



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PET LİFİ KATKILI BİTÜM KAPLAMALARIN BAZI DAYANIM VE
DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Esra YAŞMUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
Ağustos-2009**



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PET LİFİ KATKILI BİTÜM KAPLAMALARIN BAZI DAYANIM VE
DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Esra YAŞMUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KAHRAMANMARAŞ
AĞustos-2009**

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PET LİFİ KATKILI BİTÜM KAPLAMALARIN BAZI DAYANIM VE DAYANIKLILIK
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ESRA YAŞMUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kod No :

Bu Tez 11/08/2009 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oy Birliği ile Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ
DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN
ÜYE

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Süleyman TOLUN
Enstitü Müdürü

Proje No:

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

İÇİNDEKİLER

	<u>SAYFA</u>
İÇİNDEKİLER.....	I
ÖZET.....	III
ABSTRACT.....	IV
ÖNSÖZ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
EK ÇİZELGELER DİZİNİ	IX
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	X
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Karayolu Yapısı ve Mevcut Üstyapı Tipleri.....	2
1.1.1. Karayolu Alt Yapısı	2
1.1.2. Karayolu Üst Yapısı	3
1.1.2.1. Rijit Kaplamalar	3
1.1.2.2. Esnek Kaplamalar	3
A. Bitümlü Karışımlar	7
B. Bitümlü Karışımlarla Yapılan Kaplamaların Avantajları	9
1.2. Asfalt Betonu Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar	12
1.2.1. Kalıcı Deformasyonlar	12
1.2.2. Çatlamlar	13
1.2.3. Ayrışmalar	15
1.3. Asfalt Kaplamalardan Beklentiler	16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	18
3.MATERYAL VE METOD	21
3.1.Materyal	21
3.1.1.Mineral Agrega	21
3.1.2. Asfalt Çimentosu	27
3.1.3. Polietilen Tereftalat (PET)	27
3.1.4. Kullanılmış Otomobil Lastiği	32
3.2. Metot	35
3.2.1. Mineral Agrega	35
3.2.1.1. Özgül Ağırlık	35

3.2.1.1.1. İri Agregat İçin Özgöl Ağırlık Deneyi	36
3.2.1.1.2. İnce Agregat İçin Özgöl Ağırlık Deneyi	37
3.2.1.2. Los Angeles Aşınma Deneyi	38
3.2.1.3. Tanelerin Biçim Bakımından Kontrolü	39
3.2.1.4. Agregat Tane Dağılımı	40
3.2.2. Asfalt Çimentosu	42
3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi	42
3.2.2.2. Düktilite Deneyi	43
3.2.2.3. Özgöl Ağırlık Deneyi	43
3.2.3. Marshall Deney Numunelerinin Hazırlanması	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	53
4.1.1. İri Agregat İçin Özgöl Ağırlık Deneyi Bulguları	53
4.1.2. İnce Agregat İçin Özgöl Ağırlık Deneyi Bulguları	54
4.1.3. Los Angeles Deneyi Bulguları	55
4.1.4. Tanelerin Biçim Bakımından Kontrolü Bulguları	56
4.1.5. Agregat Gradasyonu Bulguları	57
4.2. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi	60
4.2.1. Penetrasyon Deneyi Bulguları	60
4.2.2. Düktilite Deneyi Bulguları	60
4.2.3. Özgöl Ağırlık Deneyi Bulguları	61
4.3. Optimum Bitüm Muhtevası	62
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	86
EKLER	90
ÖZGEÇMİŞ.....	98

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÖZET

**PET LİFİ KATKILI BİTÜM KAPLAMALARIN BAZI DAYANIM VE
DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

ESRA YAŞMUN

DANIŞMAN : Yrd.Doç.Dr.Hüseyin TEMİZ

Yıl : 2009 Sayfa : 98

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ
: Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ
: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN

Bazı plastik ürünlerinden fiberler, inşaat mühendisliğinde uzun yıllardan bu yana kullanılmaktadır. Bu fiberlerden özellikle beton teknolojisinde üç boyutlu donatılendirma tekniği olarak yararlanılmaktadır. Bu çalışmada atık polietilen tereftalat (PET) ve otomobil lastiği katkıli bitümlü sıcak karışımlarla birlikte kullanımı ele alınmıştır. Plastik fiberler karışıma ilave malzeme olarak, otomobil lastiği ise karışımda iri agrega yerine kullanılmıştır. Bu çalışmaya esas oluşturacak temel karışım olarak mıcır ve doğal agrega ile 75-100 penetrasyonlu asfalt çimentosundan oluşan yoğun bitümlü karışım seçilmiştir. Optimum bitüm içeriğinde katkısız numune, PET ve otomobil lastiği karıştırılarak elde edilen Marshall briketleri üzerinde standart stabilite ve akma deneyleri yapılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan bu deneyler sonucu görülmüştür ki, birçok denemeden sonra belirlenmiş olan yüzde değerinde katılan PET test edilen numunelerin Marshall stabilite ve akma değerlerini önemli oranda artırmıştır. Otomobil lastiği karıştırılarak hazırlanan numunelerde akma değeri artarken, Marshall stabilite değerinde dikkate değer düşüşler olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Bitüm, Polietilen Tereftalat (PET), Kullanılmış Otomobil Lastikleri, Stabilite, Akma.

UNIVERSITY OF KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES IN SCIENCE AND ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

MSc THESIS

ABSTRACT

**INVESTIGATION OF SOME OF THE STRENGTH AND DURABILITY
CHARACTERISTICS OF BITUMEN COATING CONTAINING PET FIBERS**

ESRA YAŞMUN

Supervisor : Assist. Prof. Hüseyin TEMİZ

Year : 2009, Pages : 98

Jury : Assist. Prof. Hüseyin TEMİZ
: Assist. Prof. Hanifi BİNİCİ
: Assist. Prof. Hüseyin ZENGİN

Some of the fibers and plastic product, have been used since many years in civil engineering. Of this particular fiber concrete technology as the three-dimensional technique is used for equipment. In this study, waste polyethylene terephthalate (PET) and with the use of car tires adulterated bituminous hot mixture has been taken up. The plastic fibers were added to the mixture as additional materials and the car tires were used in the mixture instead of coarse aggregate. This basic mixture to work as a basis build up, hard core consisting of cement and natural aggregates with 75-100 penetration the dense bituminous asphalt mixture was chosen. Optimum bitumen content pure sample, obtained by mixing PET and tire on the Marshall briquette stability and efflux experiments were made standard. Result of these experiments on samples were observed after many trials of the percentage value designated participating PET, and the Marshall stability and flow of tested samples showed significantly increased values. The mixture sample prepared with tire revealed increased value in flowing while the Marshall stability value was significantly decreased.

Key Words : Bitumen, Polyethylene Terephthalate (PET), Used Car Tires, Stability, Flow.

ÖNSÖZ

Ülkemizde en çok tercih edilen esnek üst yapıların, kullanılan malzemelerin özelliğinden dolayı yapımı ve onarımı oldukça pahalıdır. Bu doğrultuda, günümüzde asfalt teknolojisinde önemli yenilikler olmaktadır. Artık esnek üstyapı elemanlarından daha çok verim almak amacıyla yeni teknikler geliştirilmekte ve de malzeme bilimi açısından yenilikler ortaya çıkmaktadır.

Özellikle endüstrinin gelişmesi ile ortaya çıkan ve çevresel problemlere neden olan atıkların değerlendirilmesi, 20. yüzyılda olduğu gibi 21. yüzyılın önemli sorunlarından biri olacaktır. Plastiklerin ülkemizde de yaygın olarak kullanılması çevresel olumsuzlukları beraberinde getirmektedir.

Bu çalışmada, plastik atıklar esnek üst yapılarda katkı malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır.

Çalışmanın konusunu öneren, büyük bir ilgi ile yapıcı eleştirilerini, önerilerini ve yardımlarını esirgemeyip çalışma boyunca yanımda olan danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin TEMİZ' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmalarına yapmış olduğu katkı ve yardımlar için değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hanifi BİNİCİ'ye ayrıca, tezimin değerlendirilmesi esnasında yapmış oldukları katkılardan dolayı jüri üyelerimden Sayın Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ZENGİN' e teşekkür ederim.

Malzeme temini imkanı sağlayan Kahramanmaraş Belediyesi' ne ve laboratuarda çalışma imkanı veren ve cihazların kullanmama izin veren Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Müdürlüğü' ne şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu günlere gelmemi sağlayan, her zaman olduğu gibi çalışmam süresince de maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Duran YAŞMUN' a ve tanıdığım günden itibaren olduğu gibi çalışmam boyunca da yürüdüğüm yollardaki engelleri kaldırıp bana kolayca ilerleme imkanı sağlayan, bana destek, ilgi, hoşgörü ve sevgisini hiç esirgemeyen çok sevgili eşim Mehmet YILBOĞA' ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2009
KAHRAMANMARAŞ

Esra YAŞMUN

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Alt temel Malzemesi Tane Dağılım Limitleri	5
Çizelge 1.2. Granüler Temel Tabakası Tane Dağılım Limitleri	6
Çizelge 3.1. Standartlara Göre Agregaların Elek Çapları	21
Çizelge 3.2. Çalışmada Kullanılan Elek Boyutları	24
Çizelge 3.3. Polietilen Tereftalat (PET)' in Özellikleri	29
Çizelge 3.4. Alternatif Dar Aralık Sınıfları	39
Çizelge 3.5. Çalışmada Kullanılan Elek Boyutları	40
Çizelge 3.6. Agreg a Granülometrisine Ait Şartname Sınırları	41
Çizelge 3.7. Tane Dağılımı Şartnamesi ve Agregaların Elek Analizi	41
Çizelge 3.8. Marshall Briket Tipleri	46
Çizelge 3.9. Katkılı Marshall Briketleri Tipleri	48
Çizelge 3.10. Hazırlanan Katkılı Marshall Numuneleri Sayısı.....	51
Çizelge 4.1. İri Agreg a İçin Özgöl Ağırlık Deneyi Sonuçları	54
Çizelge 4.2. İnce Agreg a İçin Özgöl Ağırlık Deneyi Sonuçları	55
Çizelge 4.3. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri	56
Çizelge 4.4. Agreg a Gradasyonuna Dönüştürülen Elek Analizi Verileri	57
Çizelge 4.5. Elek Analizi	58
Çizelge 4.6. Gradasyon Şartnamesi ve Agregaların Elek Analizi	59
Çizelge 4.7. 25 °C' de 100 gr Asfalt Çimentosunun Penetrasyon Deneyi Sonuçları	60
Çizelge 4.8. 4 °C' de 100 gr Asfalt Çimentosunun Penetrasyon Deneyi Sonuçları	60
Çizelge 4.9. Düktilite Deneyi Sonuçları	60
Çizelge 4.10. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özellikleri	61
Çizelge 4.11. Beş Farklı Bitüm Muhtevası İçin Marshall Değerleri	63
Çizelge 4.12. Optimum Bitüm Muhtevası ve Çeşitli Katkılarla Modifiye Edilmiş Numunelerin Marshall Değerleri	71
Çizelge 4.13. Katkı – Birim Hacim Ağırlık Değişim Yüzdesi	74
Çizelge 4.14. Katkı – Hava Boşluğu Değişim Yüzdesi	76
Çizelge 4.15. Katkı – Agregalar Arası Boşluk Değişim Yüzdesi	78
Çizelge 4.16. Katkı – Bitümle Dolu Boşluk Değişim Yüzdesi	80
Çizelge 4.17. Katkı – Akma Değişim Yüzdesi	82
Çizelge 4.18. Katkı – Stabilit e Değişim Yüzdesi	84

SEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Yol Üst Yapısını Oluşturan Tabakalar ve Tabakaların Çeşitleri	3
Şekil 1.2. Esnek Üstyapı Enkesiti	4
Şekil 1.3. Tipik Esnek Üstyapı Tabakaları	5
Şekil 1.4. Tipik Bir Esnek Üstyapı Karot Numuneleri	7
Şekil 1.5. Asfalt Kaplamalı Yol.....	9
Şekil 1.6. Zayıf Taşıma Kapasiteli Taban Zeminine Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu.....	12
Şekil 1.7. Zayıf Bitümlü Tabakaya Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu	13
Şekil 1.8. Blok Çatlaklar	14
Şekil 1.9. Timsah Sırtı Çatlaklar	14
Şekil 1.10. Termal (Enine) Çatlaklar.....	14
Şekil 1.11. Kenar Çatlakları.....	14
Şekil 1.12. Folluk Tipi Oyuk	15
Şekil 1.13. Sökülme	15
Şekil 1.14. Soyulma	16
Şekil 1.15. Kusma.....	16
Şekil 1.16. Tekerlek Yükünün Kaplama Yapısı İçindeki Dağılımı	17
Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan İri Agrega	22
Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan İnce Agrega	22
Şekil 3.3. Los Angeles Deney Cihazı	23
Şekil 3.4. Elekler	25
Şekil 3.5. Kahramanmaraş Belediyesi Kaya Kırma ve Eleme Tesisleri	26
Şekil 3.6. Tesiste Yapılan Kaya Patlatma İşlemi Görüntüleri	26
Şekil 3.7. Kahramanmaraş Belediyesi Kaya Kırma ve Eleme Tesisi Görüntüleri	27
Şekil 3.8. Plastik Tüketiminde Yıllara Göre Gelişme	28
Şekil 3.9. Polietilen Tereftalat (PET)' in Teşhis Etme Kodu ve Kimyasal Formülü ...	29
Şekil 3.10. Kalınlığı $\approx 0,7$ mm, Uzunluğu 30 ± 1 ila 50 ± 1 mm Olarak Kesilmiş PET Lif..	31
Şekil 3.11. Pet Lifler	31
Şekil 3.12. Lastiğin Bileşimini Oluşturan Malzeme Yüzde Dilimleri	32
Şekil 3.13. Eski Lastiklerin Değerlendirilme Yöntemleri	33
Şekil 3.14. Yaklaşık $1\text{ cm} - 1\text{ cm}$ Ebatlarında Parçalanmış Otomobil Lastiği	34
Şekil 3.15. Çalışmada Kullanılan Otomobil Lastiği	34
Şekil 3.16. Bir Agrega Tanesinin Oluşumu İle Çeşitli Özgül Ağırlık Değerleri Arasındaki İlişkiler	36
Şekil 3.17. Deneyde Kullanılan Elekler	38
Şekil 3.18. Penetrasyon Deney Aleti (Penetrometre)	42
Şekil 3.19. Düktilite Deney Aleti	43
Şekil 3.20. Marshall Stabilite Deney Aleti	44
Şekil 3.21. Çalışmada Kullanılan Su Banyosu Cihazı	45
Şekil 3.22. Optimum Bitüm Muhtevasını Belirlemek İçin Hazırlanan Numuneler	46
Şekil 3.23. Marshall Numuneleri Sıkıştırma Aleti	47

Şekil 3.24. Agrega Gradasyonunda İri Agrega Yerine Otomobil Lastiği Katılan

Asfalt Karışımı	48
Şekil 3.25. Agregalı Karışımı	49
Şekil 3.26. Asfalt Karışımına PET Lif Katılması	49
Şekil 3.27. Asfalt Çimentosu İlave Edilmesi	50
Şekil 3.28. Malzemelerin Karıştırılması	50
Şekil 3.29. Karıştırılmış Asfalt Karışımı	51
Şekil 3.30. Katkı Kullanılarak Yapılan Marshall Numuneleri	51
Şekil 3.31. Parafinle Kaplanmış Marshall Numuneleri	52
Şekil 4.1. Granülometri Eğrisi	59
Şekil 4.2. Numune – Birim Hacim Ağırlık İlişkisi	64
Şekil 4.3. Numune – Hava Boşluğu Yüzdesi İlişkisi	65
Şekil 4.4. Numune – Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi İlişkisi	66
Şekil 4.5. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi İlişkisi	67
Şekil 4.6. Numune - Akma İlişkisi	68
Şekil 4.7. Numune – Stabilite İlişkisi	69
Şekil 4.8. Numune – Birim Hacim Ağırlık İlişkisi	73
Şekil 4.9. Numune – Birim Hacim Ağırlık Değişim Yüzdesi Grafiği	74
Şekil 4.10. Numune – Hava Boşluğu Yüzdesi İlişkisi	75
Şekil 4.11. Numune – Hava Boşluğu Değişim Yüzdesi Grafiği	76
Şekil 4.12. Numune – Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi İlişkisi	77
Şekil 4.13. Numune – Agregalar Arası Boşluk Değişim Yüzdesi Grafiği	78
Şekil 4.14. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi İlişkisi	79
Şekil 4.15. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Değişim Yüzdesi	80
Şekil 4.16. Numune – Akma İlişkisi	81
Şekil 4.17. Numune – Akma Değişim Yüzdesi Grafiği	82
Şekil 4.18. Numune – Stabilite İlişkisi	83
Şekil 4.19. Numune – Stabilite Değişim Yüzdesi Grafiği	84

EKLER DİZİNİ**SAYFA**

Ek-1 Zayıf Taşıma Kapasiteli Taban Zeminine Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu.....	91
Ek -2 Timsah Sırtı Çatlaklar	92
Ek -3 Timsah Sırtı Çatlaklar	93
Ek-4 Termal Çatlaklar	94
Ek-5 Kenar Çatlakları	95
Ek-6 Folluk Tipi Çatlaklar	96
Ek-7 Sökülme	97

SİMGELER VE KISALTMALAR

PET : Polietilen Tereftalat

AASHTO : Amerikan Devlet Otoyolları ve Resmi Taşımacılık Birliği

AC : Asfalt Çimetrosu

μ : mikron

TS : Türk Standartları

Al : Alüminyum

Cu : Bakır

Zn : Çinko

Pb : Kurşun

H : Hidrojen

C : Karbon

O : Oksijen

N : Newton

ASTM : Amerikan Test ve Materyalleri Birliği

P_0 : Üniform Dikey Basıç

P_1 : Tabana Etkiyen Basınc

W : Tekerlek Yüğü

D_p : Marshall Numunelerinin Birim Hacim Ağırlıkları

V_h : Marshall Numunelerinin Hava Boşluğu Yüzdesi

W_a : Bitüm Yüzdesi

W_b : Karışıma Göre Bitüm Yüzdesi

VMA : Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi

V_f : Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi

D_t : Marshall Numunelerinin Maksimum Teorik Özgül Ağırlığı

BSK : Bitümlü Sıcak Karışımlar

1.GİRİŞ

Türkiye’ de şehirlerarası ve şehiriçi yollarda, kaplama olarak kullanılan yoğun tane dağılımlı asfalt betonu karışımlar, malzeme kalitesinin nitelsiz, malzeme oranlarının hatalı alınması ve yapım aşamalarındaki işlemlerin kuralsızlıkları sebebiyle beklenen performans ömrünü gösterememektedir. Bunların yanı sıra otomotiv sanayinde meydana gelen gelişmeler sonucu geleneksel kaplamalar yeteri kadar ihtiyaca cevap veremediğinden Avrupa ve A.B.D’ de yeni arayışlar içerisine girilmiştir. Bu gelişmeler arasında mevcut kaplama karışımların özelliklerinin çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak iyileştirilmesi, performans özelliklerinin dikkate alındığı yeni tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi ve geleneksel kaplama karışımlarının yanı sıra agrega tane dağılımının değiştirildiği yeni kaplama tiplerinin uygulanması söylenilebilir.

Bu doğrultuda, günümüzde asfalt teknolojisinde önemli yenilikler olmaktadır. Artık esnek üstyapı elemanlarından daha çok verim almak amacıyla yeni teknikler geliştirilmekte ve de malzeme bilimi açısından yenilikler ortaya çıkmaktadır. Özellikle A.B.D’ de kullanılmış otomobil lastiklerinin oluşturacağı kirliliği önlemek amacıyla lastik modifiye konusunda gerek bilimsel alanda gerekse uygulama alanında geniş çapta araştırma yapılmaktadır. Granüle lastikler 1950 yılından bu yana asfalt kaplama karışımların içerisine çeşitli yöntemlerle ilave edilmektedir. Lastik kırıntılarıyla modifiye edilen bu asfalt karışımların performans özelliklerinin iyileştirildiği görülmüştür.

Seksenli yıllarla beraber ise, bitümlü bağlayıcıların ve asfalt-agrega karışımlarının çeşitli polimerlerle modifiye edilmesi asfalt mühendisliğine yeni ufuklar açmıştır. Özellikle polimer bazlı katkıların hem bitümlü bağlayıcıların modifiye edilmesinde hem de asfalt agrega karışımların modifiyesinde sıklıkla kullanılmaya başlanmasıyla beraber yeni bir pazar oluşmuştur. Çok çeşitli katkıların (özellikle polimer bazlı) kullanım alanı bulduğu bu yeni pazar ise, son derece hızlı bir şekilde gelişmekte ve yapılan yeni araştırmalar her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadır (Yıldırım, 2007).

Asfalt mühendisliğinde polimer bazlı katkı uzun yıllardan beri kullanılagelmektedir (Yıldırım, 2007). Ancak gerek her bir katkının uzun yıllar süren laboratuvar ve arazi çalışmaları sonucu geliştirilmiş olması ve gerekse pazarda birçok şirketin pay kapmaya çalışması yüzünden polimer bazlı katkı malzemelerinin hemen hemen hepsi patentlidir ve bu yüzden bu malzemeleri imal edilen asfalt karışımlarda (veya bitüm modifikasyonunda) kullanabilmek için önemli bir mali kaynak gerekmektedir. Türkiye gibi gelişmekte olan ülkeler için bu özel teknoloji gerektiren polimer bazlı katkı malzemelerinin kullanımı ekstra bir maliyet doğurmaktadır.

Polimer modifiye edicilerin başlıca kullanım alanları otoyollar, işlek kavşaklar, tırmanma şeritleri, otoparklar, havaalanları ve yarış pistleri olarak sayılabilir (King ve diğ., 1999).

Tüm bu uygulamalarda görüldüğü üzere yoğun trafik yükü ve yüksek dingil ağırlıklarının sıklıkla görüldüğü günümüz yollarında artık modifiye asfaltların kullanılmasının kaçınılmazlığı yadsınamaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır.

Polimer modifikasyonu ile imal edilen esnek kaplamaların oluklanmaya, düşük ısı çatlaklarına, soyulmaya ve sıcaklık etkilerine karşı son derece dayanıklı olduğu ve servis ömürlerinin normal esnek kaplamalara kıyasla daha uzun olduğu yapılan araştırmalarla kanıtlanmıştır (Terrel ve Walter, 1986).

Polimer katkıları kullanılarak modifiye edilen bitümlerden beklenen ise; daha fazla elastik geri kazanma, daha yüksek yumuşama noktasına, daha fazla viskoziteye, daha fazla düktiliteye erişme ve daha iyi bağ yapma yeteneğine sahip olmalarıdır (King ve diğ. 1999).

Bütün bu istenilen özelliklerinin yanı sıra polimer modifiye ediciler esnek kaplama imalatının maliyetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Sayılan mahsurları dikkate alınarak bu çalışmada kullanılan atık PET şişeler belli ölçülerde parçalanarak kullanılması sayesinde çevre kirliliği ve geri dönüşüm için harcanan enerji açısından önemli kazançlar sağlanabilir. Bu da özellikle Türkiye gibi modifiye asfalt uygulamalarına yeni yeni başlamış olan ve geri dönüşüm için gerekli olan büyük enerji kaynakları kısıtlı olan ülkeler açısından son derece önemli bir avantajı da beraberinde getirmektedir. Bu çalışma tüm bu bilgi ve olgular ışığında gerçekleştirilmiştir.

1.1. Karayolu Yapısı ve Mevcut Üstyapı Tipleri

Karayolu yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere getirilebilmesi ve üzerine motorlu taşıtların istenilen hız, güvenlik ve konfor koşullarında hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla inşa edilen yapıların tümü olarak tanımlanabilir. Karayolu yapısı, görevi, yapım sırası ve özellikleri açısından alt ve üst yapı olarak iki ayrı bölümde incelenebilir (Umar ve Açar, 1985).

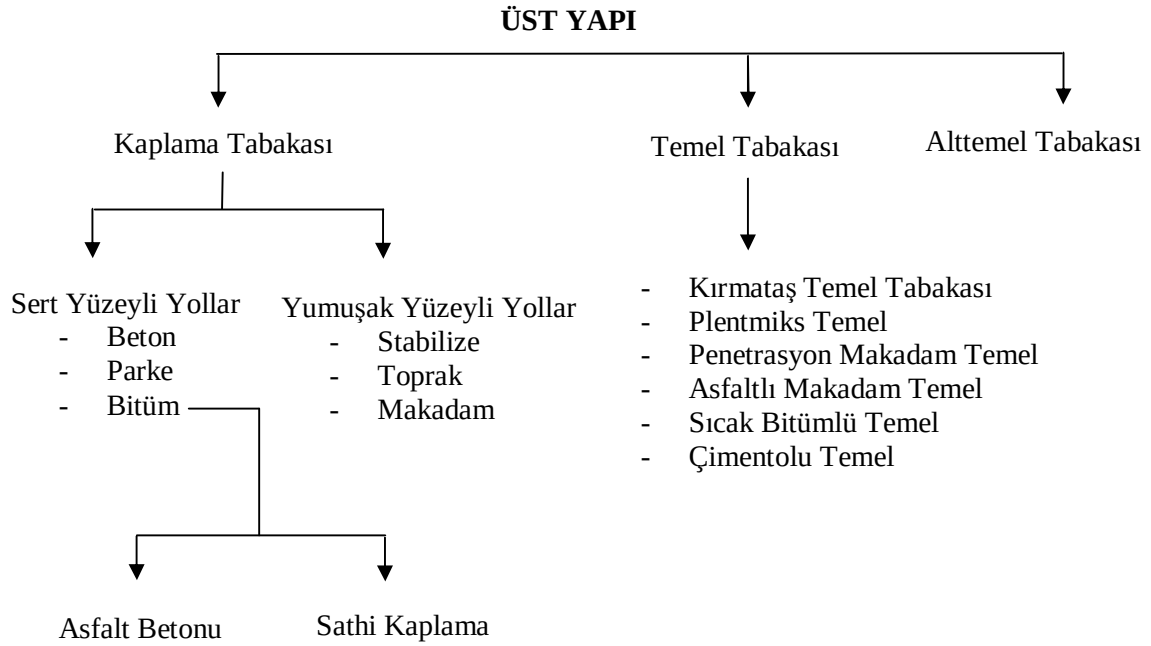
1.1.1. Karayolu Alt Yapısı

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye yüzeyi ile doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprak ile oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerinde ise doğal zemindir. Ancak, kazı işleminden sonra istenilen düzlüğü ve eşit yük dağılımını sağlamak amacıyla döşenen ve sıkıştırılan toprak da, yarma kesimlerindeki altyapıya dahildir. Ayrıca, köprü, viyadük, tünel ve menfez istinat duvarı gibi sanat yapıları da altyapı olarak kabul edilebilir (Erel, 1978).

Altyapının görevleri; istenilen kotta düzgün bir yüzey sağlamak, üstyapı tarafından iletilen yükleri daha geniş bir alana yaymak ve az da olsa, yolu dış etkilerden korumaktır. Bu görevleri yerine getirebilmesi için, trafik yükleri, don ve su etkilerine karşı dayanıklı olması gerekir. Altyapının oluşturulmasında; bitkisel toprak, çürük zemin ve sıkışmaya elverişli olmayan zeminlerin kullanılmamasına özen gösterilmelidir. Bu nedenle altyapıyı oluşturan zemin özelliklerinin çok iyi etüd edilmeleri gerekmektedir (İlcalı,1988).

1.1.2. Karayolu Üst Yapısı

Üstyapılar, kaplama tabakasında kullanılan malzemelerin türlerine, özelliklerine ve yapım yöntemlerine göre rijit ve esnek olarak iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Taban zeminine, trafiğe, çevre koşullarına ve ekonomik hususlara bağlı olarak en uygun üstyapı tipi seçilir (Umar ve Açar, 1985).



Şekil 1.1. Yol Üst Yapısını Oluşturan Tabakalar ve Tabakaların Çeşitleri

1.1.2.1. Rijit Kaplamalar

Çimento ile üretilen beton kaplamalarla oluşturulan üstyapıya rijit kaplamalar denilir. Yol kaplaması olarak betonun görevi; trafik yüklerini tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen temel ve alttemel tabakalarıyla varolan taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle projelendirme sırasında, taban zeminini, temel ve alttemel malzemeleri, betonu oluşturan kum, çakıl, kırmataş, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir. Beton yollar, enine ve boyuna derzlerle birbirinden ayrılmış 20-25 m² alana sahip plaklar halindedir. Beton plağın rijitliğin yüksek olması nedeniyle taban zemininde oluşan gerilmeler geniş alana yayılır.

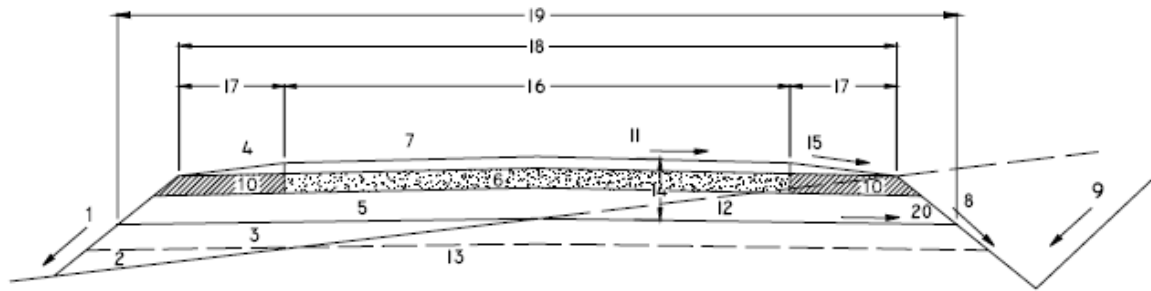
1.1.2.2. Esnek Kaplamalar

Asfalt çimentosu ve agrega ile oluşturulan üstyapılara esnek kaplamalar denir. Esnek kaplamalar, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan üstyapı şekli olup; stabilitesi,

adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Trafik yüklerini altyapının taşıyabileceği değere indirmek, altyapıyı korumak ve düzgün bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, esnek kaplamaların amacıdır. Kaplama, taşıtlara uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlamak, trafiğin aşındırma etkilerine karşı koymak ve yapıya sızan yüzeysel su miktarını ve temel tabakasına iletilen kayma gerilmelerini azaltmak amacıyla temel tabakası üzerine inşa edilen bir tabakadır. Kaplama altındaki temel tabakası, bağlayıcısız ya da bir bağlayıcı madde ile işlem görmüş olan belirli tane dağılımındaki malzemeden oluşur.

Ana görevi, üstyapının yük taşıma kapasitesini artırmaktır. Ayrıca, trafik hareketlerinden doğan yüksek kayma gerilmelerine karşı koyabilecek, drenaja yardımcı olabilecek ve don olaylarına karşı da koruma sağlayabilecek özelliklere sahip olmalıdır.

Ülkemizde de yaygın olarak Karayolları Genel Müdürlüğü, İl Özel İdareleri ve Belediyeler tarafından esnek üst yapılar kullanılmaktadır. Esnek üstyapılar, proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımı gibi kriterler göz önünde bulundurularak tabakalı olarak projelendirilir. Bu tabakalar; üstyapının üst kısmından taban zeminine inildikçe, tabaklarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri düşecek şekilde kaplama tabakası, temel tabakası, alttemel tabakası ve taban zemini olarak adlandırılır (Türel, 2002). Tipik bir esnek üstyapı kesiti Şekil 1.2’ de gösterilmiştir.



- 1- Dolgu Şevi
- 2- Doğal Zemin
- 3- Seçme Malzeme Tabakası (Gerekli Olduğu Durumda)
- 4- Banket Kaplama
- 5- Alt Temel
- 6- Temel Tabakası
- 7- Kaplama Tabakası
- 8- Hendek Şevi
- 9- Yarma Şevi
- 10- Banket Temeli

- 11- Yolun Enine Eğimi
- 12- Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi)
- 13- Yol Gövdesi (Taban Zemini)
- 14- Üst Yapı Proje Kalınlığı
- 15- Banket Eğimi
- 16- Trafik Şeritleri Genişliği
- 17- Banket Genişliği
- 18- Yol Genişliği (Platform Genişliği)
- 19- Üst Yapı Taban Genişliği
- 20- Taban Yüzeyinin Enine Eğimi

Şekil 1.2. Esnek Üstyapı Enkesiti (Ağar ve diğ., 1998).

