

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**ATIK ASFALT KAPLAMALARLA OLUŞTURULMUŞ BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN İLERİ DÜZEY PERFORMANS
DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ**

Tayfun GÜRCAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ATIK ASFALT KAPLAMALARLA OLUŞTURULMUŞ BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN İLERİ DÜZEY PERFORMANS
DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ**

Tayfun GÜRCAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TEMMUZ 2019

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ATIK ASFALT KAPLAMALARLA OLUŞTURULMUŞ BİTÜMLÜ SICAK
KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN İLERİ DÜZEY PERFORMANS
DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ**

**Tayfun GÜRCAN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü Birimi
tarafından FYL-2017-2360 nolu proje ile desteklenmiştir**

TEMMUZ 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIK ASFALT KAPLAMALARLA OLUŞTURULMUŞ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM
ÖZELLİKLERİNİN İLERİ DÜZEY PERFORMANS DENEYLERİYLE
BELİRLENMESİ**

Tayfun GÜRCAN
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 18/07./2019... tarihinde jüri tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. N. Uğur KOÇKAL

Prof. Dr. Serkan TAPKIN



ÖZET

ATIK ASFALT KAPLAMALARLA OLUŞTURULMUŞ BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM ÖZELLİKLERİNİN İLERİ DÜZEY PERFORMANS DENEYLERİYLE BELİRLENMESİ

Tayfun GÜRCAN

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Temmuz 2019; 106 sayfa

Doğal kaynakların etkili bir şekilde kullanılması son yılların önemli araştırma konularından birisidir. Bu kapsamda, hem maliyet hem de çevre yararı birçok konuda geri dönüşüm çalışmalarını arttırmıştır ve asfalt sektöründe de atık asfaltın yeniden kullanımı çalışmalarına hız kazandırmıştır. Giderek azalan agrega kaynakları ve artan karayolu inşaat maliyetleri bu tez çalışmasının yapılmasında önemli etken olmuştur.

Tez çalışmasında, Antalya bölgesinde bulunan ve ekonomik ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların geri dönüştürülebilmesi durumunda, elde edilen yeni karışımın performansı analiz edilmiştir. Atık asfalt kaplaması ve sathi kaplamanın bitümlü temel tabakasında yeniden kullanılması Karayolları Genel Müdürlüğü'nün Karayolu Teknik Şartnamesi 2013'te mevcut olan bitümlü temel kriterleri göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalarda bu malzemelerden değişik oranlarda (%10,%20,%30) atık asfalt kaplaması ve (%10) sathi kaplama ile hazırlanan yeni karışım numuneleri üretilmiştir. B70/100 ve B100/150 olmak üzere iki çeşit bitüm kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlara Marshall deneyleri, İndirekt Çekme Testi, parça kaybı (Cantabro) ve yorulma deneyi uygulanmıştır. Bu deneylerden elde edilen veriler kullanılarak asfalt karışımlarının performansı incelenmiştir. 30KA-70/100 numunesi tüm şartname kriterlerini sağladığından ve yüksek performans puanından dolayı en iyi numune kabul edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Bitümlü Sıcak Karışım (BSK), Geri dönüşüm, Kazınmış Asfalt Kaplama, Performans seviyesi

JÜRİ: Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. N. Uğur KOÇKAL

Prof. Dr. Serkan TAPKIN

ABSTRACT

DETERMINATION OF HOT MIXED PROPERTIES OF WASTE ASPHALT COATINGS BY ADVANCED LEVEL PERFORMANCE TESTS

Tayfun GÜRCAN

MSc Thesis in Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

July 2019; 106 pages

The effective use of natural resources is an important research topic in recent years. In this context, both the cost and the environmental benefit have increased recycling efforts in many areas and have accelerated the use of waste asphalt in the asphalt sector.

In this thesis study, performance of a new mixture was analysed which is obtained from asphalt pavements that have completed their economic lives if they can be recycled in Antalya region. Reuse of reclaimed asphalt pavement (RAP) and chip-sealed pavements in bituminous treated base were evaluated by taking into account the criteria in the Republic of Turkey General Directorate of Highways Technical Specification 2013. In the experimental studies, new Marshall mix samples were prepared from these materials in various ratios; such as, RAP (10%, 20%, 30%) and chip-sealed pavement (10%). Two types of bitumen, B70/10 and B100/150 were used. Marshall experiments, indirect tensile test (ITS), Cantabro and fatigue test were applied to prepared mixtures. The performance of asphalt mixtures were examined by using obtained data from these experiments. The 30KA-70/100 sample was accepted as the best sample; since, it satisfies all the specification criteria and because of its high performance score.

KEYWORDS: Hot Mixture Asphalt (HMA), Recycling, Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), Performance grade

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Sevil KÖFTECİ

Prof. Dr. N. Uğur KOÇKAL

Prof. Dr. Serkan TAPKIN

ÖNSÖZ

Günümüzde hızla tüketilen doğal kaynaklar insanlığı endişelendirmekte, ülkelerin atık yönetimi hakkında çeşitli bilimsel ve yasal çalışmalar yapmasına neden olmaktadır. İnşaat sektörünün hızla ilerlemesi ile bu sektörün ana hammaddelerinden biri olan agreganın ve karayolu yapımında bağlayıcı olarak kullanılan bitümün doğal kaynakları da giderek tükenmektedir. Artan maliyetler de geri dönüşüm konusunun önemli bir hale gelmesini sağlamaktadır. Ülkemizde de atık yönetimi ve geri dönüşüm çalışmaları önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. Bu nedenle, tez çalışmada ülke menfaatleri göz önünde bulundurularak ekonomik açıdan değeri yüksek olan atık asfalt kaplamaların yeniden kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın bu sektörle ilgili yapılan araştırmalara katkı sağlamasını ümit ediyorum.

Bu yüksek lisans tez çalışmasında değerli yönlendirmeleriyle bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sevil KÖFTECİ' ye saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamı destekleyen Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi'ne (Proje No: FYL-2017-2360) teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bugünlere ulaşmamda en büyük etken olan değerli aileme en derin sevgi ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	4
2.1. Asfalt ve Asfaltın Dünya'daki Gelişimi	4
2.2. Türkiye'de Asfalt Kullanımı	4
2.3. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar	5
2.4. Karayolu Yapımında Kullanılan Agregalar	6
2.5. Karayolu Tanımı Altyapı ve Üstyapı Özellikleri	7
2.5.1. Karayolu altyapısı	8
2.5.2. Karayolu üstyapısı.....	8
2.5.3. Esnek üstyapı	9
2.6. Sathi Kaplamalı Yollar	9
2.7. Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollar	10
2.8. Bitümlü Malzeme Geri Dönüşüm Yöntemleri.....	11
2.8.1. Soğuk düzeltme.....	12
2.8.2. Sıcak geri dönüşüm	12
2.8.3. Sıcak yerinde geri dönüşüm.....	13
2.8.4. Soğuk geri dönüşüm.....	13
2.8.5. Tam derinlikten kazıma	14
2.9. Dünya'da Geri Dönüşüm	14
2.10. Asfalt Geri Dönüşümü Hakkında Yapılan Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE METOD	23
3.1. Amaç	23
3.2. Yapılan Çalışmalar	23
3.3. Kazınan Geri Dönüşüm Kaplamalarına Uygulanan İşlemler	24

3.3.1. Ekstraksiyon işlemi ve bitümün ayrıştırılması	24
3.4. Agregaya Uygulanan Deneyler	25
3.4.1. Agregaya uygulanan özgül ağırlık ve su emme deneyi	25
3.4.2. Aşınma (Los Angeles) deneyi.....	27
3.4.3. Elek analizi	28
3.4.4. Soyulma deneyi.....	31
3.5. Bitüme Uygulanan Deneyler	32
3.5.1. Yumuşama noktası deneyi.....	33
3.5.2. Penetrasyon deneyi.....	34
3.5.3. Viskozite deneyi.....	35
3.5.4. Parlama noktası deneyi.....	35
3.5.5. Düktilite deneyi.....	36
3.6. Karışımında Kullanılan Yeni Agreganın Miktarının Belirlenmesi	36
3.6.1. %30 KA ve %10 SK oranına göre yeni agreganın miktarları	38
3.6.2. %20 KA ve %10 SK oranına göre yeni agreganın miktarları	38
3.6.3. %10 KA ve %10 SK oranına göre yeni agreganın miktarları	39
3.7. Karışımında Kullanılacak Yeni Bitüm Miktarı ve Sınıfı Tayini.....	39
3.7.1. Gerekli bitüm miktarı (agrega karışımı için)	39
3.7.2. Karışıma konulması gereken yeni bitüm miktarı.....	39
3.7.3. Karışıma konulması gereken yeni bitüm sınıfı	40
3.8. Marshall Dizaynı	42
3.8.1. Marshall numunelerinin hazırlanması	44
3.9. Akma ve Stabilitate Deneyi	45
3.10. Parça Kaybı (Cantabro) Deneyi	46
3.11. İndirekt Çekme Deneyi (İÇM)	47
3.12. Donma Çözünme Deneyi.....	48
4. BULGULAR	50
4.1. Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları	50
4.1.1. Yaşlı bitüme uygulanan deney sonuçları.....	50
4.1.2. Yeni bitüme uygulanan deney sonuçları	50
4.1.3. Bitüme uygulanan deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	52
4.2. Agregaya Uygulanan Deney Sonuçları	53

4.2.1. Özgöl ağırlık ve su emme sonuçları.....	53
4.2.2. Aşınma (Los Angeles) deneyi sonuçları	56
4.3. Elek Analizi Sonuçları	57
4.4. Bitüm Oranları.....	58
4.5. Marshall Briketlerine Uygulanan Deneyler	59
4.5.1. Akma ve stabilite deneyi sonuçları	73
4.5.2. Cantabro deneyi sonuçları	82
4.5.3. İndirekt çekme deneyi (normal)	83
4.5.4. Donma çözünme deneyi	84
4.5.5. İndirekt çekme deneyi (koşullu)	85
4.5.6. Cantabro deneyi	88
4.6. Performans Değerlendirmesi.....	92
4.7. Yorulma (Fatigue) Deneyi	95
5. TARTIŞMA.....	97
6. SONUÇLAR.....	100
7. KAYNAKLAR.....	103
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Atık Asfalt Kaplamalarla Oluşturulmuş Bitümlü Sıcak Karışım Özelliklerinin İleri Düzey Performans Deneyleriyle Belirlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

18/07/2019

Tayfun GÜRCAN



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

dk : Dakika

\$: Dolar

gr : Gram

MPA : Megapascal

mm : Milimetre

Mt : Milyonton

⁰C : Santigrat Derece

cm² : Santimetre Kare

cm³ : Santimetre Küp

% : Yüzde

Tez metni içerisinde ondalık sayıların gösterimi nokta kullanılarak “21.01” belirtilmiştir.

