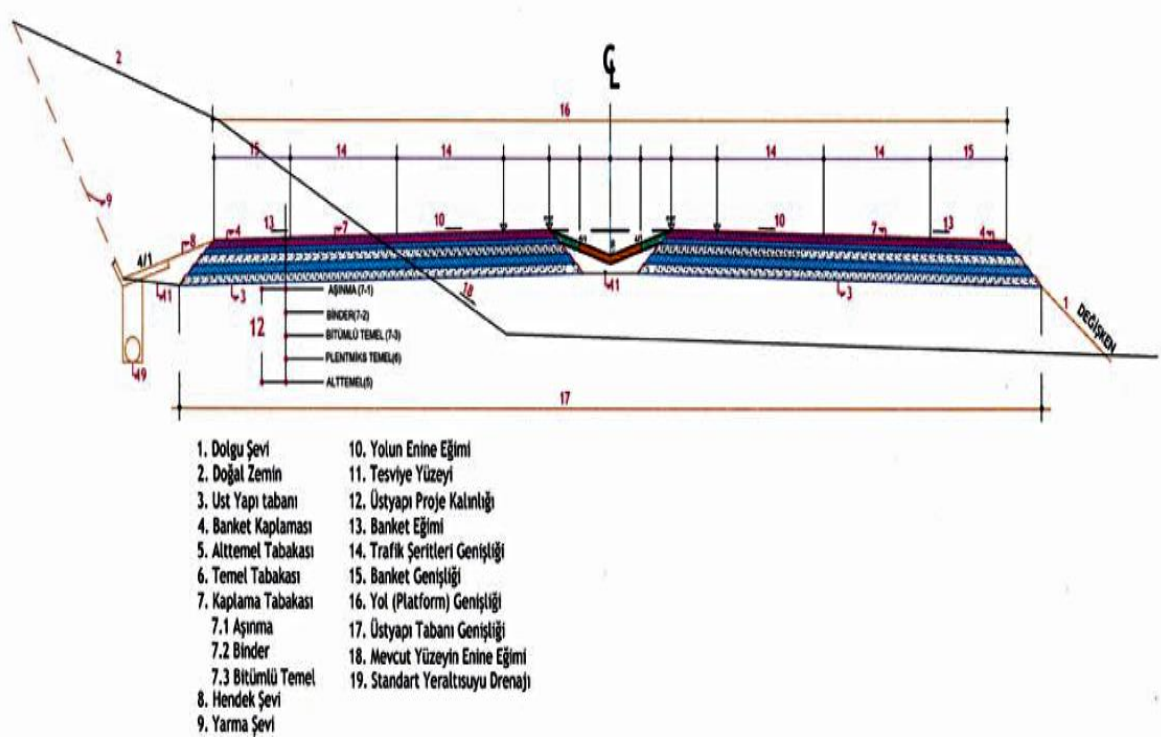
Birçok karayolu mühendisi tarafından, en önde gelen ve her yerde bulunabilen kaplama malzemesi olarak kabul edilen Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) ve sathi kaplamalı karışımlar Türkiye'nin en yaygın kullanılan kaplama malzemesidir (Arslan, 2014).

BSK'lar, agrega, bitümlü bağlayıcı ve hava boşluğundan oluşmaktadır. BSK'nın yapısını oluşturan agregalar; kırılmış ve elenmiş olarak kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belirli gradasyon limitlerinde uygun olarak karıştırılmasıyla elde edilmekte ve asfalt çimentosuyla harmanlanıp, homojen bir şekilde karıştırılmakta ve serilerek sıkıştırılmasıyla, yol üstyapısını oluşturan tabakalardan kaplama tabakası elde edilmektedir. Şekil 7'de üstyapı sıkıştırma çalışmaları görülmektedir (Karakaş, 2014).



Şekil 7. Bitümlü sıcak karışım sıkıştırma çalışmaları

Şekil 8’de asfalt kaplamayı oluşturan tabakalar görülmektedir. En üst tabaka kaplama tabakasıdır, aşınma ve binder tabakası olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Binder tabakasını sırasıyla temel, alt temel ve taban zemini tabakaları takip eder. Asfalt kaplamanın yalnızca aşınma tabakasından oluştuğu durumlarda vardır (Çetin, 2007).



Şekil 8. Yol tip enkesiti (2*2 Yol) (KTŞ, 2013).

Alttemel; temel tabakasını taşımak üzere taban üzerine yerleştirilen, belirli fiziksel özelliklere sahip malzemedir. Alttemel tabakasının esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmaktır. Bu tabakada kullanılan malzemeler granüler malzemedir ve genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitededir (Saltan, 1999; Orhan, 2011).

Temel; alttemel üzerine hesaplanan bir kalınlıkta inşa edilen, belirli fiziksel özelliklere sahip malzeme ile oluşturulan iyi bir drenaj sağlamak, don etkisini azaltmak gibi fonksiyonları olan bir üst yapı tabakasıdır.

Temel ve alttemelin ana görevi, yüzeye uygulanan yükleri kendi içinde dağıtmak ve bu şekilde tabanda kesme ve oturma deformasyonlarının oluşmasını önlemektir.

Karayollarında üç farklı temel tipi kullanılmaktadır (Orhan, 2011).

1. Granüler Temel (GT)

2. Plent-miks Temel (PMT)

3. Çimento Bağlayıcılı Granüler Temel (ÇBGT)

Granüler temel tabakası; çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf veya kırmataş ile ince malzeme kullanılarak sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin, su ile karıştırılması ve şartnamesine uygun olarak hazırlanmış taşıma gücü yeterli taban veya alttemel tabakası üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde, projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır (KTŞ, 2013).

Plent-Miks temel tabakası, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak belirli sürekli gradasyon verecek şekilde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su ile bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan malzemenin Karayolları Teknik Şartnamesinde belirtilen özel koşullarda hazırlanmış yüzey üzerine projesinde belirtilen plan, profil ve en kesitlere uygun olarak bir ya da birden fazla tabakalar halinde serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır (KTŞ, 2013).

Çimento bağlayıcılı granüler temel tabakası ise tabakası çakıl, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırmataş ve ince malzeme kullanılarak, sürekli gradasyon verecek şekilde hazırlanan malzemenin uygun oranlarda çimento ve su ile bir plentte karıştırılmasıyla hazırlanan ve yeterli bir alttemel tabakası üzerine, bir veya birden fazla tabakalar halinde, projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılmasıyla oluşturulan tabakadır (KTŞ, 2013).

Bitümlü temel tabakası, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin, işyeri karışım formülleri esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak yeterli temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak imal edilir (KTŞ, 2013).

Kaplama tabakası ise üstyapının en üst tabakasıdır. Genellikle asfalt betonu (AB) veya sathi kaplama olarak inşa edilir. Kaplama tabakasında esas görev trafik yüklerini taşımak (AB için) kaymaya (yeterli pürüzlülüğe sahip), trafiğin aşındırma ve iklim koşullarının ayrıştırıcı etkisine karşı koymak, seyahat konforu ve su yalıtımı sağlamaktır. Bu tabaka, aşınma ve binder olarak iki kısımdan oluşur (Orhan, 2011).

Aşınma tabakası trafiğe dayanım yanında su geçirimsizliğini sağlamak ve sürtünme oluşturmaktan sorumlu ve çok kaliteli inşa edilmesi gereken tabakadır. Binder tabakası ise kaplama tabakasının kalın olması durumunda sıkıştırmada kolaylık ve ekonomi sağlamak

için, aşınma tabakasına göre daha iri agregalardan oluşturulan tabakadır. Kaplama tabakasının için yeterli pürüzlülükte uniform bir yuvarlanma yüzeyine sahip olması trafiği emniyetli ve konforlu bir şekilde geçirebilmesi açısından oldukça gereklidir. (Umar ve Açar, 1991).

1.4.1. Bitümlü Sıcak Karışımların Türkiye’de Son Yıllardaki Durumu

Ülkemizde 2015 yılına kadar yapılan asfalt uygulamaları ve son yıllarda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimine ait hazırlanan tablolar, Tablo 1 ve 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Türkiye’de sath tipine göre karayolu uzunluğu-01.01.2015 (URL-4, 2017).

Yol Tipi	Uzunluğu, km			Toplam
	Bitümlü Sıcak Karışım	Sathi Kaplama	Diğer	
Devlet Yolu	14.393	16.399	421	31.213
İl Yolu	2.702	27.327	3.036	33.065
Otoyol	2.159	-	-	2.159
Toplam	19.254	43.726	3.457	66.437

Tablo 2. Türkiye’de son 5 yılda yapılan asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi (URL-4, 2017).

Yıl	Bitümlü Sıcak Karışım (milyon ton)	Sathi Kaplama (km ²)	Soğuk Bitümlü Karışım (milyon ton)	Bitüm Tüketimi (milyon ton)
2011	43,5	277	1,020	2,590
2012	38,3	294,9	1,819	2,809
2013	46,2	216,3	1,050	2,820
2014	30,9	203,8	0,938	2,389
2015	37,9	269,2	0,783	2,726

1.4.2. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Temel Problemler

Bitümlü sıcak karışımlarda, kaplamalar genellikle yol trafiğe açıldıktan bir süre sonra trafik yükleri, çevre ve iklim koşulları ile yol altyapısının neden olduğu 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 (İlıcılı vd., 2001; Yılmaz, 2016).

Oluşan bozulmalar, başlangıçta çok yavaş olduğu için yolun servis seviyesini koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler. Zaman geçtikçe doğru zamanda bakım ve iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı bakım ve iyileştirme seçeneklerine gereksinim gösterirler. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda, zamanında yapılmış bakım programları, en fazla kazancı sağlar(Kizirgil, 2013).

Yol üstyapısında meydana gelen bozulma türleri;

- Deformasyonlar
- Çatlaklar
- Ayrışmalar olarak 3 başlık halinde aşağıda detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

1.4.2.1. Deformasyonlar

Deformasyonlar esnek üstyapılarda, kaplama imalatından bir süre sonra görülen yapısal ve kalıcı bozukluklardır. Deformasyonların ayrıca sürüş emniyeti ve konforu açısından da önemli sakıncaları vardır. Genel olarak düşük stabiliteli bitümlü sıcak karışım imalatı deformasyonlara neden olur. Bunun dışında deformasyonlara neden olan önemli etkenler;

- Kaplama tabakalarının yetersiz sıkıştırılması
- Aşınma tabakasında aşırı bitüm ve filler kullanılması
- Alt tabakalarda ve zeminde aşırı hacim değişikliği olması
- Tabaka kalınlıklarının yetersiz oluşu
- Yetersiz drenaj (Tunç, 2007).

1.4.2.1.1. Tekerlek İzi Oluşumu

Tekerlek izi, kabaca; asfalt kaplamaların tekerleklerinin geçtiği kısımlarında oluşan uzunlamasına oturmalar olarak tanımlanabilir (Şekil 9). Gerek teknik ve gerekse ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen bozulma tipidir. Tekerlek izleri, kaplamanın altındaki bir ya da birden fazla tabakada, trafik tesirinin neden olduğu konsolidasyon ya da yanıl

hareketler veya trafik tesiriyle kaplamanın kendisinden oluşan yer değiştirmeler sonucu meydana gelebilir(Ensar, 2006; Bostancıoğlu, 2012; Kizirgil, 2013).

Tekerlek izi oluşumuna sebep olan etkenler;

- Aşırı asfalt ve filler yüzdesi veya filler/bitüm yüzdesi,
- Karışımda yuvarlak dere malzeme kullanılması,
- Karışımın yetersiz sıkıştırma.
- Ağır trafik y¼k¼ ve tekerr¼r sayısının fazlalığı ve ağır taşıtların hızı,
- Y¼ksek hava sıcaklığı ve d¼ř¼k viskoziteli asfalt,
- Yetersiz temel tabakası kalınlığı ve zemin mukavemeti,
- Alt tabakanın veya tabanın oturmaya maruz kalması,
- Doğal zeminin ve ¼st tabakaların yanal hareketi,
- Drenaj yetersizliği ve/veya yetersiz sıkışma nedeniyle ¼styapı tabanının stabilitesini kaybetmesi, taşıma g¼c¼n¼n zayıflaması (Kizirgil,2013).



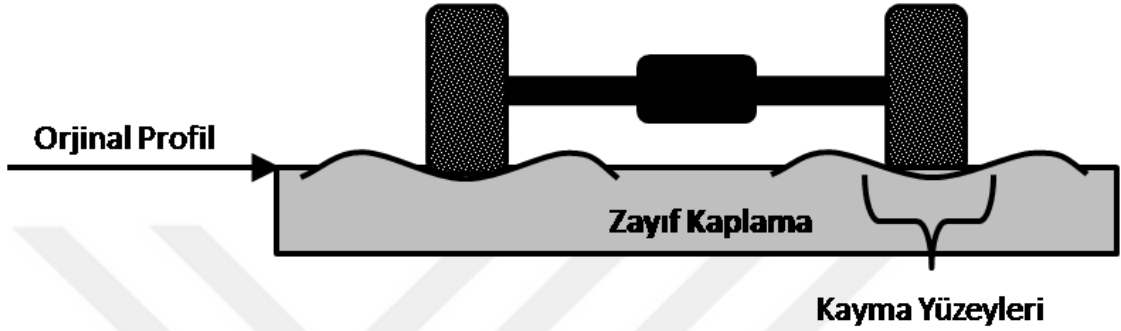
şekil 9. Tekerlek izi oluşumu (Yılmaz, 2016).

Bitüml¼ sıcak karışım tabakaları, tekrarlı ağır y¼klere maruz kaldıklarında b¼nyelerinde iki tip tekerlek izi oluşmaktadır.

1. Akma tekerlek izi
2. Yapısal tekerlek izi

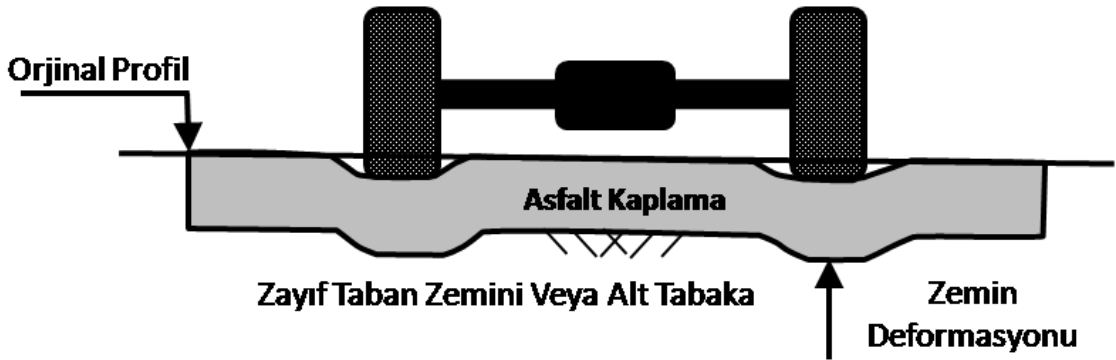
Akma tekerlek izi; sıcak karışımın trafik y¼klerine karşı koyacak kayma mukavemetine sahip olmaması durumunda oluşur (şekil 10). Bu durumda araç tekerleğinin temas ettiği b¼l¼mlerde ç¼kme, kenarlarında ise kabarmalar gözlenir. Akma tekerlek izi,

genellikle çıkış eğimli kesimlerde, kavşak yaklaşımlarında ve kurplarda, yani ağır taşıtların hızlarını azalttığı kesimlerde ve lastik ile kaplama arasındaki değme alanında ortaya çıkan teğetsel gerilmelerin yüksek olduğu kesimlerde meydana gelir. Plastik akma, karışımın yük altında yanal hareketidir. Bu durum ise karışımda aşırı asfalt ve yuvarlak agrega bulunması ve yetersiz sıkıştırma sonucu oluşur (Bostancıoğlu, 2012).



Şekil 10. Akma tekerlek izi oluşumu

Yapısal tekerlek izleri; yalnızca asfalt kaplama tabakasında değil aynı zamanda kaplama altındaki tabakalarda da (taban zemini dahil) tekerlek izi oluşması durumudur (Şekil 11). Yapısal tekerlek izlerinde kenarlarda kabarma oluşmaz. Bozulmanın nedeni, asfalt kaplama tabakası ve alt tabakaların yetersiz kalınlıkları, temel ve alt temel tabakalarının stabiliteilerinin düşüklüğü, zemin tabakasının sağladığı desteğin azlığı, kötü drenaj, donma çözülme etkileri ve kaplamanın maruz kaldığı yüklerin büyüklükleri ve şiddetidir (Bostancıoğlu, 2012).



Şekil 11. Yapısal tekerlek izi oluşumu

1.4.2.1.2. Oturmalar ve Çökmeler

Oturmalar, kaplama altındaki malzemenin oturması sonucu oluşur. Yol eksenine paralel kenar şeritlerde uzunlamasına ya da enlemesine oluşur (Şekil 12).

- Alt tabakaların yetersiz kalınlığı,
- Altyapıda oturmalar,
- Yan desteklerin olmayışı (banketlerin yetersizliği),
- Yer altı su seviyesinin yüksekliği,
- Yetersiz drenaj,
- Temel ve temel altı malzemelerinin taban zemininden gelen kille karışması gibi etkenler oturmaya neden olur (Ensar, 2006).



Şekil 12. Bitümlü sıcak karışımlarda oturma (Yılmaz, 2016).

Çökmeler, yolun plan ve boy kesitine göre düşük kotta kalmış çatlakları içeren ya da içermeyen ve orijinal kaplama sathına göre alçakta kalmış, 0,5–1,5 m. dairesel çapta ve derinlikleri 2–5 cm. ya da daha fazla olabilen ve yağışlardan sonra içlerinde su biriken küçük çukurlardır (Şekil 13). Çökmelere sebep olan etkenler;

- Üstyapı kalınlıklarının yetersiz oluşu ve üstyapının yetersiz sıkıştırılması
- Yetersiz drenaj nedeniyle suyun temel altında birikimi
- Temel ve alttemel malzemelerinin kille karışması
- Kaplamanın taşıyabileceğinden daha ağır trafik yükü ile karşılaşması
- Yanlış yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü

- Kaplamada düşük kaliteli agrega kullanım (Kizirgil, 2013).



Şekil 13. Bitümlü sıcak karışımlarda çökme (Yılmaz, 2016).

1.4.2.1.3. Ondülasyonlar (Dalgalanmalar ve Yığılmalar) ve Kabarmalar

Ondülasyon, yol üzerinde trafiğin akışına göre enine doğrultuda oluşan ve aralıkları yaklaşık olarak eşit olan, belirli biçimde dalgaya benzeyen, plastik bir hareket sonucu oluşan kaplama deformasyonlarıdır (Şekil 14). Genellikle kavşaklar, otobüs durakları, tırmanma şeritleri gibi kesimlerde ondülasyon (veya dalgalanma) şeklinde görülür. Bu tür deformasyonun nedenleri aşağıda sıralanmıştır (Bostancıoğlu, 2012).

- Aşırı asfalt
- Binder tabakası eksikliği
- Zayıf yapıştırma tabakası
- Düşük stabiliteli karışımlar
- Yetersiz aşınma tabakası kalınlığı
- Yüksek penetrasyonlu ya da çok düşük viskoziteli asfalt
- Çok dik kesimlerde ağır taşıtların durma ve kalkma hareketi
- Kavşaklarda, otobüs duraklarında vb. kesimlerde frenleme ve kalkma hareketleri (Tunç, 2007).



Şekil 14. Kaplamalarda ondülasyon oluşumu (Yılmaz, 2016).

Kabarmalar, üstyapının bir kısmının ya da tabii zeminin şişmesi sonucu yukarı yönde yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Kabarmaların genel olarak, üstyapı içindeki granüler tabakalar ya da zemin içinde oluşan buzun genişmesi sonucu oluşur. Ayrıca şişmeye neden olan nemden dolayı da kabarmalar oluşabilmektedir (İsfalt, 2002; Yılmaz, 2016).

1.4.2.2. Çatlaklar

Çatlaklar aşırı büzülme, aşırı sertleşme ve tabakalar arasındaki aşırı kaymadan dolayı oluşmaktadır. Aşırı büzülme veya hacimce azalmadan kaynaklanan çatlaklar en fazla görülen bozulmalardandır. Çatlaklar üzerinde trafik etkisi incelendiğinde ise çatlamlar tek veya birçok dingil yükü geçişi ya da dingil yüklerinin aşırı tekrarı sonucu ortaya çıkar. Ayrıca, araçların ani hızlanma veya yavaşlamalarının yol açtığı yatay kuvvetler de çatlaklara neden olabilir. Trafikten başka sıcaklıktaki değişimler emici agregaların kullanımı, bitümlü bağlayıcıdaki uçucu madde buharlaşması, nem miktarındaki değişimler, çimento veya kireç ile stabilize edilmiş tabakalarda kür esnasındaki hacim değişimleri gibi bazı dış etkenlerde çatlaklara yol açabilir. Etkenler tek başlarına veya trafik etkileri ile birleşerek üstyapının çatlmasına neden olabilir. (Tunç, 2001; Çubuk, 2001; Kizirgil, 2013).

Çatlak çeşitleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Tunç, 2004; Kizirgil, 2013; Yılmaz, 2016) :

- Timsah Sırtı ve Yorulma Çatlamaları
- Kayma Çatlakları
- Kenar Çatlakları
- Enine Çatlaklar
- Boyuna Çatlaklar
- Derz Çatlakları
- Düşük Sıcaklık Çatlakları
- Yansıma Çatlakları

Timsah sırtı çatlakları, değişik boyutlarda timsah derisine ya da kümes teline benzer görünümde, bloklar halinde kaplamanın tüm kesitinde ya da belirli kesimlerinde oluşan çatlaklardır (Şekil 15). Bu tür çatlaklara yetersiz drenaj nedeniyle zemin veya temel tabakasının doymun hale gelmesi sonucu oluşan oturmalar neden olur. Kayma çatlakları, kaplama tabakasının temel tabaka üzerinde kayması sonucu oluşur. Kayma çatlaklarına yetersiz kaplama kalınlığı, yetersiz yapışma tabakası, aşırı ağır taşıtlar ve karışımın kum içermesi gibi nedenler sebebiyet verir. Kenar çatlakları genellikle kaplama kenarından 30-50 cm içeride oluşurlar. Donma etkisi, kaplama kenarında yetersiz taşıma gücü ve üstyapının kenarında aşırı trafik yüklenmesi, üstyapı kenarında ve bankette yetersiz drenaj ve üstyapı genişliğinin yetersiz olması nedeni ile trafiğin banket kenarına yakın seyretmesi kenar çatlakları oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 16). Enine çatlaklar yol eksenine dik olarak oluşur. Genellikle nadir görülür ve köprü yaklaşımlarında ve drenaj yapıları civarında oluşur. Yolun tüm kesitinde birbirlerine yakın olmayan ince kılcal çatlaklar halinde görülür. Enine çatlaklara yetersiz drenaj, düşük sıcaklık, yetersiz üstyapı kalınlığı, sericinin uzun süreli duraklaması ve alt tabakadaki çatlağın yansıması gibi faktörler neden olmaktadır (Şekil 17). Boyuna çatlaklar ise dolgularda yetersiz sıkışma ve yetersiz drenaj nedeniyle oturma, dolgunun yanal hareketi, çevre ve iklim şartları (don etkisi ve nem değişiklikleri), üstyapının taşıma gücünün yetersiz oluşu ve bunun trafik yükü ile birleşmesi sonucu oluşan oturmalar (Şekil 18). Derz çatlakları, kaplama ek yerlerinde serme ve sıkıştırma esnasında, hatalı işçilik ve sıkıştırma yapılması nedeniyle zamanla oluşur. Büzülme çatlakları, üstyapının tüm genişliği boyunca veya bir kısmında bazen de tekerlek geçişlerinde yol boyunca değişken aralıklarda periyodik olarak enine yönde ince çatlaklar olarak başlayan zamanla artarak mozaik veya timsah sırtı şekillerine dönüşen çatlaklardır. Timsah sırtı veya yorulma çatlaklarından farkı birbirine bağlı blokların genellikle keskin köşeli dik açılı ve geniş olmasıdır. Bu tür çatlaklar asfalt betonunun kendi

içinde veya temel - alttemel tabakalarda oluşan hacim değişiklikleri sebebiyle oluşmaktadır. Düşük ısı çatlakları, soğuk havalarda asfalt kaplamanın büzülmesi sonucu oluşur. Bu türden çatlaklar trafik etkilerine göre daha çok mevsimsel etkiler sonucu meydana gelirler (Şekil 19). Yansıma Çatlakları, bozulmuş esnek kaplama üzerine asfalt takviye tabakası yapılacak olursa eski kaplamadaki çatlakların zamanla takviye tabakasında da görülmesiyle oluşan çatlaklara denilmektedir. Yansıma çatlakları, yüzey dağılmasının kaynağı olabilirler. Takviye tabakası altında yer alan çatlaklar üstyapıdaki yatay ve düşey hareket nedeniyle oluşurlar. Bu harekete, trafik, sıcaklık değişimi nedeniyle genleşme ve büzülme, yüksek kil içerikli alt yapılarıdaki nem kaybı veya sıralama, bu etkenlerin bileşimi yol açar (Şekil 20) (Çubuk, 2001; İBB, 2001; İBB, 2002; Tunç, 2007; Kizirgil, 2013; Yılmaz, 2016).



Şekil 15. Timsah sırtı çatlaklar (Kirizgil, 2013).



Şekil 16. Kenar çatlakları (Kirizgil, 2013).



Şekil 17. Enine çatlaklar (Kirizgil, 2013)



Şekil 18. Boyuna çatlaklar (Kirizgil, 2013)



Şekil 19. Düşük ısı çatlakları (Yılmaz, 2016)



Şekil 20. Yansıma Çatlağı (Yılmaz, 2016)

1.4.2.3. Ayrışmalar

Agrega tanelerinin iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile kaplamadan kopması sonucu meydana gelen ve karayollarında çok sık görülen bozulmadır. Ayrışmalar soyulma ve sökülme şeklinde görülür (Kizirgil, 2013).

1.4.2.3.1. Soyulmalar

Soyulmalar; agrega tanelerini saran ince asfalt filminin çeşitli etkilerle agregadan ayrılmasından dolayı agrega tanesinin çıplak kalmasıdır.

Soyulmaların oluşma nedenleri;

- Su ve trafik etkisi
- Bitümlü sıcak karışım içinde kil toprakları veya kille kaplı agrega bulunması
- Zayıf sıkışma ve yüksek boşluk yüzdesi
- Yetersiz asfalt yüzdesi
- Yaşlanma nedeni ile oluşan asfalt sertleşmesi
- Uygun olmayan yapım teknikleri ve ekipman kullanımı
- Donma çözünme olaylarının tekrarlanması ile absorpsiyonu ve kırılabilirliği yüksek agregaların kullanımı (İBB, 2002; Kizirgil, 2013).

1.4.2.3.2. Sökülmeler

Agrega tanelerinin yerlerinden ayrılmasıyla, yüzeyden aşağıya ya da kenardan içe doğru gelişen bozulmalardır. Sökülme öncelikle ince malzemelerin yüzeyden ayrılması ve küçük boşluklar bırakmalarıyla başlar ve daha sonra aşındırma ile daha büyük parçaların ayrılması şeklinde devam eder. Sökülme bir anlamda kaplamanın erozyonudur. Sökülmenin üst düzeydeki göstergesi, çanak şeklinde, çapları 25 cm ile 75 cm arasında değişen ve farklı derinlikteki çukurlardır.

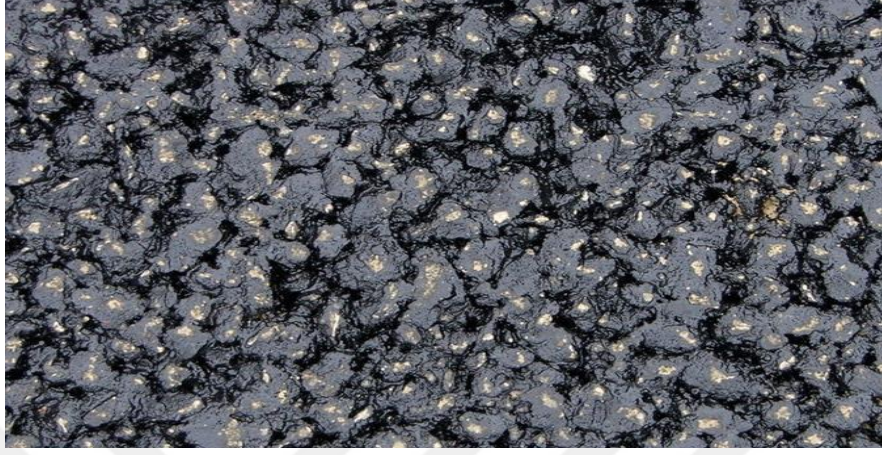
Sökülmelerin oluşma nedenleri;

- Yetersiz sıkıştırma
- Kirli ve parçalanmış agreganın kullanımı
- Soğuk ve yağışlı havalarda imalat
- Bitüm miktarı azlığı
- İnce tabaka kalınlığı
- Karışımın aşırı ısıtılması (Ilıcalı vd. 2001; Tunç, 2007; Bostancıoğlu, 2012).

1.5. Taş Mastik Asfalt (TMA)

Bitümlü sıcak karışımın bir türü olan Taş Mastik Asfalt, iri agregadan oluşmuş bir iskelet, mastik harç ve hava boşluğundan meydana gelir. Ayrıca Taş Mastik Asfalt, TS EN 13108-5'e göre de bir mastik harçla bağlanmış iri kırılmış agreganın iskeletinden oluşan, bağlayıcı olarak bitümlü hazırlanan kesikli derecelenmiş tane büyüklüğü dağılımına sahip asfalt karışımı şeklinde tanımlanmaktadır (Şekil 21). İskelet yapı, yük aktarımını sağlayan uygun büyüklükteki kaba agreganın taneleri ile oluşur. Mastik, Taş Mastik Asfalt bileşiminin ikinci önemli içeriğidir. Mastik kısım, ince agreganın (pasif; yük aktarmayan kısım), filler, stabilizör ve bitümlü bağlayıcıdan ortaya çıkar. Bağlayıcı ve filler bir arada harcı oluşturur. Uygun özellikte ve miktarda fillerin kullanımı işlenebilirliğin artmasına, bağlayıcı kullanımı ise dayanımın artmasına neden olur. İnce agreganın kullanılmasının birinci nedeni, kaba agreganın taneleri arasındaki boşlukları doldurmak, ikinci nedeni ise kaba agreganın tanelerinin etkileşimlerine katkı sağlamaktır. Taş Mastik Asfalt'da, geleneksel asfalt karışımlarına göre daha yüksek oranda bitümlü bağlayıcı kullanılması nedeniyle, depolama, nakil, serme, sıkıştırma sırasında bitümün karışımdan süzülmesini engellemek amacıyla

stabilizör (fiber, polimer vb.) kullanılır. Taş Mastik Asfalta ait dizayn kriterleri Tablo 3’de verilmiştir (Blazejowski, 2011; Arslan, 2014).



Şekil 21. Taş Mastik Asfalt yüzeyi

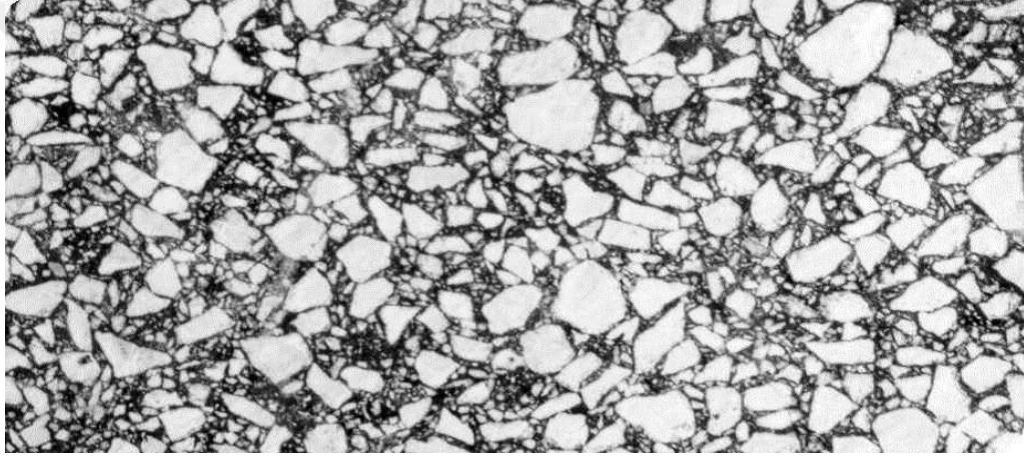
Tablo 3. TMA dizayn kriterleri (KTSŞ, 2013).

Özellikler	Şartname Limitleri		Deney Standardı
	TMA Aşınma	TMA Binder	
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50	50	TS EN 12697-30
Hava Boşlukları (%)	2 – 4	3 – 4	TS EN 12697-8
Sıcak İklim Bölgelerinde Hava Boşlukları (%)	3 – 4		
Agregalar Arası Boşluk (VMA), (%) min.	TİP - 1	13	TS EN 12697-8
	TİP - 2		
Bitümlü bağlayıcı, (%), min.	TİP - 1	5,2	TS EN 12697-1
	TİP - 2		
İndrekt Çekme Mukavemeti (İÇM) Oranı, min. %	80	80	AASHTO T 283
Tekerlek İzinde Oturma* (30.000 devirde, 60 °C’de), (%) maks.	6	6	TS EN 12697-22
Elyaf Miktarı, %	0,3 – 1,0	0,2 – 0,8	
Schellenberger Bitüm Süzülme Deneyi,(%) maks.1	0,3	0,3	TS EN 12697-18
Not: Tabakalar arası yapışma dayanımı TS EN 12697-48’e göre yapılacaktır.			

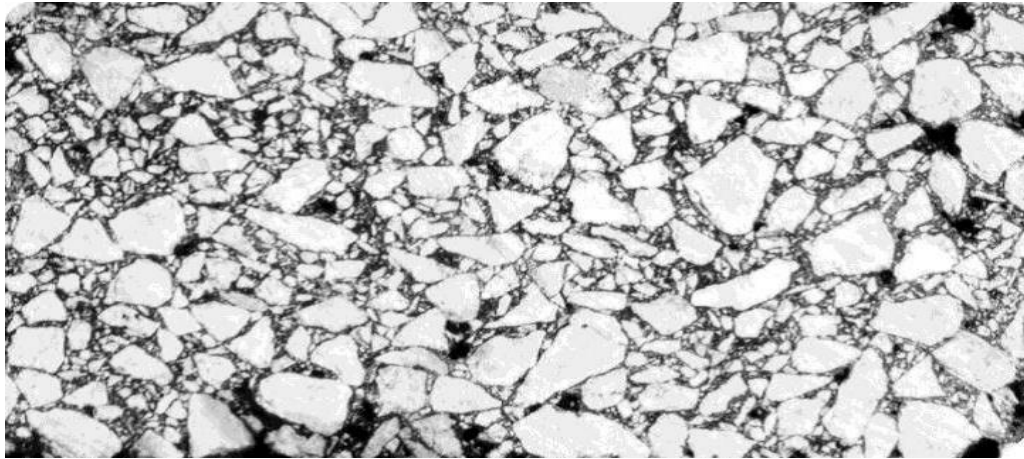
Taş Mastik Asfalt 1960’lı yılların sonunda Almanya’da çivili kar lastiklerinin oluşturduğu plastik deformasyonlara karşı koymak amacıyla geliştirilmiş bir karışım

tipidir. Bugün Taş Mastik Asfalt Avrupa ülkeleri ile Japonya ve ABD’de kullanılmaktadır. Türkiye’de ise ilk Taş Mastik Asfalt uygulamalarına 1998 yılında KGM’nin sorumluluğunda başlanmış olmakla beraber bu Taş Mastik Asfaltlı kesimler 1999 yılından itibaren kullanıma açılmıştır (Orhan, 2011; Arslan, 2014).

Taş Mastik Asfaltı geleneksel asfalt karışımından ayıran en önemli özelliği yüksek kaba agrega gradasyonu, filler ve bağlayıcı içeriğine sahip boşluklu bir sıcak karışım olmasıdır (Şekil 22-23). Bu farklı içerik ile stabilite ve performans (sürüş konforu ve emniyeti) açısından daha üstün nitelikli bir aşınma tabakası elde edilir (NAPA, 1999; Arslan, 2014).



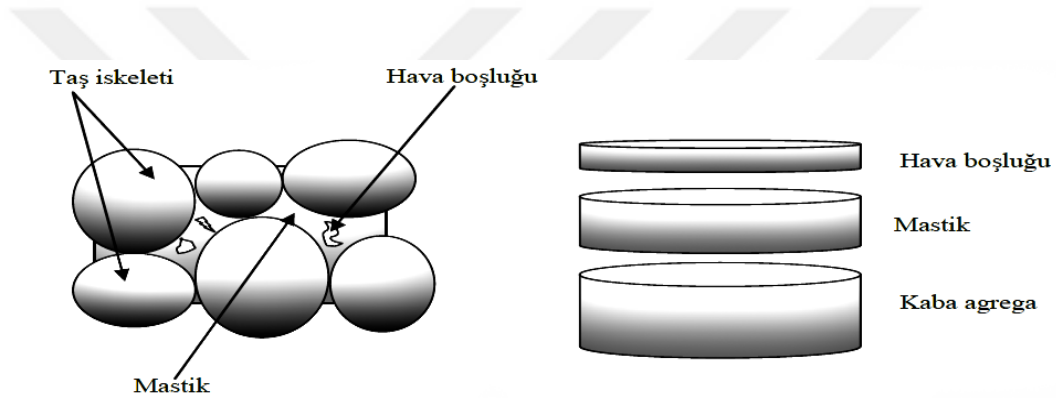
Şekil 22. Aşınma tabakası (BSK) kesiti(Orhan, 2011).



Şekil 23. TMA kesiti (Orhan, 2011)

1.5.1. Taş Mastik Asfaltın Hacimsel Yapısı

Taş Mastik Asfaltın iskeleti iri agregadan oluşurken boşlukları dolduran ince agrega+filler+bitüm+elyaf harcının karışımıdır (Şekil 24). Taş Mastik Asfalt aşınma tabakaları genel olarak %70-80 kaba agrega,%20-30 ince agrega ve %6-7 gibi oldukça fazla asfalt içeren kesikli gradasyona sahip asfalt bağlayıcı karışımlardan üretilirler. Taş Mastik Asfalt karışımlarında kullanılan kaba agrega, asfalt betonunda kullanılan kaba agregaya oranla daha sağlam ve filler yüzdesi daha fazladır. Bu durumda yüksek asfalt içeriğini sağlamak ve asfaltın dren olmasını önlemek amacıyla karışıma elyaf türü stabilizör eklenmektedir (Tunç, 2004; Orhan, 2011; Arslan, 2014).



Şekil 24. Taş Mastik Asfalt bileşimi (Yardım ve Arslan, 2013).

1.5.2. Taş Mastik Asfaltların Kullanım Amacı ve Uygulama Alanları

1. TMA yüksek oranda asfalt içeriğine sahip olması nedeniyle, daha kalın film tabakası oluşmakta dolayısı ile dayanım da artmaktadır.
2. TMA'da geleneksel asfalt karışımlara oranla daha fazla asfalt bağlayıcı kullanıldığından hem stabilite hem de performans (sürüş konforu ve emniyeti) açısından daha üstün nitelikli bir aşınma tabakası elde edilebilmektedir.
3. TMA karışımında boşluklu gradasyona sahip yüksek oranda kırılmış agrega kullanılmasından ötürü içsel sürtünme direnci artmakta ve tekerlek izi deformasyonlarına karşı daha dirençli olmaktadır.
4. TMA tabakası geleneksel asfalt aşınma tabakasından daha ince olarak yapılabilmesinden dolayı, daha çabuk imal edilmekte ve daha az bakım gerektirmektedir. Sonuç olarak TMA tabakası, kalıcı deformasyonlara, aşınmaya

karşı daha dirençli, homojen ve geçirimsiz oluşu nedeniyle yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak kullanılmaktadır.

5. Yüksek hava sıcaklıkları ve ağır dingil yükleri nedeniyle oluşan tekerlek izinde oluklaşma şeklindeki plastik deformasyonlara karşı dayanımı daha yüksektir.
6. TMA düşük sıcaklıkta çatlamalarını geciktirir.
7. TMA'da agrega soyulması önlenir.
8. TMA'da kesikli gradasyon nedeniyle, yüzey pürüzlülüğünü artırır (Orhan, 2011; Arslan, 2014).

Ancak; TMA karışımına pahalı stabilizör katılması, daha çok bağlayıcı kullanılması ve daha dayanıklı agrega kullanmak zorunluluğu nedeniyle maliyeti nispeten (%20 - %30) daha fazla olmaktadır (Arslan, 2014).

Taş Mastik Asfaltlar'ın uygulama alanları genel olarak;

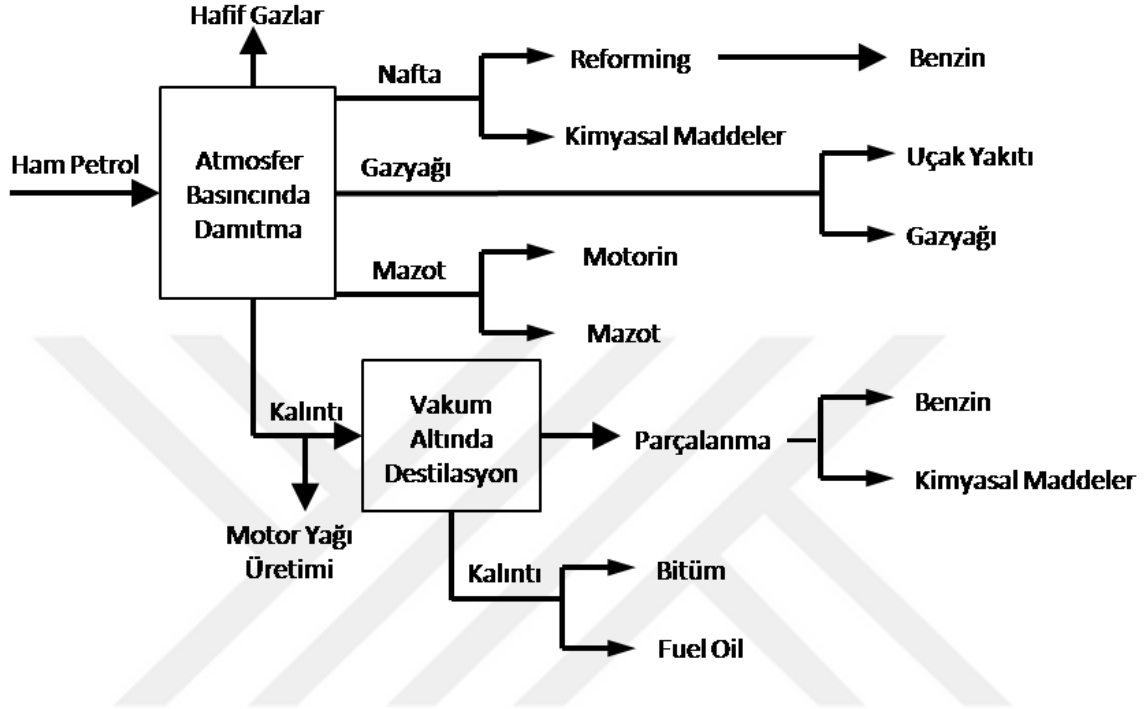
- Otoyolları
- Havaalanları
- Köprü döşemeleri
- Kavşak noktaları
- Otobüs durakları
- Otobüs yolları
- Yarış pistleri
- Çivi lastik aşınmasına karşı direnç gerektiren kesimlerde (Napa,1999; Ensar, 2011; Arslan, 2014).