Aşınma ve binder tabakaları bitümlü karışımlardan oluşmaktadır. Ancak, yoldaki ağır taşıt trafiğine ve trafik hacmine bağlı olarak temel tabakası da bitümlü karışımlardan oluşabilir. Ülkemizde granüler malzeme kaynağı oldukça fazla olduğu için, temel ve alttemel tabakalarında granüler malzeme yaygın olarak kullanılmaktadır. Tipik bir esnek üst yapı en kesiti Şekil 1.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Tipik Esnek Üstyapı Tabakaları (Karaşahin ve diğ., 1997)

Temel tabakası yapımında kullanılacak malzeme yol fenni şartnamesinde belirtilen şartları sağlayacak ve Çizelge 1.1’ de verilen tane dağılımı limitleri içerisinde sürekli tane dağılımı verecek şekilde iyi derecelendirilmiş olmalıdır.

Çizelge 1.1. Alt temel Malzemesi Tane Dağılım Limitleri (Yol Fenni Şartnamesi, 1994)

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN
mm	inç	
75	3	100
37.5	1 1/2	85 — 100
9.5	3/8	45 — 100
4.75	No.4	25 — 85
0.425	No.40	7 — 40
0.075	No.200	0 — 12

Alttemel malzemesi ise, AASHTO T-27 ve AASHTO T-11 metotları ile bulunan tane dağılımı ve Çizelge 1.2’ de verilen tane dağılım limitleri dahilinde ve iyi derecelendirilmiş olması gerekmektedir.

Çizelge 1.2. Granüler Temel Tabakası Tane Dağılım Limitleri (Yol Fenni Şartnamesi, 1994)

ELEK AÇIKLIĞI		% GEÇEN			
mm	inç	A	B	C	D
50	2	100	100		
37.5	1 1/2	80 - 100	85 - 100		
25	1	60 - 90	70 - 95	100	100
19	3/4	-	-	75 - 100	80 - 100
9.5	3/8	30 - 70	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75	No.4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.00	No.10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
0.425	No.40	8 - 20	10 - 25	12 - 30	20 - 45
0.075	No.200	2 - 8	0 - 12	0 - 12	0 - 12

Dingil yüküne yakın olan üst tabakalar daha büyük gerilmelere maruz kaldığı için daha kaliteli malzemelerin kullanılması gerekir. Bu nedenle, üst tabakalar elastiklik modülü yüksek bitümlü karışımlardan oluşturulmalıdır.

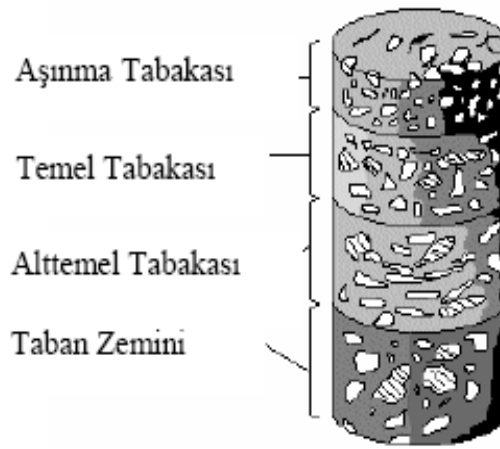
Taban zemini üzerine oturan alttemel, temel ve bitümlü kaplama tabakalarından oluşan esnek yol üstyapısının başarısı, tabakaların ve taban zemininin şartnamelere uygun şekilde projelendirilip, inşa edilmesine bağlıdır (Umar ve Ağar, 1991).

Kaplama tabakası, üstyapını trafik yüklerine doğrudan maruz kalan en üst tabakasıdır. Trafik yükleri nedeniyle oluşan basınç ve çekme gerilmelerinin en yüksek seviyede olması nedeniyle kaplama tabakası, üstyapının diğer tabakalarına göre daha yüksek elastisite modülüne sahip olmalıdır. Kaplama tabakasının kalınlığı arttıkça yolun trafik yüklerine karşı direnci de artar. Temel tabakasına iletilen basınç ve kayma gerilmeleri azalır. Yollarda temel tabakası üzerine konan bitümlü kaplama tabakaları, genellikle yapım ve çalışma ilkeleri birbirinden oldukça farklı iki tipe ayrılırlar; yüzeysel (sathi) kaplamalar ve bitümlü karışımlarla oluşturulan kaplamalar (Umar ve Ağar, 1991).

Aşınma tabakasının altında üstyapının oturduğu doğal zemini, yani taban zeminini koruyan temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla tabakadan oluşabilir. Temel tabakasının esas görevi taşıtların geçişlerinden dolayı gerilmeleri taban zemininin taşıma gücü sınırları içerisinde yaymaktır. Temel tabakası duruma göre çimentolu veya bitüm bağlayıcılı karışım, stabilize edilmiş zemin veya dikkatle seçilmiş granüler malzeme olabilir. Trafik hacminin yüksek olduğu kesimlerde bitümlü karışımlar daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

Temel tabakasının altında alttemel tabakası bulunur. Alttemelin esas görevi, bitümlü tabakaların inşası için çalışma platformu oluşturmaktır. Bu tabakada kullanılan malzemeler genel olarak temel tabakasına göre daha düşük kalitelidir ve granüler malzemedir. Mümkün mertebe yerel malzemeler ve yol inşaatında kullanılmaya elverişli artık malzemeler (molozlar, cüruflar, inşaat artıkları gibi) kullanılmaya çalışılır.

Taban zemini, sıkıştırılmış doğal zemin ya da dolgu malzemesinden oluşur. Bu tabaka üstyapıya temel görevi yapar. Üstyapı yükü son olarak bu tabakaya iletilir. Bu tabakanın görevini iyi yapabilmesi için iyi bir drenaja ihtiyaç vardır (Karaşahin, 1993). Tamamlanmış bir yolun proje ve şartnameye uygunluğunun kontrol edilmesi için karot numuneleri alınır. Esnek üstyapı karot numunesi ve en kesiti Şekil 1.4’ de görülmektedir.



Şekil 1.4. Tipik Bir Esnek Üstyapı Karot Numuneleri (Saltan, 1999)

Ancak, Türkiye’ de uygulanmakta olan şehirlerarası yollar ve şehir içi yollarda kaplama olarak kullanılan yoğun tane dağılımlı asfalt betonu karışımları, malzeme kalitesi ve seçiminin hatalı oluşu, karışım tasarımının yetersiz oluşu ve yapım aşamalarındaki hatalar sebebiyle beklenen performans ömrünü gösterememekte, çok kısa sürede bozulmalar meydana gelmektedir. Bu bozulmalar ise; trafiğin akışını ve yoldan beklenen güvenlik, hız ve konfor gibi servis özelliklerini büyük ölçüde azaltmaktadır.

A. Bitümlü Karışımlar

160 °C sıcaklığa kadar ısıtılarak kurutulmuş uygun tane dağılımına sahip agrega ile sıcak asfalt karışımına asfalt betonu veya bitüm betonu adı verilir. Bitümlü karışımların hazırlanmasında agrega ve bitüm malzemesinin uygun biçimde seçilmesi ve oranlarının saptanması önemlidir. Optimum bitüm miktarını bulmak için; Marshall Karışım Dizaynı, Hweem Karışım Dizaynı, Texas Dönen Karışım Dizaynı ve Deneysel Test Methodu vardır, ancak en ideal method Marshall Karışım Dizaynı methodudur.

Karışımlarda, agrega %93-97 oranlarında, bitüm ise %3-7 arasında bir arada kullanılsa da, bitümlü karışımlar serbest agrega malzemesine göre çok pahalıdır, bundan ötürü yalnızca kaplama tabakalarının yapımında kullanılır.

Bu karışımlar pahalı olmakla beraber birçok yararlı özelliğe sahiptir:

§ Yol düzgün yüzeyli olursa taşıtların tekerlek sürtünmesi nedeniyle yaptığı gürültü önemli ölçüde azalır, konfor artar. Tekerlekler daha az aşınır.

§ Bağlayıcı malzeme agrega tanelerini çok iyi şekilde birbirine bağladığı için taşıtların taş fırlatması tehlikesi ortadan kalkar.

§ Oldukça geçirimsiz bir yol yüzeyi elde edilir (Umar ve Ağar, 1991).

Agrega asfalt karışımların yol kaplaması olarak kullanılabilmesi için bazı koşulları sağlaması gerekir. Bu koşullar, kaplamalarla ilgili Teknik Şartnamelerde verilmiştir. Karışımların dizayn edilmesi sırasında aşağıdaki özellikler dikkate alınır.

a. Stabilité: Taşıtlardan hasıl olan statik ve dinamik yüklerin meydana getirdiği kesme kuvvetine ve deformasyonlara kaplamanın dayanmasıdır. Bitümlü karışımı meydana getiren agrega ve bitümün fiziki özellikleri, kaplamanın stabilite değerine tesir eden asfalt çimentosunun penetrasyonu küçüldükçe sertleşir, bu da stabilite değerine tesir eder. Kaplamanın bulunduğu yerin iklimi, trafiği, tipi ve hacmi itibarıyla yüksek stabilite istendiğinde düşük penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmalıdır. Soğuk mevsimin hüküm sürdüğü yerlerde, kaplamanın çatlamaya dayanıklılığı göz önüne alınarak yüksek penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmalı ve yüksek stabilite elde edilmeye çalışılmalıdır, bitümlü karışım stabil olmalıdır.

b. Durabilite: Bitümlü karışımın trafik, su, hava etkilerine ve sıcaklık değişikliğine karşı mukavemetidir. Durabilite diğer bir ifade ile kaplamanın aşınmaya, kabarmaya, soyulmaya ve oksidasyona dayanmasıdır. Bitümlü karışım stabil olduğu kadar durabil de olmalıdır.

c. Esneklik: Bir kaplamanın kendisini temelin çökmelerine çatlamadan aktarabilmesi kabiliyetidir. Kaplamanın esnekliğine, asfaltın penetrasyonu, bitümün ısı altında genleşme derecesi, bitümlü karışımdaki asfalt miktarı ve filler tesir eder. Çok az esnek bir kaplama çok az stabil bir kaplama kadar mahsurludur.

d. Kayma Mukavemeti: Taşıtların kaplama üzerinde emniyetle hareket etmesini ve durmasını sağlayan kaplama yüzeyinin sürtünme mukavemetidir. Kayma mukavemeti karışımdaki agreganın aşınmaya olan dayanıklılığına, asfalt miktarına ve boşluk yüzdesine bağlıdır. Yumuşak agregalar fazla aşındıklarından kaygan satıh oluştururlar. Karışımda fazla asfaltın ve az boşluğun bulunması trafiğin aşırı kompaksiyon etkisiyle sıcak havalarda asfaltın genleşmesi sonucunda asfalt kaplama sathına çıkarak kaygan bir sathın meydana gelmesine sebep olur.

e. İşlenebilirlik: Bitümlü karışım karıştırma- serilme-sıkıştırma bakımından işlenebilir özellikte olmalıdır. Karışımın bu özelliği agreganın gradasyonu, asfalt yüzdesi, agreganın maksimum tane büyüklüğü, şekli ve yüz yapısı ile ilgilidir. Köşeli kum taneleri ile konkasör stabiliteyi artırır. Yuvarlak kum taneleri işlenebilirliği artırır.

f. Ekonomi: Yapılan kaplamalar ekonomik olmalıdır.

Bir yol üstyapı tasarımında gerekli olan, gerçek yola serilmiş malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesidir. Ancak, 1/1 ölçekli deney yapmak hem zaman alıcı hem de pratik değildir. Buna ilave olarak oldukça pahalıdır. Bu nedenle, çoğunlukla laboratuvar testleri yapılır. Bu testlerden amaç, arazi koşullarını mümkün mertebe temsil edebilmektir. Bitümlü malzemeler, visko-elasto-plastik (özellği sıcaklığa, yükleme süresine ve büyüklüğüne bağlı olarak değişen malzeme) bir davranışa sahip olduğu için sıcaklık, yükleme, gerilme koşulları ve numunenin sıkıştırılması önem kazanır (Karaşahin, 1994).

B. Bitümlü Karışımlarla Yapılan Kaplamaların Avantajları

Tarihin en eski yol yapım malzemelerinden biri olan asfalt, geliştirilen teknik özellikleri ile yüksek performanslı, uzun ömürlü, güvenli ve çevre ile uyumlu yolların yapımına imkan tanımaktadır. Bugün Amerika'da 3.63 milyon km. uzunluğundaki kaplamalı yolların %94'ü, Avrupa'nın en gelişmiş ülkelerinden biri olan Almanya'da ise, 130.000 km'lik devlet yolunun tamamı 12.000 km uzunluğundaki otoyolların %72'si asfalt kaplamalı olup, ağır ve hafif trafikli yollarda soğuk ve sıcak olarak hazırlanan karışım olanakları ve çeşitli yüzey kaplama tipleri ile asfalt, tüm dünyada yol kaplamasında en yaygın olarak kullanılan kaplama malzemesidir. Ayrıca beton yollarda da sürüş konforunu, yapısal dayanımı ve kayma direncini artırmak amacıyla beton yolların yüzeyleri asfalt tabakalar ile kaplanmaktadır. 2000 yılı istatistiklerine göre Avrupa'da 298.5 milyon ton, ABD'de ise 590 milyon ton bitümlü sıcak karışım yolların kaplanmasında kullanılmıştır. Ülkemizde devlet ve il yollarımız ile otoyollarımızın tamamı asfalt ile yapılmakta olup, ortalama yılda 10 milyon ton bitümlü sıcak karışım kullanılmaktadır. İstatistikler göstermektedir ki trafik yüklerini tabana dağıtan, deformasyonlara karşı dirençli esnek üstyapı inşaatında kullanılan asfalt tabakaları, gelecekte de yol yapımının vazgeçilmez bir malzemesi olmayı sürdürecektir.



Şekil 1.5. Asfalt Kaplamalı Yol

Yol kullanıcıları olarak sürücüler, düzgün konforlu, kayma direnci yüksek, hızlı erişimi sağlayan, ulaşım maliyetini düşüren, işaretlemesiyle görünür ve gürültü seviyesi düşük yollar talep ederken, yolu yaptıranlar, dayanıklı, minimum bakım gerektiren, kalıcı deformasyona dirençli, aşınma direnci yüksek, hizmet ömrü uzun yolları hedeflemektedir.

Geliştirilen özellikleri ve yeni tipleri ile belirtilen her türlü ihtiyaca cevap verebilecek niteliklere sahip olan asfaltın kullanımının sağladığı avantajları şöyle özetleyebilir:

- **Hızlı ve kolay inşaat olanağı:** Asfalt kaplamalar, kür gerektirmediğinden tabaka inşaatı hızla tamamlanarak, birkaç saat içinde trafiğe açılabilir. Hızlı yapım tekniğinden dolayı alt tabakaların hemen kaplanabilmesi mümkün olmakta ve bu tabakaların açık hava şartlarına maruz kalarak taşıma gücünü kaybetmesi ihtimalini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca alternatifi olmayan yollarda ve şehir içi uygulamalarında trafik sıkışıklığına neden olmadan güvenli, hızlı bir şekilde ve hatta gerekirse gece çalışılarak, yolun trafiğe açılmasına olanak sağlamaktadır.

- **Daha ince tabakaların yeterli olması:** Asfalt üstyapıların esneklik özelliğinden dolayı trafik yüklerini tabana yayması ve asfalt karışımların yüksek dayanıma sahip olması nedeniyle asfalt kaplamalar, düşük trafik şartlarında daha ince uygulanabilir. Bugün asfaltın geliştirilen performans özellikleri ile yüksek trafikli yollarda bile 1-3 cm kalınlığında süper ince asfalt kaplamaların yüzey tabakası olarak yapımı söz konusudur.

- **Daha sağlam üstyapı oluşturması:** Asfaltın tabakalarda suyun üstyapıya girişi engellendiğinden üstyapı tabanının dondan etkilenmesi önlenerek, daha yüksek bir üstyapı dayanımı sağlanır. Asfalt üstyapılar, elastik ve kalıcı deformasyonlara karşı daha dayanıklı olduğundan uzun vadeli performansları daha yüksektir. Son yıllarda farklı trafik ve iklim şartlarına uygun asfalt tabakaların uygulanmasına yönelik performans esaslı asfalt şartnameleri geliştirilmiştir. Yüksek performanslı, gürültü seviyesi düşük ve kayma direnci yüksek Stone Mastic Asfalt-SMA ve serbest drenajlı Poröz Asfalt gibi asfalt karışımlar kullanılmaya başlanarak, asfalt üstyapılarda görülen tekerlek izinde oturma, yorulma ve termal çatlak gibi tipik bozulmaların oluşumu engellenmektedir.

- **Az bakım gereksinimi:** İyi dizayn edilmiş ve kaliteli yapılmış asfalt yollar minimum bakım gerektirir. Sadece düzenli rutin bakımla asfalt üstyapıların ilk performansı uzun yıllar korunabilmektedir. Asfalt kaplamanın bakım maliyeti düşüktür. Bozuk kesim hızla ve kolayca lokal olarak onarılabilir. Zamanla güçlendirilmesi gerektiğinden asfalt kaplamalara 4-5 cm'lik tabaka ilavesi yeterli olabilmektedir.

- **Konforlu ve güvenli yüzey özelliği:** Asfalt kaplamalar, düzgün ve derzsiz sürekli bir yüzey oluşturur. Derz gerektirmeksizin istenilen yüzey düzgünlüğü ve eğim verilebilir. Asfalt kaplamalarda yüzey kayma direnci, karışım dizaynı ayarlanarak optimum seviyede sağlanabilmektedir. Asfalt kaplama üzerinde yol işaretleri çok iyi görülür. Yol çizgi boyasının ve diğer tip işaret malzemelerinin uygulanabilmesi ve kalıcı olmasını sağlamanın yanı sıra, kritik hat ve bölgelerin işaretlenmesinde oluşturduğu zıt renk ile hattı veya bölgeyi belirgin hale getirir. Son yıllarda geliştirilen renkli asfalt uygulaması ise şehir içinde estetik görünümlü alanların inşasına imkan sağlamaktadır. Asfalt koyu rengi

nedeniyle ısıyı çektiği ve kolay buharlaşma sağladığı için, asfalt kaplamalarda buz çabuk erimekte ve yüzey suyu hızla kurumaktadır. Sathi kaplama uygulamaları hariç asfalt kaplamalı yollardaki gürültü seviyesi oldukça düşüktür.

- **Yeniden kullanılabilirliği:** Bitüm, bağlayıcı özelliğini kaybetmediğinden, asfalt karışımlardaki bitüm ve agreganın tamamı yeniden kullanılabilir yani, asfalt kaplamalar %100 geri dönüştürülebilen doğal malzeme karışımlarıdır. Asfalt kaplamalarda bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, esas amacı petro-kimya ürünleri eldesi olan ham petrol rafinasyonunda artık olarak kalan bir malzeme olup, bu malzemenin asfalt kaplamalarda değerlendirilmesi rafinasyonu daha ekonomik kılmakta hem de çevreye katkı sağlamaktadır.

- **Aşamalı inşaata uygunluğu:** Asfalt kaplamalar aşamalı olarak yapılabilirdiğinden ihtiyaca göre kalınlaştırılabilir ve genişletilebilir. İlave edilen her tabaka üstyapının yük taşıma kapasitesini artırır. Asfalt üstyapılar başlangıçta kaynak yetersizliği nedeniyle daha kısa ömürle dizayn edilebilmekte ve daha sonra gereksinimlere bağlı olarak asfalt tabakalarıyla takviye edilerek, ömrü uzatılabilmektedir. Yol yatırımlarına ayrılan payın çok kısıtlı olduğu ülkemizde karayollarının %79'u (49.843 km) hiçbir taşıma gücü olmayan altyapıyı koruyucu amaçlı bitümlü satih kaplaması ile kaplı olup, bu yolların kaynak ayrıldığında aşamalı olarak sıcak karışım asfalt tabakaları ile kaplanması beklenmektedir. İlk maliyetinin düşüklüğü ve aşamalı inşaatı uygun olması nedeniyle asfalt yollar, Türkiye'nin mevcut ekonomik şartlarında ihtiyaçlara cevap verecek bir yol tipidir.

- **Yapım ve bakım maliyeti:** Asfalt kaplamaların seçiminde en büyük neden bu tür kaplamaların yapısından ve özünden kaynaklanan düşük maliyettir. Asfalt kaplamaların yeniden kullanılabilir olması, çevresel olarak yarattığı olumlu etkinin yanı sıra maliyeti düşüren diğer önemli bir etkidir. İlk yatırım maliyeti en ucuz kaplama tipidir. Kullanım ömrü boyunca bakım, onarım ve işletme maliyetleri de dikkate alındığında yol otoritelerinin büyük bir çoğunluğu, yüksek performanslı asfalt üstyapıların uzun vadede de en ucuz kaplama tipi olduğunu belirtmektedir.

Dizayn olarak, 20 yıllık bir ömürle projelendirilen ömrü sonunda kalıcı bir değere sahip olan asfalt üstyapılar, bakım onarım ve takviye işlemleri ile gerçekte sonsuza kadar kullanılabilecek bir üstyapı tipidir. 21. yüzyılda, hızla artan trafik hacmi ve yükleri karşısında dünya asfalt endüstrisi 50-100 yıl kullanılabilecek kalıcı asfalt üstyapıları hedeflemiştir. Bu amaçla özellikle ABD'de 20 yıllık periyotlarla yüzey kaplaması yenilenerek, 50 yıldan daha uzun süre hizmet verecek tamamı asfalt tabakalardan oluşan kalıcı üstyapıların kullanımının yaygınlaştırılmasına çalışılmaktadır. Bu tip üstyapıların bakımı, kalıcı bir yapı olan binanın zamanla boyanması veya çatısının aktarılması gibi bir işlem olacak ve hala sağlam ve fonksiyonundan bir şey kaybetmeyen asfalt üstyapı yıllarca çocuklarımızın çocuklarına hizmet verebilecektir.

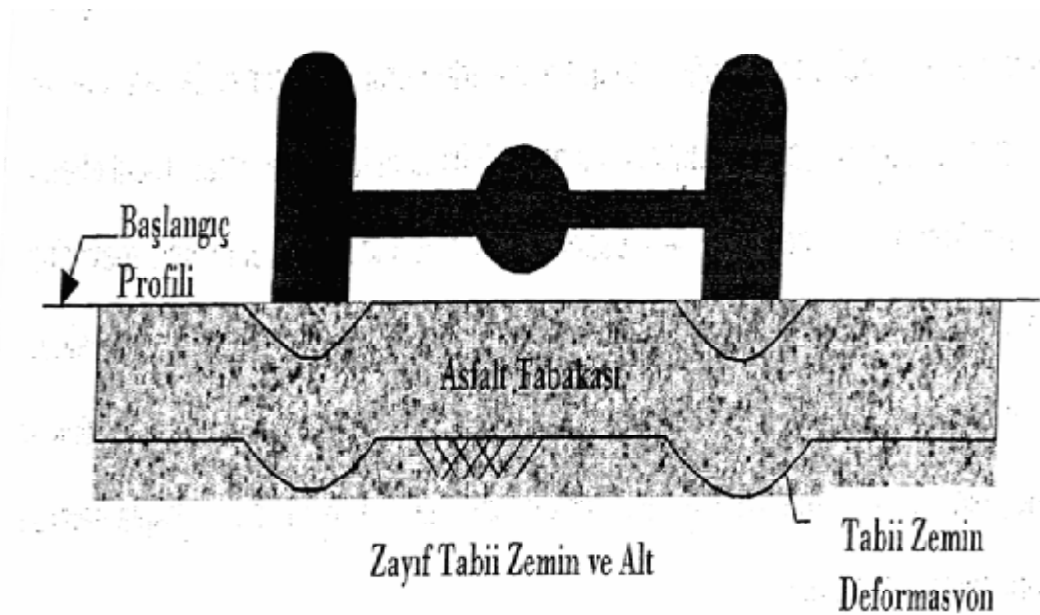
1.2. Asfalt Betonu Kaplamalarda Meydana Gelen Bozulmalar

Asfalt betonu kaplamalardaki kalıcı deformasyonlar, çatlaklar ve ayrışma olarak üç ana grupta toplamak mümkündür. Bu bozulmaların genel nedenleri ise temel, alttemel ve taban zemininin taşıma gücü yetersizliği, trafiğin bozucu etkileri, iklim koşulları ve asfalt betonunun özellikleri olarak sıralanabilir.

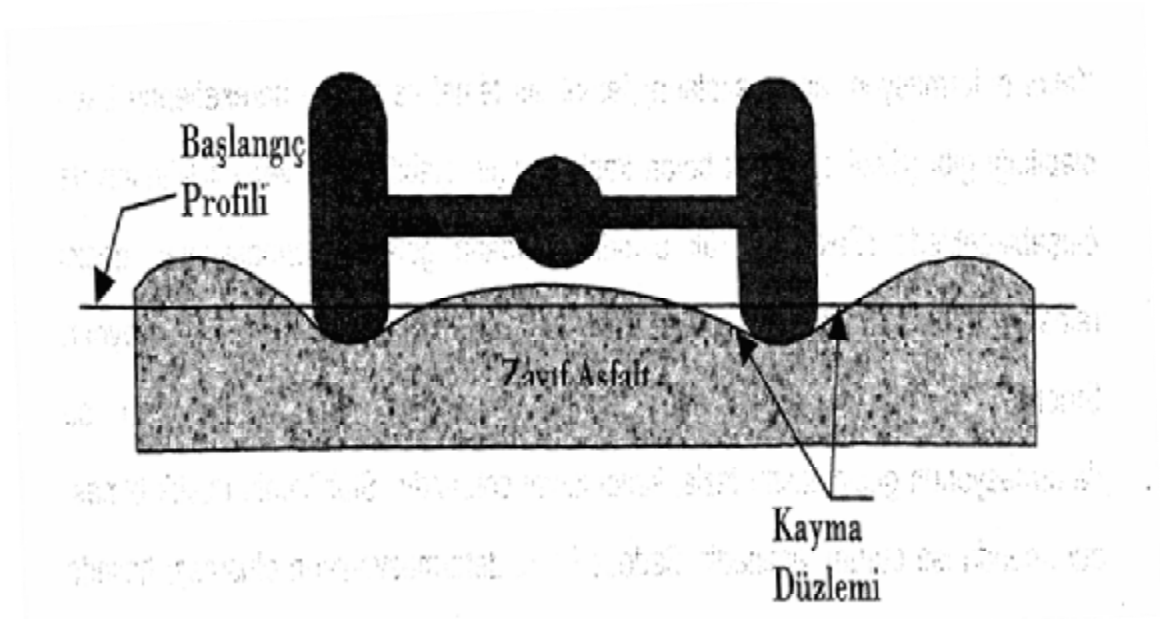
1.2.1. Kalıcı Deformasyonlar

Karayollarımızda en sık görülen bozulmalardan biri olan kalıcı deformasyon, genel anlamda, kaplama yüzeyinin orijinal kotuna göre değişikliğe uğramasıdır. Kalıcı deformasyon, alt tabakaların (temel, alttemel) hareketlerine bağlı olabildiği gibi Şekil 1.6, asfalt beton kaplamasının stabilitesinin yetersizliğinden de oluşabilmektedir Şekil 1.7. Yük altında meydana gelen deformasyonlar, geçici (elastik) deformasyonlar ve kalıcı (plastik) deformasyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Stabilite yüksek olduğu sürece toplam deformasyon az olduğu gibi bu deformasyonun geçici kısmı fazla, kalıcı kısmı çok azdır. Stabilitenin düşük olması durumunda ise durum tersinedir. Sadece kalıcı deformasyonların oluşması halinde ise stabiliteden söz edilemez. Yüksek sıcaklıklar asfaltın termoplastik özelliklerinden dolayı stabiliteyi düşürür. Yük tekrarı deformasyonların artmasına neden olur. Yani, kalıcı deformasyonların sıcaklık etkisi ve yük tekrarı şekil değiştirmeye sebep olur.

Bu grubun en yaygın olarak görülen bozulma tipi tekerlek izi oluşmasıdır. Tekerlek izi asfalt betonu kaplamalarında en sık görülen, gerek teknik ve gerekse ekonomik açıdan çok önemli kabul edilen bozulma tipidir. Tekerlek izi oluşması özellikle ülkemiz gibi problemlili araziye sahip, trafiği ağır ve sıcak ülkelerde problem olmaktadır. Tekerlek izleri, üstyapıyı oluşturan tabakaların hepsinde veya bir kısmında ya da sadece bitümlü tabakalarda oluşan deformasyonların birikiminden meydana gelir (Şekil 1.6, 1.7 ve Ek-1).



Şekil 1.6. Zayıf Taşıma Kapasiteli Taban Zeminine Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu



Şekil 1.7. Zayıf Bitümlü Tabakaya Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu

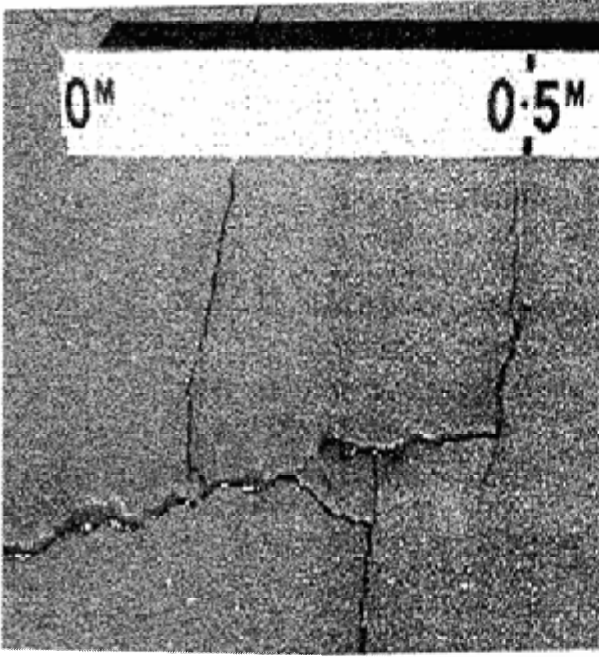
1.2.2. Çatlamalar

Esnek kaplamalarda en sık rastlanan ve kaplamanın performansını azaltan olumsuz etkilerden birisi de çatlakların sebep olduğu bozulmalardır. Çatlakları yorulma ve termal çatlaklar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Tekrarlı ağır trafik yüklerinin ve taşıtların ani hızlanma ve yavaşlamalarının sebep olduğu yorulma çatlakları,

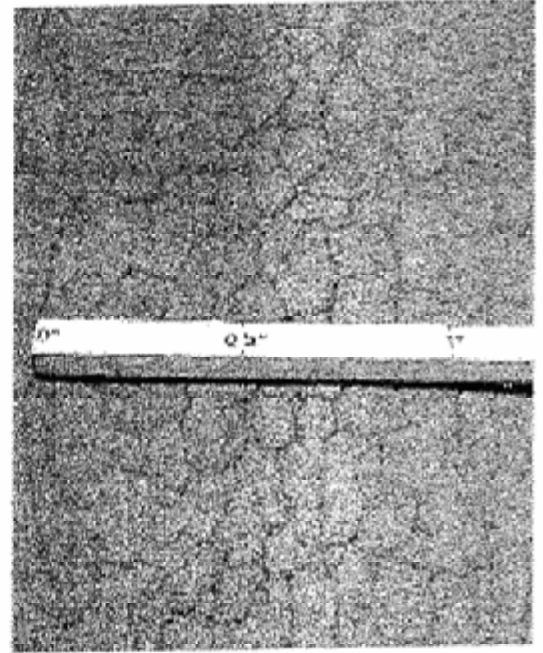
ilk olarak blok çatlaklar Şekil 1.8 ve daha ileri safhasında da timsah sırtı çatlaklar Şekil 1.9 ve Ek-2 ve Ek-3 ' de verildiği gibi karşımıza çıkar.