Kısaltmalar

ARRA : Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği

BSK : Bitümlü Sıcak Karışım

D_p : Hacim Özgül Ağırlığı

EKK : Ekonomi Koordinasyon Kurulu

HMAC: Yüksek Modüllü Asfalt Karışımı

IPCC : Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli

İÇM : İndirekt Çekme Modülü

KA : Kazınmış Asfalt

KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü

KTŞ : Karayolu Teknik Şartnamesi

MQ : Marshall Oranı

PI : Penetrasyon İndeksi

RAP : Reclaimed Asphalt Pavement

TS EN : Türk Standartları Enstitüsü

V_f : Asfalt Dolu Boşluk Oranı

V_h : Boşluk Oranı

VMA : Agregalar Arası Boşluk Oranı

WMO : Dünya Meteoroloji Örgütü



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Bitümlü malzeme çeşitleri	5
Şekil 2.2. 2015-2018 yılları arası TÜPRAŞ B70/100 bitüm fiyatları	6
Şekil 2.3. Yıllara göre Türkiye’de üretilen toplam agrega miktarları	7
Şekil 2.4. Yol enkesiti ve elemanları	8
Şekil 2.5. Karayolu altyapı ve esnek üstyapı tabakaları	9
Şekil 2.6. Bitümlü sıcak karışım tabakaları	10
Şekil 2.7. Bitümlü sıcak karışımın yola finişerle serilmesi	11
Şekil 2.8. Soğuk düzeltme işlemi ve yol yüzeyi	12
Şekil 2.9. Sıcak yerinde geri dönüşüm	13
Şekil 2.10. Soğuk geri dönüşüm treni	14
Şekil 3.1. Ekstraksiyon işlemi	25
Şekil 3.2. Vakumlu desikatör aracılığıyla havanın alınması	26
Şekil 3.3. Piknometre ve agreganın hassas terazide tartılması	26
Şekil 3.4. Kesik koni ile kıvam belirlenmesi	26
Şekil 3.5. a)Sudaki ağırlığın tartılması; b)Doygun kuru yüzey elde edilmesi	27
Şekil 3.6. Sahadan kazınmış asfalt	28
Şekil 3.7. Konkasör	29
Şekil 3.8. Konkasörde kırıldıktan sonra kazınmış asfalt	29
Şekil 3.9. Kazınmış asfalt gradasyon grafiği	30
Şekil 3.10. Sathi kaplama agregası gradasyon grafiği	31
Şekil 3.11. Normal agrega soyulma durumu	32
Şekil 3.12. Geri dönüşüm agregası soyulma durumu	32
Şekil 3.13. Yumuşama noktası deney düzeneği	33
Şekil 3.14. Numunenin bilyeden akması	33
Şekil 3.15. Numunelerin 25 ⁰ C su banyosunda bekletilmesi	34

Şekil 3.16. Penetrasyon deney düzeneği	34
Şekil 3.17. Brookfield dönel viskozimetre cihazı	35
Şekil 3.18. Parlama noktası deney cihazı	36
Şekil 3.19. Düktilite cihazı	36
Şekil 3.20. Agreg eleme işlemi	37
Şekil 3.21. Boyutlarına göre sınıflandırılan agregalar	37
Şekil 3.22. Asfalt viskozite abağı	41
Şekil 3.23. Elek açıklığına göre sınıflandırılan agregalar	42
Şekil 3.24. Karıştırma ve kalıba alınma	44
Şekil 3.25. Marshall briketlerinin sıkıştırılması	45
Şekil 3.26. Hazırlanan Marshall numuneleri	45
Şekil 3.27. Marshall stabilite test cihazı	46
Şekil 3.28. Cantabro deneyi sonrası numune ağırlık ölçümü	47
Şekil 3.29. İÇM deneyi	47
Şekil 3.30. Donma çözünme deneyi döngüsü	48
Şekil 3.31. Donma çözünme kabini	49
Şekil 4.1. Penetrasyon-yumuşama noktası grafiği	52
Şekil 4.2. Penetrasyon indeksi (PI) grafiği	53
Şekil 4.3. İnce agreg su emme değerleri	55
Şekil 4.4. Kaba agreg su emme değerleri	55
Şekil 4.5. Aşınma değerleri	56
Şekil 4.6. Bitümlü temel şartname limitlerine göre uygun olarak elde edilen karışım gradasyonu	57
Şekil 4.7. Karışım bitüm oranları	58
Şekil 4.8. Numunelerin yüksekliklerinin ölçülmesi	59
Şekil 4.9. Sudaki ağırlığının bulunması	59

Şekil 4.10. Hacim özgül ağırlık değerleri	61
Şekil 4.11. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 hacim özgül ağırlık değerleri	62
Şekil 4.12. KN-70/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 hacim özgül ağırlık değerleri	62
Şekil 4.13. Bitüm oranına göre ortalama hacim özgül ağırlık değerleri	63
Şekil 4.14. Boşluk oranı değerleri	63
Şekil 4.15. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 boşluk oranları	64
Şekil 4.16. KN-70/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 boşluk oranları	65
Şekil 4.17. Boşluk oranları karşılaştırılması	65
Şekil 4.18. Bitüm oranına göre ortalama boşluk oranı değerleri	66
Şekil 4.19. Agregalar arası boşluk oranı değerleri	67
Şekil 4.20. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 VMA oranları ..	67
Şekil 4.21. KN-70/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 VMA oranları	68
Şekil 4.22. Agregalar arası boşluk oranları karşılaştırılması	69
Şekil 4.23. Bitüm oranına göre ortalama agregalar arası boşluk oranı değerleri	69
Şekil 4.24. Asfalt dolu boşluk oranı değerleri	70
Şekil 4.25. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 asfalt dolu boşluk oranları	71
Şekil 4.26. KN-70/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 asfalt dolu boşluk oranları	71
Şekil 4.27. Asfalt dolu boşluk oranları karşılaştırılması	72
Şekil 4.28. Bitüm oranına göre ortalama asfalt dolu boşluk değerleri	72

Şekil 4.29. Marshall stabilite cihazı	73
Şekil 4.30. Akma değerleri ve şartname limitleri	75
Şekil 4.31. Bitüm oranına göre ortalama akma değerleri	76
Şekil 4.32. Bitüm oranına göre ortalama VMA ve akma değerleri	76
Şekil 4.33. Stabilite değerleri ve şartname limitleri	78
Şekil 4.34. Bitüm oranına göre ortalama stabilite değerleri	78
Şekil 4.35. Marshall oranları (MQ)	79
Şekil 4.36. Bitüm oranına göre ortalama MQ değerleri	80
Şekil 4.37. Bitüm oranına göre ortalama Vh ve akma değerleri	80
Şekil 4.38. Bitüm oranına göre ortalama Vh ve stabilite değerleri	81
Şekil 4.39. Bitüm oranına göre ortalama akma ve stabilite değerleri	81
Şekil 4.40. Cantabro deneyi ağırlık kayıpları	82
Şekil 4.41. İndirekt çekme deneyi sonuçları(normal)	84
Şekil 4.42. Donma çözünme deneyi	85
Şekil 4.43. İndirekt çekme deneyi sonuçları	86
Şekil 4.44. İndirekt çekme deneyi sonuçları karşılaştırılması	87
Şekil 4.45. İndirekt çekme deneyi sonuçları ortalaması	87
Şekil 4.46. İÇM oranları	88
Şekil 4.47. Cantabro deneyi öncesi ve sonrası numune	89
Şekil 4.48. Cantabro deneyi ağırlık kayıpları	90
Şekil 4.49. Cantabro deneyi ağırlık kayıpları karşılaştırılması	90
Şekil 4.50. Cantabro deneyi ağırlık kayıpları ortalaması	91
Şekil 4.51. Bitüm oranına göre ortalama Vh ve ağırlık kaybı değerleri	91
Şekil 4.52. Bitüm oranına göre ortalama stabilite ve ağırlık kaybı değerleri	92
Şekil 4.53. Performans puanları	94
Şekil 4.54. Numunelerin rijitlik değişimi	95

Şekil 4.55. Yük tekrar sayısı değişimi	96
---	----



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Satış cinsine göre yol ağı	4
Çizelge 2.2. Türkiye’de 2016 yılındaki asfalt uygulamaları ve bitüm tüketimi	5
Çizelge 3.1. Kazınmış asfalt elek analizi	29
Çizelge 3.2. Sathi kaplama agregası elek analizi	30
Çizelge 3.3. Bitümlü temel tabakası agrega gradasyon limitleri	38
Çizelge 3.4. %30 KA ve %10 SK için yeni agrega miktarları	38
Çizelge 3.5. %20 KA ve %10 SK için yeni agrega miktarları	39
Çizelge 3.6. %10 KA ve %10 SK için yeni agrega miktarları	39
Çizelge 3.7. Viskozite-penetrasyon dönüşümü	40
Çizelge 3.8. Donma çözünme deneyi döngüsü	48
Çizelge 4.1. Yaşlı bitüme uygulanan penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları	50
Çizelge 4.2. Yaşlı bitüme uygulanan deney sonuçları ortalamaları	50
Çizelge 4.3. B70/100 yeni bitüme uygulanan deney sonuçları	51
Çizelge 4.4. B100/150 yeni bitüme uygulanan deney sonuçları	51
Çizelge 4.5. B70/100 yeni bitüme uygulanan deney sonuçları ortalaması	51
Çizelge 4.6. B100/150 yeni bitüme uygulanan deney sonuçları ortalaması	52
Çizelge 4.7. Ayırıştırılan ince agrega özgül ağırlık ve su emme değerleri	53
Çizelge 4.8. Ayırıştırılan kaba agrega özgül ağırlık ve su emme değerleri	54
Çizelge 4.9. Sathi kaplama agregası özgül ağırlık ve su emme değerleri	54
Çizelge 4.10. Yeni kalker ince agrega özgül ağırlık ve su emme değerleri	54
Çizelge 4.11. Yeni kalker kaba agrega özgül ağırlık ve su emme değerleri	54
Çizelge 4.12. Agrega aşınma değerleri	56
Çizelge 4.13. Karışım bitüm oranları	58
Çizelge 4.14. Marshall briketlerinden elde edilen veriler	60

Çizelge 4.15. Marshall briketinden elde edilen boşluk oranları ve şartname limitleri ..	60
Çizelge 4.16. Akma değerleri	74
Çizelge 4.17. Akma değerleri ortalamaları	74
Çizelge 4.18. Stabilite değerleri	77
Çizelge 4.19. Stabilite değerleri ortalamaları	77
Çizelge 4.20. Marshall oranları	79
Çizelge 4.21. Cantabro deneyi ağırlık kayıpları	82
Çizelge 4.22. Cantabro deneyi ağırlık kaybı ortalamaları	82
Çizelge 4.23. İÇM değerleri (normal)	83
Çizelge 4.24. İÇM değerleri ortalamaları	84
Çizelge 4.25. İÇM değerleri (koşullu)	85
Çizelge 4.26. İÇM değerleri ortalamaları	86
Çizelge 4.27. İÇM oranları	88
Çizelge 4.28. Cantabro deneyi ağırlık kayıpları	89
Çizelge 4.29. Cantabro deneyi ağırlık kaybı ortalamaları	89
Çizelge 4.30. Akma-stabilite-İÇM oranı performansı etki değerleri	93
Çizelge 4.31. Vh-VMA-Vf performansı etki değerleri	93
Çizelge 4.32. Cantabro performansı etki değerleri	93
Çizelge 4.33. Performans toplam etki değerleri	94
Çizelge 4.34. Numunelerin şartnameye uygunluğu	94
Çizelge 4.35. Yorulma deneyi ortalama sonuçları	95

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında giderek artan insan nüfusu ve sanayileşme; sınırlı olan doğal kaynakların giderek tükenmesi, küresel ısınma gibi doğa ve insan yaşamını oldukça etkileyen önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu tür sorunlar, günümüzde özellikle küresel ısınma neticesinde oluşan iklim değişiklikleriyle dünyada; ani sel, hortum, kasırga gibi birçok insanın yaşamını etkileyen doğal afetlere yol açmaktadır. Artan bu sorunlar devletleri çevresel sorunların önüne geçmek adına bazı kararlar almaya ve aralarında bazı çevre anlaşmaları oluşturmaya itmiştir.

Türkiye’de çevre sorunlarının çözümü adına birtakım girişimlerde bulunmuştur. Uluslararası çevre anlaşmalarına taraf olmasının yanında 1 Ocak 2015’ te Resmi Gazete’ de Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı yayımlanmıştır (Resmi Gazete 2015).

Bu kapsamda; hem maliyet hem de çevre ekolojisi yararı, birçok alanda geri dönüşüm çalışmalarını arttırdığı gibi inşaat sektöründe de atık asfaltın yeniden kullanımı çalışmalarının hız kazanmasına neden olmuştur.

Karayolu üstyapısında kullanılan bitümlü sıcak karışımın (BSK) yeniden kullanımı, ekonomik yarar ve çevresel etkenlerden dolayı asfalt üretiminde alternatif bir seçenek olmaya başlamıştır.

Asfalt sektörü, hammadde ve enerji kullanılan, ayrıca üretim yapan sektörlerden biri olması nedeniyle çevresel etkileri olan bir sektördür. Günümüzde, çevresel etkilerin oluşmasından sonra bu etkileri gidermeye yönelik onarımcı çevre politikaları yerine, çevre bozulması oluşmadan önce, çevresel etkileri önceden tespit edip önlem alan koruyucu çevre politikaları gündemdedir (Ceylan ve Saraç 2001).