1.6. Taş Mastik Asfaltta Kullanılan Malzemeler

1.6.1. Bitümlü Bağlayıcılar

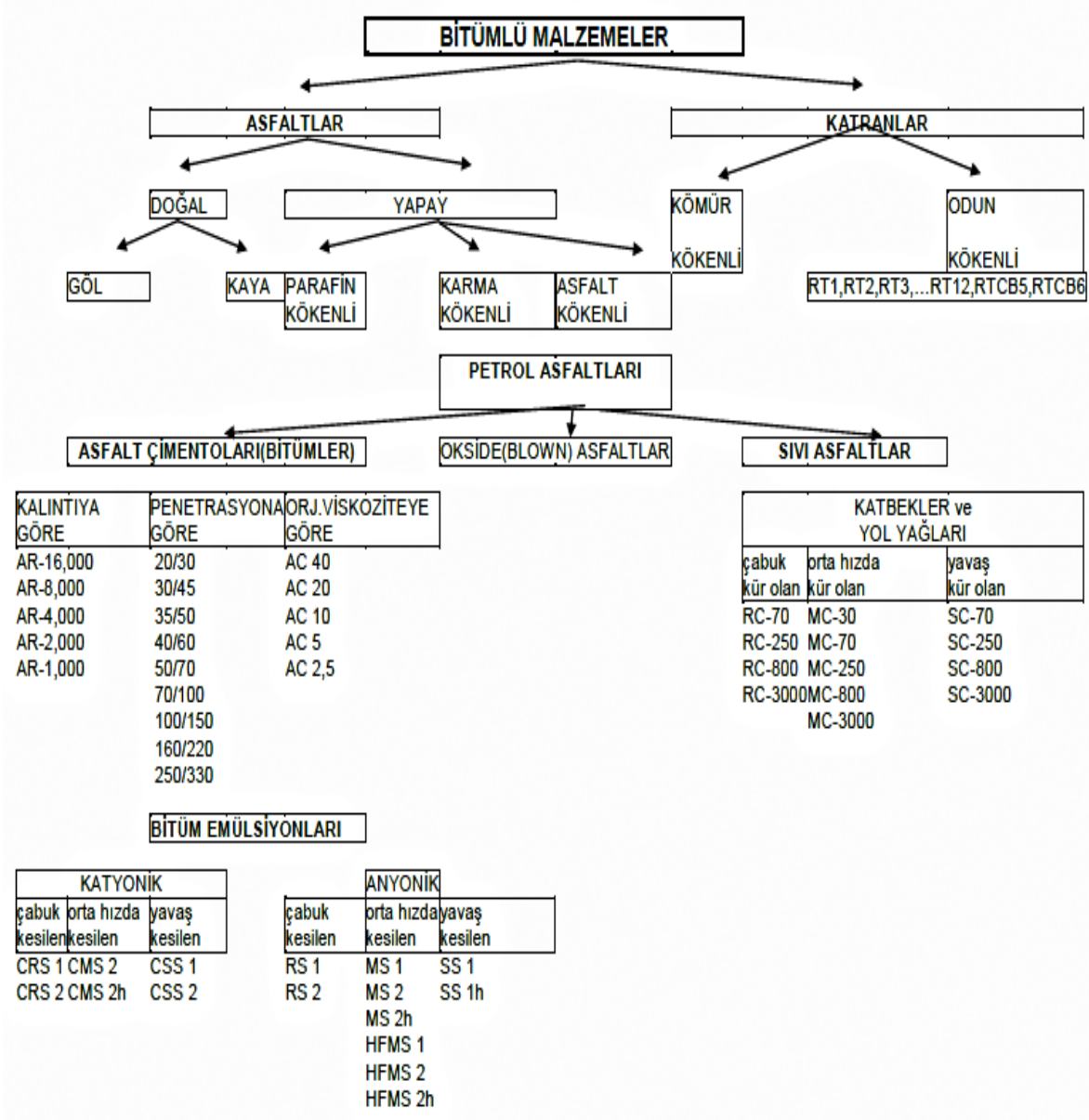
Bitümlü kaplamaların yapımında kullanılmak üzere kıvamlılık ve kalitesi bakımından özel olarak hazırlanmış olan yumuşatılmış veya yumuşatılmamış bir bağlayıcı olarak tanımlanabilen bitüm, doğal kökenli hidrokarbonların bir karışımı ya da pirojenik kökenli (doğal, ısı etkisiyle oluşan) hidrokarbonların bir karışımı ya da bunların her ikisinin bir kombinasyonu olup (karbon, hidrojen, nitrojen, sülfür ve oksijen ,kütle yoğunluk oranları sırasıyla%82-88, %8-11, %0-1,%1-6 ve %0-1,5) çoğunlukla bunların

gaz, sıvı, yarı katı veya katı halde olabilen, metal dışı türevleriyle bir arada bulunan, yapıştırıcı özellikleri olan ve karbondisülfürde tamamen çözünen maddedir .Şekil 25’de ham petrolden bitüm üretilme süreci görülmektedir (İsfalt, 2002).



Şekil 25. Ham petrolden bitüm üretilme süreci

Bitümlü bağlayıcılar, yarı katı, katı veya sıvı halde bulunurlar. Yarı katı ve katı haldeki bitümleri, ısıtarak sıvı hale getirip kullanmak mümkündür. Sıvı halden tekrar önceki haline gelirken yapışkanlıkları sayesinde kohezyon ve adezyon gibi iki önemli özelliği gösterirler. Adezyon, yapışma özelliği, kohezyon ise çatlama ve ayrılma olmaksızın şekil değiştirme özelliğidir. Bitümlü bağlayıcıların fonksiyonu, agrega taneleri ve agrega ile yol yüzeyi arasında bağlantıyı (yapışmayı) sağlamaktır. Şekil 26’dan da görüleceği üzere bitümlü bağlayıcılar esas itibarıyla asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki ana gruba ayrılabilirler (Oruç vd., 2003).



Şekil 26. Bitümlü bağlayıcının sınıflandırılması (Orhan, 2011)

1.6.1.1. Asfaltlar

Asfalt, hidrokarbon moleküller ile az miktarda, yapısal olarak benzer heterosiklik türler ve oksijen, nitrojen ve sülfür atomları içeren fonksiyonel grupların kimyasal bir karışımıdır. Aynı zamanda asfalt, oksitler, inorganik tuzlar veya porfirin yapıları şeklinde ortaya çıkan vanadyum, nikel, demir, kalsiyum ve magnezyum gibi metaller de içerir. Farklı ham petrolerden elde edilen asfaltların analiz sonuçları genel olarak; %82-88

oranında karbon, %8-11 oranında hidrojen, %0-6 oranında sülfür, %0-1.5 oranında oksijen, %0-1 oranında nitrojen elementlerini içermektedir (Yılmaz, 2016).

Şekil 26'da görüldüğü üzere asfaltlar doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Konumlarına göre göl ve kaya asfaltı diye adlandırılan doğal asfaltlar, doğada genellikle mineral maddelerle karışmış halde bulunurlar. Trinidad göl asfaltı, en yaygın kullanılan göl asfaltıdır. Rezervi 10-15 milyon ton olan Trinidad Adası Venezuela sınırlarında Güney Amerika'dadır. Rafine edildikten sonra yaklaşık %55 asfalt içerir. Dünya'da bundan başka göl asfaltlarında bulunmaktadır (Orhan, 2011).

Kaya asfaltı oldukça gözenekli kalkerin, daha seyrek olarak da kum taşının doğal yollardan asfaltı emmesinden oluşur. Mineral madde oranı genellikle malzemenin %90'ını oluşturur, bitüm oranı ise %10 kadardır. Ülkemizde bulunan kaya asfaltları daha çok kum taşı, kalker, kil gibi mineral maddeler ile %2-12 civarında asfaltın karışımından oluşmaktadır. Gilsonite (resin) ve unitaite en çok kullanılanlarıdır (Ceylan, 2006; Arslan, 2014).

Bitümlü karışımlarda göl ve kaya asfaltları, asfalt çimentosuna katılarak ya da plentte agregaya ilave edilerek, modifiye bitüm ya da modifiye karışım hazırlamakta kullanılmaktadır. Doğal asfaltlar, mastik asfalt, poroz asfalt ve asfalt betonu yapımında kullanılabilir. Doğal asfaltlı karışımlarda, plastik deformasyonlara karşı dayanım ve bitüm agrega adezyonu artmaktadır (Orhan, 2011).

Hidrokarbonların katı sıvı ve gaz halinde bulunmasına verilen genel ad petroldür. Petrolün katı haldeki birleşimlerine göre asfalt-parafin veya bitüm, sıvı halde olan hidrokarbonlara ham petrol, gaz halindekilere ise doğal gaz denilmektedir (Avcı, 2009).

Ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen yapay asfaltlar petrol içerisinde uçucu olan ve olmayan maddelerle birlikte bulunur. Ham petrol kuyulardan çıkarılır, rafinerilerden pompalarla tanklara iletilir, tanklardan da ısıtma kulelerine aktararak sıcaklığı yükseltir ve damıtma kulelerine geçer. Az uçucu özellikteki kısımlar bu kulelerin üst kısmından çıkar ve soğutucularda yoğunlaştırılarak ayrılır. Çıkan bu maddeler hafif ürünleri, daha az uçucu olanlar orta ürünleri, en ağır uçanlar ise ağır ürünleri meydana getirirler. Asfaltı içeren kalıntı maddeleri ise kulenin dibinde birikir. Bu şekilde ham petrol başlıca beş kısma ayrılmış olur. Ayrıca bu kısımlar tekrar damıtılarak farklı petrol ürünleri üretilebilir (KGM, 1993).

1. Benzin (Gazolin)
2. Gaz yağı (Kerosen)

3. Dizel yağları (Mazot)
4. Yağlama yağları
5. Ağır kalıntı maddeler

1.6.1.1.1. Asfalt Çimentosu

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt çimentoları, özellik ve kıvam bakımından doğrudan doğruya bitümlü kaplamalarda kullanılmak üzere hazırlanmış petrol kökenli asfaltlardır. Asfalt çimentolarının tamamı agregalar ile karıştırılmadan önce belirli derecelere kadar ısıtmaya ihtiyaç gösterirler (Gençtürk, 2011).

Kalıntı maddelerinin ileri damıtılması ile SC sınıfı yavaş kür olan yol yağları elde edilir ve geriye asfalt çimentosu kalır. AC ile gösterilen asfalt çimentoları, 10-300 arasında değişen Tablo 4’de verilen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılırlar. Bu penetrasyon asfaltları daha sert olanların daha yumuşak olanlar ile karıştırılmasından elde edildiği gibi, sert olanların yüksek kaynama noktalı bir yağ ile yumuşatılması yolu ile de elde edilebilir (KGM, 1988).

Tablo 4. Asfalt çimentolarının sınıflandırılması

Penetrasyon Sınıflandırması	Viskozite Sınıflandırması
40 - 50 Penetrasyonlu AC	AC - 40
60 - 70 Penetrasyonlu AC	AC - 20
85 - 100 Penetrasyonlu AC	AC - 10
120 - 150 Penetrasyonlu AC	AC - 5
200 - 300 Penetrasyonlu AC	AC - 20,5

1.6.1.1.2. Sıvı Petrol Asfaltları

Sıvı petrol asfaltları, bitümlü makadamlarda ve yüzeysel kaplamalarda kullanılmak üzere agrega ile soğuk halde veya agrega yüzeyindeki nemin kurummasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılabilmesi mümkün olan bir akışkan asfalt elde etmek amacıyla geliştirilmiştir. Yolda bağlayıcı olarak kullanılmalarının yanında astarlama işlerinde de kullanılırlar. Sıvı petrol asfaltları, yolda kullanıldığında içerisindeki yağların uçması

sonucu geriye sadece asfalt çimentosu (AC) kalır ve bu işleme kür olma denir (Arslan, 2014).

Sıvı petrol asfaltları, ısıtılmış bitümlere (B 70/100, B 100/150 gibi) benzin, gazyağı ya da bakiye yağ karıştırılması ile üretilir. Asfalt çimentosuna;

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

Kullanılan bitümün sınıfı ve oranı ile çözücü miktarına göre, değişik sınıflarda sıvı petrol asfaltı tipleri hazırlanır (Orhan, 2011).

1.6.1.1.3. Bitüm Emülsiyonları

Bitüm emülsiyonları, bitüm taneciklerinin emülgatör yardımı ile su içerisinde dağılması ile oluşan bitümlü bağlayıcılarıdır (KTŞ, 2013).

Yol üstyapılarında kullanılan asfalt emülsiyonları emülgatör cinsine bağlı olarak Anyonik ve Katyonik Bitüm Emülsiyonları olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Bitüm emülsiyonu, agrega ile karıştırıldığında ya da yolun yüzeyine püskürtüldüğünde kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agregaların üzerine yapışırlar. Bu arada serbest kalan su da buharlaşır. Yol üstyapılarında kullanılan asfalt emülsiyonlarının, viskozitelerine göre tipleri ve kullanım yerleri aşağıdaki Tablo 5’de verilmektedir (Orhan, 2011).

Tablo 5. Bitüm emülsiyonu tipleri

Emülsiyonu	Çabuk Kesilen	Orta Hızda Kesilen	Yavaş Kesilen
Anyonik	RS-1	MS-1	SS-1
	RS-2	MS-2	SS-1h
		MS-2h	
Katyonik	CRS-1	CMS-2	CSS-1
	CRS-2	CMS-2h	CSS-1h

Bitüm emülsiyonları sathi kaplamalarda, astar uygulamalarında, penetrasyon makadamlı kaplamalarda, çok zayıf agregaların emdirme işleminde ve zemin stabilizasyonunda kullanılırlar (Terrel ve Wang, 1971).

Bitüm emülsiyonları tabakalara göre farklı tiplerde kullanılır. Astar tabakasında, SS-1, SS-1h, CSS-1, CSS-2 tipleri, yapıştırma tabakasında, RS-1, RS-2, CRS-1, CRS-2 sathi kaplamada RS-1, CRS-1, CRS-2 ve soğuk karışımda MS-2, SS-1 tipleri kullanılmaktadır (Orhan, 2011).

1.6.1.2. Katranlar

Katran, kömürün veya odunun kapalı bir sistem içerisinde kuru kuruya damıtılmasından elde edilir ve bu haline ham katran denir. Katran genel olarak arıtıldıktan sonra kullanılır. Metalürjik amaçlar için kok elde edilmesi veya havagazı üretimi için kömürün kuru olarak damıtılması sırasında bir yan ürün olarak da katran elde edilebilir. Katran Yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılacaksa kömür kökenli olması tercih edilir. Katranın, agregaya yapışma özelliği asfalttan daha fazladır ancak ömrü asfalttan daha kısadır. Katranlar, yapışma özelliğinden dolayı asfalt çimentoları içerisinde dop olarak da kullanılabilirler.

RT (Road Tar) 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 (Gençtürk, 2011).

1.6.2. Polimer Modifiye Bitümler

Polimer Modifiye Bitümler (PMB), genelde asfalt kaplamalarda tekerlek izi oluşumunu, kaplamalardaki çatlakları, bitümün oksidasyonunu ya da kaplamanın sudan dolayı zarar görmemesini kontrol altına almak amacıyla, bitüme bir ya da daha fazla organik polimer karıştırılmasıyla oluşan bitümlü bağlayıcılardır (KTŞ, 2013).

Modifiye bitümlerin ve karışımların kullanım amaçları,

- Düşük sıcaklıklar için daha yumuşak karışımlar elde etmek ve çatlakları azaltmak.
- Yüksek sıcaklıklar için daha sert karışımlar elde etmek ve tekerlek izinde oturmayı azaltmak.
- Yapım sıcaklıklarında viskoziteyi düşürmek.
- İşlenebilirliğini sıkışmayı iyileştirmek.
- Karışım dayanımını ve stabilitesini artırmak.

- Karışımın aşınma dayanımını iyileştirmek ve agrega kopmasını azaltmak.
- Kaplamanın düşük sıcaklık çatlaklarını azaltmak.
- Karışımın yorulma dayanımını iyileştirmek.
- Marjinal asfalt çimentolarının kalitesini yükseltmek.
- Yaşlanmış asfalt bağlayıcıyı tekrar gençleştirmek.
- Marjinal agregaların kullanımı sağlamak.
- Asfalt bağlayıcının ömrünü uzatmak.
- Agrega üzerinde daha kalın asfalt filmi oluşturmak.
- Yapışmayı iyileştirmek ve asfalt çimentosunun agrega yüzeyinden soyulmasını azaltmak.
- Kusmayı azaltmak.
- Geliştirilmiş çatlak dolgusu sağlamak.
- Yakıt döküntülerine karşı dayanım artışı sağlamak.
- Yaşlanmaya ya da oksidasyona karşı dayanım artırmak.
- Kaplama tabakalarının kalınlığı azaltmak .
- Kaplamanı ömür-döngü maliyeti azaltmak.
- Kaplamaların tüm performansını geliştirmek.

PMB işyerinden uzakta merkezi bir plentte ya da özel mobil ünitelerde, kullanımdan önce, şantiyede üretilirler. Karışımın yapılacağı bölgenin iklim koşulları ve yolun trafiği dikkate alınarak, kaplamanın iyileştirilmek istenilen özelliklerine uygun modifiye bitüm tipi seçilir. Farklı modifiye edici katkıları kullanılarak, istenilen özellikleri sağlayan modifiye bitüm üretimi mümkündür (Orhan, 2011).

1.6.2.1. Polimer Modifiye Bitümlerde Kullanılan Katkılar

Bitümler ile birlikte polimer katkıların kullanımı konusunda ilginin arttığı son yıllarda, polimerlerin yol uygulamasında etkili olabilmesi, kaplamanın performansını çeşitli yönlerden geliştirmesi için bitüme karıştırılması, bu polimerlerin düşük sıcaklıklarda bitümü çok kırılğan veya karıştırma sıcaklığında modifiye bitümü çok viskoz yapmaması, bu koşullarda orta ve yüksek sıcaklıklarda dayanımı kalıcı deformasyon, aşınma, çatlama, yorulma, soyulma ve yaşlanma gibi alanlarda geliştirmesi beklenmektedir. Birçok polimer, bitümün modifikasyon sürecinde kullanılmakta fakat termoplastik elastomerler bitüm katkı

maddesi olarak yaygınca kabul edilmektedir. Polyolefinler ise daha çok su geçirmez membranların hazırlanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca başka birçok polimer üretilmekte ve önerilmektedir (Hicks ve Todd, 2001).

Polimerler hayatımız için büyük önemi olan moleküllerdir. Vücudumuzda bulunan polimerler, protein ya da enzimler gibi biyolojik kimyasallar iken, bitkilerde bulunan polimerler ise selüloz ya da nişasta gibi moleküllerdir. Ancak hepimizin gündelik hayatta en çok duyduğu ya da bildiği polimerler plastikler ve kauçuklardır (Arslan, 2014).

Polimerleri sınıflandırmasında genel bir sistem bulunmamaktadır. Polimerleri sınıflandırmada kullanılan en basit sistem, fiziksel özelliklerine göre sınıflandırma sistemidir. Bu sistemde polimerler üç ana sınıfa ayrılır: Termosetler (polyester, epoksi vb.), termoplastikler (polietilen, naylon vb.) ve elastomerler (kauçuk vb.) (Arslan, 2014).

Son yıllarda kullanımı oldukça artan modifiye bitümler ve modifiye karışımlar konusundaki çalışmalar ve yayınlarda farklı tip katkı maddelerinin karşılaştırmasından katkı maddesi olarak polimerlere ilginin arttığı ve bitüm katkı maddeleri sınıflandırılırken de polimerler temel alınarak, polimer olan katkı maddeleri ve polimer olmayan katkı maddeleri şeklinde sınırlandırıldığı görülmektedir (Şengül, 2006). Bu biçimdeki bir sınıflandırmaya göre bitüm modifikasyon tipleri Tablo 6’da, başlıca fiber malzemeleri ise Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 6. Bitüm modifikasyon tipleri (Gençtürk, 2011).

Bitüm Modifikasyon Tipleri	
Modifikasyon Tipleri	Örnekler
I. Polimer olmayan modifikasyon 1. Fillerler 2. Soyulma önleyici katkılar 3. Ekstenderler 4. Anti-oksidanlar 5. Organo-mefal bileşimleri 6. Diğerleri	Kil, karbon siyahı, uçucu kül Organik amidler, sülfür Çinko antioksidanlar, Kurşun antioksidanlar, fenolikler, Organo mangan bileşimleri, Organo karbon bileşimleri
II. Polimer modifikasyon 1. Plastikler 2. Termoplastikler 3. Termosetler	Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polivinil klorid (PVC), Polistren (PS) Etilen vinil asetat (EVA), Epoksi reçineler
2. Elastomerler a. Doğal kauçuk b. Yapay elastomerler	Sentetik-butodien kopolimer (SBR), Stran butodianstran kopolimer (SBS), Etilen-proplendien harmoliper (EPDM), Isobüten-Isopren kopolimer (IIR)
3. İşlenmiş kauçuklar	
4. Fiberler	Polyester, fiberler, Propolan
III. Kimyasal reaksiyon modifikasyonu	Katkı reaksiyonu, Bitüm+Sülfür, Bitüm+Nitrik asit

Tablo 7. Fiber malzemeleri (Gençtürk, 2011).

Bazı Başlıca Fiber Malzemeleri		
Doğal Fiberler	Yapay Fiberler	
	Organik tip	İnorganik tip
Selüloz	Polipropilen	Karbon
Yün	Polyester Poliüretan	Cam
Asbestler (slikat)	Aromatik Polimidler	Çelik

1.6.3. Bitümlere ve Polimer Modifiye Bitümlere Uygulanan Deneyler

Bitümlü bağlayıcılara ait özelliklerin, asfalt kaplamaların dayanım ve performansı üzerinde önemli etkileri vardır. Bu nedenle bitümler üzerine uygulanacak çok sayıda deney yöntemi bulunmaktadır. Karayolları Teknik Şartnamesinde bulunan bitüm ve Polimer Modifiye Bitümlere (PMB) ait yapılması gereken deneyler, standartları ve deney sonuçlarına dair tablolar Tablo 8-9'da verilmektedir.

Tablo 8. Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümlerin özellikleri (KTŞ, 2013).

Sıra No	Deney Adı	Standartı	Bitüm Sınıfları				
			B40/60	B50/70	B70/100	B100/150	B160/220
1	Penetrasyon, (25°C) 0,1 mm	TS EN 1426	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
2	Yumuşama Noktası, °C	TS EN 1427	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43
3	Fraass Kırılma Noktası ^a , °C	TS EN 12593	≤ -7	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15
4	Yaşlanmaya Karşı Dayanım ^b	TS EN 12607-1					
4.1	Kütle Değişimi, %		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
4.2	Kalıcı Penetrasyon, %	TS EN 1426	> 50	> 50	> 46	> 43	> 37
4.3	Yumuşama Noktası Yükselmesi, °C	TS EN 1427	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
5	Parlama Noktası, °C	TS EN ISO 2592	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
6	Çözünürlük	TS EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
7	Parafin Mum İçeriği ^c , %	TS EN 12606-1	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2	≤ 2,2
		TS EN 12606-2	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5	≤ 4,5

^aSoğuk bölgelerde kullanılacak bitümlere yapılacaktır
^bKalite kontrol amaçlı olarak bu deney için TS EN 12607-2 (TFOT) deney standardı kullanılabilir.
^cGerek duyulduğunda yapılacaktır.

Tablo 9. Modifiye bitümün fiziksel özellikleri (KTŞ, 2013).

Sıra No	Deney Adı	Standart	Birimi	PMB 58-28	PMB 64-28	PMB 70-16	PMB 70-22	PMB 70-28	PMB 76-16	PMB 76-22	PMB 76-28	PMB 82-16	PMB 82-22	
1	Penetrasyon (25°C, 150g, 5sn)	TS EN 1426	0,1 mm	90-150 (8)	40-100(5)	45-80(4)	45-80(4)	45-80(4)	25-55(3)	25-55(3)	25-55(3)	25-55(3)	25-55(3)	
2	Yumuşama Noktası	TS EN 1427	°C	≥45 (8)	≥50 (8)	≥60 (6)	≥60 (6)	≥55 (7)	≥65 (5)	≥65 (5)	≥60 (6)	≥70 (4)	≥70 (4)	
3	Kuvvet Ölçümlü Düktilite ^a (25°C, 5cm/dk.)	TS EN 13589	J	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	≥0,5 (11)	
4	Elastik Geri Dönme ^b (25°C)	TS EN 13398	%	≥80 (2)	≥80 (2)	≥60 (4)	≥70 (3)	≥80 (2)	≥60 (4)	≥70 (3)	≥80 (2)	≥60 (4)	≥70 (3)	
5	Parlama Noktası	TS EN ISO 2592	°C	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	≥220(4)	
6	Özgül Ağırlık	TS EN 15326	g/cm ³	1,0-1,1										
7	Dinamik Kesme Reometresi (DSR) (G*/sin δ>1kpa)	Yenilme Sıcaklığı	TS EN 14770	°C	≥58	≥64	≥70	≥70	≥70	≥76	≥76	≥76	≥82	≥82
8	Depolama Stabilitesi ^c	TS EN 13399												
8.1	Yumuşak Noktası Farkı	TS EN 1427	°C	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	≤5 (2)	
8.2	Penetrasyon Farkı	TS EN 1426	0,1 mm	≤13 (3)	≤13 (3)	≤13 (3)	≤13 (3)	≤13 (3)	≤9 (2)	≤9 (2)	≤9 (2)	≤9 (2)	≤9 (2)	
9	Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi ^d	TS EN 12607-1												
9.1	Kütle Değişimi		%	≤1 (5)	≤1 (5)	≤1 (5)	≤1 (5)	≤1 (5)	≤0,8 (4)	≤0,8 (4)	≤0,8 (4)	≤0,5 (3)	≤0,5 (3)	
9.2	Yumuşama Noktasındaki Artma	TS EN 1427	°C	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	≤8 (2)	
9.3	Yumuşama Noktasındaki Azalma		°C	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤5 (3)	≤2 (2)	
9.4	Kalıcı Penetrasyon	TS EN 1426	%	≥50 (5)	≥50 (5)	≥50 (5)	≥50 (5)	≥50 (5)	≥45 (4)	≥45 (4)	≥45 (4)	≥40 (3)	≥40 (3)	

Tablo 9'un devamı

9.5	Dinamik Kesme Reometresi (DSR) ($G^*/\sin \delta > 2,2 \text{ kPa}$)	Yenilme Sıcaklığı	TS EN 14770	°C	≥ 58	≥ 64	≥ 70	≥ 70	≥ 70	≥ 76	≥ 76	≥ 76	≥ 82	≥ 82
10	RTFOT+PAV İle Yaşlandırılmış Modifiye bitüme Yapılan Deneyler		TS EN 14769											
10.1	(DSR) ($G^*\sin \delta > 5000 \text{ kPa}$)	Yenilme Sıcaklığı	TS EN 14770	°C	≤ 19	≤ 22	≤ 31	≤ 28	≤ 25	≤ 34	≤ 31	≤ 28	≤ 37	≤ 34
10.2	Kiriş Eğme Reometrei (BBR) Eğilme-Sünme Sertliği ($S \leq 300 \text{ MPa}$, $m \geq 0,300$)	Sıcaklık	TS EN 14771	°C	≤ -18	≤ -18	≤ -6	≤ -12	≤ -18	≤ -6	≤ -12	≤ -18	≤ -6	≤ -12

1.6.3.1. Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426, ASTM D5)

Bitümlü bağlayıcının sertlik veya kıvamlılıkları belirlenir. Standart bir iğnenin belirli bir yük (100g) altında belirli bir süre (5 sn) asfalt çimentosu içine dikey olarak battığı mesafe 0,1 mm cinsinden bulunur. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır. Penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşar. Kıvamlılık artıkça bitüm sertleşir. Deney sonunda okunan değer 100 ise, asfaltın penetrasyonu 100 demektir; yani iğne asfaltın içerisine 1 cm girmiş demektir (Şengül, 2006; Orhan, 2011).

1.6.3.2. Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427, ASTM D36)

Bitümlü bağlayıcının sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek için (hangi sıcaklıkta bitümün akmaya başladığı) yüzük-bilya yöntemi ile yumuşama noktası olarak ifade edilen sıcaklığı belirlenir. Metal halka içindeki asfalt numunesi üzerine standart ağırlık ve çapta bilye yerleştirilmekte ve su içinde belirli bir hızda ısıtılmaktadır. Deney başlangıç sıcaklığı 5 °C'dir ve deney boyunca sıcaklık dakikada 5 °C arttırılmaktadır. Yumuşama noktası değeri, bitümlü malzemenin tabana değdiği anda termometrenin gösterdiği değerdir. Yumuşama noktası çok yüksek bitümlerin viskozitesinde yüksek olduğundan, sıcak karışım yapım sıcaklıkları da yüksek olmaktadır (Orhan, 2011; Karakaş, 2014).

1.6.3.3. Kuvvet Ölçümlü Düktilite Deneyi (TS EN 12589)

Asfaltın uzama ve çekilebilme özelliği düktilite olarak ifade edilmektedir. Bunun yanı sıra düktilite, asfalt çimentosundan yapılmış standart bir briketin, belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden değeri olarak tanımlanabilir. Asfaltın bağlama yeteneği düktilitesine bağlıdır. Düktilite değeri yüksek olan asfaltların bağlayıcılık özellikleri de yüksektir (Yılmaz, 2016).

Bitümlü bağlayıcının düşük sıcaklıkta (25 °C, 13 °C ve 7 °C gibi) kohezyondan oluşan (Cohesive) dayanımı düktilite ile belirlenir. Belirlenen sıcaklıktaki su banyosu içerisinde 50 mm/dk. hız ile bitüm çekilerek kopma anındaki uzama miktarı cm olarak bulunur ve yük uzama eğrisinde deformasyon enerjisi hesaplanır (Orhan, 2011).

1.6.3.4. Trikloretilende Çözünürlük (TS EN 12592)

Deney, içerisinde mineral madde bulunmayan ya da çok az bulunan bitümlü bağlayıcının organik çözücüler (trikloretilen, karbon sülfür, benzen gibi) çözünürlüğünü belirlemek için yapılır. Bitümlerin trikloretilende en az %99 çözülmesi gerekir (Orhan, 2011).

1.6.3.5. Parlama Noktası Deneyi (TS EN ISO 2592, TS 1171)

Deney, petrol ürünlerinin yanma ve parlama noktalarını belirleme amacıyla yapılır. Bu metot parlama noktası 79 °C'nin üstünde olan petrol ürünlerine uygulanabilir (Özen, 2005).

Parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklık olarak tanımlanır. Parlama noktası, bitümlü bağlayıcının uygulama sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve alev alma riskini önlemek bakımında önemlidir (Orhan, 2011).

Parlama noktası, asfalt çimentoları ve SC sıvı petrol asfaltlarında Cleveland Açık Kabı ile MC ve RC sıvı petrol asfaltlarında Tagliabue Kapalı Kabı (15-74 °C aralığı için) ile belirlenmektedir (Orhan, 2011).

1.6.3.6. Elastik Geri Dönme Deneyi (TS EN 13398)

Bir bitüm numunesi, 25 °C sıcaklıkta ve 50 mm/min'lik sabit hızda, önceden belirlenmiş miktarda (200 mm) çekilir. Oluşturulan bitüm ipliği, iki yarım iplik elde etmek için ortadan ikiye kesilir. Uzama sonrası eski hale dönüş için önceden belirlenen süre geçtikten sonra, yarım ipliklerdeki kısalma ölçülür ve uzama miktarının yüzdesi olarak ifade edilir. Deneyde, düktilite aleti kullanılır. Deney, genellikle elastomerik modifiye bitümlere uygulanır, ancak diğer bitümlere de uygulandığından az miktarda geri dönme bulunur. Modifiye bitüm şartnamesine göre elastomerik modifiye bitümlerde elastik geri dönme minimum %60 olmalıdır (Orhan, 2011; Arslan, 2014).

1.6.3.7. İnce Film Halinde Isıtma Deneyi, TFOT (TS EN 12607-2) Dönmeli İnce Film Etüvü Deneyi, RTFOT (TS EN 12607-1)

Bitümün kısa süreli yaşlanmasını laboratuvar ortamına taşımak amacıyla çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde en çok kabul görenler İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT=Thin Film Oven Test) ve Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT=Rolling Thin Film Oven Test) yöntemleridir. Bununla birlikte, referans metot olarak RTFOT metodu kullanılmalıdır. Deneyde, karışım hazırlama, serme-sıkıştırma sırasında bitümlü bağlayıcıda oluşan yaşlanma örneklenir. Deneyin amacı; yaşlanmış bitüm üzerinde fiziksel deneyler yaparak asfalta oluşan kütle kayıplarını belirlemektir. Bitümün yaşlanmasından dolayı bir kütle kaybı oluşur; ancak bazı asfaltilarda okside ürünler oluşumundan dolayı bir ağırlık artışı da söz konusudur. RTFOT deneyi; dairesel, dikey ve kendi ekseni etrafında dönen 8 adet numune şişelerin üzerine takılabildiği bir taşıyıcıya sahip etüv içerisinde yapılır. Her birinin içerisine 35 g bitüm konulan şişeler taşıyıcı ile birlikte dönerken en alt konuma geldiklerinde hava üfleyici parça sıra ile her bir şişenin içerisine hava püskürtülerek numuneler 163 °C sıcaklıkta 85 dakika süre ile yaşlandırılır (Orhan, 2011; Arslan, 2014).

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

Sahadaki uzun süre yaşlanmayı temsil eden PAV, sadece sıcaklık etkilerini gösterir. 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 (Birlikler vd., 1998).

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 karşılaşıacağı yaşlanma etkileri yansıtılmış olur (Orhan, 2011).

1.6.3.9. Özgül Ağırlık Deneyi (TS 1087)

Özgül ağırlık deneyi, TS 1087 ve ASTM D70 standartlarına göre, 25 °C’de hacmi bilinen bir asfalt numunesinin ağırlığının, aynı sıcaklık ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı ile elde edilen özgül ağırlığının tespit edilmesi için yapılmaktadır. Arşimet’in ortaya koymuş olduğu; yüzen cisimlerin ağırlığı, kapladıkları hacim kadar sıvının ağırlığına eşittir ilkesine dayanır. Özgül ağırlık deneyi, çok akıcı asfaltlar için kullanılmaktadır. Özgül ağırlık deneyinde piknometre, su banyosu ve terazi kullanılmaktadır. Deneye ilk olarak piknometrenin analitik terazide tartılıp tartımın kaydedilmesi ile başlanılır. Ardından piknometre, 25 °C sıcaklıkta su ile doldurulur ve kapağı sıkıca kapatılır. Su dolu piknometre tekrar tartılır ve kaydedilir. Şayet asfalt numunesi yeterince akıcı değilse, bir miktar ısıtılarak yeterli akışkanlık sağlanır. Piknometre yaklaşık yarısına kadar bu numuneyle doldurulur. Sonrasında piknometre içindeki numune ile birlikte oda sıcaklığına kadar soğutulur ve kapağı ile birlikte tartılır. Piknometrenin içindeki asfalt numunesinin üzeri damıtılmış su ile doldurulur ve kapağı sıkıca kapatılır. Sonrasında sıcaklığı 25±0,5 °C su banyosuna tamamen batırılır. 30 dakika sonra piknometrenin dışı iyice kurulanır ve tartılır. Özgül ağırlık hesabı Formül 1’de verilmiştir(Orhan, 2012; Yılmaz, 2016).

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)} \quad (1)$$

a: Boş piknometre ağırlığı, gr

b: Saf su ile dolu piknometre ağırlığı, gr

c: Yarısına kadar bitüm dolu piknometre ağırlığı, gr

d: Asfalt, saf su ve piknometre ağırlığı, gr

1.6.3.10. Frass Kırılma Noktası Deneyi (TS EN 12593)

Bitüme ve modifiye bitümlere yapılabilen bir deneydir. Bitümün düşük sıcaklıktaki davranışı belirlemek için yapılan deney özellikle soğuk bölgelerimizde kullanılacak bitümün tipini belirlemek için uygun bir deneydir (Orhan, 2011).

Frass kırılma noktası, belirli kalınlıkta ve düzgün bir asfalt bağlayıcı filminin, belirtilen yük şartları altında kırıldığı Celsius cinsinden sıcaklık olarak tanımlanır. Bitüm

numunesi, kalınlığı her tarafta eşit olacak şekilde, bir metal plaka üzerine yerleştirilir. Plaka, tavllanmış yay çeliğinden yapılmıştır. Plaka üzerine $0.40 \text{ g} \pm 0.01 \text{ g}$ bitüm koyulur ve tartılır. Bu plaka, sabit bir hızla soğutulur. Bağlayıcı tabakasında çatlama oluşuncaya kadar belirli aralıklarla esnetilir. İlk çatlamanın oluştuğu sıcaklık, Frass kırılma noktası olarak belirlenir (TS EN 12593, 2003).

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

Bitümün davranışı, hem yükleme zamanına hem de sıcaklığa bağlı olduğu için ideal deney her iki faktörü de içermelidir. Dinamik Kesme Reometresi bitümlü bağlayıcıların zamana bağlı orta ve yüksek sıcaklıklarda reolojik özellikleri (kompleks kesme modülü ve faz açısı) belirlenmektedir (Orhan, 2011).

DSR, bitümün viskoz ve elastik davranışını belirlemek amacıyla kompleks kesme modülü (G^*) ve faz açısını (δ) ölçer. G^* malzeme kesme gerilmesine maruz bırakıldığında deformasyona karşı gösterdiği dirençtir. İki bileşenden oluşur; elastik (geri dönüşümlü) ve viskoz(geri dönüşümsüz). δ ise geri dönüşümlü ve geri dönüşümsüz deformasyonların göreceli miktarıdır. G^* ve δ değerleri deney sıcaklığına ve yüklemenin frekansına bağlıdır (Orhan, 2011).

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

BBR, bitümün düşük sıcaklıklardaki davranışını belirlemek amacıyla yapılır. BBR basit olarak bağlayıcının belirli bir sıcaklıkta ve sabit bir yük altında ne miktarda sünme veya defleksiyona maruz kaldığını gösterir.

BBR deneyinde standart ölçülerdeki ($12,5 \times 25 \times 6,25 \text{ mm}$) kiriş şeklinde bulunan asfalt çubuğa sabit bir tekil kuvvet ($980 \pm 5 \text{ mN}$) uygulanır ve deney süresi boyunca (240 saniye) çubuğun ortasında oluşan defleksiyon ölçülerek sünme sertliği (S) ve sünme oranı (mdeğer) hesaplanır. Yükleme sıcaklık azaldıkça asfalt kaplamanın maruz kaldığı termal gerilmeleri temsil etmektedir. Sünme sertliği bağlayıcının sünme gerilmelerine karşı gösterdiği dirençtir. Sünme oranı ise yükleme süresi boyunca bağlayıcının sertliğindeki değişimdir. Supervave şartnamesine göre 60 sn. yükleme süresi için sünme sertliği değeri en fazla 300 MPa olmalıdır (Dinç, 1999; Yılmaz, 2016).

1.6.3.13. Dönel Viskozimetre Deneyi (RV)

Dönel viskozimetre deneyi, asfalt bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık ve pompalanabilirlik karakteristiklerini belirlemek için yapılmaktadır. Deney sırasında AASHTO TP48 standardına uygun olarak Brookfield viskozimetresi kullanılmaktadır. Pompalama ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olup olmadıklarının tespit edilmesi amacıyla bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri belirlenmektedir. Dönel viskozimetre deneyi yaşlandırılmamış saf ve modifiye edilmiş bağlayıcılar üzerinde uygulanmaktadır. Superpave şartnamesine göre bağlayıcı sınıflandırmasında, Pascal-saniye (Pa.s) birimi kullanılır ve bağlayıcının 135 °C sıcaklıkta ölçülen dönel viskozite değerinin 3 Pa.s'yi (3000 cP) aşmaması istenir. Dönel viskozimetre değeri, silindirik bir çubuğun sabit bir sıcaklıkta asfalt numunesi içinde kendi etrafında dönüş hızını sabit tutacak burulma kuvvetinin ölçülmesi ile tespit edilir. Viskozite deneyinde bağlayıcı içerisinde 20 rpm hızla dönen bir milin dönmeye karşı gösterdiği dirençle viskozite değeri elde edilir. Bu deney sırasında bağlayıcıdan 30 gr civarında numune alınmakta ve 150 °C'den daha düşük sıcaklıktaki etüvde ısıtılarak akışkan hale getirilmektedir. Asfalt numunesinden yaklaşık 11 gr alınarak silindirik tüp bölmesine dökülür, tüp sıcaklık kontrollü kaba yerleştirilir, numune 10-15 dakika sabit sıcaklıkta bekletildikten sonra deney yapılır (Yılmaz, 2016).

Deney sırasında yaklaşık olarak eşit viskozite değerlerine ulaşıldıktan sonra üç adet okuma yapılır ve bu üç değerın ortalaması alınarak asfalt bağlayıcının viskozite değeri hesaplanır. Viskozite değeri sıcak asfalt karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını tespit etmek amacıyla kullanılır. Bu amaçla RV deneyi, genellikle 135 °C ve 165 °C sıcaklıklar arasında uygulanır. Çizilen sıcaklık–viskozite grafiğinde viskozite değerleri işaretlenerek bu değerler bir doğru ile birleştirilir. Asfalt bağlayıcının agrega ile karıştırılmasında 170 ± 20 cP, elde edilen sıcak asfalt karışımların sıkıştırılmasında ise ± 30 cP viskozite değerine sahip olması beklenilir. Superpave şartnamesine göre, asfalt bağlayıcının, 135 °C sıcaklıkta ölçülen viskozite değerinin 3000 cP değerini aşmaması gerekir (Geçkil, 2008; Yılmaz, 2016).

1.6.3.14. Modifiye Bitümlerde Depolama Stabilitesi (TS EN 13399)

Modifiye bitümler depolandığında polimer-bitüm ayrışmasının olup olmadığını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. Modifiye bitüm 3 gün 180 °C’de mezür içerisinde bekletildikten sonra üst ve alt kısımdan örnek alınarak yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleri yapılarak fark olup olmadığına bakılır (Orhan, 2011).

1.6.4. Agregalar

Agrega; kum, çakıl, kırmataş, cüruf ve diğer mineral bileşiklerden ibaret olup bağlayıcı bir ortamda, bitümlü bir karışım, beton, harç, makadam, mastik ve benzeri uygulamalar için veya bağlayıcısız bir ortamda kullanılmak üzere bir araya getirilmiş malzeme olarak tanımlanır (Bostancıoğlu, 2012).

Agregalar bağlayıcısız temel ve alttemel tabakalarının tamamını, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça %90-95’ini ve hacimce %80-85’ini, rijit kaplamalarda ise ağırlıkça %80-85’ini ve hacimce %70-80’ini oluşturur. Agregaların kaplama stabilitesine etkisi ve yüksek oranda ihtiyaç duyulması nedenlerinden önemli bir yol malzemesidir (Tunç, 2007).

Esnek üstyapılarda kullanılacak agregaların, bitümle iyi bir aderans sağlayarak trafiğin tekrarlı statik ve dinamik yüklerine, farklı hava koşulları gibi çevre ve dış etkenlere karşı dirençli olma özelliğine sahip olması gerekir (Karakaş, 2014).

1.6.4.1. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla minerolojik, boyut, gradasyon, biçim, yüzey yapısı, porozite, yüzey alanı ve boşluk oranı ve özgül ağırlık olarak sınıflandırılmaktadır (Yılmaz, 2005).

1.6.4.1.1. Agregaların Mineralojik Sınıflandırılması

Agregalar mineralojik özellikleri bakımından dere malzemesi, kırma taş ve yapay taşlar olarak elde edilirler. Dere malzemeleri yüksek işlenebilirliği ve suya ihtiyacının az olmasından dolayı alttemel hariç yol kaplamalarında kullanılmaz, yollarda daha çok

konkasörlerde kırılarak kırma taş, çakıl ve kum olarak kullanılmaktadır. Yapay taşlar ise daha çok yüksek fırın cüruflarından elde edilirler. Yapısı itibariyle poroz ve gevrek bir yapıya sahip olup, yüksek ısıya sahip fırınlarda demirin eritilmesi işleminde bir yan ürün olarak sağlanırlar (Karakaş, 2014; Yılmaz, 2016).

Yol kaplamalarında daha çok tercih edilen ve yaygın kullanım sahası olan agregalar ise kayaların kırılması sonucu elde edilen mineral agregalardır. Kum, kırılmış çakıl, kırılmamış çakıl, kırılmış taş, cüruf, taş tozu gibi beton, bitümlü kaplama, temel ve alttemel yapımında kullanılan sert ve sağlam doğal mineral bileşiklerine mineral agrega denir. Püskürük (magmatik veya katılaşım), tortul (sedimenter) ve metamorfik (başkalaşım) olarak sınıflandırılan doğal kayaların kırılması ile elde edilirler. Püskürük sınıfa dahil olan kayalar, bazalt, andezit, granit, gabro, kuvars ve grafirdir. Çok sert yapıya sahiptirler ve poroziteleri genellikle düşüktür. Tortul sınıfa sahip kayalar kumtaşı, kalker, kum-çakıl ve konglomeradır. Metaformik kayalar ise püskürük ve tortul kayaların zaman içinde yüksek basınç ve ısı etkisinde minerolojik ve dokusal değişime uğraması ile oluşurlar. Mermer, serpantin, şist, kuvarsit vb. kayalar metaformik kayalardır (Orhan, 2011; Karakaş, 2014; Yılmaz, 2016).

1.6.4.1.2. Agregalarda Boyut Sınıflandırılması

Agregaların boyutlarına göre sıralanması tane çapı büyüklüklerine göre sınıflandırılmasıdır. Agregalar boyutlarına göre kaba, ince ve mineral filler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

1. Kaba agrega: Agrega karışımlarının No.4 (4.75mm) elek üzerinde kalan kısmıdır.
2. İnce agrega: Agrega karışımlarının No.4-No.200 (4.75-0.075mm) elekler arasında kalan kısmıdır.
3. Mineral filler: Agrega karışımlarının No.200 (0.075 mm) eleğinden geçen kısmıdır.

1.6.4.1.3. Agregalarda Gradasyon Sınıflandırılması

Gradasyon agrega karışımlarındaki agrega tanelerinin boyutları dikkate alınarak ve toplam ağırlığın %'si olarak ifade edilen tane boyutu dağılımıdır. Agrega gradasyonu

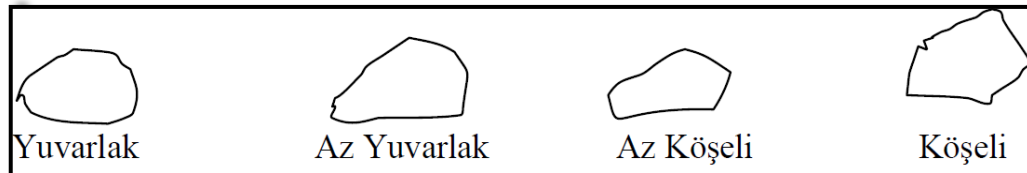
karışımın stabilite ve işlenebilirlik özelliğini ortaya koyar. Belirli bir karışım için maksimum tane boyutu ve belirli boyuttaki tanelerin ağırlıkça miktarlarının sınırları belli şartnameler ile ölçülür. Maksimum tane boyutu arttıkça işlenebilirlik ve sıkışma zorlaşır, segregasyon artar, boşluk miktarı ve agrega tanelerinin toplam yüzeyi azalır, yoğunluk ve stabilite artar ve bağlayıcı ihtiyacı azalır (Orhan, 2011; Yılmaz, 2016).

Gradasyona göre agregalar 4 gruba ayrılır.