Termal çatlaklar ise, soğuk bölgelerde kaplamanın büzülmesi sebebiyle yolda enine olarak görülen çatlaklardır Şekil 1.10 ve Ek-4. Diğer bir çatlak tipi de, kaplama kenarından yaklaşık 30 cm içeride ve yol eksenine paralel olarak oluşan kenar çatlaklarıdır Şekil 1.11 ve Ek-5. Genellikle banketlerin yeteri kadar yanıl destek sağlamadığı kesimlerde görülür. Kenar çatlakları, drenaj yetersizliği, don, üstyapı ile banket arasında büyük nem farkı bulunması (banketlerin aniden kuruması) nedeni ile de oluşabilir.

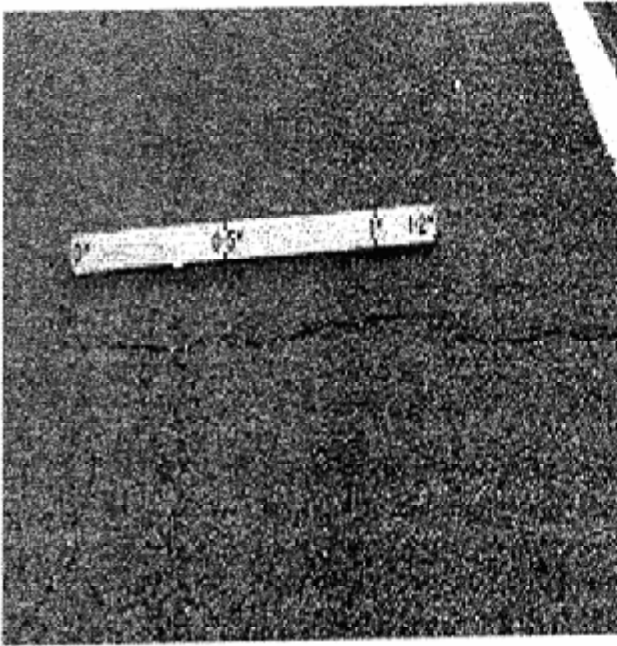
Asfalt ve diğer malzemelerde meydana gelen çatlak oluşumu üç safhadan oluşur. Birinci safhada, malzeme içinde mikro çatlaklar oluşur, ikinci safhada bu çatlakların bazıları yayılarak makro çatlaklar meydana getiri, son safhada ise makro çatlaklar yayılarak asfalt kaplamalarda kırılmalara sebep olur.



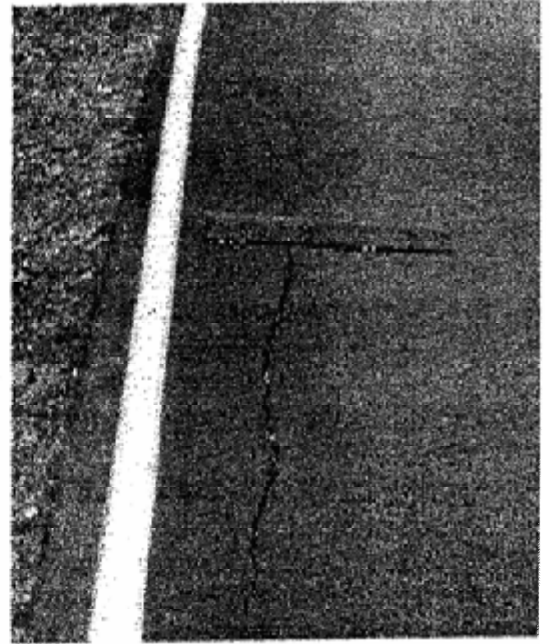
Şekil 1.8. Blok Çatlaklar



Şekil 1.9. Timsah Sırtı Çatlaklar



Şekil 1.10. Termal (Enine) Çatlaklar



Şekil 1.11. Kenar Çatlakları

Yorulma çatlakları tekrarlı yükler sonucu oluşmaktadır. Karışımı oluşturan malzeme özellikleri, ağır trafik ve çevresel koşullara bağlıdır. Günümüzde, daha uzun ömürlü kaplamalar üretmek üzere performans esaslı tasarım yöntemleri kullanılmaktadır.

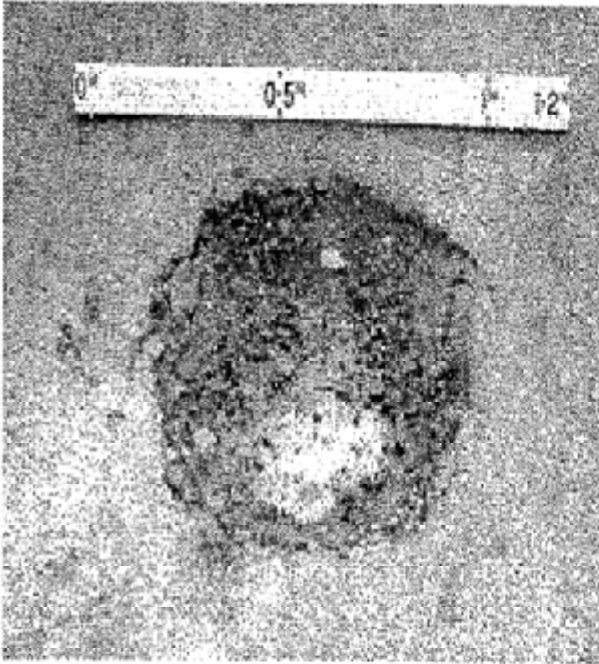
Kaplamanın en önemli performans özelliklerinden birisi de çatlakların oluşumuna sebep olan yorulma davranışı karakteristiklerinin belirlenmesi, yorulma ömürlerini tahmin edilebileceği modellerin oluşturulmasıdır.

1.2.3. Ayrışmalar

Ayrışma, iklim ve trafiğin mekanik etkisi ile agrega tanelerinin kaplamadan koparak ya da sıyrılarak ayrılmasıdır. Bu olay asfalt betonu kaplamalı karayollarımızda çok sık görülen bir bozulmadır. Bu grup içerisinde yer alan bozulmalar arasında folluk tipi oyuklar, sökülmeler, soyulma ve kusmayı sıralayabiliriz.

Folluk tipi oyuklar, takriben 25-75 cm çapında dairesel, folluğu andıran oyuklardır Şekil 1.12 ve Ek-6. Folluk tipi oyuklar kaliteli bağlayıcı ve karışım kullanılması, trafiğin getirdiği üst yapının inşası, drenaj, özenli yapım ve özellikle yeterli sıkıştırma ile önlenabilir.

Sökülmeler, yüzeyden alta doğru ya da kenardan içe doğru agregaların zamanla yüzeyden koparak ayrılmasıdır Şekil 1.13 ve Ek-7 .



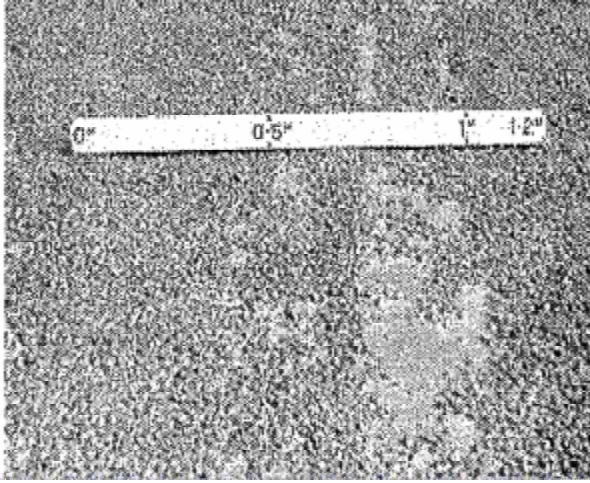
Şekil 1.12. Folluk Tipi Oyuk



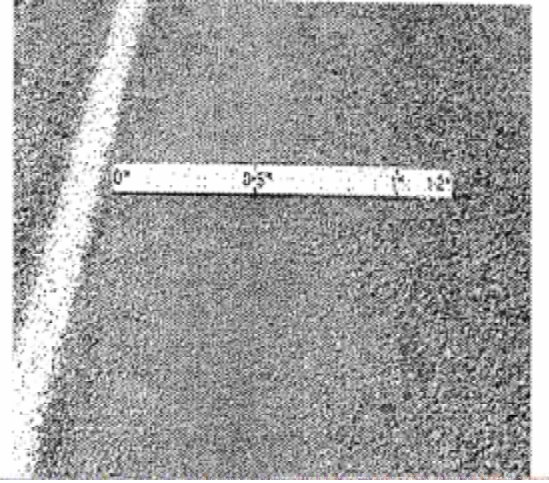
Şekil 1.13. Sökülme

Soyulma, agrega tanelerini saran ince asfalt filminin su, kil ve trafiğin mekanik etkisi ile agregadan ayrılması ve dolayısıyla agrega tanelerinin çıplak kalması durumudur Şekil 1.14 bu sebeple soyulma olayı diğer bozulma tiplerinin meydana gelmesine zemin hazırlar.

Kusma, karışım içindeki asfaltın sıcaklık etkisi ile yükselerek yüzeye çıkması ve yüzeyde oldukça kalın bir asfalt filmi oluşturması durumudur Şekil 1.15. Kusma sonucu yüzeydeki agregalar tamamen asfalt filmi ile kaplandığından sürtünme katsayısı düşmektedir.



Şekil 1.14. Soyulma



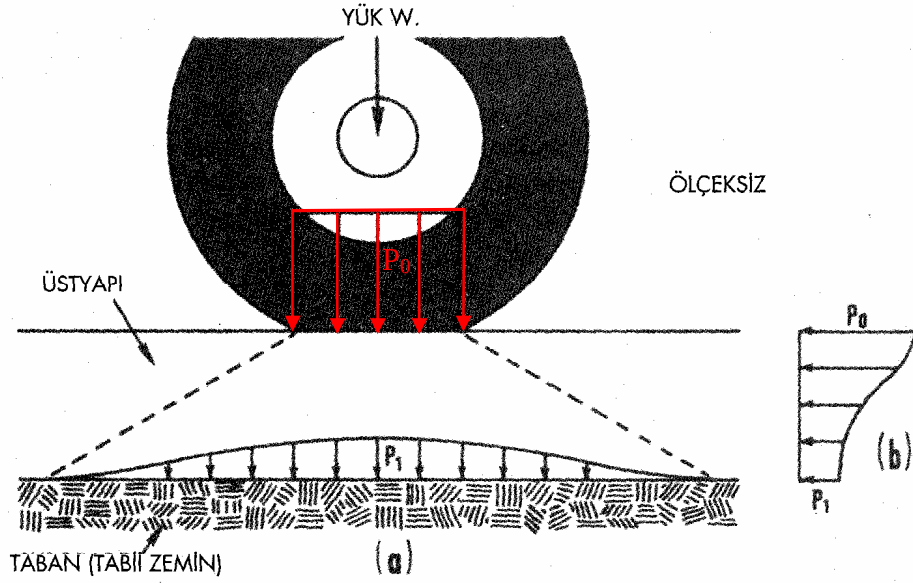
Şekil 1.15. Kusma

1.3. Asfalt Kaplamalardan Beklentiler

Bitümlü bağlayıcılarla taşıtlar tarafından her türlü hava koşulları altında kullanılabilecek bir yol yada otopark inşa etme konusundaki temel düşünce, uygun bir taban veya ‘temel’ hazırlamak, gerekli drenajı sağlamak ve aşağıdaki özellikleri yerine getirecek bir kaplama inşa etmektir.

Bu özellikler:

1. Beklenen trafik yüklerini taşımak amacıyla yeterli toplam kalınlığa sahip,
2. İçsel nem birikimi ve su sızmasını engellemek için yeterince sıkışmış,
3. Olumsuz hava koşulları ve buzlanmayı önleyici kimyasal maddelerin etkisi altında aşınmaya, dağılmaya ve kaymaya karşı yeterli dayanımda olması,
4. Yüzey geometrisini bozmadan yüzeyindeki tekerlek yükünü taşımak ve yükü tabana, tabanın taşıma gücünü veya üstyapının içsel mukavemetini aşmayacak şekilde tabana aktarıp yaymaktır. Şekil 1.16’ da taşıt tekerleklerinde meydana gelen yük ve yol yapısındaki dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 1.16. Tekerlek Yükünün Kaplama Yapısı İçindeki Dağılımı (Asfalt El Kitabı, İstanbul, 2002)

Şekil 1.16 incelendiğinde yaklaşık olarak dik durumdaki P_0 üniform dikey basıncıyla lastik tarafından kaplama yüzeyine iletilmekte olan W tekerlek yükünü göstermektedir. Bundan sonra, üstyapı, basınç yalnızca P_1 olacak şekilde tekerlek yükünü tabana aktarmaktadır. Kaplama malzemelerinin doğru seçilmesi ve uygun kaplama kalınlığı ile, P_1 basıncı, taban (tabii zemin) tarafından kolayca taşınabilecek derecede küçük olacaktır.

Bu çalışma tüm bu bilgi ve olgular ışığında, PET şişelerden elde edilen PET lifler ve parçalanmış otomobil lastikleri ile modifiye edilmiş bitüm kaplamaların bazı dayanım ve dayanıklılık özellikleri araştırılmak üzere yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çelik (2000), çalışmasında lastikle modifiye edilmiş bitümlü asfalt betonunun yorulma davranışını laboratuvar ortamında incelemiştir ve çalışmasında parçalanmış otomobil lastiği ile modifiye edilmiş bağlayıcı ve agrega kullanılmıştır. Araştırmada test edilen numuneler, 50 ve 100 penetrasyona sahip iki farklı bitüm karışımıdır. Karışım en az boşluk oranı elde edilecek şekilde tane dağılımı düzenlenen agrega ve farklı oranlarda katılan 40 mm boyutlarında parçalanarak üretilmiş otomobil lastiği kullanılarak hazırlanmıştır. Numunelere üç sabit basınç seviyesinde yorulma deneyi uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, otomobil lastiği ile modifiye edilen asfalt numunelerinde, lastiğin yorulma süresini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. %5 oranında küçük bir katkı, 50 penetrasyon bitüm için yorulma süresini 2 kat artırdığı, 100 penetrasyon bitümle yapılan modifikasyon sonucunda yorulma süresine 23 kat artırdığı gözlenmiştir.

Deniz ve ark.(2000), araştırmalarında kullanılmış otomobil lastiklerinin bitümlü sıcak karışımların performansı üzerindeki etkisini, geleneksel karışımlarla karşılaştırmışlardır. Çalışmalarında, T.C.K. Aşınma Tabakası Tip-2 Şartnamesine uygun agrega karışımı, 50/70 penetrasyonlu bitüm ve 0,5 mm haline getirilen lastik parçacıkları kullanmışlardır. % 0,5 oranında lastik parçacıkları bitümlü sıcak karışıma katılarak hazırlanan numuneleri dolaylı çekme, statik sünme, tekrarlı sünme ve Marshall Stabilitate deneylerine tabi tutmuşlardır. Araştırma sonucunda;

- * Geleneksel karışımlara göre düşük stabilite seviyesinde kalmakla birlikte, değerlerin şartname alt sınır değerinin üzerinde olduğu,
- * Dolaylı çekme mukavemeti değerleri, düşük sıcaklıklarda geleneksel bitümlü sıcak karışıma göre düşük, yüksek sıcaklıklarda yüksek değerlere ulaştığı,
- * Katkılı karışımlarla yapılan kaplamaların geleneksel karışımlarla yapılan asfalt kaplamalara göre daha elastik olduğu ve çatlak oluşum potansiyeline karşı direnci artırdığı tespit edilmiştir.

Airey ve ark. (2007), yaptıkları çalışmalarında asfalt karışımındaki nemin etkisini; dayanım ve dayanıklılıktaki kayıp bakımından araştırmışlardır. Nemin neden olduğu kayıplar AASHTO,T283 ve diğer bazı test methodlarından yararlanılarak belirlenmiştir. Asfalt karışımlı silindirik numunenin (Marshall) belli zaman periyotlarında sulu, yüksek sıcaklıklı ve basınçlı bir ortamda ilk doygunluğa kadar sıkıştırılarak sertlik katsayısı ve numunenin doygunluğu ölçülmüştür. Araştırma sonucunda, normal agrega ve asidik agrega içeren asfalt karışımların bir grubunun ıslanma zararlarına direncini belirlemede, SATS testinden yararlanılmıştır.

- SATS test tutanağı sürelerinde asidik ve bazik DBM asfalt karışımları, numunelerin doğruluklarını sağlamak için esas olan basınç bırakmadan önce sıcaklığı 30 °C ye düştüğü görmüşlerdir.
- SATS testinde asidik ve bazik DBM karışımlarının dijitalik değerleri sabit tutulursa karışımların hacimsel sürelerinde, yaklaşık %10-4 den hava boşluklarının içeriğinin azalması yada %4-5 den bitüm içeriğinin artmasının etkisinin önemsiz düzeyde

olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak nemin, bağlayıcı-agrega ara yüzeyinde ya da bağlayıcı-katkı maddesi ile yapışmasındaki başarısızlığın nedeni olduğu anlaşılmıştır.

Grace ve ark. (2007), asfalt betonu için %100 ham polyesterden imal edilmiş 6 mm uzunlukta sentetik lifler üretmişlerdir. Karışım hazırlanırken 105 °C’ de kurutulmuş agregaya lifler eklenmiş daha sonra bu karışıma da bitüm ilave edilmiştir. Lif yüzeyi oldukça fazla olduğundan karışımdaki bitüm miktarı da artmıştır. Günde 10000 trfaik yüküne sahip yol için karışıma 2,5 kg polyester lif ilavesi standart dozaj olarak, bu yükten daha fazla yoğunluktaki yollarda dozajın artırılarak kullanılması gerektiği kabul edilmiştir. Araştırmalarının sonucunda;

- ³ Asfalt içinde kullanılan liflerin, malzemelerin kullanım ömrünün artırdığını,
- ³ Asfalt karışım dizaynının yeni yapısının durabilitesini artırdığını,
- ³ Yük taşıma kapasitesi, stabilitesini artırmak ve tekerlek izi oluşumu, çukur oluşumu, tekrarlı kırılma direncinin azaltmak gibi karışımın mekanik özelliklerinin geliştirdiğini,
- ³ Yolun çalışma ömrünü önemli miktarda artırdığı ve bu sayede bakım masraflarının büyük oranda azaltarak ekonomi sağladığını bulmuşlardır.

Haoron ve ark. (2007), araştırmalarında polyester lif katkılı asfalt karışımların performansını belirlemek için biri yöresel diğeri ithal olmak üzere iki farklı polyester lifi kullanmışlardır. Esas olarak karışımı tane dağılımlı agregaya oluşturmak üzere biri polyester lifi katkılı diğeri katkısız karşılaştırmalı numunelere, eksenel dönme, Marshall stabilite, malzeme test sistemi, yüksek sıcaklık stabilitesi, düşük sıcaklık direnci deneyleri uygulamışlardır. Araştırma sonucunda;

- § Polyester lifin asfalt karışımın performansını artırdığını,
- § Yüksek sıcaklık stabilitesi, buna bağlı olarak diğer stabilize değerleri ve çok yönlü güç işlevlerini geliştirdiğini,
- § Polyester lifin bitüm absorbe ederek agregaya bağlı bitüm film kalınlığını artırdığını, dolayısıyla asfalt karışımın çevresel bozulma ve suyun vereceği zararlarına karşı gerilme direncini geliştirdiğini,
- § Düşük sıcaklıkta da polyester lif esnek kaldığından asfalt karışımın düşük sıcaklık performansını önemli oranda artırdığını,
- § Polyester lifin, karışımda çatlakların yayılmasını engellediğini, karışımın elastikliğini korumayı artırdığını ve malzemelerin stabilitesini kaybederek kopmasını geciktirdiğini tespit etmişlerdir.

İyınam (2007), araştırmasında, plastik atık kullanılarak yapılan yolların fiziksel, kimyasal etkilerine karşı direncini incelemiş ve ekonomik değerlendirmesini yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, plastik atıkların kullanımının trafik yüküne ve iklim şartlarına göre belirlenmesi ve olabildiğince asfalt karışımlara ilave edilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Tapkın (2007), çalışmasında asfalt, agrega karışımına kuru şekilde eklediği polipropilen lif katkılı bitüm betonu numunelerine stabilite, akma ve endirek çekme deneyleri yaparak, bu numunelerin özelliklerini araştırmışlardır. Araştırmayla, polipropilen liflerin asfaltın özelliklerini önemli oranda değiştirdiğini görülmüştür. Lif katkısının etkileri şöyle özetlenebilir:

- a. % 1 katkı ilavesi ile stabilite değerinin %29 ve yorulma ömrünün %24 arttığı, akma değerinin %31 oranında azaldığı,
- b. Asfalt kaplamanın performansında olumlu katkılar sağladığı tespit edilmiştir.

Anurag ve ark. (2008), araştırmalarında biriktirilmesi baştan sona pahalı bir problem olan atık malzemelerden polyesterden elde edilen lifler kullanmışlardır. Çalışmada 2 farklı uzunlukta (1,270 cm(1/2 in.), 0,635 cm (1/4 in.)), farklı oranda (%0,35, %0,50) lif ve üç farklı agrega kaynağı kullanılarak hazırlanmış asfalt betonlarının nem hassaslığı ve karışım içerisinde homojen dağılmış polyester liflerin indirek çekme gerilmesi özelliklerini araştırmışlardır. Sonuçta;

- Farklı agrega kaynaklarından alınan agregalarla hazırlanan asfalt karışımlarda farklı agrega kullanımı, farklı lif uzunlukları ve oranları karışımın mekanik özelliklerini etkilemediğini,
- Karışımların Marshall stabilitesi, kontrol numunesinden; 1,270 cm uzunluktaki lif katkılı karışımın stabilite değeri 0,635 cm uzunluktaki lif katkılı karışımdan daha düşük ve liflerin uzunluk ve oranındaki artışla stabilite değerinin yükseldiğini,
- Lif katkılı asfalt karışımların hava boşluğu referans numunesine göre daha yüksek; 0,635 cm uzunluk ve %0,35 lif katkılı karışımın hava boşluğu ise 1,270 cm uzunluk ve %0,50 lif katkılı karışıma göre daha yüksek olduğu ve VMA değerinin asfalt karışıma eklenen lif oranına göre arttığını,
- Lif katkılı karışımların kuru ITS değerleri kontrol numunelerinden düşük, ıslak ITS değerlerini karışımdaki lif içeriğinin düşürdüğünü,
- Hem ıslak hem de kuru içerikte bütün lif katkılı karışımlarda çekme gerilmesi kontrol numunelerine göre önemli oranda yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

3.MATERYAL VE METOD**3.1.Materyal**

Bu bölümde deney numunelerinin hazırlanması için yararlanılan malzemeler ve yöntem hakkında bilgi verilmiştir.

3.1.1.Mineral Agregası

Asfalt betonunun ağırlıkça %90 ila %95, hacimce %75 ila %85' ini oluşturan mineral agregalar; kum, çakıl, kırma taş, cüruf gibi çeşitli büyüklükteki taneli malzemelerdir. Mineral agregası esas olarak kaplamanın yük taşıma kapasitesinden sorumlu olup, buna bağlı olarak asfalt kaplamasının performansı büyük oranda agregaya bağlıdır.

Asfalt kaplama amaçlı agregalar genellikle hazırlanma kaynaklarına göre sınıflandırılmaktadırlar.

1. Ocak ve dere malzemeleri; nehirde, denizden, çöllerden, göl, dere yataklarından ve taş ocaklarından kırılmamış veya kırılmış olarak elde edilen agregalardır. Çakıl boyutları 75 µm (3 in) ile 4,75 mm (No:4), kum boyutları 4,75 mm (No:4) ile 75 µm (No: arasındaki parçacıklardan oluşmaktadır. Boyutları 75 µm (No:200) veya daha da küçük olan taneler ise silt fraksiyonlarını kapsamaktadır. Ocaklardan alınan çakıl ve kumlar asfalt karışımlarında kullanılmadan önce elenmesi ve yıkanması gerekir.

2. Kırma Agregalar; ana kayaların veya büyük taşların tüm agregası parçalarının kırılmış bir yüzeye sahip olacak şekilde, patlatma yöntemiyle kırılmak ve daha sonra konkasörler tarafından boyutsal olarak küçültülmesi ile oluşmaktadır. Konkasör de elde edilen agreganın irisine kırma taş, incesine kırma kum denir. Kırma taş ve kırma kuma ise mıcır adı verilir. Kırma taşın kompozitesi 0,60 dolaylarındadır.

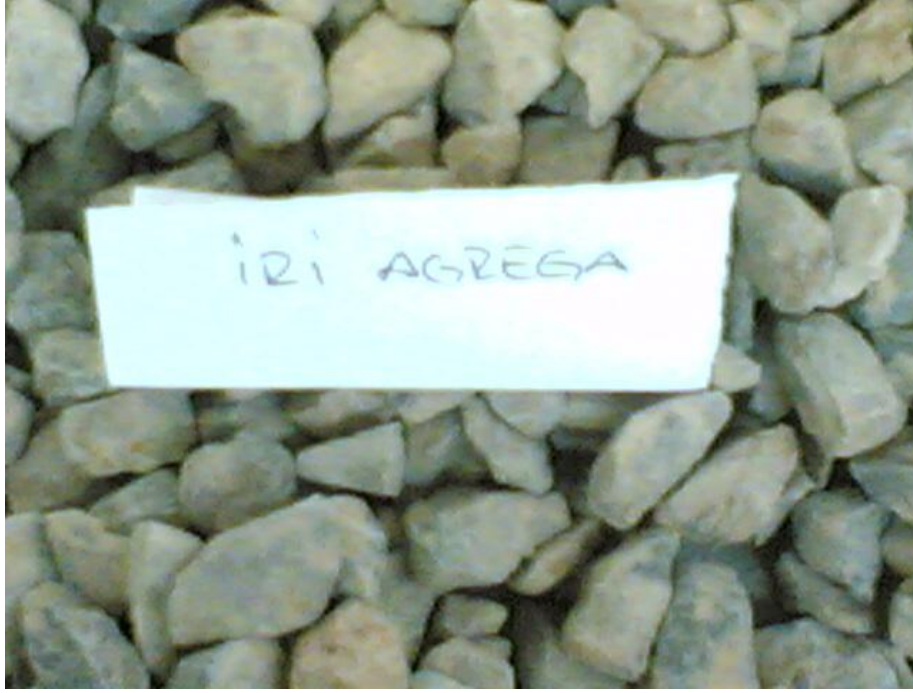
3. Yapay Agregalar; malzemelerin hem fiziksel hem de kimyasal başkalaşımı sonucu ortaya çıkan agregalardır. Yüksek fırın cürufu, izabe cürufu veya yüksek fırın cürufu kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmamış veya kırılmış agregalar yapay agregalardır.

Agregaların tane büyüklükleri de önemli olduğu için bu özelliklerine göre de 3 gruba ayrılırlar.

Çizelge 3.1. Standartlara Göre Agregaların Elek Çapları

İri Agregası	Çakıl	> 4 Nolu Elek
İnce Agregası	Kum	< 4 Nolu Elek
En İnce Agregası	Taş unu (Filler)	≤ 0,25 Nolu Elek

a. İri Agregası (Çakıl): Kırma taş, çakıl veya bunların karışımından elde edilen ve 4mm çaplı eleğin üzerinde kalan malzemelerdir.



Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan İri Agregat

b. İnce Agregat (Kum): Doğal kum, kırma kum veya bunların karışımından elde edilen 4 mm çaplı elekten alta geçen malzemelerdir.



Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan İnce Agregat

c. Karışık (Tüvenan) Agregat: Doğal agregat ocağından doğrudan doğruya elde edilen

elenmiş ince ve iri agregaya karışımıdır. Standart ve şartnamelerde zorunlu kalmadıkça karışık agregaya kullanılması istenmemektedir.

Asfalt karışımlarında kullanma amaçlı olarak bir agregaya malzemesinin seçimi, malzemenin elverişliliği, maliyeti ve kalitesi ile birlikte öngörülmekte olan inşaat türüne göre de değişmektedir. Agregaların asfalt kaplama yapımına uygunluğu, malzemenin aşağıdaki faktörlere göre değerlendirilmesi sonucu belirlenmektedir:

1. Boyut ve Tane dağılımı; maksimum boyutu ile agregaya tane dağılımı şartnameler tarafından mutlaka kontrol edilmelidir. Bir sıcak asfalt kaplamasının minimum serme kalınlığı maksimum agregaya boyutu ile doğrudan ilişkilidir.
2. Temizlik; agregaların bir kısmı (4.75 mm No:4 elekten geçen agregaya) yabancı madde oranı azaltılmadıkça kendilerini asfalt kaplama karışımları için uygun hale getiren belli oranlarda yabancı ve zararlı maddeler içermektedir.
3. Sertlik; agregalar, asfalt kaplama karışımlarının imalat, serme ve sıkıştırma işlemleri sırasında kırılma ve aşındırıcı etkilere aynı zamanda trafik yükleri altında aşınmaya maruz kalmaktadır. Bu nedenle agregalar; belli bir derecede, kırılma, bozulma ve dağılmaya karşı direnç göstermelidir. AASHTO T 96 ile ASTM C 131 mineral agregaların aşınma direncini ölçen Los Angeles Aşınma Deneyini anlatmaktadır.



Şekil 3.3. Los Angeles Deney Cihazı

4. Yüzey Dokusu; asfalt kaplama karışımlarının işlenebilirliği ve mukavemetini etkilemektedir. Pürüzlü yüzey kaplama karışımının mukavemetini artırır ancak işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediğinden daha fazla asfalt gerektirmektedir.

5. Tane Şekli; karışımın işlenebilirliğini değiştirmekle birlikte istenilen yoğunluğun elde edilmesi için gereken sıkıştırma enerjisini etkilemektedir ve karışımın mukavemeti üzerinde de etkiye sahiptir.

6. Absorpsiyon; karışımın asfalt oranında etkilidir. Karışımında kullanılan agreganın porozitesi yüksek olmamalı çünkü asfalt ekonomik açıdan pahalıdır ve optimum miktarda kullanılmalıdır.

7. Asfalta Yatkınlık; soyulma, asfaltın su etkisi ile agregadan sıyrılma-ayrılma hareketi bir agregayı asfalt karışımları için uygunsuz hale getirebilmektedir.

Kullanılan agreganın bütün bu özelliklere sahip olmasının yanı sıra karışımında agrega bileşeninin uygun bir tane dağılımı (granülometri) göstermesi de çok önemlidir.

Agrega tane dağılımı, tane boyutlarının dağılımı olup toplam ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Tane dağılımı, malzemenin çapı sürekli olarak küçülen delikler içeren bir dizi elekten geçirilmesi ve her elekte kalan malzeme miktarının ağırlığının ölçülmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Asfalt kaplama karışımları için agregaların tane dağılımında yaygın olarak ve bu çalışmada kullanılan elek boyutları Çizelge 3.2’ de verilmiş olup, her gradasyon şartnamesinde verilen tüm boyutların kullanılması gerekmemektedir.

Çizelge 3.2. Çalışmada Kullanılan Elek Boyutları

Elek Gösterimi		Elek Açıklığı	
Standart	Alternatif	mm	in.
19	3/4 - in.	19	0,750
12,5	1/2 - in.	12,5	0,500
9,5	3/8 - in.	9,5	0,375
4,75	No. 4	4,75	0,187
2,36	No. 8	2,36	0,0937
600 µm	No.30	0,600	0,0234
300 µm	No.50	0,300	0,0117
150 µm	No. 100	0,150	0,0059
75 µm	No. 200	0,075	0,0029

Agrega tane dağılım şartnameleri inşaat malzemelerinin kontrolü ve arzu edilen bir kalitede kaplama elde etme, yerel olarak bulunan malzemelerden optimum şekilde yararlanılması, boyutların standart hale getirilmesi ile maliyetlerin azaltılması

gereksinimlerinden dolayı geliştirilmiştir. Bir agreganın tane dağılımı; toplam geçen yüzde, toplam kalan yüzde ve geçen/kalan yüzdesi şeklinde ifade edilebilmektedir.