Ülkemizde popüler hale gelen çevre korumacılığı ise daha çok “yeşile verilen önem” ortak paydasında bir sivil toplum hareketi veya baskı grubu oluşturma anlayışı ile sosyal bir faaliyet olarak yürütülmekte ve konunun teknik ve hukuki boyutları genelde göz ardı edilmektedir (Ceylan 2006).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında; bitümlü sıcak karışım içeriğindeki bitüm ve agreganın, karayolu esnek üstyapı tabakalarından biri olan bitümlü temel tabakasında sathi kaplama içeriğindeki agrega ile beraber ülke şartnameleri çerçevesinde yeniden kullanımı üzerine deneysel araştırmalar yapılmıştır.

Giderek azalan agrega kaynakları ve artan karayolu yapım maliyetleri, bu çalışmanın yapılmasında önemli etken olmuştur.

Bu çalışmada; geri dönüşüm malzemesi olarak kazanmış BSK kaplama ve sathi kaplama malzemeleri kullanılmıştır. Atık BSK kaplaması, Antalya-Alanya karayolunun Havalimanı Kavşağı kesiminden temin edilmiştir. Karayolu üstyapısının, yaklaşık 7 yıl önce yenilendiği ve bu karayolu yapımında kullanılan bitümün, 50/70 penetrasyon sınıfında modifiye bitüm olduğu Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) yetkililerinden öğrenilmiştir.

Sathi kaplama malzemesi ise yine KGM sorumluluğunda ve Antalya il sınırları içerisinde bulunan, karayolu üstyapı yenileme çalışmaları neticesinde elde edilmiştir.

Karayolu genişletme, yenileme ve kavşak düzenlemesi çalışması kapsamında karayolunun aşınma ve binder tabakalarından kazınan ve RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) olarak adlandırılan malzemenin, içeriğindeki yaşlı bitümün ve agreganın performansını belirleyebilmek amacıyla ekstraksiyon ile ayrıştırma işlemi yapılmıştır. Kazınmış asfalt içeriğindeki bitüm oranı %3.15 bulunmuştur.

Ayrıştırılan yaşlı agregaya; özgül ağırlık, su emme, aşınma ve soyulma deneyleri uygulanmıştır. Ayrıştırılan yaşlı bitüme ise; penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite deneyleri uygulanmıştır.

Daha sonra sathi kaplama agregasına yine özgül ağırlık, su emme, aşınma deneyleri uygulanmıştır. Bu malzemeler ile karışıma eklenecek yeni agregası ve bitümün uygunluğu ülkemizde karayolu yapımında rehber olan ve KGM tarafından hazırlanan Karayolu Teknik Şartnamesi (KTS) çerçevesinde belirtilen şartname limitlerine göre irdelenmiştir.

Kazınmış atık kaplama malzemelerinden ayrıştırılarak, performans durumları tespit edilen yaşlı agregası ve bitüme göre, hazırlanacak yeni karışım dizaynına eklenecek yeni agregası granülometrisi ve yeni bitüm sınıfı belirlenmiştir. Ayrıca atık BSK kaplaması içerisindeki bitüm miktarına göre yeni karışıma eklenecek bitüm oranı belirlenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, yaşlı bitüm ve agregası ile yeni bitüm ve agreganın şartname limitlerini sağladığı görülmüştür. Karışıma %10,%20 ve %30 oranında RAP malzemesi eklenmiştir. Ayrıca bu karışım dizaynına, geri dönüşüm agregası olarak %10 oranında sathi kaplamanın kazınmasıyla elde edilen agregalar ilave edilmiştir.

Yol konforu ve performansının iyileştirilebilmesi amacıyla sathi kaplamalı karayollarının, BSK kaplamalı karayollarına dönüştürüldüğü görülmüştür. Bu sebepten ötürü atık sathi kaplama agregası, geri dönüşüm amacıyla çalışmada karışımlara eklenerek kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Bu çalışmada bağlayıcı olarak ise; bağlayıcının karışıma etkisinin belirlenmesi amacıyla penetrasyon değerine göre sınıflandırılan B70/100 ve B100/150 bitüm kullanılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise KTS bitümlü temel kriterlerine göre Marshall Dizayn yöntemiyle numuneler oluşturulmuştur. Karışım içeriğindeki bitüm sınıfı ve atık malzeme oranına göre 7 çeşit karışım dizaynı hazırlanmıştır. Her karışım dizaynına ise, bir tanesi yedek olmak üzere 14 Marshall briketi yani toplamda 98 adet numune hazırlanmıştır.

Bu Marshall numunelerine; akma, stabilite, indirekt çekme, parça kaybı (Cantabro), donma çözünme ve yorulma deneyleri uygulanmıştır ve sonuçları irdelenerek karşılaştırılmıştır.

Elde edilen bu sonuçlara göre, numunelere performans puanları verilmiştir. Bu performans puanları belirlenirken KTŞ kriterleri ana belirleyici unsur olmuştur. En yüksek puanlı numuneye ise Yorulma (Fatigue) Deneyi uygulanmıştır.



2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Asfalt ve Asfaltın Dünya'daki Gelişimi

1900'lü yılların başlarında, ham petrolden asfaltı rafine etmenin keşfedilmesi ve otomobil üretiminin artması yol yapımında asfalta olan talebi arttırmıştır. Asfalt modern yolların yapımında ucuz ve tükenmez bir kaynak olarak kullanılmaktadır (İlcalı vd. 2001).

Asfaltın karayolunda kullanımının yaklaşık 100 yıllık bir geçmişi vardır. Gösterdiği performans ile karayolu yapımında oldukça tercih edilen bir malzeme olması neticesinde asfalt endüstrisi sürekli gelişim göstermektedir. Asfalt Mütahhitleri Derneği'nden (ASMÜD) alınan verilere göre dünyada 2007 yılında yaklaşık 1 milyar ton asfalt üretilmiştir. Türkiye'de ise 2016 yılında 40.4 milyon ton BSK üretilmiştir.

2.2. Türkiye'de Asfalt Kullanımı

Karayolları Genel Müdürlüğü 2002 yılından itibaren trafik yüküne bağlı olarak yapılması aciliyet arz eden yolların yenileme ve genişletme çalışmalarını hızlandırmıştır.

Yıllar içerisinde büyük gelişim gösteren şehirlerarası karayolu ağı uzunluğunun günümüzde ki durumu ise Çizelge 2.1'de gösterilmiştir..

Çizelge 2.1. Satış Cinsine Göre Yol Ağı (km) (<http://www.kgm.gov.tr> 2018)

YOL SINIFI	ASFALT BETONU	SATHİ KAPLAMA	PARKE	STABİLİZE	TOPRAK	GEÇİT VERMEZ	TOPLAM UZUNLUK
OTOYOLLAR	2157	-	-	-	-	-	2157
DEVLET YOLLARI	16991	13691	66	36	-	282	31066
İL YOLLARI	3802	26492	248	632	520	2202	33896
TOPLAM	22950	40183	314	668	520	2484	67119

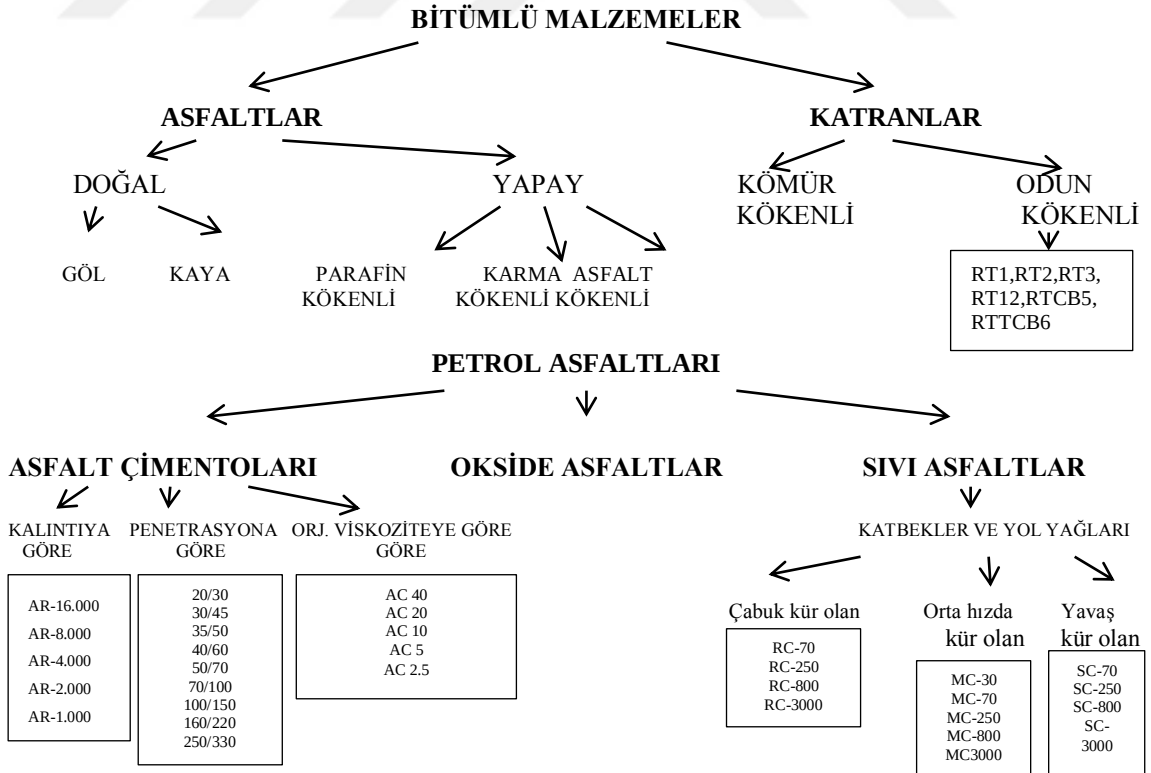
Asfalt Mütahhitleri Derneği'nden elde edilen verilere göre 2016 yılında Türkiye'de kullanılan bitüm miktarları Çizelge 2.2.'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.2. Türkiye’de 2016 Yılındaki Asfalt Uygulamaları ve Bitüm Tüketimi
(<http://www.asnud.org.tr/> 2018)

	BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM(milyon ton)	SATHİ KAPLAMA(km²)	SOĞUK BİTÜMLÜKARIŞIM(milyon ton)	BİTÜM TÜKETİMİ(milyon ton)
KARAYOLLARI	24.5	173.7	0.117	1.755
ŞEHİR İÇİ YOLLAR	14.7	68.7	0.212	0.949
KÖY YOLLARI	1.2	64.1	0.215	0.227
TOPLAM	40.4	306.4	0.544	2.931

2.3. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar

Bitümlü malzemeler, inşaat sektöründe esnek yol üstyapısında ve yapıların su yalıtımında kullanılmaktadır.