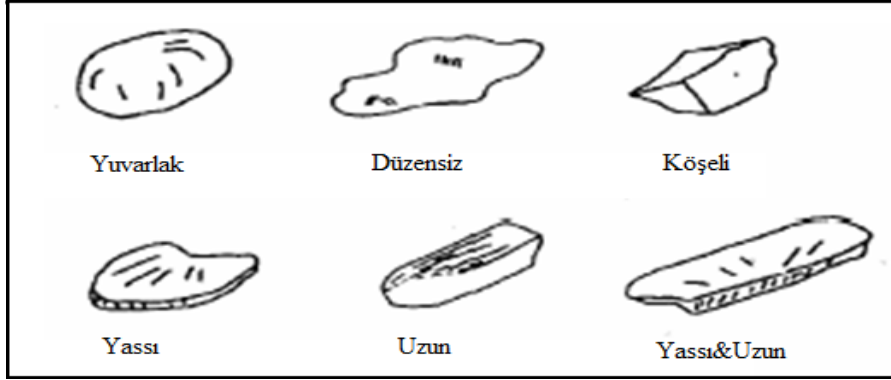
1. Yoğun (İyi) gradasyonlu agrega: Bitümlü karışımlarda kullanıldığında düşük boşluk ve yüksek stabilite veren, kabadan fillere her boyuttan yeterli dane içeren agregalardır.
2. Kesikli gradasyonlu agrega: Gradasyonun da ara boyut agregaya hiç ya da çok az içeren agrega karışımlarıdır.
3. Açık gradasyonlu agrega: Filler ya da ince boyutta dane içermeyen ya da çok az içeren agrega karışımlarıdır.
4. Tek boyutlu (Uniform) agrega: Taneciklerin çoğu yaklaşık aynı boyutta olan agrega karışımlarıdır (Orhan, 2011).

1.6.4.1.4. Agregaların Biçim ve Yüzey Yapısına Göre Sınıflandırılması

Agreganın tane şekli, işlenebilirliği, sıkışabilirliği ve stabiliteyi etkiler. Genel olarak köşeli, kırılmış tanelerin kullanımı tercih edilir. Yuvarlak biçimli agregaların köşeli agregalara kıyasla işlenebilirlik özellikleri daha yüksektir. Açısal biçimli agregalar ise stabilite açısından daha üstün özelliklere sahiptir. Şekil 27 ve 28’de bu tür agrega örnekleri görülmektedir (Orhan, 2011; Yılmaz,2016).

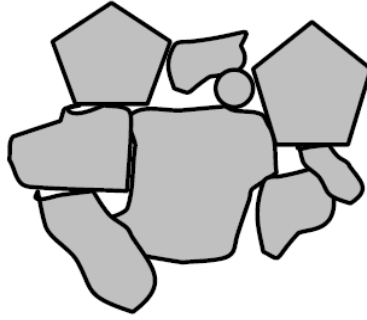


Şekil 27. Agregaların tane şekli sınıflandırılması

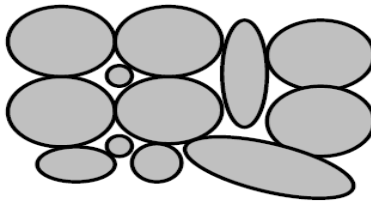


Şekil 28. Agregaların tane şekli (Arslan, 2014).

Yuvarlak agregalar kolayca işlenebilirler fakat yüksek stabilite köşeli ve kırılmış agregalarla elde edilir. Şekil 29 ve 30'dan görüleceği üzere köşeli agregalarda, tanelerin birbirine olan temas noktaları arttığından zor işlenirler ve trafik altında taneler arası yük dağılımını daha homojen biçimde gerçekleştirir. Yük gerilmeleri agregaları bir arada tutar ve kayma dayanımlarını artırır. Sonuçta köşeli agrega, güçlü bir kenetlenme oluşturur ve karışım rijitliğini arttırarak kalıcı deformasyona karşı direnç yükseltirler (Topal ve Şengöz, 2000; Arslan, 2014).

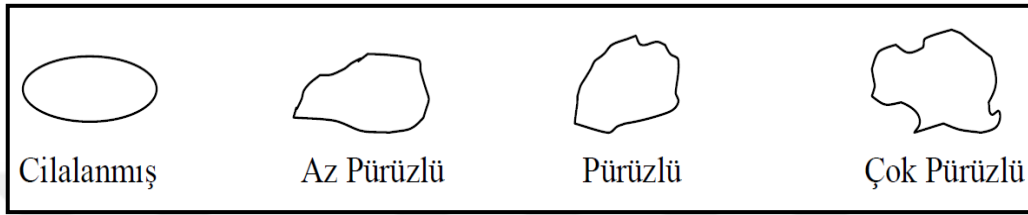


Şekil 29. Köşeli agrega



Şekil 30. Yuvarlak agrega

Agrega tanelerinin yüzey yapısı ise bitümlü karışımlarda yük taşıma kapasitesini etkilerler. Agregada tanelerinin yüzey pürüzlülüğü arttıkça karışımın işlenebilirliği azalmakta ancak içsel sürtünme açısı, stabilite, kayma direnci ve asfalt ile adezyon kuvveti artmaktadır. Fakat karışımın boşluk hacmi, sıkışmaya karşı direnci ve gradasyon gibi olumsuz özellikleri de artmaktadır. Şekil 31’de agregada yüzey yapısına örnekleme çizimler görülmektedir (Orhan, 2011; Yılmaz, 2016).



Şekil 31. Agregaların yüzey yapısı sınıflandırılması

1.6.4.1.5. Agregaların Porozite, Yüzey Alanı ve Boşluğa Göre Sınıflandırılması

Agregada porozite su emme yeteneğine sahip boşlukların miktarı olarak tanımlanabilir. Agregada tanelerinde belli bir miktarda porozite gereklidir. Yeterli poroziteye sahip agregada taneleri asfaltın emilmesine olanak sağlar, agregada ile bağlayıcı film tabakası arasında kuvvetli bir adezyon oluşturarak stabilitenin artmasına ve suyun etkisi ile film tabakasındaki soyulmanın azalmasına neden olur. Aşırı poroz agregalar özgül ağırlıklarının az olmasına, yoğunluk ve stabilitesinin düşük olmasına neden olur. Genel olarak sıcak asfalt karışımlarda %0,5-2,5, temel tabakalarında ise don direncinin yüksek olabilmesi için 0 porozite istenir.

Şekil 32’den de görüleceği gibi porozite(gözeneklilik); çok gözenekli, az gözenekli ve gözeneksiz olmak üzere 3 sınıfa ayrılır(Tunç, 2007).



Şekil 32. Agregaların poroziteye göre sınıflandırılması (Orhan, 2011).

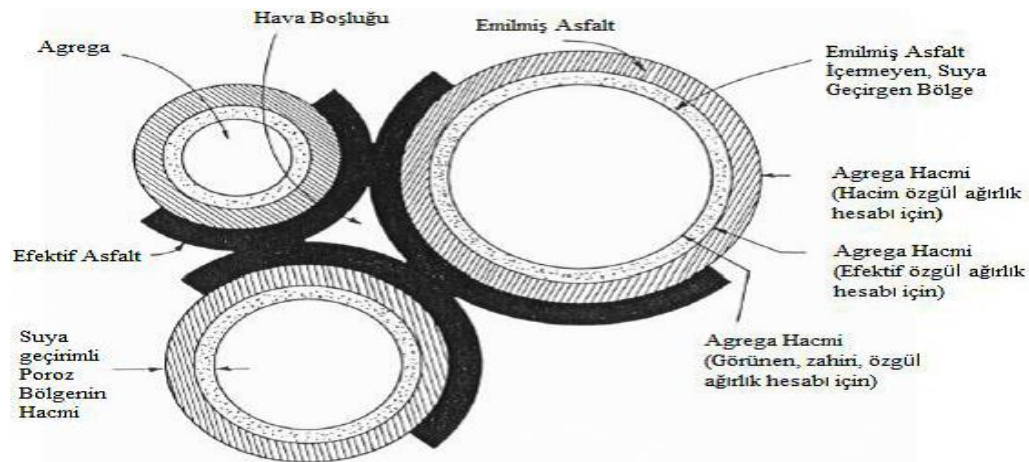
Agrega taneleri arasındaki boşlukların toplamı, agrega tanelerinin sahip oldukları yüzey alanlarının toplamı ile bağlayıcı veya bağlayıcısız karışımların tüm özelliklerinde etkilidir. Toplam yüzey alanı ve boşluk alanı hacmi; gradasyona, tane biçimi ve çapına bağlıdır. Agregatane çapı küçüldükçe toplam yüzey alanı ve boşluk hacmi önemli ölçüde artmakta ve gerekli bağlayıcı ihtiyacı artmaktadır. Boşluk miktarının artması sonucu karışımın yoğunluğu da azalmaktadır. Bu nedenle esnek üstyapı kaplamalarında kullanılacak agregaların maksimum tane çapı karışımın özelliklerini optimize edecek şekilde seçilmelidir (Tunç, 2007).

1.6.4.1.6. Agregaların Özgül Ağırlıklarına Göre Sınıflandırılması

Özgül ağırlık bir maddenin birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25 °C'deki suyun ağırlığına oranıdır. Agreganın özgül ağırlığı ise bitümlü sıcak karışımda kullanılacak bağlayıcı oranını belirlemede yardımcı olmaktadır. Asfalt karışım hesaplarında kullanılan agregatane için seçilecek olan özgül ağırlık, sıkıştırılmış kaplamada hesaplanan hava boşlukları miktarını en doğru olarak veren özgül ağırlık olmalıdır.

Agrega üç tip hacim içerir ve karışım hesapları için agregaların bu özgül ağırlıklarının bilinmesi gerekir (Şekil 33). Bunlar;

1. Zahiri (görünür) özgül ağırlık
2. Hacim özgül ağırlığı veya kuru özgül ağırlık
3. Doygun-kuru yüzey özgül ağırlık (Kizirgil, 2013).



Şekil 33. Agreganın özgül ağırlık hesaplamalarında dikkate alınan hacimleri (Kizirgil, 2013).

Hesaplamalarda zahiri özgül ağırlık kullanıldığında, asfaltın su geçirimli tüm boşluklar tarafından absorbe edildiği kabul edilir. Hacim özgül ağırlık kullanıldığında, asfaltın su geçirimli boşluklar tarafından absorbe edilmediği kabul edilir. Efektif özgül ağırlık, agregalar tarafından absorbe edilen asfalt miktarını dikkate aldığından, sıkıştırılmış asfalt kaplama karışımındaki boşluk hesabı için en doğru sonucu vermektedir (Önal ve Kahramangil, 1993).

1.6.4.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri(stabilite, durabilite, adezyon vb.) direkt ya da indirekt yol kaplamalarının tüm özelliklerine etki eder, dolayısıyla yol kaplamalarının stabilitesi ve performansı için çok önemlidir. Agregaların stabilitesi, trafik yükleri veya zeminin hacim değiştirmesi nedeniyle deformasyonlara karşı gösterdiği dirençtir. Stabilite, CBR, kayma mukavemeti, esneklik modülü ya da yatak katsayısı ile ölçülerek belirlenir. Agregaların durabilitesi, kırılma, aşınma ve parçalanmaya karşı gösterdiği dirençtir. Aşınmayla ince malzeme miktarı artarak agreganın gradasyonu bozulur ve dren kabiliyeti düşer. Parçalanma, agregalar danelerinin mekanik etkilerden ziyade fiziko-kimyasal etkilerle parçalanması ile oluşur. Agregalarda aşınma; suyun etkisi, agreganın porozluğu ve minerolojik yapısıyla ilgilidir. Asfaltla kaplı agregalar tanelerinin suyun etkisi ile soyulmaması için agregalar ile bağlayıcı arasındaki adezyonun yüksek olması gerekmektedir. Agregaların adezyon kabiliyeti yüzey pürüzlülüğü, porozluk veya absorpsiyon özelliği, yüzey alanı, yüzey çekim enerjisi, karıştırma ısısı ve temizliği arttıkça artar (Tunç, 2007; Yılmaz, 2016).

1.6.4.3. Agregalara Uygulanan Deneyler

Agregaların özelliklerini belirlemek için yapılan deneyler;

1. Elek Analizi Deneyi (ASTM C136, ASTM C117)
2. Los Angeles Aşınma Deneyi (ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2)
3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi) (AASHTO T104, TS EN 1367-1)
4. Yassılık İndeksi Deneyi (BS 812)

5. Cilalanma Deneyi (TS EN 1097-8)
6. Vialit Yöntemi ile Yapışma Deneyi (KTŞ Kısım 403 Ek-B)
7. Soyulma Mukavemeti Deneyi (KTŞ Kısım 403 Ek-A)
8. Özgür Ağırlık Ve Absorbsiyon Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6) (Orhan, 2011)

1.6.4.3.1. Elek Analizi Deneyi (ASTM C136, ASTM C117)

Deney metodu, malzemenin bir seri eleme işlemi yardımıyla azalan büyüklüğe sahip farklı tane boyutları halinde bölünmesi ve ayrılmasından oluşur (Arslan, 2014).

Agreganın maksimum tane boyutuna göre dörtleme metodu ya da bölgeç ile alınır ve 110 ± 5 °C'lik sıcaklıktaki etüvde ya da havada kurutulur. Kurutulmuş numune tartıldıktan sonra No.200 elekten yıkanır (elek yıpranmasın diye üzerine No.80 ya da No.40 elek yerleştirilir). Yıkanan numune 110 ± 5 °C'lik etüvde kurutulur. Malzemenin %100'ün geçtiği eleklerden başlamak üzere alt eleklerden ayrı ayrı elenir. Her elek üzerinde kalanlar kümülatif tartılır. Tartımlar elek analizi formuna geçilir. Rutubeti giderilmiş numune ağırlığı kullanılarak her elek üzerinde kalan miktarların yüzdesi ve daha sonra % geçen miktarları hesaplanır (Orhan, 2011).

1.6.4.3.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2)

Los Angeles Aşınma deneyi, darbelenme ve aşındırma etkisiyle agrega tanelerinde oluşan aşınmanın bulunmasını sağlar. Deneyde tane boyutu 75 mm'den küçük olan iri agregaların Los Angeles aşınma makinesi ile aşınmaya karşı mukavemeti ölçülür (Orhan, 2011).

Los Angeles aşınma makinesinde çelik levhanın aşırı gerilme uygulanmadan şekillendirilmesiyle ve önemli bir deformasyon olmadan kaynaklanmasıyla oluşan silindirik şekilde her iki ucuda kapalı olan boş tambur bulunur. Tambur temizliği kontrol edilir ve deney cihazına önce 11 adet küresel çelik bilya (her biri 45 mm ile 49 mm arasında çapa, 400-445 g kütleye sahip toplam yükü 4.690 g ile 4.860 g arasında olan), sonra deney numunesi (5000 ± 5 g) koyularak kapak kapatılır ve makine 31-33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürülür. Sonuç olarak, metal kürelerin üzerine düşmesi sonucu

aşınan malzemenin deney başında alınan malzemeye göre ağırlıkça yüzdesi aşınma kaybı olarak verilir (TS 1097-2, 1998; KGM, 2000; Orhan, 2011).

1.6.4.3.3. Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi (Donma Deneyi) (AASHTO T104, TS EN 1367-1)

Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi, uzun zaman hava tesirleri altında kalan agregaların donma ve çözülmeye karşı mukavemetlerinin ölçülmesinde kullanılan çabuklaştırılmış bir deneydir. Agregada üzerinde oluşturulan etki, doğada olan yaklaşık 500 donma ve çözülme olayına denktir. Deneyde kullanılan çözeltinin hazırlanması için saf ve susuz sodyum sülfat tuzu (Na_2SO_4) veya kristalize sodyum sülfat tuzu ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) kullanılır. Tuz 25-30 °C sıcaklıktaki su içinde iyice karıştırılarak yavaş yavaş çözülür. Her litre su için en az 250 gram sodyum sülfat tuzu veya en az 750 gram kristalize sodyum sülfat tuzu katılır. Bu sırada çözelti devamlı olarak karıştırılır. Buharlaşmayı önlemek amacıyla çözeltinin ağzı kapatılarak 48 saat sabit sıcaklık ve rutubet odasında bekletilir. Kullanılmadan önce topaklaşmayı gidermek için iyice karıştırılıp özgül ağırlığı belirlenir. Özgül ağırlık 1,151'den az, 1,174'den fazla olmamalıdır. Deney 4.75 mm üzerinde kalan agregaya, 5 donma-çözülme periyodu olarak uygulanır ve bu işlemler sonunda oluşan kayıp yüzdesi hesaplanır (Ensar, 2006; Orhan, 2011).

1.6.4.3.4. Yassılık İndeksi Deneyi (BS 812)

Yassılık İndeksi Deneyi kalınlığı, nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olan agregada danelerinin yassı olarak tanımlanmasına dayanan bir metottur. Agregada numunelerinin yassılık indeksi belirli açıklıkları olan bir şablon kullanarak ayrılan yassı tanelerin ağırlığının, toplam numune ağırlığına oranının yüzdesi olarak ifade edilir. Karayolları imalatlarında ise yassı agregada oranının fazla olması, yolun dayanım özelliklerinin düşük olmasına neden olur. Yassılık indeksi, iri agregaların tane şeklinin tayininde referans deney olarak kullanılmalıdır (TS EN 13043, 2004; Orhan, 2011, Arslan, 2014).

1.6.4.3.5. Cilalanma Deneyi (TS EN 1097-8)

Bu deneyin amacı, çeşitli yol taslarının trafik altında sürtünme ile aşınarak ne dereceye kadar cilalanacaklarını laboratuvarında kısa bir zamanda tespit etmektir. Yolun yüzeyinin cilalanan bir taştan yapılmış olması, yolun kaymaya karşı direncini etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Taşın cilalanma değeri ile kaymaya karşı direnç arasındaki ilişki trafik koşulları, kaplamanın tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak değişir. Yoldaki koşullara benzer fakat hızlandırılmış bir cilalanma elde etmek için bir makine geliştirilmiştir. Deneyde 10 mm'lik BS eleğinde geçip 10-14 mm'lik yassılık eleğinde kalan agregaya kullanılır. İlk olarak agregalar cilalanma makinesinde hızlandırılmış cilalanma işlemine tabi tutulmakta ikinci olarak ise cilalanan taş örneklerinin sürtünme cihazı ile cilalanma değerleri tespit edilmektedir (Ensar, 2006; Orhan, 2011).

Sert ve pürüzlü agregalarda (bazalt, granit, vb.) cilalanma değeri yüksektir. Çok sert olmayan ve pürüzlülüğü az olan agregalarda (kalker gibi) cilalanma değeri düşüktür. Cilalanma değeri yüksek agregalar ile yapılan kaplamanın pürüzlülüğü ve buna bağlı olarak kaymaya karşı direnci fazladır. Ancak kaymaya karşı direnç gradasyona ve karışım tipine de bağlıdır (Orhan, 2011).

1.6.4.3.6. Vialit Yöntemi ile Yapışma Deneyi (KTŞ Kısım 403 Ek-B)

Vialit yöntemi ile yapışma deneyinin amacı, agregaya ile bitümlü bağlayıcı arasındaki yapışmanın su etkisi altında azalmasının bulunmasıdır. Deney genellikle sathi kaplama yapımında kullanılacak mıcırlara yapılır (Orhan, 2011).

Deneyde, çelik deney levhaları (200 x 200 x 3 mm), mekanik mıcır serici, lastik bandajlı laboratuvar silindiri, 500 ± 5 g ağırlığında ve 50 mm çapında çelik bilye ve deney cihazı kullanılır (KTŞ, 2013).

1.6.4.3.7. Soyulma Mukavemeti Deneyi (KTŞ Kısım 403 Ek-A)

Soyulma deneyinde, su ve sıcaklık etkisiyle agregaya bitüm adezyonundaki azalma belirlenir. Soyulma miktarı, kullanılan agregaya cinsine (kalker, bazalt gibi) ve bitümlü bağlayıcı tipine bağlıdır. Soyulma mukavemeti düşük agregalarda, kullanılacak asfalt

çimentosuna katkı maddeleri deneyle belirlenen oranda katılarak, soyulma mukavemeti artırılır. Ayrıca aynı agrega ile menşei farklı, fakat aynı asfalt sınıfında (Örneği; AC 60/70 pen) yer alan asfalt çimentoları ile deney yapıldığında dahi soyulma miktarı değişkenlik göstermektedir (Orhan, 2011).

1.6.4.3.8. Özgül Ağırlık ve Absorbsiyon Deneyi (ASTM C127, TS EN 1097-6)

Agreganın özgül ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 25 °C'deki suyun ağırlığına oranıdır. Tanenin, hacim tanımlamasına bağlı olarak, üç tane özgül ağırlık türü vardır.

1. Zahiri Özgül Ağırlık (G_{sa}): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.
2. Hacim Özgül Ağırlığı (G_{sb}): Belirli bir sıcaklıkta agreganın geçirgen olan ve olmayan boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklık ve hacminin havadaki ağırlığının, aynı sıcaklıkta ve aynı hacimdeki havası alınmış destile suyun ağırlığına oranıdır.
3. Efektif Özgül Ağırlık (G_{se}): 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 kullanılır.

Belirlenen karışım gradasyonuna uygun olarak hazırlanan numuneler üzerinde kaba agrega hacim ve zahiri özgül ağırlık, ince agrega hacim ve zahiri özgül ağırlık ile absorpsiyonu ve filler zahiri özgül ağırlığı deneylerle bulunur. Kaba, ince ve filler malzemenin özgül ağırlıkları kullanılarak, agrega karışımının özgül ağırlıkları aşağıdaki formüllerden hesaplanır (Orhan, 2011).

$$G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\frac{\%K}{G_{kb}} + \frac{\%İ}{G_{ib}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2)$$

$$G_{sa} = \frac{\%K + \%I + \%F}{\frac{\%K}{G_{ka}} + \frac{\%I}{G_{ia}} + \frac{\%F}{G_{fa}}} \quad (2)$$

G_{sb} : Agrega karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sa} : Karışımının Zahiri özgül ağırlığı

$\%K, \%I, \%F$: Agregaların ağırlıkça yüzdeleri

G_{kb}, G_{ib} : Agregaların hacim özgül ağırlıkları

G_{ka}, G_{ia}, G_{fa} : Agregaların Zahiri özgül ağırlıkları

Agrega efektif özgül ağırlık ise iki şekilde belirlenir;

a) Agrega özgül ağırlıklarından aşağıdaki şekilde hesapla bulunur.

$$G_{ef} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \quad (4)$$

G_{ef} = Agrega efektif özgül ağırlığı

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

Beklenen optimum bitüm yüzdesinden hazırlanan karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı (boşluksuz) deneyle belirlenir ve efektif özgül ağırlık aşağıdaki şekilde hesaplanır (Orhan, 2011).

$$G_{ef} = \frac{100}{\frac{100 + W_a}{D_t} - \frac{W_a}{G_b}} \quad (5)$$

D_t = Karışımın maksimum teorik özgül ağırlığı

W_a = Agreganın yüzdesi olarak bitüm miktarı

G_b = Bitüm özgül ağırlığı

1.7. Bitümün ve/veya Karışımın Modifiye Edilmesi

Modifikasyon, yol üstyapılarında kullanılan bağlayıcının veya karışımın performansını arttırmak amacı ile bağlayıcının içine çeşitli katkı maddelerinin belirli oranlarda ve şartlarda karıştırılmasıdır (Malkoç, 2002).

Modifikasyon işlemi genel olarak katkı maddesi önceden bitüme katılması ile modifiye bitüm elde edilmesi veya katkı maddesinin asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılması ile modifiye karışım elde edilmesi şeklinde yapılabilmektedir (Çubuk, 2007).

Üstyapı alttemel, temel ve kaplama tabakaları olmak üzere üç ana tabakadan oluşan bir yapıya sahiptir ve kaplama tabakası ise trafik yüklerine ve çevresel şartların olumsuz etkilerine doğrudan maruz kalmaktadır. Bu nedenle, üstyapının ömrünün uzatılması açısından kaplama tabakasında bağlayıcı olarak kullanılan bitümün bileşiminin ısıl değişikliklere, havaya, neme, güneş ışığına (oksidasyona) karşı dayanımının yüksek olması önemlidir. Bu etkilere karşı dayanımının artırılması için bitümün modifiye edilmesi çalışmaları oldukça önemlidir (Gençtürk, 2011).

Yol üst yapılarının yüksek sıcaklıklarda yeterli rijitliğe sahip olması tekerlek izi gibi deformasyonlara karşı direncin artmasına, düşük sıcaklıklarda ise yeterli esnekliğe sahip olması çatlamalara ve kırılmalara karşı direncin artmasını sağlayacaktır. Kaplamanın trafik yükleri altında yorulma nedeniyle meydana gelen çatlamlar ile su etkisiyle meydana gelen soyulmalara karşı dirençli olması ve kaplama yüzeyinde istenilen seviyede kayma direncinin elde edilerek sürüş emniyetinin sağlanması da yine bitümün modifiye edilmesinde amaçlanan hedefler arasındadır (Çubuk, 2007).

Genel olarak bitümün modifiye edilme nedenleri;

- Düşük servis sıcaklıklarında daha esnek karışımlar elde etmek ve böylece kalıcı deformasyonları azaltmak,
- Yüksek servis sıcaklıklarında daha sert karışımlar elde etmek ve böylece tekerlek izlerini azaltmak,
- Kayma direnci yüksek yüzeyler elde etmek,
- Karışımların stabilitesini ve mukavemetini arttırmak,
- Karışımların yorulma direncini arttırmak,
- Yaşlanmış bitümlü bağlayıcıları gençleştirmek,
- Düşük kaliteli agregaları kullanılabilir hale getirmek,

- Agregaların üzerinde daha kalın bağlayıcı filmleri oluşturarak, bağlayıcı ve agregaların birbirine yapışma özelliğini artırarak, soyulmayı azaltmak,
- Akmayı ya da kusmayı azaltmak,
- Yakıt dökülmelerine karşı direnci sağlamak,
- Kaplama tabakalarının kalınlıklarını azaltmak ve daha ince aşınma tabakalarının kullanımını sağlamak,
- Çatlakları geciktirmek,
- Uygulama alanlarını artırmak,
- Absorbsiyonu minimize etmek,
- Kaplamaların performansını yükseltmek,
- Kaplamaların uzun vadede ekonomik olmasını sağlamak.

Bağlayıcıya veya karışıma çeşitli katkı maddeleri ilave edilmesiyle bu özellikler tam olmasa da kısmen sağlanabilmektedir (Çubuk, 2007).

1.7.1. Katkı Maddeleri

Bu bölümde bu tez çalışmasında kullanılan katkı maddeleri ve özellikleri verilmiştir.

Günümüzde birçok değişik madde asfalt katkıları ve modifiyerleri olarak değerlendirilmektedir. Tüm bu maddelerin kullanılmasının amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesidir (Şengül, 2006).

Bitüm katkı maddeleri çeşitli biçimlerde sınıflandırılmaktadır. Katkı maddesinin tipini, örneklerini ve katkı maddesinin bitüm kıvamına etkisini gösteren genel bir sınıflandırma Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Asfalt katkı maddelerinin genel sınıflandırılması (İlçalı vd., 2001).

Tip	Örnek Katkı Maddeleri	Asfalt Kıvamına Etkisi	
1. Filler	<ul style="list-style-type: none"> Sülfür Karbon siyahı Mineral filler: Taş tozu Kireç Portland çimentosu 	Sertleştirme	
2. Ekstender (Genleştirici)	<ul style="list-style-type: none"> Sülfür Lignin (Odun özü) 	Sertleştirme	
3. Kauçuk a. Doğal lateks b. Yapay lateks c. Blok kopolimer d. İşlenmiş kauçuk	POLİMERLER	<ul style="list-style-type: none"> Doğal kauçuk Dönüştürülmüş kauçuk Stiren-Butadien-Stiren (SBS) Stiren-Butadien-Rubber (SBR) 	-
4. Plastik		<ul style="list-style-type: none"> Polietilen Polipropilen Polivinil-Klorid (PVC) Etilen-Vinil-Aseta (EVA) 	Sertleştirme
5. Bileşim		<ul style="list-style-type: none"> 3 ve 4 deki polimerlerin karışımı 	-
6. Fiber	<ul style="list-style-type: none"> Doğal fiber Asbest Taş yünü Yapay Fiberglas Polyester Polipropilen 	Sertleştirme	
7. Oksidan	<ul style="list-style-type: none"> Manganez tuzu 	Sertleştirme	
8. Antioksidan	<ul style="list-style-type: none"> Karbon Kalsiyum tuzu Kurşun karışımları 	Yumuşatma	
9. Hidrokarbon	<ul style="list-style-type: none"> Sertleştirme ve doğal asfaltlar Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları 	Yumuşatma veya sertleştirme	
10. Soyulma önleyici	<ul style="list-style-type: none"> Kireç Aminler 	Yumuşatma	

Ayrıca yaygın olarak kullanılan modifiyerlerin bağlayıcı üzerinde ki etkisi Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 11. Yaygın kullanılan bazı modifiyerlerin bağlayıcı üzerindeki etkisi (İlçalı vd., 2001).

Modifiyer	Modifiyerin Bağlayıcı Üzerindeki Etkisi
Yağ	Asfaltın yapısı, bağlayıcılık, viskozite, penetrasyon, yumuşama noktası
Fiberler	Tiksotropik, çatlak direnci, viskozite
Solvent	Viskozite
Balmumu	Viskozite (sıcak), sertlik (soğuk), bağlayıcılık, adezyon
Filler tozu	Yumuşama noktası, sertlik, viskozite, yoğunluk, maliyet, mekanik sağlamlık
Emülsifikasyon	Viskozite, ıslatma kabiliyeti, uygulama sıcaklığı
Islatma ajanları	Islatma kabiliyeti, adezyon
Ataktik-Polipropilen (APP) Etilen-Vinil-Asetat (EVA)	Sertlik, penetrasyon, Frass kırılma noktası, yumuşama noktası
Stiren-Butadien-Stiren (SBS)	Penetrasyon, yumuşama noktası, elastik geri dönüş, düşüş sıcaklık kırılmalılığı

Asfalt karışımlarda kimyasal katkıları da sıklıkla kullanılmaktadır. Tablo 12’de asfalt karışımlara eklenen kimyasal katkıları olumlu etkileri verilmiştir.

Tablo 12. Asfalt karışımlara eklenen kimyasal katkıları olumlu etkileri (Yılmaz, 2016).

Kimyasal Katkıları	Kimyasal Katkıları Rolü								
	Yaşlanma	Nem Zararı	Agrega Bağlayıcı Değişikliği	İşlenebilirlik	Adezyon kuvvet	Stabilite	Tekerlek İzi	Soyulma	Sertlik
Hidrate Kil	x	x		x	x	x	x	x	x
Portland Çimentosu				x	x	x	x		
Manganez Modifiyesi			x	x	x		x	x	x
Katyodik Yüzey Aktif Ajanları	x	x		x	x	x			
Sülfür				x		x	x		x
Organik Polimer				x		x	x		
(x:Olumlu etki)									

Yaygın olarak kullanılan asfalt modifiyerlerin bozulmalar üzerinde olumlu etkileri Tablo 13’de verilmiştir (Yılmaz, 2016).

Tablo 13. Yaygın kullanılan asfalt modifiyerlerinin bozulmalar üzerinde olumlu etkileri

Sınıfı	Modifiye Tipi	Bozulmalara Etkisi				
		Kalıcı Deformasyon	Yorulma Çatlağı	Düşük Isı Çatlağı	Nem Hasarı	Yaşlanma
Fillerler	Siyah karbon	x				x
	Mineral: Sönmüş kireç	x			x	x
	Uçucu kül	x				
	Portland çimentosu	x				
	Kiremit tozu	x				
Ekstenderler (Genleştiriciler)	Sülfür	x	x	x		
	Odun lignini				x	
Polimerler - Elastomerler	Strien-Butadien di-block (SB)	x		x	x	
	Strien-Butadien-Stiren (SBS)	x	x	x		
	Strien-Butadien-Rubber (SBR)	x		x		
	Polychlorophene lateks	x				
	Doğal kauçuk	x				
	Acrylonite-Butadien-Stiren (ABS)	x				
Polimerler - Plastomerler	Etilen-Vinil-Asetat (EVA)	x	x			
	Etilen-Propilen-Diene-Monomer (EPDM)	x				
	Etilen-Acrylate (EA)	x				
	Polyisobutylene	x				
	Polietilen (Düşük ve yüksek yoğunluklu)	x				
	Polipropilen	x				
Ufalanmış kauçuk	Farklı boyutlar, iyileştirmeler, işlemler	x	x	x		
Oksidanlar	Manganez bileşikleri	x				
Hidrokarbonlar	Aromatikler			x		
	Naftenik					
	Parafmiks/mum			x		
	Vakum gaz ayağı			x		
	Asfaltenler: Yüksek işlem reçineler	x				
	SDA asfaltenler	x				
	Asfaltenler: DEMEX asfaltenler	x				
	Shale oil				x	x
	Doğal asfaltlar: Trinidad	x	x	x	x	
Gilsonit	x			x		
Soyulma önleyiciler	Aminler: Amidoaminler				x	
	Poliaminler				x	
	Poliamidler				x	
	Organo-metalikler				x	
Fiberler	Polipropilen	x	x	x		
	Polyester	x				
	Fiberglas					
	Çelik	x	x	x		
	Güçlendiriciler	x	x	x		
	Doğal: Selüloz	x				
	Mineral	x				
Antioksidanlar	Karbamatlar: Kurşun			x		x
	Çinko			x		x
	Siyah karbon	x				x
	Kalsiyum tuzlar					x
	Fenoller					x
	Aminler				x	x

Asfaltın modifiye edilmesinde kullanılacak katkı maddeleri ve modifiye asfaltların uygulamada etkili, ekonomik ve uygun olması için bazı özellikler aranmaktadır (Ilıcalı vd., 2001; Bostancıoğlu, 2012; Yılmaz, 2016).

Asfalt katkı maddelerinde aranan özellikler:

- Düşük maliyetli olmalıdır.
- Kolay elde edilebilmelidir.
- Asfaltla homojen olarak karışabilmelidir.
- Asfalt, karışım sıcaklığında özelliklerini kaybetmemelidir.
- Düşük sıcaklıklarda asfalt çok kırılğan ya da sert olmamalıdır.
- Asfaltın, karıştırma ve serme sıcaklıklarında akışkanlığa karşı direncini artırmalıdır.

Katkılı asfaltlarda aranan özellikler:

- Uygun ekipmanla işlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdır.
- Standart uygulama sıcaklıklarında püskürtebilme ve agregayı sarabilme akışkanlığını sağlayabilmelidir.
- Uygulama, hizmet ve depolama sırasında sahip oldukları özellikleri korumalıdır.
- Fiziksel ve kimyasal olarak stabil kalmalıdır.

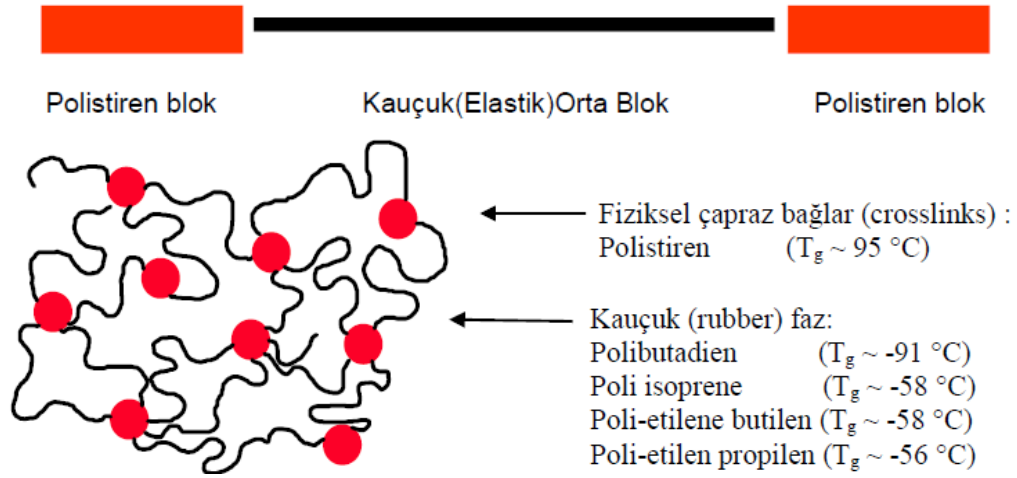
1.7.1.1. Stiren-Butadien-Stiren (SBS)

SBS, Stiren–Butadien-Stiren Blok Kopolimerinin kısaca adlandırılmasıdır. Asfaltın kaplamaların kalıcı deformasyon direncini arttıran SBS Shell firması tarafından 1960’larda yapılan petrokimya türevi bu sentetik kauçuk ailesi, ayakkabı tabanı, su yalıtım membranı, polimer ve bitüm modifikasyonu, hot-melt yapıştırıcılar gibi endüstriyel birçok alanda hammadde olarak kullanılmaktadır (Şekil 34). SBS, esnek kaplamalarda 1985 yılından beri kullanılmaktadır (Karakaş, 2014).

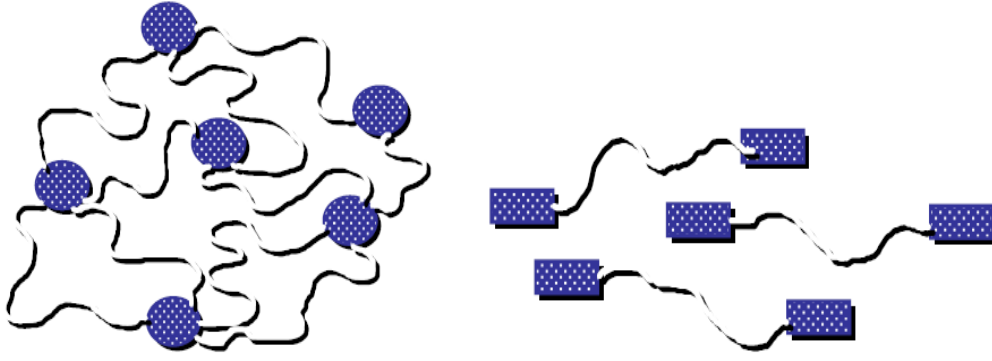


Şekil 34. SBS'nin görünüşü

SBS ile bitümün karışımı tamamen bir çözünme olayı olup, kimyasal bir reaksiyon değildir. SBS bitüme katıldığında, hacmi 10 kat artar ve Şekil 35'deki gibi üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturur. Böylece çok geniş bir sıcaklık aralığında visko-elastik bir yapı oluşur. Karışımın yüksek sıcaklıklarda kıvamı artarken, düşük sıcaklıklarda kırılabilirliği azalır (Şekil 36) (Kara ve Vonk, 2009).



Şekil 35. SBS'nin yapısı (Ahmetzade vd., 2007).



Şekil 36. Bitümle karışım sıcaklığında ve düşük sıcaklıklarda SBS'in yapısı (Ahmedzade vd., 2007)

1.7.1.2. Elyaf

Şekil 37'deki görünümüne sahip olan elyaflar genellikle gevşek ve granül halde olmak üzere 2 şekilde satılmaktadır. Kuru gevşek şekilde plastik torbalarla paketlenmekte açık halde bulunmaktadır. Ayrıca elyaflar granül hale getirilebilmektedir. Hem selüloz hem de mineral elyaflar batch tipi veya drum-miks tipi plantlerde kullanılabilir. Fiber mikserin içinde doğrudan karışıma katılmalıdır. Bunun için basit bir dozajlama pompası kullanılabilir (Arslan, 2014).



Şekil 37. Elyafın görünüşü

TMA karışımına, bitüm oranı yüksek olduğundan, bitüm ve bitüm+fillerin karışımından süzülmesini önlemek için, elyaf ilave edilir. TMA yapımında fiber kullanımı bitüm miktarını artırmakta, durabiliteyi yükseltmekte ve plastik deformasyonlara karşı

dayanımı artırmaktadır. Tablo 14 ve 15’de mineral ve selüloz elyafa ait özellikler verilmiştir (Orhan, 2011).

Tablo 14. Mineral elyaf özellikleri (KTŞ, 2013).

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

Tablo 15. Selüloz elyaf özellikleri (KTŞ, 2013).

Kül Muhtevası	%18 ± %5
Ph	7,5 ± %1
Yağ Absorbsiyonu	Elyaf Ağırlığının 5 ± 1katı
Nem Absorbsiyonu	Ağırlıkça %5

1.7.1.3. Pr Plast S

PR PLAST S renkli 0/5 mm daneli halde, rejenere polyolefinden elde edilmekte ve bitümlü karışımlara doğrudan eklenmektedir (Şekil 38). Tambur tipi plentler için 850-900 kg ağırlığında büyük torbalar halinde, yığın tipi plentler için batch kapasitesine göre 7-12 kg eriyebilir torbalarda hazırlanmaktadır. Karışıma genellikle %0,4 - %1,0 oranında katılan Pr-Plast S otoyollar, otoyolların oluklanmış dış şeritleri, yollar, kavşak ve rampalar, dönel kavşaklar, otobüs şeritleri, havaalanı pistleri, fabrika döşemeleri, limanlarda konteynır sahalar gibi alanlarda uygulanır (URL-13, 2017).

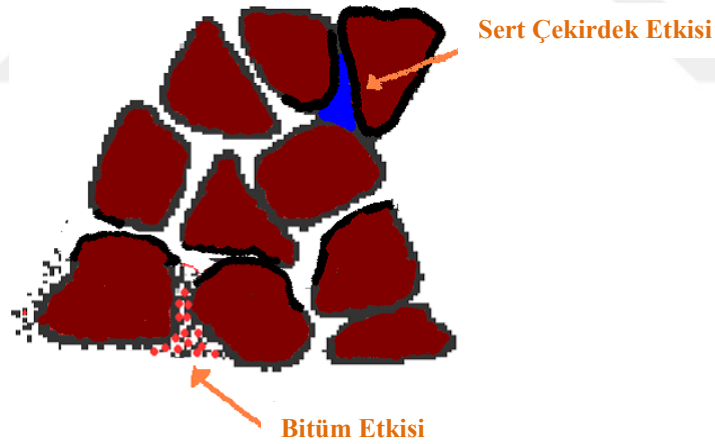


Şekil 38. Pr Plast S katkı maddesi görünüşü

Pr Plast S katkı maddesi bitümlü sıcak karışımlarda bir özelliği iyileştirirken sağladığı avantajların bazıları;

- Bitümlü sıcak karışımın (asfalt betonu) tekerlek izi oluşumuna karşı mukavemetini önemli ölçüde artırır.
- Düşük sıcaklıklarda karışımın esnekliğini ve kohezyonu artırır.
- Karışımın yorulmaya karşı mukavemetini iyileştirir.
- Üretimi ve kullanımı esnekler.
- Soğuk depolanabilir.
- Modifiye bitüm tesisi gerektirmez (URL-13, 2017).

Şekil 39'da Pr Plast S katkı malzemesinin karışımdaki sert çekirdek etkisi görülmektedir. Pr Plast S katkı maddesi, asfalt betonunun kalitesini optimize etmek için, plente karışım sırasında sıcak agregaya bitüm püskürtülmeden önce karıştırılır. Üretim sıcaklığı 160-175 °C'dir. (URL-13, 2017). Sıkıştırma sıcaklığı ise en az 110 °C'dir (Pr Industrie, 2016).



Şekil 39. Pr Plast S katkı malzemesinin karışımdaki sert çekirdek etkisi (Pr Industrie, 2016)

1.7.2. Sıcak Asfalt Karışımlara Uygulanan Deneyler

Yol üstyapısının etkili bir tasarımı için, üstyapı tabakalarında kullanılan malzemelerin ve karışımların özellikleri net bir şekilde bilinmelidir. Üstyapı tasarımında iki grup malzeme özelliği dikkate alınmaktadır. Birinci grup, yapının analizi için gerekli

olan yük-deformasyon veya gerilme-şekil değiştirme özellikleri; ikinci grup ise bozulma şeklini (deformasyon) belirleyen özelliklerdir (Yılmaz, 2016).

Üstyapı tasarımı yapılırken arazide kullanılan malzemenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ideal olan yoldur. Ancak bazı durumlarda arazi deneyleri yapmak güçlük içermektedir. Dolayısıyla, özelliklerin tespit edilmesi için genel olarak laboratuvar deneyleri tercih edilir. Laboratuvar deneylerinde sıcaklık, yükleme süresi, gerilme durumları, sıkıştırma gibi koşullar mümkün olduğunca arazi şartlarına benzer olacak şekilde düzenlenmelidir. Arazi davranışlarının belli başlı bazı yönlerini sağlayan birçok basitleştirilmiş deney bulunmaktadır (Bostancıoğlu, 2012; Yılmaz, 2016).

Bu bölümde bu tez çalışmasında yapılmış olan deneyler açıklanmıştır. Bu deneyler dışında sıcak asfalt karışımlarına uygulanan pek çok deney bulunmaktadır.

1.7.2.1. Marshall Metodu ile Karışım Dizaynı ve Marshall Deneyi

Marshall metodu, maksimum tane boyutu 2.54 cm (1 inç) ya da daha küçük agrega içeren ve bağlayıcı olarak asfalt çimentosu kullanılarak hazırlanan sıcak asfalt kaplama karışımlarında kullanılır. Bitümlü sıcak karışımların laboratuvar dizaynı ve sıcak asfalt karışım kaplamalarının uygulamadaki kontrollerinde Marshall Metodu uygulanır (Yağız vd. 1967; Önal ve Karaca, 1990; Oruç, 1997; Yılmaz,2016).

Marshall metodu ile sıcak asfalt karışımların dizaynı yapım aşamaları;

1. Karışımında kullanılacak agreganın elek analizi yapılarak karışımın granülometrisi belirlenir ve granülometri eğrisi çizilir.
2. Karışım granülometrisinin tolerans sınırları belirlenerek tolerans eğrileri çizilir.
3. Şartname sınır eğrileri ve şartname sınırlarının ortalaması ile ideal şartname eğrisi çizilir.
4. Karışım granülometri eğrisi ile şartname ideal eğrisinin çakışmasını ya da ona çok yakın bir granülometri eğrisi elde edilmesini sağlayan karışım oranları belirlenir.
5. Agrega karışımı, her biri değişik özgül ağırlıklara sahip kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerden oluşur. Toplam agreganın hacim ve zahiri özgül ağırlıkları efektif özgül ağırlığı hesaplanır. Ayrıca karışımdaki agreganın sahip olması gereken şartname kriterleri Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16. Agrega Özellikleri (KTŞ, 2013).