Kullanılacak olan elek boyutları yürürlükteki şartnameler tarafından gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Elekler

Agregalar; kullanım yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılık ve zararlı maddeler bakımında TS 13043 standardının gereklerini yerine getirmelidir.

Asfalt karışım için çok önemli olan ve karışımın çok büyük bölümünü oluşturan agregası, bu çalışmada Çakallı Hasan Ağa Köyünde bulunan Kahramanmaraş Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü Kaya Kırma ve Eleme Tesislerinden sağlanmıştır.



Şekil 3.5. Kahramanmaraş Belediyesi Kaya Kırma ve Eleme Tesisleri



Şekil 3.6. Tesiste Yapılan Kaya Patlatma İşlemi Görüntüleri



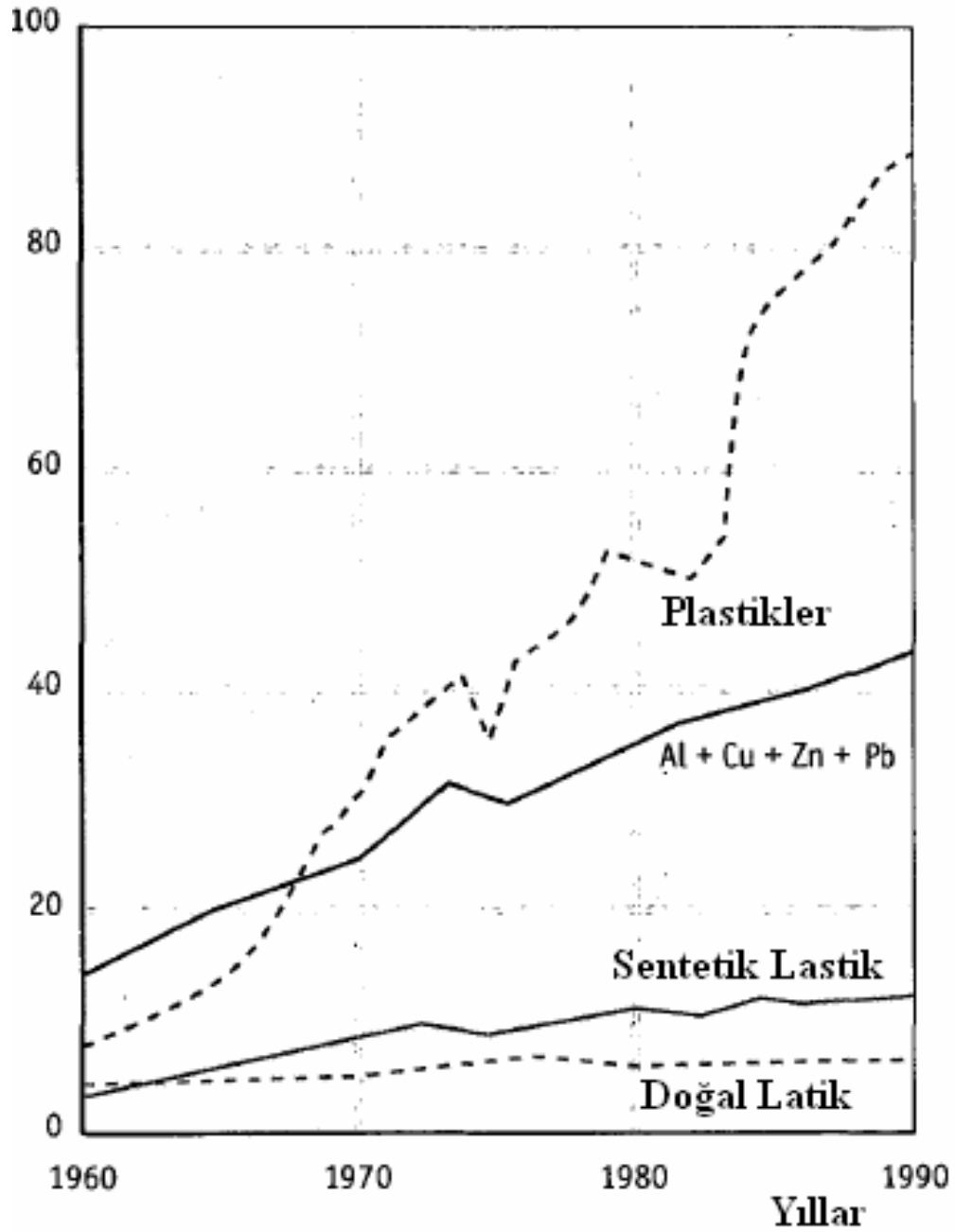
Şekil 3.7. Kahramanmaraş Belediyesi Kaya Kırma ve Eleme Tesisi Görüntüleri

3.1.2. Asfalt Çimentosu

Çalışmada, Kahramanmaraş Belediyesi Asfalt Şantiyesinde kullanılan AC 75-100 asfalt çimentosundan yararlanılmıştır. Orijinal AC 75-100 asfalt çimentosu üzerinde özgül ağırlık, düktilite, penetrasyon, yumuşama noktası, parlama noktası, kinematik viskozite ve ısınma kaybı deneyleri yapılmıştır.

3.1.3. Polietilen Tereftalat (PET)

Dünya’ da tüketimi hızla artmakta olan malzemelerin en önemlisi plastiklerdir. Plastik tüketimi, toplumun konfor yapısı geliştikçe artmıştır. 1960-1990 yılları arasında dünyada plastik kullanımının yıllara göre dağılımı Şekil 3.8’ de verilmiştir.

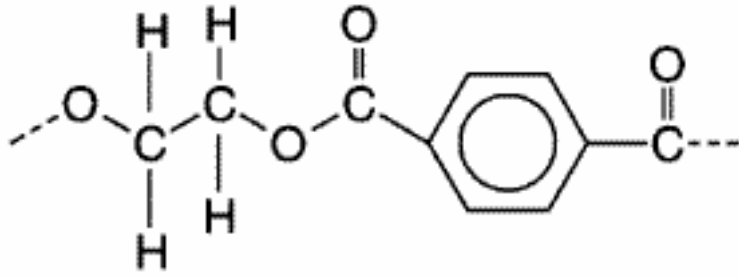


Şekil 3.8. Plastik Tüketiminde Yıllara Göre Gelişme

Günümüzde geniş bir alanda kullanılmakta olan plastik, ilk olarak 1860 yılında Alexander PARKES tarafından keşfedilmiştir. Kaynağı ham petrol, gaz ve kömür olup, ana kaynağı ise petrol rafinerisinden arta kalan bakiye maddelerdir. Plastikler, karbonun hidrojen, oksijen, azot ve diğer organik ve inorganik elementlerle oluşturduğu monomerler diye adlandırılan en küçük ve basit molekülli gruplardaki çift bağın koparılarak polimerler diye adlandırılan uzun zincirli yapıya dönüştürülmesi ile elde edilen insan yapımı maddelerdir.

Gelişen plastik sanayi ile daha az miktarda ürün satın alınmasını sağlayacak ve daha uzun süre dayanabilecek özellikte plastik malzemelerinin yapılması mümkün hale gelmiştir. Bu sayede plastikler, son yıllarda önemi giderek artmakta ve daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır.

Plastikleri ayırt etmek için, plastik teşhis etme kodu kullanılır. Genelde kullanılan 7 tür plastik teşhis etme kodu vardır. Bu çalışmada kullanılan polietilen tereftalat (PET)' in teşhis etme kodu 1' dir ve kimyasal formülü de Şekil 3.9' da verilmiştir.



Şekil 3.9. Polietilen Tereftalat (PET)' in Teşhis Etme Kodu ve Kimyasal Formülü

PET, tereftalik asit ve etilen glikol poliesteridir ve demetil tereftalat ve etilen glikolün çoklu tekrarı ile oluşmaktadır.

Polietilen Tereftalat (PET)' in özellikleri Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Polietilen Tereftalat (PET)' in Özellikleri

Yoğunluk	1,33-1,38 gr/ml
Maksimum Kullanılabilir Sıcaklığı	60 °C
Sertlik Derecesi	Orta
Renk	Açık ve Hafif
Erime Sıcaklığı	250 °C
Kalorifik Değeri	11060 Kkal/kg

PET, kimyasal olarak kararlı, sağlam, dağılmaya, parçalanmaya ve gaz geçişine dayanıklı olup, hızlı yanar, alevleri renksiz, yanarken mum kokusu ve sönerken beyaz duman verirler.

Çeşitli boyutlarda içme suyu, meyve suyu ve bitkisel yağ şişeleri, fıstık yağı kavanozu, mikro dalga gıda tepsisi, salata kapları, günümüzde çoğunlukla PET' in reçine

halinin kalıba dökülmesi ile yapılmaktadır. PET aynı zamanda, tıpta plastik damar ve implantasyon amacıyla da kullanılabilmektedir.

Bütün bu özellikleri nedeniyle kullanım alanı giderek genişlemektedir. Ancak zaman içinde, dünya çapında insanın neden olduğu çevresel etkiyi azaltmak gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Plastik atıkların çevresel etkileri giderek daha büyük oranda dikkati çekmektedir. Plastikler, çevreye atık olarak atıldıkları zaman çok büyük çevre sorunları kaynağı olmaktadır; çöpe atıldıkları zaman çürümez, paslanmaz, biyolojik olarak bozulmaz ve doğada bozulmadan uzun yıllar kalır. Bazı plastikler doğada 700 yıl bozulmadan kalır, suyun ve toprağın kirlenmesine neden olur, sulardaki canlılara zarar verir, hatta ölümleri meydana getirirler. Fakat, plastiklerin ucuz maliyeti bunların atık olarak atılmalarını özendirmekte, yeniden kullanımlarına yönelik çabalar açısından da engelleyici olmaktadır.

PET' ler hakkında dikkat edilmesi gereken bir nokta, bu atıkların oldukça yüksek değerde, ileri teknoloji ürünü plastikler olmasıdır. Cinslerine göre tanınıp ayrılabilirdikleri zaman ikincil ürün üretiminde kullanılmak üzere düşük vasıflı endüstriyel hammadde olarak yararlı olabileceği ileri sürülse bile gerçek çevre maliyeti hesaplandığında yeniden üretime sokmak ilke olarak doğru değildir. Ayrıca, plastik yakımı ortaya birçok zehirli gaz ve zararlı atığın çıkmasına neden olabilecek tehlikeli bir uygulamadır. Plastik yakımına elverişli fırınların maliyeti de çok yüksektir. Aynı zamanda, plastik mühendisliği de pahalı bir iştir.

Geri dönüşümün doğurduğu bu kadar dezavantaja göre PET' in işlenmek üzere geri kazanılması;

- o Yenilenemeyen hammadde kaynaklarını korumak,
- o Tekrar kullanımı artırmak,
- o Depolama alanlarının ömrünü uzatmak,
- o Yeni iş alanları oluşturmak,
- o Katı atık ve bacadan atılan kirletici miktarını azaltmak,
- o Enerji kaynaklarını korumak,

gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Burada ilk akla gelen, PET' lerden bu yöntemle yararlanılması gerekliliğidir. Bu nedenle, çalışmada PET' ler geri dönüştürülmeden düşük maliyetlerle fiber hale getirilip bitümlü karışımlar içerisindeki dayanım ve dayanıklılık üzerine etkilerinin araştırmak amacıyla kullanılmıştır. PET' lerden elde edilen liflerin kalınlığı $\approx 0,7$ mm, uzunluğu 30 ± 1 ila 50 ± 1 mm' dir.



Şekil 3.10. Kalınlığı $\approx 0,7$ mm, Uzunluğu 30 ± 1 ila 50 ± 1 mm Olarak Kesilmiş PET Lif



Şekil 3.11. Pet Lifler

3.1.4. Kullanılmış Otomobil Lastiği

Lastik üretiminde kauçuk kullanımı 18. yüzyıl ortalarında başlamış ve geçtiğimiz yüzyıl ise kauçuğun kükürtle ısıtılması sonucu yapışkan ve gevşek malzeme, sert ve elastik hale geldiği görülmüştür. Böylece otomobil tekerleklerini kaplayan ve bir çok avantajı beraberinde getiren lastik üretimi mümkün olmuştur. Oto lastikleri önceleri dolgu, sonra da basınçlı hava içeren şekilde yapılmış ve genelde kauçuk yanında çelik tel, tekstil elyafı ve az miktarda baca kurumu, yağ, reçine ve çinko oksit içermektedir. Otomobil lastiğinin bileşim Şekil 3.12' de verilmiştir.



Şekil 3.12. Lastiğin Bileşimini Oluşturan Malzeme Yüzde Dilimleri

Lastik üretiminde kullanılan materyaller olağanüstü kuvvetlidir ve binlerce mil asfalt yoldaki abrasif temasa dayanıklı olacak şekilde dizayn edilmektedir. Eski lastikler tekrar kaplansa bile, üzerlerindeki bireysel bileşimler bağlı olarak kalmaktadır. Teknik olarak, lastiğin kullanım süresi dolduğunda tüm kauçuk, çelik ve kumaş geri kazanılabilmektedir.

Eski lastikler çeşitli şekillerde değerlendirilmektedir. Değerlendirme çeşitleri harcanan çaba ve kullanım alanında farklılık gösterir. Bunlar aşınmış kaplamanın tekrar yapılmasından lastik içindeki kauçuk, çelik ve tekstilin parçalanmasına kadar olanları içermektedir. Lastiklerin geri kazanım yöntemleri Şekil 3.13' de verilmiştir.

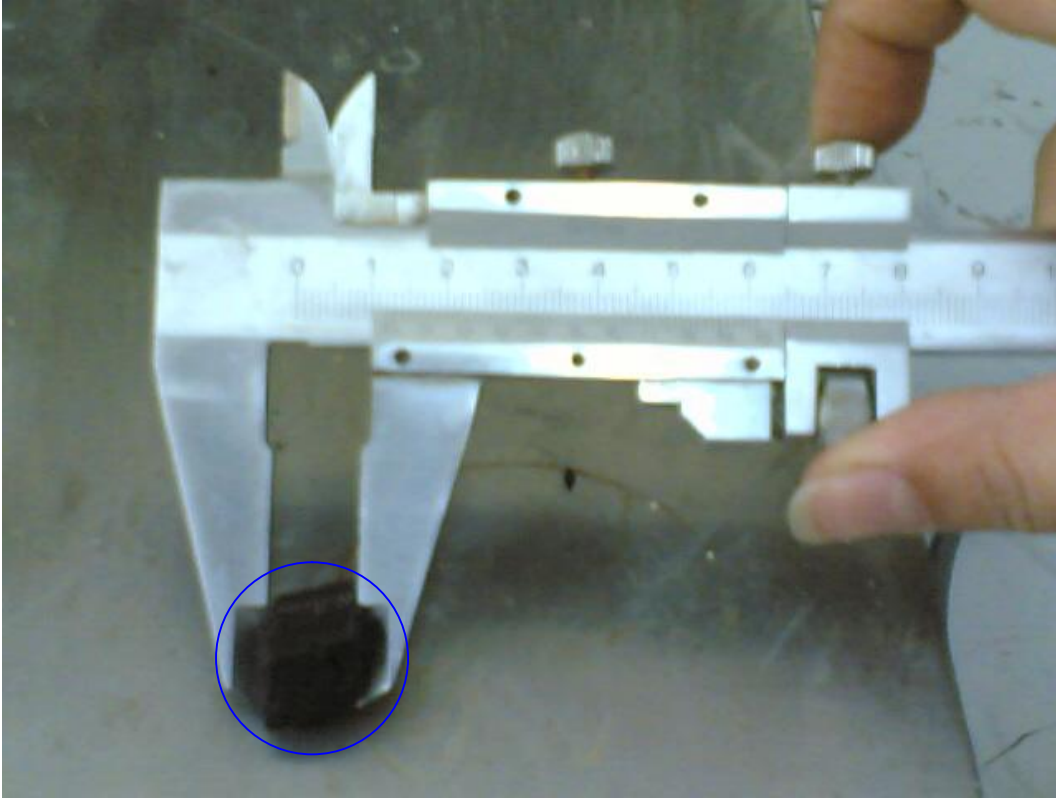


Şekil 3.13. Eski Lastiklerin Değerlendirilme Yöntemleri

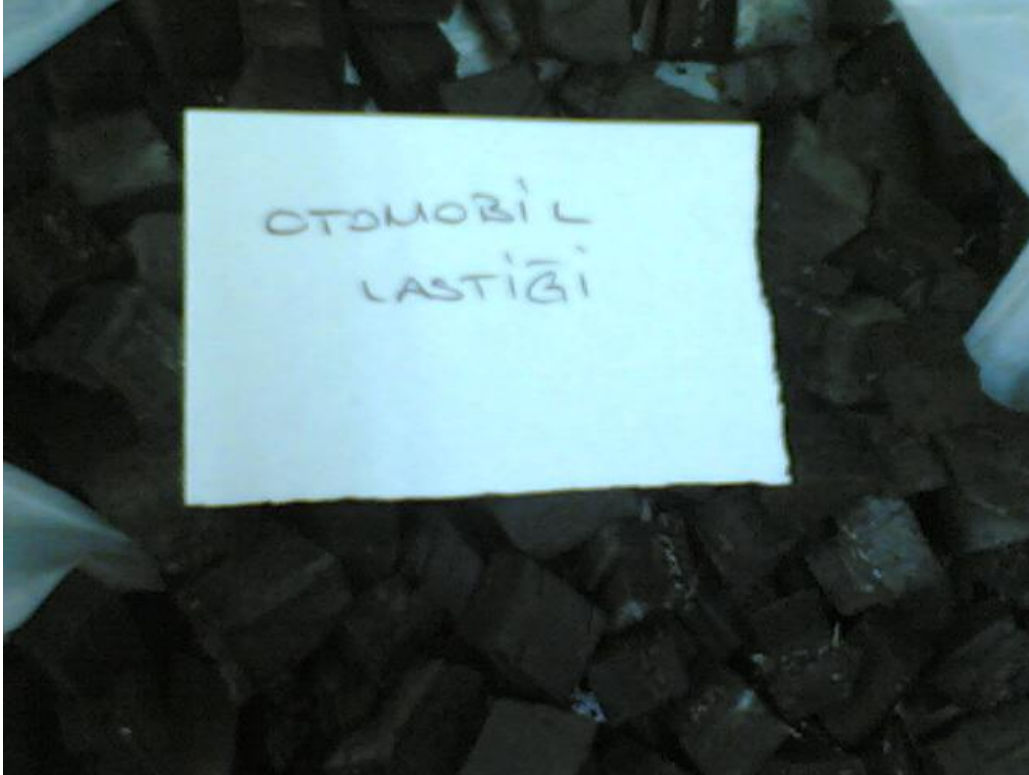
Birçok lastik üzerindeki tırtıkları aşınmadan atılmaktadır. Bunlar bir lastik deposunda toplanıp kullanılmış lastik piyasasında tekrar satışa sunulabilir. Kullanılmış ve tekrar satılabilecek lastiklerin ayrılması, depolanma sahasına giden lastik oranını %5-10 azaltmaktadır. Ancak yine de, tekrar kullanım sınırlı ölçüde mümkün olduğu için eski kauçuktan mamül ürünler mümkün olduğunca malzeme olarak kullanımı sağlanmalıdır.

Yeniden kullanımı durumunda ürünün kullanımı doğrudan devam ederken, malzeme veya hammaddenin tekrar kullanımı söz konusu olduğunda kullanılabilir ürün elde etmek için büyük çaba göstermek gerekir.

Bu çalışmada ise; lastiklerden doğrudan değerlendirme (tekrar kullanma) yöntemiyle yararlanılmıştır. Yaklaşık 1 cm – 1 cm ebatlarında parçalanmış, 12,5 mm eleğinin üzerinde kalan lastikler, 12,5 mm elek üstü malzemesi yerine asfalt karışımına katılmıştır. Katkı malzemesi olarak kullanılan lastikler Şekil 3.14’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Yaklaşık 1 cm – 1 cm Ebatlarında Parçalanmış Otomobil Lastiği



Şekil 3.15. Çalışmada Kullanılan Otomobil Lastiği

3.2. Metot

Bu bölümde, deney numunelerinin özelliklerinin belirlenmesi ve deney numunelerinin test edilmesi için kullanılan deney metotları hakkında bilgi verilmiştir.

3.2.1. Mineral Agregası

Bu çalışmada kullanılan agrega Çakallı Hasan Ağa Köyünde bulunan Kahramanmaraş Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğü Kaya Kırma ve Eleme tesislerinden temin edilmiştir.

Agregalar bağlayıcılar yardımıyla asfalt yapımında kullanılır ve asfalt karışımın ağırlıkça %90 ila 95' ini oluşturduğundan agregaların özellikleri karışımın özelliklerine doğrudan yansımaktadır. Bu nedenle agregaların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için deneyler yapılmıştır.

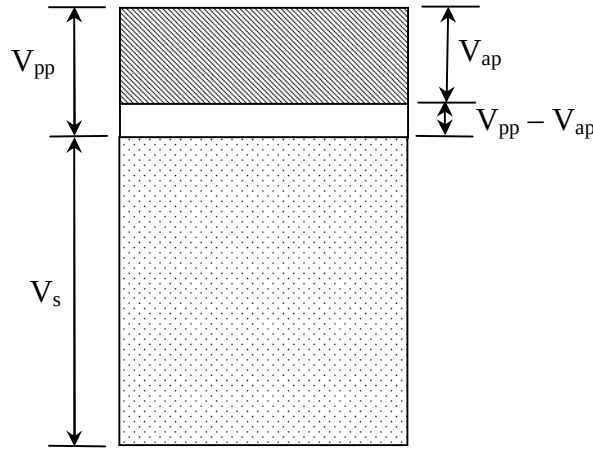
3.2.1.1. Özgül Ağırlık

Bir agreganın özgül ağırlığı, malzemenin birim hacim ağırlığının 20 ila 25 °C sıcaklıktaki aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanmaktadır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve bitümlü karışımların hesabında kullanılır. Bitümlü karışımlarda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının bulunması gerekmektedir. Özgül ağırlık agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise karışıma uygun agregayı tanımlamaktadır.

Tanenin hacim dağılımına bağlı olarak, agrega için genel olarak kabul gören 3 ayrı özgül ağırlık vardır; Zahirî Özgül Ağırlık, Hacim Özgül Ağırlık, Efektif Özgül Ağırlık.

Şekil 2.7' den anlaşılacağı üzere, zahiri özgül ağırlık, hacmi, agreganın kendi hacmi olarak ele almakta ve 24 saat suda tutma sonrasında içi su dolan gözenek ve kılcal boşlukların hacmini dikkate alınmamaktadır. Hacim özgül ağırlık ise; agrega parçacığının toplam hacmini ele almakta ve 24 saatlik suda tutma işlemi sonunda içi su ile dolu olan gözenek ve kılcal boşlukları da hesaba katmaktadır.

Diğer yandan, efektif özgül ağırlık agreganın asfalt emen boşlukları dışındaki toplam hacmi dikkate almakta ve zahiri ile hacim özgül ağırlık değerlerinin ortalaması olarak yaklaşık aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir.



V_s : Katıların Hacmi

V_{pp} : Su Geçirgen gözeneklerin Hacmi

V_{ap} : Asfalt Emen Gözeneklerin Hacmi

$V_{pp} - V_{ap}$: Asfalt Emmeyen Su Geçirgen Gözeneklerin Hacmi

Şekil 3.16. Bir Agrega Tanesinin Oluşumu İle Çeşitli Özgöl Ağırlık Değerleri Arasındaki İlişkiler

Sıkıştırılmış asfalt kaplama tabakası içindeki hava boşlukları karışım bütününde asfalta sarılmış agrega tanelerinin arasındaki küçük hava cepleri şeklinde ortaya çıkmaktadır. Asfalt karışım hesaplamalarında kullanılan bir agregaya ilişkin özgöl ağırlık seçimi, sıkıştırılmış kaplama içindeki hesaplanmış hava boşluğu oranı üzerinde büyük etkiye sahip olabilmektedir. Karışım içindeki agreganın gerçek özgöl ağırlığı, agreganın asfalt emme (absorpsiyon) derecesine bağlıdır. Zahiri özgöl ağırlık kullanıldığında, asfaltın bütün su geçiren gözeneklerin asfalt emdiği varsayılmaktadır. Bunun yerine hacim özgöl ağırlık yaklaşımı kullanılır ise; su geçirgen gözenekler tarafından asfalt emildiği kabul edilmektedir.

3.2.1.1.1. İri Agrega İçin Özgöl Ağırlık Deneyi

Kullanılan agrega örneğinden yaklaşık 1 kg alınmış, 24 saat suda bırakılmıştır. Sonra yüzeyleri bezle kurutulup, tartılmıştır. Bir tel sepete konarak suya batırılıp, sudaki ağırlığı tartılmıştır. Daha sonra malzeme etüvde 105 ° C' de 24 saat kurutulup, havadaki ağırlığı tartılmıştır.

W_{kuru} : Kuru Ağırlık (gr)

W_{kyd} : Doygun Yüzey Kuru Ağırlık (gr)

W_{suda} : Sudaki Ağırlık (gr)

$$\text{Kuru Yüzey Doygun Özgöl Ağırlık} = \frac{W_{kyd}}{W_{kyd} - W_{suda}}$$

$$\text{Kuru Özgöl Ağırlık} = \frac{W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kyd}} - W_{\text{suda}}}$$

$$\text{Görünür Özgöl Ağırlık} = \frac{W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kuru}} - W_{\text{suda}}}$$

$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W_{\text{kyd}} - W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kuru}}} \times 100$$

3.2.1.1.2. İnce Agreganın İçin Özgöl Ağırlık Deneyi

İnce agreganın 24 saat suda bırakılmıştır. Ertesi gün kohezyonunu kaybedinceye kadar kurumaya terk edilmiş, sonra bu haldeki malzemeden 500 gr alınıp, piknometreye konulmuş ve üzerine piknometre doluncaya kadar su ilave edilmiştir. Piknometre içindeki

malzeme alınıp, etüvde kurutulmuş, sonra da tartılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda ince agreganın özgül ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

W_{kuru} : Kuru Agreganın Ağırlığı

W_{kyd} : Kuru Yüzey Doygun Ağırlığı

$W_{\text{p+su}}$: Piknometre ve su Ağırlığı

$W_{\text{p+su+kum}}$: Piknometre, Su ve Kum Ağırlığı

$T^{\circ}\text{C}$: 18°C

$$\text{Malzemenin Boşluksuz Hacmi} = (W_{\text{kyd}} + W_{\text{p+su}}) - W_{\text{p+su+kum}}$$

$$\text{Kuru Yüzey Doygun Özgöl Ağırlık} = \frac{W_{\text{kyd}}}{(W_{\text{kyd}} + W_{\text{p+su}} - W_{\text{p+su+kum}})}$$

$$\text{Kuru Özgöl Ağırlık} = \frac{W_{\text{kuru}}}{(W_{\text{kyd}} + W_{\text{p+su}}) - W_{\text{p+su+kum}}}$$

$$\text{Görünür Özgöl Ağırlık} = \frac{W_{\text{kuru}}}{(W_{\text{kuru}} + W_{\text{p+su}}) - W_{\text{p+su+kum}}}$$

$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W_{\text{kyd}} - W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kuru}}} * 100$$

3.2.1.2. Los Angeles Aşınma Deneyi

Bu deney, iri agregaların parçalanma direncini tayin etmek için yapılan işlemleri kapsamaktadır.

Laboratuar numunesi kütlesi en az 19 kg olup 10 mm, 11,2 mm (veya 12,5 mm), 14 mm açıklıklı eleklerde elenmiş, ayrı kaplara konularak yıkanmış, sabit kütleye kadar kurutulmuş ve karıştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra azaltılarak deney numunesi oluşturulmuş, deney numunesinin kütlesi 5000 ± 5 g' a getirilmiştir. Deney, 14 mm deney eleğinden geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan kaba agregalara uygulanmıştır.



Şekil 3.17. Deneyde Kullanılan Elekler

Deney kısmının tane büyüklüğü dağılımı aşağıdaki şartlardan birine uygun olmalıdır.

- 12,5 mm deney eleğinden geçen agrega miktarı %60 ile %70 arasında
- 11,2 mm deney eleğinden geçen agrega miktarı %30 ile %40 arasında

Tane dağılımındaki ilave özellikler, deney kısmının 10/14 mm' den farklı üründen oluşturulmasına izin verilir. Çizelge 3.4' de değişik dar aralık sınıfları için kullanılarak bilya yükleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Alternatif Dar Aralık Sınıfları

Aralık Sınıfları (mm)	Bilya Sayısı	Bilya Kütlesi (g)
4 – 8	8	3410 – 3540
6,3 – 10	9	3840 – 3980
8 – 12	10	4260 – 4420
11,2 – 16	12	5120 – 5300

Elenmiş numuneler, her bir fraksiyonu ayrı kaplara yerleştirilmiş ve üzeri örtülünceye kadar su ilave edilmiştir. Yeterli şiddetle çalkalayarak ince tanelerin tamamen ayrılması sağlanmıştır. Islanan numune elek üzerine dökülüp, geçen su tamamen berraklaşınca kadar yıkama yapılmıştır. Eleğin üzerinde kalan agrega kütle farkı $\pm 0,1$ toleransla sabit oluncaya kadar $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ de etüvde kurutulmuştur. Fraksiyonlar oda sıcaklığında soğutulmuştur. Her iki fraksiyon karıştırılmış, laboratuvar numunelerinin azaltılması ile deney numunesi hazırlama metotları (TS EN 932-2)' ye uygun şekilde ve miktarda deney numunesi parçası alınmıştır.

10-14 mm arasındaki 5000 ± 5 g deney numunesi için 11 adet bilya yükü kullanılmıştır. Numuneyi yüklemeyi önce tamburun temiz olup olmadığı kontrol edilmiş, makineye önce dikkatlice bilyalar, sonra deney numuneleri konulmuştur. Numunelerin konulduğu makinenin devri 31 devir/dk ile 33 devir/dk arasında olacak sabit hızla 500 devir döndürülmüştür.

Numuneler alınıp, yıkama işlemine geçilmiştir. 1,6 mm eleğinin üzerinde kalan agrega kütle farkı $\pm 0,1$ toleransla sabit oluncaya kadar kurutulmuş ve oda sıcaklığında soğutulduktan sonra tartılmıştır.

Yukarıda anlatılan şekilde elde edilen datalar aşağıda verilen formülasyona göre hesaplanmıştır.

$$U = \frac{P - P_u}{P}$$

3.2.1.3. Tanelerin Biçim Bakımından Kontrolü

İri agrega tanelerinin biçimlerinin bu cins malzemelerin karakteristikleri üzerinde önemli etkileri vardır. En uygun biçimli agrega, taneleri küre şeklinde olanlarıdır çünkü, aderans ve dayanım daha yüksek olacaktır. Bu şekillerden çok ayrılan elemanlara kusurlu taneler denilmektedir.

İri agreganın hacimsel katsayısı denilen karakteristiği aşağıda verilen formülasyonla saptanmaktadır.

$$h = \frac{v}{\pi d^3/6}$$

3.2.1.4. Agregatane Dağılımı

Agregatane dağılımı, tane boyutlarının dağılımı olup toplam ağırlığın yüzdesi olarak ifade edilmektedir.

Kaplama tabakası kendine gelen yükleri sabit bir deformasyona uğramadan temel tabakasına geçirecek kadar kararlı olmalıdır. Bu da agreganın granülometrik bileşimine, tanelerin şekline ve direncine bağlıdır (Umar ve Açar, 1991).

Asfalt kaplama karışımları için kullanılan agregatane dağılımında yaygın olarak kullanılan elek boyutları Çizelge 3.5’ de verilmiş olup, her tane dağılımı şartnamesinde tüm boyutların kullanılması gerekmemektedir.

Çizelge 3.5. Çalışmada Kullanılan Elek Boyutları

Elek Gösterimi		Elek Açıklığı	
Standart	Alternatif	mm	in.
19	3/4 - in.	19	0,750
12,5	1/2 - in.	12,5	0,500
9,5	3/8 - in.	9,5	0,375
4,75	No. 4	4,75	0,187
2,36	No. 8	2,36	0,0937
600 µm	No.30	0,600	0,0234
300 µm	No.50	0,300	0,0117
150 µm	No. 100	0,150	0,0059
75 µm	No. 200	0,075	0,0029

Agregatane dağılımı şartnameleri;

- İnşaat malzemelerinin kontrolü ve arzu edilen bir kalitede kaplama elde etme,
- Yerel olarak bulunan malzemelerden optimum şekilde yararlanılması,
- Boyutların standart hale getirilmesi ile maliyetlerin azaltılması gereksiniminden dolayı gerçekleştirilmiştir.