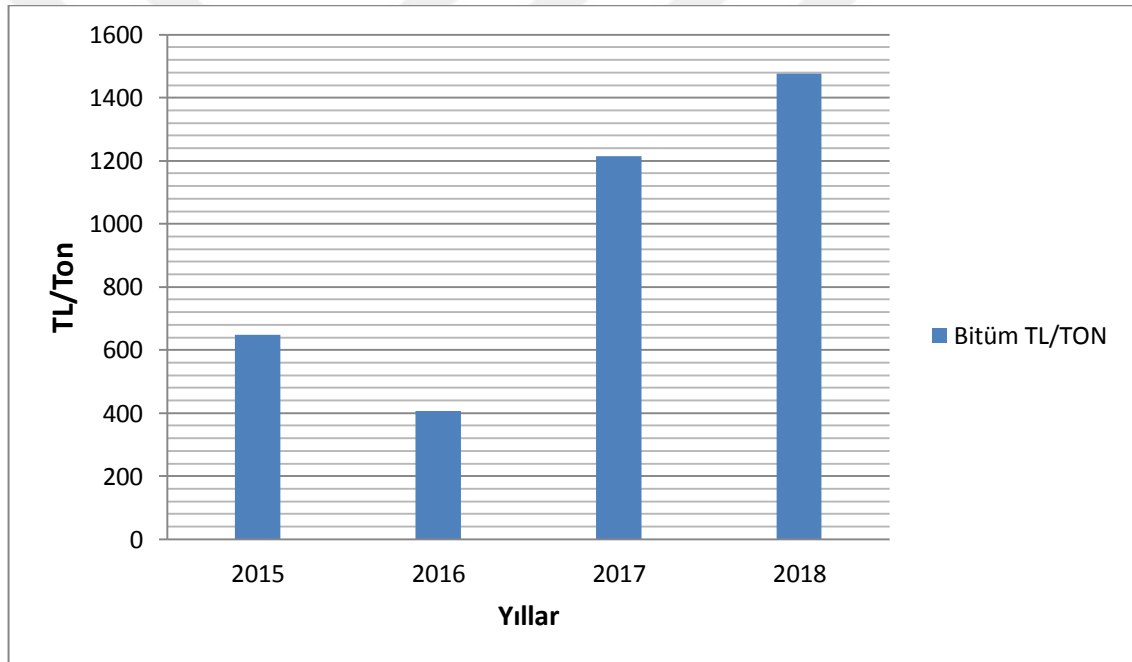
Şekil 2.1. Bitümlü Malzeme Çeşitleri (Orhan 2012)

Bitümlü malzeme çeşitleri Şekil 2.1.'de belirtilmiştir. Bitüm, asfalt kaplamalarda oldukça çok tercih edilen bir yapı malzemesidir. Karayolunun yapılacağı bölgenin iklim şartları ve trafik yüküne göre kullanılacak bitümün sınıfı belirlenmektedir.

Performans sınıfı bağlayıcıların seçiminde, kaplamanın hizmet edeceği bölgenin iklim koşulları doğrudan ön plana çıkmaktadır (Sağlık ve Güngör 2008).

Asfalt endüstrisinde kullanılan bitüm, Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ)'a ait 4 rafineride üretilmektedir. Bunlar; İzmit, İzmir, Kırıkkale ve Batman Rafinerileridir. Bu rafinerilerde üretilen bitüm ve bitümlü bağlayıcılar ise şu şekilde sıralanmaktadır: 50/70 Bitüm, 70/100 Bitüm, 100/150 Bitüm, 160/220 Bitüm, Bitümlü Bağlayıcı Fm 2 B 2, Bitümlü Bağlayıcı Fm 3 B 2 'dir (<https://www.tupras.com.tr/> 2018).

TÜPRAŞ 2017 Faaliyet Raporu'na göre 2016 ve 2017'de yaklaşık 3,5 milyon ton bitüm üretilmiştir.



Şekil 2.2. 2015-2018 Yılları Arası TÜPRAŞ B70/100 Bitüm Fiyatları (TÜPRAŞ 2018)

Şekil 2.2.'den de görüldüğü üzere yıllar içerisinde fiyatı oldukça artış gösteren bitüm, karayolu yapımında maliyeti oluşturan ana yapı malzemeleri içerisinde önemli bir pay sahibidir. Bu yüzden bitümün geri dönüşümünün incelenmesi oldukça önemlidir.

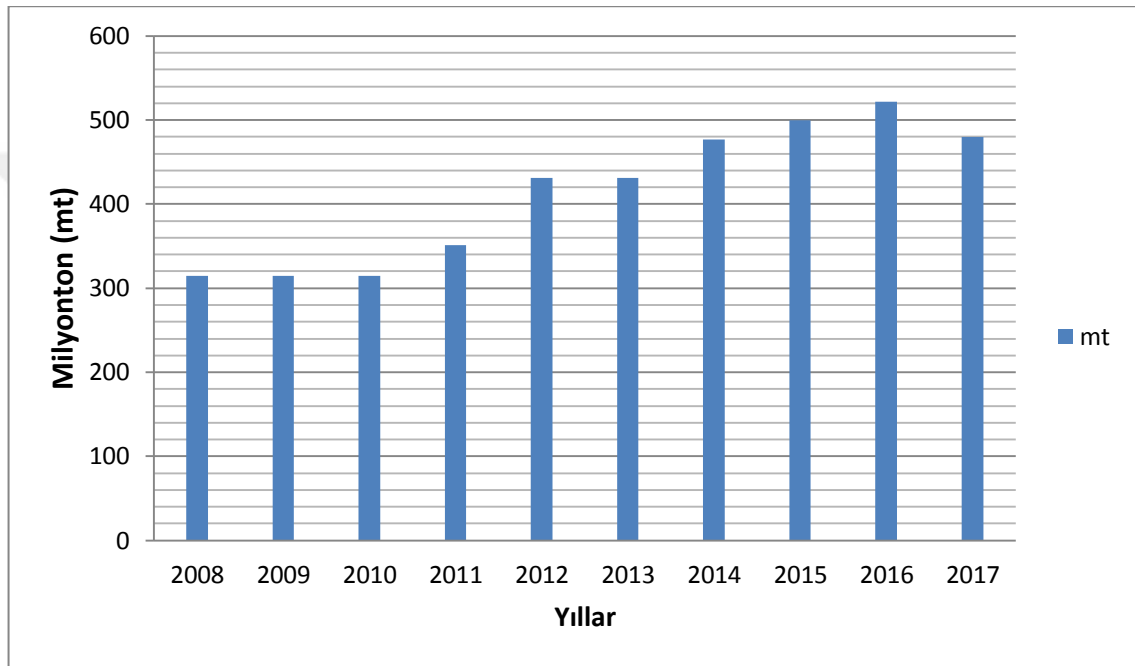
2.4. Karayolu Yapımında Kullanılan Agrega

Agrega, inşaat endüstrisinin temel yapı malzemelerinden birisidir. Beton ve asfalt yapımında kullanılan malzemeler arasında agrega, miktarca en önemli paya sahiptir. Çok büyük bir çoğunluğu doğal yöntemlerden elde edilen agrega

kullanımındaki artış aynı zamanda doğal kaynakların tükenmesine ve ekosisteme oldukça zarar vermektedir.

Karayolu üstyapısının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturan agrega, yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli rol oynamaktadır. Bu bakımdan agregaların özellikleri, yol mühendisleri için çok önemli olup, değişik agrega tiplerinin karakteristiklerinin bilinmesi, yolların projelendirilmesi için gereklidir (İlcalı vd. 2001).

Asfalt içinde neredeyse %95 yer işgal eden agrega, özellikle karayolu sektörü için vazgeçilmez bir yapı hammaddesidir



Şekil 2.3. Yıllara Göre Türkiye’de Üretilen Toplam Agrega Miktarları
(<http://www.uepg.eu/statistics/estimates-of-production-data/> 2019)

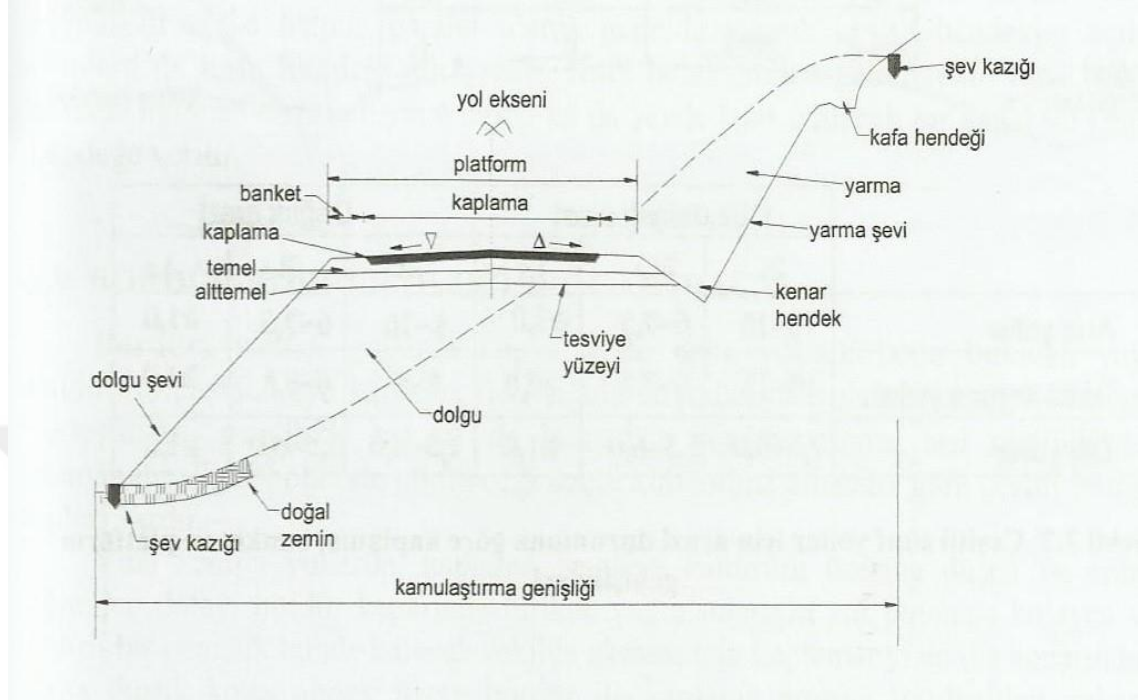
Şekil 2.3.’te yıllara göre, Türkiye’de üretilen toplam agrega miktarı belirtilmiştir. Artan nüfus ve gelişen altyapı, üstyapı inşaat sektörü, üretilen agrega miktarının artmasında doğrudan etkilidir. Giderek artan agrega tüketim talebi, agregaların geri dönüşümü çalışmalarının oldukça önemli hale getirmektedir.

2.5. Karayolunun Tanımı, Altyapı ve Üstyapı Özellikleri

Orhan (2013) karayolunu ve karayolu trafiğini şu şekilde tanımlamıştır; taşıt ve yayaların yükleriyle beraber ulaşımını sağlayan kamuya açık arazi şeritlerinde tekniğine uygun yapılmış yapıya Karayolu denmektedir. Bu platform üzerinde motorlu veya motorsuz araç ve yayaların hareketlerinin düzenine de Karayolu Trafiği denmektedir.

Karayolu yapısı, önceden belirlenen geometrik standartlara uygun olarak saptanmış olan bir güzergah boyunca, doğal zeminin istenilen yükseltilere girebilmesi ve üzerinde 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 (İlçalı vd. 2001).



Şekil 2.4. Yol Enkesiti ve Elemanları (Yayla 2014)

Şekil 2.4.'te karayolu enkesiti ve karayolunu oluşturan elemanlar belirtilmiştir. Karayolu elemanları altyapı ve üstyapı olarak iki kısma ayrılmaktadır. Bu kısımlar aşağıda detaylı şekilde incelenmektedir.

2.5.1. Karayolu altyapısı

Karayolunu oluşturan temel unsurlardan birisi olan karayolu altyapısı, karayolunun gelen trafik yükünü karşılama kısmındaki ana taşıyıcı unsurdur.

Yapımı tamamlanmış bir karayolunda, tesviye sathıyla doğal zemin çizgisi arasındaki bölgeye altyapı adı verilir. Altyapı, yolun dolgu kesimlerinde, dışarıdan getirilen toprakla oluşturulmuş bir toprak gövde, yarma kesimlerindeyse doğal kesimdir (İlçalı vd. 2001).