Agrega Deneyleri	Aşınma	Binder	B.Temel	S.Kapl.	TMA
Aşınma, maks %	30	35	35	30	25
Sağlamlık, (MgSO ₄) maks %	16	18	18	18	14
Soyulma Mukavemeti, min. %	50	50	50	50	60
Yapışma, maks %	-	-	-	12	
Cilalanma Değeri, min	50	-	-	50	50
Kırılmışlık, min. %	100	100	100	80	
Yassılık İndeksi, maks %	30	35	35	25	25
Su Absorpsiyonu, maks%	2,0	2,5	2,5	2,5	2,0
Metilen Mavisini, maks %	1,5	1,5	2,0	2,0	1,5
Kül Topakları ve Ufalanabilir Dane maks, %	0,5	0,5	1,0	0,5	bulunmaz

6. Optimum asfalt içeriğini tespit etmek için belirli bir orandan başlayarak ardışık olarak agreganın %0,5'i oranında artan 4-7 farklı asfalt içeriğinde ve her asfalt içeriği için üçer Marshall briketi hazırlanır. Her bir briket için belirlenen gradasyonda 1100-1200 gr agrega tartılır. Hazırlanan agrega ve asfalt şartnamede belirtilen sıcaklık aralıklarında agrega taneleri tamamen asfalt ile kaplanıncaya kadar karıştırılır. Tablo 17'de malzemelerin karıştırma sıcaklığına ilişkin şartname kriterleri verilmiştir.

Tablo 17. Malzemelerin karıştırma sıcaklığı (KTŞ, 2013).

Asfalt Bağlayıcı	Asfalt		Agrega	
	Min. (°C)	Maks. (°C)	Min. (°C)	Maks. (°C)
40/60, 50/70 pen. Asfalt ile hazırlanan karışımlarda	145	160	150	165
70/100 pen. Asfalt ile hazırlanan karışımlarda	140	155	145	160

7. Asfalt ve agrega karıştırıldıktan sonra karışım kalıba doldurulur ve 45,7 cm'den serbest düşüş yapan Marshall tokmağı yardımıyla her iki yüzüne 75 darbe (TMA için 50 darbe) uygulanarak sıkıştırılır.
8. Sıkıştırılan briketler soğutulduktan sonra, kalıptan çıkarılarak havadaki ağırlıklar (A), doymun kuru yüzey ağırlıkları (B) ve sudaki ağırlıkları (C) tartılır. A, B, C ağırlıkları ile briketlerin özgül ağırlıkları, boşluk oranları ve asfaltla dolu boşluk oranları belirlenir.

9. Yükseklikleri ve gerekli ağırlıkları belirlenen briketler Marshall stabilite testinin ve akmalarının belirlenmesi amacıyla briketler, 60 °C sıcaklıktaki suda 30-40 dakika bekletildikten sonra Marshall stabilite cihazına yerleştirilerek yüklenir. En yüksek yük değeri bulununcaya kadar yükleme devam ettirilir ve en yüksek yükleme değerinde akma okunur.

$$D_p = \frac{A}{(B-C)} \quad (6)$$

$$D_t = \frac{100 + W_a}{\frac{100}{G_{ef}} + \frac{W_a}{G_b}} \quad (7)$$

$$P_{ba} = 100 \cdot \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{ef}} \quad (8)$$

$$P_{be} = W_a - P_{ba} \quad (9)$$

$$VMA = 100 - \frac{D_p \cdot (100 - \frac{W_a \cdot 100}{100 + W_a})}{G_{sb}} \quad (10)$$

$$V_h = \frac{D_t - D_p}{D_t} \cdot 100 \quad (11)$$

$$V_f = \frac{VMA - V_h}{VMA} \cdot 100 \quad (12)$$

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

10. Marshall stabile deneyinde, standart briket yüksekliği 63,5 mm'dir. Bu yükseklikten farklı yükseklikte ölçülen briketlerin stabilite değerleri Tablo 18'de verilen düzeltme katsayılarıyla çarpılır.

Briketlerin boşluk, yoğunluk ve stabilite analizleri yapıldıktan sonra optimum asfalt içeriğinin belirlenmesi için D_p - W_a , V_f - W_a , V_h - W_a ve stabilite- W_a grafikleri çizilir.

- D_p - W_a grafiğinden maksimum D_p değerini sağlayan W_a değeri W_{a1} ,

- Vf-Wa ve Vh-Wa grafiklerinden şartname limitlerinin (Tablo 19) ortalamasını sağlayan Wa değerleri Wa_2 ve Wa_3 ,
- Stabilite-Wa grafiğinden maksimum stabiliteyi sağlayan Wa değeri Wa_4 olmak üzere optimum asfalt içeriği Formül 13 ile hesaplanır (Oruç, 1997; Yılmaz, 2016).

$$\text{Optimum asfalt içeriği} = (Wa_1 + Wa_2 + Wa_3 + Wa_4) / 4 \quad (13)$$

Tablo 18. Marshall düzeltme katsayıları

Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı	Boy (mm)	Katsayı
50,0	1,515	54,0	1,320	58,0	1,165	62,0	1,038	66,0	0,943
50,1	1,509	54,1	1,316	58,1	1,162	62,1	1,035	66,1	0,941
50,2	1,504	54,2	1,311	58,2	1,159	62,2	1,033	66,2	0,939
50,3	1,498	54,3	1,307	58,3	1,156	62,3	1,030	66,3	0,938
50,4	1,493	54,4	1,303	58,4	1,153	62,4	1,028	66,4	0,936
50,5	1,487	54,5	1,298	58,5	1,149	62,5	1,025	66,5	0,934
50,6	1,481	54,6	1,294	58,6	1,146	62,6	1,023	66,6	0,932
50,7	1,476	54,7	1,289	58,7	1,143	62,7	1,020	66,7	0,930
50,8	1,470	54,8	1,285	58,8	1,137	62,8	1,018	66,8	0,928
50,9	1,465	54,9	1,281	58,9	1,134	62,9	1,015	66,9	0,925
51,0	1,460	55,0	1,276	59,0	1,131	63,0	1,013	67,0	0,923
51,1	1,455	55,1	1,272	59,1	1,128	63,1	1,010	67,1	0,920
51,2	1,450	55,2	1,268	59,2	1,124	63,2	1,008	67,2	0,918
51,3	1,445	55,3	1,263	59,3	1,121	63,3	1,005	67,3	0,915
51,4	1,440	55,4	1,259	59,4	1,118	63,4	1,003	67,4	0,913
51,5	1,435	55,5	1,254	59,5	1,115	63,5	1,000	67,5	0,910
51,6	1,430	55,6	1,250	59,6	1,112	63,6	0,998	67,6	0,908
51,7	1,425	55,7	1,246	59,7	1,109	63,7	0,995	67,7	0,905
51,8	1,420	55,8	1,243	59,8	1,106	63,8	0,993	67,8	0,903
51,9	1,415	55,9	1,239	59,9	1,103	63,9	0,990	67,9	0,900
52,0	1,410	56,0	1,235	60,0	1,099	64,0	0,988	68,0	0,898
52,1	1,405	56,1	1,231	60,1	1,096	64,1	0,985	68,1	0,895
52,2	1,400	56,2	1,228	60,2	1,093	64,2	0,983	68,2	0,893
52,3	1,395	56,3	1,224	60,3	1,090	64,3	0,980	68,3	0,890
52,4	1,390	56,4	1,220	60,4	1,087	64,4	0,978	68,4	0,888
52,5	1,386	56,5	1,216	60,5	1,084	64,5	0,975	68,5	0,886
52,6	1,381	56,6	1,213	60,6	1,081	64,6	0,973	68,6	0,884
52,7	1,377	56,7	1,209	60,7	1,078	64,7	0,970	68,7	0,883
52,8	1,373	56,8	1,205	60,8	1,074	64,8	0,968	68,8	0,881
52,9	1,368	56,9	1,201	60,9	1,071	64,9	0,965	68,9	0,879
53,0	1,364	57,0	1,198	61,0	1,068	65,0	0,963	69,0	0,877
53,1	1,359	57,1	1,194	61,1	1,065	65,1	0,960	69,1	0,875
53,2	1,355	57,2	1,190	61,2	1,062	65,2	0,958	69,2	0,873
53,3	1,351	57,3	1,187	61,3	1,059	65,3	0,956	69,3	0,871
53,4	1,346	57,4	1,184	61,4	1,056	65,4	0,954	69,4	0,869
53,5	1,342	57,5	1,181	61,5	1,053	65,5	0,953	69,5	0,868
53,6	1,338	57,6	1,178	61,6	1,049	65,6	0,951	69,6	0,866
53,7	1,333	57,7	1,174	61,7	1,046	65,7	0,949	69,7	0,864
53,8	1,329	57,8	1,171	61,8	1,043	65,8	0,947	69,8	0,862
53,9	1,324	57,9	1,168	61,9	1,040	65,9	0,945	69,9	0,860

Tablo 19. Dizayn kriterleri (Orhan, 2011).

	Aşınma		Binder		Bitümlü Temel		TMA	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
Darbe Sayısı	75		75		75		50	
Stabilite	900	-	750	-	600	-	750	-
Akma, mm	2	4	2	4	2	5	2	4
Boşluk, %	3	5	4	6	4	7	2 3*	4 4*
Asf. Dolu Boşluk, %	65	75	60	75	55	70		
Filler/Bitüm Oranı		1,5	-	1,4	-	-		
Asfalt Çimentosu, %	4,0	7,0	3,5	6,5	3	5,5		
VMA	14	-	13	-	12	-	16 Tip1 17 Tip2	- -
Elyaf Miktarı, %								1,5
Bitüm Süzülme, %								0,3
Rut Derinliği(30000 Devir, 60°C'de), %								6

1.7.2.2. Dolaylı Çekme Deneyi

Dolaylı çekme (Indirect Tensile Strength Modulus, ITSM) deneyi, dinamik yükler altındaki bitümlü karışımların esnekliğini tespit etmek amacıyla kullanılan bir deneydir. Bitümlü sıcak karışımların esneklik modülünün deneysel olarak belirlenmesinde, direkt basınç, dolaylı çekme ve burulma deneyleri uygulanabilmektedir. Bütün deney metodları, 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 (Kök, 2007; Bostancıoğlu, 2012).

Asfalt kaplamaların en önemli performans özelliği esneklik modülüdür. Esneklik modülü asfalt kaplamalarda yük dağıtma kabiliyetinin bir ölçüsüdür, trafik etkisiyle kaplamanın altında meydana gelen ve yorulma çatlaklarına neden olan çekme ve basınç gerilmelerinin neden olduğu kalıcı deformasyonları kontrol eder. Dolaylı çekme deneyi, yükleme süreleri altında ve farklı sıcaklıklarda yapılır, her bir yükleme süresi ve sıcaklık için numunelere ait esneklik modülü değerleri belirlenir (İBB, 2001; Yılmaz, 2016).

Dolaylı çekme deneyi, Asfalt Tester cihazı kullanılarak, BS DD 213 standardına göre tanımlanmış hasarsız ve deformasyon kontrollü bir deneydir. Asfalt Tester cihazı Şekil 40'da görülmektedir. Deney sistemi; iklimlendirme kabini, yükleme çerçevesi, yazılım ve

bilgisayardan oluşur. İklimlendirme kabini sayesinde farklı sıcaklıklarda deney yapılabilir. Deney öncesi numuneler en az 3 saat olmak üzere deney sıcaklığında bekletilir. Yazılım programına bazı veriler (briket yüksekliği, çapı, tahmini poisson oranı, hedef yatay deformasyon, yükleme etki süresi ve yükleme artış süreleri, tahmini rijitlik modülü) girilir, aletin çerçevesi içine briket yerleştirilir ve yatay deformasyonları ölçen sensörler ayarlanır. Deneyde önce numunelere ön yükleme işlemi uygulanır ve 5 defa tekrarlanan ön yükleme sırasında cihaz otomatik olarak numunede yatay ekseninde hedef deformasyonu meydana getirecek yükü belirler ve numuneye ön yükleme ile belirlenen yükte ve yarı sinüzoidal 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.



Şekil 40. Asfalt tester cihazı

Esneklik modülü (E_m), briket yüksekliği, uygulanan yük, kabul edilen veya hesaplanan poisson oranına bağlı olarak Formül 14'deki gibi hesaplanır;

$$E_m = \frac{P(\nu + 0,2734)}{H_y \cdot h} \quad (14)$$

E_m : Esneklik Modülü (MPa)

P : Maksimum Yük (N)

H_y : Toplam Yatay Deformasyon (mm)

h : Numune Kalınlığı (mm)

ν : Poisson Oranı

Bitümlü sıcak karışımlarda esneklik modülünü etkileyen en önemli faktörler sıcaklık, yükleme frekansı veya hızı ve karışımın hava boşluğu olarak sıralanabilir. Düşük sıcaklıklar, yüksek yükleme hızı ve yüksek viskoziteli asfalt kullanımı karışımın esneklik modülünü arttırmaktadır. Esneklik modülü, ayrıca deneyde kullanılan numunenin büyüklüğüne ve poisson oranına göre farklılık gösterdiğinden 100 mm ve 150 mm'lik numunelerin poisson oranları Formül 15 ve 16 ile hesaplanabilir (Bostancıoğlu, 2012).

$$\nu = 359 \cdot \frac{H_y}{V_d} - 0,27 \quad (100 \text{ mm'lik numuneler için}) \quad (15)$$

$$\nu = 359 \cdot \frac{H_y}{V_d} - 0,27 \quad (150 \text{ mm'lik numuneler için}) \quad (16)$$

H_y : Yatay Deformasyon (mm)

V_d : Düşey Deformasyon (mm)

Dolaylı çekme deneyi numuneye zarar vermeyen tahribatsız bir deneydir. Bir numune ile birden fazla deney yapma imkanı bulunduğundan, numunede kalıcı deformasyonları azaltmak için deneye en düşük sıcaklıklarda, en kısa yükleme süresi ve en düşük yükle başlanmalıdır (Bostancıoğlu, 2012; Yılmaz, 2016).

1.7.2.3. Su Hasarı Deneyi

Bitümlü sıcak karışımlarda, yol kaplamasında kullanılabilirliğini tespit etmek için yapılan en önemli çalışmalardan birisi karışımın suya karşı hassasiyetinin belirlenmesidir (Bostancıoğlu, 2012).

Su hasarı etkisinin tespit edilmesi amacıyla, briketler vakum altında suya doyurulduktan sonra -18 °C sıcaklıkta 16 saat süreyle bekletilir. Süresi dolan briketler 60 °C sıcaklığındaki su banyosunda da 24 saat bekletilir. Sonrasında bu su banyosundan çıkartılarak 25 °C sıcaklığındaki su banyosuna konulur ve burada da 2 saat bekletilerek koşullandırılır. Koşullandırılmış olan numuneler bölüm 1.7.2.2'de açıklandığı üzere dolaylı çekme deneyi ile aynı işlemlere tabi tutulur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bitümlü sıcak karışımlarının özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla gerek bağlayıcıya gerekse karışıma çeşitli katkı maddeleri katılmaktadır. Özellikle son yıllarda ülkemizde dış etkenlerden kaynaklı su hasarları, sıcaklık farkları ve ağır tonaj vb. nedenlerle asfalt kaplamalarda tekerlek izi oluşumları artmıştır. Dolayısıyla tekerlek izi oluşumunun önlenmesi amacıyla da pek çok katkı maddesi kullanılmaktadır.

SBS ile modifiye edilmiş bitüm kullanılarak oluşturulmuş Taş Mastik Asfalt karışımına farklı oranlarda Pr Plast S eklenerek asfalt kaplamaların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada kapsamındaki kullanılan malzemeler ve uygulanan deneyler aşağıdaki gibidir.

Kullanılan Malzemeler:

- Agregat
- %5 SBS modifiyeli 50/70 bitüm
- Elyaf
- Pr Plast S

İzlenen Yöntem:

a. Polimer Modifiye Bitümün Fiziksel ve Reolojik Özellikleri İçin Uygulanan

Deneyler:

- Penetrasyon
- Parlama Noktası
- Yumuşama Noktası
- Düktilite
- RV
- b. Agregalara Uygulanan Deneyler:
 - Elek Analizi
 - Özgül Ağırlık Ve Absorbsiyon Deneyi
 - Cilalanma Deneyi
 - Donma Deneyi
 - Los Angeles Aşınma Deneyi
 - Yassılık İndeksi Deneyi

- Soyulma Deneyi
- c. Asfalt Karışımlara Uygulanan Deneyler:
- Marshall Stabilite ve Akma Deneyi
 - Dolaylı Çekme Deneyi
 - Su Hasarı Deneyi

2.1. Modifiye Asfalt Bağlayıcıların Hazırlanması

PMB 76/16 sınıfındaki modifiye asfalt İSFALT A.Ş.'den temin edilmiştir. %5 oranında Konimpex marka SBS kullanılarak modifiye edilmiş bitüm plentte üretilmiştir. Katkı ve asfaltın 180-190 °C arasında karıştırılmasıyla üretim gerçekleşmiştir.

2.2. Polimer Modifiye Bitümün Fiziksel ve Reolojik Özelliklerinin Belirlenmesi

Polimer Modifiye Bitümün (PMB) fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla penetrasyon, parlama noktası, yumuşama noktası ve duktilite deneyleri yapılmıştır. Ayrıca reolojik özelliklerinden yüksek sıcaklıktaki akışkanlık karakteristiğini incelemek için RV deneyi yapılmıştır.

Polimer Modifiye Bitüme uygulanan deneyler Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü, Trabzon-Erzurum Yol Kontrol Şefliği ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Penetrasyon Deneyinin Yapılışı

Penetrasyon deneyi TS EN 1426, ASTM D5 standardıyla yapılır. Polimer Modifiye Bitümün kıvamını belirlemek amacıyla uygulanan deney, standart iğnenin 100 gram ağırlık altında asfalt numunesine 5 saniye süre dikey olarak battığı mesafe 0,1 mm cinsinden bulunmuştur (Şekil 41 ve 42). Deney sonuçlarına göre penetrasyon değeri **34**'dür.



Şekil 41. Bitüm numunesinin 25 °C su banyosunda bekletilmesi



Şekil 42. Penetrasyon deneyi yapılışı

2.2.2. Yumuşama Noktası Deneyi

TS EN 1427,ASTM D36 standardı ile tanımlanan yumuşama noktası, yüzük-bilya yöntemi ile Polimer Modifiye Bitümün sıcaklığa karşı duyarlılığını ölçmek için yapılmış ve yumuşama noktası **70,6** bulunmuştur (Şekil 43 ve 44).



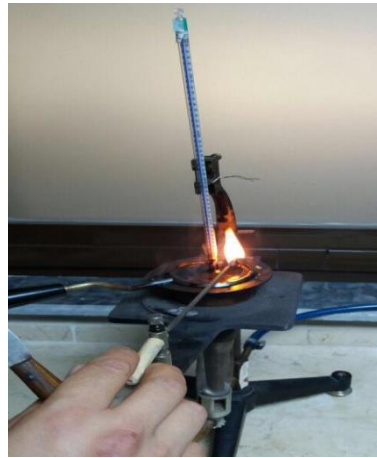
Şekil 43. Bitümün yüzüklere koyulması ve bilyaların yerleştirilmesi



Şekil 44. Yumuşama noktası deneyi yapılışı

2.2.3. Parlama Noktası Deneyi

Parlama Noktası Deneyi TS EN ISO 2592, TS 1171 standardına göre yapılmıştır. Polimer Modifiye Bitüm buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklığın tespit edilmesi amacıyla deney gerçekleştirilmiştir. Şekil 45’de görülen Cleveland açık kabı kullanılarak yapılan deneyde parlama noktası **350** °C çıkmıştır.



Şekil 45. Parlama noktası deneyi yapılışı

2.2.4. Düktilite Deneyi

Düktilite Deneyi, Polimer Modifiye Bitümün uzama ve çekme özelliğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. 25 °C sıcaklıktaki su ile dolu cihaz, standart brikette bulunan numuneyi 5 cm/dk. hızla yatay olarak numune kopuncaya kadar çekilmiştir. Şekil 46'da görüleceği gibi asfaltın koptuğu anda cihazda bulunan değer **95** ve **100** cm okunmuştur.



Şekil 46. Düktilite deneyi yapılışı

2.2.5. RV Deneyinin Yapılışı

Bitümün yüksek sıcaklıktaki akışkanlık özelliklerini belirlemek amacıyla RV deneyi, Şekil 47'de görülen Brookfield DV2T marka dönel viskozitemetre cihazı kullanılarak 135 °C ve 165 °C sıcaklıklarda numunelerin viskozite değeri bulunmuştur.

Çalışmada elde edilen RV değerleri Şekil 48'deki alet ekranından görüleceği gibi;

135 °C'de **1700** cP

165 °C'de **500** cP



Şekil 47. RV deneyi yapılışı



Şekil 48. RV deney sonuç ekranı

2.3. Agregalara Uygulanan Deneyler

Deneysel çalışmada kullanılmış olan agregalara uygulanan deneyler Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü, Trabzon-Erzurum Yol Kontrol Şefliği ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

2.3.1. Elek Analizi

Deneysel çalışmada, TMA Tip-1A aşınma tabakası için bazalt taş ocağından temin edilen 5 ayrı elek grubu malzeme karıştırılmak suretiyle karışımda kullanılacak olan

agrega gradasyonuelde edilmiştir. Trabzon-Erzurum Yol Kontrol Şefliği tarafından kullanılan dizayn gradasyonuna uygun olarak, Bağışlı Taş Ocağından temin edilen filler, 0-5 mm, 5-9,5 mm, 9,5-12,5 mm, 12,5-19 mm (Tablo 20) olan agrega grupları TMA Tip-1A için verilen elek serisi (Şekil 49 ve 50) kullanılarak agreganın tane büyüklüğü dağılımı tespit edilerek tane dağılımına yönelik grafik Şekil 51’de verilmiştir.



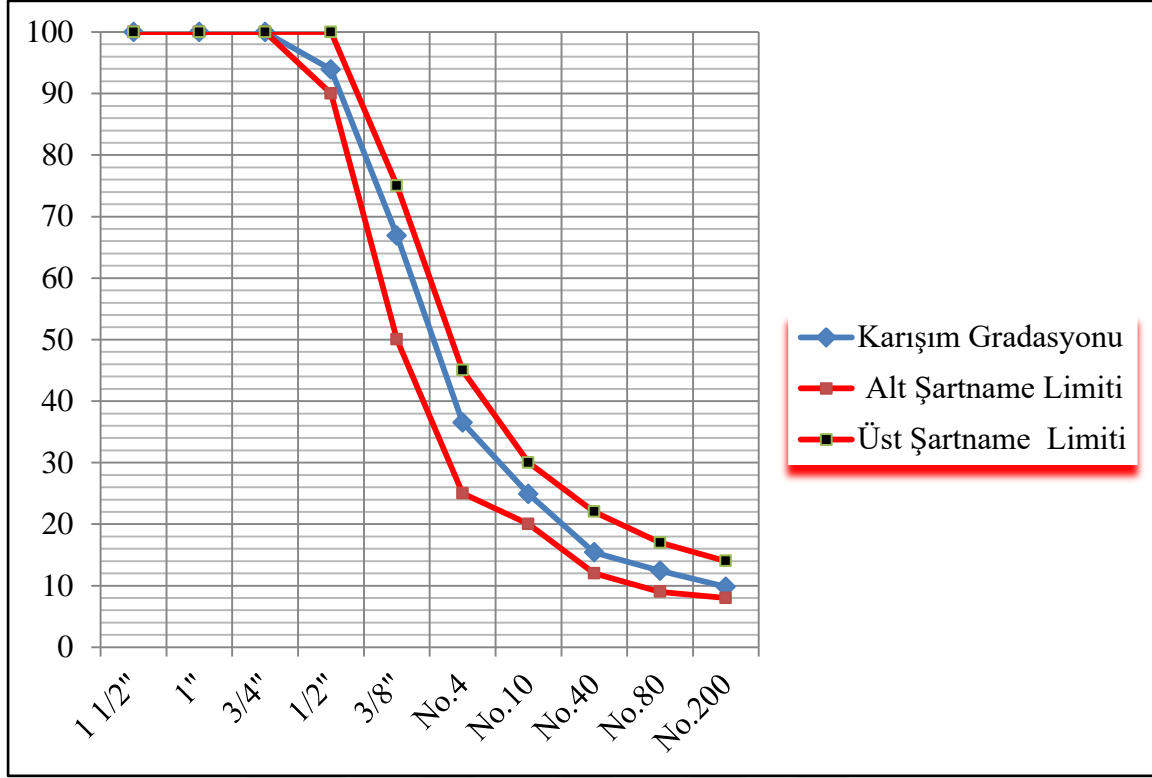
Şekil 49. Elek analizi yapılışı



Şekil 50. Elekten geçen agregaların tartımı

Tablo 20. Agregada karışım gradasyonu

Kaplama Tipi: TMA			
Elekler	Karışım Gradasyonu	Sartname Alt Limiti	Şartname Üst Limiti
3/4	100	100	100
1/2	93,9	90	100
3/8	66,9	50	75
No:4	36,5	25	45
No:10	24,9	20	30
No:40	15,4	12	22
No:80	12,4	9	17
No:200	9,8	8	14



Şekil 51. Agrega granülometri eğrisi

2.3.2. Özgül Ağırlık ve Absorbsiyon Deneyi

Özgül Ağırlık ve Absorbsiyon Deneyi ASTM C127, TS EN 1097-6 standardına göre yapılır. Bölüm 1.6.4.3.8.'de anlatıldığı üzere hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar Tablo 21'de verilmiştir.

Tablo 21. Özgül ağırlık deney sonuçları

Ocak Adı	Bağışlı Taş Ocağı			
Kayanın Cinsi	Bazalt			
	Kaba Agrega	İnce Agrega	Filler	Deney Standardı
Hacimsel Özgül Ağırlığı	2,660	2,573		TS EN 1097-6
Zahiri Özgül Ağırlığı	2,719	2,752	2,797	
Absorbsiyonu %	1,5	2,52		
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Deneyle)			2,680	ASTM D-2041
Karışımın Efektif Özgül Ağırlığı (Hesapla)			2,693	

2.3.3. Cilalanma Deneyi

TS EN 1097-8 standardıyla yapılan bu deneyin amacı trafik altında, agreganın sürtünme ile aşındırıldığında ne dereceye kadar cilalanacağını laboratuvarında tespit etmektir. Öncelikle 10 mm'lik BS eleğinden geçen 10-14 mm'lik yassılık eleğinde kalan agrega kullanılarak briketler hazırlanmış, cilalandırma makinesinde hızlandırılmış aşınmaya maruz bırakılmıştır. Sonrasında ise sürtünme aleti ile cilalanma değeri **61,5** olarak ölçülmüştür.

2.3.4. Donma Deneyi

Hava Tesirlerine Karşı Dayanım Deneyi olarak da adlandırılan bu deney AASHTO T104, TS EN 1367-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney agregaların uzun süre hava tesirleri altında donma çözülme etkilerine karşı dayanımını ölçmek amacıyla yapılmıştır. 4.75 mm üzerinde kalan agregaya $MgSO_4$ çözeltisi kullanılarak, doğada yaklaşık 500 donma ve çözülme olayına eşit olacak şekilde 5 kere donma çözülme yaptırılmıştır. Bu çalışmada $MgSO_4$ Donma Kaybı **%5,3** olarak bulunmuştur.

2.3.5. Los Angeles Aşınma Deneyi

Agrega tanelerinde darbelenme ve aşındırma etkisiyle oluşacak aşınmanın bulunmasını sağlayan deney ASTM C131, AASHTO T96, TS EN 1097-2 standardına uygun olarak yapılmıştır. Los Angeles aşınma makinesine tane boyutu 75 mm'den küçük agregaların ağırlıkları tartılarak konulmuş, agrega ile birlikte metal aşındırıcı küreler makine belirli bir hızla, belirli bir devirde çalıştırılmıştır (Şekil 52). Metal küreler agregaları aşındırmıştır. Deney sonunda tekrar ağırlıkları ölçülerek agregaların ağırlıklarının oranlanmasıyla bulunan ağırlık yüzdesi aşınma kaybı olarak belirlenmiştir. Agregaların Los Angeles Aşınma Kaybı **%14** olarak hesaplanmıştır.



Şekil 52. Los Angeles aşınma deneyi yapılışı

2.3.6. Yassılık İndeksi Deneyi

Agreganın yassı kabul edilebilirliği, deneye alınan herhangi bir tane kalınlığının nominal boyutunun 0,6'sından daha küçük olması gerekmektedir. BS 812 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numunelere önce elek analizi yapılmıştır ve elek analizi sonucuna göre malzemenin miktarı 63 - 50 mm (2 ½ - 2 inç) elekten geçip 9,5 – 6,3 mm (3/8 – 1/4 inç) açıklıklı elekler üzerinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Deneye özel eleklerden gerekli miktarda malzeme alınarak veelenmiştir (Şekil 53). Tüm fraksiyondaki agregaların ağırlığı tartılarak ve yüzdesi belirlenmiştir. Bu çalışma için yassılık indeksi **%13** bulunmuştur.



Şekil 53. Yassılık indeksi deneyi yapılışı

2.3.7. Soyulma Deneyi

KTŞ Kısım 403 Ek-A da belirtilen kriterlere uygun olarak yapılan deneyde sıcaklık ve su etkisiyle agrega bitüm adezyonundaki azalma belirlenmiştir. Deney sonucunda soyulma direnci 25-30 arası bulunmuştur, ancak soyulma direncini arttırıcı katkı kullanarak (%0,2 oranında) bu değer **75-80** olarak elde edilmiştir.

2.4. Optimum Asfalt Yüzdesinin Belirlenmesi

%5 SBS modifiyeli bitüm ve gradasyonu belli olan agrega ile optimum asfalt oranını belirlemek amacıyla Taş Mastik Asfalt dizaynı Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Laboratuvarında yapılmıştır. %5, %5,5, %6, %6,5 ve %7 oranlarında %5 SBS modifiyeli bitüm, agrega numunesine(1100 gr.) katılarak 3'er adet Marshall briketi hazırlanmıştır. Üretilen Marshall briketleri ve bunların yoğunluk boşluk analizleri kapsamında yapılan çalışmalara ilişkin görseller Şekil 54-59'da verilmiştir. Briketlerin pratik yoğunluğu (Dp), teorik özgül ağırlığı (Dt), hava boşluğu (Vh), VMA ve asfaltla dolu boşluk (Vf) oranları hesaplanmış, topluca sonuçlar Tablo 22'de TMA tasarımı için gerekli olan sonuçlar ise Tablo 23'de verilmiştir. Bu yoğunluk ve boşluk analizlerine ilişkin Dp-Wa, Vf-Wa, Vh-Wa, VMA-Wa grafikler Şekil 60-63'de verilmiştir. Bu şekillerde verilen grafiklerden de görüleceği üzere boşluk miktarı Taş Mastik Asfaltta Karayolları Teknik Şartnamesine göre %3'tür. Boşluk miktarı %3'e karşılık gelen bitüm miktarı, en yüksek pratik yoğunluk değerine (Dp) karşılık gelen bitüm miktarı, VMA ve asfaltla dolu boşluk (Vf) miktarına karşılık gelen bitüm miktarı dikkate alınarak optimum asfalt içeriği **%6,9** olarak belirlenmiştir.



Şekil 54. Marshall briketleri kalıplarında bekletilirken



Şekil 55. Marshall briketleri



Şekil 56. Marshall briketlerinin boylarının ölçülmesi



Şekil 57. Marshall briketlerinin havada ağırlıklarının ölçülmesi



Şekil 58. Marshall briketlerinin suda bekletilmesi



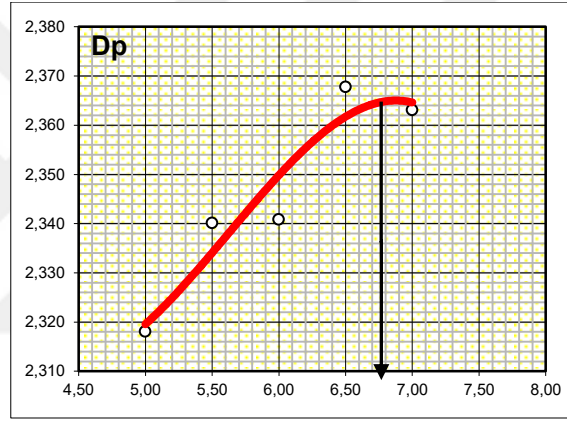
Şekil 59. Marshall briketlerinin suda ki ağırlıklarının ölçülmesi

Tablo 22. Marshall tasarım sonuçları

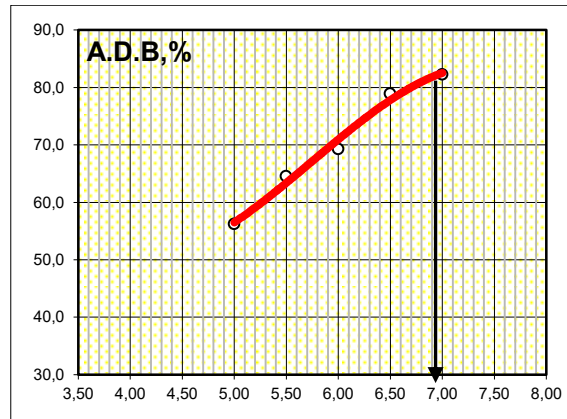
No	Bitüm		Sıcaklık	Yükseklikler,mm				Havada	Sudaki	Doy.Yüz.	Hacim	Hacim	Maks.Teo.	%	Asf.Dol			Düzlüm.		
	Wa,%	g	°C	1	2	3	ortlm	Ağırlık,g	Ağırlık,g	Ağırlık,g	cm ³	Özg.Ağırl	Özgül Ağ.	Boşluk	%	Boşluk	Akma	Stabilite	Faktörü	
								A	C	B	V	Dp	Dt	Vh	V.M.A	Vf	mm	kg		
1	5,00	55,0	145	62,7	62,9	62,8	62,8	1145,6	655,0	1147,8	492,8	2,325							1,017	
2	5,00	55,0	145	65,1	65,2	64,9	65,1	1147,0	657,1	1151,6	494,5	2,320							0,963	
3	5,00	55,0	145	68,0	67,7	67,6	67,8	1146,7	659,1	1155,5	496,4	2,310							0,904	
												2,318	2,500	7,29	16,66	56,2	0,00			
4	5,50	60,5	145	65,9	66,2	66,2	66,1	1150,0	660,8	1153,2	492,4	2,335							0,941	
5	5,50	60,5	145	64,1	64,0	64,1	64,1	1153,7	662,3	1155,5	493,2	2,339							0,985	
6	5,50	60,5	145	64,8	64,0	64,4	64,4	1155,9	664,5	1157,3	492,8	2,346							0,978	
												2,340	2,484	5,77	16,27	64,5	0,00			
7	6,00	66,0	145	62,6	62,8	62,3	62,6	1158,0	664,5	1158,7	494,2	2,343							1,023	
8	6,00	66,0	145	64,9	64,9	64,7	64,8	1154,2	662,3	1155,6	493,3	2,340							0,968	
9	6,00	66,0	145	63,2	63,7	63,3	63,4	1160,4	665,2	1161,2	496,0	2,340							1,002	
												2,341	2,467	5,11	16,64	69,3	0,00			
10	6,50	71,5	145	65,2	65,0	65,2	65,1	1153,4	668,0	1154,6	486,6	2,370							0,962	
11	6,50	71,5	145	62,8	62,5	62,9	62,7	1161,9	671,0	1162,5	491,5	2,364							1,019	
12	6,50	71,5	144	62,5	62,5	62,8	62,6	1157,0	670,1	1158,5	488,4	2,369							1,022	
												2,368	2,451	3,39	16,07	78,9	0,00			
13	7,00	77,0	144	63,8	63,7	63,5	63,7	1157,9	670,0	1158,8	488,8	2,369							0,995	
14	7,00	77,0	144	62,7	62,9	63,1	62,9	1161,4	670,0	1161,9	491,9	2,361							1,014	
15	7,00	77,0	143	62,3	61,9	62,2	62,1	1160,6	669,1	1161,0	491,9	2,359							1,035	
												2,363	2,435	2,95	16,63	82,2	0,00			
	6,90		OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafikten)										2,401	2,438	3,00	16,5	82,0		Fill/Bit	Stb/akm
	6,90		OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (HesaplaGeff_deneyle)										2,401	2,438	3,20	16,7	80,8	0,00		
	6,90		OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (HesaplaGeff_hesapla)										2,401	2,437	3,15	16,7	81,1	0,00	1,42	
			TMA DİZAYN KRİTERLERİ												(2-4)	min16	-	(2-4)	-	min750

Tablo 23. TMA dizayn sonuçları

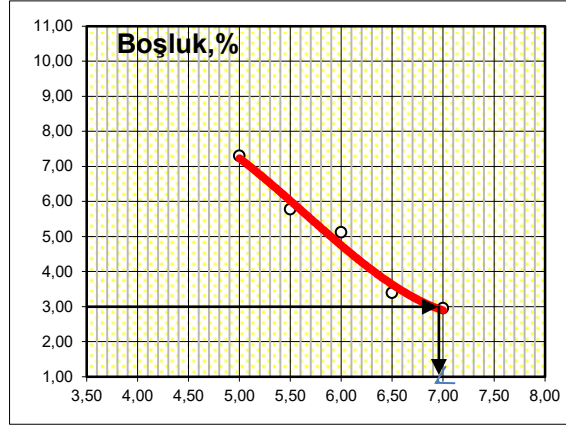
Karışım Özelliği	Şartname Kriteri		Asfalt İçeriği				
	Min.	Maks.	%5	%5,5	%6	%6,5	%7
Hacim Özgül Ağırlık (D_p -g/cm ³)			2,318	2,340	2,341	2,368	2,363
Maks. Teorik Özgül Ağırlık (D_t -g/cm ³)			2,500	2,484	2,467	2,451	2,435
Hava Boşluğu (Vh-%)	2	4	7,29	5,77	5,11	3,39	2,95
Agregalar Arası Boşluk(VMA-%)	16		16,66	16,27	16,64	16,07	16,63
Asfaltla Dolu Boşluk (Vf-%)			56,2	64,5	69,3	78,9	82,2
Elyaf Miktarı	0,3	1,5					



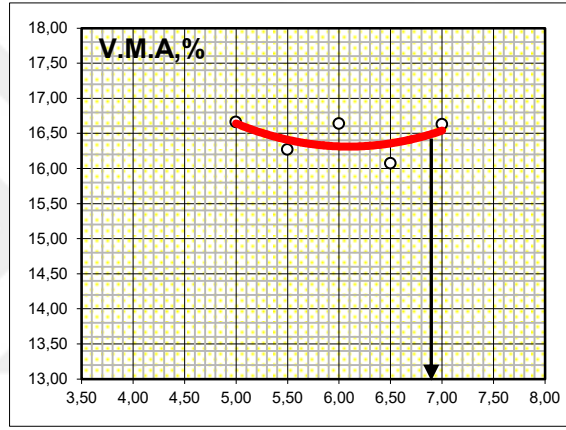
Şekil 60. Hacim özgül ağırlık grafiği



Şekil 61. Asfaltla dolu boşluk grafiği



Şekil 62. Hava boşluğu grafiği



Şekil 63. Agregalar arası boşluk grafiği

2.5. Pr Plast S Katkılı Marshall Briketlerinin Hazırlanması

Marshall briketleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarında hazırlanmıştır.

1. Belirlenmiş gradasyonda hazırlanmış agregalar 160-175 °C, bitüm 180 °C sıcaklığında ısıtılmıştır.
2. Agrega miktarının %0,3'ü oranında elyaf ve katkı maddesi olarak kullanılacak olan Pr Plast S katkı maddesi karışımdaki agrega miktarının %0,1,%0,3,%0,5,%0,7 ve %1 oranında tartılmıştır.
3. Isıtıcı üzerinde hazırlanmış olan 1100 gram agregaya öncelikle elyaf eklenerek karıştırılmıştır.
4. Karışıma Pr Plast S eklenerek 30 saniye - 1 dakika arasında karıştırılmıştır.

5. %6,9 oranında Polimer Modifiye Bitüm karışıma eklenerek 3 dakika boyunca karıştırıldı. Karışım sıcaklığı lazer termometre ile kontrol altında tutulmuştur.
6. Önceden etüve koyulmuş numune kalıpları çıkarılarak yağlandı ve filtre kağıtları yerleştirilerek hazırlanmış olan karışım numune kabına 25 kez şişlenerek yerleştirilmiştir.
7. Karışım numune kabına yerleştirildikten sonra sıkıştırmak için uygun sıcaklık olan 145 °C dalgıç termometre ile kontrol altında tutulmuştur.
8. Numune kapları sıkıştırma tokmağına yerleştirilerek 50 darbe üst ve 50 darbe alt yüze vurularak sıkıştırılmıştır.
9. 24 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra kriko sistemi ile kalıplardan sökülerek sabit bir yüzey üzerine yerleştirilerek numuneler koruma altına alınmıştır.
10. Her bir orandan 13 er adet yapılmıştır.Pr Plast S katkısının karışımlara katılması aşamasından itibaren karışım numunelerinin hazırlanıp Marshall briketlerinin elde edilmesi aşamalarını gösteren fotoğraflar Şekil 64-75'de verilmiştir.



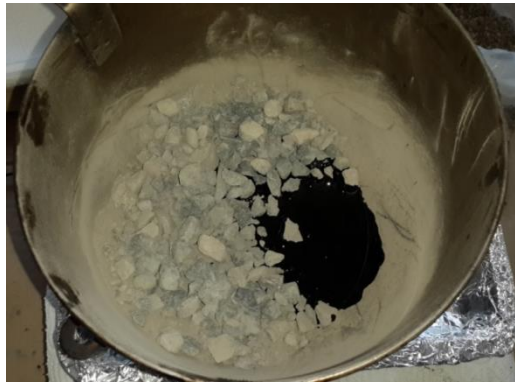
Şekil 64. Etüve koyulmuş olan karıştırma kapları,kalıp ve tartılan agregalar



Şekil 65. Agregalara elyaf eklenmesi



Şekil 66. Agregalara ve elyaf karışımına Pr Plast S eklenmesi



Şekil 67. Karışıma SBS modifiyeli bitüm eklenmesi



Şekil 68. Karışımın son hali



Şekil 69. Karışımın kalıba dökülerek şişlenmesi



Şekil 70. Karışımın sıkıştırılmadan önce uygun sıcaklığa gelmesi için kontrol edilmesi



Şekil 71. Karışımın sıkıştırılması



Şekil 72. Karışımın sıkıştırıldıktan sonraki hali



Şekil 73. Karışımların kalıptan çıkartmadan önce bekletilmesi



Şekil 74. Karışımın kalıptan çıkarılması



Şekil 75. Marshall Briketleri

2.6. Marshall Briketlerinin Yoğunluk Boşluk Analizleri

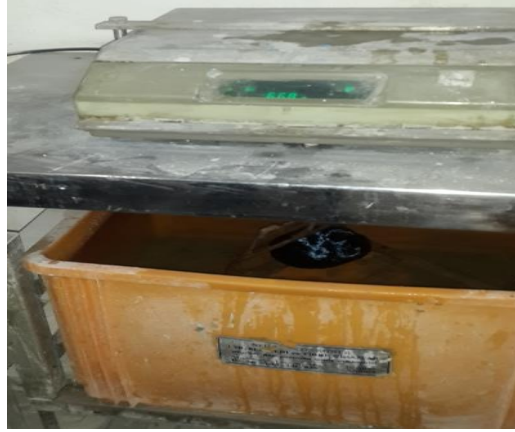
Kalıplardan çıkarılan numunelerin Şekil 76-78’de görüldüğü üzere önce kumpas yardımıyla 3 tarafından yükseklikleri ölçülmüş ardından numunelerin önce havada sonra suda ağırlıkları tartılmıştır. Toplam 78 adet üretilen Marshall briketlerinin gerekli ölçüm ve tartımlarının ardından yoğunluk-boşluk analizleri yapılarak Tablo 24’de verilmiştir.