Agrega granülometrisine ve diğer özelliklerine ait şartname sınırları Çizelge 3.6' da verilmiştir (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1994).

Çizelge 3.6. Agrega Granülometrisine Ait Şartname Sınırları

Elek Boyutu	Binder Tabakası Ağırlıkça Geçen %					Aşınma Tabakası Ağırlıkça Geçen %				
	Tip A	Tip B	Tip C	Tip A	Tip B	Tip C	Tip D	Tip E	Tip F	
1"	100	100	100	---	---	---	---	---	---	
¾ "	82-100	80-100	77-100	100	100	100	---	---	---	
½ "	68-87	63-81	59-77	89-100	84-100	81-100	100	100	100	
3/8 "	60-79	54-72	49-66	80-95	75-91	71-87	87-100	87-100	80-100	
No. 4	46-65	50-58	34-52	64-81	57-75	52-70	66-82	60-77	55-72	
No. 10	34-51	28-45	23-39	48-65	42-59	36-53	47-64	41-58	36-53	
No. 40	17-29	14-25	12-22	26-40	22-35	17-30	24-36	20-32	16-28	
No. 80	9-18	8-16	7-14	15-26	12-22	9-19	13-22	11-19	8-16	
No. 200	2-7	2-7	2-7	4-10	4-10	4-10	4-10	4-10	4-10	

Tüm sıcak karışımli asfalt kaplama şartnameleri agregatanelerinin belirli boyut aralıklarında kalmalarını ve her bir tane boyutunun belirli oranlarda olmasını gerektirmektedir. Kullanılan agregada içindeki çeşitli tane boyutların bu şekilde dağılımına agregatane dağılımı veya karışım tane dağılımı adı verilmektedir.

Deneye başlamadan önce, deney numunesi etüv kurusu durumuna getirilmek için 24 saat 105°C' de değişmez ağırlığa getirilmiştir. Etüv kurusu durumuna getirilmiş deney numunesi oda sıcaklığına gelince tartılmıştır. Numune, elek takımının en üstündeki elekten doldurularak kapak kapatıldıktan sonra sarsma makinesi çalıştırılıp elemeye başlanmıştır. Eleme işlemi sonunda 0,1 gr duyarlıklı terazilerde elek üstünde kalan miktar tartılmıştır ve daha sonra geçen ve kalan ağırlıkların yığılımlı ağırlıkları bulunmuştur.

Agregatane dağılımı için Şartnamede belirtilen alt ve üst sınırlar Çizelge 3.7' de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Tane Dağılımı Şartnamesi ve Agregaların Elek Analizi

Yüzde Geçen									
Elek	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	300 µm	150 µm	75 µm
Şartname Alt Sınır	100	80	70	50	35	18	13	8	4
Şartname Üst sınır	100	100	90	70	50	29	23	16	10

3.2.2. Asfalt Çimentosu**3.2.2.1. Penetrasyon Deneyi**

Yarı katı veya akıcı olmayan bağlayıcıları kıvamlarının viskozimetre ile ölçülmesi mümkün değildir. Bu durumda penetrasyon deneyi yapılır. Penetrasyonu ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir.



Şekil 3.18. Penetrasyon Deney Aleti (Penetrometre)

Penetrasyon Deneyi yapılırken, penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilmiş ve gösterge sıfıra getirilmiştir. Numune şartnamede belirtilen sıcaklığa (25°C' de) ve ağırlığa (100 gr) getirilmiştir. İğne, numune yüzeyine degecek şekilde ayarlanıp, belirli bir zaman aralığında serbest bırakılmıştır. 5 sn' lik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunmuştur. En kısa zamanda, kabın kenarından ve birbirinden en az 1 cm' lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılmıştır. (TS 118, 1998)

Penetrasyon derecesi yükseldikçe daha yumuşak bağlayıcı söz konusudur. Buna karşılık viskozimetrede durum terstir. Normal yol işlerinde kullanılan asfaltların penetrasyonu 30 ile 300 arasında değişir. Penetrasyonu aynı olan iki asfalttan yumuşama noktası yüksek olan sıcaklığa daha dayanıklıdır (Umar ve Ağar, 1998).

3.2.2.2. Düktilite Deneyi

Bitümlü karışımlar genleşme ve büzülme doğuran ısı değişikliklerine maruz kaldıklarından, bağlayıcıların belli bir düktilite özelliğine sahip olması gerekir. Bir asfaltın düktilitesi, belirtilen koşullar altında standart bir briketin kopmadan uzayabileceği (cm) cinsinden uzaklık olarak belirtilir. Düktilite, yavaş etkiyen yükler altında bağlayıcının esneme kabiliyetinin bir ölçüsüdür (Umar ve Ağar, 1991).

Deneyde, eritilmiş numune '8' şeklinde kalıp içine doldurulmuş ve oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Briketin minimum kesit alanı 1 cm²' dir. Soğuyan kalıplar deney sıcaklığındaki su banyosuna bırakılmıştır. Kalıba yapışan fazla kısımlar sıcak bir bıçakla alınıp, kalıbın yan parçaları çıkarılmış, deney briketi düktilometreye yerleştirilmiştir. Burada 5 cm/dk' lık sabit bir hızla çekmeye maruz bırakılmıştır. Asfalt ipliğinin kopmasına kadar katedilen yol, düktilite olarak ölçülmüştür (cm). Deney 25 °C sabit sıcaklıkta su banyosu içinde yapılmıştır. Şekil 3.19' da düktilite deney aleti verilmiştir.



Şekil 3.19. Düktilite Deney Aleti

Normal bir deneyde kopma, çekilmekte olan maddenin muayyen bir noktada ayrılması veya iplik şeklinde uzamakta olan numunenin kesit alanının sıfıra inmesi anıdır. Böyle üç normal deney sonuçlarının ortalaması numunenin düktilitesi olarak bulunmuştur.

Deney esnasında bitümlü madde suyun üst yüzeyine veya banyonun tabanına değerse bu normal bir deney olarak kabul edilmemiştir (TS, 1964).

3.2.2.3. Özgül Ağırlık Deneyi

Bir bağlayıcının özgül ağırlığı bunu belirli bir hacminin ağırlığının aynı hacimde su ağırlığına oranıdır. Bir bağlayıcının özgül ağırlığı başlıca iki bakımdan önemlidir. Birincisi; çok defa ağırlıkla hacim arasındaki bağıntının bilinmesi faydalıdır. Bitümlü kaplamalara ait şartnamelerde oranlar ağırlıkça yüzde cinsinden belirtilir. Buna karşılık bağlayıcılar çok defa hacimce ölçülür. Sıcak karışımlarda ise bağlayıcının genleşme katsayısının belirlenmesi faydalıdır. Böylece herhangi bir sıcaklıktaki özgül ağırlık hesaplanabilir.

İkincisi; hidrokarbonlu bağlayıcının cinsinin bilinmesi açısından özgül ağırlık yararlıdır (Umar ve Açar, 1991).

Özgöl ağırlık tayini için piknometre metodu kullanılmıştır. Bu metotta, önce boş piknometre kabı kuru olarak tartılmış, daha sonra su ile doldurulup, tekrar tartılmıştır. Piknometre kabı boşaltılmış, kurutulup, içine uygun miktarda bağlayıcı genellikle 2/3 yüksekliğine kadar ya küçük parçalar halinde veya eritilmiş malzeme akıtılarak konulmuştur. Isıtılmış malzeme akıtıldığı için malzeme içinde hava kabarcıkları kalmamasına dikkat edilmiştir. Piknometre içinde kalan boşluk su ile doldurulup, tartılmıştır. Deneyde kullanılacak suyun saf su olmasına dikkat edilmiştir. Deney, genellikle 25 °C' de yapılmıştır.

3.2.3. Marshall Deney Numunelerinin Hazırlanması

Marshall Stabilite Deneyi; Marshall Stabilite Deney Aleti yardımıyla bitümlü kaplama karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karşı direncin ölçülmesini kapsar (ASTM D 1559-89, 1992). Ülkemizde karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir. Bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyi olup numune yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz (Umar ve Açar, 1991).



Şekil 3.20. Marshall Stabilite Deney Aleti

Deneyde; üst segman sabittir. Alt segman yükleme hızı ise 50,8 mm/dakikadır. Basınç arttıkça stabilometrede okunan değer artarak maksimuma ulaşır daha sonra düşmeye başlar. Bu andan numune kırılır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi saptanır. ‘Marshall Stabilite’ adı verilen bu değer örneğin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında örneğin çökme ya da hareket miktarı da ölçülür. Buna ‘akma’ denir. Ayrıca bu deneyle karışımın birim ağırlığı, boşluk oranı ve bağlayıcı ile dolu bunan agreganın boşluğu yüzdesi de saptanır (Umar ve Açar, 1991).

Marshall deney numuneleri en az bir gece oda sıcaklığında bekletilen sonra boyları ölçülerek havada, suda ve doymuş-yüzey kuru ağırlıkları tartılıp, deneye alınmıştır. Numuneler istenilen sıcaklığa getirmek için 30-40 dakika su banyosunda bekletilmiştir. Banyo sıcaklığı asfalt çimentolu briketler için 60°C’ dir.



Şekil 3.21. Çalışmada Kullanılan Su Banyosu Cihazı

Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilmiştir. Akma ölçer (flowmeter) yerleştirilerek sıfırlanmıştır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50,8 mm’ lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılmıştır. Maksimum yük kaydedilmiştir. Akma ölçer boşaltılıp, akma değeri ölçülmüştür. Deney numunesini su banyosundan çıkarılıp, yüksekliği 63,5 mm’ den farklıysa Marshall Stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak yüke düzeltme faktörü uygulanır (ASTM D 1559-89, 1992).

Bir karışım veya agrega tane dağılımı için Marshall Metodu ile optimum asfalt miktarı tayini için, muhtelif asfalt miktarını ihtiva eden numune serileri hazırlanmıştır. Bu numunelerin muayyen bazı tecrübeler tabi tutulması sonucu elde edilen değerlere istinaden çizilen eğrilerden bir optimum değer bulunmuştur. Deney numuneleri, asfalt miktarının her numune serisinde % 0,5 artırılarak optimum asfalt miktarına nazaran en az % 2 aşağıdan başlanarak yine optimum değeri % 2 aşacak şekilde ayarlanması suretiyle hazırlanmıştır.

Deney numuneleri $63,5 \pm 1,27$ mm (2,5 inç $\pm$ 0,05 inç) yüksekliğinde briket hazırlayabilecek miktarda (yaklaşık 1200 gr) agrega numunesi ile önceden belirlenmiş miktarda bitüm ile hazırlanır (TS 3720).

Optimum bitüm muhtevasının tespit edilmesi için Marshall Deney Metodu kullanılarak belirlenen agrega tane dağılımı sabit tutularak 5 farklı bitüm muhtevası araştırılmıştır. Bunun için; %4,0; 4,5; 5,0; 5,5 ve 6,0 bitüm muhtevalarında üçer adet Marshall numuneleri hazırlanmıştır.

Çizelge 3.8. Marshall Briket Tipleri

TİP A	TİP B	TİP C	TİP D	TİP E
Mineral Agrega + % 4,00 Bitüm	Mineral Agrega + % 4,50 Bitüm	Mineral Agrega + % 5,00 Bitüm	Mineral Agrega + % 5,50 Bitüm	Mineral Agrega + % 6,00 Bitüm



Şekil 3.22. Optimum Bitüm Muhtevasını Belirlemek İçin Hazırlanan Bir Grup Numuneler

Asfalt çimentosu ve sıvı petrol asfaltın 170 ± 20 °C viskozite oluşturacak şekilde ısıtılacağı sıcaklık, karıştırma sıcaklığıdır. Numuneler 101,6 mm (4 inç) çapında ve 76,2 mm (3 inç) yüksekliğindeki numune kabında, 457,2 mm (18inç) den düşen 4536 g ağırlığındaki özel bir tokmakla sıkıştırılmıştır. Numunenin her iki yüzüne trafik durumuna göre orta trafik dikkate alınarak 50 darbe vurulmuştur.



Şekil 3.23. Marshall Numuneleri Sıkıştırma Aleti

Marshall numunelerini hazırlamak amacı ile iki farklı agrega karışımı hazırlanmıştır. İlk agrega karışımında 12,5 mm elek üzerinde kalan kaba agrega kadar aynı boyutlarda kesilmiş otomobil lastiği kullanılmıştır.



Şekil 3.24. Agregada Gradasyonunda İri Agregaya Yerine Otomobil Lastiği Katılan Asfalt Karışımı

İkinci agregada karışımında ise; kaba ve ince agreganın cinsi ve miktarı değişmezken agregada miktarının %0,3; 0,5; 0,75; 1,00; 1,50 ve 3,00 oranında PET lif katkı olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.9. Katkılı Marshall Briketleri Tipleri

TİP 1 Referans Numune	TİP 2	TİP 3	TİP 4
Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm	Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + 100,68 gr Otomobil Lastiği	Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + % 0,3 PET Lif	Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + % 0,5 PET Lif

TİP 5	TİP 6	TİP 7	TİP 8
Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + % 0,75 PET Lif	Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + % 1,0 PET Lif	Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + % 1,5 PET Lif	Mineral Agregada + % 5,33 Bitüm + % 3,0 PET Lif



Şekil 3.25. Agregat Karışımı



Şekil 3.26. Asfalt Karışımına PET Lif Katılması

Agrega karışımları ve katkıları etüvde 165 °C sıcaklığa kadar ısıtılmıştır, akışkan kıvamına gelene kadar eritilen bitüm ilave edilmiştir.



Şekil 3.27. Asfalt Çimentosu İlave Edilmesi

Daha sonra bitüm-agrega-katkı karışımları iyice karıştırılmıştır. Karıştırılan numuneler Marshall kalıplarına konulup sıkıştırma işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.28. Malzemelerin Karıştırılması



Şekil 3.29. Karıştırılmış Asfalt Karışımı

Asfalt betonu karışım numuneleri her bir agrega karışım formülasyonu için 3 adet olarak hazırlanmıştır. Marshall Stabilite ve Akma deneyi için hazırlanan toplam numune sayısı Çizelge 3.10' de verilmiştir.

Çizelge 3.10. Hazırlanan Katkılı Marshall Numuneleri Sayısı

DENEY	Otomobil Lastiği	%0,3 PET Lif	%0,5 PET Lif	%0,75 PET Lif	%1,00 PET Lif	%1,50 PET Lif	%3,00 PET Lif
Marshall Stabilite ve Akma Deneyi	3	3	3	3	3	3	3

TOPLAM 21



Şekil 3.30. Katkı Kullanılarak Yapılan Marshall Numuneleri

Sıkıştırılan Marshall numuneleri kırılma işleminden önce 40 dk 60 °C suda bekletilmek üzere su ile temasını kaldırmak için parafinle kaplanmıştır. Parafinle kaplanmış bir grup Marshall numunesi Şekil 3.31’ de verilmiştir.



Şekil 3.31. Parafinle Kaplanmış Marshall Numuneleri

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR**4.1. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri**

Çalışmada kullanılan mineral agreganın fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deney verileri, hesaplamaları ve sonuçları Çizelge 4.3' de verilmiştir.

4.1.1. İri Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi Bulguları

W_{kuru} : 595,10 gr

W_{kyd} : 601,20 gr

W_{suda} : 389,80 gr

$$\text{Kuru Yüzey Doygun Özgül Ağırlık} = \frac{W_{kyd}}{W_{kyd} - W_{suda}} = \frac{601,20}{601,20 - 389,80} = \underline{\underline{2,844 \text{ gr/cm}^3}}$$

$$\text{Kuru Özgül Ağırlık} = \frac{W_{kuru}}{W_{kyd} - W_{suda}} = \frac{595,10}{601,20 - 389,80} = \underline{\underline{2,815 \text{ gr/cm}^3}}$$

$$\text{Görünür Özgül Ağırlık} = \frac{W_{kuru}}{W_{kuru} - W_{suda}} = \frac{595,10}{595,30 - 389,80} = \underline{\underline{2,899 \text{ gr/cm}^3}}$$

$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W_{kyd} - W_{kuru}}{W_{kuru}} \times 100 = \frac{601,20 - 595,10}{595,10} \times 100 = \underline{\underline{\% 1,03}}$$

Çizelge 4.1. İri Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi Sonuçları

Deney Adı	İlgili Standart	Bulunan Değerler
Kuru Yüzey Doygun Özgül Ağırlık	(ASTM C 127-88, 1992)	2,844 gr/cm ³
Kuru Özgül Ağırlık		2,815 gr/cm ³
Görünür Özgül Ağırlık		2,899 gr/cm ³
Su Emme Yüzdesi		1,03

4.1.2. İnce Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi Bulguları

W_{kuru} : 30,02 gr

W_{kyd} : 30,34 gr

W_{p+su} : 507,96 gr

$W_{p+su+kum}$: 527,41gr

T °C : 18 °C

$$\text{Malzemenin Boşluksuz Hacmi} = W_{kyd} + W_{p+su} - W_{p+su+kum} = 30,34 + 507,96 - 527,41 \\ = \underline{\underline{10,89 \text{ gr}}}$$

$$\text{Kuru Yüzey Doygun Özgül Ağırlık} = \frac{W_{kyd}}{W_{kyd} + W_{p+su} - W_{p+su+kum}} = \frac{30,34}{30,34 + 507,96 - 527,41} \\ = \underline{\underline{2,786 \text{ gr/cm}^3}}$$

$$\text{Kuru Özgül Ağırlık} = \frac{W_{kuru}}{(W_{kyd} + W_{p+su}) - W_{p+su+kum}} = \frac{30,02}{(30,34 + 507,96) - 527,41} = \underline{\underline{2,757 \text{ gr/cm}^3}}$$

$$\text{Görünür Özgül Ağırlık} = \frac{W_{\text{kuru}}}{(W_{\text{kuru}} + W_{\text{p+su}}) - W_{\text{p+su+kum}}} = \frac{30,02}{(30,02 + 507,96) - 527,41} = \underline{\underline{2,840 \text{ gr/cm}^3}}$$

$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W_{\text{kyd}} - W_{\text{kuru}}}{W_{\text{kuru}}} * 100 = \frac{30,34 - 30,02}{30,02} * 100 = \underline{\underline{\% 1,15}}$$

Çizelge 4.2. İnce Agrega İçin Özgül Ağırlık Deneyi Sonuçları

Deney Adı	İlgili Standart	Bulunan Değerler
Malzemenin Boşluksuz Hacmi	(ASTM C 128-88, 1992)	10,89 gr
Kuru Yüzey Doygun Özgül Ağırlık		2,786 gr/cm ³
Kuru Özgül Ağırlık		2,757 gr/cm ³
Görünür Özgül Ağırlık		2,840 gr/cm ³
Su Emme Yüzdesi		1,15

4.1.3. Los Angeles Aşınma Deneyi Bulguları

P : 5000 gr

P_u : 3541 gr

$$U = \frac{P - P_u}{P} = \frac{5000 - 3541}{5000} = 0,29 \quad (\underline{\underline{\% 29}})$$

4.1.4. Tanelerin Biçim Bakımından Kontrolü Bulguları

Agrega karışımında kusurlu malzeme hakkında bir fikir edinmek için;

250 gr ağırlığında iri agreg a numunesi alınmış, bir miktar malzeme içinde bulunan tanelerin en büyük boyutları ölçülmüştür. Bu değerler bulunduktan sonra hesaplamalar yapılmıştır.

$$H = \frac{V_1+V_2+V_3+....}{\pi/6*(d_1^3+d_2^3+d_3^3+....)} = \frac{98,21}{3,14/6*53,275} = \underline{\underline{3,523}}$$

Çalışmada kullanılan mineral agreganın fiziksel özelliklerini veren deneysel sonuçlar Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Mineral Agreganın Fiziksel Özellikleri

Çalışmada Kullanılan Agreganın Fiziksel Özellikleri	
Deneyin Adı	Sonuçlar
Kaba Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı (gr/cm ³)	2,815
İnce Agreganın Hacim Özgöl Ağırlığı (gr/cm ³)	2,757
Su Absorpsiyon Deneyi (%)	1,09
Los Angeles Aşınma Deneyi (%)	29
Danelerin Biçim Kontrolü	3,523

4.1.5. Agrega Tane Dağılımı Bulguları

Çizelge 4.4. Agrega Tane Dağılımına Dönüştürülen Elek Analizi Verileri

Elek Boyutu	Elek Üzerinde Kalan Ağırlık (gr)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı Ağırlık (gr)	Elek Üzerinde Kalan Yığılımlı q (%)	Elekten Geçen Yığılımlı p (%)
19.0 mm	-	0	0	100-0= 100
12.5mm	503,4	503,4	$(503,4/5000)*100=10,07$	100-10,07= 89,93
9.5 mm	543,45	1046,85	$(1046,85/5000)*100=20,97$	100-20,97= 79,03
4.75 mm	877,7	1924,55	$(1924,55/5000)*100=38,52$	100-38,52= 61,48
2.36 mm	720,85	2645,4	$(2645,4/5000)*100=52,94$	100-52,94= 47,06
600 µm	1150,17	3796,25	$(3796,25/5000)*100=75,96$	100-75,96= 24,04
300 µm	276,05	4072,3	$(4072,3/5000)*100=81,48$	100-81,48= 18,52
150 µm	265,2	4337,5	$(4337,5/5000)*100=86,78$	100-86,78= 13,22
75 µm	341,2	4678,7	$(4638,7/5000)*100=93,60$	100-93,6= 6,4
Tava	319,8	4998,5	$(4998,5/5000)*100=99,97$	100-99,97= 0,03

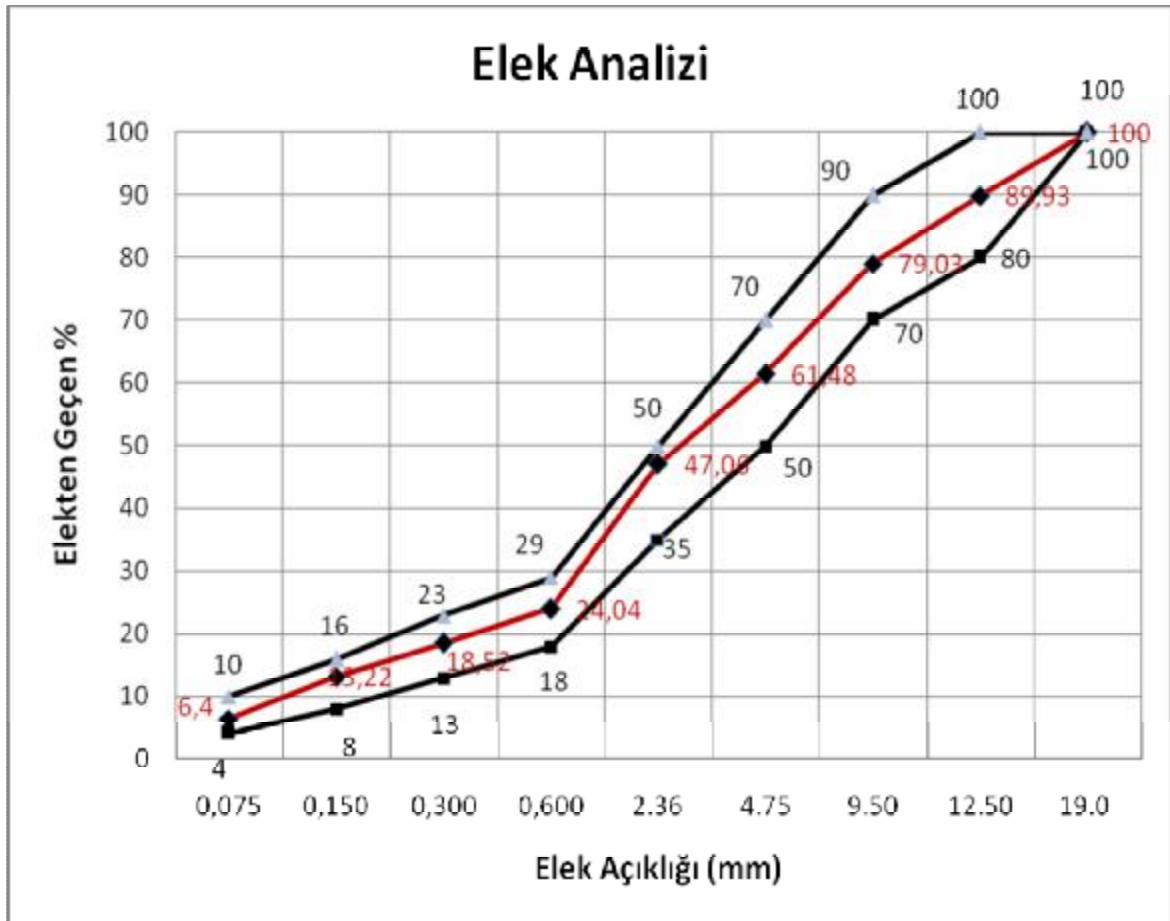
TS 3530 deneyin kabul edilebilirliği çerçevesinde zayıf olan kısım maksimum 6,61 iken deney sonucun da kayıp 1,5 olduğundan deney kabul edilebilirlik sınırındadır. ($6,61 > 1,5$)

Çizelge 4.5. Elek Analizi

Elek Boyutu	Elekten Geçen Yığılımlı p (%)
19.0 mm	100
12.5mm	89,93
9.5 mm	79,03
4.75 mm	61,48
2.36 mm	47,06
600 µm	24,04
300 µm	18,52
150 µm	13,22
75 µm	6,4
Tava	0,03

Çizelge 4.6. Tane Dağılımı Şartnamesi ve Agregaların Elek Analizi

Yüzde Geçen									
Elek	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	600 µm	300 µm	150 µm	75 µm
Şartname Alt Sınır	100	80	70	50	35	18	13	8	4
Çalışmada Kullanılan	100	89,93	79,03	61,48	47,06	24,04	18,52	13,22	6,4
Şartname Üst sınır	100	100	90	70	50	29	23	16	10



Şekil 4.1. Tane Dağılımı Eğrisi

4.2. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

4.2.1. Penetrasyon Deneyi Bulguları

Çalışmada kullanılan asfalt çimentosundan alınan penetrasyon okumaları aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.7. 25 °C’ de Asfalt Çimentosunun Penetrasyon Deneyi Sonuçları

1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
85,1 mm	84,6 mm	85,9 mm	<u>85,2</u> mm

Çizelge 4.8. 4 °C’ de Asfalt Çimentosunun Penetrasyon Deneyi Sonuçları

1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
18,5 mm	17,6 mm	18,8 mm	<u>18,3</u> mm

TS 118’ e göre penetrasyon deneyi sonucunda elde edilen değerlerin birbirlerinden tolerans değeri 1872 olup, değerler bu toleransın dışında değildir.

4.2.2. Düktilite Deneyi Bulguları

Çalışmada kullanılan asfalt çimentosunun düktilite deneyinin sonuçları Çizelge 4.9’ da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Düktilite Deneyi Sonuçları (cm)

1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama
114,1	113,5	114,0	<u>113,9</u> ≥ 100

4.2.3. Özgöl Ağırlık Deneyi Bulguları

Asfalt çimentosunun özgöl ağırlık deneyi sonucunda bulunan değerleri ve hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

A : 1,03 gr

B : 26,03 gr

C : 26,73 gr

$$\text{Özgöl ağırlık} = \frac{C-A}{B-A} = \frac{26,73 - 1,03}{26,03 - 1,03} = \underline{\underline{1,028}} \text{ gr/cm}^3$$

Çalışmada kullanılan bağlayıcının fiziksel özelliklerini veren deneysel sonuçlar Çizelge 4.10' da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özellikleri

Çalışmada Kullanılan Asfalt Çimentosunun Fiziksel Özellikleri (AC 75-100, AC-10)	
Deneyin Adı	Sonuçlar
Özgöl Ağırlık(gr/cm ³)	1,028
Düktilite (cm)	113.9 ≥ 100
Penetrasyon (0,1mm) 25 °C de, 100 gr, 5 sn 4 °C de, 100 gr, 5 sn	85.2 18.3
Yumuşama Noktası (°C)	48
Parlama Noktası (°C)	304
Kinematik Viskozite,135 °C, mm ² /sn	352
Isınma Kaybı (%)	0,8

Çalışmada kullanılan AC-10 ‘un özgül ağırlığı yapılan çalışmalar sonucunda 1,028 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Bu sonuç farklı literatürler tarafından desteklenmektedir (Sayın ve ark., 2005).

TS 118 de de belirtildiği üzere deneyi yapan kişi farkı bile deney sonucunda değişiklik oluşturmakta ancak aynı standartta verilen tolerans değeri yaptığımız çalışmanın verilerini karşılamaktadır.

Yapılan parlama noktası deneyi sonucunda 304 °C parlama noktası değerine ulaşılmıştır, asfalt çimentosunun fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan parlama noktası deneyi sonucunda aynı değere ulaşılmıştır (Alataş, 2006).

Literatür çalışmalarında kullanılan aynı asfalt çimentosu üzerinde yapılan yumuşama noktası deneyinde yumuşama noktası değeri 48 °C olarak bulunmuştur (Sayın ve ark., 2005).

Kinematik viskozite 352 mm²/sn olarak bulunmuştur. Aynı asfalt çimentosunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneyler sonucunda literatür tarafından kinematik viskozite 354 mm²/sn bulunmuş ve elde edilen değer literatür tarafından da desteklenmektedir (Alataş, 2006). TS 1093 açıklandığı üzere farklı laboratuvarlarda ayrı kimseler tarafından aynı numune üzerinde yapılan deneylerin sonuçları arasında asfalt çimentoları için 135 °C de 8,8 mm²/sn fark olabilir. Çalışmada kullanılan asfalt çimentosundan elde edilen kinematik viskozite değeri TS 1093 de verilen sınırlar dahilindedir.