2.5.2. Karayolu üstyapısı

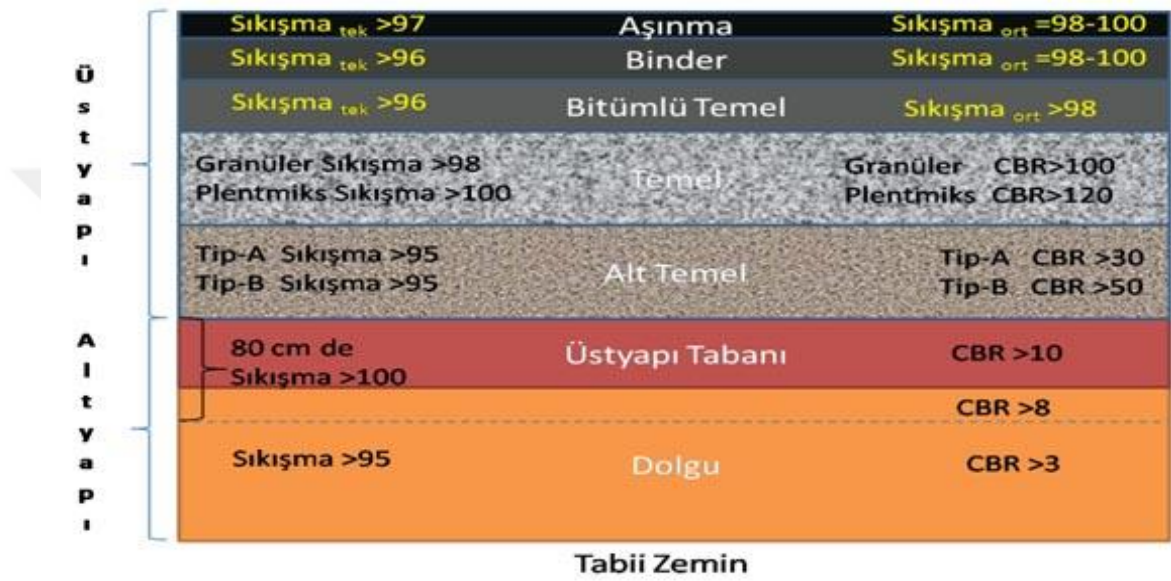
Karayolunu oluşturan temel unsurlardan ikincisi ise karayolu üstyapısıdır. Üstyapı karayoluna etkileyen trafik yükünü karşılamada ve iletmede oldukça önemlidir.

Sağlık ve Güngör (2008) üstyapıyı şu şekilde tanımlamıştır; trafik yükünü taşımak üzere tesviye yüzeyine (üstyapı tabanına yerleştirilen) tabakalı yol yapısıdır.

Orhan (2013) ise üstyapıyı; alt yapının taşıyıcılık görevini yerine getirebilmesi amacıyla trafik yüklerini taşımak ve bu yükleri taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak biçimde dağıtabilecek kaplama olarak tanımlamıştır.

2.5.3. Esnek üstyapı

Genellikle karayolu inşaatında çokça kullanılan bir üstyapı çeşidi olan esnek üstyapı çeşitli tabakalardan meydana gelmektedir. Şekil 2.5.'te karayolu tabakaları belirtilmiştir.



Şekil 2.5. Karayolu Altyapı ve Esnek Üstyapı Tabakaları (www.isfalt.istanbul/tr/ 2018)

Karayolu üstyapısının en üst tabakası, kullanılan malzeme çeşidi ve trafik yüküne göre genellikle ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; sathi kaplama ve bitümlü sıcak karışım kaplamalar olarak iki sınıfta incelenebilir.

2.6. Sathi Kaplamalı Yollar

Sathi kaplama; düşük standartlı ve BSK kaplamalara göre daha az maliyetli bir kaplama çeşididir.

Sathi kaplamalar; yapım kolaylığı, ilk yatırım maliyetlerinin düşük olması vb. nedenlerden dolayı ülkemizde daha uzun yıllar kullanılacak bir kaplama türüdür (Karaşahin ve Gürer 2007).

Bu kaplama tipinin konforsuz olması, trafik gürültüsünün yüksek olması ve sık bakım gerektirmesi sathi kaplamanın dezavantajları arasında sayılabilir.

2.7. Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı Yollar

Karayolu üstyapı kaplaması olarak kullanılan bir başka kaplama türü ise Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) kaplamadır. Sathi kaplamaya göre üstündeki trafik için daha konforlu bir kullanım sağlamaktadır. Sathi kaplamaya göre yatırım maliyeti daha yüksektir ve daha uzun uygulama süresi gerektirir. Çizelge 2.1.'de belirtildiği gibi Türkiye'de sathi kaplamadan sonra en yaygın kullanılan kaplama türüdür.

Şekil 2.36.'da, karayolu üstyapı tabakalarının sahadaki durumu gösterilmiştir. Fotoğraf, 2018 yılında Antalya-Burdur karayolunun 30.km'sinde çekilmiştir.



Şekil 2.6. Bitümlü Sıcak Karışım Tabakaları

BSK, ülkemizde ve dünyada kullanılan önemli kaplama çeşitlerinden biridir. Dizayn kriterleri ve bitüm seçim haritası ülkemizde var olan Karayolu Teknik Şartnamesi(KTŞ)'ne göre yapılmaktadır. Aynı zamanda bu şartname ile, agrega ve bitüme uygulanan deneyler neticesinde malzemenin göstermesi gereken dizayn kriterleri de belirtilmiştir.

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK); çok iyi servis performansı, sürüş konforu, stabilite, durabilite ve suya karşı dayanım sağlaması yönüyle yol üst yapılarında en çok kullanılan kaplama türüdür (Kök vd. 2012).

Bitümlü Sıcak Karışım; sıcak agrega karışımının, ısıtılmış asfalt çimentosu ile homojen olarak karıştırılıp kaplanması ile elde edilir. Bitümlü karışımlar, sathi kaplamaya göre çok daha pahalıdır. Bu kaplamaların fiziksel özelliklerinin bilinmesi ve belirli koşulları sağlaması gerekir (Orhan 2012).

Şekil 2.7.'de, karayolu üstyapısı yapımı kapsamında bitümlü sıcak karışım malzemesinin finişerle karayoluna serimi gösterilmiştir. Fotoğraf, 2018 yılında Antalya-Burdur karayolunun 15.km'sinde çekilmiştir.



Şekil 2.7. Bitümlü Sıcak Karışımın Yola Finişerle Serilmesi İşlemi

2.8. Bitümlü Malzeme Geri Dönüşümü ve Yöntemleri

Türkiye'de, hem agrega rezervlerinin hızla tükenmesi, hem de bitüm yönünden dışa bağımlılık ve çevre problemlerinin de daha da önem kazanacak olması ile, önümüzdeki 5-10 yıl içinde atık malzemelerin yol yapımında yeniden kullanılması zorunluluğu ile karşı karşıya kalınacaktır (Güngör vd. 2009).

Geri dönüşüm, ilk amacına hizmet etmiş olan malzemelerin, çoğunlukla bazı işlemlerden geçirilerek yeniden kullanılmasıdır. Asfalt kaplamaların geri dönüşümünde, tüm normal şartname gerekliliklerini sağlayacak bitümlü karışımları oluşturmak için, kullanılmış kaplamalardan edinilen malzemeler, bir takım yeni malzemelerle karıştırılırlar (İlcalı vd. 2001).

Geri dönüştürülen asfalt malzemesinin içeriğindeki agrega ve okside olmuş bitümün performans özellikleri ile daha sonra uygulama aşamasında ve ileriki yıllarda göstereceği davranışlar oldukça önemlidir. Bu malzemelerin göstereceği özellikler, geri dönüşüm yöntemlerini belirlemede etkilidir.

Asfalt Geri Dönüşüm ve Rehabilitasyon Birliği (ARRA) (2018); asfalt geri dönüşüm yöntemlerini şu şekilde sıralamıştır:

- Soğuk Düzeltme,
- Sıcak Geri Dönüşüm,
- Sıcak Yerde Geri Dönüşüm,
- Soğuk Yerde Geri Dönüşüm,

- Tam Derinlikten Kazıma.

2.8.1. Soğuk düzeltme

Şekil 2.8.'de soğuk düzeltme işlemi gösterilmiştir. Soğuk düzeltme, eski kaplama malzemesinin bir bölümünü veya tamamını istenilen derinlikte ve eğimde özel asfalt freze makinalarıyla kazıma işlemidir. Asfalt freze makinası kazınan asfaltı bir konveyör aracılığıyla yükleme aracına iletir.



Şekil 2.8. Soğuk Düzeltme İşlemi ve Yol Yüzeyi (www.middleeast.com 2018)

Soğuk düzeltme, mevcut kaplamanın istenilen derinlik, boykesit ve enine eğimde kontrollü olarak olduğu yerden kaldırılmasıdır. Bu işlem sonucunda ortaya çıkan yüzey dokusu ; işlem biter bitmez yolun trafiğe açılmasına imkan verebildiği gibi, diğer asfalt geri dönüşüm yöntemlerinden biriyle müdahale edilebilmesine ya da mevcut tabaka kaldırıldıktan sonra temizlenip asfalt tabakalarının birbirine daha iyi yapışmasını sağlayan tack coat tabakası atıldıktan sonra standart sıcak karışım asfalt kaplama veya geri dönüşümlü asfalt tabakasıyla kaplanmasına izin verecek şekilde üç farklı çözüm yöntemi sunar (Salta 2010).

2.8.2. Sıcak geri dönüşüm

Sıcak geri dönüşüm, dünyanın çeşitli yerlerinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar alınmış bir geri dönüşüm çeşididir.

Geri kazanılan asfalt kaplama (RAP) malzemesi yeni malzeme ve gerekirse katkı ilavesiyle birleştirilerek elde edilir.

Sıcak geri dönüşümün avantajlarını Güngör (2018) şu şekilde sıralamıştır;

- Önemli bir yapısal sağlamlığının olması,
- Geleneksel sıcak asfalt karışımı ile karşılaştırıldığında ona eşit veya daha iyi performans göstermesi,
- Çoğu yüzey kusurlarına, deformasyonlara ve çatlamalara karşı dirençli olmasıdır

2.8.3. Sıcak yerinde geri dönüşüm

Sıcak yerinde geri dönüşüm; mevcut yol kaplamasının kazıma makinası ile kazınarak mobil asfalt plentine aktarılmasıyla ve bu asfalt plentinde RAP malzemesine yeni agregaya ile bitüm karıştırılarak yola serilip sıkıştırılarak oluşmaktadır.

ARRA (2018) sıcak yerinde geri dönüşüm avantajları ise şu şekilde sıralamıştır:

- Yaşlanmış bitüm, yüksek penetrasyonlu bitüm gençleştirici katkıları ile gençleştirilebilmektedir,
- Projeye göre yeni hazırlanmış agregaya karışımına eklenebilmektedir,
- Soğuk derzden dolayı oluşabilecek yüzey çatlakları önlenmektedir,
- Uniform dağılım sağlamaktadır,
- Taşıma maliyetlerini minimuma indirmektedir.



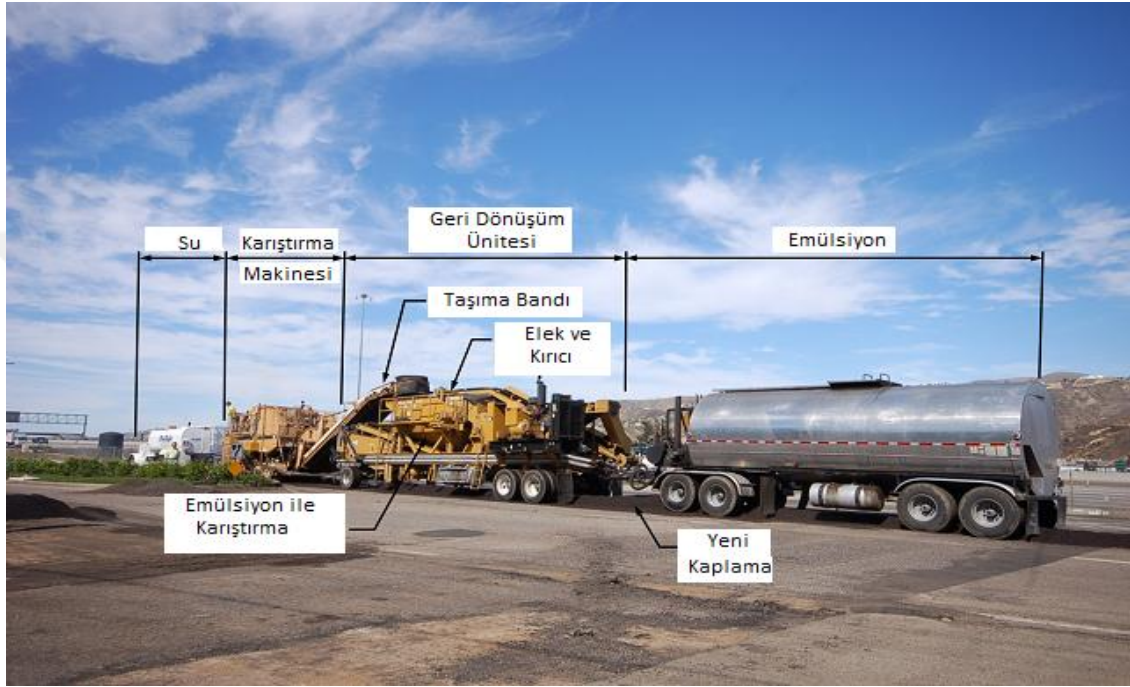
Şekil 2.9. Sıcak Yerinde Geri Dönüşüm (www.ecopavesystems.com 2018)

2.8.4. Soğuk geri dönüşüm

Soğuk geri dönüşümün kullanıldığı çeşitli teknikler vardır. Bunlar yerinde ve plentte geri dönüşüm olarak sıralanmaktadır.