Şekil 76. Marshall briketlerinin boyutlarının ölçülmesi



Şekil 77. Marshall briketlerinin havadaki ağırlıklarının ölçülmesi



Şekil 78. Marshall briketlerinin sudaki ağırlıklarının ölçülmesi

Tablo 24. Marshall briketlerinin özellikleri

Pr Plast S Katkı Yüzdesi (%)	Briket No	Ortalama Yükseklik (mm)	Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doymun Yüzeyle Kuru Ağırlık (gr)	Pratik Özgül Ağırlık(gr/cm ²)	Maks. Teorik Özgül Ağırlık (gr/cm ²)	Boşluk (%)	Mineral Agregalar Arası Boşluk (%)	Asfaltla Dolu Boşluk(%)
0	1	61,87	1.166	675	1.167	2,37	2,44	2,74	16,30	83,21
0	2	63,72	1.157	665	1.158	2,35	2,44	3,68	17,12	78,48
0	3	63,54	1.174	676	1.175	2,35	2,44	3,44	29,26	88,23
0	4	63,67	1.172	673	1.173	2,34	2,44	3,80	35,91	89,41
0	5	63,27	1.173	674	1.174	2,35	2,44	3,72	34,49	89,22
0	6	63,85	1.168	672	1.169	2,35	2,44	3,55	17,00	79,11
0	7	64,90	1.159	668	1.159	2,36	2,44	3,12	16,64	81,22
0	8	64,64	1.162	671	1.164	2,36	2,44	3,27	16,76	80,50
0	9	63,90	1.153	665	1.155	2,35	2,44	3,43	16,90	79,70
0	10	62,85	1.168	676	1.168	2,37	2,44	2,57	16,16	84,09
0	11	63,88	1.164	669	1.166	2,34	2,44	3,88	17,29	77,55
0	12	63,47	1.173	673	1.174	2,34	2,44	3,91	17,31	77,41
0,1	13	65,88	1.174	674	1.175	2,34	2,44	3,83	36,38	89,47
0,1	14	64,45	1.170	672	1.171	2,34	2,44	3,77	35,43	89,35
0,1	15	64,52	1.169	673	1.170	2,35	2,44	3,47	29,75	88,34
0,1	16	63,69	1.160	667	1.162	2,34	2,44	3,82	17,24	77,81
0,1	17	64,14	1.160	668	1.162	2,35	2,44	3,63	17,07	78,74
0,1	18	63,79	1.168	673	1.170	2,35	2,44	3,55	17,00	79,11
0,1	19	64,01	1.165	668	1.166	2,34	2,44	3,99	17,38	77,03
0,1	20	63,41	1.158	668	1.159	2,36	2,44	3,21	16,71	80,80
0,1	21	64,17	1.167	670	1.168	2,34	2,44	3,83	17,24	77,80
0,1	22	63,70	1.162	669	1.164	2,35	2,44	3,66	17,10	78,60
0,1	23	62,93	1.167	676	1.168	2,37	2,44	2,65	16,23	83,65
0,1	24	64,76	1.166	674	1.168	2,36	2,44	3,13	16,64	81,18
0,3	25	64,50	1.174	675	1.176	2,34	2,44	3,84	36,61	89,50
0,3	26	62,78	1.164	669	1.166	2,34	2,44	3,90	37,45	89,60

Tablo 24'ün devamı

0,3	27	64,03	1.170	672	1.171	2,34	2,44	3,79	35,66	89,38
0,3	28	63,89	1.160	669	1.163	2,35	2,44	3,64	17,07	78,65
0,3	29	62,71	1.160	669	1.161	2,36	2,44	3,25	16,73	80,56
0,3	30	63,35	1.155	665	1.157	2,35	2,44	3,67	17,09	78,53
0,3	31	64,08	1.154	668	1.159	2,35	2,44	3,56	17,00	79,07
0,3	32	63,81	1.159	671	1.162	2,36	2,44	3,14	16,64	81,13
0,3	33	65,24	1.169	678	1.172	2,37	2,44	2,90	16,43	82,36
0,3	34	66,45	1.162	670	1.166	2,34	2,44	3,87	17,26	77,60
0,3	35	63,49	1.163	671	1.164	2,36	2,44	3,20	16,69	80,83
0,3	36	64,25	1.163	669	1.165	2,34	2,44	3,79	17,19	77,98
0,5	37	64,14	1.174	675	1.176	2,34	2,44	3,84	36,61	89,50
0,5	38	64,40	1.175	675	1.177	2,34	2,44	3,95	38,37	89,69
0,5	39	63,90	1.171	672	1.172	2,34	2,44	3,90	37,48	89,60
0,5	40	63,96	1.167	670	1.167	2,35	2,44	3,65	17,07	78,63
0,5	41	65,69	1.171	675	1.175	2,34	2,44	3,90	17,29	77,45
0,5	42	64,89	1.174	676	1.177	2,34	2,44	3,84	17,24	77,71
0,5	43	66,80	1.164	671	1.168	2,34	2,44	3,90	17,29	77,46
0,5	44	65,07	1.166	674	1.168	2,36	2,44	3,15	16,64	81,09
0,5	45	65,86	1.160	667	1.162	2,34	2,44	3,84	17,24	77,73
0,5	46	65,66	1.167	674	1.171	2,35	2,44	3,65	17,07	78,63
0,5	47	63,19	1.168	673	1.168	2,36	2,44	3,18	16,67	80,94
0,5	48	64,92	1.160	667	1.162	2,34	2,44	3,84	17,24	77,73
0,7	49	67,74	1.177	679	1.182	2,34	2,44	3,98	38,80	89,74
0,7	50	64,85	1.173	675	1.176	2,34	2,44	3,93	37,93	89,65
0,7	51	63,43	1.173	673	1.174	2,34	2,44	3,93	37,93	89,65
0,7	52	66,07	1.173	676	1.175	2,35	2,44	3,54	16,98	79,15
0,7	53	65,65	1.178	680	1.179	2,36	2,44	3,13	16,63	81,18
0,7	54	63,49	1.176	678	1.175	2,37	2,44	2,91	16,44	82,32
0,7	55	65,42	1.167	671	1.169	2,34	2,44	3,84	17,24	77,72

Tablo 24'ün devamı

0,7	56	64,71	1.169	674	1.172	2,35	2,44	3,68	17,10	78,50
0,7	57	65,08	1.172	677	1.174	2,36	2,44	3,24	16,72	80,65
0,7	58	66,85	1.166	673	1.171	2,34	2,44	3,92	17,31	77,33
0,7	59	64,95	1.175	678	1.178	2,35	2,44	3,57	17,01	79,01
0,7	60	65,95	1.163	669	1.166	2,34	2,44	3,98	17,36	77,08
1	61	66,23	1.177	681	1.184	2,34	2,44	3,98	38,80	89,74
1	62	66,53	1.177	676	1.179	2,34	2,44	3,98	38,80	89,74
1	63	66,52	1.175	675	1.177	2,34	2,44	3,95	38,37	89,69
1	64	66,07	1.176	680	1.178	2,36	2,44	3,10	16,60	81,33
1	65	65,16	1.177	677	1.180	2,34	2,44	3,98	17,36	77,06
1	66	66,40	1.174	675	1.176	2,34	2,44	3,84	17,24	77,71
1	67	65,69	1.173	675	1.176	2,34	2,44	3,93	17,31	77,32
1	68	64,58	1.179	678	1.180	2,35	2,44	3,63	17,06	78,73
1	69	67,31	1.172	675	1.175	2,34	2,44	3,82	17,22	77,84
1	70	66,43	1.176	678	1.179	2,35	2,44	3,68	17,10	78,48
1	71	66,73	1.176	679	1.181	2,34	2,44	3,87	17,27	77,57
1	72	68,28	1.177	681	1.184	2,34	2,44	3,98	17,36	77,06
0	73	63,26	1.170	677	1.171	2,37	2,44	2,80	16,36	82,88
0,1	74	64,73	1.166	670	1.168	2,34	2,44	3,91	17,31	77,42
0,3	75	65,48	1.165	674	1.168	2,36	2,44	3,23	16,71	80,68
0,5	76	65,18	1.171	673	1.173	2,34	2,44	3,90	17,29	77,45
0,7	77	64,33	1.173	674	1.174	2,35	2,44	3,73	17,15	78,22
1	78	66,04	1.173	675	1.175	2,35	2,44	3,73	17,15	78,22

2.7. Marshall Stabilite ve Akma Değerlerinin Tespiti

Asfalt kaplama uzmanlarının çoğu, TMA karışımı için Marshall stabilite ve akma deneyinin uygun bir dayanım deneyi olmadığına inanmaktadır. Avrupa'daki çalışmalar, TMA karışımlarının tekerlek izi oturmasına karşı direncinin değerlendirilmesinde 3 eksenli ve tekerlek izi deneylerinin kullanılabilir potansiyel deneyler olduğunu göstermiştir (Napa,1999; Arslan, 2014).

Ancak bu çalışmada, katkısız TMA ile %0,1, %0,3, %0,5, %0,7 ve %1 Pr Plast S katkıli numuneler arasında BSK'larda kullanılan Stablite/Akma oranı olarak tanımlanan Marshall oranı da değerlendirilerek karşılaştırma anlamında farklı bir bakış açısı elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca Marshall Deneyi sonuçları, Dolaylı Çekme Deneysonuçları ile birlikte değerlendirilme yoluna gidilmiştir. MarshallOranın yüksek olması daha rijit yani daha dirençli bir karışımı ifade etmektedir.

Briketlere uygulanan işlemler sırasıyla şu şekildedir:

- Ölçümleri yapılan briketler 60 °C'lik su havuzunda 30-40 dakika boyunca bekletilmiştir (Şekil 79).
- Marshall test cihazı kelepçeleri arasına briketler yerleştirilir, cihaz sıfırlanır ve kelepçesinin üst kısmından 50,8 mm/dk'lık sabit hızla maksimum yüke erişene kadar basınca maruz bırakılmıştır (Şekil 80).

Maksimum yük değeri stabilite değeri olarak alınmış ve briket yüksekliklerine bağlı d düzeltme katsayısı ile çarpılarak düzeltilerek stabilite değeri bulunmuştur. Maksimum yük anında brikette oluşan deformasyonun değeri akma göstergesinden okunmuştur. 0,1 inç değeri ile okunan değer 2,54 ile çarpılarak mm'ye çevrilmiştir.



Şekil 79. Briketlerin 60° C'lik su havuzunda bekletilmesi



Şekil 80. Marshall deneyi yapılışı

2.8. Dolaylı Çekme Deneyinin Yapılışı

Dinamik yükler altında asfalt karışımların esnekliğini tespit etmek amacıyla yapılan deney Karadeniz Teknik Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarında, BS DD 213 standardına uygun olarak Asfalt Tester cihazında yapılmıştır.

Tüm katkı oranından üçer adet briket 5 °C, 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta deformasyon kontrollü olarak, yükleme periyodu 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms, yükleme süresi 40 ms, 60 ms ve 80 ms olarak belirlenerek deney yapılmıştır. Öncelikle tüm briketler 24 saat deney sıcaklığında bekletilmiştir. Sonrasında ise briketler birer birer yükleme başlığına yerleştirilmiş, yatay deformasyonu ölçen sensörler (LVDT) ayarlanmıştır. Poisson oranı (0,35), numune yüksekliği ve çapına ait veriler programa girilmiştir. Cihaza bir adet referans numunesi koyulmuş içine ve yüzeyine sıcaklık ölçen sensörler yerleştirilmiş, bu sensörler aynı sıcaklık değerini gösterdiğinde deneye başlanmıştır. Briketlere belirlenen parametrelerde beş kere yarı sinüzoidal (Haversin) yük uygulanmış, briket içinde oluşan yatay ve düşey deformasyonlar cihaz tarafından kaydedilmiştir. Esneklik modülü değeri için aynı briket 90° çevrilerek tekrar cihaza yerleştirilmiş, ikinci kez aynı deney yapılmıştır. Esneklik modülü değeri üç briquete uygulanan 6 deney sonucunun ortalamasının alınması ile elde edilmiştir. Deneylerin yapılışını ve aletleri gösteren çalışmalar Şekil 81 ve 82’de verilmiştir.



Şekil 81. Cihaza briketin yerleştirilmesi



Şekil 82. Deney gerçekleştirirken

2.9. Su Hasarı Deneyi

Dolaylı Çekme Deneyinin tahribatsız olması nedeniyle, aynı numuneler üzerinde su hasarının etkisinin gözlemlenmesi amacıyla yapılan deneyde öncelikle numuneler vakum altında suda bekletilerek suya doyurulmuştur. Ardından numuneler streç film ile kaplanarak $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki dondurucuda 16 saat bekletilmiştir. Sonrasında streç filmden çıkarılarak $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığındaki su havuzunda 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonunda $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su havuzunda 2 saat bekletilerek koşullandırılmıştır. Koşullandırma işlemleri Şekil 83-87'de verilmiştir.

Koşullandırma sonrası briketler $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yükleme periyodu 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms, yükleme süresi 40 ms, 60 ms ve 80 ms olacak şekilde deneye tabi tutulmuş

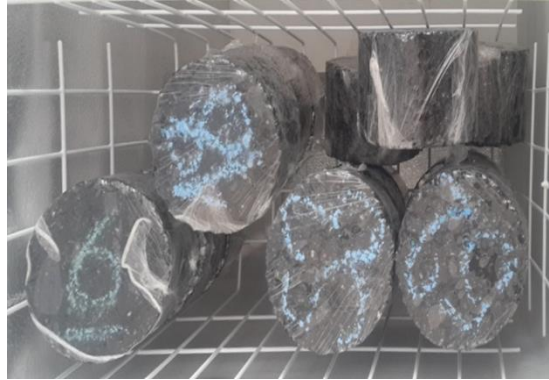
ve esneklik modülü değerleri elde edilmiş, 25 °C'de koşullandırılmamış numunelerin esneklik modülü değerleri ile kıyaslanmıştır.



Şekil 83. Vakumlu kap ile suya doyurulan briketler



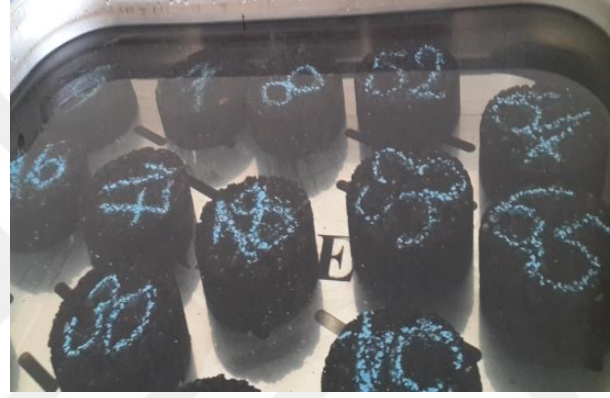
Şekil 84. Streç film ile sarılmış briketler



Şekil 85. Dondurucuya yerleştirilen briketler



Şekil 86. Dondurulmuş briketler



Şekil 87. Su havuzun bekletilen briketler

3. BULGULAR VE İRDELEME

Bu bölümde agrega, Polimer Modifiye Bitüm ve Pr Plast S katkı maddeli Taş Mastik Asfalta uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar ve grafikler verilmiş olup, bu veriler doğrultusunda irdeleme ve değerlendirmeler yapılmıştır.

3.1. Marshall Stabilite ve Akma Deney Sonuçları

Gradasyonu belirlenmiş agrega, %0,3 elyaf, farklı oranlarda Pr Plast S katkı maddesi ve %6,9 oranında optimum bitüm (%5 SBS modifiyeli bitüm) ile karıştırılarak, sadece SBS katkılı (Pr Plast S katkısız) ve %0,1, %0,3, %0,5, %0,7 ve %1 oranlarında Pr Plast S katkılı olmak üzere 6 farklı tipte Marshall briketleri üretilmiştir. Tablo 25’de Marshall briketlerine ait ortalama değerler ve analizler bulunmaktadır. Tablo 26’da Marshall deneylerine ait sonuçlar bulunmaktadır.

Tablo 25. Marshall stabilite deney sonuçları

Karışım Özellikleri	Pr Plast S Katkı Oranları					
	Katkısız	%0,1	%0,3	%0,5	%0,7	%1
Bitüm Özgül Ağırlığı (Gb -g/cm ³)	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026	1,026
Optimum Asfalt İçeriği (%)	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9
Hacim Özgül Ağırlık (Dp- g/cm ³)	2,348	2,347	2,343	2,342	2,341	2,340
Hava Boşluğu (Vh-%)	3,66	3,69	3,83	3,88	3,93	3,96
Agregalar Arası Boşluk (VMA-%)	17,09	17,12	17,24	17,29	17,33	17,35
Asfaltla Dolu Boşluk (Vf-%)	78,62	78,45	77,80	77,53	77,32	77,19
Stabilite (kgf)	906	948	972	1024	1067	966
Akma (mm)	3,90	4,10	3,65	3,70	3,60	3,70
Marshall Oranı (kg/mm)	232,31	232,55	266,3	276,76	296,39	261,08

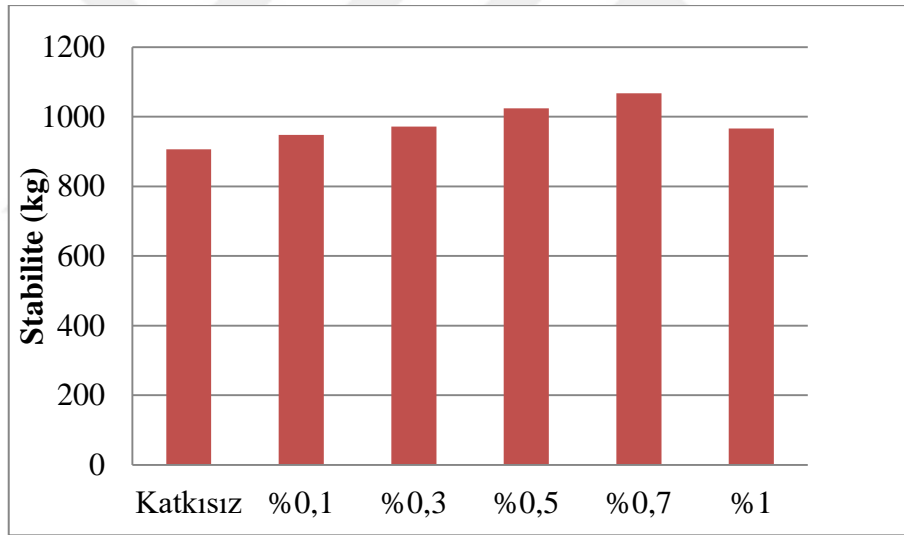
Tablo 26. Marshall deneyi sonuçları

Katkı Yüzdesi	Briket No	Bitüm			Briket Yükseklikleri (mm)				Havadaki Ağırlık (gr)	Sudaki Ağırlık (gr)	Doygun Yüzey Ağırlık (gr)	Hacim (cm ³)	Hacim Özg.Ağr.	Maks.Teo. Özg. Ağr.	Boşluk(%)	Agr.Arası Boşluk (%)	Asf.Dolu Boşluk (%)	Akma	Stabilite	Düzeltilme	Düzeltilmiş Stabilite	
		Wa (%)	Ağırlık (gr)	Sıcaklık	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt	Vh	VMA	Vf	(mm)	(kg)	Faktörü	(kg)	
Katkısız	3	6,90	75,9	180	63,6	63,5	63,5	63,5	1174	676	1175	499	2,353	2,437	3,44			3,9	909	1,000	909	
	4	6,90	75,9	180	64,0	63,9	63,1	63,7	1172	673	1173	500	2,344	2,437	3,80			3,93	909	0,995	904	
	5	6,90	75,9	180	63,6	63,1	63,0	63,3	1173	674	1174	500	2,346	2,437	3,72			3,88	901	1,005	906	
													2,348	2,437	3,66	17,09	78,62	3,90				906
0,1%	13	6,90	75,9	180	65,6	66,2	65,8	65,9	1174,0	674,0	1175,0	501,0	2,343	2,437	3,83			4,15	990	0,945	936	
	14	6,90	75,9	180	64,2	64,6	64,6	64,5	1170,0	672,0	1171,0	499,0	2,345	2,437	3,77			4,18	988	0,975	963	
	15	6,90	75,9	180	64,9	64,6	64,1	64,5	1169,0	673,0	1170,0	497,0	2,352	2,437	3,47			3,97	969	0,975	945	
													2,347	2,437	3,69	17,12	78,45	4,10				948
0,3%	25	6,9	75,9	180	64,6	64,8	64,1	64,5	1174,0	675,0	1176,0	501,0	2,34331	2,437	3,84			3,71	988	0,975	963,3	
	26	6,90	75,9	180	61,5	63,0	63,9	62,8	1164,0	669,0	1166,0	497,0	2,342	2,437	3,90			3,70	1006	1,018	1024	
	27	6,90	75,9	180	64,0	64,1	64,0	64,0	1170,0	672,0	1171,0	499,0	2,345	2,437	3,79			3,55	941	0,988	930	
													2,343	2,437	3,83	17,24	77,80	3,65				972
0,5%	37	6,90	75,9	180	64,1	64,1	64,2	64,1	1174,0	675,0	1176,0	501,0	2,343	2,437	3,84			3,69	1042	0,985	1026	
	38	6,90	75,9	180	64,7	64,5	64,0	64,4	1175,0	675,0	1177,0	502,0	2,341	2,437	3,95			3,73	1044	0,978	1021	
	39	6,90	75,9	180	64,6	63,5	63,6	63,9	1171,0	672,0	1172,0	500,0	2,342	2,437	3,90			3,68	1034	0,990	1024	
													2,342	2,437	3,88	17,29	77,53	3,70				1024
0,7%	49	6,90	75,9	180	67,3	68,3	67,6	67,7	1177,0	679,0	1182,0	503,0	2,340	2,437	3,98			4,02	1095	0,905	991	
	50	6,90	75,9	180	65,5	64,7	64,4	64,9	1173,0	675,0	1176,0	501,0	2,341	2,437	3,93			3,04	1112	0,965	1073	
	51	6,90	75,9	180	63,4	63,7	63,3	63,4	1173,0	673,0	1174,0	501,0	2,341	2,437	3,93			3,74	1135	1,003	1138	
													2,341	2,437	3,93	17,33	77,32	3,60				1067
1%	61	6,90	75,9	180	66,1	66,3	66,3	66,2	1177,0	681,0	1184,0	503,0	2,340	2,437	3,98			3,35	1060	0,939	995	
	62	6,90	75,9	180	66,6	66,3	66,7	66,5	1177,0	676,0	1179,0	503,0	2,340	2,437	3,98			4,10	983	0,934	918	
	63	6,90	75,9	180	66,8	66,5	66,3	66,5	1175,0	675,0	1177,0	502,0	2,341	2,437	3,95			3,65	1054	0,934	984	
													2,340	2,437	3,96	17,35	77,19	3,70				966

Tablo 25 ve 26’da görüldüğü üzere; Marshall briketlerinin özgül ağırlıkları Pr Plast S katkı oranına bağlı olarak değişmektedir. En yüksek özgül ağırlık değeri Pr Plast S katkısı olmayan numunede, en düşük özgül ağırlık değeri ise maksimum katkı oranı olan %1 Pr Plast S katkısının bulunduğu numunede hesaplanmıştır. Özgül ağırlıklar katkı miktarındaki artışa bağlı olarak azalmışlardır.

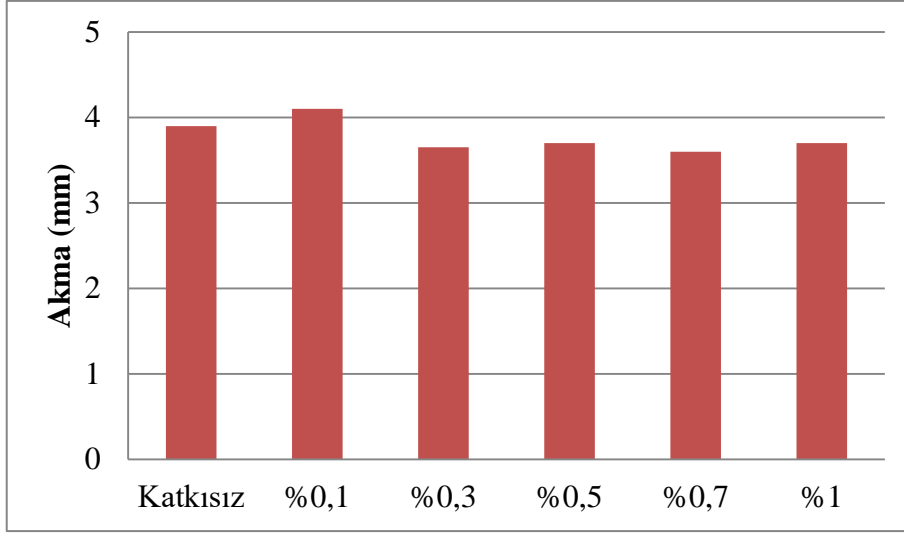
Briketlere ait hava boşluğu (Vh) değeri incelendiğinde; 2-4 olan Şartname değeri üst sınırına (%4 boşluk) yakın çıkmaktadır. Bu da sıcak havalarda kusmanın önüne geçmek için daha uygun olduğu sonucuna işaret etmektedir.

Stabilite değerleri şartname kriterlerini (min. 750) sağlamıştır (Orhan, 2011). Şekil 88’de verilen grafikte de görüldüğü üzere en yüksek stabilite değeri %0,7 Pr Plast S katkılı numunelerde iken, en düşük değer katkısız numunelerde bulunmaktadır. Ayrıca %0,7 katkılı Pr Plast S numunelerine kadar stabilite değerlerinin artış gösterdiği tespit edilmiştir.



Şekil 88. Katkı oranlarına göre stabilite değerleri

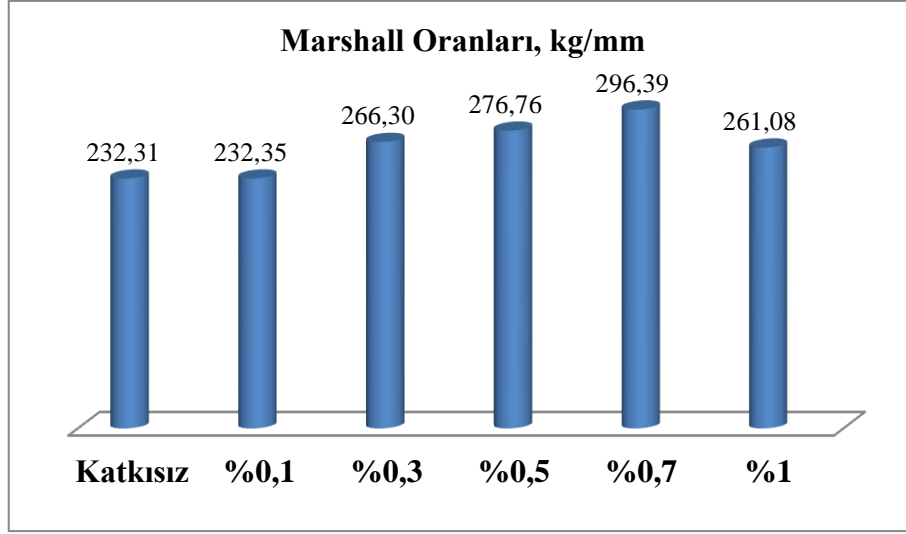
Şekil 89’da katkı oranlarına göre akma değerlerinin kıyaslandığı grafik verilmiştir. %0,1 katkı oranlı numunelerde akma değeri gerekli kriterin (2-4) üzerinde kalırken, diğer tüm numunelerde ise kriter değerleri arasında kalmıştır (Orhan, 2011).



Şekil 89. Katkı oranlarına göre akma değerleri

Akma değeri asfalt kaplamaların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan değerdir. Marshall numunelerinin kırıldığı yüke tekabül eden deformasyonunu temsil eden akmanın değeri sıkışmış karışımların iç sürtünmesinin bir ölçüsüdür ve akma değeri ile iç sürtünme arasında doğrusal ters bir ilişki vardır (Umar ve Açar, 1991). Stabilite değerleri yüksek, aynı zamanda akma değerlerinin düşük olması Pr Plast S katkılı numunelerin tekerlek izi deformasyonuna karşı daha dirençli olabileceği yargısına ulaştırmaktadır.

Malzemenin servis süresi boyunca kalıcı deformasyonlara karşı gösterdiği direnci gösteren Marshall oranı en yüksek değeri %0,7 Pr Plast S katkılı numunede vermiştir. Şekil 90'da grafiği gösterilen briketlerde katkı maddesi arttıkça %0,7 Pr Plast S katkılı numunelere kadar Marshall oranında artış tespit edilmiştir.



Şekil 90. Marshall oranları grafiği

Marshall oranlarında en yüksek değerin %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımdan alınması, servis süresi boyunca kalıcı deformasyonlara karşı %0,7 oranına kadar direncin arttığının göstergesi olmuştur. Buradan, Pr Plast S katkısının Taş Mastik Asfalt karışımlarda SBS ile bir arada kullanımının %0,7 oranına kadar artış gösterdiği, dolayısıyla bu katkı miktarlarında karışımın plastik deformasyonlara karşı dayanımını arttırabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

3.2. Dolaylı Çekme Deneyi Sonuçları

Katkısız ve %0,1, %0,3, %0,5, %0,7 ve %1 oranlarında Pr Plast S katkılı Marshall briketlerine, 5 °C, 25 °C ve 40 °C sıcaklığında, 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms yükleme periyodunda ve 40 ms, 60 ms, ve 80 ms yükleme süresinde dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır.

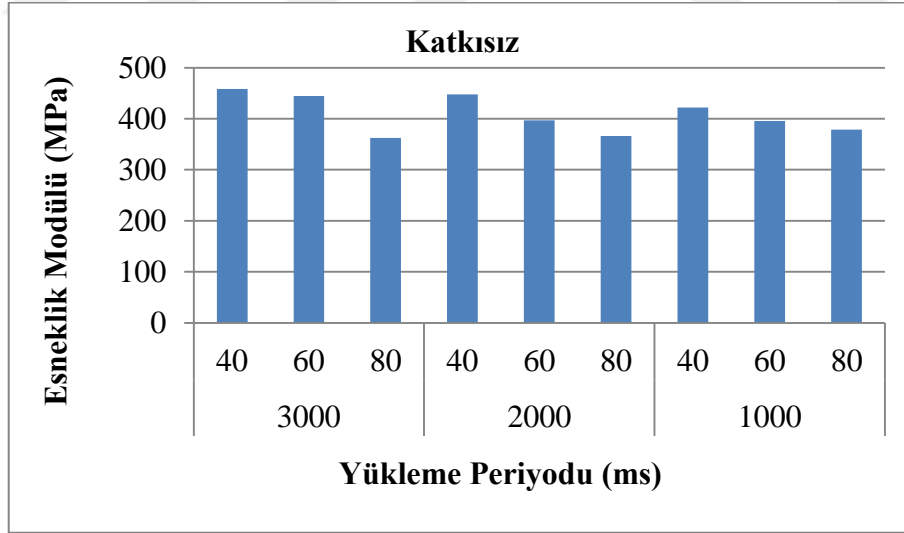
3.2.1. 40 °C Sıcaklığında Yapılan Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar ve İrdeleme

40 °C sıcaklığında numunelere 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms yükleme periyodunda 40 ms, 60 ms, ve 80 ms yükleme süresinde dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 27'de verilmiştir.

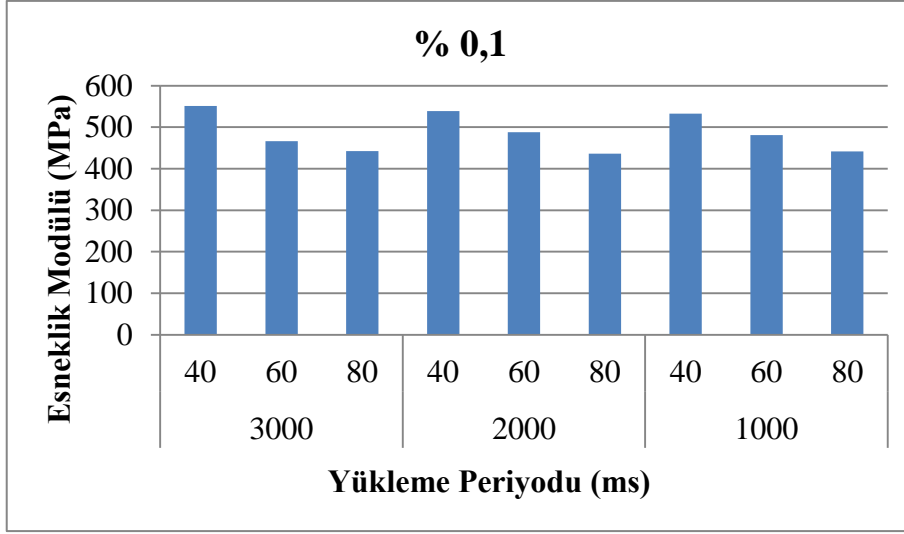
Tablo 27. 40 °C sıcaklığında karışımların esneklik modülü ortalama değerleri (MPa)

Katkı Durumu	3000			2000			1000		
	40	60	80	40	60	80	40	60	80
Katkısız	459	445	362	448	397	366	422	396	379
%0,1	551	467	443	539	488	436	532	481	442
%0,3	609	561	506	600	538	496	592	552	511
%0,5	633	561	529	626	559	518	624	570	531
%0,7	671	592	531	637	577	533	631	578	534
%1	608	545	520	611	562	513	612	561	525

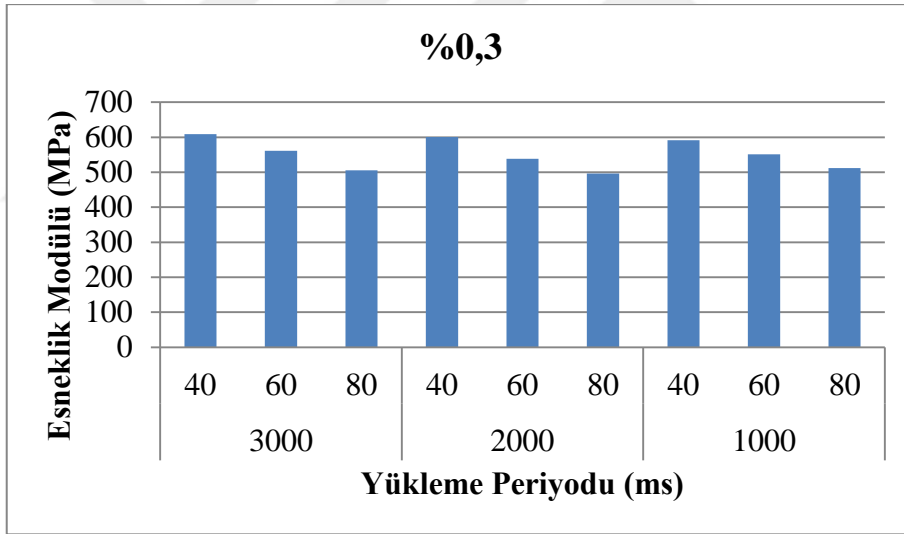
Şekil 91-96'de 40 °C'de karışım oranlarına göre farklı yükleme periyotları sonucu elde edilen esneklik modülüne ait grafikler verilmiştir. Grafiklerde görüleceği gibi dolaylı çekme değerleri, tüm yükleme periyotlarında ve yükleme artış süresinde benzer bir grafik göstermiştir. En kısa yükleme süresinde (40 ms) elde edilen en yüksek esneklik modülü değerleri, 40 °C sıcaklığında yükleme süresi kısaltıldıkça malzemenin elastik davrandığı sonucuna ulaşırabilir.



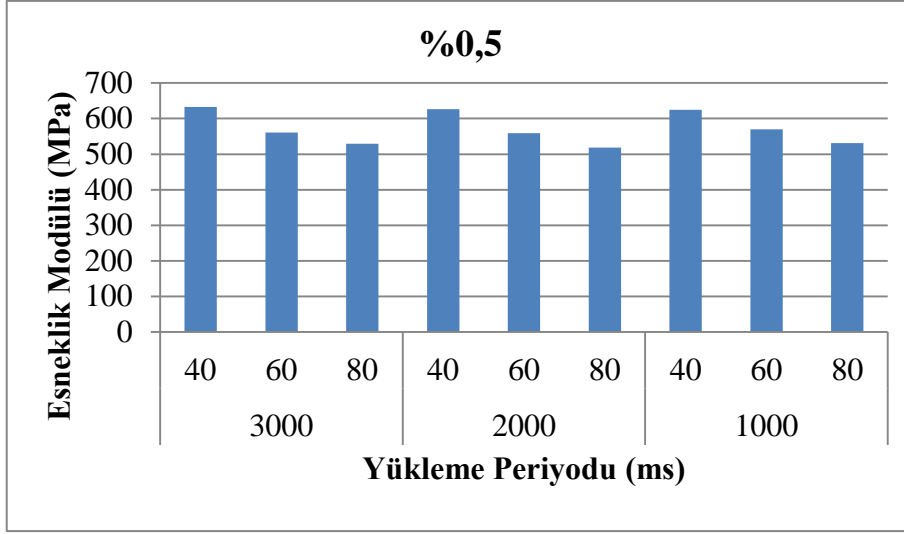
Şekil 91. 40 °C'de katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



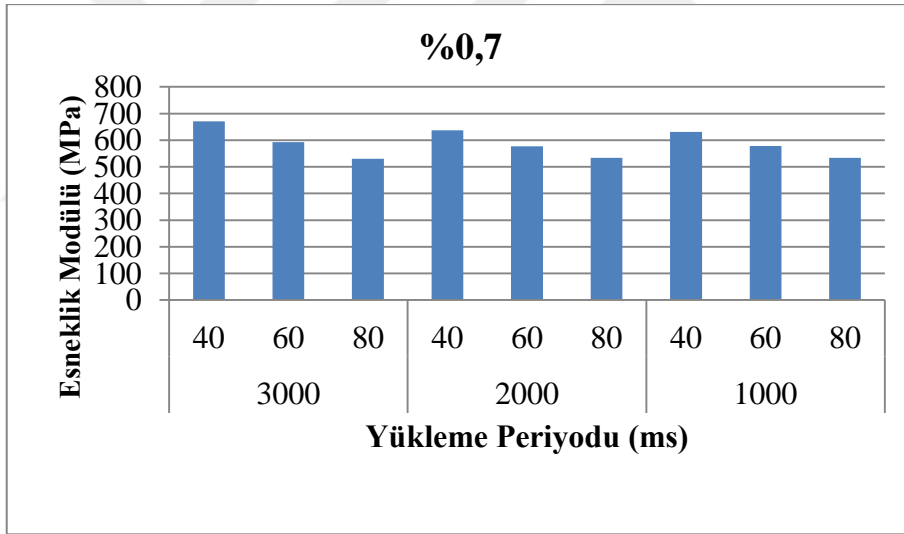
Şekil 92. 40 °C'de %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



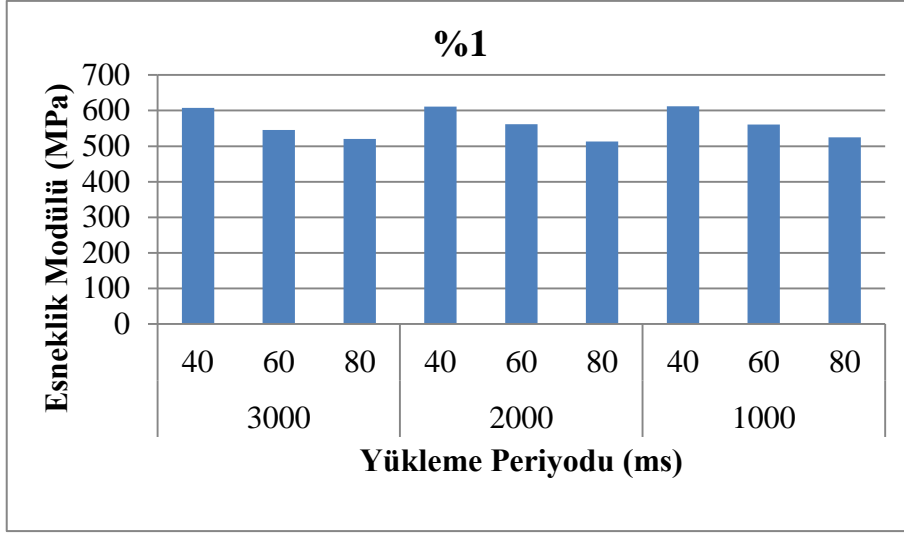
Şekil 93. 40 °C'de %0,3 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



Şekil 94. 40 °C'de %0,5 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

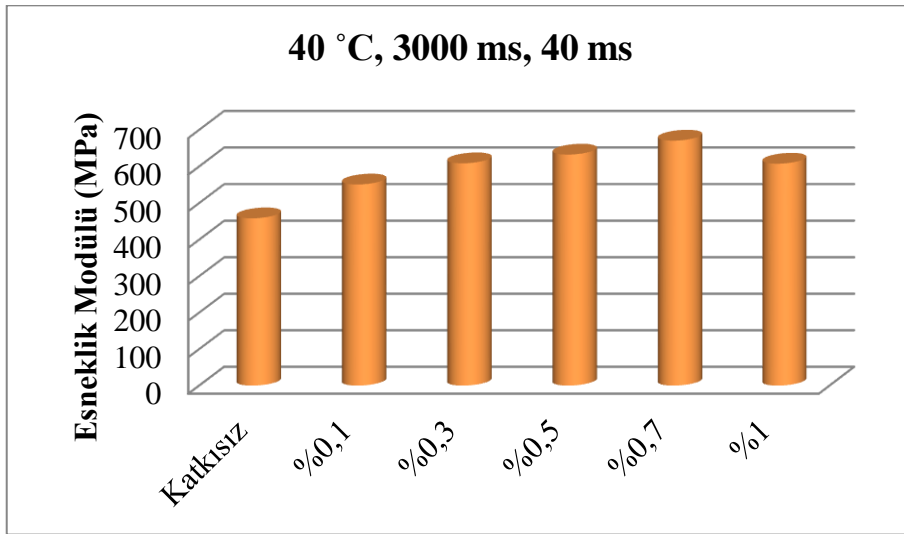


Şekil 95. 40 °C'de %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

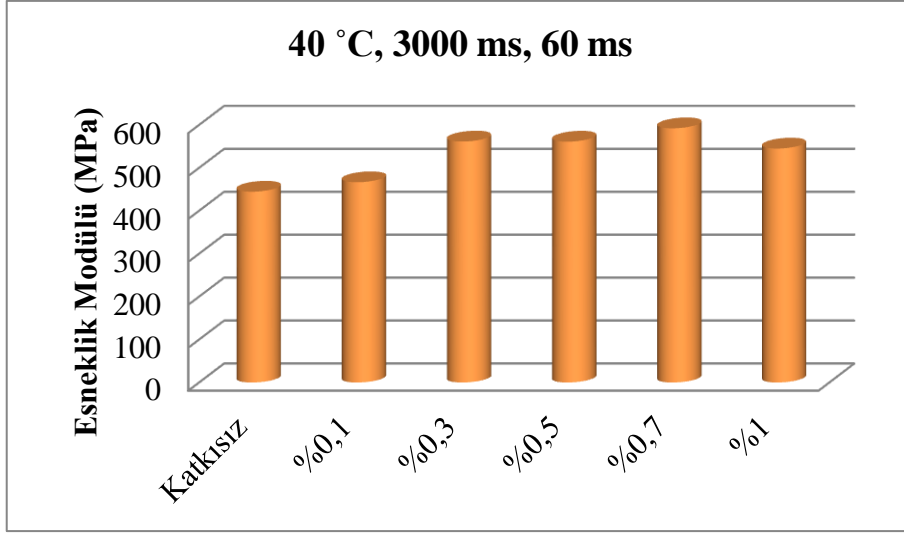


Şekil 96. 40 °C’de %1 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

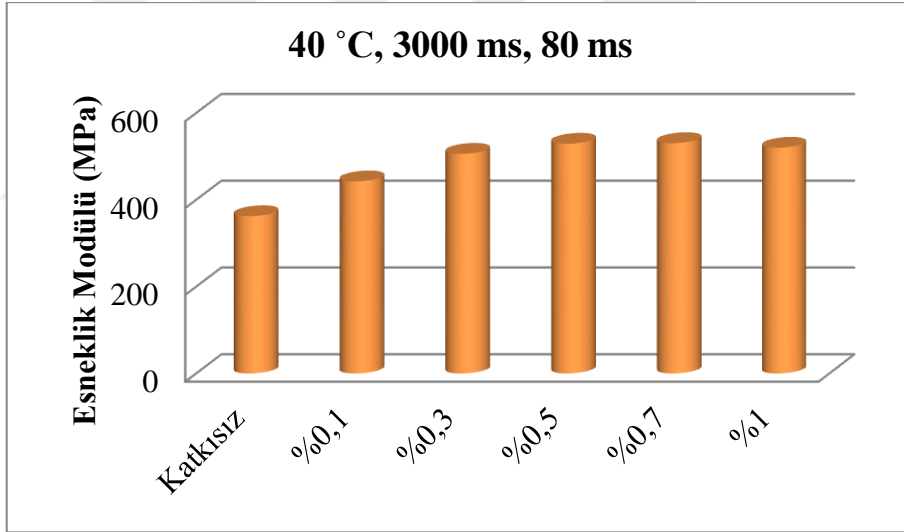
Şekil 97-105’de 40 °C’de aynı yükleme periyotlarında farklı oranlarda Pr Plast S katkıli karışımların esneklik modülü değerlerine ait grafikler verilmiştir. Aynı yükleme periyotları ve yük artış sürelerinde katkı maddesi oranının artması ile birlikte %0,7 oranında Pr Plast S katkıli karışıma kadar esneklik modülünde artışın meydana geldiği, bu orandan sonraki ilave katkı oranında Pr Plast S katkı maddesinin karışımların esneklik modülünde düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir.