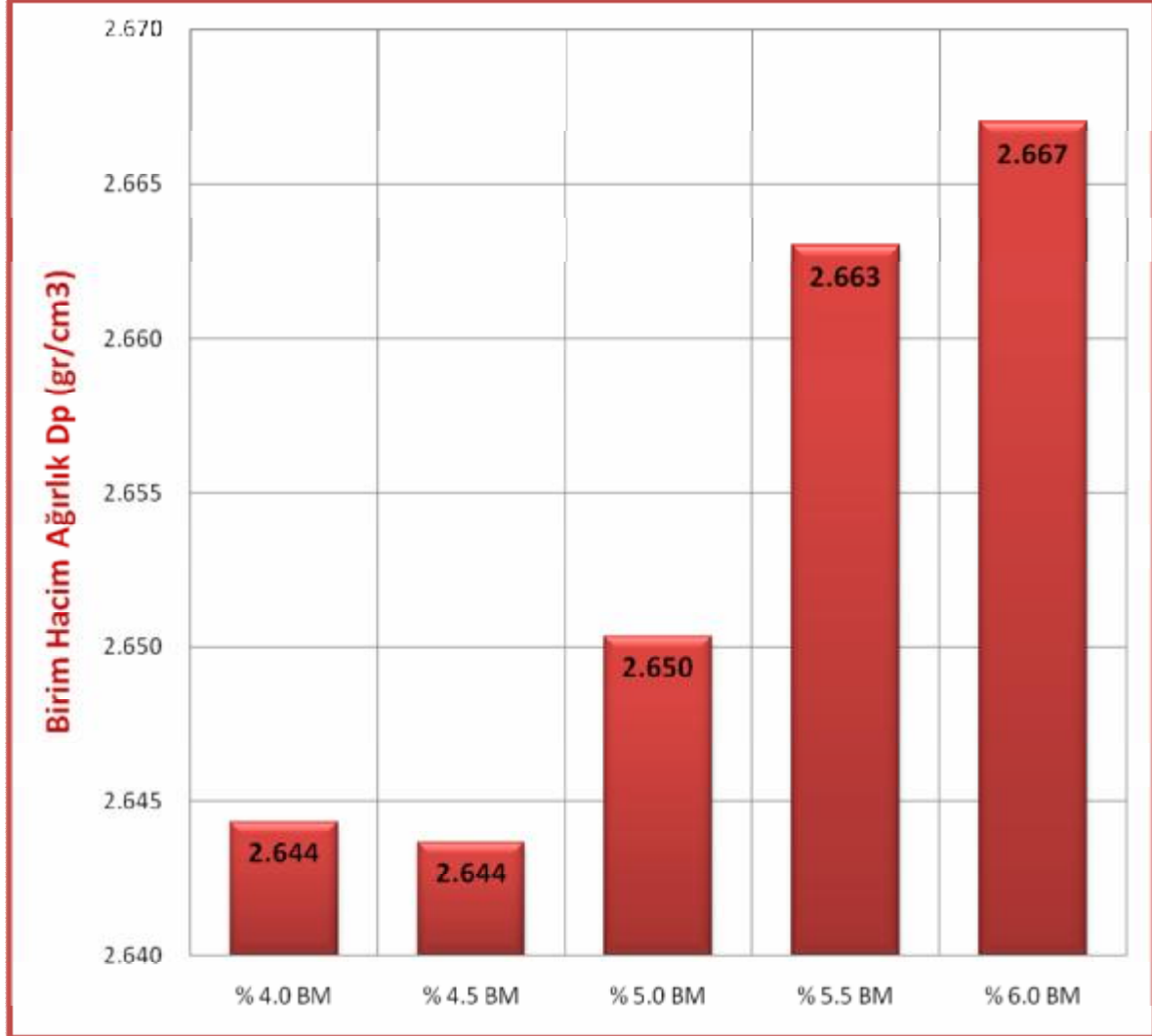
4.3. Optimum Bitüm Muhtevasının Bulunması

Optimum bitüm muhtevasının tespit edilmesi için Marshall Deney Metodu kullanılarak belirlenen agrega tane dağılımı sabit tutularak 5 farklı bitüm muhtevası araştırılmıştır. Bunun için; %4,0; 4,5; 5,0; 5,5 ve 6,0 bitüm muhtevalarında hazırlanan üçer adet Marshall numuneleri Marshall Test Cihazında test edilerek denenmiş ve her bitüm grubu için elde edilen sonuçlar aşağıdaki Çizelge 4.11’ de verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR**ESRA YAŞMUN****Çizelge 4.11.** Beş Farklı Bitüm Muhtevası İçin Marshall Değerleri

	Wa %	Wb %	D _t (gr/cm ³)	D _p (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
%4,0 BM	4,00	3,846	2,797	2,648	5,33	13,95	61,79	1,99	1060
				2,641	5,58	14,18	60,65	2,00	1010
				2,644	5,47	14,08	61,15	2,10	1020
	Ortalama	3,846	2,386	2,644	5,46	14,07	61,20	2,03	1030
%4,5 BM	4,50	4,306	2,774	2,641	4,79	14,59	67,17	2,21	1515
				2,647	4,58	14,40	68,19	2,11	1335
				2,643	4,72	14,53	67,52	2,37	1350
	Ortalama	4,306	2,371	2,644	4,70	14,51	67,63	2,23	1400
% 5,0 BM	5,00	4,762	2,752	2,651	3,67	14,68	75,00	2,40	1680
				2,644	3,92	14,90	73,69	2,59	1720
				2,656	3,49	14,51	75,95	2,60	1626
	Ortalama	4,762	2,356	2,650	3,69	14,70	74,88	2,53	1675
% 5,5 BM	5,50	5,213	2,73	2,661	2,53	14,76	82,86	2,74	1750
				2,664	2,42	14,66	83,49	2,72	1790
				2,664	2,42	14,66	83,49	2,86	1810
	Ortalama	5,213	2,342	2,663	2,46	14,69	83,28	2,77	1783
% 6,0 BM	6,00	5,837	2,709	2,665	1,62	15,03	89,22	2,95	1530
				2,669	1,48	14,91	90,07	3,07	1524
				2,667	1,55	14,97	89,65	3,04	1594
	Ortalama	5,837	2,328	2,667	1,55	14,97	89,65	3,02	1549

Birim hacim ağırlık, numunenin havadaki ağırlığının hacmine oranı olarak bulunmuş olup, bitüm muhtevası arttıkça ağırlığının artması ve daha boşluksuz sıkıştığı için hacmi azaldığından bitüm muhtevası arttıkça birim hacim ağırlığının arttığı görülmüştür. Deneyin sonucuna ilişkin grafik Şekil 4.2’ de verilmiştir.

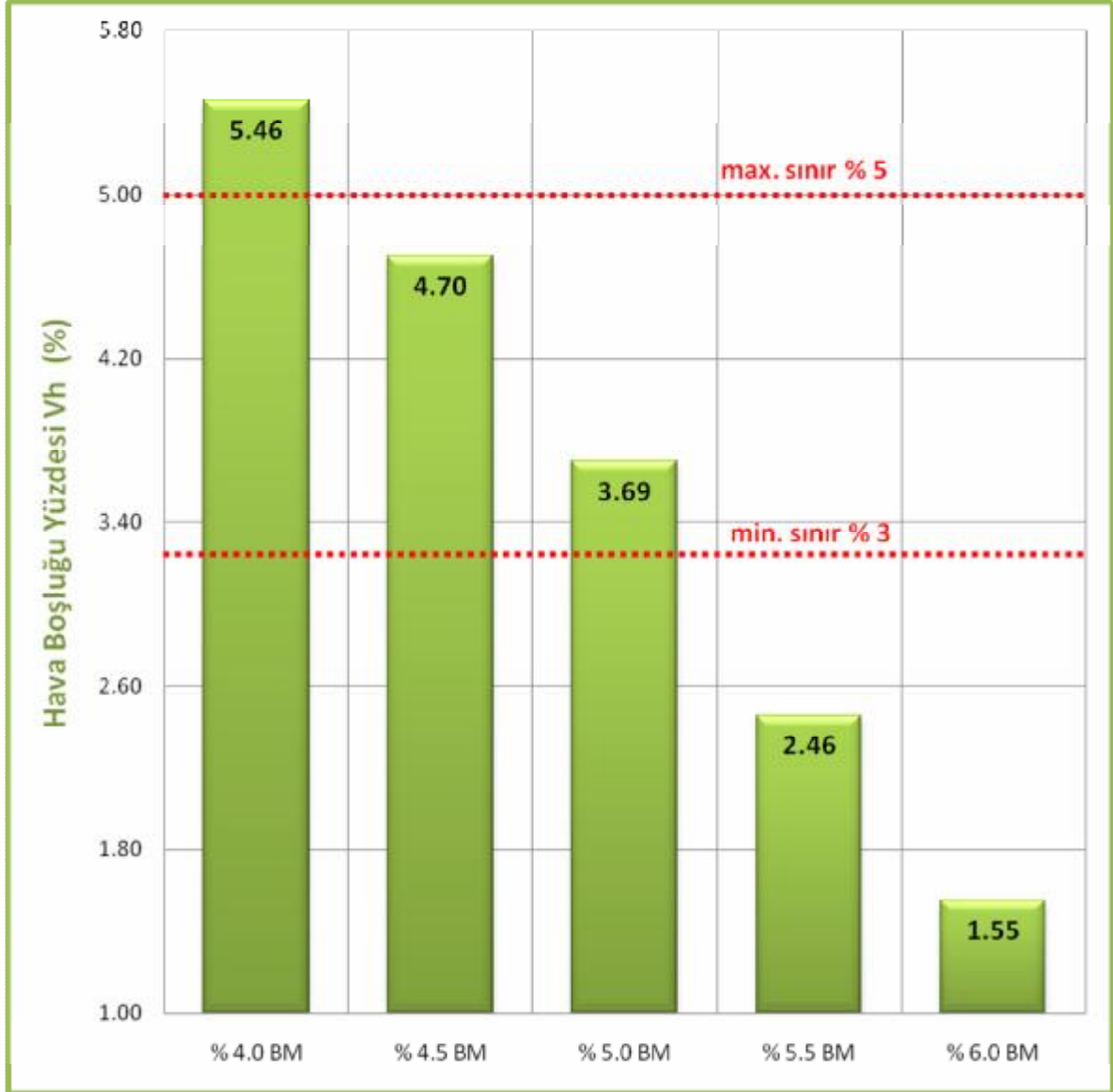


Şekil 4.2. Numune – Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

Numunelerin birim hacim ağırlık değerlerine göre çizilen grafik, bitüm muhtevası ile birim hacim ağırlık arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Bitüm miktarının artması ve sıkıştırma işleminde daha az boşluk oluştuğundan en yüksek birim hacim ağırlık değeri $2,667 \text{ gr/cm}^3$ ile %6,0 BM numunelerden, bitüm miktarı en az olan %4,0 BM numunelerde agregalar arası boşluk dolayısıyla hacim daha fazla olduğundan en düşük birim hacim ağırlık değeri olan $2,644 \text{ gr/cm}^3$ bu numunelerden alınmıştır.

Numunenin teorik özgül ağırlığının özgül ağırlık farkı, teorik özgül ağırlığına oranının yüzdesi olarak hesaplanan hava boşluğu yüzdesinin bitüm muhtevası arttıkça azaldığı görülmüştür. Bununla ilgili grafiksel gösterim Şekil 4.3’ de verilmiştir.

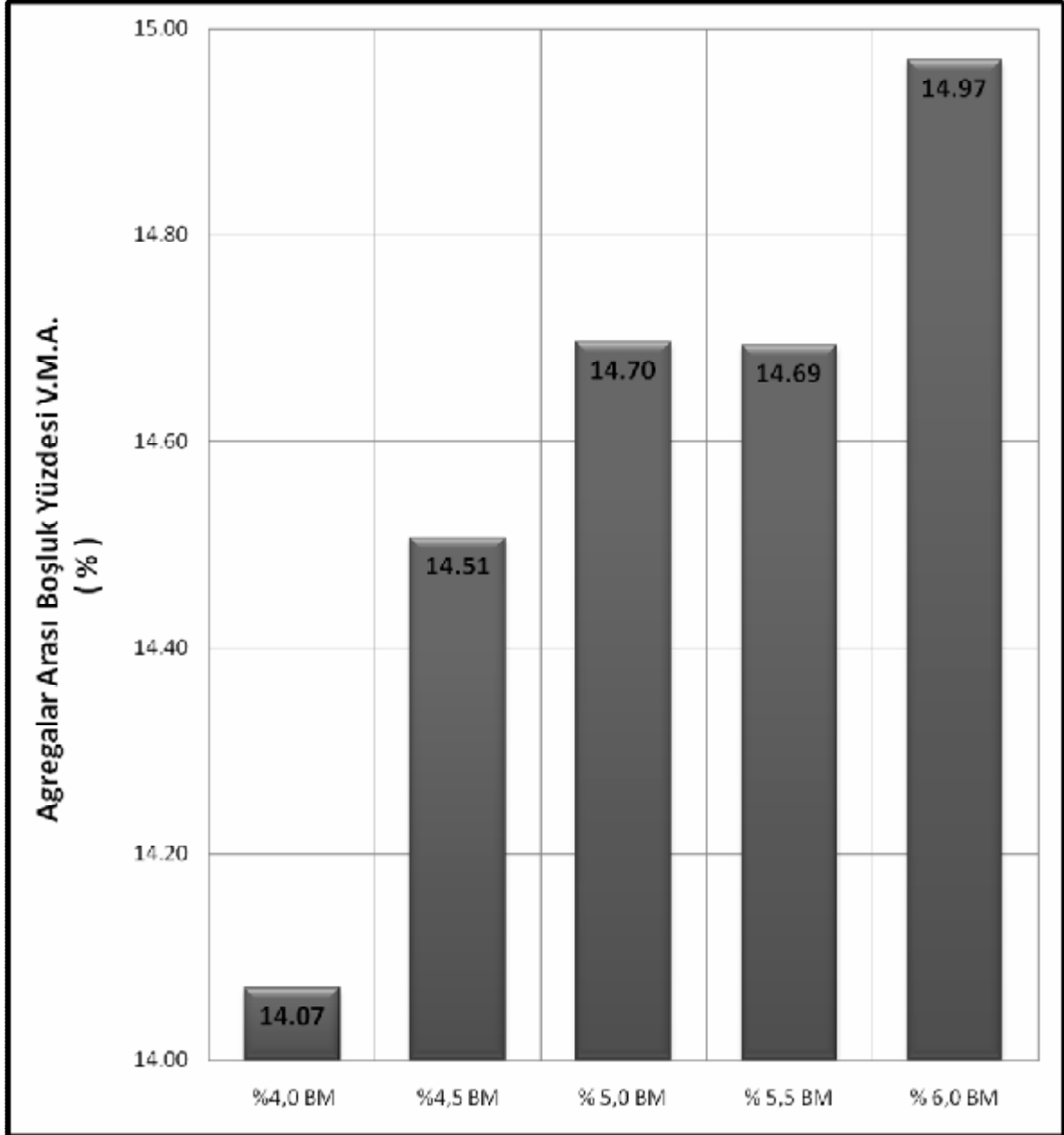


Şekil 4.3. Numune – Hava Boşluğu Yüzdesi İlişkisi

Grafikten, numunelerin birim hacim ağırlık değerlerinde de önemli bir kriter olan hava boşluğunun bitüm muhtevası ile ters orantılı olduğu görülmektedir.

Bitüm muhtevasının artmasıyla sıkıştırma işleminin daha sağlıklı gerçekleşmesi numunedeki hava boşluğunu azaltmaktadır. Bu doğrultuda, en yüksek bitüm muhtevasına sahip %6,0 BM numunelerden en az hava boşluğu değeri % 1,55 olarak elde edilmiştir.

Deney sonucunda numunelerden alınan agregalar arası hava boşluğu yüzdesi grafiği Şekil 4.4’ de verilmiştir.

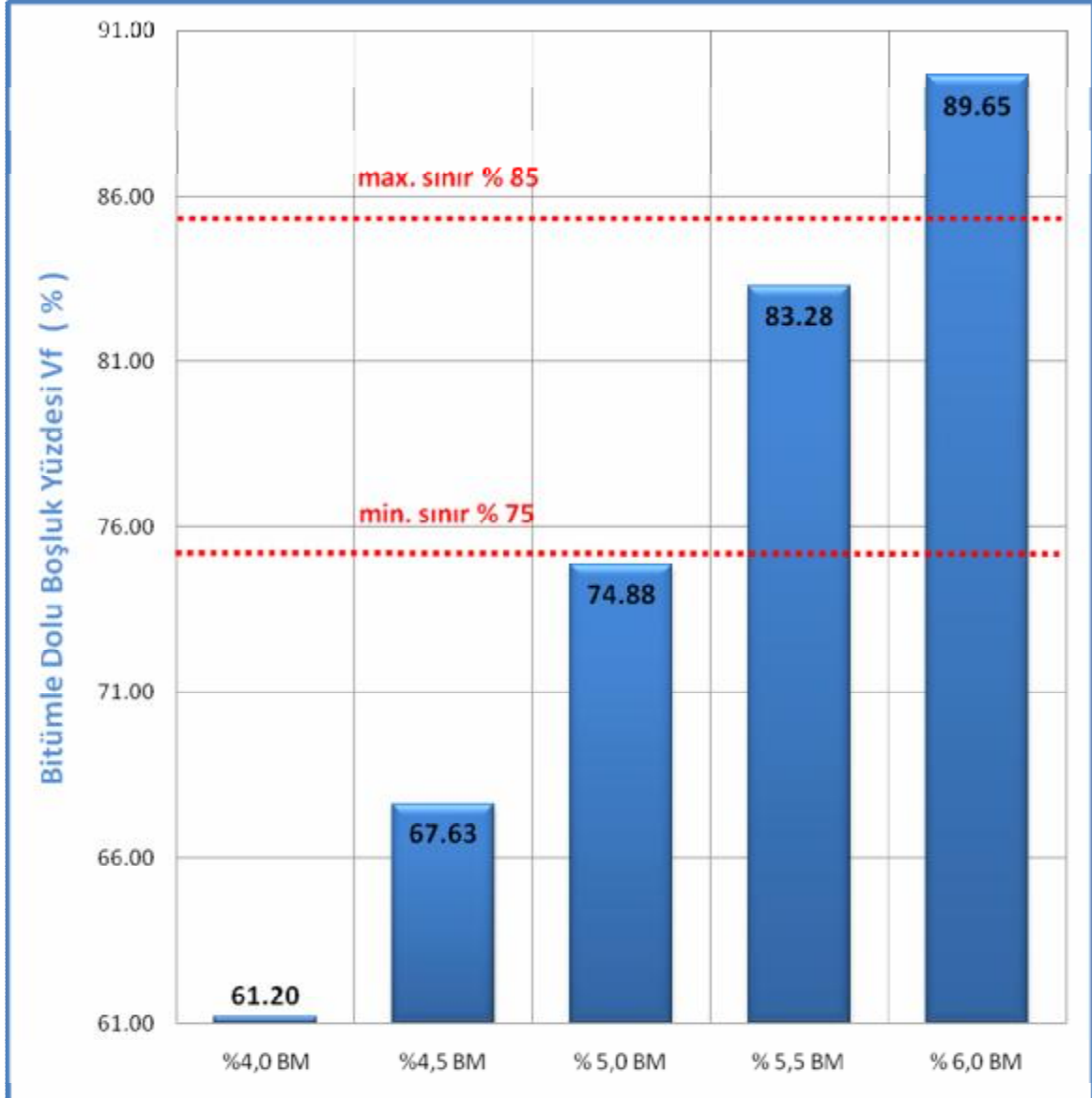


Şekil 4.4. Numune – Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi İlişkisi

Yapılan numuneler arasında, % 4,0 BM briketlerin agregalar arası boşluk yüzdesi oranının düşük olduğu, % 6,0 BM briketlerin boşluk yüzdesi değerinin % 5,5 BM briketlerden

daha fazla olduğu ve en iyi agregalar arası boşluk yüzdesi sonucunu veren numunelerin % 4,0 BM numuneler olduğu çizilen grafikte görülmektedir.

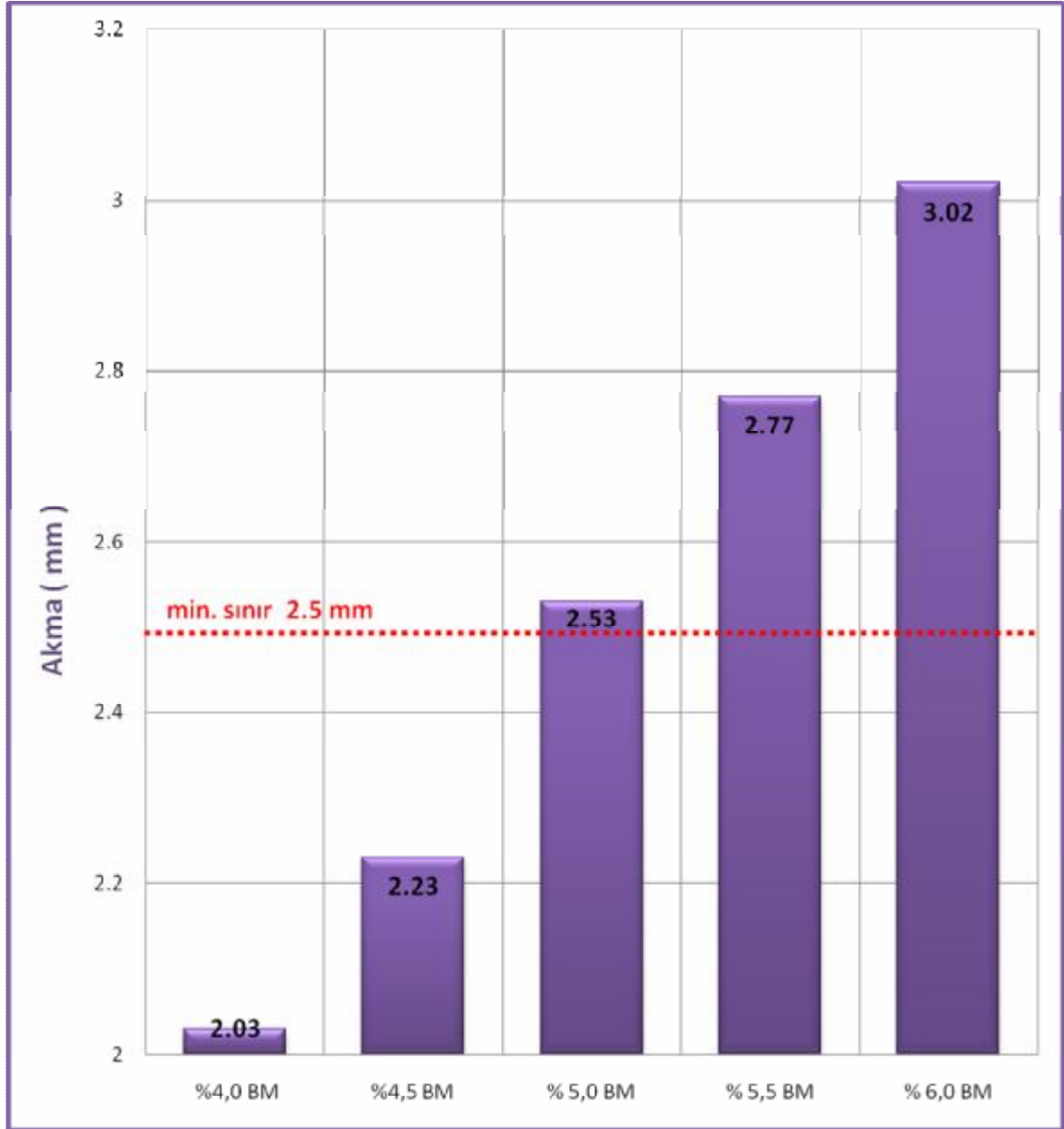
Bitümün doldurduğu boşlukların yüzdesi, agregalar arası boşluk yüzdesinin hava boşluğu yüzdesine farkının yine agregalar arası boşluk yüzdesine oranı olarak bulunmuştur. Yapılan hesapların sonucuna göre çizilen grafik Şekil 4.5’ de verilmiştir. Doğru orantı mantığıyla olacağı üzere bitüm muhtevasının artmasıyla bitümle dolu boşluk yüzdesinin de arttığı görülmektedir.



Şekil 4.5. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi İlişkisi

Çizilen grafikten anlaşılacağı üzere bitüm muhtevası ile bulunan değerler doğru orantı göstermektedir. Hesaplamalar sonucunda; en düşük bitümle dolu boşluk yüzdesi değeri % 4,0 BM numuneden, en yüksek değer % 6,0 BM numuneden elde edilmiştir.

Numunelerin sahip olduğu elastiklik özelliğini gösteren Marshall testine göre elde edilen akma sonuçlarına göre çizilen grafik Şekil 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.6. Numune - Akma İlişkisi

Bitüm muhtevası ile akma değeri deney sonucunda doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. Bu çerçevede en yüksek akma değeri % 6,0 BM numuneden 3,02 mm, en düşük akma değeri % 4,0 BM numuneden 2,03 mm olarak alınmıştır.

Yük karşısında gösterdiği dayanımı veren Marshall stabilite sonuçları Şekil 4.7’ de görülmektedir.



Şekil 4.7. Numune – Stabilite İlişkisi

Grafiklerden görüldüğü üzere yük karşısında en iyi dayanım % 5,5 BM briketlerden ortalama 1783 kg olarak sağlanmıştır.

Optimum bitüm yüzdesinin tayin edilebilmesi için çeşitli bitüm yüzdelерinde hazırlanmış olan numunelere ait Marshall stabilite, akma, birim ağırlık, bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesi ve hava boşluğu oranı grafikleri çizilmiştir. Asfalt çimentosunun Marshall stabilite değerini maksimum yaptığı değer, maksimum birim ağırlığı veren asfalt çimentosu oranı, şartnameye uygun olarak bağlayıcı ile dolu agrega boşluğu yüzdesini %80 olarak sağlayan bağlayıcı oranı %4 boşluk oranını (şartnamede belirtilen %3-5 arasındaki sınır içinde kalan) sağlayan asfalt oranı grafiklerden bulunmuş, bulunan dört asfalt oranının ortalaması optimum asfalt çimentosu oranını verecektir (Umar ve Ağar, 1991).

Deney sonucunda elde edilen verilerle çizilen grafiklerden anlaşılaacağı üzere en yüksek birim hacim ağırlık değerini % 6,0 BM numuneden, şartname sınırları dahilinde en yüksek bağlayıcı ile dolu boşluk ve stabilite değerini % 5,5 BM numunelerden ve % 3-5 arasında olması gerektiği şartnamede açıklanan hava boşluğu yüzdesi çalışma sonucunda % 5,0 BM numunelerden alınmıştır.

Bu bilgiler doğrultusunda, grafiklerde yapılan inceleme ve değerlendirmeden karışımın optimum bitüm muhtevası %5,33 olarak bulunmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

ESRA YAŞMUN

Optimum bitüm muhtevası içeren numune ve çeşitli katkılarla modifiye edilmiş numuneler Marshall Test Cihazında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ve sonuçların grafiksel gösterimi aşağıda verilmiştir.

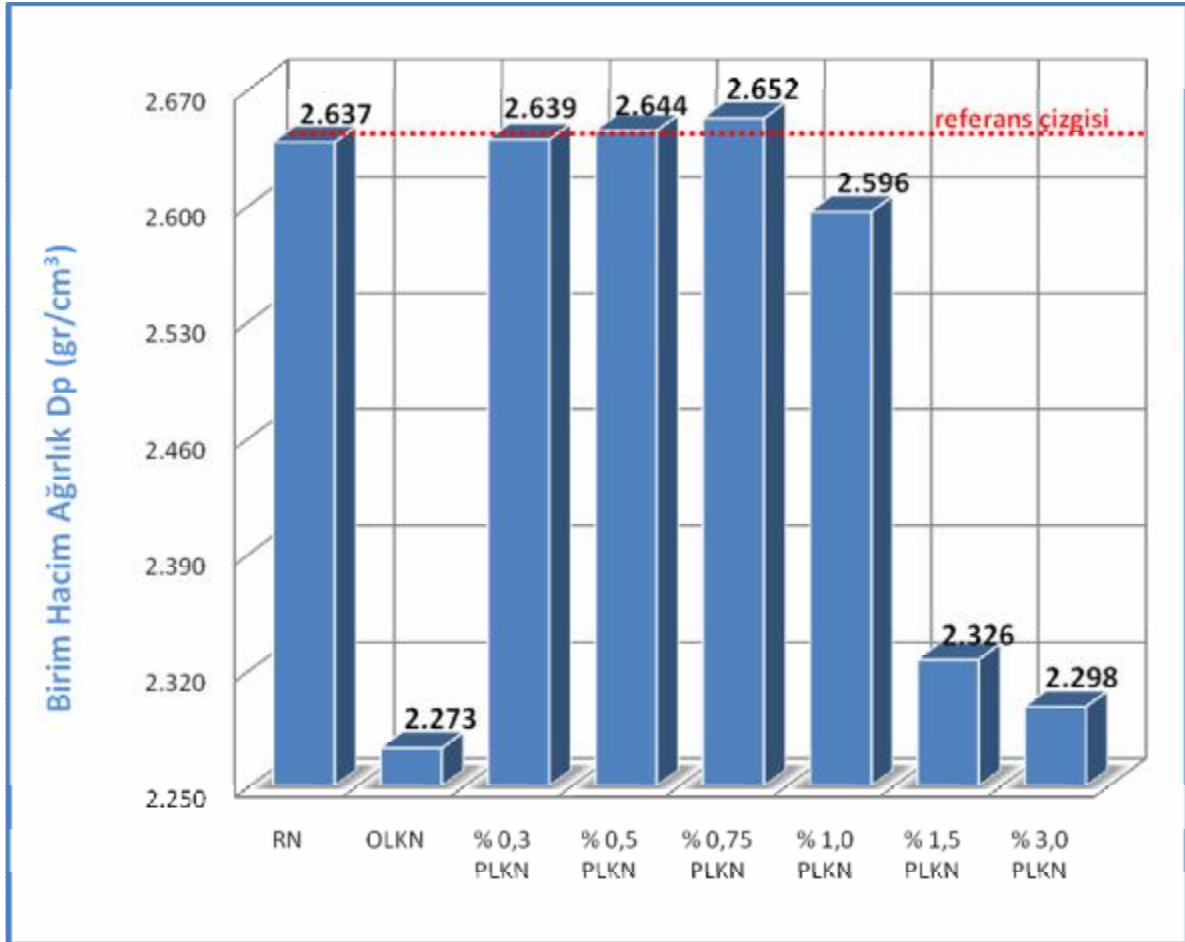
Çizelge 4.12. Optimum Bitüm Muhtevası ve Çeşitli Katkılarla Modifiye Edilmiş Numunelerin Marshall Değerleri

	Wa %	Referans Numune	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
RN	5,33		5,063	2,634	3,80	15,49	75,47	2,66	1830
			5,063	2,642	3,51	15,23	76,95	2,72	1845
			5,063	2,636	3,73	15,43	75,83	2,68	1810
	Ortalama		5,063	2,637	3,68	15,38	76,08	2,69	1828
	Wa %	Lastik	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
OLKN	5,33	100,68	5,063	2,271	17,06	27,14	37,14	4,90	1180
			5,063	2,272	17,02	27,10	37,20	5,02	1220
			5,063	2,276	16,87	26,98	37,47	5,01	1300
	Ortalama	100,68	5,063	2,273	16,98	27,07	37,27	4,98	1233
	Wa %	Lif % 0,3	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
% 0,3 PLKN	5,33	3,60	5,063	2,636	3,73	15,43	75,83	5,28	2000
			5,063	2,642	3,51	15,23	76,95	5,05	2070
			5,063	2,639	3,62	15,33	76,39	5,15	2050
	Ortalama	3,60	5,063	2,639	3,62	15,33	76,39	5,16	2040
	Wa %	Lif % 0,5	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
% 0,5 PLKN	5,33	6,00	5,063	2,647	3,32	15,07	77,97	8,18	2240
			5,063	2,640	3,58	15,30	76,60	6,88	2340
			5,063	2,646	3,36	15,11	77,76	7,87	2360
	Ortalama	6,00	5,063	2,644	3,42	15,16	77,44	7,64	2313

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR**ESRA YAŞMUN**

	Wa %	Lif % 0,75	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
% 0,75 PLKN	5,33	9,00	5,063	2,650	3,21	14,98	78,57	8,00	2820
			5,063	2,655	3,03	14,82	79,55	8,07	2890
			5,063	2,651	3,18	14,94	78,71	8,15	2850
	Ortalama	9,00	5,063	2,652	3,14	14,91	78,94	8,07	2853
	Wa %	Lif % 1,0	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
% 1,0 PLKN	5,33	12,00	5,063	2,591	5,37	16,87	68,17	8,41	2046
			5,063	2,601	5,00	16,55	69,79	8,37	2012
			5,063	2,595	5,22	16,74	68,82	8,56	2024
	Ortalama	12,00	5,063	2,596	5,20	16,72	68,93	8,45	2027
	Wa %	Lif % 1,5	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
% 1,5 PLKN	5,33	18,00	5,063	2,323	15,16	25,47	40,48	8,96	1830
			5,063	2,329	14,94	25,28	40,90	8,70	1730
			5,063	2,327	15,01	25,34	40,77	8,82	1800
	Ortalama	18,00	5,063	2,326	15,04	25,36	40,72	8,83	1787
	Wa %	Lif % 3,00	Wb %	Dp (gr/cm ³)	Vh %	VMA %	Vf %	Akma (mm)	Stabilite(kg)
% 3,0 PLKN	5,33	36,00	5,063	2,301	15,96	26,17	39,01	9,16	1360
			5,063	2,295	16,18	26,37	38,64	9,41	1320
			5,063	2,297	16,11	26,30	38,75	9,22	1335
	Ortalama	36,00	5,063	2,298	16,08	26,28	38,80	9,26	1338

Numunelerden elde edilen birim hacim ağırlık sonuçlarına göre çizilen grafikler Şekil 4.8'den, kullanılmış otomobil lastiği ile modifiye edilmiş numunelerin katkı ilave edilmeden hazırlanan numuneye göre daha az birim hacim ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. Bu fark, katkı malzemesi olarak kullanılan otomobil lastiğinin ağırlık olarak az ağırlığa ancak hacimce fazla hacme sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca numunenin sıkıştırılması sırasında yüksek elastiklik özelliği ve etkiye tepki vermesi nedeniyle sıkıştırma tokmağını geri ittiği görülmüştür. 75 vuruş yapılarak sıkıştırılan numunenin hacmi ve briket yüksekliğinin de oldukça fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Numune – Birim Hacim Ağırlık İlişkisi

PET Lifin katkı malzemesi olarak kullanıldığı numunelerde ise lifin katkısız numuneye göre daha yüksek birim hacim ağırlık kazandırdığı görülmektedir. En yüksek birim hacim ağırlık % 0,75 PET Lif katkılı numuneden alınmıştır. Bu orandan daha fazla kullanılan katkı birim hacim ağırlığın azalmasına neden olduğu grafiklerden okunmaktadır. İki farklı katkı maddesi kullanılarak yapılan numuneler kıyaslandığında PET lif modifiyeli numunelerin otomobil lastiği ile modifiye edilmiş numunelere göre daha yüksek birim hacim ağırlık özelliğine sahip olduğu söylenebilir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

ESRA YAŞMUN

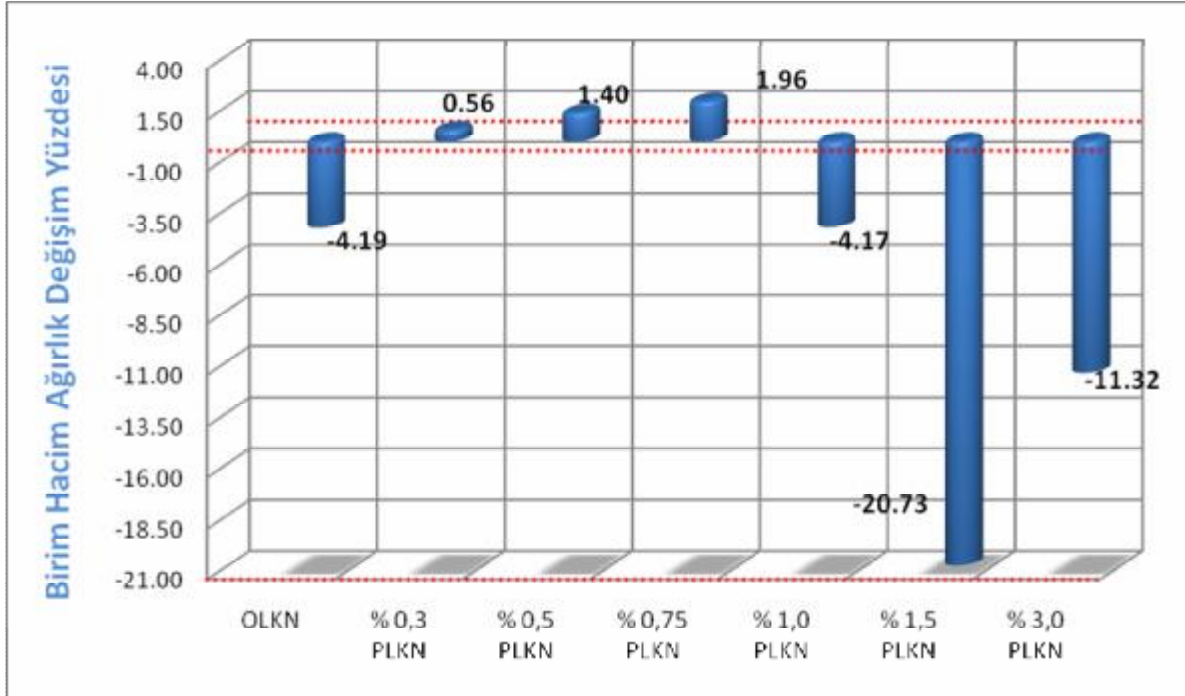
Yapılan numunelerin birim hacim ağırlıkları karşılaştırıldığında referans numuneye kıyasla otomobil lastiği katkıli numunenin birim hacim ağırlığında % 4,19 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Minimum PET lif katkıli numunenin referans numuneye kıyasla birim hacim ağırlığının % 0,56 arttığı, maksimum PET lif katkıli numunenin birim hacim ağırlığının ise % 11,32 azaldığı görülmüştür. PET lif katkıli numunelerden en yüksek birim hacim ağırlığı veren % 0,75 PET lif katkıli numunelerin referans numunelere göre birim hacim ağırlıklarında % 1,96 artış olduğu tespit edilmiştir.