Soğuk geri dönüşüm süreci genel olarak şu şekildedir:

- Geri kazanılmış asfalt kaplamaların boyutlandırılması,
- Yeni bitümlü bağlayıcı veya diğer katkı maddelerinin eklenmesi,
- Tüm bileşen malzemelerin karıştırılması,
- Geri dönüştürülmüş karışımın serilmesi,
- Geri dönüştürülmüş karışımın sıkıştırılması
- Yeni asfalt yüzeyinin yerleştirilmesi olarak sıralanmaktadır (www.arra.com 2018)



Şekil 2.10. Soğuk Geri Dönüşüm Treni (dpw.lacounty.gov 2018)

2.8.5. Tam derinlikten kazıma

Bir diğer yöntem ise tam derinlikte kazımadır. Bu yöntemde karayolu temel tabakasıyla birlikte kazınarak geri dönüştürülebilmektedir.

Tam derinlikten geri kazanma yönteminde; asfalt kaplama tabakasının tamamı, önceden belirlenmiş kalınlıkta temel, alttemel veya doğal zemin birlikte sökülerek stabilizasyon malzemesi eklenmekte, karıştırılmakta ve sıkıştırılmaktadır. Böylece ıslah edilmiş homojen temel tabakası elde edilmiş olmaktadır. Bu yöntemde soğuk yerde geri dönüşüm yönteminde olduğu gibi ısı kullanılmamaktadır (Yılmaz vd. 2011).

2.9. Dünya’da Geri Dönüşüm

Dünya’da giderek artan nüfus ve buna bağlı olarak artan çevresel sorunlar ülkelerin çevre politikalarında geri dönüşümün önemli bir hale gelmesine neden olmuştur. Ülkeler, çevre konusunda hem ulusal hem de uluslararası sözleşmeler imzalayarak çevre sorunlarının önüne geçmek için çalışmalar yürütmektedirler.

Dünya’da giderek artan yol yapım maliyetleri asfalt geri dönüşümünü oldukça önemli hale getirmektedir. Yeniden kazanımın (recycling) asfalt uygulamaları yeni bir teknoloji değildir. Geri dönüştürülmüş asfalt kaplaması (RAP); kazınmış eski asfalt kaplamaların çeşitli yöntemlerle işlenerek veya doğrudan tekrar kullanılabilme işlemidir.

65941 km yol ağına sahip olan ülkemizin sahip olduğu yol altyapısının yaklaşık değerinin 50 Milyar Euro’nun üzerinde olduğu düşünülmektedir. Bu değerli varlığın yönetiminde, idareler kaynak kullanımını azaltmak için yeniden yapım yerine bakım ve onarıma yönelik politikalar uygulamaktadırlar (Temren 2013).

2.10. Asfalt Geri Dönüşümü Hakkında Yapılan Çalışmalar

Bu kısımda Dünya’da ve Türkiye’de atık asfaltın geri dönüşümü ile yapılan çeşitli çalışmalara yer verilmiştir.

Atık asfalt malzemelerinin depolanabilmesi için ayrılan alanlar sorun teşkil etmektedir. Toprak kaybı ve dolayısıyla maddi kayıp yaşanmaktadır. Ashtiani vd. (2019) çalışmalarında Washington Eyaleti’ndeki depolanan RAP malzemesi miktarı, Google Earth Pro uygulaması sayesinde analiz edilmiştir. Bu çalışmaları neticesinde kazınan asfalt kaplamasından çıkan malzemenin yeni kullanılacak asfalt malzemesine göre 5 kat daha fazla hacim kapladığını saptamışlardır. Bu durumun önemli bir alan kaybı olduğunu ve sorun teşkil ettiğini belirtmişlerdir.

Guhener vd. (2014) yaptıkları deneysel ve modelleme çalışmasında yaşlı bitüm kullanılarak oluşturulan geri dönüştürülmüş atık asfaltın davranışlarını belirlemek için bir simülasyon modeli oluşturulmuştur. Yaşlı bitümle oluşturulan karışım özel bir fırında yaşlandırılarak sonuçlar incelenmiştir. Numuneler; normal hava ortamından alınıp sadece azot içeren bir ortama konulduğunda yaşlanmanın gözlemlenmediği bildirilmiştir. Yaşlanma hızında, ortam sıcaklığı arttığı zaman yükselme gözlemlenmiştir. Yaşlanma hızının 3. Günden sonra hiperbolik olarak azaldığı bildirilmiştir. Asfalttaki sertleşmenin 3 gün süresince hızlıca arttığı ve nem faktörünün yaşlanma sürecini yavaşlattığı bildirilmiştir.

Yaşlı bitümün viskozitesi, yeni oluşturulacak karışım dizaynının göstereceği performansta oldukça etkilidir. Bu yüzden, okside olmuş yaşlı bitümün karışımda göstereceği olumsuz etkileri azaltmak amacıyla karışıma eklenecek yeni bitüm sınıfı önemlidir. Kuloğlu vd. (2008) çalışmalarında, B70/100 ve B100/150 bitümlü bağlayıcılarının penetrasyon sınıfına göre farklı sınıfta yer almasına rağmen yüksek sıcaklıklarda benzer performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Al-Mufti ve Fried (2017) yaptıkları deneysel çalışmada; atık asfalt, beton karışımına eklenmiştir. Atık asfaltın, betonun mukavemetinde %25 oranında azalışa sebep olduğu gözlemlenmiştir.

Atık asfalt malzemeleriyle oluşturulan yeni kaplamaların permeabilitesi, karayolu konforu açısından önemli bir husustur. Rahardjo vd. (2013) yaptıkları deneysel çalışmada, atık asfaltın su geçirgenliği araştırılmıştır. Geri dönüştürülen malzemelerin,

suya doymuş ve doymamış koşullarda doğal agregalar ile benzer özellikler gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Tao Ma vd. (2015) çalışmalarında; yüksek miktarda geri dönüştürülmüş atık asfalt (RAP) içeren yüksek modüllü asfalt karışımların performans özellikleri incelenmiştir. Yüksek modüllü asfalt karışım (HMAC) da kullanılacak uygun bağlayıcı içeriği ve agrega gradasyonunu belirlemek için Fransa Standartlarından yararlanılmıştır. Farklı miktarda geri dönüştürülmüş atık asfalt içeren HMAC dizayn numunelerine; yüksek sıcaklıkta tekerlek izinde oturma deneyi, neme karşı duyarlılık, tekrarlı yükler altında yorulmaya karşı direnç dayanımı testleri uygulanmıştır. RAP için malzeme, Çin'in Jiangsu eyaletindeki bir otoyoldan Wirtgen2000 makinası ve soğuk freze yöntemiyle temin edilmiştir. Karayolunun 10 yıldır kullanımda olduğu ve tekerlek izinde oturma, çatlamlar nedeniyle kazıldığı bildirilmiştir. %40 oranındaki RAP içeriği HMAC numunelerinde sertlik açısından olumsuz performans göstermiştir. RAP içeriği %50 oranına çıkarıldığında dinamik stabilite ve çekme dayanımı üzerinde olumsuz performanslar gösterdiği bildirilmiştir. Düşük sıcaklıkta ve yüksek nem içeriğine sahip bölgelerde bu karışımların yeterli performans göstermediği bildirilmiştir.

Güngör vd. (2009) çalışmalarında; kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımında Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) uygulamalarını makalelerinde belirtmişlerdir. Bu çalışmada; geri dönüşüm işlemi için seçilen metot sıcak geri dönüşüm olarak belirlenmiştir. Dizaynlarda ve uygulamada kazılan binder malzemesinin kullanılması kararlaştırılmıştır. Kazılmış binder malzemesi üzerinde ekstraksiyon işlemi yapılmıştır. Kazınmış malzemeden geri kazanım yoluyla elde edilen bitüm, karışıma katılacak normal bitüm ve eski ve yeni bitüm karışımları üzerinde deneyler yapılmıştır. Kazınmış asfalt kaplama malzemesi eleme işleminden geçirilerek 0-19mm ve 19mm üzeri olarak iki gruba ayrılmıştır. Kazınmış malzeme ayrı bir bunkerden beslenerek taşıyıcı bantla kurutucunun sonunda yeni malzeme ile birleşerek elevatörle sıcak silolara iletilmiştir. Bu aşamada kazınmış malzeme alev ve yüksek ısıya maruz kalmamıştır. Sonra dizaynla belirlenen oranda yeni agrega ve bitümlü bağlayıcı ile karıştırılmış, serilip sıkıştırılarak imalat tamamlanmıştır. Bu uygulamada, bitümlü temel ve binder imalatları başarı ile tamamlanmış olduğu bildirilmiştir. Sathi kaplamanın yeniden kullanımı için ise çok katlı sathi kaplamanın esneklik modülü, bitümlü temel tabakasının esneklik modülünün neredeyse yarısına yakın olduğu bildirilmiştir. Bu durumda sathi kaplamanın yerinde kazılarak yeniden kullanımının ekonomik olmayacağı belirlenmiştir.

RAP malzemesinin işlenebilirliği, karıştırma ve sahada uygulama açısından önemlidir. Bu işlenebilirliği ise önemli ölçüde RAP içeriğindeki sertleşmiş yaşlı bitüm belirlemektedir. Sreeram ve Leng (2019) yaptıkları deneysel çalışmada; farklı RAP oranlarına sahip karışımların işlenebilirliği araştırılmıştır. Yaşlı bitüm viskozitesi ile karışım sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir.

Lira vd. (2015) çalışmalarında; kazınan RAP malzemesinin depolama ömrünün etkilerini araştırmışlardır. Depolanmış kazınmış asfalt dane boyutunun yaşlı bitümde zamanla gösterdiği etkileri gözlemlemişlerdir. RAP içeriğindeki yaşlı bitümün okside olmasından dolayı zamanla gösterdiği sertleşme oranının, RAP malzemesinin dane

boyutuyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir. Daha büyük dane boyutuna sahip RAP malzemesi içeriğindeki bitümün, daha az okside olduğunu gözlemlemişlerdir.

Farooq vd. (2018) çalışmalarında ise ılık asfalt karışımlarda RAP oranı arttıkça Marshall Stabilitésinin düştüğü, MQ değerinin ise arttığı görülmüştür.

Noferini vd. (2017) yaptığı çalışmada bizim çalışmamıza benzer içerikte %10, %20 ve %30 RAP malzemesi kullanarak karışımlar oluşturulmuştur. RAP malzemesinin içerisindeki bitümü ayrıştırarak yeni bitümle karıştırmışlardır. Yaşlı bitüm ile yeni bitümü karıştırmak özelliklerini incelemişlerdir. Karışımındaki yaşlı bitüm oranı arttıkça viskozitenin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca karışımındaki yaşlı bitüm miktarının %10 seviyesine kadar karışım viskozitesine etki etmediğini belirtmişlerdir.

Mangiafico vd. (2016); yaptıkları deneysel çalışmalarında geri dönüştürülmüş atık asfalt karışımla oluşturulmuş kaplamaların viskoelastik davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada 5 farklı karışım dizaynı yapılmış ve test edilmiştir. Referans birinci karışım olarak 35/50 sınıfı bitüm içeren karışım kullanılmıştır. İkinci karışım %100 geri dönüştürülmüş atık asfalt içermektedir ve diğer üç karışım yine bağlayıcı olarak 35/50 sınıfı bitüm kullanılarak oluşturulmuş ve sırasıyla %20, %40 ve %60 geri dönüştürülmüş atık asfalt içeren dizaynlar hazırlanmıştır. Testler ; -30°C den 70°C ye kadar ve 0.01Hz den 30Hz frekans aralığında uygulanmıştır. Sonuçlar incelediğinde viskoelastik davranış açısından oldukça yakın verilerin alındığı bildirilmiştir.%40 oranında atık asfalt içeren karışımlarda, yatay eksende küçük ve kabul edilebilir bir boşluk olduğu bildirilmiştir.