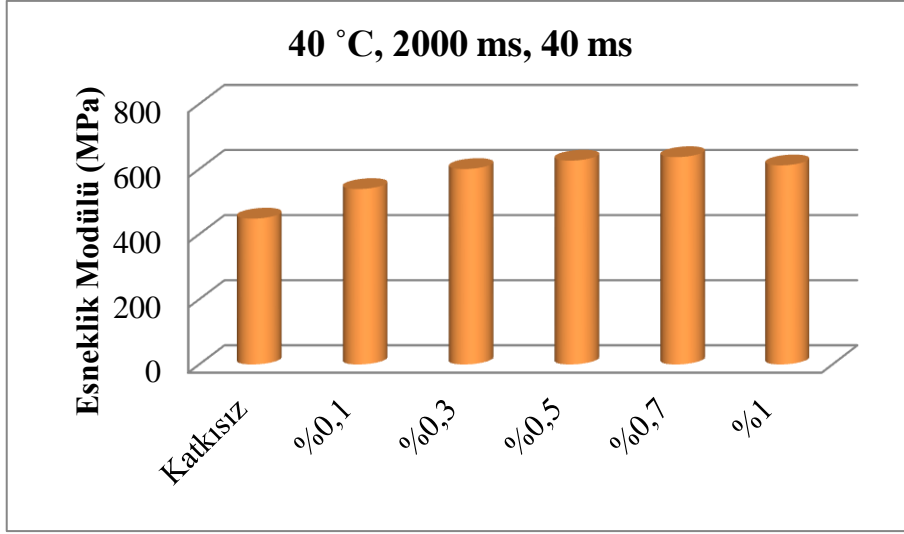
Şekil 97. 40 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



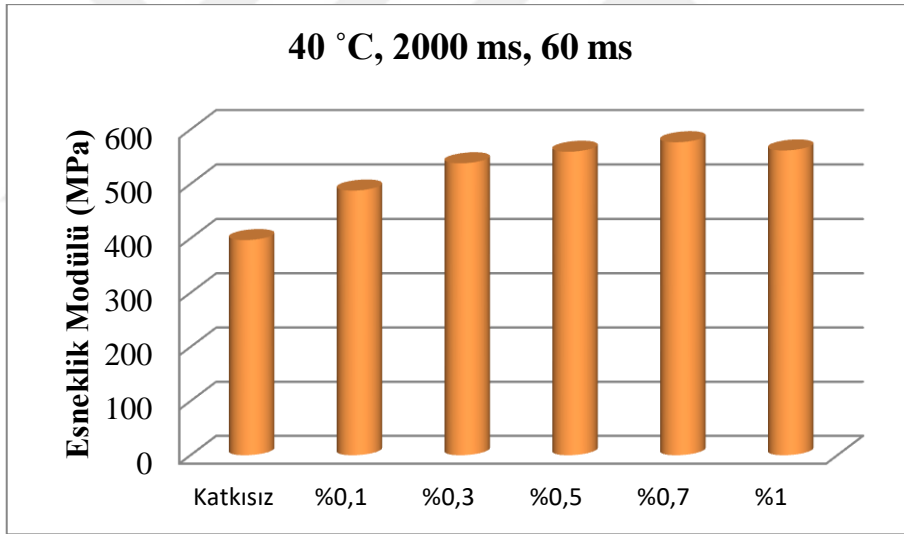
Şekil 98. 40 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



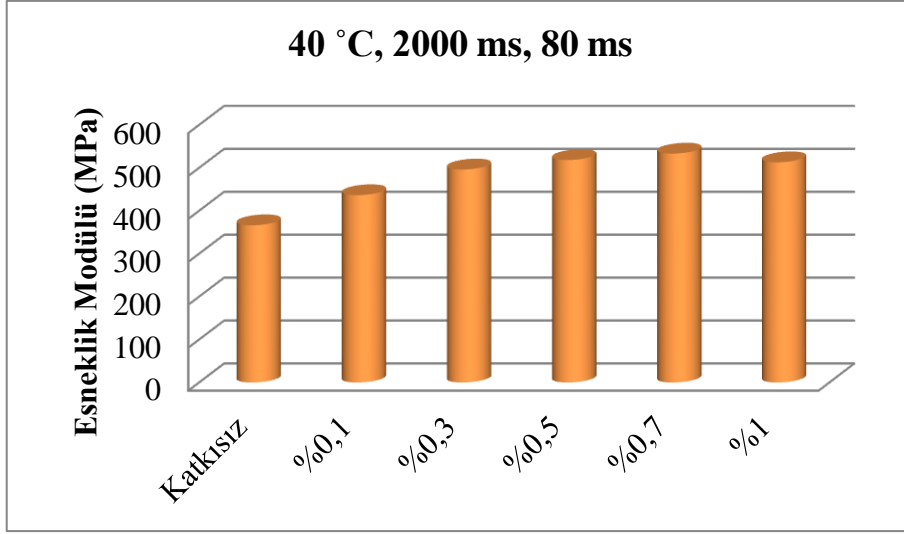
Şekil 99. 40 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



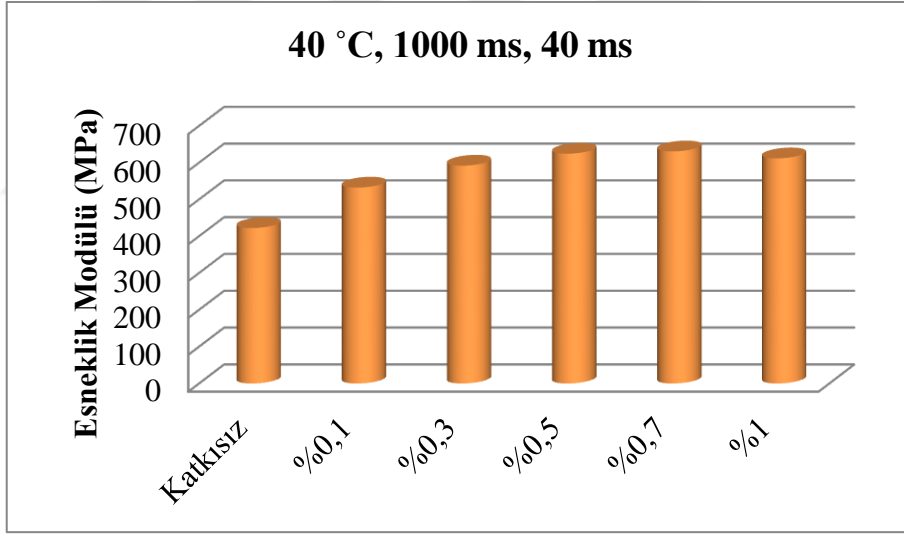
Şekil 100. 40 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



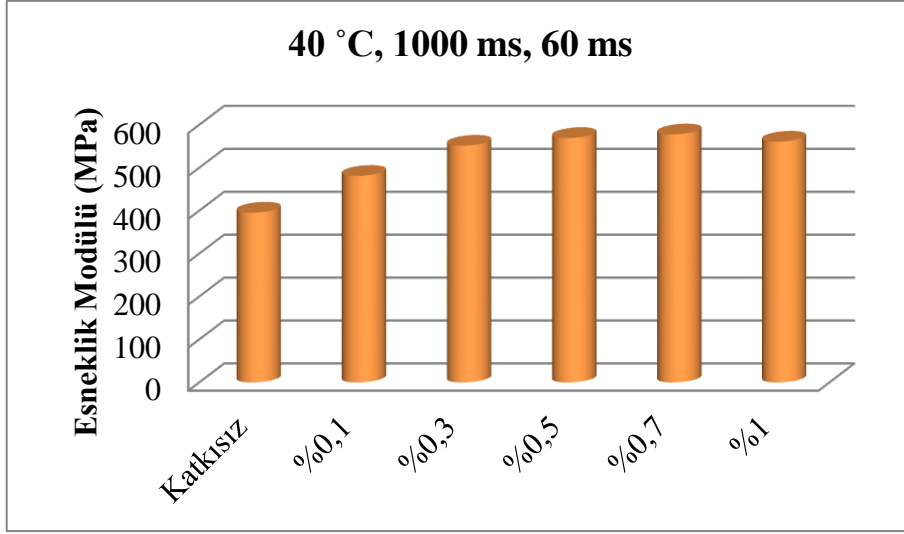
Şekil 101. 40 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



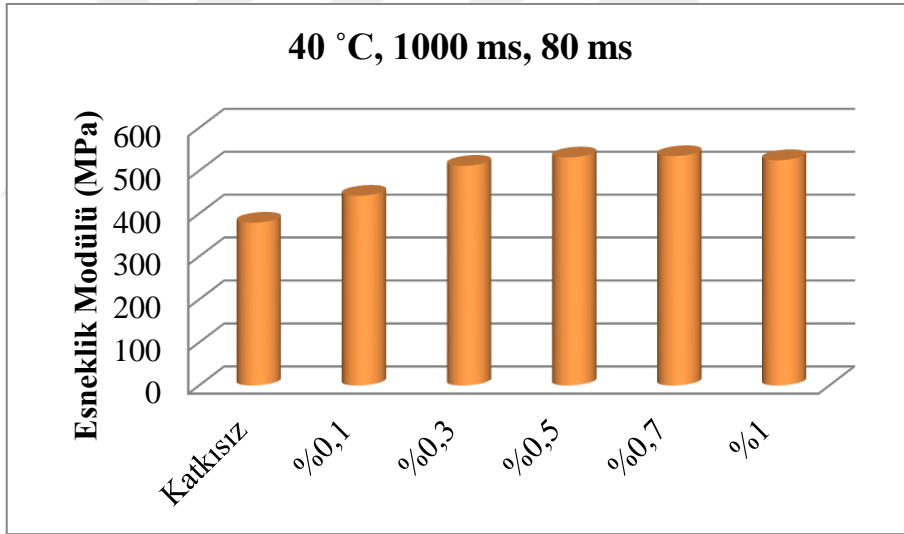
Şekil 102. 40 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



Şekil 103. 40 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



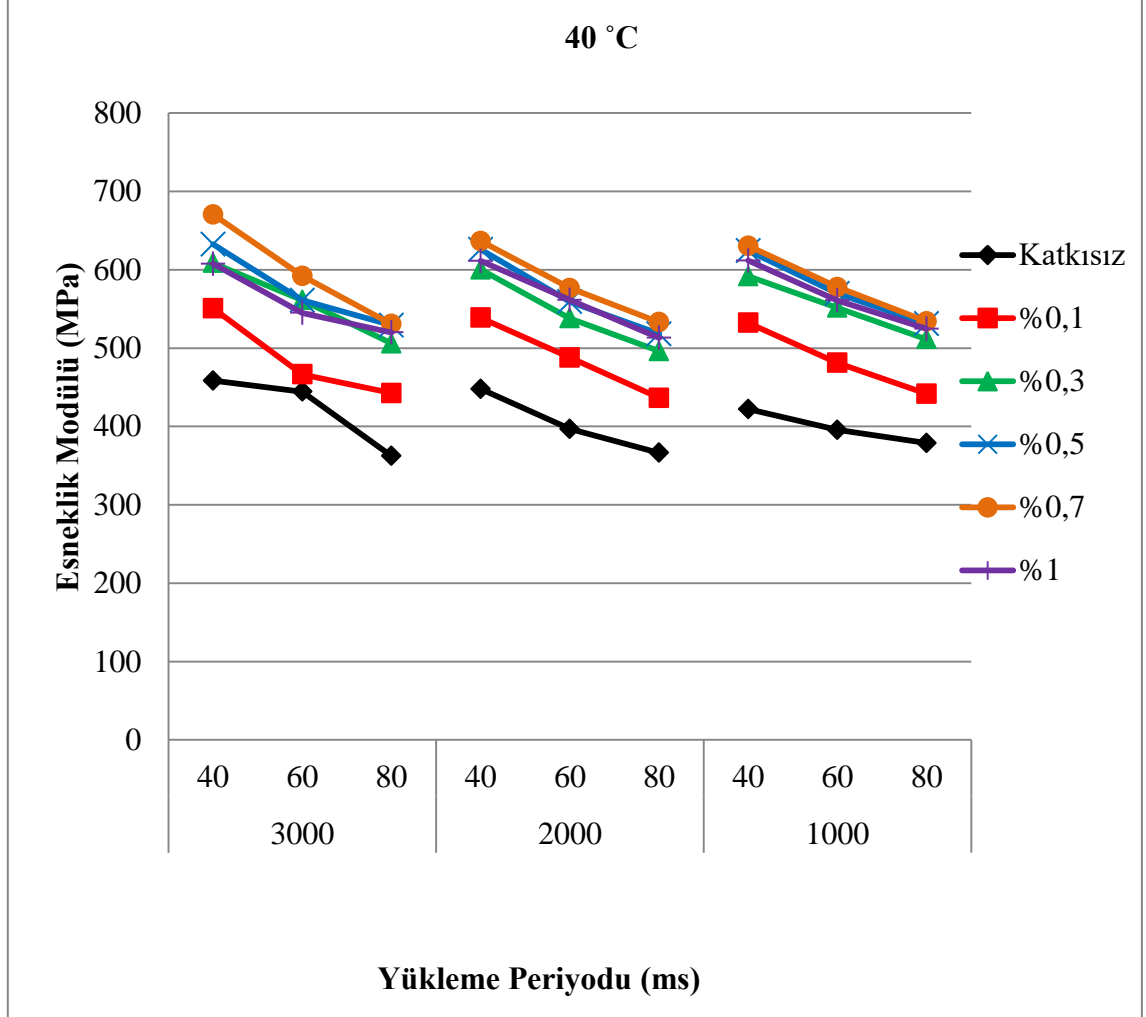
Şekil 104. 40 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



Şekil 105. 40 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri

Şekil 106’da esneklik modülü değerlerine ait grafik verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere yüksek değer %0,7 Pr Plast S katkıli karışımda, en düşük değer ise katkısız karışımlarda elde edilmiştir. Sonuç olarak %0,7 oranına kadar Pr Plast S katkıli karışımların esneklik modülü değerleri katkı oranı arttıkça artmış ve katkısız karışıma göre çok daha iyi sonuç vermiştir. Sonuç olarak 40 °C sıcaklıkta da %0,7 katkı oranına kadar

çatlak oluşumuna karşı direnç arttırdığı söylenebilirken, esneklik modülünün artması ile de yük dağıtma kabiliyetinin iyileşmesi söz konusudur.



Şekil 106. 40 °C’de karışımların esneklik modülü değerleri

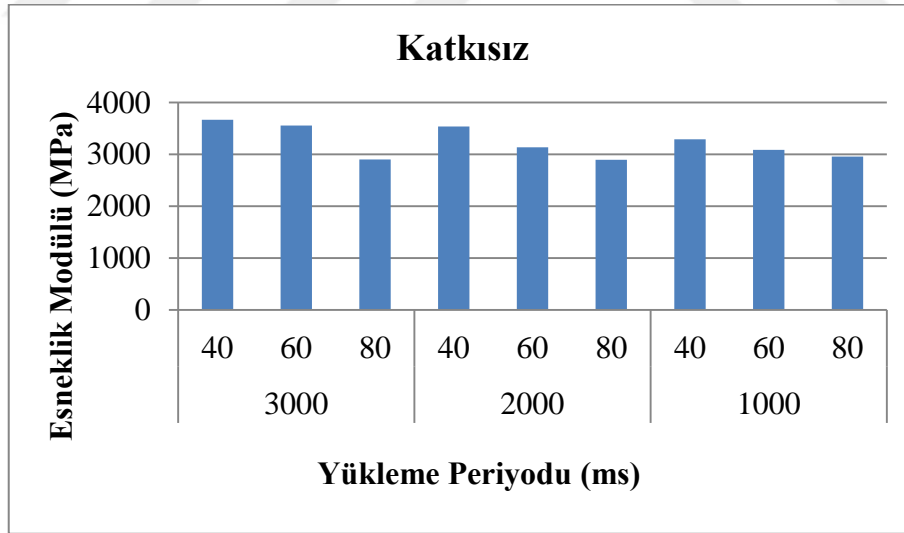
3.2.2. 25 °C Sıcaklığında Yapılan Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar ve İrdeleme

25 °C sıcaklığında numunelere 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms yüklem periyodunda ve 40 ms, 60 ms ve 80 ms yüklem süresinde dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 28’de verilmiştir.

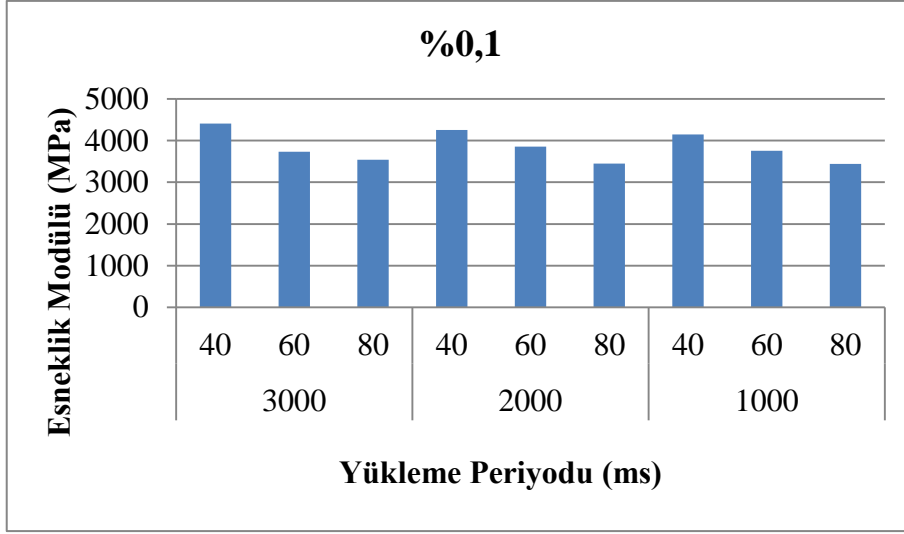
Tablo 28. 25 °C sıcaklığında karışımların esneklik modülü ortalama değerleri (MPa)

Katkı Durumu	3000			2000			1000		
	40	60	80	40	60	80	40	60	80
Katkısız	3668	3556	2899	3539	3135	2894	3293	3086	2955
%0,1	4407	3732	3540	4256	3855	3447	4151	3754	3445
%0,3	4870	4491	4047	4742	4250	3920	4616	4302	3990
%0,5	5060	4489	4233	4946	4418	4094	4870	4443	4143
%0,7	5365	4737	4244	5030	4556	4212	4919	4506	4166
%1	4861	4360	4160	4830	4436	4053	4772	4375	4093

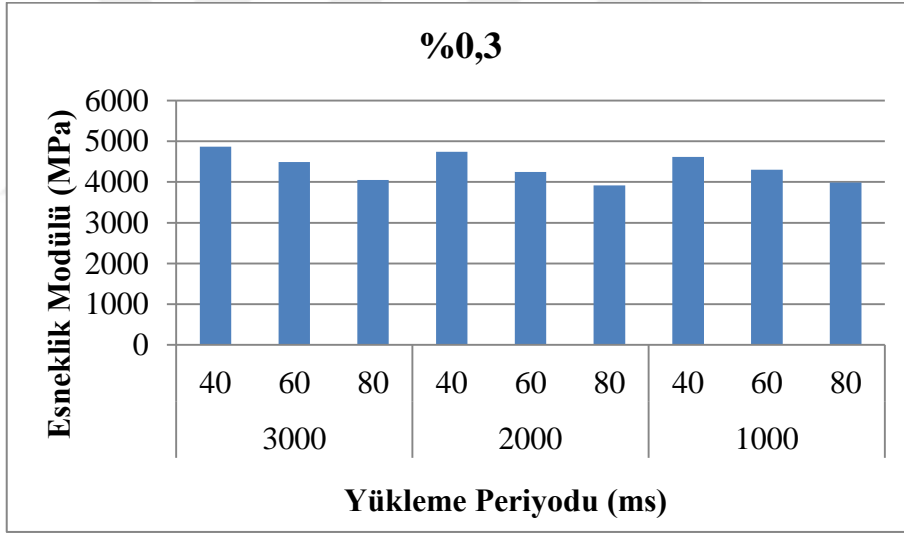
Şekil 107-112’de 25 °C’de karışım oranlarına göre farklı yükleme periyotları sonucu elde edilen esneklik modülüne ait grafikler verilmiştir.grafiklerde verilen dolaylı çekme değerleri, yükleme periyotlarında ve yük artış süresinde benzer bir grafik göstermiştir. En yüksek esneklik modülü değerleri en kısa yükleme süresinde (40 ms) elde edilmiş, yükleme artış süresi arttıkça esneklik modülü düşmüştür. Bu durumda 25 °C sıcaklığında da yükleme süresi azaldıkça malzemenin elastik davrandığı sonucuna varılabilir.



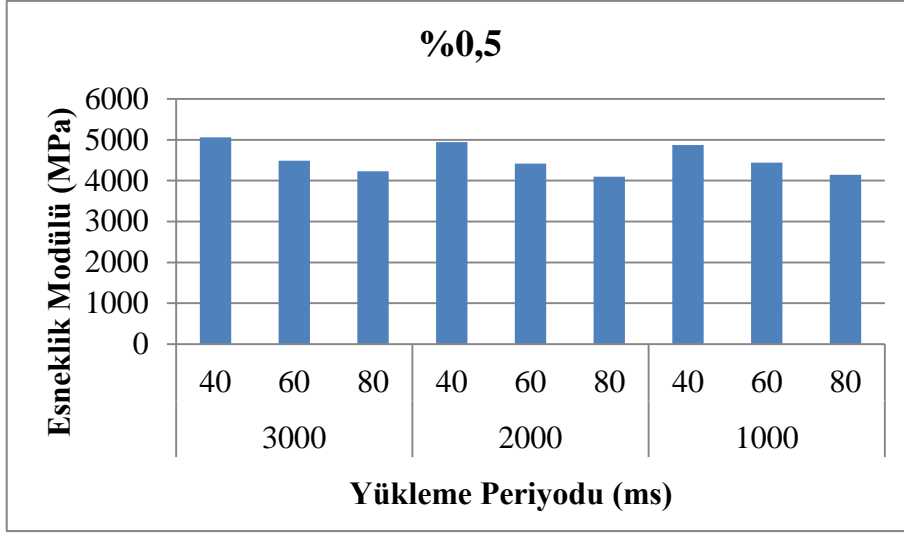
Şekil 107. 25 °C’de katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



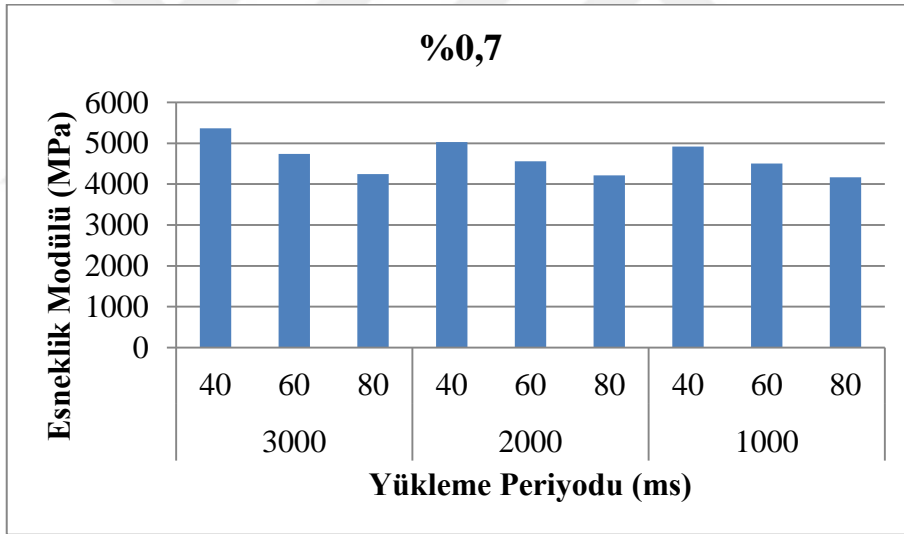
Şekil 108. 25 °C’de %0,1 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yüklem periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



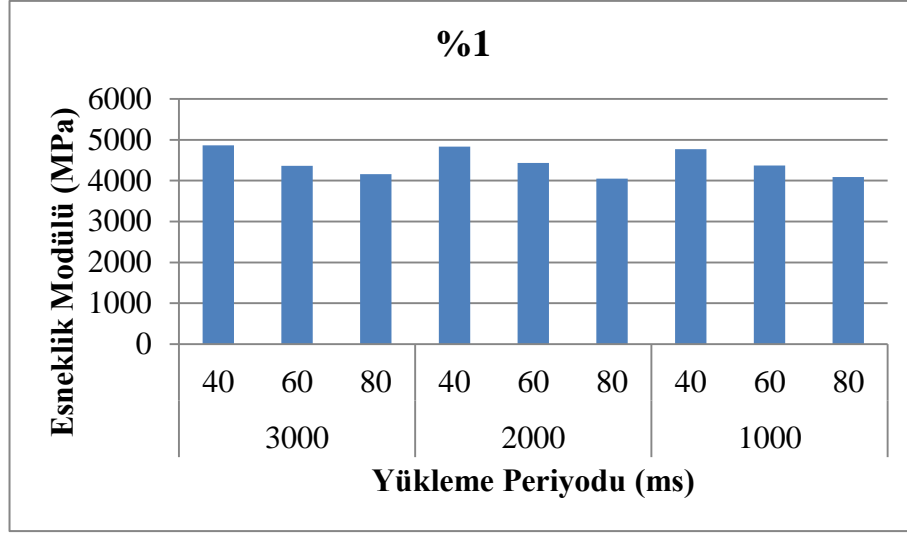
Şekil 109. 25 °C’de %0,3 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yüklem periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



Şekil 110. 25 °C'de %0,5 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

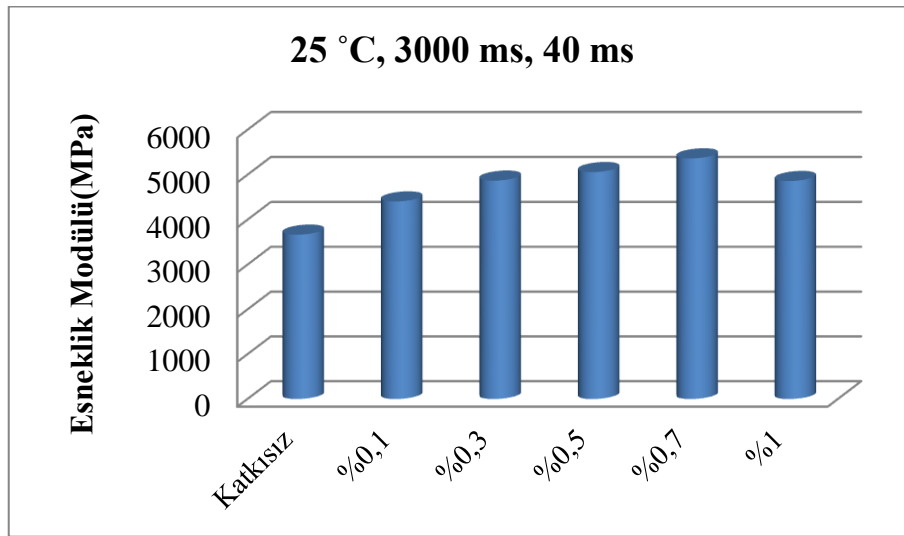


Şekil 111. 25 °C'de %0,7 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerler

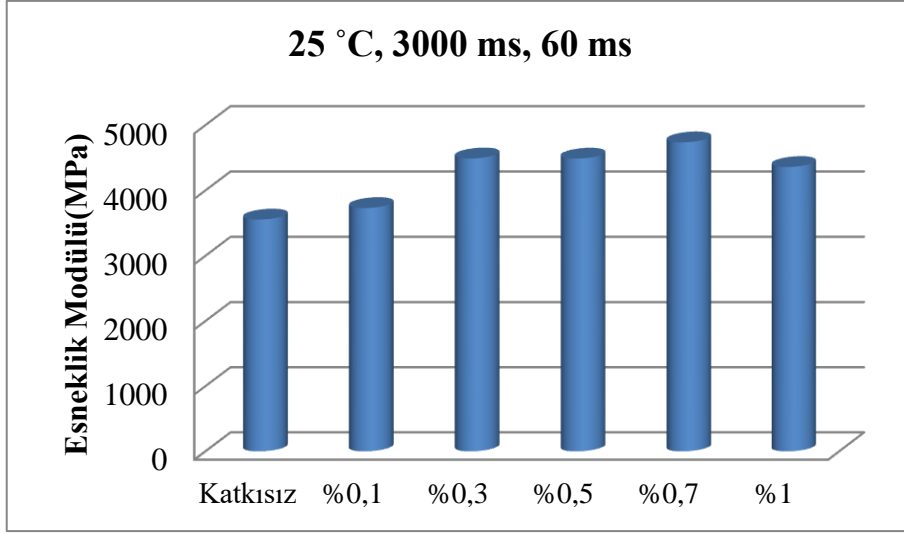


Şekil 112. 25 °C’de %1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

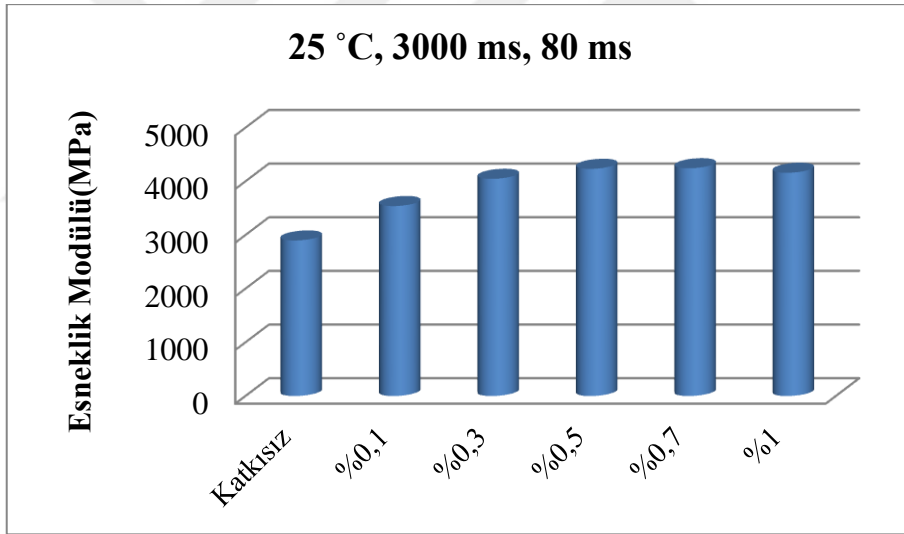
Şekil 113 – 121’de, 25 °C’de aynı yükleme periyotlarında farklı oranlarda Pr Plast S katkılı karışımların esneklik modülü değerlerine ait grafikler verilmiştir. Grafiklerde karışımların aynı yükleme periyotları ve yük artış sürelerinde Pr Plast S katkı maddesinin oranının artmasıyla paralel olarak, esneklik modüllerinde %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışıma kadar sürekli artış meydana gelmiş, %0,7’den sonra ise Pr Plast S katkı maddesi karışımların esneklik modülünde net bir düşüşe neden olmuştur.



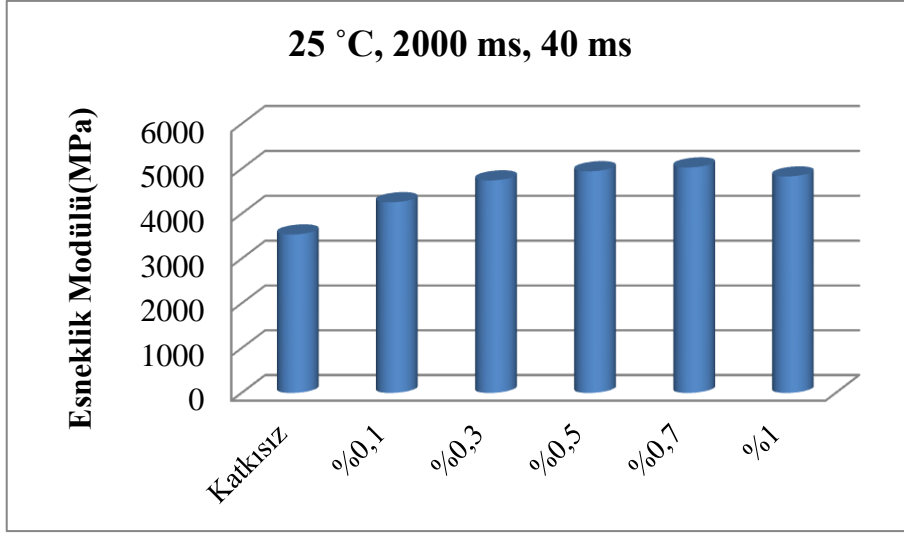
Şekil 113. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



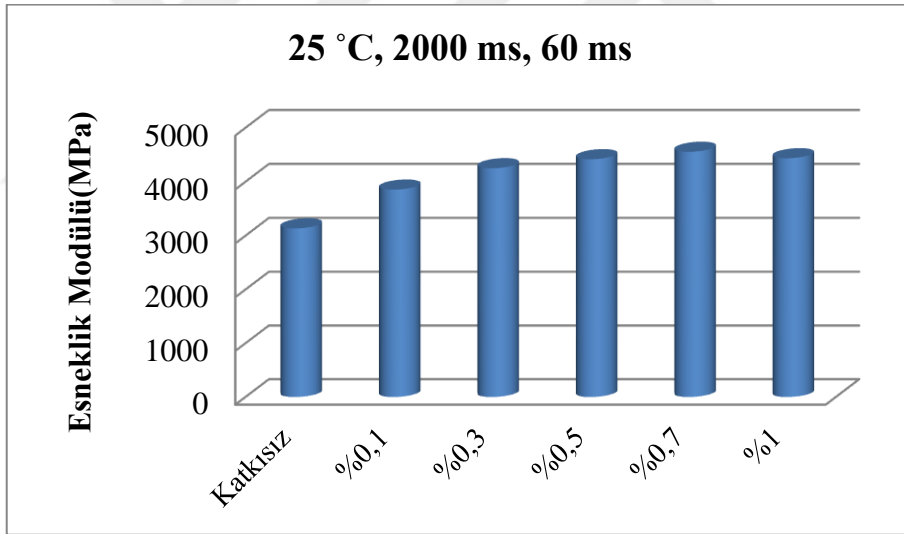
Şekil 114. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



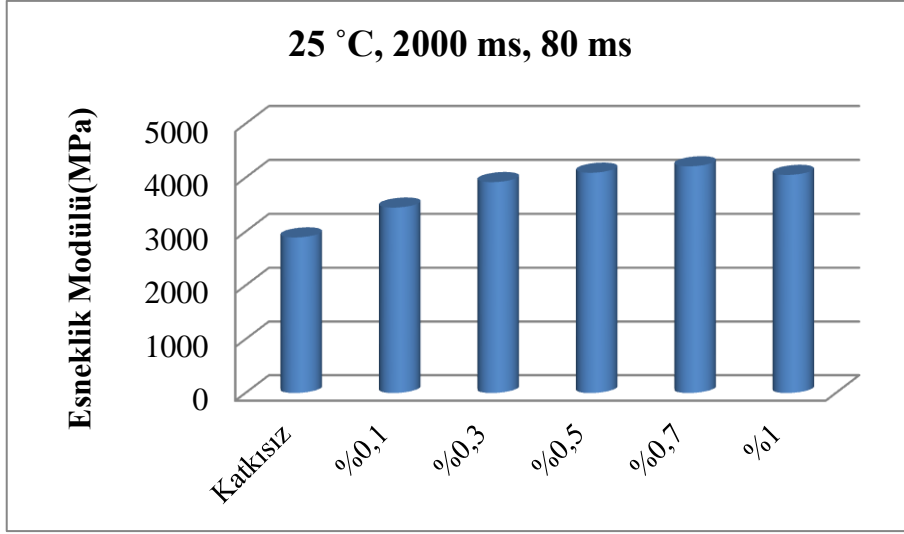
Şekil 115. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



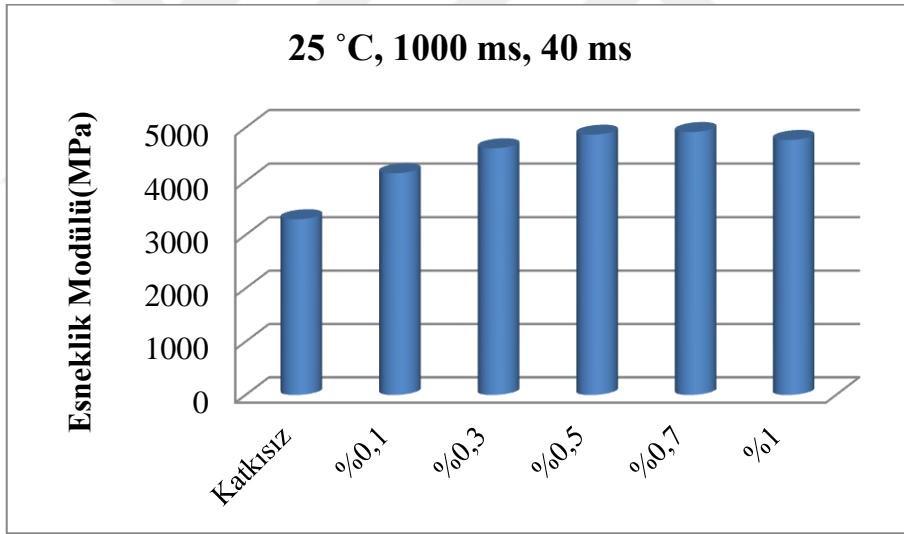
Şekil 116. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



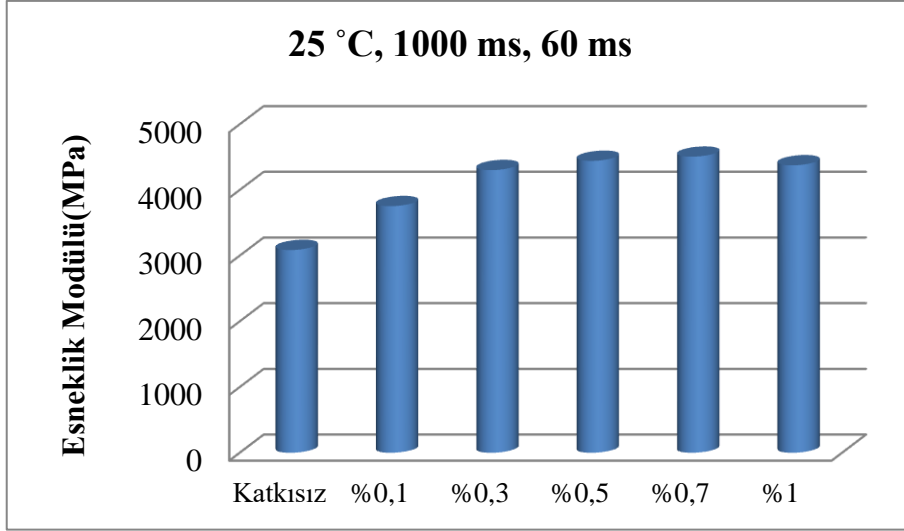
Şekil 117. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



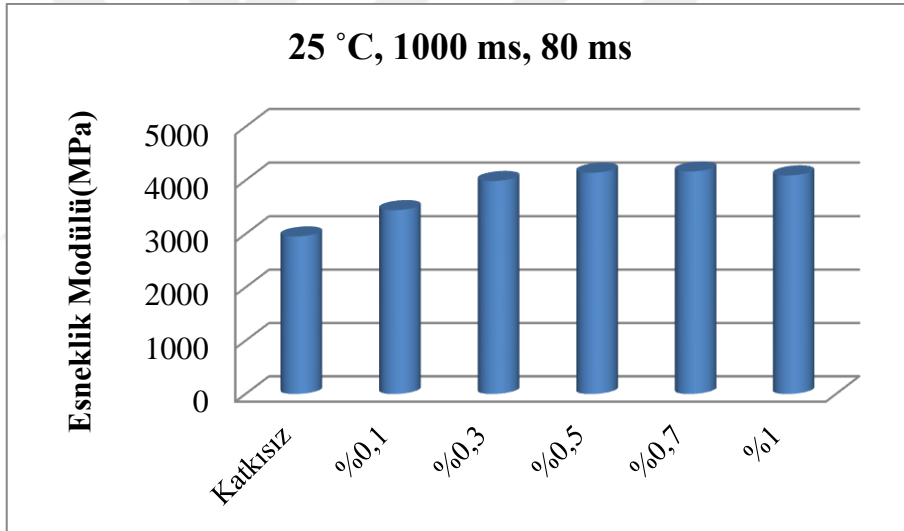
Şekil 118. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



Şekil 119. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri

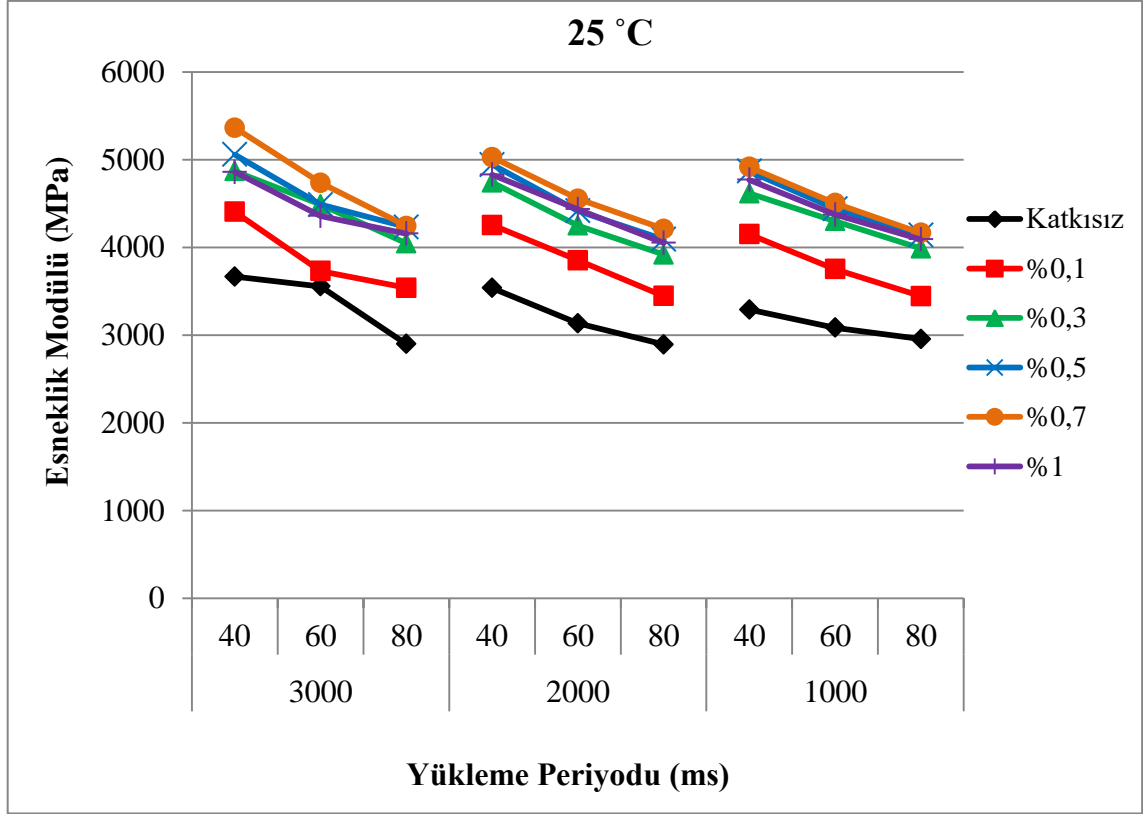


Şekil 120. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



Şekil 121. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri

Şekil 122’de esneklik modülü değerlerine ait grafik verilmiştir. 25 °C sıcaklıkta yapılmış olan dolaylı çekme deneyinde esneklik modülü %0,7 Pr Plast S katkıli karışımda en yüksek değeri verirken, en düşük değeri katkısız Taş Mastik Asfalta ait brikette vermiştir. Sonuç olarak %0,7 oranına kadar Pr Plast S katkıli karışımların katkısız karışıma göre esneklik modülü değeri daha iyi sonuç vermiştir. Bu durumda karışımın %0,7 katkı oranına kadar çatlak oluşumuna karşı daha dirençli davrandığı söylenebilir. Esneklik modülünün artması ile de yük dağıtma kabiliyetinin iyileşmesi söz konusudur.



Şekil 122. 25 °C'de karışımların esneklik modülü değerleri

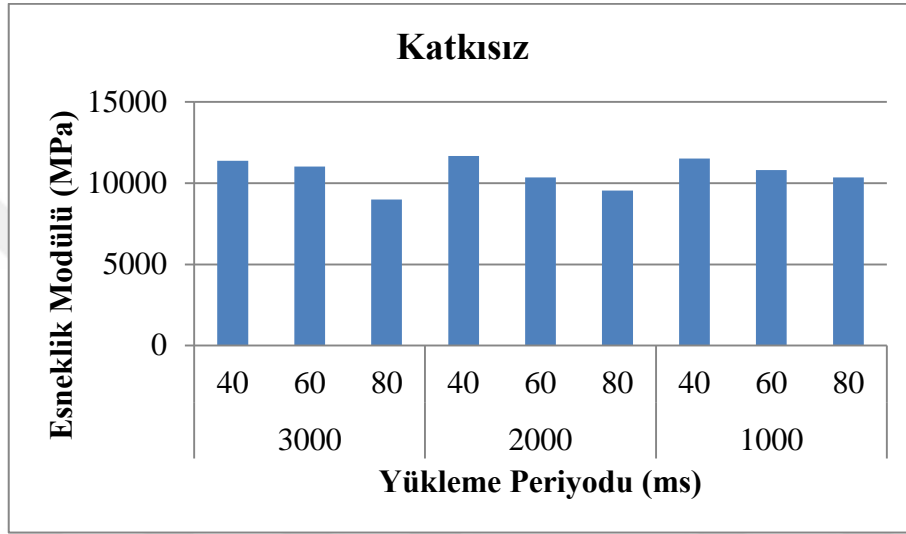
3.2.3. 5 °C Sıcaklığında Yapılan Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Sonuçlar ve İrdeleme

5 °C sıcaklığında numunelere 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms yükleme periyodunda 40 ms, 60 ms, ve 80 ms yükleme süresinde dolaylı çekme deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 29'da verilmiştir.