Katkılı numunelerin referans numuneye göre birim hacim ağırlıklarındaki değişiklik yüzdesi Çizelge 4.13 ve Şekil 4.9’ da verilmiştir.

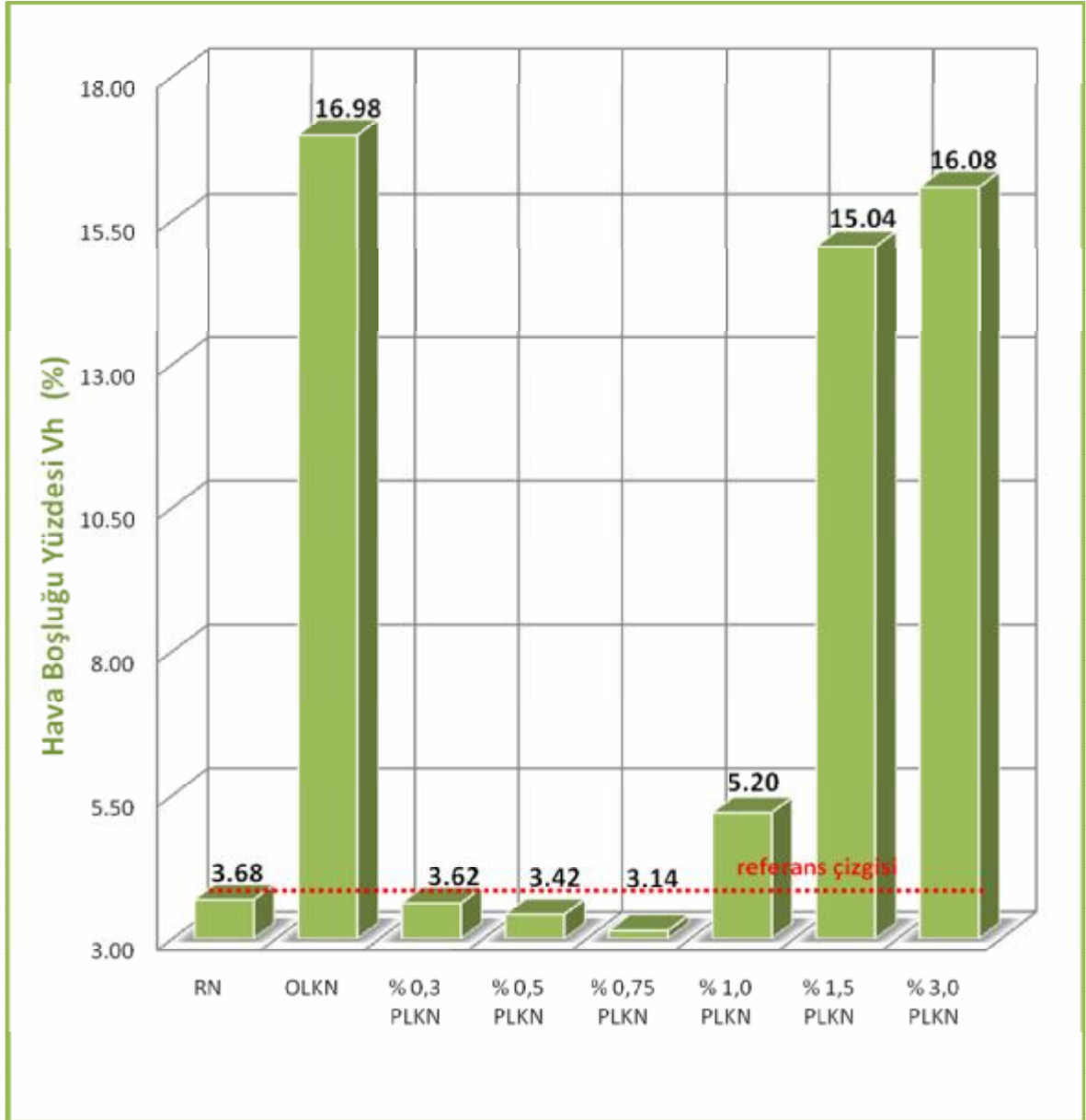
Çizelge 4.13. Numune – Birim Hacim Ağırlık Değişim Yüzdesi

Katkı	OLKN	%0,3 PLKN	%0,5 PLKN	%0,75 PLKN	%1,0 PLKN	%1,5 PLKN	%3,0 PLKN
Birim Hacim Ağırlık Değişim Yüzdesi	-4,19	0,56	1,40	1,96	-4,17	-20,73	-11,32



Şekil 4.9. Numune – Birim Hacim Ağırlık Değişim Yüzdesi Grafiği

Şekil 4.10' da numunelerin katkı yüzdesine göre gösterdikleri hava boşluğu oranları verilmiştir.



Şekil 4.10. Numune – Hava Boşluğu Yüzdesi İlişkisi

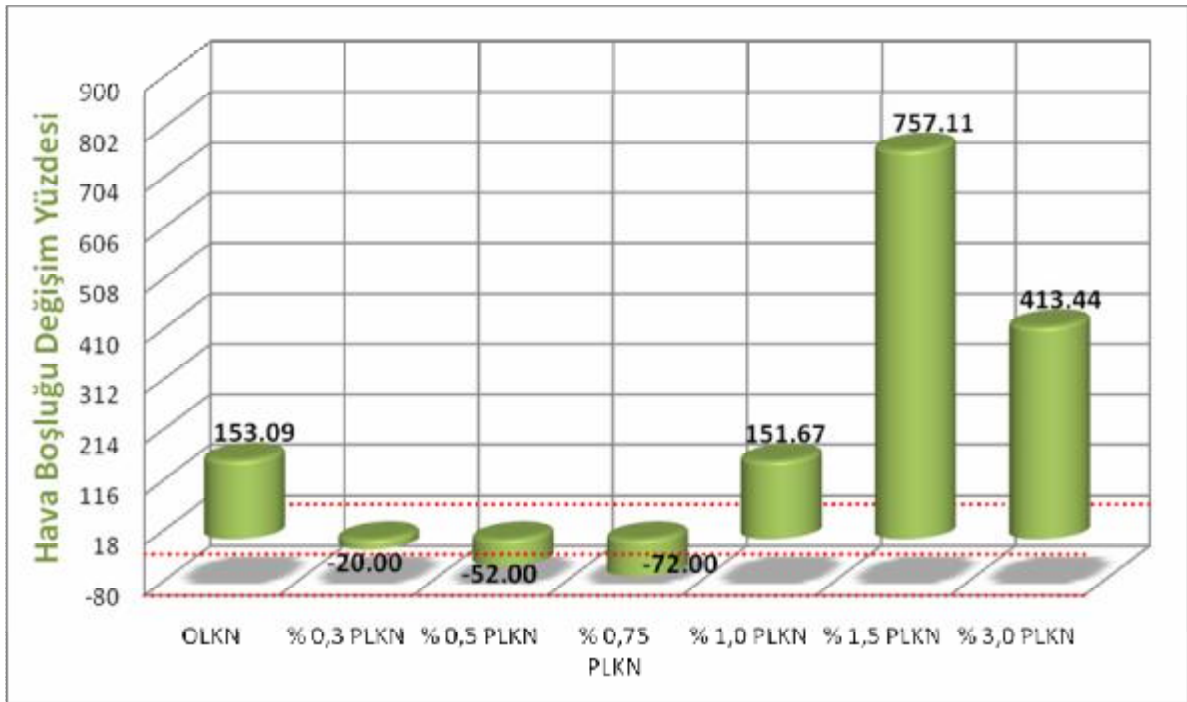
OLKN, %1,5 PLKN ve %3,0 PLKN referans numuneye göre daha fazla hava boşluğu içerdiği görülmektedir. Hava boşluğu yüzdesine en ideal sonucuna % 0,75 oranında PET lif ile modifiye edilen numunede erişilmiştir.

Otomobil lastiği katkılı numuneler, katkı olarak kullanılan malzemenin özelliği gereği referans numuneye göre büyük oranda hava boşluğu yüzdesi farkı vermiştir. %1,5 PLKN ve %3,0 PLKN; sırasıyla % 1,5 ve % 3,0 PET lif katkılı numunelerde bu değer OLKN' ye göre daha da fazla görülmektedir. Bu sonuç; her ne kadar kullanılan katkılar hava boşluğu yüzdesini artırsa da bu denli büyük olması malzemenin karışımdaki yüzdesinin otomobil lastiği katkısının karışımdaki yüzdesinden düşük bir değere tekabül etmesinden kaynaklanmaktadır.

Çalışmada yapılan bütün numunelerin katkısız numuneye göre karşılaştırılması Çizelge 4.14 ve Şekil 4.11' de verilmiştir.

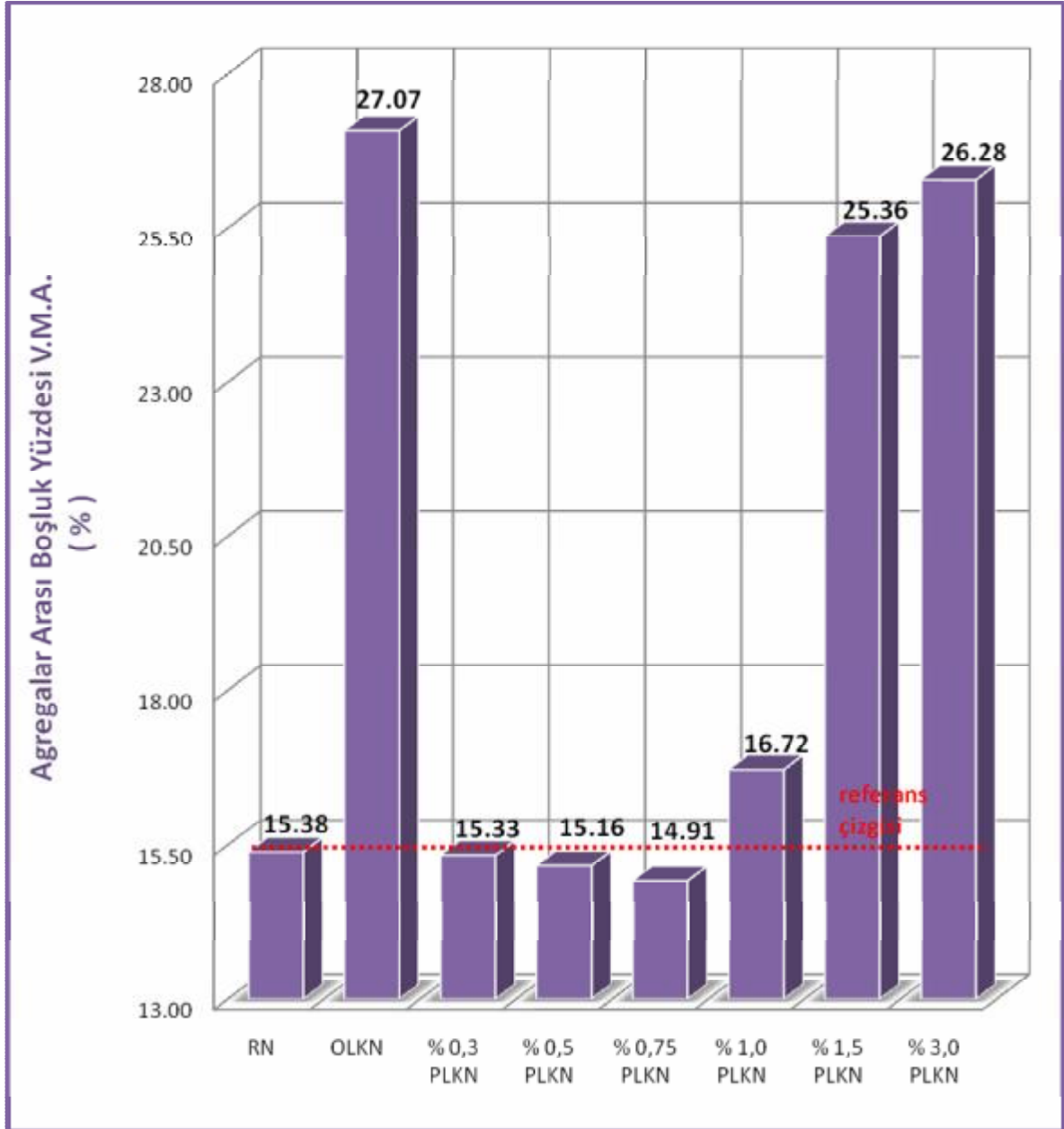
Çizelge 4.14. Numune – Hava Boşluğu Değişim Yüzdesi

Katkı	OLKN	%0,3 PLKN	%0,5 PLKN	%0,75 PLKN	%1,0 PLKN	%1,5 PLKN	%3,0 PLKN
Hava Boşluğu Değişim Yüzdesi	153,09	-20,00	-52,00	-72,00	151,67	757,11	413,44



Şekil 4.11. Numune – Hava Boşluğu Değişim Yüzdesi Grafiği

Hava boşluğu yüzdesinde elde edilen sonuçlar ve değişim agregalar arası boşluk yüzdesinde de yaklaşık olarak alınmıştır.



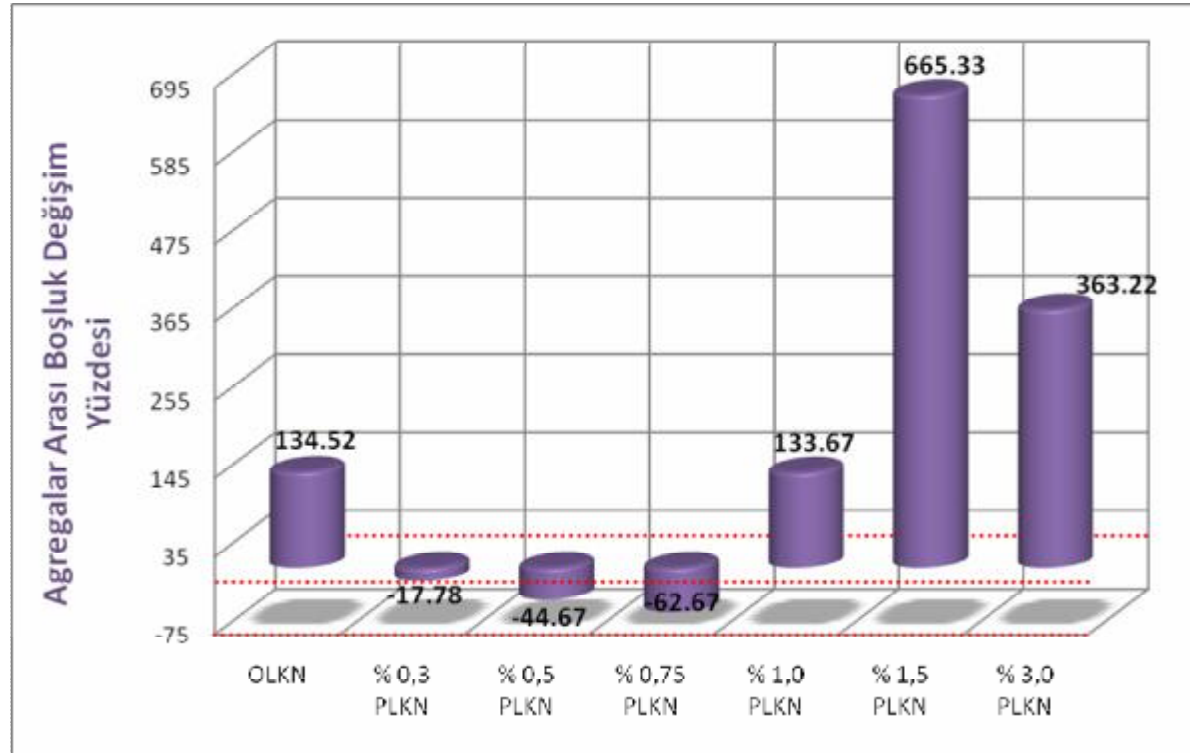
Şekil 4.12. Numune – Agregalar Arası Boşluk Yüzdesi İlişkisi

Agregalar arası boşluk yüzdesindeki fark, hava boşluğu yüzdesinde olduğu gibi OLKN, %1,5 PLKN ve %3,0 PLKN' den en yüksek alınmıştır. Öyleki, otomobil lastiği katkılı numunenin referans numuneye oranla agregalar arası boşluk yüzdesi % 134,52 oranında artış gösterdiği gözlenmiştir.

Otomobil lastiği katkı ve diğer PET lif katkı tip numunelerin referans numuneye göre agregalar arası boşluk yüzdesi oranları Çizelge 4.15 ve Şekil 4.13’ de verilmiştir.

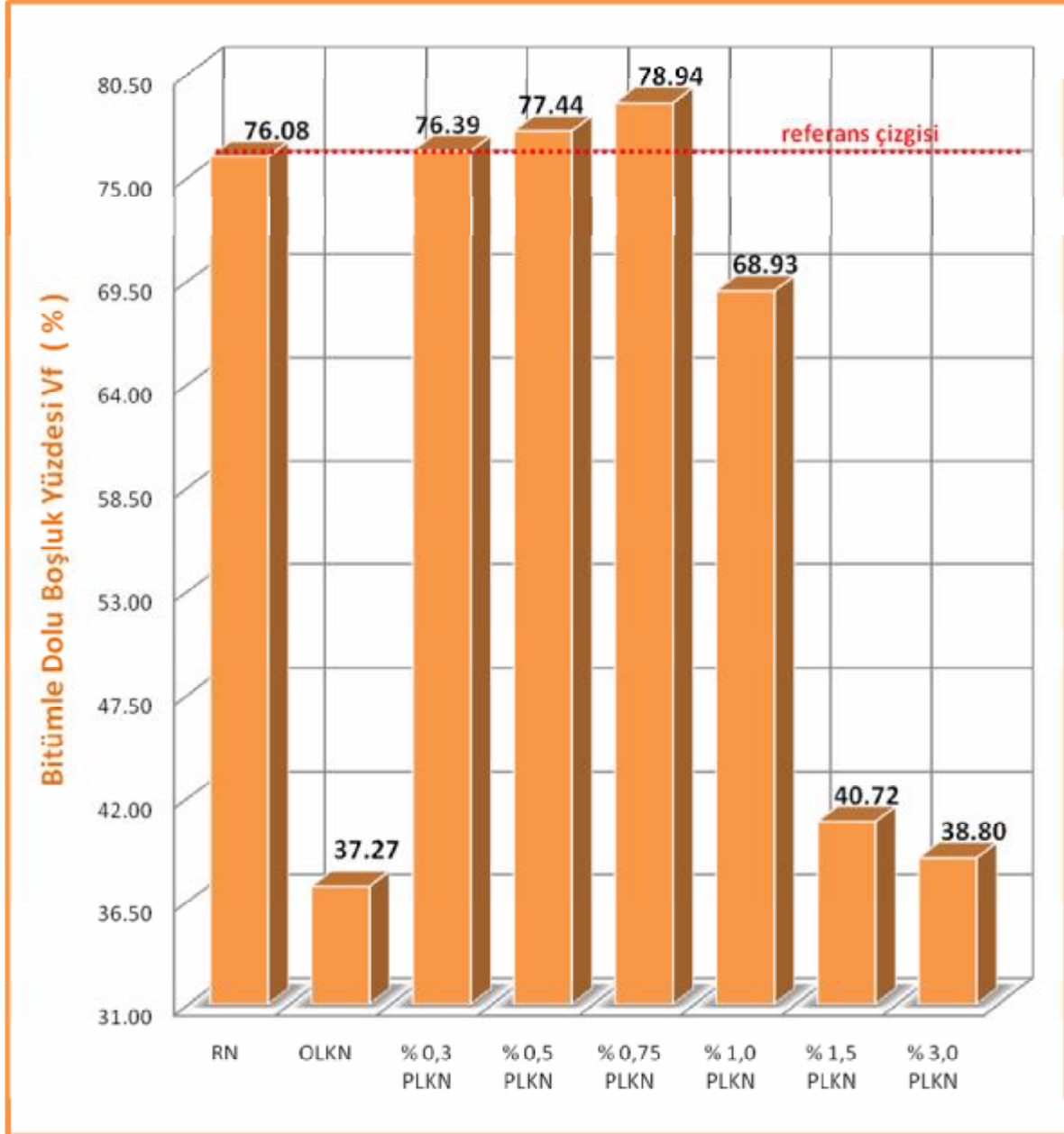
Çizelge 4.15. Numune – Agregalar Arası Boşluk Değişim Yüzdesi

Katkı	OLKN	%0,3 PLKN	%0,5 PLKN	%0,75 PLKN	%1,0 PLKN	%1,5 PLKN	%3,0 PLKN
Agregalar Arası Boşluk Değişim Yüzdesi	134,52	-17,78	-44,67	-62,67	133,67	665,33	363,22



Şekil 4.13. Numune – Agregalar Arası Boşluk Değişim Yüzdesi Grafiği

Katkı yüzdesine göre bitümle dolu boşluk yüzdesi ilişkisi grafiği Şekil 4.14' de verilmiştir. Grafikten bitümle dolu boşluk yüzdesinin agregalar arası boşluk yüzdesine göre ters orantılı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.14. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Yüzdesi İlişkisi

Referans numune ve diğer numuneler arasında en yüksek bitümle dolu boşluk yüzdesi değerini % 0,75 PET lif ile modifiye edilmiş numune, en düşük değeri ise otomobil lastiği ile modifiye edilmiş numune ve % 3,0 PET lifi ilave edilmiş numuneler vermiştir.

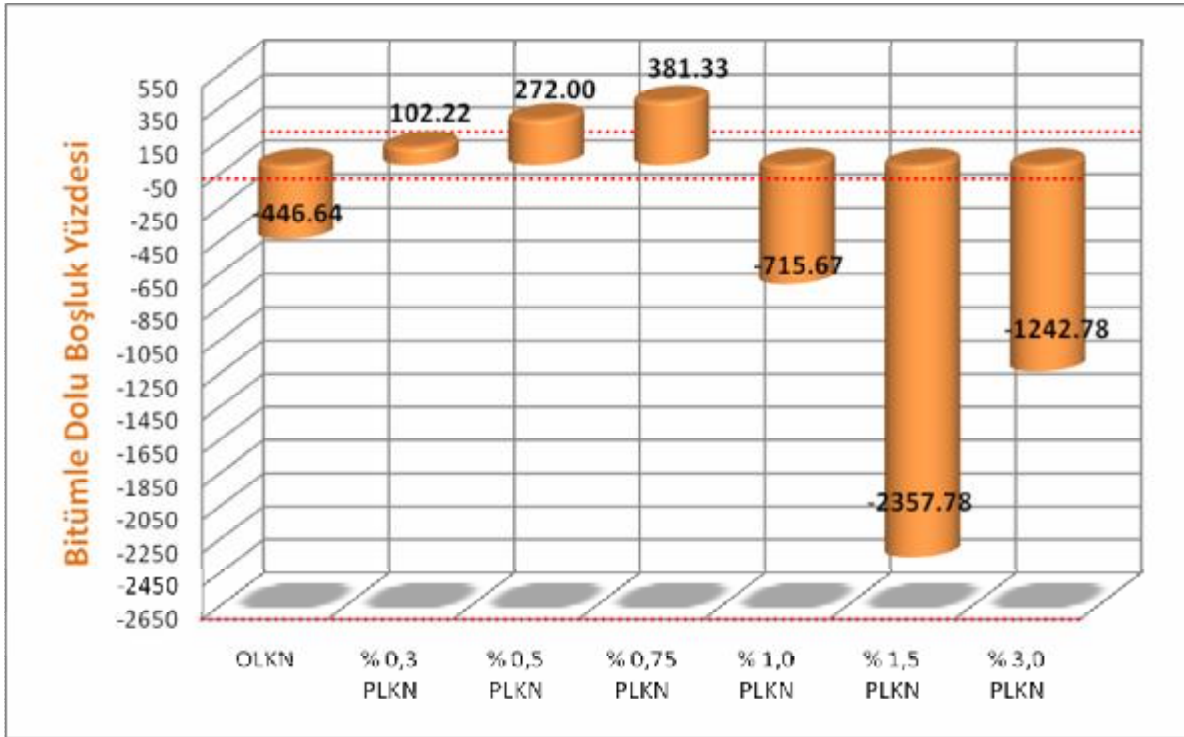
4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

ESRA YAŞMUN

Numunelerden elde edilen veriler karşılaştırıldığında; en yüksek bitümle dolu boşluk yüzdesini sonucunu veren % 0,75 PET lifi katkılı numune referans numuneye göre %381,33 daha fazladır. Referans numuneye göre en düşük bitümle dolu boşluk yüzdesi değerini ise % 0,75 ve % 3,0 PET lifi ile modifiye edilmiş numuneler vermiştir. Bunlar ve diğer numuneler için hesaplanan yüzdeler Çizelge 4.16 ve Şekil 4.15’ de verilmiştir.

Çizelge 4.16. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Değişim Yüzdesi

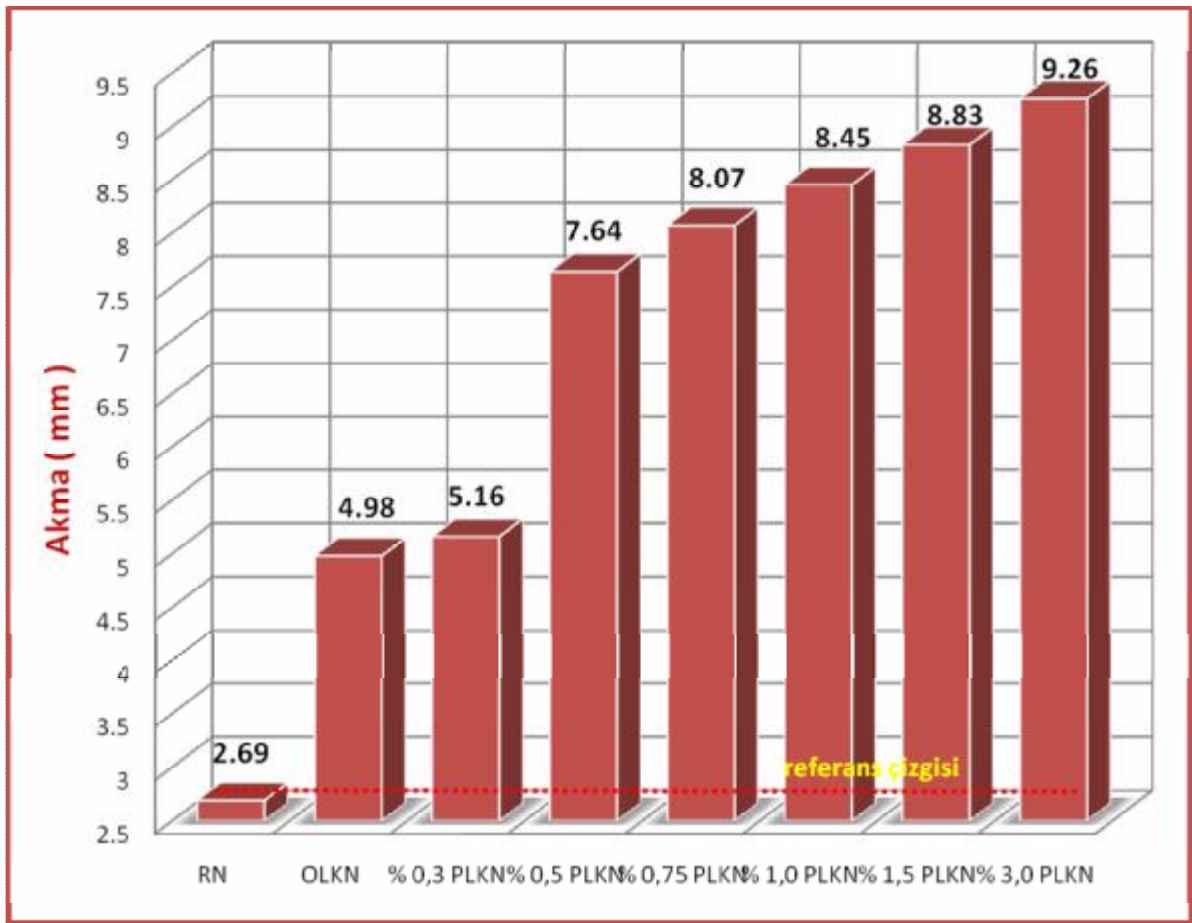
Katkı	OLKN	%0,3 PLKN	%0,5 PLKN	%0,75 PLKN	%1,0 PLKN	%1,5 PLKN	%3,0 PLKN
Bitümle Dolu Boşluk Değişim Yüzdesi	-446,64	102,22	272	381,33	-715,67	-2357,78	-1242,78



Şekil 4.15. Numune – Bitümle Dolu Boşluk Değişim Yüzdesi

Akma değeri beton asfalt kaplamaların trafik yükleri altındaki davranışlarını belirleyen, beton asfaltların plastiklik ve esneklik özelliklerini yansıtan bir 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. Şartnamelerde belirtilen en yüksek akma değeri, karışımın plastikliğini ve kullanılabilir en yüksek bağlayıcı yüzdesini, en alt değeri ise karışımın gevrekliğini ve dayanıklılığını kontrol eder. Şartnamelerde akmanın % 4-7 bitüm muhtevası aralığında 2,5-4,6 mm arasında olması istenir (Yol Fenni Şartnamesi).