Ding vd. (2019) deneysel çalışmalarında, yeni oluşturulacak kaplamalardaki atık asfalt oranının, yorulma ömrüne etkisi incelenmiştir. Testler; %0, %30 ve %50 oranında atık asfalt malzemesiyle oluşturulan karışımlara uygulanmıştır. Atık asfalt oranı artırıldığında, yüksek sıcaklıklardaki yorulma ömrüne pozitif etki yaratmıştır. Fakat düşük sıcaklıklardaki yorulma ömrünü olumsuz etkilemiştir.

Sönmez vd. (2015) yaptıkları çalışmada, yüksek oranda geri dönüştürülmüş atık asfalt içeren karışımların, plentte ve laboratuvarında göstermiş olduğu performans özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışma üç aşamada yürütülmüştür.

- İlk aşamada, yoğun gradasyonlu asfalt karışımlar için %50 geri dönüştürülmüş asfalt ve %3 (üreticisi tarafından belirlenen miktar) bitüm gençleştirici katkı kullanılmıştır. Bu karışım Marshall Yöntemine göre hazırlanmıştır. Hazırlanan bu karışımlara yorulma direnci ve neme karşı duyarlılık testleri uygulanmıştır. Aynı testler referans numune için de uygulanmıştır.
- İkinci aşamada, 100 ton geri dönüştürülmüş asfalt ,batch tipi ve iki paralel tambur içeren bir plentte üretilmiştir. Tamburun birinde atık asfalt ısıtılmış, diğerinde ise yeni kullanılmamış agrega kurutulmuştur.
- Üçüncü aşamada ise, ilk evrede yapılan testler, plentte üretilen asfalt karışımlarına uygulanarak elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

Atık asfalt olarak, freze makinesi veya ekskavatör kullanılarak hasarlı asfalt yüzeyinden kazınan malzeme kullanılmıştır. Malzemeler, kazıyıcı tarafından parçalanıp ufalandığı için 0-10mm ve 10-20mm boyutlarında iki sınıfa ayrılmıştır. Karışımda yeni agrega olarak TÜPRAŞ rafinerisinden temin edilen B50/70 sınıfı bitüm kullanılmıştır. Bitüm gençleştirici katkı olarak ise Evofleks® marka katkı tercih edilmiştir. Karışım; Karayolları Teknik Şartnamesi ve Marshall Tasarım Yöntemi kullanılarak dizayn edilmiştir. Geri dönüştürülmüş asfalt 130° C de yeni agrega 180° C de ısıtılmıştır. B50/70 sınıfı yeni bitüm ise 150° C de ısıtılarak karışıma eklenmiştir.

Sonuç olarak ise; indirekt çekme mukavemeti sonuçlarında bitüm gençleştirici katkı kullanılarak hazırlanan numuneler, referans numunelerle karşılaştırıldığında %8 oranında artış olduğu belirtilmiştir karışımın suya karşı olan duyarlılığında azalma olduğu bildirilmiştir. Tekerlek izinde oturma dayanımı, bitüm gençleştirici katkı kullanılarak hazırlanan geri dönüştürülmüş atık asfalt numunelerinde, referans laboratuvar numunelere göre %17 oranında yüksek çıktığı bildirilmiştir. Dizaynı yapılan geri dönüştürülmüş asfaltın işlenebilirlik açısından tatmin edici olduğu bildirilmiştir.

Zhou vd. (2019) deneysel çalışmalarında, farklı RAP oranlarında ve bağlayıcı olarak yaşlandırılmış modifiye bitüm kullanılarak hazırlanmış karışımların özellikleri incelenmiştir. Karışımda bazalt agrega ve PG 70-22 bağlayıcı kullanılmıştır. Karışıma, %0, %15, %30, %40 ve %50 oranlarında RAP malzemesi eklenmiştir. RAP malzemesi Çin'in Jiangsu eyaletindeki Huning otoyolundan temin edilmiştir. Bitümler ayrı ayrı RTFO, PAV (20 saat) ve PAV (40 saat) işlemlerine tabi tutulmuştur. %30, %40 ve %50 RAP içerikli karışımlara ise %4 dozajında gençleştirici katkı eklenmiştir. Yorulma testleri, 15° C ve 25° C olmak üzere iki farklı sıcaklıkta yapılmıştır. PAV (40 saat) işleminden sonraki bağlayıcı kullanılarak hazırlanan %30, %40 ve %50 RAP içerikli karışımlar, 15° C'de uygulanan yorulma testlerinde "hasar başlangıcı" olarak adlandırdıkları referans değeri karşılayamadıklarını bildirmişlerdir. Genel olarak ise RAP oranı arttıkça, yorulma ömrünün azaldığını belirtmişlerdir.

Izaks vd. (2015) deneysel çalışmalarında, iki farklı RAP oranı ile oluşturulmuş sıcak karışımın özellikleri incelenmiştir. Karışımlara %30 ve %50 oranında RAP malzemesi eklenmiştir. Bu oranlar Letonya Yol Şartnamesi'ne göre seçilmiştir. Ayrıca, sadece yeni malzemeler kullanılarak hazırlanan bir kontrol numunesi hazırlanmıştır. İki çeşit RAP malzemesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki, mevcut yolun sadece üst tabakalarından freze makinesiyle elde edilen ve A7 olarak adlandırılan malzemedir. İkinci RAP malzemesi ise tam derinlikli yol onarım projesinden elde edilen ve A6 olarak adlandırılan malzemedir. RAP malzemesi içeriğindeki bitüm ayrıştırılmıştır. A6 malzemesinin içeriğinde %5.12, A7 malzemesinin içeriğinde ise %4.9 bitüm olduğunu belirtmişlerdir.. Karışımda yeni bağlayıcı olarak ise, 50/70 ve 70/100 penetrasyon sınıfına sahip olan iki farklı bitüm kullanmışlardır. Agrega olarak ise yerel bir agrega çeşidi olan dolomit agregası kullanmışlardır. En iyi stabilite performansını, %50 oranında A7 malzemesiyle oluşturulan ve bağlayıcı olarak 70/100 bitüm kullanılan karışım göstermiştir. En esnek davranışı ise %30 oranında A6 malzemesiyle oluşturulan ve 70/100 bitüm kullanılan karışımın gösterdiği belirtilmiştir. Tekerlek izi performansında ise en iyi davranışı, ortalama 1.8mm'lik deformasyon derinlik değeri ile

%30 oranında A6 malzemesi ile oluşturulan ve bağlayıcı olarak 70/100 bitüm kullanılan karışımların gösterdiğini bildirmişlerdir.

Aravind ve Das (2007) yaptıkları deneysel çalışmada, farklı yöntemlerle oluşturulan atık asfalt içerikli karışımların yorulma ömrü ve maliyete katkısı incelenmiştir. İki tip karışım yöntemi kullanılmıştır. Tip 1’de atık asfaltın içerisindeki yaşlı bitüm ayrıştırılmıştır. Yaşlı bitümün viskozitesine bakılarak gençleştirme işlemi uygulanmıştır. Ayrıca yaşlı bitüm oranına göre yeni oluşturulacak karışıma eklenecek yeni bitüm oranı bulunmuştur ve bu oranda yeni bitüm eklenmiştir. Tip 2’de ise atık asfalt konkasörde kırıldıktan sonra hiçbir işlem yapılmadan karışıma eklenmiştir. Tip 1 işleminde bulunan yaşlı bitüm oranına göre yeni bitüm eklenmiştir. Tip 1 karışımın %12.1, Tip 2 karışımının ise %54.6 oranında maliyete katkısı olduğu görülmüştür. Tip 1 yöntemiyle oluşturulan karışımların yorulma ömürleri incelendiğinde, Tip 2 yöntemi ile oluşturulan karışımlara göre yaklaşık %30 oranında yorulma ömürlerinde artış olduğu belirlenmiştir.

Lopez vd. (2019) deneysel çalışmalarında, stabilize emülsiyonların RAP içerikli karışımlardaki karıştırma sıcaklığına etkisini araştırmışlardır. RAP malzemesini, Şili’nin kuzeyindeki La Serena yakınlarındaki bir otoyoldan temin ettiklerini bildirmişlerdir. Stabilize emülsiyon katkılı karışımların, karıştırma sıcaklığını 150⁰C’den 100⁰C’ye indirdiğini belirtmişlerdir. Stabilize emülsiyon katkısı olmadan üretilen %25 RAP oranlı karışımlar ile katkı içerikli ve %44 RAP oranlı karışımların benzer performans özellikler gösterdiklerini gözlemlemişlerdir. Genel olarak; stabilize emülsiyon kullanılarak hazırlanan karışımların, karışımda kullanılan yeni malzeme oranını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Shu vd. (2008), farklı atık asfalt oranlarıyla oluşturulmuş BSK’nın yorulma ömürlerini ve diğer performans özellikleriyle olan ilişkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, %0, %10, %20 ve %30 oranında atık asfalt kullanmışlardır. Yeni bağlayıcı olarak PG 64-22 sınıfı bağlayıcı ve agrega olarak kireçtaşı tercih etmişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre; en fazla yük tekrar sayısını %30 oranında atık asfalt ile oluşturulmuş karışım göstermiştir. Ayrıca, indirekt çekme modülü değerleri ile yorulma ömürleri arasında doğru orantı olduğunu tespit etmişlerdir.

Atık asfalt kaplamalarla oluşturulmuş karayollarının, maliyet ve çevre yararı oldukça önemlidir. Zaumanis vd. (2014) yaptıkları deneysel çalışmada, %100 atık asfalt kullanılarak oluşturulmuş yeni karışımların maliyete ve çevreye etkisi incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde; sadece yeni malzemelerle oluşturulmuş kaplamalara göre, CO₂ salınımının %35 oranında ve maliyetin %50 oranında azaldığı görülmüştür.

Guo vd. (2014) yaptıkları deneysel çalışmada, farklı oranlarda atık asfalt ile oluşturulan ılık asfalt karışımların özellikleri incelenmiştir. %0 ve %40 oranında atık asfalt içerikli iki çeşit ılık karışım hazırlanmıştır. Katkı olarak ise Evotherm-DAT ve S-I WMA markalı gençleştiriciler kullanılmıştır. Katkıların, karışım sıcaklığını 20-30⁰C kadar düşürdüğünü bildirmişlerdir. Bu etkinin, S-I WMA markalı katkı ile oluşturulan karışımlarda daha belirgin olduğu sonucuna varmışlardır. Atık asfalt ile oluşturulan karışımların stabilite değerlerinin daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca numunelere donma-çözünme döngüsü uygulanmıştır. 3. Döngüden sonra Evotherm-

DAT ile oluşturulan karışımların indirekt çekme mukavemeti oranlarında ciddi artış olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zhang vd. (2018); atık ahşaptan elde edilen organik yağı bitüm gençleştirici katkı olarak kullanmışlardır. PG 58-28 sınıfı bitüme yaşlandırma işlemi uygulandıktan sonra gençleştirme işlemi uygulanmıştır. Yaşlı bitüme, %10, %15 ve %20 oranında organik yağ eklenmiştir. Bu yağın, bitümün viskozitesine son derece olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Organik yağ oranı arttıkça, bitümün viskozitesi düşmüş ve bitüm yumuşamıştır.

Farklı iklim ve çevre koşulları karayolunun ömrünü etkilemektedir. Singh ve Girimath (2016) yaptıkları çalışmada iki farklı iklim ve trafik yüküne sahip karayolundan elde edilen RAP malzemesi kullanmışlardır. RAP malzemesinin biri kentsel karayolundan temin edilirken diğeri kırsal karayolundan elde edilmiştir. Trafik yükü daha fazla olan kentsel karayolundan elde edilen RAP içeriğindeki yaşlı bitümün daha çok sertleşmiş olduğunu belirtmişlerdir.