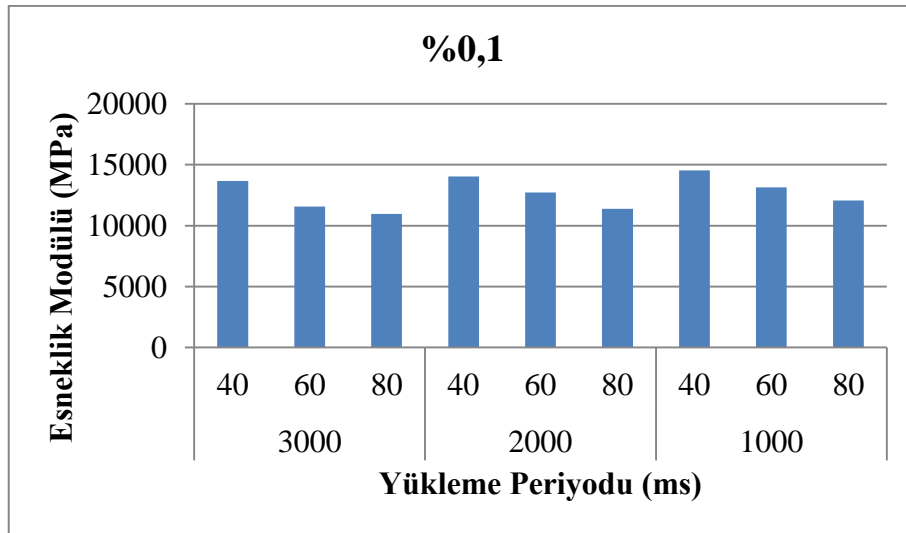
Tablo 29. 5 °C sıcaklığında karışımların esneklik modülü ortalama değerleri (MPa)

Katkı Durumu	3000			2000			1000		
	40	60	80	40	60	80	40	60	80
Katkısız	11371	11024	8986	11678	10347	9550	11524	10800	10343
%0,1	13662	11570	10974	14046	12720	11376	14529	13137	12058
%0,3	15097	13922	12546	15649	14026	12934	16157	15057	13963
%0,5	15687	13914	13123	16321	14579	13509	17045	15549	14499
%0,7	16632	14686	13157	16600	15034	13900	17215	15772	14579
%1	15070	13517	12895	15940	14640	13375	16701	15314	14324

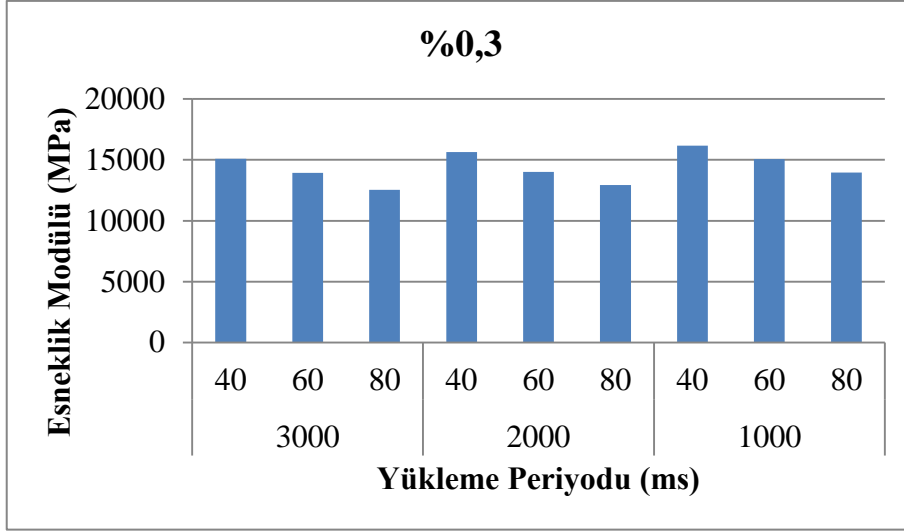
Şekil 123 – 128’de 5 °C’de karışım oranlarına göre farklı yükleme periyotları sonucu elde edilen esneklik modülüne ait grafikler verilmiştir. Grafiklerde, genel olarak tüm katkı oranlarında esneklik modülü değerleri tüm yükleme periyotlarında ve yükleme artış süresinde benzer bir grafik göstermiştir. Karışımlarda en yüksek esneklik modülü değerlerini kısa yükleme süresinde elde edildiği, yükleme artış süresi arttıkça esneklik modülünün düştüğü gözlemlenmiştir.



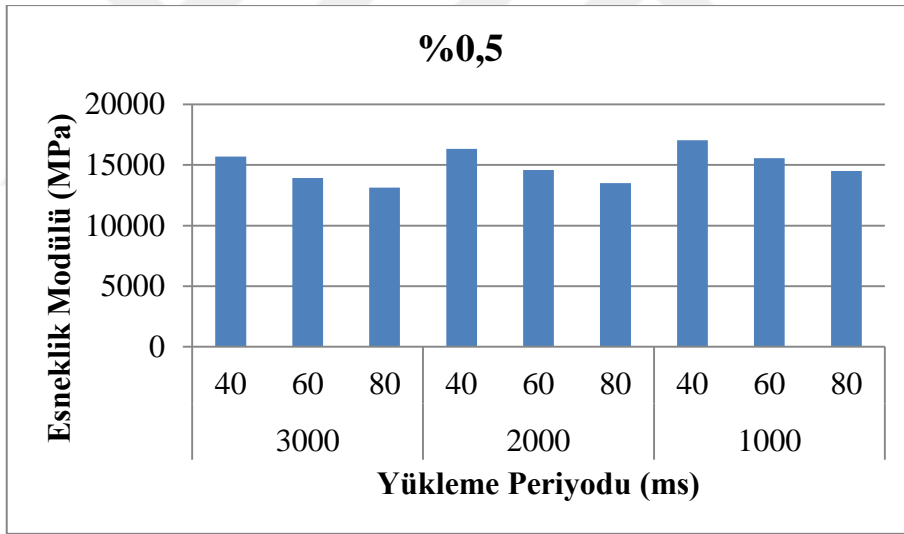
Şekil 123. 5 °C’de katkısız karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



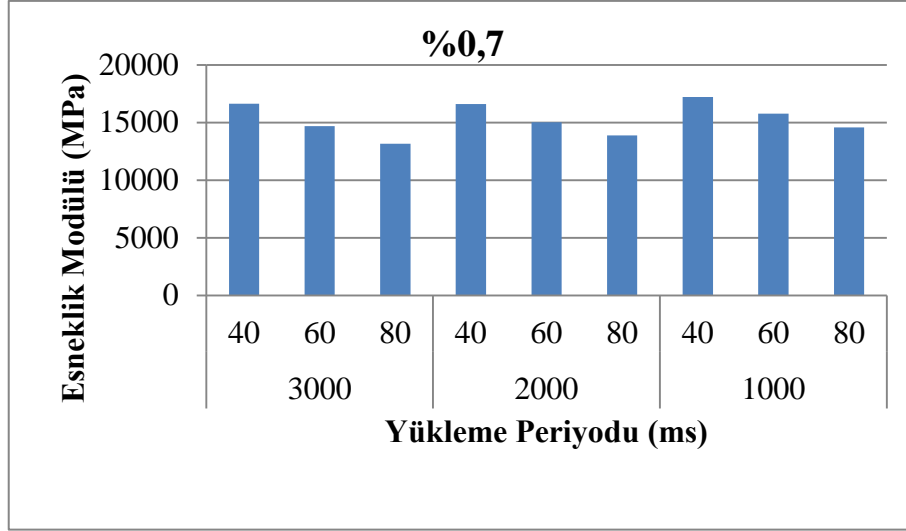
Şekil 124. 5 °C’de %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



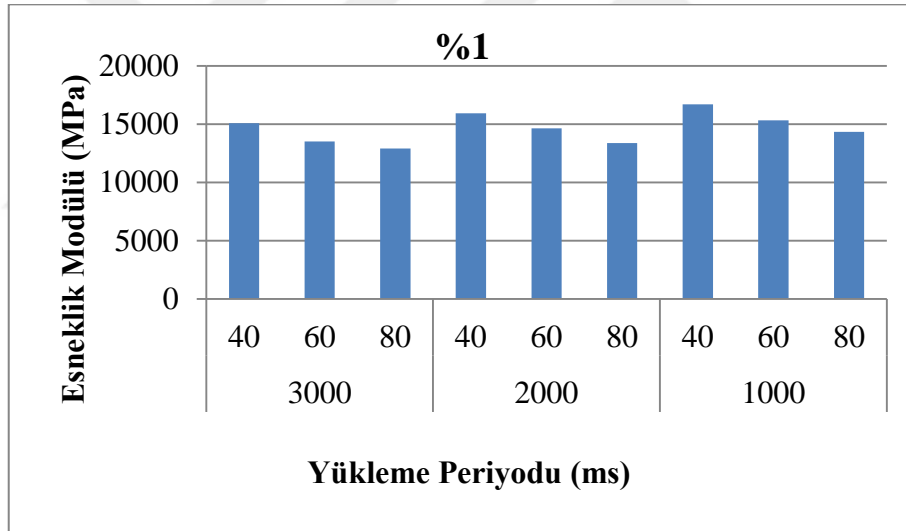
Şekil 125. 5 °C'de %0,3 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yüklemeye periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



Şekil 126. 5 °C'de %0,5 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yüklemeye periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

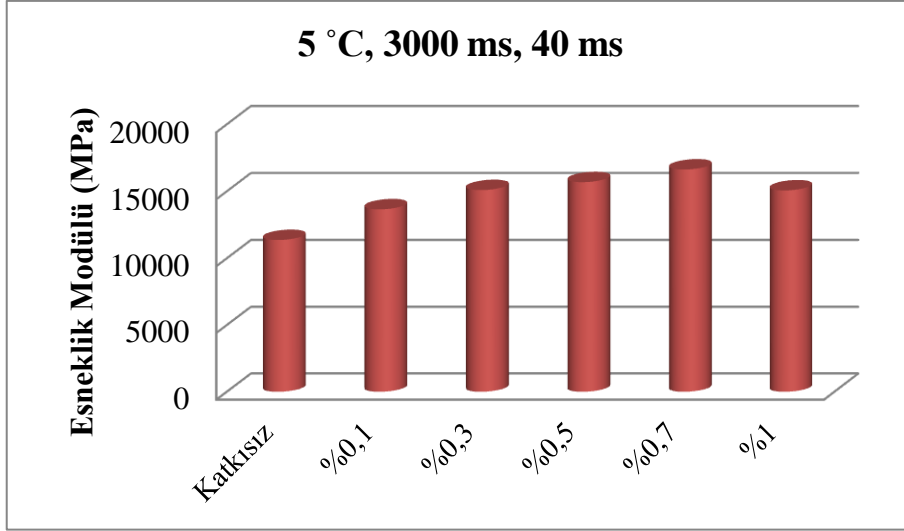


Şekil 127. 5 °C’de %0,7 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yüklem periyotlarına göre esneklik modülü değeri

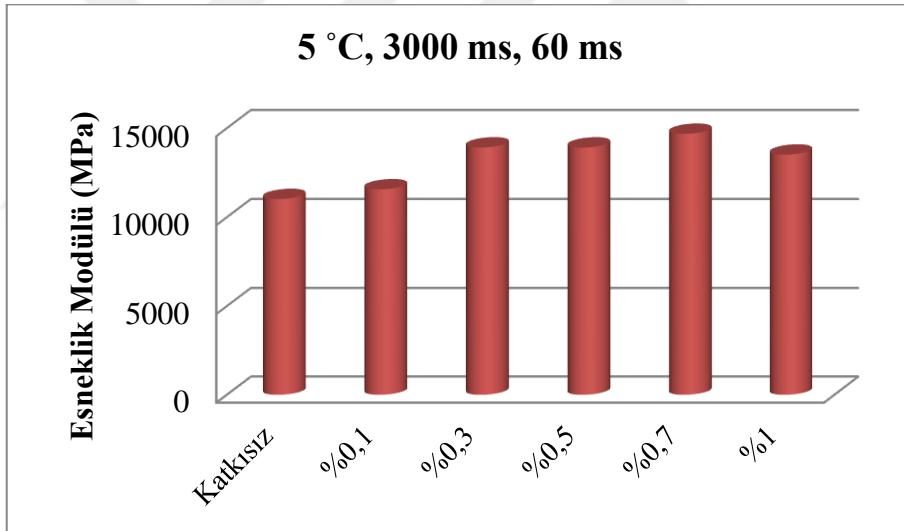


Şekil 128. 5 °C’de %1 oranında Pr Plast S katkıli karışımların yüklem periyotlarına göre esneklik modülü değeri

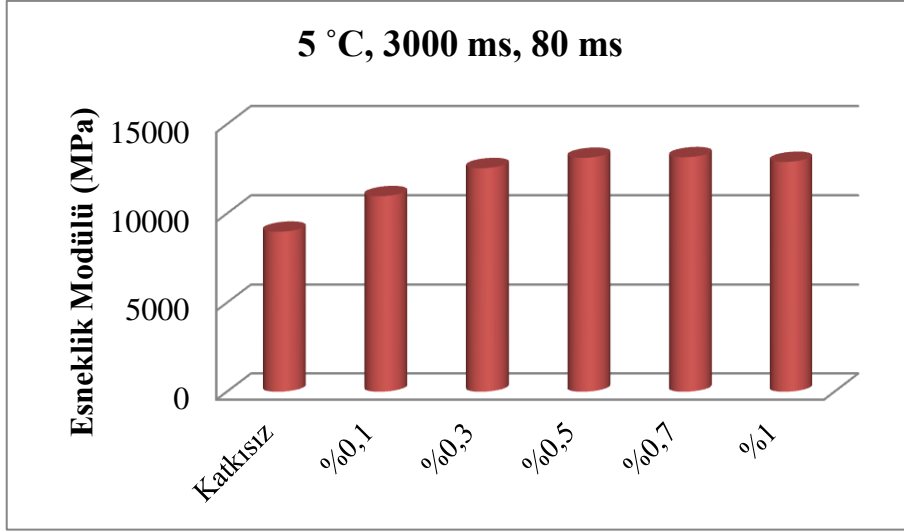
Şekil 129-137’de aynı yüklem periyotlarında farklı oranlarda Pr Plast S katkıli karışımların esneklik modülü değeri için grafikler verilmiştir. Grafiklerde de görüldüğü üzere Pr Plast S katkı oranı arttıkça %0,7 oranında katkıli karışımlara kadar artışlarda esneklik modülünde sürekli bir artış meydana geldiği, %0,7 Pr Plast S katkıli karışımlardan itibaren ilave edilen Pr Plast S katkısının esneklik modülü değeri düşüşe neden olduğu çok net bir şekilde gözlemlenmiştir.



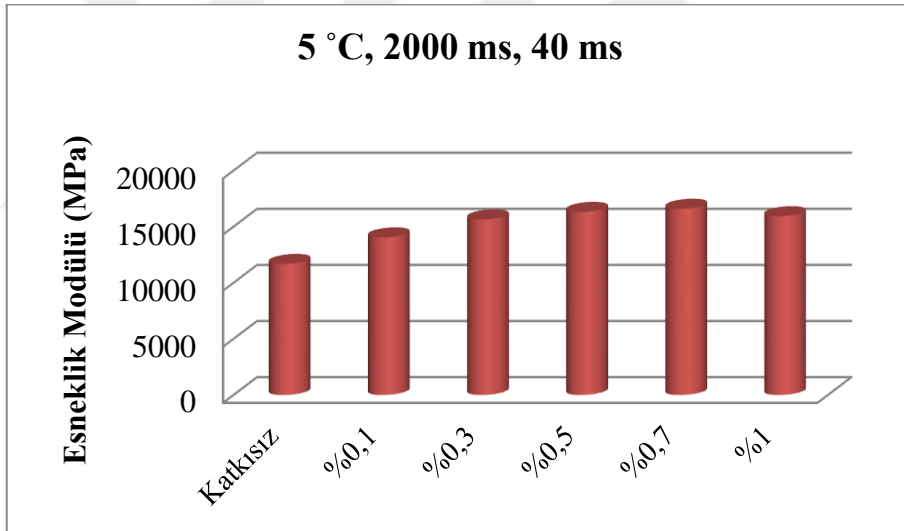
Şekil 129. 5 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



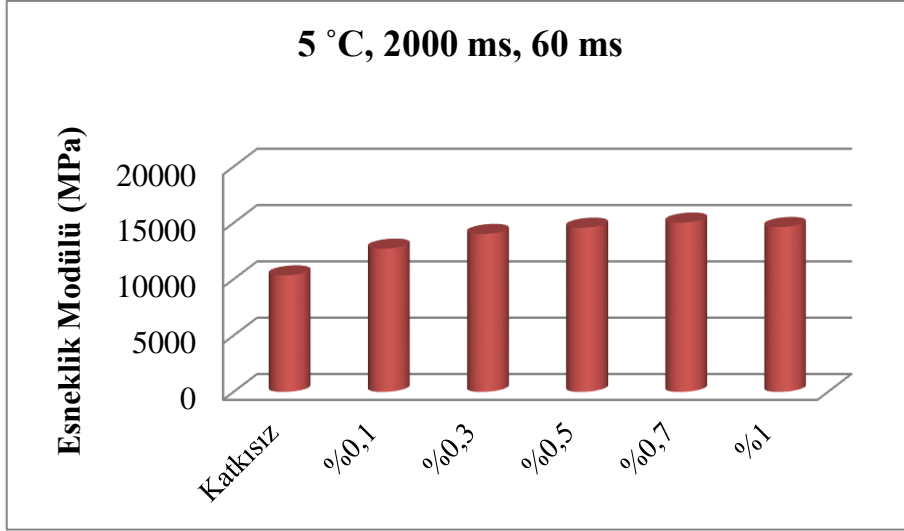
Şekil 130. 5 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



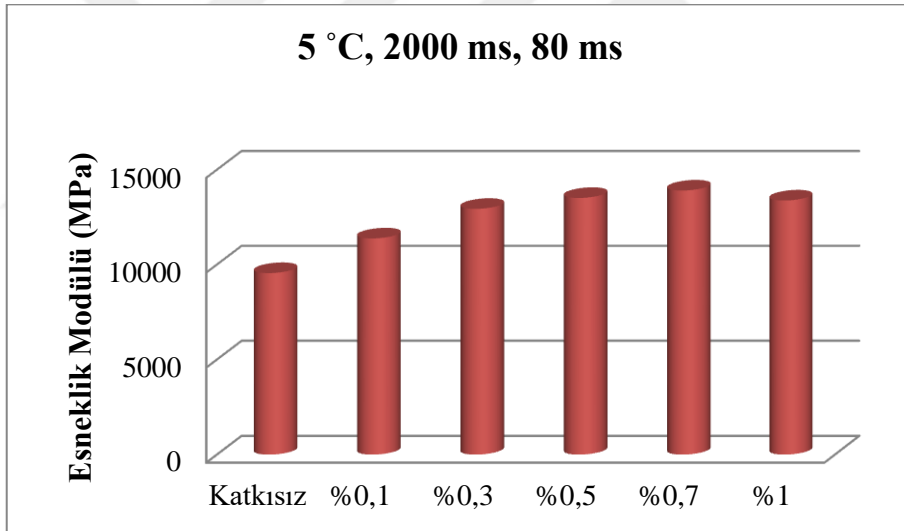
Şekil 131. 5 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



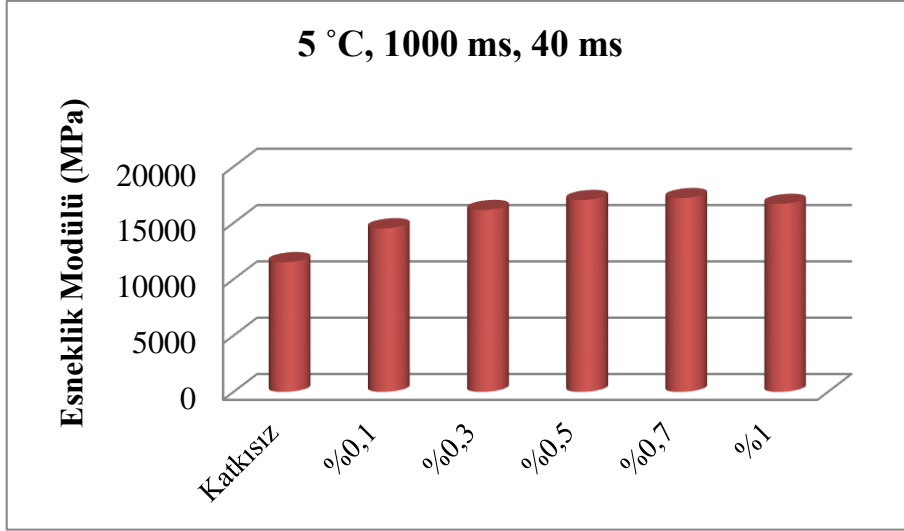
Şekil 132. 5 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



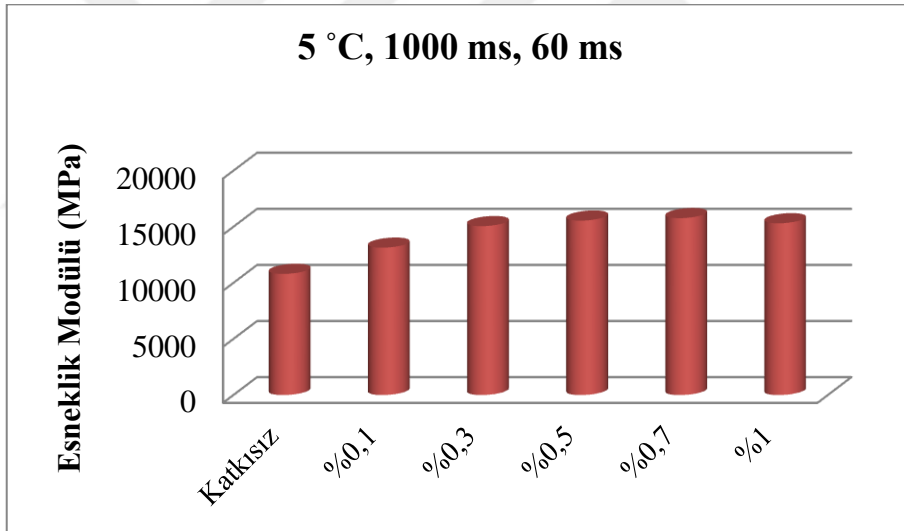
Şekil 133. 5 °C'de karışımların 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



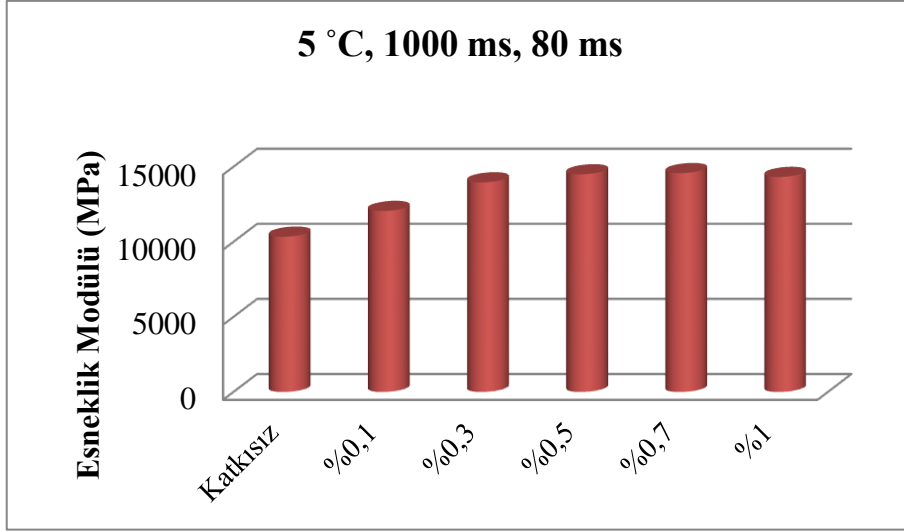
Şekil 134. 5 °C'de karışımların 2000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



Şekil 135. 5 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri

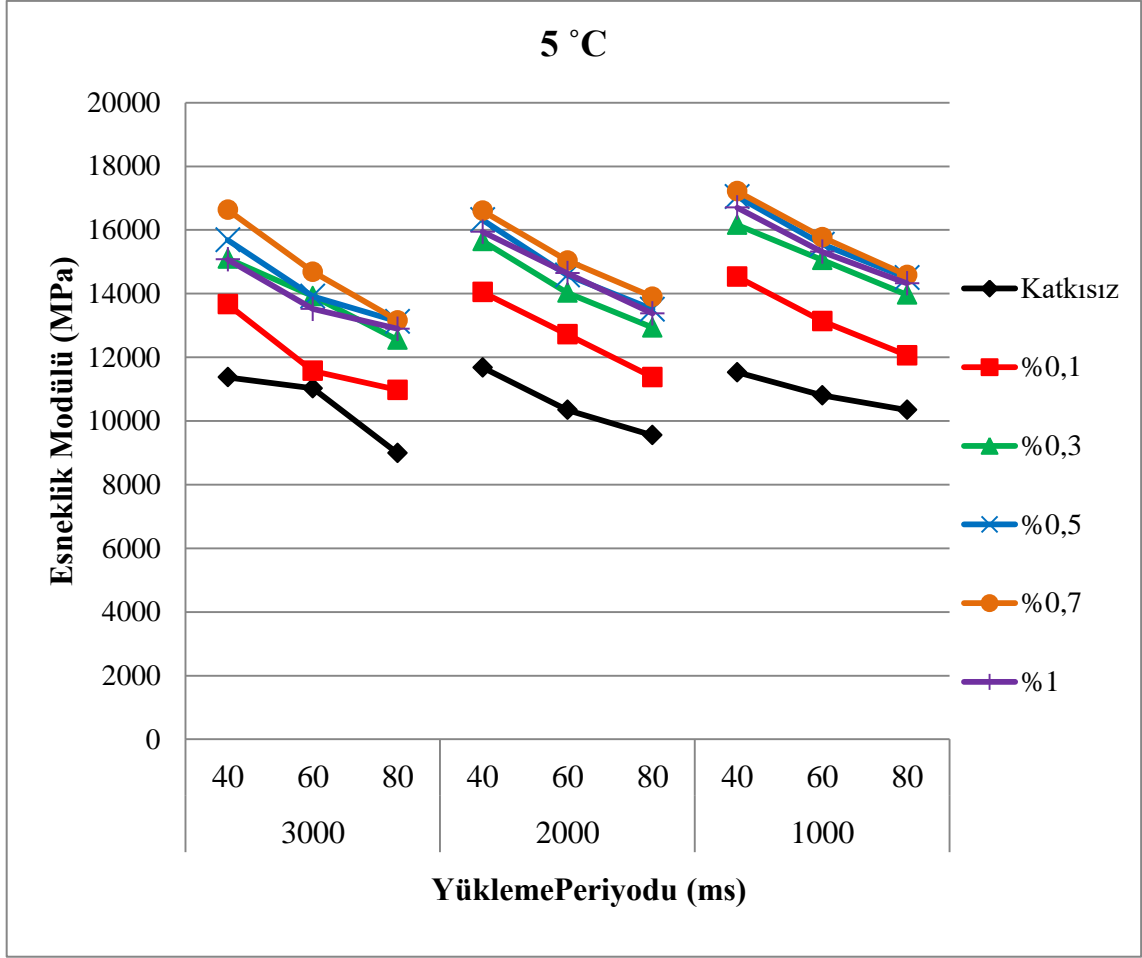


Şekil 136. 5 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri



Şekil 137. 5 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri

Şekil 138’de karışımların 5 °C sıcaklıktaki esneklik modülü değerleri verilmiştir. Deneyin yapıldığı yükleme aralıklarında oranlar arasında %0,7 Pr Plast S katkılı karışımlar en yüksek esneklik modülü değerini verirken, en düşük esneklik modülünü katkısız karışım vermiştir. Karışımların yük yarma kapasitesini göstermede önemli bir gösterge olan esneklik modülünde düşük sıcaklıkta düşük esneklik modülü bulunması amaçlanmaktadır. Bu durumda soğuk iklimlerde çatlama potansiyelinin katkısız karışıma göre yüksek olabileceği söylenebilir.



Şekil 138. 5 °C sıcaklıkta karışımların esneklik modülü değerleri

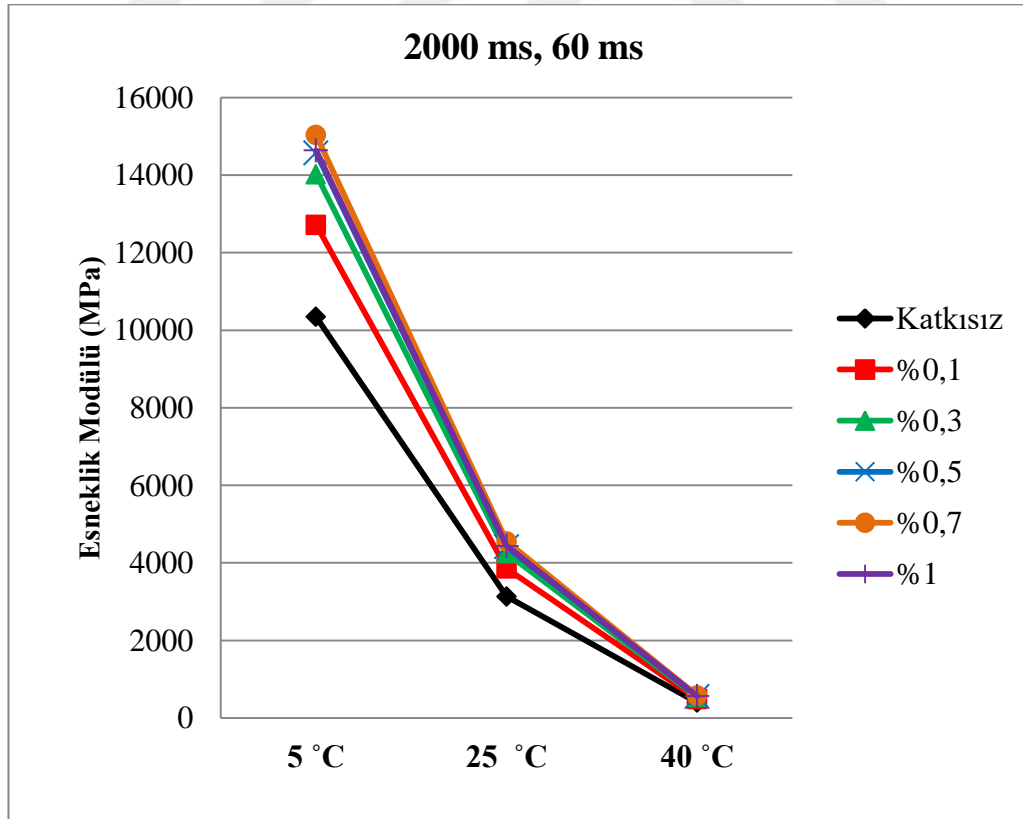
3.2.4. Dolaylı Çekme Deneyinden Elde Edilen Sonuçların Sıcaklığa Göre Değişimi ve İrdeleme

Tablo 30'da 5 °C, 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarında, 2000 ms yükleme periyodunda ve 60 ms yük artış süresinde dolaylı çekme deneyine tabi tutulan karışımların sonuçları verilmiştir.

Tablo 30. 2000 ms, 60 ms yükleme periyodunda esneklik modülü değerleri (MPa)

Katkı Durumu	Sıcaklık		
	5 °C	25 °C	40 °C
Katkısız	10347	3135	397
%0,1	12720	3855	488
%0,3	14026	4250	538
%0,5	14579	4418	559
%0,7	15034	4556	577
%1	14640	4436	562

Şekil 139'da 5 °C, 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarında karışımların esneklik modülü değerlerinin değişimine ait grafik verilmiştir. 5 °C sıcaklıkta en yüksek, 40 °C sıcaklıkta ise en düşük esneklik modülü değerleri elde edilmiştir. Bu durumda, malzemenin doğasına uygun şekilde termoplastik olarak davranan malzemeler ile davranışının uyumlu olduğu söylenebilir.



Şekil 139. Karışımların esneklik modülü değerlerinin sıcaklığa göre değişimleri

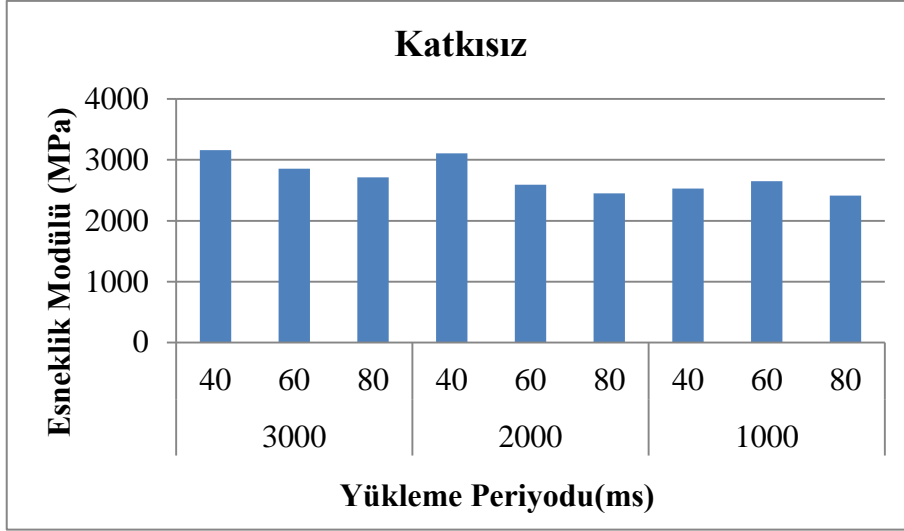
3.3. Su Hasarı Deneyi

Dolaylı çekme deneyinde kullanılan hasar görmemiş briketler koşullandırıldıktan sonra; 25 °C’de yükleme periyodu 1000 ms, 2000 ms ve 3000 ms, yükleme süresi 40 ms, 60 ms ve 80 ms olacak şekilde dolaylı çekme deneyine tabi tutulmuş ve esneklik modülü değerleri elde edilmiştir. Koşullandırılmış numunelerin esneklik modülleri Tablo 31’de verilmektedir.

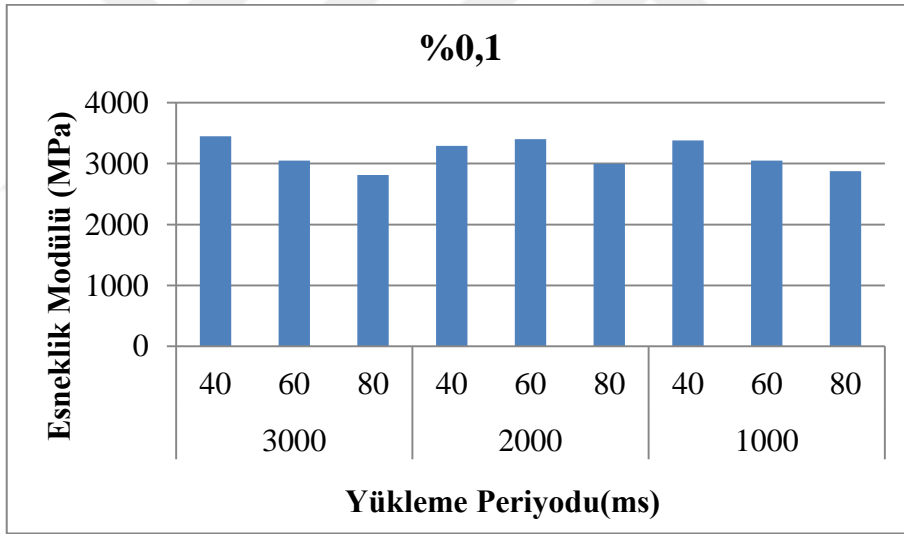
Tablo 31. 25 °C’de koşullandırılmış numunelerin ortalama esneklik modülü değerleri (MPa)

Katkı Durumu	3000			2000			1000		
	40	60	80	40	60	80	40	60	80
Katkısız	3162	2857	2716	3105	2593	2451	2531	2652	2415
%0,1	3450	3051	2813	3290	3402	2998	3383	3051	2877
%0,3	4552	3805	3471	4008	3587	3285	3874	3538	3267
%0,5	4767	4401	4088	4652	4306	4025	4693	4336	4034
%0,7	4540	4265	3757	4600	4075	3654	4519	4107	3704
%1	4045	3714	3445	4294	3769	3399	3905	3950	3509

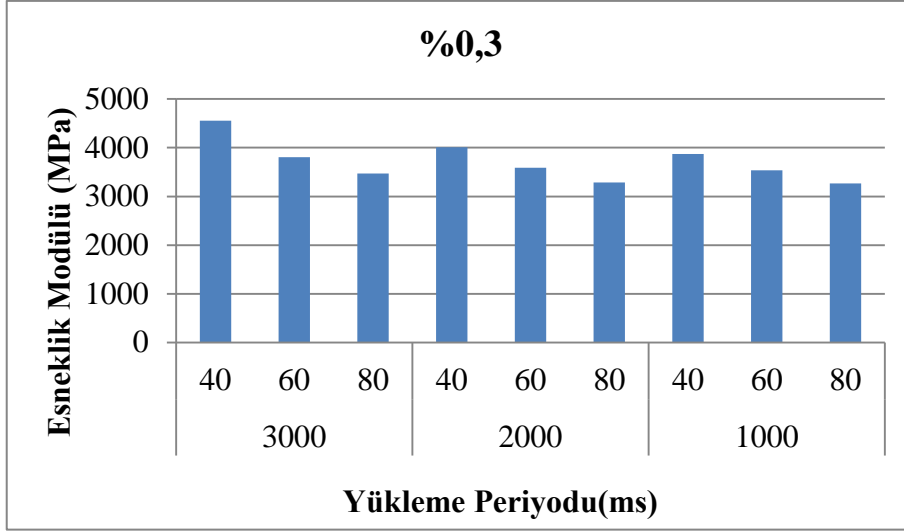
Şekil 140–145’de gösterilen grafiklerde katkı oranlarına göre koşullandırılmış numunelerin farklı katkı oranları ve yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde genel olarak tüm oranlarda benzer bir tablonun olduğu, numuneler en yüksek esneklik modülü değerlerini kısa yüklemelerde (40 ms) verirken, yükleme süresi arttıkça esneklik modülünün azaldığı görülmektedir.



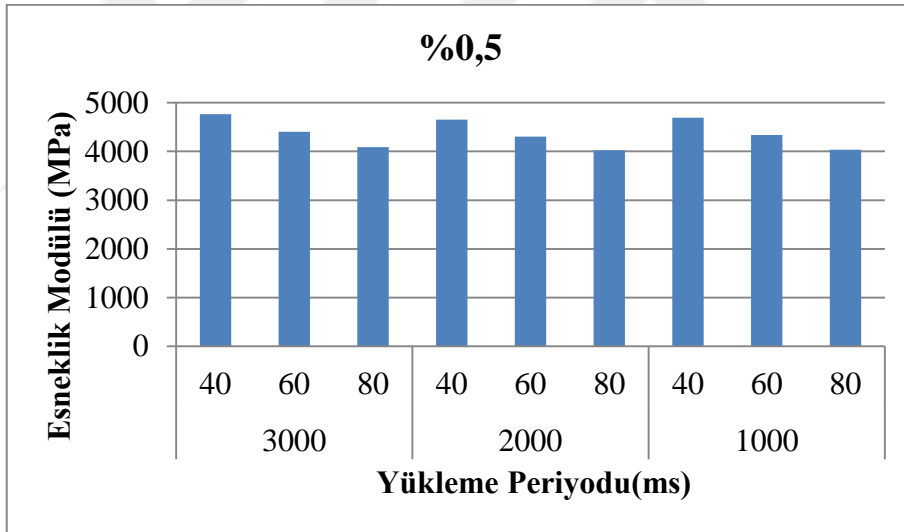
Şekil 140. 25 °C’de koşullandırılmış katkısız karışımların yüklenme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



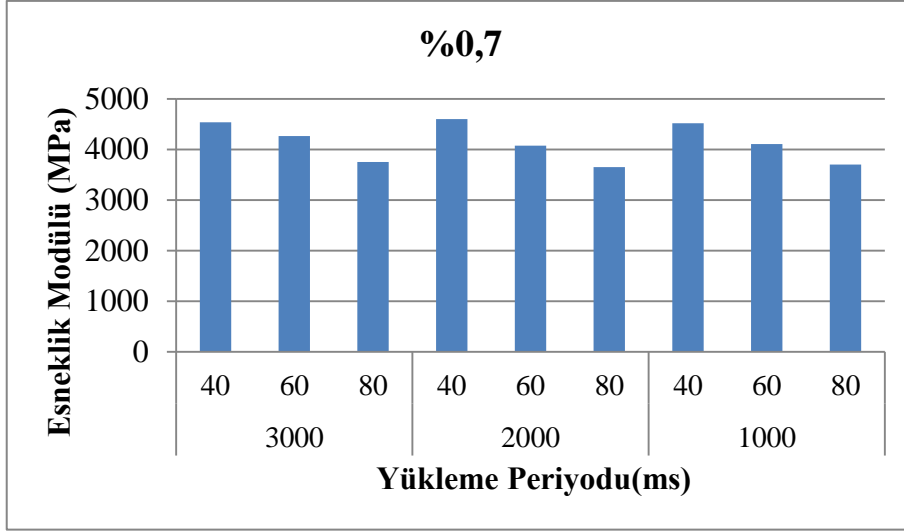
Şekil 141. 25 °C’de koşullandırılmış %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yüklenme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



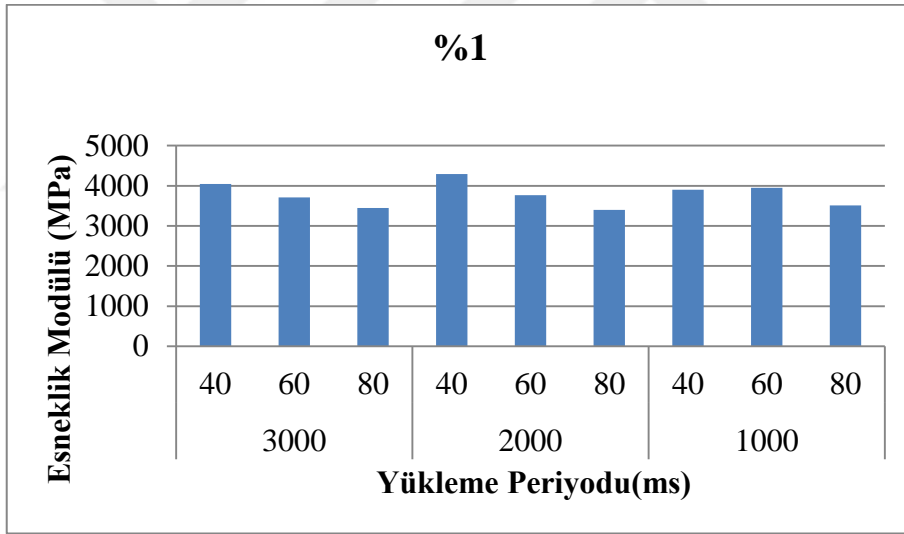
Şekil 142. 25 °C’de koşullandırılmış %0,3 oranında Pr Plast S katkı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



Şekil 143. 25 °C’de koşullandırılmış %0,5 oranında Pr Plast S katkı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



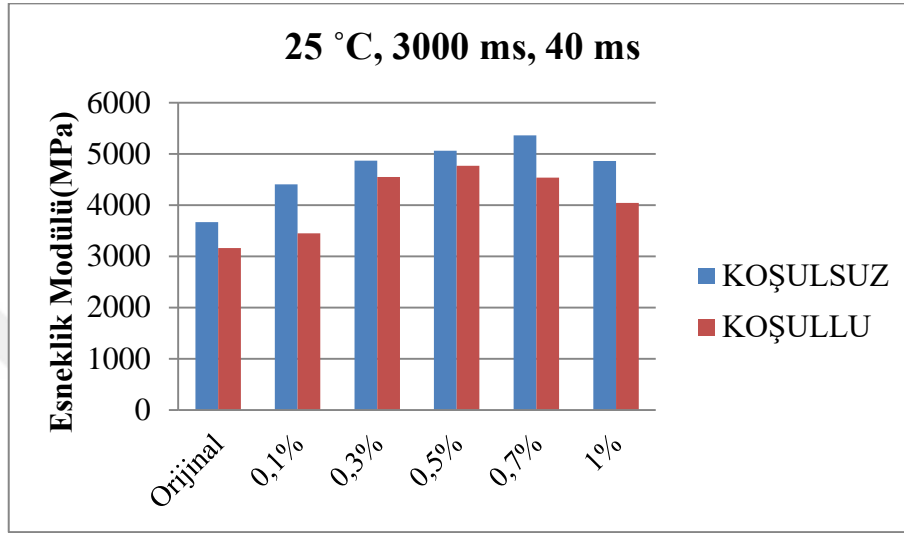
Şekil 144. 25 °C’de koşullandırılmış %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri



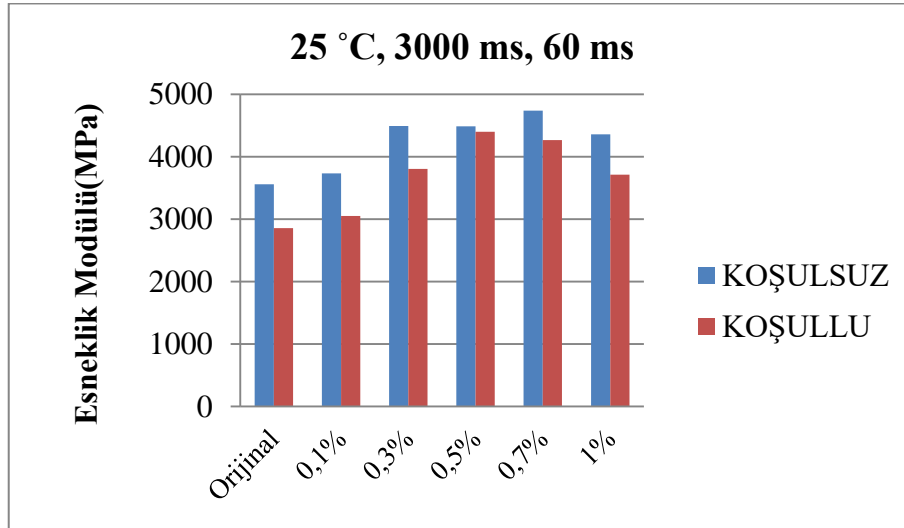
Şekil 145. 25 °C’de koşullandırılmış %1 oranında Pr Plast S katkılı karışımların yükleme periyotlarına göre esneklik modülü değerleri

Şekil 146-154’de bulunan grafiklerde 25 °C’de koşullandırılmış numuneler ile koşullandırılmamış numuneler arası kıyasın görüldüğü grafikler verilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarına göre koşullandırılmış numunelere ait esneklik modülü değerlerinin koşullandırılmamış numunelere göre azaldığı grafiklerde de görülmektedir. Bütün Pr Plast S katkılı numunelerde su hasarına karşı direnç, katkısız numunelere oranla daha yüksek çıkmıştır. Koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin esneklik modülleri

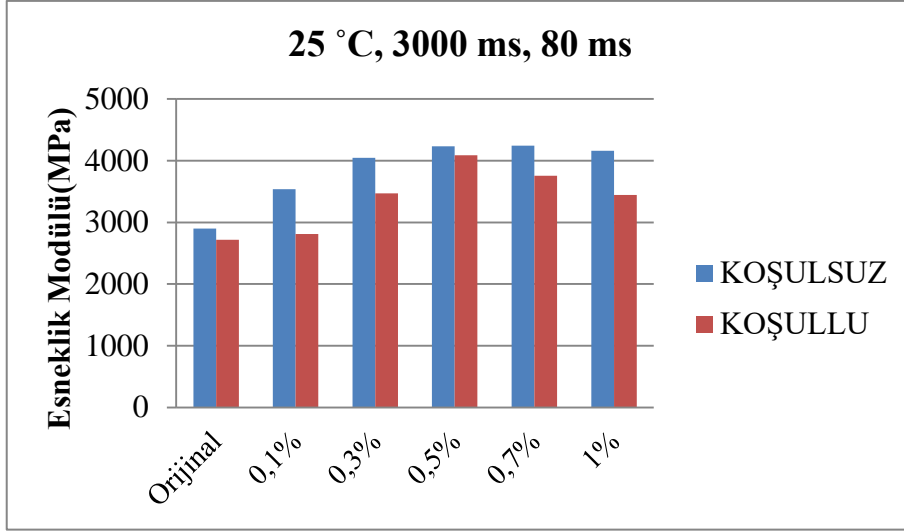
kıyaslandığında ise %0,5 Pr Plast S katkıli numunelerde en az kayıp meydana geldiği gözlemlenmiştir. Sonuç olarak; su hasarına karşı en yüksek direnci %0,5 Pr Plast S katkıli karışımlar gösterdiği ortaya çıkmıştır. SBS modifiyeli Taş Mastik Asfalt karışımlarda Pr Plast S katkı maddesinin su hasarı direncinde etkili olduğu belirlenmiştir.