Çalışmada yapılan modifiyeli numunelerin akma değerleri 4.16' da verilmiştir.



Şekil 4.16. Numune - Akma İlişkisi

Deney sonucunda elde edilen veriler ışığında çizilen grafikten anlaşılabileceği üzere PET lifi ile modifiye edilmiş numunelerin katkı oranı ile akma değeri arasında doğru orantı olduğu bariz bir gerçektir.

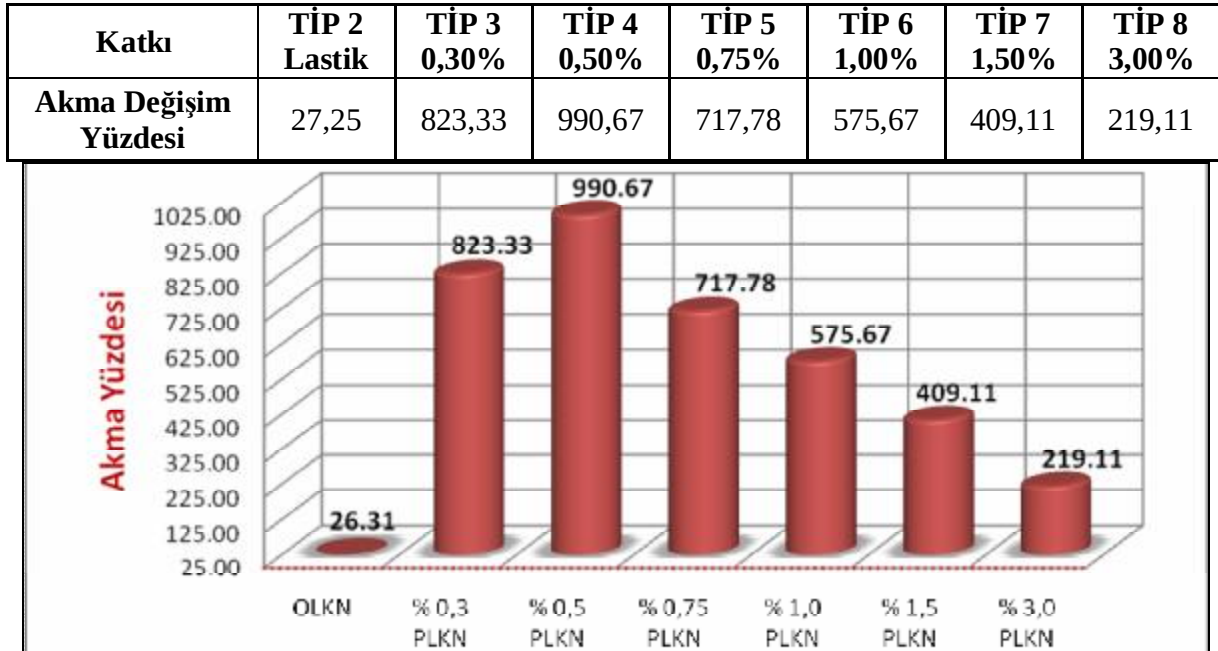
Otomobil lastiği katkı numunelerin akma değeri referans numuneye göre daha yüksek bulunmuş ancak, PET lifi ile modifiye edilmiş numunelere göre daha düşük akma değeri verdiği tespit edilmiştir.

Karışımında kullanılan, otomobil lastiği 100,68 gr olup, agrega miktarının % 9,16' sına, karışımın ise % 8,39' una tekabül etmektedir. Kullanılmış otomobil lastiğinin katkı maddesi olarak kullanıldığı numunelerin hazırlanması sırasında, bitüm ve otomobil lastiği arasında karışma özelliğinin oldukça az (yapışmama durumu) olduğu görülmüştür. Ayrıca, agregalar ve otomobil lastiği homojen dağılım göstermemiştir. Sıkıştırma işleminde de gösterdiği tepki nedeniyle kalıptan çıkarıldıktan sonra dağılma eğilimi göstermiştir. Bütün bunlara rağmen kullanılmış otomobil lastiği ile modifiye edilmiş numunenin katkısız numuneye göre daha yüksek akma değeri verdiği test sonucunda tespit edilmiştir.

PET Lifin katkı malzemesi olarak kullanıldığı numunelerin yapılması sırasında % 0,3, % 0,5 ve % 0,75 yüzde oranındaki karışımlar homojen dağılım göstermiştir. % 1,5 ve % 3,0 oranındaki katkılar lifin birbirine kenetlenmesi, topak haline gelmesi nedeniyle karışımında homojenlik sağlanamamıştır. Buna rağmen, PET lif ile modifiye edilmiş numuneler arasında en iyi akma sonucunu % 3,0 PET lif katkı numuneler vermiştir.

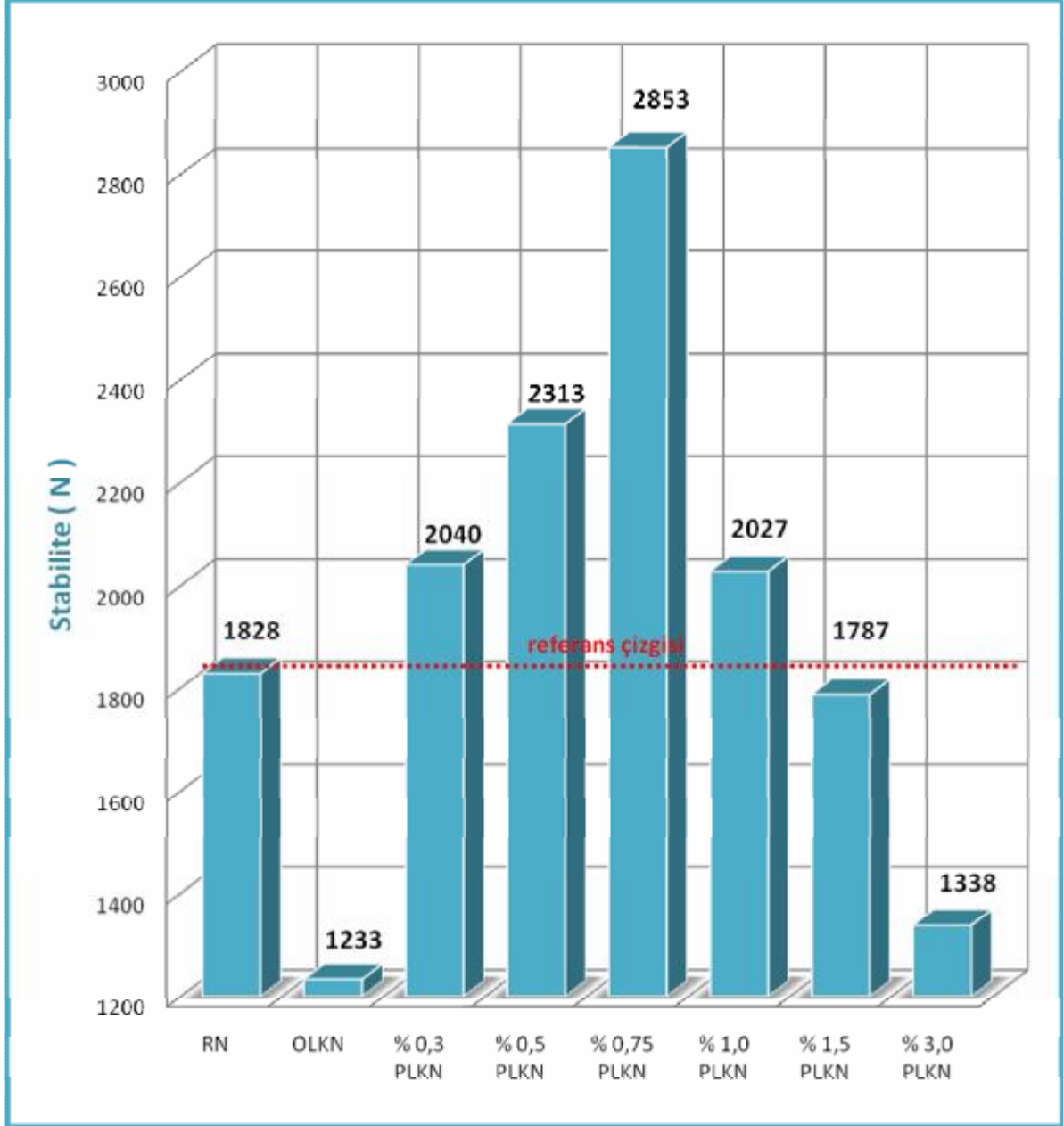
Akma değerinde en yüksek % 990 oranında fark % 0,5 PET lif katkı numunelerden, en düşük % 25 oranında fark kullanılmış otomobil lastiği katkı numunelerden elde edilmiştir. Elde edilen akma değerlerindeki değişim yüzdesi Çizelge 4.17 ve Şekil 4.17' de gösterilmektedir.

Çizelge 4.17. Numune - Akma Değişim Yüzdesi



Şekil 4.17. Numune - Akma Değişim Yüzdesi Grafiği

Modifiyeli numunelerin stabilite sonuçları Şekil 4.18’ de verilmiştir.



Şekil 4.18. Numune - Stabilite İlişkisi

Stabilite sonuçlarının verildiği grafiklerden otomobil lastiğinin en düşük stabilite değeri verildiği görülmektedir. Bu sonucun bitüm ve kullanılmış otomobil lastiği ile karışma özelliği ve karışımda homojenlik sağlanmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

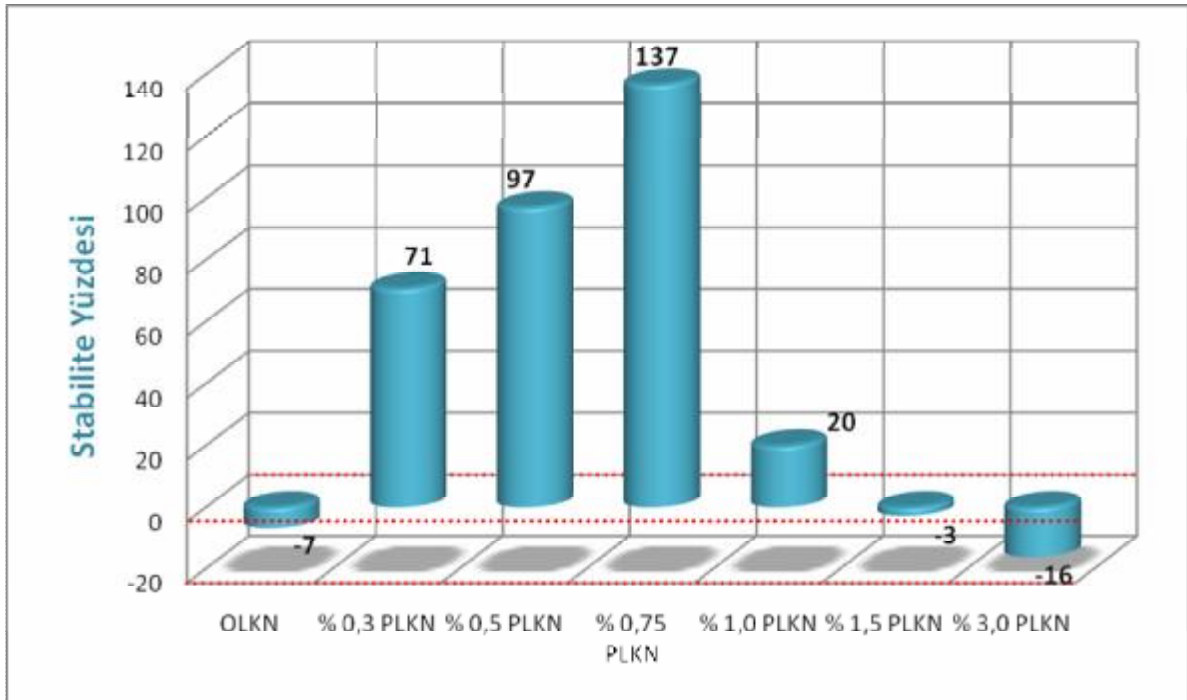
En yüksek stabilite sonucunu % 0,75 PET lif ile modifiye edilmiş numune vermiştir. PET lif bitüm ve agrega ile büyük uyum sağlayıp oldukça homojen dağılıma sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

Bütün numunelerin stabilite farklarının yüzdesi Çizelge 4.18 ve Şekil 4.19’ da verilmiştir.

Çizelge 4.18. Numune - Stabilite Değişim Yüzdesi

Katkı	TİP 2 Lastik	TİP 3 0,30%	TİP 4 0,50%	TİP 5 0,75%	TİP 6 1,00%	TİP 7 1,50%	TİP 8 3,00%
Stabilite Değişim Yüzdesi	- 7 kN	71 kN	97 kN	137 kN	20 kN	-3 kN	-16 kN

Şekil 4.19. Numune - Stabilite Değişim Yüzdesi Grafiği



Referans numuneye göre en düşük stabilite değeri otomobil lastiği katkılı numuneden alınmış olup, % 7 kN’ luk bir düşüş görülmektedir. Stabilite değeri en yüksek olan % 0,75 PET lifi katkılı numunede ise referans numuneye göre % 137 kN’ luk dayanımda yükseliş olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırmada kullanılan asfalt çimentosu penetrasyonu 75-100 ve düklitesi AC-10 sınıfına girmektedir.

Marshall yöntemi ile test edilen numunelerden PET liflerin karışımın özelliklerine önemli derecede etki ettikleri görülmüştür. % 0,75 oranındaki PET lifi ile en yüksek stabilite ve akma değerleri bulunmuştur.

Karışıma % 0,75' e kadar yapılan Pet lif ilavesi, karışımın birim hacim ağırlık, hava boşluğu, agregalar arası boşluk ve bitümle dolu boşluk yüzdesi değerlerinde önemli iyileştirmeler sağladığı tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan atık PET şişelerden elde edilen PET liflerin % 1' den sonra serbest halde, özellikle karışım içerisinde birbirine kenetlenerek yumak haline geldiği görülmüştür.

Çalışmada kullanılan bir diğer katkı maddesi olan parçalanmış otomobil lastiği asfalt çimentosu ile çok uzun karıştırma işlemi sonucunda reaksiyon göstermiş olup, karışımda oldukça heterojen dağılım göstermiş ve agregalarla uyum sağlamamıştır. Ayrıca, sıkıştırma işlemi sırasında olumsuz davranış göstermiştir. Bütün bu olumsuz nedenler sebebiyle otomobil lastiği katkılı numuneler, akma değeri haricindeki bütün verilerinde referans numuneye göre düşük sonuçlar vermiştir.

Otomobil lastiği katkısının gösterdiği birleşmem özelliğine karşın, PET lifin karışımda oldukça homojen olması ve karışımın özelliklerinde önemli ölçüde iyileştirme sağlaması nedeniyle bu iki malzeme karışımda birlikte kullanılarak yeni deneyler yapılması bundan sonraki çalışmalara uygun bir baz teşkil edebilir.

Kullanılmış otomobil lastiklerinin depolanması, doğada yok olmaması çevresel açıdan büyük bir problem teşkil etmektedir. PET şişelerinde günümüzde kullanımı ve çevreye atık olarak atılması her geçen gün artmakta buna karşın doğada uzun süre yok olmamaktadır. Yeniden plastik elde edilmesinde kullanılan ek enerji, daha uzun bir ürün yaşam süresi için harcanmaktadır. Ancak, bu enerjinin de alternatiflere ve tekrar kullanılabilir plastik ürünler kullanımına göre maliyeti karşılaştırılmalı olarak göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, plastiği yakma işlemi sırasında ortaya birçok gaz ve zararlı atığın çıkmasına neden olabilecek tehlikeli bir uygulamadır. Plastik yakılmasına elverişli fırınların maliyeti de çok yüksektir. Geri dönüşümün sunduğu bu kadar dezavantaja karşın çalışmada olduğu gibi herhangi bir geri dönüşüm yapılmaksızın kullanılan bu plastikler hem çevresel açıdan birçok probleme çözüm getirecek hem de ekonomik bazda büyük faydalar sağlayacağı yadsınamaz bir gerçektir.

KAYNAKLAR

- AĞAR, E., SÜTAŞ, İ., ÖZTAŞ, G., 1998. Beton Yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul
- ALATAŞ, T., AHMEDZADE, P., DOĞAN, Y., 2005. Bitümlü Sıcak Karışımlarda Kullanılan Agregaların Cinsinin Kaplamanın Fiziksel Özelliklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi 18(1), 81-89 [1].
- Asphalt Institute, 2002. Asphalt Handbook, (M. ULUÇAYLI editör). Asfalt El Kitabı, İstanbul. 1994; No:4, ISBN:975-8183-01-X
- ASTM C 127-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate, Annual Book of ASTM Standards, USA
- ASTM C 128-88. 1992. Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standards, USA.
- ASTM D 5-86. 1992. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards, USA
- ASTM D 113-83. 1992. Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. Annual Book of ASTM Standards, USA
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1994. Yollar Fenni Şartnamesi (Yol Alt Yapısı, Sanat Yapıları, Köprü Tünel ve Üst Yapı İşleri), Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1999. Bayındırlık ve İskan Bakanı Koray AYDIN' ın 2000 Yılı Bütçe Kanunu Tasarısını TBMM Genel Kuruluna Sunuş Konuşması, Ankara
- BLOKKER, P. C. ve VON HOOM, H., (1959). Durability of Bitumen in Theory and Practice, Proceedings of the V.th World Petroleum Congress, New York, June 1959, 141-157
- CAPPER, P. L., CASSIE, W.F. (çeviren KUMBASAR, V., KİP, F.) , 1973. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitapevi, İstanbul
- ÇELİK, O. N., 1996. Otomobil Lastiğiyle Modifiye Edilmiş Asfaltın Dinamik Reolojik Analizi, 1. Ulusal Asfalt Sempozyumu, İstanbul
- DALLAS, L. N., 1995. Handbook for Stabilization of Pavement Subgrades and Base Courses With Lime, Texas
- GÜLER, Ç., ÇOBANOĞLU, Z. Plastikler. Çevre Sağlığı Kaynak Dizisi. Sağlık Bakanlığı TSH Genel Müdürlüğü, Ankara, 1997; No:46 ISBN:975-8088-51-3

<http://www.en.wikipedia.org/wiki/Polythylene-terephthalate> 13/11/2005

İLTER, A., 1967. Yol Yapımında Agregat ve Bitümlü Malzemeler, KGM, No:153, Ankara

İstatistiklerle Türkiye 1994. Türkiye İstatistik Kurumu, Ankara. 1994; No:1718, ISBN:975-19-0959-7

KARAŞAHİN, M., 1993. Resilient Behaviour of Granular Materials of Analysis of Highway Pavements, PhD Thesis. Department of Civil Engineering, University of Nottingham, England. 321 p.

KARAŞAHİN, M., 1994. Bitümlü Karışımların Mekanik Özelliklerinin Laboratuarda Ölçülmesi, 15. Yıl Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Adana

KEÇECİLER, A. F. ve Gümrükçüoğlu, A., 1988. Bitümlü Malzemeler Laboratuvar El Kitabı, K.G.M., Araş. Dairesi Başk., Yayın No:239, Ankara

KGM. (1984). Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Araş. Dai. Başk., Ankara.

KGM. (1990). Asfalt Betonu Karışım Dizayn Metotları, Teknik Araş. Dairesi Başk., Ankara

KGM. (2000). Yollar Fenni Şartnamesi, Teknik Araş. Dairesi Başk., Yayın No:170/2, Ankara

KİNG, G. ve diğ., 1999. Additives in Asphalt. Journal of the Association of Paving Technologists, Vol. 68, pp. 32-69.

KULOĞLU, N., 1998. Agregat Gradasyonunun Asfalt Muhtevasına Etkisi, İnşaat Mühendisleri Odası IV. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, Denizli, 271-280

KUMBASAR, V., KUMBASAR, F., ÖNALP, A., 1969. Yol Mühendisleri için Zemin Mekaniği, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul

ÖNAL, M., KARACA, S., 1984. Asfalt Betonu ve Diğer Sıcak Karışım Tipleri İçin Karışım Dizayn Metotları, s.107.

ÖNAL, M.A., KAHRAMANGİL, M., 1993. Bitümlü Karışımlar Laboratuvar El Kitabı, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Matbaası, Ankara

ÖZTÜRK, M. Plastikler ve Geri Kazanılması, YTÜ İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2001

SALTAN, M., 1999. Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 202, Isparta

- SALTER, J. R., 1998. Highway Design and Construction, London
- SAYIN, E., YILDIRIM, B., 2004. Asfalt Betonlu Kaplamaların Farklı Sıcaklıklarda Dayanımı, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bil. Dergisi 17(3), 463-469 [2].
- TAPKIN, S., 2007. Polipropilen Fiberlerin bitümlü Sıcak karışımlarda Katkı Malzemesi Olarak Kullanımı, Eskişehir Üniversitesi, s.216-226 [3].
- Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 1995. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Ankara, s. 93.
- TERREL, R., WALTER, J., 1992. Modified Asphalt Pavement Materials. The European Experience. Journal of the Association of Paving Technologists, Vol. 49, pp. 633-652.
- TİĞDEMİR, M., 1999. Bitümlü Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Parametrik İncelenmesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s. 105, Isparta
- TS 118, 1998. Petrol Ürünleri – Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar – İğne Penetrasyonu Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 119, 1997. Bitümlü Maddelerin Düktilite Deneyi için Method. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 120, 1972. Bitümlü Maddelerin Yumuşama Noktası Deneyi İçin Method. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 121, 1979. Bitümlü Maddelerin Isıtma Kaybı Deneyi İçin Method. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 1093, 1972. Asfaltların Kinematik Viskozitelerini Tayin Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 3530, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 3720, 1983. Bitümlü Kaplama Karışımların Hesap Esasları, Marshall Ve Hubbard, Field Metodları İle. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TUNÇ, A., 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, Ankara
- UMAR, F., AĞAR, E., 1991. Yol Üst Yapısı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul

ULUÇAYLI, M., 1998. Modifiye Bitüm ve Modifikasyon Katkılarının Kullanımı, 2. Ulusal Asfalt Sempozyumu, Ankara

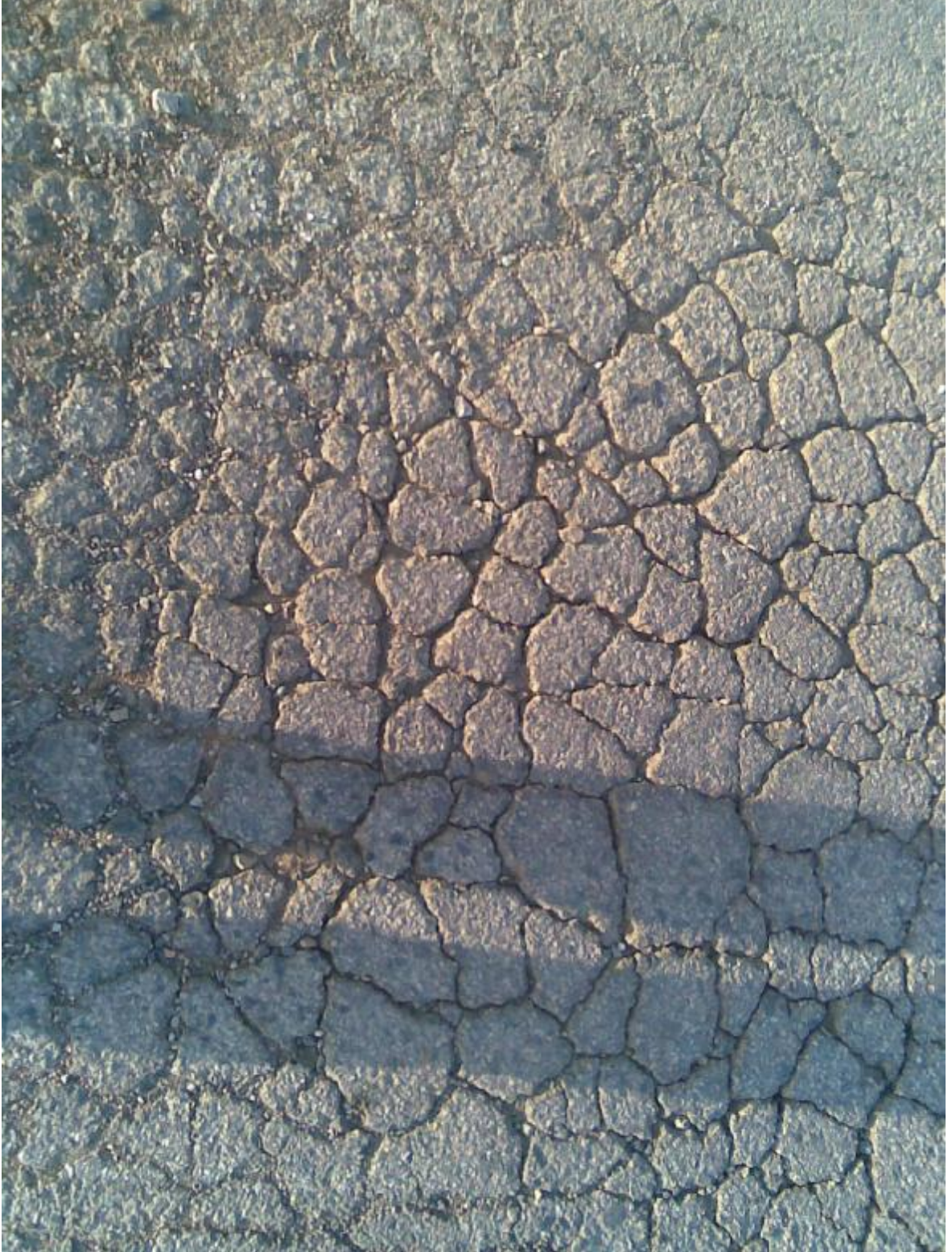
YILDIRIM, Y., 2007. Polymer Modified Asphalt Binders. Construction and Building Materials. Vol. 21, No.1, pp. 66-72.

EKLER

Ek-1 Zayıf Taşıma Kapasiteli Taban Zeminine Bağlı Tekerlek İzi Oluşumu

Ek -2 Timsah Sırtı Çatlaklar

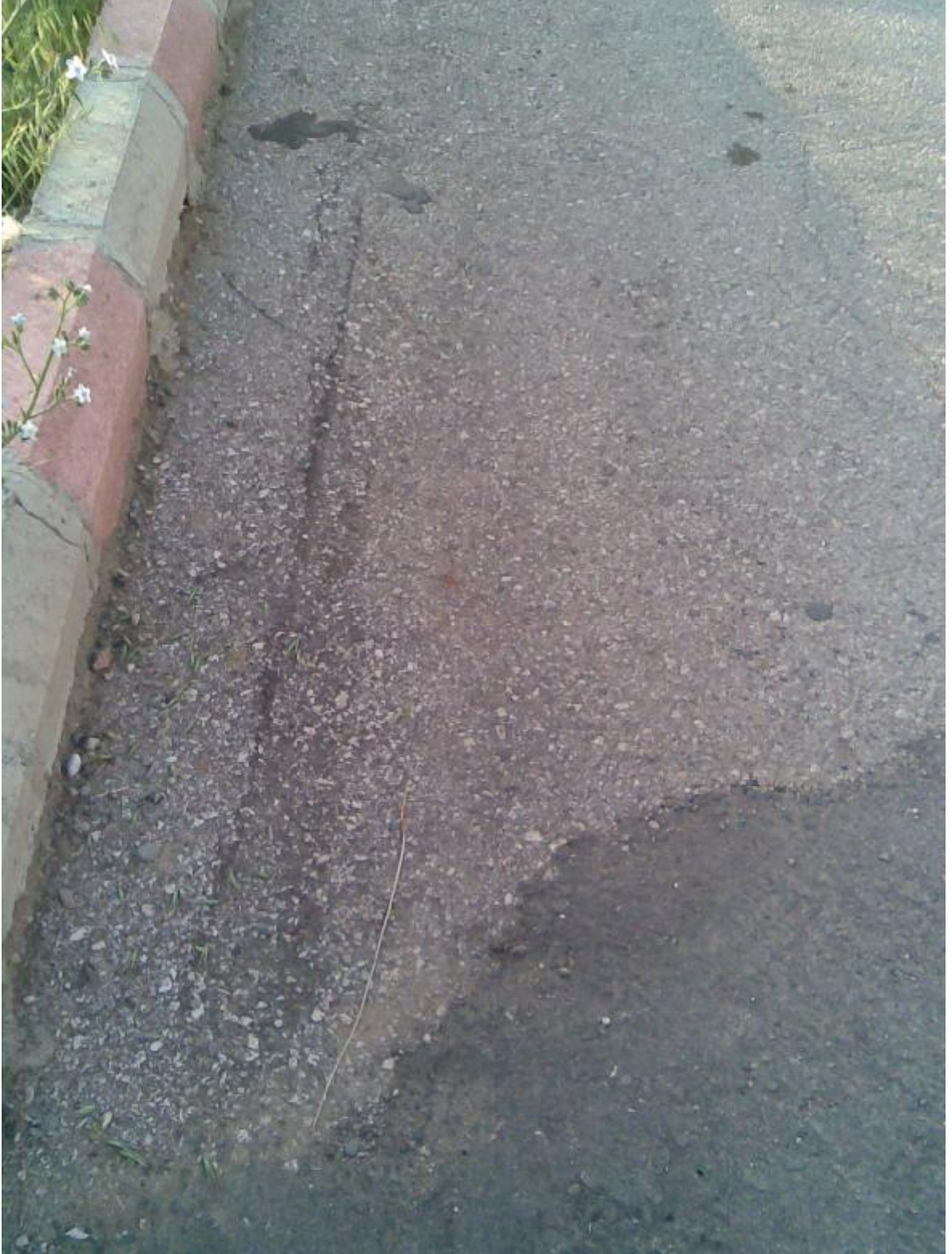


Ek -3 Timsah Sırtı Çatlaklar

Ek-4 Termal Çatlaklar



Ek-5 Kenar Çatlakları



Ek-6 Folluk Tipi Çatlaklar



Ek-7 Sökölme



ÖZGEÇMİŞ

Esra YAŞMUN, 1984 yılında Kahramanmaraş’ da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Kahramanmaraş ‘da tamamladı. 2001 yılında Kayseri Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’ nde lisans eğitimine başladı. 1 sezon yabancı dil eğitimi ve 4 sezon fakülte eğitimi 2006 yılında tamamladı. Aynı yıl Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitimi ve Kahramanmaraş Belediyesi İmar Ve Şehircilik Müdürlüğü’ nde meslek hayatına başladı ve halen devam etmektedir.