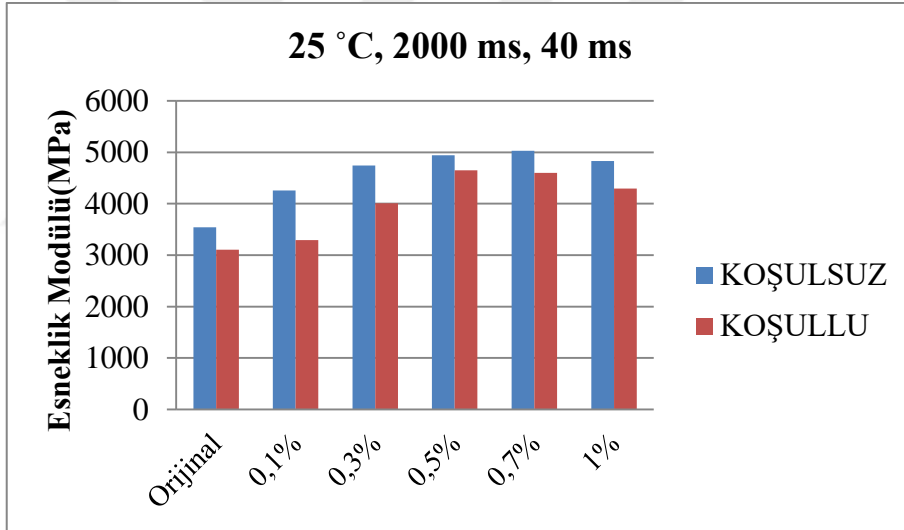
Şekil 146. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 40 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



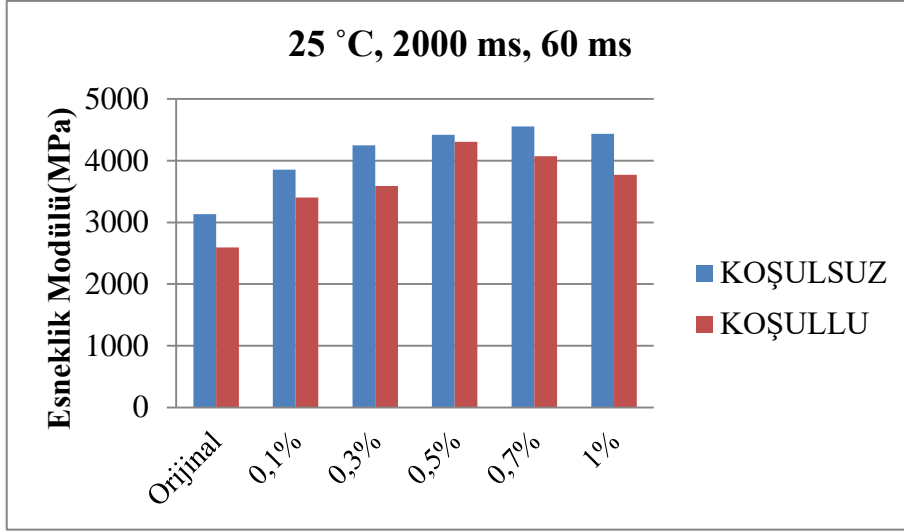
Şekil 147. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 60 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



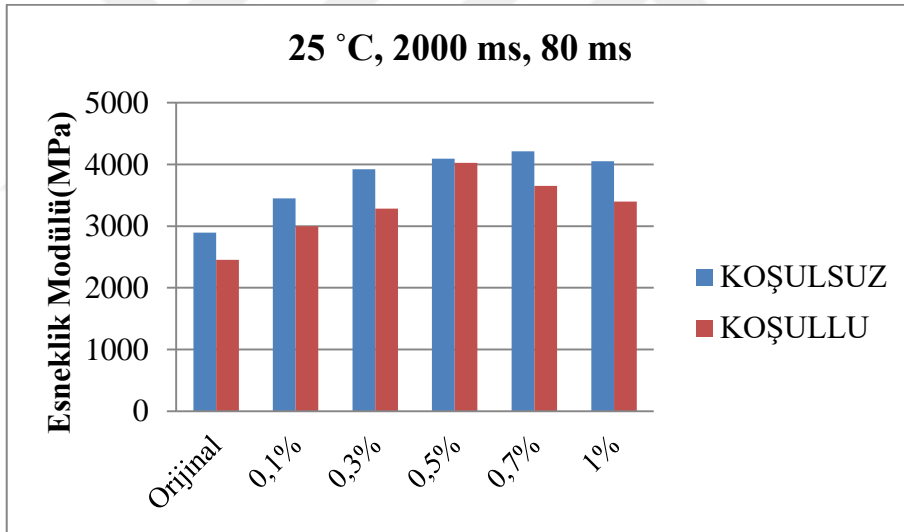
Şekil 148. 25 °C’de karışımların 3000 ms, 80 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



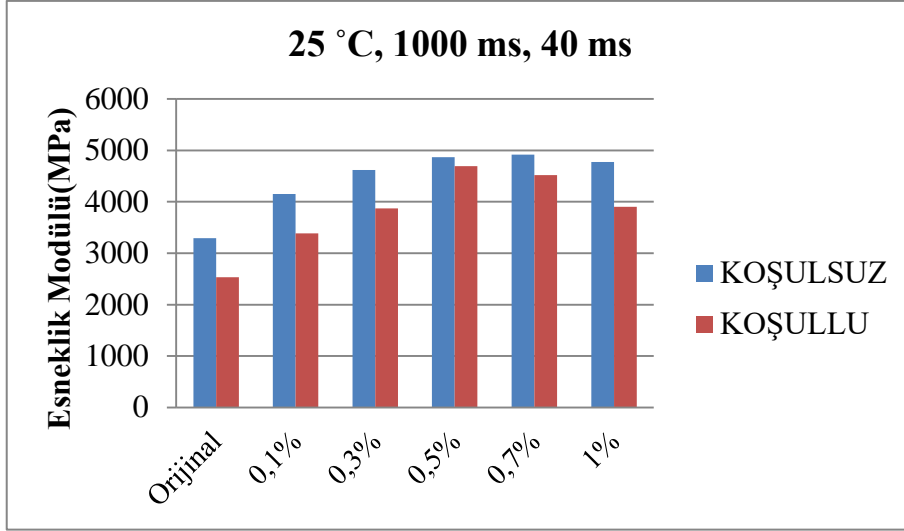
Şekil 149. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 40 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



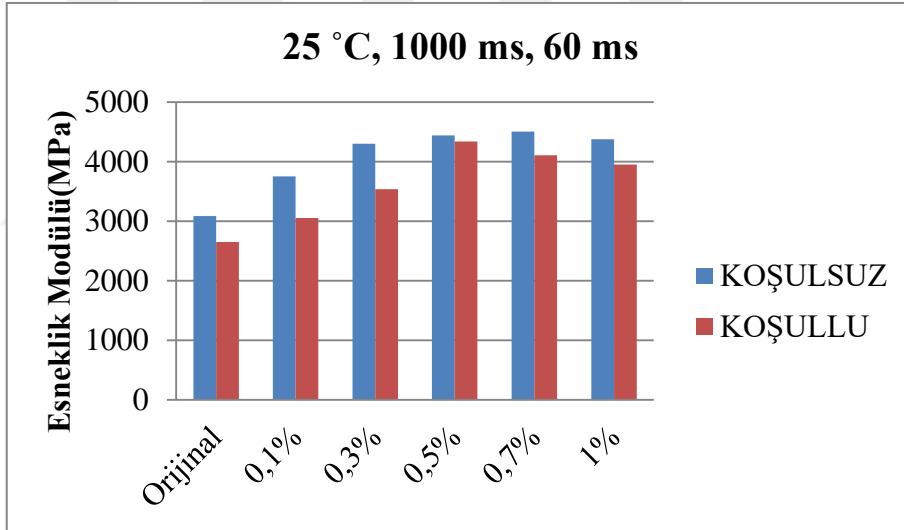
Şekil 150. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 60 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



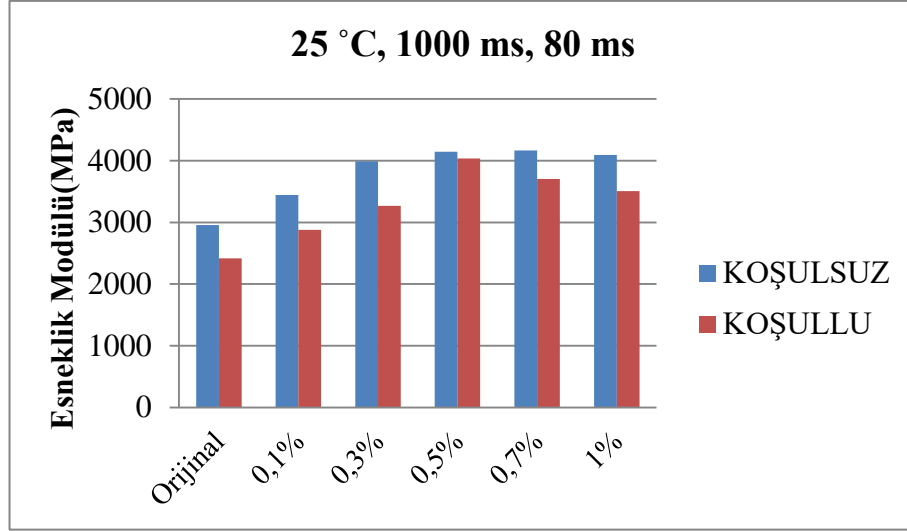
Şekil 151. 25 °C’de karışımların 2000 ms, 80 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



Şekil 152. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 40 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



Şekil 153. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 60 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri



Şekil 154. 25 °C’de karışımların 1000 ms, 80 ms de koşullu/koşulsuz esneklik modülü değeri değişimleri

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, %5 oranında SBS ile modifiye edilmiş bitüme farklı oranlarda Pr Plast S katkı maddesinin karıştırılmasıyla oluşturulmuş Taş Mastik Asfalt karışımının performans özellikleri incelenmiş, 5 farklı oranda Pr Plast S katkılı ve katkısız numuneler kıyaslanmıştır.

Aynı agrega gradasyonu, %3 elyaf ve %5 oranında SBS ile modifiye edilmiş asfaltın %6,9 olarak belirlenen optimum oranda kullanılmasıyla oluşturulan katkısız karışım ve agrega ağırlığının %0,1, %0,3, %0,5, %0,7 ve %1 oranlarında Pr Plast S katkı maddesinin katılmasıyla oluşturulan 6 farklı tip karışım üretilmiştir.

Marshall stabilitesi yönünden incelendiğinde her bir karışıma ait stabilite değerleri farklılık göstermekle birlikte, şartnamede öngörülen stabilite değerinin (min. 750 kg) üzerindedir. En yüksek stabilite değeri %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımlarda, en düşük stabilite değeri ise katkısız karışımda tespit edilmiştir. Ayrıca %0,7 oranında katkılı karışımlarda kadar stabilitede artış gözlenirken %0,7'den sonra stabilite değeri düşüşe geçmiştir. Akma değerleri ise genel olarak gerekli kriterler (2-4 mm) arasındadır ve üst sınıra yakındır, sadece %0,1 oranında Pr Plast S katkılı karışımlarda gerekli kriterin üzerinde kalmıştır. Bu durum Pr Plast S katkı maddesinin sıcak havalarda kusmanın önüne geçmede uygun olduğu sonucunu vermektedir. Stabilite ve Akma değerlerinde genel durum; stabilite değerlerinin yüksek, akma değerlerinin düşük olması Pr Plast S katkı maddesinin tekerlek izi deformasyonuna karşı direnci arttırdığını göstermiştir. Marshall oranlarında ise en yüksek değer %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımdan alınması, servis süresi boyunca kalıcı deformasyonlara karşı %0,7 oranına kadar direncin arttığının göstergesi olmuştur. Sonuç olarak; Pr Plast S katkısının Taş Mastik Asfalt karışımlarda bir arada kullanımının %0,7 oranına kadar artış gösterdiği, dolayısıyla bu katkı miktarlarında karışımın deformasyonlara karşı dayanımı arttırabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Dolaylı çekme deneyi sonuçlarına göre ise; 40 °C'de en yüksek esneklik modülü değeri %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımda, en düşük esneklik modülü değeri ise katkısız karışımda ölçülmüştür. 25 °C'de de en yüksek esneklik modülü değeri %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımda, en düşük esneklik modülü değerleri katkısız karışımda tespit edilmiştir. Bu durumda esneklik modülü değerlerinin %0,7 oranına kadar sürekli bir artış meydana getirmesi, karışım dayanımının %0,7 oranında Pr Plast S katkılı

karışıma kadar arttığı, %0,7'den sonra azaldığı anlaşılmıştır. 5 °C sıcaklıkta ise; %0,7 oranında Pr Plast S katkılı karışımın esneklik modülü değeri diğer katkı oranlarıyla oluşturulmuş karışımlara yakın değerler verse de yüksek çıkmış, en düşük değeri katkısız karışım vermiştir. Bu durumda düşük sıcaklıkta soğuk iklimlerde Pr Plast S katkısının, SBS modifiyeli bitümlü karışımda kullanılmasında asfalt kaplamada çatlama potansiyelinin Pr Plast S katkısız (yalnız SBS katkılı) karışıma göre daha fazla olabileceği düşünülebilmektedir. Bu deney verileri ışığında; Pr Plast S katkı maddesinin ılık, sıcak ve yağışlı iklimlerde kullanımının daha iyi sonuçlar vereceği bulgularına ulaşılmıştır.

Su Hasarı Deneyinde ise koşullandırması yapılan karışımlara 25 °C sıcaklıkta tekrar dolaylı çekme deneyi yapılarak, koşullandırma sonrası esneklik modüllerinde oluşan kayıp oranlarında en az kaybı %0,5 oranında Pr Plast S içeren karışımlar vermiş olup, özellikle %0,5 oranında Pr Plast S katkılı karışımlarda deney sonucunda 3000 ms 60 ms, 2000 ms 80 ms, ve 1000ms 80 ms yükleme periyotlarında %2 kayıp oranı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak SBS modifiyeli Taş Mastik Asfalt karışımlarda Pr Plast S katkı maddesinin su hasarı direncinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler ve elde edilen sonuçlar itibariyle, bitümlü sıcak karışımlarda, tekerlek izi oluşumuna karşı asfalt kaplamaların etkisini arttırdığı düşünülen Pr Plast S katkı maddesi, %5 SBS ile modifiye edilmiş bitüm ile karıştırılarak oluşturulan Taş Mastik Asfalt karışım, yapılmış olan deneylerde elde edilen oranlar ve diğer deneyler genel olarak birbirini destekler nitelikte sonuç vermiştir. Ancak bu durumun çok daha berrak ve kesinlikte değerlendirilmesi hususunda sadece bu çalışmada yapılan deneyler ve katkı oranlarıyla yetinilmemesi, daha yakın oranlarda ve farklı performans değerlendirme yöntemleri de uygulanarak elde edilecek diğer veriler ile birlikte daha yararlı bir sonuca ulaşılabileceği düşünülmektedir.

Farklı oranlarda Pr Plast S katkılı Taş Mastik Asfalt karışımlar üzerine yapılmış olan bu tez çalışması esas alınarak,

1. Bu çalışmada kullanılan Pr Plast S katkı maddesinin en iyi sonuç aralığının belirlenmesi için, daha sık ve farklı oranlarda Pr Plast S kullanılarak yeniden araştırılabilir.
2. Farklı oranlarda SBS ile modifiye edilmiş bitüm ve Pr Plast S karıştırılarak etkileri araştırılabilir.

3. Yapılmış olan çalışmada gradasyonu belirlenmiş olan agregaya ve optimum bitüm oranı, farklı gradasyonlarda ve buna bağlı optimum bitüm oranlarında tekrar araştırılabilir.
4. Bu çalışmada PMB 76-16 sınıfında bitüm kullanılmıştır. Kullanılan bitüm sınıfı değiştirilerek başka bir çalışma yapılabilir.



5. KAYNAKLAR

- Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M.R., Abdelaziz, M. ve Shafigh, P., 2011. Using Waste Plastic Bottles as Additive for Stone Mastic Asphalt, Materials & Design 32, 10, 4844–4849.
- Ahmedzade, P., Alataş, T. ve Geçkil, T., 2008. Asfalt Betonunda Siyah Karbonun Filler Olarak Kullanımı, İMO Teknik Dergi, 297,4493-4507.
- Ahmedzade, P., Kuloğlu, N., Ahmedzade M., Karakaş, A.S., Kuloğlu, M. ve Yılmaz, M., 2007. Saf ve Modifiyeli Bitümlerin Klasik ve Superpave Yöntemleriyle Reolojik Yapılarının İncelenmesi, D.P.T., Proje No. 2003K120440.
- Ahmedzade, P., Tigdemir, M. ve Kalyoncuoğlu, S. F., 2007. Laboratory Investigation of The Properties of Asphalt Concrete Mixtures Modified With TOP–SBS, Construction and Building Materials, 21, 626–633.
- Ahmedzade, P., Yılmaz, M. ve Yılmaz, M., 2008. Polyester Reçinenin Bitümlü Bağlayıcıların Yüksek Sıcaklık Performans Seviyesi Üzerindeki Etkisi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24, 1-2,227-240.
- Airey, G. D., 2002. Rheological Evaluation of Ethylene Vinyl Acetate Polymer Modified Bitumens, Construction and Building Materials, 16, 473-487.
- Aksoy, A., İskender, E., Oruç, Ş. ve Özen, H., 2012. SBS Polimeri ve Su Hasarı Önleyici Katkıların Asfalt Kaplamalarda Performans Karşılaştırması, İMO Teknik Dergi, 113, 23, 3, 5967-5986.
- Alataş, T. ve Kirizgil, M.E., 2012. Saf ve Polimer Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Karıştırma ve Sıkıştırma Sıcaklıklarının Dönel Viskozimetre Deneyi ile Belirlenmesi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 28,3, 249-256.
- Altaş, Ö.Y., 2002. Bitümlü Malzemeler ve Karışım Şartnamelerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Anurag, K., Xiao, F. ve Amirkhanian, S.N., 2009. Laboratory Investigation of Indirect Tensile Strength Using Roofing Polyester Waste Fibers in Hot Mix Asphalt, Construction and Building Materials, 23, 2035-2040.
- Arslan, F., 2014. Taş Mastik Asfalt Karışımlarda İstanbul Çevresindeki Cebeci-Dolamitli Kireçtaşı, Gölcük - Kumtaşı ve Karatepe - Bazaltı Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Aşık, İ., Aray, S. ve Önal, M.A., 1998. Bitümlü Sıcak Karışımların Plentte Modifiye Edilmesinde Kullanılan Katkıların Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi, 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık, Ankara, Bildiriler Kitabı: 45-54.
- Avcı, E., 2009. Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Awanti,S.S., 2013. Laboratory Evaluation of SMA Mixes Prepared with SBS Modified and Neat Bitumen,Procedia - 2nd Conference of Transportation Research Group of India, Social and Behavioral Sciences, 104, 2, 59-68.
- Balta, İ., 2004. Bitümlü Sıcak Karışımların Sudan Kaynaklanan Bozulmalara Karşı Duyarlılığı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bardesi A, et al., 1999. Use of Modified Bituminous Binders Special Bitumens and Bitumens with Additives in Pavement Applications, Technical Committee Flexible Roads (C8), World Road Association.
- Birliker, R.Y., Ilıcalı, M. ve Tayfur, S., 1998. Modifiye Edilmiş Bitümlü Bağlayıcıların Özelliklerinin Saptanmasında Kullanılan Standart Olmayan Test Yöntemleri, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık, Ankara, 55-66.
- Blazejowski, K., 2011. Stone Matrix Asphalt “Theory and Practice”, Second Edition, Taylor and Francis Group, Newyork.
- Bostancıoğlu, M., 2012. Bitkisel Atıklardan Elde Edilen Kimyasal Ürünler ile Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Casey, D., Ciaran McNally, C., Gibney, A., Michael D. ve Gilchrist, M.D., 2008. Development of a Recycled Polymer Modified Binder for use in Stone Mastic Asphalt, Resources, Conservation and Recycling, 52, 10, 1167–1174.
- Ceylan, S., 2006. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Filler Olarak Carboniferous-Triassic Kayaç Tozlarının Kullanılması ve Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Chelovian, A. ve Shafabakhsh, G., 2016. Laboratory Evaluation of Nano Al₂O₃ Effect on Dynamic Performance of Stone Mastic Asphalt, International Journal of Pavement Research and Technology (Available online).
- Chen, J. S. ve Huang, C. C., 2007. Fundamental Characterization of SBS-Modified Asphalt Mixed with Sulfur, Journal of Applied Polymer Science, 103, 2817-2825.
- Clyne, T. R., Hanson, M. P., 2001. Chadbourn, B., Drescher, A. ve Newcomb, D. E., Superpave Level One Mix Design at the Local Government Level, Final Report 2002 19, Minnesota Department of Transportation, Minnesota.

- Çetin, S., 2007. Afyonkarahisar Bölgesi Volkanik Kayaçların Sıcak Karışım Asfalt Kaplamalarında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, AKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Çubuk, K. M., 2001. Karayolları Üstyapısında Meydana Gelen Bozunmalar ve Çözüm Önerileri, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14, 1, 221-230.
- Çubuk, M., Gürü, M. ve Çubuk, M. K., 2009. Improvement of Bitumen Performance With Epoxy Resin, Fuel, 88, 1324-1328.
- Çubuk, M., 2007. Katkı Maddeleri ile Bitümün Reolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi ve Esnek Kaplama Malzeme Oluşumunda Problemlerin Giderilmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Das, K. P., Taşdemir, Y. ve Birgisson, B., 2012. Low Temperature Cracking Performance of WMA With the Use of the Superpave Indirect Tensile Test, Construction and Building Materials, 30, 643-649.
- Deniz, M. T., 2009. Esnek Üstyapı Kaplamalarında Bitümle Birlikte Bağlayıcı Olarak Granüler Sülfür Kullanımının Kalıcı Deformasyona Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Deniz, M.T., Eren, B.K., Kalkancı, Ç. ve Yıldırım, S.A., 2009. Metrobüs Hattı Üstyapısında Kullanılan Özel Tasarımli Asfaltların Analizi, 8. Ulaştırma Kongresi, 30 Eylül/1-2 Ekim, İstanbul.
- Dessouky, S., Reyes, C., Ilias, M., Contreras, D. ve Papagiannakis, A. T., 2011. Effect of Pre-heating Duration and Temperature Conditioning on the Rheological Properties of Bitumen, Construction and Building Materials, 25, 2785–2792.
- Diehl C.F., 2000. Ethylene–Styrene Interpolymers for Bitumen Modification, Second Eurasphalt Eurobitume Congress, Barcelona, 93–102.
- Dinç, E., 1999. Performans Sınıfı Asfaltlar-Bağlayıcı Özellikleri ve Deneyleri, Karayolları 16. Bölge Müdürlüğü, Sivas.
- Dong, F, Yu, X, Liu, S. ve Wei, J., 2016. Rheological behaviors and microstructure of SBS/CR composite modified hard asphalt, Construction and Building Materials, 115, 285-293.
- EAPA, Heavy Duty Surfaces, 1998; Çevirmen: Temren, Z., 2005. Ağır Yüklere Maruz Üstyapılar/Taş Mastik Asfalt-SMA”, ASMÜD Yayınları, Ankara.
- EN 13108-5, 2006. Bituminous mixtures-Material specifications, Part 5: Stone Mastic Asphalt, CEN/CENELEC, Brussel.
- Ertekin, S. B., 2003. Polyeфин Katkıların Asfaltın Kıvamı ve Yumuşama Noktasına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Feng Z., Yu, J., Xue, L. ve Sun Y., 2013. Rheological and Aging Properties of Ultraviolet Absorber/Styrene-Butadiene-Styrene-Modified Bitumens, Journal of Applied Polymer Science, 128, 2571-2577.
- Geçkil, T., 2008. Siyah Karbonun Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gençtürk, G., 2011. Sönmüş Kireç ile Çimento ve Pr Plast Kullanımın Asfalt Kaplamaların Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Giriş, Ü., 2007. Esnek Üstyapılar İle Rijit Üstyapıların Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Görkem, Ç. ve Şengöz, B., 2009. Predicting Stripping And Moisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared with Polymer Modified Bitumen and Hydrated Lime, Construction and Building Materials, 23, 6 , 2227-2236.
- Güngör, A. G., 2009. Taş Mastik Asfalt Bilgilendirme Semineri, Ankara.
- Güngör, A. G., Orhan, F., Kaşak, S. ve Çubuk, M. K., 2009. Diatomit'in Taş Mastik Asfalt Karışımında Kullanılması, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım, Ankara. (http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Baskanliklar/BaskanliklarTeknikArastirma/Yeni%20Klas%C3%B6r/Yay%C4%B1mlar/KGM-TMA-diatomit_asfalt_semp_09.pdf).
- Güzel, G., 2001. Seminer Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Hınıslıoğlu S. ve Agar E., 2004. Use of the Waste High Density Polyethylene As Bitumen Modifier in Asphalt Concrete Mix., Materials Letters, 58, 267-271.
- Hicks, R.G. ve Todd, V.S., 2001. Life Cycle Costs for Lime in Hot Mix Asphalt, Report&Software for National Lime Association.
- Ilıcalı, M., 2001. Asfalt Kaplamalar, İstanbul Asfalt Sanayi ve Ticaret A.Ş. Yayınları, Yayın No.1, İstanbul.
- Ilıcalı, M., 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT Bilimsel Yayınları, No: 1, İstanbul, 280 s.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., Eren, K. ve Yıldız Teknik Üniversitesi Yayın Merkezi Başkanlığı, 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İsfalt Bilimsel Yayın No:1, İstanbul.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2001. Asfalt ve Uygulamaları, İSFALT Bilimsel Yayın No:1, İstanbul.
- İstanbul Büyükşehir Belediyesi, 2002. Asfalt El Kitabı, İSFALT Bilimsel Yayın No:2, İstanbul.
- İsfalt A.Ş., 2002. Bitüm El Kitabı, İsfalt A.Ş. Yayınları.

- Kandhal, P. S. ve Cooley, L. A., 2002. Evaluation of Permanent Deformation of Asphalt Mixtures Using Loaded Wheel Tester, NCAT Report 02-08, Auburn, USA.
- Kara, S. K. ve Vonk, W., 2009. Yeni Geliştirilmiş Bir SBS Tipi ile Polimer Modifiye Bitümde Performans Etkinliğinin Arttırılması, 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 93-100.
- Karakaş, A. S., Kuloğlu, N., Kök, B. V. ve Yılmaz, M., 2015. The Evaluation of the Field Performance of the Neat and SBS Modified Hot Mixture Asphalt, Construction and Building Materials, 98 , 678–684.
- Karakaş, A. S., 2014. Bitümlü Sıcak Karışımların Trafik Etkisi Altında Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Karakuş, A., 2011. Investigating on Possible Use of Diyarbakir Basalt Waste in Stone Mastic Asphalt, Construction and Building Materials, 25, 8, 3502–3507.
- Keyf, S., 2010. SBS ve Reaktif Terpolimer ile Modifiye Edilmiş Bitümde Penetrasyon ve Penetrasyon İndeksinin İncelenmesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 28, 26-34.
- KGM, 2000. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Ankara.
- KGM, 2006. Karayolları Teknik Şartnamesi, Yayın No: 276, Ankara.
- KGM, 2007. İç Genelge No: 2007/95.
- KGM, 2012. BSK Kaplamalı Yollar İçin Bitüm Sınıfı Seçim Haritalar, Ankara.
- KGM, 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi-2013, Ankara.
- Kızirgil, M. E., 2013. Stiren-Butadien-Stiren ve Uçucu Külün Birlikte Kullanılmasının Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kök, B. V., Yılmaz, M. ve Akpolat, M., 2014. The Effect of SBS and Wax Modification on Stability and Stiffness of Stone Mastic Asphalt, Turkish Journal of Science & Technology, 9, 1, 57-62.
- Kök, B. V., Yılmaz, M. ve Akbulut, M., 2013. Organik Ilık Karışım Asfalt Katkısının Modifiyeli Bağlayıcılar İle Birlikte Değerlendirilmesi, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 342-352.
- Kök, B. V., Yılmaz, M. ve Akpolat, M., 2013. Bitüm Modifikasyonunun Karıştırma Sıkıştırma Sıcaklığı Bakımından Değerlendirilmesi, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu ve Sergisi, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 353-363.
- Kök, B. V., Yılmaz, M. ve Kuloğlu, N., 2012. Asfaltitin Bitüm ve Bitümlü Karışımların Mekanik Özelliklerine Etkisi, İMO Teknik Dergi, 111, 23, 1, 5831-5826.

- Kök, B.V., 2007. Bitümlü Sıcak Karışımların Üretiminde Yeni Bir Karıştırma Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Kuloğlu, N., 2011. Asfaltit ve SBS Modifiyeli Bitümlü Sıcak Karışımların Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi, Politeknik Dergisi, 14, 3, 193-197.
- Kök, B.V., Yılmaz, M. ve Güler, M., 2011. Evaluation of High Temperature Performance of SBS+Gilsonite Modified Binder, Fuel, 90, 3093-3099.
- Kutluhan, S., 2008. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Tekerlek İzi Oluşumunun Modellenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Liang, M., Liang, P., Fan W., Qian C., Xin X., Shi J. ve Nan, G., 2015. Thermo-Rheological Behavior and Compatibility of Modified Asphalt with Various Styrene-Butadiene Structures in SBS Copolymers, Materials and Design, 88, 177-185.
- Li, X., Zhou, Z. ve You, Z., 2016. Compaction Temperatures of Sasobit Produced Warm Mix Asphalt Mixtures Modified with SBS, Construction and Building Materials, 123, 357-364.
- Malkoç, G., 2002. Yol Üstyapılarında Kullanılan Modifiye Asfaltlar ve Modifiye Bitüm Şartnamesi, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Manosalvas-Paredes, M., Gallego, J., Saiz, L. ve Bermejo, J.M., 2016. Rubber Modified Binders as an Alternative to Cellulose Fiber – SBS Polymers in Stone Matrix Asphalt, Construction and Building Materials, 121, 15, 727-732.
- Miró, R., Martínez, A. H., Moreno-Navarro, F. ve Rubio-Gámez, M. del C., 2015. Effect of Ageing and Temperature on the Fatigue Behaviour of Bitumens, Materials and Design, 86, 129-137.
- Mixtures Using Loaded Wheel Tester, 2002. NCAT Report 02-08, Auburn, USA.
- Moghaddam, T.B., Karim, M.R. ve Syammaun, T., 2012. Dynamic Properties of Stone Mastic Asphalt Mixtures Containing Waste Plastic Bottles, Construction and Building Materials, 34, 236-242.
- Muratoğlu, Ö., 2006. Batı Karadeniz Bölgesi Taş Ocağı Agregalarının Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Namlı, R. ve Kuloğlu N., 2006. Farklı Tasarım Yöntemlerine Göre Hazırlanmış Asfalt Beton Numunelerin Rijitliği, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 18,2, 235- 241.
- NAPA, 1999. Designing and Constructing SMA Mixtures-State-of-the-Practice; Quality Improvement Series: 122, Maryland.
- Orhan, F., 2011. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

- Orhan, F., 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları, Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Oruç, Ş., 1997. Torul Kalker Taşocağı Agregalarının Asfalt Betonunda İçerisindeki Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Oruç, Ş., 2002. Yoğun Granülometrilik Emülsifiye Asfalt Betonunda Çimentonun Karışım Performansı Üzerindeki Etkisi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Oruç, Ş., Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Kaya, Recep., 2003. Seslidere Taşocağı'ndan Üretilen Kayanın Üstyapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği", III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Aralık, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 159-165.
- Önal, M. A. ve Kahramangil M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 200.
- Önal, M. A. ve Karaca, S., 1990. Asfalt Beton ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Önal, M., Aray, S. ve Orhan, F., 1998. Polimer ile Modifiye Edilmiş Sıcak Karışımların Bitüm Yüzdesi Değişiminin Karışımların Laboratuvar Koşullarındaki Performansına Etkisinin İncelenmesi, 2.Ulusal Asfalt Sempozyumu, Aralık, Ankara, Bildiriler Kitabı: 81-84.
- Önal, M.A. ve Karaca, S., 1990. Asfalt Beton ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri için Karışım Dizayn Metotları, Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 107.
- Özen, H., 2005. Ulaştırma Laboratuvar Deneyleri, YTÜ Basın Yayın Merkezi, İstanbul.
- Ping, W. V. ve Xiao, Y., 2007. Evaluation of the Dynamic Complex Modulus Test and Indirect Diametral Test for Implementing the AASHTO 2002 Design Guide for Pavement Structures in Florida, Final Report for the Florida Department of Transportation, FSU Project No.: OMNI 008664, Tallahassee.
- Pr Industrie, 2016. Additives for Modification of Hot Mix Asphalts, Ürün Kataloğu.
- Roman, C., Cuadri, A.A., Liashenko I, García-Morales ve M., Partal, P., 2016. Linear and Non-Linear Viscoelastic Behavior of SBS and LDPE Modified Bituminous Mastics, Construction and Building Materials, 123, 464-472.
- Sağlık, A. ve Güngör, G. A., 2006. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Bşk. Üstyapı Şubesi Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- Sağlık, A. ve Güngör, A.G., 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

- Saltan, M., 1999. Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 202.
- Singh M., Kumar P. ve Maurya M. R., 2013. Strength Characteristics of SBS Modified Asphalt Mixes with Various Aggregates, Construction and Building Materials, 41, 815–823.
- Singh, D. ve Girimath, S., 2016, Investigation of Rheological Properties and Superpave PG of PMB Mixed with Reclaimed Asphalt Pavement Binders, Construction and Building Materials, 126, 242-247.
- Sönmez, İ., 2009. Taş Mastik Asfalt Bilgilendirme Semineri, Ankara.
- Sönmez, İ., Deniz, M.T., Tayfur, S., Özen, H., Yıldırım, S.A. ve Eren, B.K.,1999. Modifiye Katkı Maddelerinin Bitümlü Sıcak Karışıma Etkisi ve Performans Üstünlükleri, 335-348. (<http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3207.pdf>).
- Sun, D., Sun, G., Zhu, X., Pang, Q., Yu, F.ve Lin, T., 2017. Identification of Wetting and Molecular Diffusion Stages During Self-Healing Process of Asphalt Binder via Fluorescence Microscope, Construction and Building Materials, 132, 230–239.
- Şengöz, B., 2003. Asfalt Film Kalınlığının Bitümlü Karışımların Yaşlanmasına ve Suya Duyarlılığına Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şengöz, B. ve Topal, A., 2005. Use of Asphalt Roofing Shingle Waste in HMA, Construction and Building Materials, 19, 337-346.
- Şengöz, B., Topal, A. ve Işıkyakar, G., 2009. Morphology and Image Analysis of Polymer Modified Bitumens, Construction and Building Materials, 23, 1986–1992.
- Şengül, C.E., 2006. Asfalt Kaplamalarda Tekerlek İzinde Oturma ve Su Hasarı Problemlerinin Azaltılması İçin Sönmüş Kireç Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şengül, C.E., 2011. Sönmüş Kireç ile SBS ve Elyaf Türü Katkı Maddelerinin SMA Karışımların Performansı Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Şengül, E. C., Oruç, Ş., İskender, E. ve Aksoy, A., 2013. Evaluation of SBS Modified Stone Mastic Asphalt Pavement Performance, Construction and Building Materials, 41, 777–783.
- T.C. Resmi Gazete, 1997. Karayolları Trafik Yönetmeliği, 23053 Mükerrer, 18.07.1997, 128.
- Taşdemir, Y., 1998. Stone Mastic Asfalt Karışımların Etüdü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Tayfur, S., Özen, H. ve Aksoy, A., 2007. Investigation of Rutting Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers, Construction and Building Materials, 21, 328–337.
- TC Bayındırlık Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1988, Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, Yayın No: 239.
- TC Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Ankara.
- Terrel, R.L. ve Wang, C.K., 1971. Early Curing Behaviour of Cement Modified Asphalt Emulsion Mixtures, Proc., AAPT, 40, 108-125.
- The Asphalt Institute, 1996. Superpave Mix Design, Superpave Series No. 2 (SP-2), U.S.A., 100.
- Topal, A. ve Şengöz, B., 2000. Bitümlü Karışımlarda Kullanılan İnce Daneli Agregaların Köşeliliğinin Belirlenmesi ve Kullanılabilirliğinin Saptanması, 3. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 184-193.
- Torun S., 2015. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Katkı Malzemesi Olarak Pr Plast S Kullanımının Araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- TS 1081 EN 12591, 2003. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar–Kaplama Sınıfı Bitümler Özellikler, TSE, Ankara.
- TS 1097-2, 1998. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, TSE, Ankara.
- TS 3530: EN 933-1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Dane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu, TSE, Ankara.
- TS EN 13043, 2004. Yollar, Havaalanları ve Trafiğe Açık Diğer Alanlardaki Bitümlü Karışımlar ve Yüzey Uygulamalarında Kullanılan Agregalar, TSE, Ankara.
- TS EN 13398, 2003. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-İşlem Görmüş Bitümlerin Elâstikliğinin Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 13398, 2005. Bitümlü Maddelerin Düktülite Deneyi İçin Metod, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuğlu, H. ve Kazankıran, H., 2004. Ülkemizde Uygulanan Aşınma Tabakası Şartnameleri, Problemler ve İlk Yaygın SMA Uygulaması, 4. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 49-69.
- Tunç, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınevi, Yayın No:1 İstanbul.
- Tunç, A., 2004. Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı, Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.,Yayın No:1, Ankara.

- Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Türk Standardı TS EN 12593, 2003. Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Fraass Kırılma Noktasının Tayini, Ankara.
- Umar, F. ve Ağar, E., 1985. Yol Üstyapısı, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Umar, F. ve Ağar, E., 1991. Yol Üstyapısı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- URL-1, sargininsaat.com/tr/?page_id=1012. 24 Şubat 2017.
- URL-2, www.murattoztasarim.com.tr/component/k2/item/13.html. 24 Şubat2017.
- URL-3, www.kgm.gov.tr. 01 Mart 2017.
- URL-4, www.asnud.org.tr/asfalt.php?sayfa=25. 01 Mart 2017.
- URL-5, www.pavemanpro.com/article/identifying_asphalt_pavement_defects/. 29 Ocak 2016.
- URL-6, www.roadscience.net/services/distress-guide. 29 Ocak 2016.
- URL-7, www.movea.com.tr/asfalt-bozulmalari-neden-olusur/. 30 Ocak 2016.
- URL-8, www.dot.ca.gov/hq/maint/MTAGCommonFlexiblePavementDistresses.pdf. 30 Ocak 2016.
- URL-9, www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/pccp/04122/03. 30 Ocak 2016.
- URL-10, www.roadsbridges.com/back-it. 30 Ocak 2016.
- URL-11, Polimer nedir.com, Kütüphane, www.polimernedir.com/polimer-nedir-2/. 19 Mart 2012.
- URL-12, www.teknomet.com.tr/index.php/tr/tas-mastik-asfalt.html. 14 Nisan 2013.
- URL-13, www.stratejim.com/bpi.asp?caid=697&cid=4382. 6 Şubat 2017.
- Versaeten, J., 1992. The Use of Bituminous Mixes in Road Constriction and Measures Against Rutting, Fatigue and Thermal Cracking, Contribution to the JH'S Program, Tokyo.
- Whiteoak, D., 2004. Shell Bitüm El Kitabı, Lav, A. H. ve Lav, A., İsfalt Bilimsel Yayın No:3, İstanbul.
- Wu, S., Xue, Y., Ye, Q. ve Chen, Y., 2007. Utilization of Steel Slag as Aggregates for Stone Mastic Asphalt (SMA) Mixtures, Building and Environment, 42, 7, 2580–2585.

- Xiao, F., Amirkhaniyan, S., Wang, H. ve Hao, P., 2014. Rheological Property Investigations for Polymer and Polyphosphoric Acid Modified Asphalt Binders at High Temperatures, Construction and Building Materials, 64, 316-323.
- Yadykina, V., Tobolenko, S., Trautvain, A. ve Zhukova, A., 2015. The Influence of Stabilizing Additives on Physical and Mechanical Properties of Stone Mastic Asphalt Concrete, Procedia Engineering, 117, 376-381.
- Yağız, F., Keçeciler, A. F., Işıksalan, C. ve Akkol, G., 1967. Bitümlü Malzemeler, İş Matbaacılık ve Ticaret, Ankara.
- Yan, K., Ge, D., You, L. ve Wang, X., 2015, Laboratory investigation of the characteristics of SMA mixtures under freeze–thaw cycles, Cold Regions Science and Technology, 119, 68–74.
- Yardım, M. S. ve Arslan, F., 2013. Türkiye’de Taş Mastik Asfalt Kaplama Kullanımı ve Literatür Üzerine Bir Değerlendirme, 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Kasım, Ankara, Bildiriler Kitabı: 61-72.
- Yayla, N., 2009. Karayolu Mühendisliği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Yener, E., 2010. Bitümlü Sıcak Karışımlar İçin Yeni Bir İşlenebilirlik Yönteminin Araştırılması, Doktora Tezi, AÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Yıldırım, D., 2012. Karayolu Üstyapı Parametrelerinin Belirlenmesinde Kalite Fonksiyon Yayılımı Yaklaşımı, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- Yılmaz, B., 2016. Bor İçerikli Organik Katkıyla Modifiye Edilen Asfaltın Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Yılmaz, M. ve Ahmedzade, P., 2008. Saf ve SBS Modifiyeli Bitümlü Bağlayıcıların Kısa Dönem Yaşlanmadan Sonraki Özelliklerinin İki Farklı Yaşlandırma Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi, GÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23, 3, 569-575.
- Yılmaz, M. ve Kök, B.V., 2009. Effects of Ferrochromium Slag with Neat and Polymer Modified Binders in Hot Bituminous Mix, Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, 16, 5, 310-318.
- Yılmaz, M., 2005. Polyester Reçinenin Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Zaniewski, J. P. ve Pumphrey, M. E., 2004. Evaluation of Performance Graded Asphalt Binder Equipment and Testing Protocol, West Virginia University, Morgantown.

- Zhang, J., Wang, J., Wu, Y., Wang, Y. ve Wang, Y., 2009. Evaluation of the Improved Properties of SBR/Weathered Coal Modified Bitumen Containing Carbon Black, Construction and Building Materials, 23, 2678-2687.
- Zhao, X., Wang, S., Wang, Q. ve Yao, H. 2016. Rheological and Structural Evolution of SBS Modified Asphalts Under Natural Weathering, Fuel, 184, 242–247.
- Zoorob, S. E. and Suparma, L. B., 2000. Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement (plastiphalt), Cement&Concrete Composites, 22, 233-242.
- Zou X., Sha A., Jiang W. ve Huang X., 2015.Modification Mechanism of High Modulus Asphalt Binders and Mixtures Performance Evaluation, Construction and Building Materials, 90, 15, 53–58.



ÖZGEÇMİŞ

Elif GİRDAP 1990 yılında Adapazarı'nın Hendek ilçesinde doğdu. 2004 yılında Küçükyalı Merkez Müfredat Laboratuvar İlköğretim Okulundan, 2008 yılında Maltepe Kadir Has Anadolu Lisesinden mezun oldu. Aynı sene Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü kazandı. 2012 yılında 'İnşaat Mühendisi'unvanını alarak mezun oldu. 2012-2013 yılları arasında Euroestudios S.L.-TÜMAŞ Türk Mühendislik Müşavirlik Ve Müteahhitlik A.Ş.'de İnşaat Kontrol Mühendisi olarak çalıştı. 2013 yılında Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü Üstyapı Başmühendisliği Trabzon-Erzurum (Trabzon-Gümüşhane arası) Yol Kontrol Şefliğine Üstyapı Kontrol Mühendisi olarak atandı.

C sınıfı İş Güvenliği uzmanı ve ileri derecede İngilizce, orta derecede Almanca ve başlangıç seviyesinde Rusça bilen Elif GİRDAP, halen Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü'nde görevine devam etmektedir.