Deniz vd. (2009), atık shingle malzemesinin bitümlü sıcak karışımda kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan atık shingle malzemesinin bünyesinde yaklaşık %20 oranında B70/100 penetrasyon sınıfı bitüm tespit etmişlerdir. Çalışma kapsamında, %1.5 öğütülmüş shingle ilavesiyle hazırlanan BSK numunelerine Marshall stabilitesi ve tekerlek izi deneyleri uygulanmıştır. Shingle atıkları öğütülerek B50/70 bitümle beraber kullanıldığında, BSK üzerinde olumlu etki yarattıklarını belirtmişlerdir. Öğütülmeden kullanılan shingle parçacıklarının ise, Marshall stabilitesini geleneksel karışıma göre %16 oranında, tekerlek izi derinliğini ise %50 oranında azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, atık shingle kullanımının %0.30 oranında bitüm tasarrufu sağladığını bildirmişlerdir.

Professor vd. (2017) yaptıkları deneysel çalışmada, asfalt emülsiyonu ve çimento kullanılarak soğuk geri dönüşüm yöntemi incelenmiştir. Karışımın yorulma etkisinden önce ve sonraki iç yapısı, taramalı elektron mikroskobu ile gözlemlenmiştir. Bu karışımın, kalıcı deformasyona karşı oldukça iyi davranış gösterdiğini belirtmişlerdir. Karışımın, ayrıca 25×10^6 'dan fazla bir yük tekrar sayısına direnebildiğini bildirmişlerdir.

Geri dönüşüm yöntemleri arasındaki avantajlar ve dezavantajlar tartışma konusudur. Wang vd. (2018) yaptıkları deneysel çalışmada soğuk geri dönüşüm yöntemi ile sıcak geri dönüşüm yöntemini karşılaştırmışlardır. Çalışmada, birden fazla katkı maddesi toplu olarak kullanılmıştır. Karışım; atık malzeme, su, çimento, emülsiyonlaştırıcı katkı ve polimer modifiye katkı kullanılarak hazırlanmıştır. Bu karışımın, sıcak geri dönüşümün yöntemi kullanılarak oluşturulan numunelere göre çok daha iyi performans özellikleri gösterdiğini belirtmişlerdir.

Oylumoğlu vd. (2013) yaptıkları deneysel çalışmada, köpüklendirme esaslı katkılar içeren ılık karışım asfaltlarda geri kazanılmış asfalt kullanarak oluşturulmuş karışımların özelliklerini incelemişlerdir. RAP malzemesi, İzmir'de bulunan Doğu Caddesi'nden temin edilmiştir. Bitümlü bağlayıcı olarak, 50/70 penetrasyon sınıfı bitüm kullanmışlardır. Karışımlarında, kalker agregası kullanmışlardır. Karışımları,

KTŞ'de belirtilen aşınma tabakası şartlarına göre hazırlamışlardır. Katkı olarak ise sentetik zeolit içerikli Advera® kullanılmıştır. Bu katkı %5 oranında karışıma eklenmiştir. Diğer karışım ise yine %5 içerikli doğal zeolit kullanılarak hazırlanmıştır. Genel olarak, RAP içeriği arttıkça stabilite değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Doğal ve sentetik zeolit ile oluşturulan karışımların, stabilite performansı yönünden benzer davranış gösterdiklerini belirtmişlerdir. RAP içeriği arttıkça akma değerlerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Yine RAP içeriği arttıkça İÇM değerlerinde artış görülmüştür. Optimum %20 RAP ilavesi ile doğal zeolit içeren bitümlü bağlayıcı kullanılarak üretilen ılık karışım asfaltların, sentetik zeolitlere alternatif olabileceğini belirtmişlerdir.

Atık asfaltın geri dönüşümü ile ülke ekonomisine kazandırılacağı katkı da ihmal edilmeyecek düzeydedir. Gencer ve Kunduracioğlu'nun (2009) yaptıkları çalışmada yıllık üretim kapasitesi 250.000 ton/yıl olan bir asfalt üretim tesisi örnek alınmıştır. %30 oranında geri kazanılmış asfalt kullanılması halinde 45 \$/ton esas alınarak yapılan üretimin 8.75 milyon dolar olan cirosunun %6.7'lik artış ile 12 milyon \$/yıl olacağını belirtilmiştir.

Zaumanis vd. (2018) çalışmalarında, freze makinesinin öğütme derecesinin RAP katkılı karışımlardaki etkisi incelenmiştir. Bu çalışma, 270m uzunluğunda bir karayolu kesiminde yapılmıştır. Freze makinesi, karayolunu 10cm derinliğinde olacak şekilde kazımıştır. Öğütme boyutu küçüldükçe, yeni karışımında kullanılacak RAP oranının arttığını belirtmişlerdir. Öğütme derecesi, her bir alt elek açıklığına ayarlandığında karışıma eklenebilecek RAP oranının %10 kadar arttığını belirtmişlerdir.

Chen vd. (2011); atık betonun öğütülerek asfalt karışımlarda filler malzeme olarak kullanımını araştırmışlardır. Atık beton, yaklaşık 15 yıllık hizmet ömrüne sahip olan C30 dayanım sınıfına sahip bir malzemedir. Bu malzeme, 0 ila 0.18mm arasında olacak şekilde öğütülmüş. Yeni oluşturulan karışıma ise %4 oranında eklenmiştir. Bu karışım; X-Işını Kırınımı, Taramalı Elektron Mikroskobu ve X-Işın Floresan Spektroskopisi ile incelenmiştir. Ardından bu karışımlara klasik performans deneyleri yapılmıştır. Sonuçların, su hassasiyeti ve yorulma direnci performanslarında olumlu etki yarattığını belirtmişlerdir. Düşük sıcaklık performans sonuçlarında ise düşüş gözlemlenmiştir. Özellikle sıcak bölgelerde bu malzemenin kullanılmasının olumlu etkiler doğuracağını gözlemlemişlerdir.

Kwon vd. (2018) çalışmalarında, RAP malzemesiyle elde edilen enjeksiyonun tamir yama malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır. Bağlayıcı olarak üç tip emülsiyon üretilmiştir. Tip A ve Tip B Güney Kore'de üretilmiştir. Tip C ise tipik bir CRS-2 emülsiyonudur. Yeni agrega 24 saat boyunca 110°C'de ısıtılmıştır. RAP agregası ise karışıma eklenmeden önce yine 24 saat boyunca oda sıcaklığında bekletilmiştir. Hazırlanan emülsiyonlar 60°C'de 1 saat boyunca ısıtılmıştır. Tüm malzemeler, belirlenen karışım dizaynı miktarına göre karıştırılmıştır. Karışım, bir kompaktör yardımıyla sıkıştırılmıştır. Sahadaki yaşlanmayı simüle etmek için tüm karışımlar, 24 saat boyunca 60°C'lik kür işlemine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, bu işlemin %1-%2 oranında bitüm tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. Tekerlek izi deneyi sonuçları incelendiğinde, RAP ile oluşturulan bu yama malzemesinin daha iyi performans gösterdiğini bildirilmiştir. Bu malzemenin, iyi bir yapışma ve stabilite performansı gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca, bu geri dönüşüm

malzemesi ile maliyet olarak oldukça yaralı sonuçlar bulduklarını bildirmişlerdir.



3. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda yapılan çalışmayla ilgili nasıl bir yöntem izlendiği ve çalışmanın sağlayabileceği fayda belirtilmektedir.

3.1. Amaç

Kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanılması ile ilgili ülkemizde yapılan araştırmalar incelendiği zaman geri dönüştürülmüş atık asfaltın, yeni yapılacak olan BSK kaplamalarda hangi miktarda kullanılacağı hakkında çeşitli oranlar mevcuttur. Fakat geri dönüştürülmüş atık asfaltın kullanılmasının en önemli sebeplerinden biri ekonomik fayda sağlamaktır. Çünkü atık asfalt içerisindeki bitümün gençleştirilmesi için birtakım kimyasal katkıları kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasal katkıları ise maliyeti yüksek malzemelerdir. Amaç ekonomik fayda sağlamak olduğundan bitümün viskozitesini düşürmek için kullanılan bu katkıları kullanılmadan eldeki mevcut malzemelerin optimum kullanılabilmesi irdelenecektir.

Atık asfalt içerisindeki okside olmuş bitüm ile yeni bitüm arasında performans özellikleri bakımından farklılıklar mevcuttur. Geri dönüştürülmüş asfalt, içerisindeki yaşlı bitümden dolayı daha sert bir kıvam sergilerken yeni asfalt karışımının daha esnek yapıya sahip olduğu düşünülmektedir.

Bu çalışmada; atık asfalt ve yeni asfalt karışımıyla oluşturulacak yeni dizaynın özelliklerini belirlemek için bazı ileri düzey performans deneyleri uygulanacak ve sonuçları değerlendirilerek alınan veriler sonucunda uygun bir dizaynın yapılabilmesi için önemli bir kazanım elde edilmiş olacaktır.

Yapılan çalışmanın amacına uygun olarak elde edilecek verilerin sağlayacağı faydaları şu şekilde sıralayabiliriz:

- Atık asfaltın kullanılabilirliğini belirlemek,
- Atık asfaltın BSK içerisinde optimum kullanım oranını belirlemek,
- Ülkemizde BSK kaplamaların yanı sıra sathi kaplamalı yol ağı uzunluğu oldukça fazladır. Bu kaplamalarda BSK kaplamalara yavaş yavaş dönüşmekte ve sathi kaplama atığı ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışma ile bu atık sathi kaplamaların yeni yapılacak BSK kaplamada kullanılabilirliği araştırılmaktadır.

3.2. Yapılan Çalışmalar

Bu çalışmada, iki çeşit geri dönüşüm malzemesi kullanılmıştır. İlki, yol üstyapısı yenileme ve genişletme çalışmaları kapsamında Antalya-Alanya karayolu Antalya Havalimanı kavşağı kesimi karayolunun aşınma ve binder tabakalarından temin edilen ve asfalt kazıma makinesiyle kazınan BSK kaplamasıdır. İkincisi ise yine Antalya ili sınırları dahilinde karayolu yenileme çalışmaları neticesinde kazınan sathi kaplama içerisindeki agregadır. RAP malzemesi tedarik edilen karayolunun yaklaşık 12 yıldan beri trafiğe açık olduğu ve içeriğindeki bitümün 50/70 penetrasyon sınıfı modifiye bitüm olduğu KGM yetkililerinden öğrenilmiştir.

Atık BSK kaplamasının içeriğindeki yaşlı agregaya ve bitümün performansını belirleyebilmek amacıyla, bu malzemelere ayrıştırma işlemi uygulanmıştır. Ayrıştırılan agregaya ve bitümün durumunu gözlemleyebilmek amacıyla bu malzemelere deneyler uygulanmıştır. Ayrıştırma işlemi neticesinde, kazınmış BSK kaplamasının içeriğindeki bitüm oranı %3.15 bulunmuştur.

Kazınmış sathi kaplama içeriğindeki agregaya, durumunu belirlemek amacıyla agregaya performans deneyleri uygulanmıştır. Kazınmış sathi kaplama içerisindeki bitüm oranı oldukça az olduğu için yeni hazırlanacak olan karışım dizaynı hesaplamasında ihmal edilmiştir. Sadece agregaya içeriği olarak dikkate alınmıştır.

Kazınmış asfalt ve sathi kaplama agregasına; özgül ağırlık, su emme, aşınma, soyulma ve elek analizi deneyleri uygulanmıştır.

Yaşlı agregaya yapılan elek analizleri neticesinde, formül 3.2., 3.3., ve 3.4. kullanılarak karışıma eklenecek yeni agregaya miktarları belirlenmiştir.

Karışım gradasyonu kullanılarak, formül 3.5. aracılığıyla agregaya karışımı için gerekli bitüm miktarları belirlenmiştir.

Daha sonra formül 3.6. kullanılarak kazınmış asfalt oranına göre belirlenen bitüm miktarı belirlenmiştir.

Elde edilen veriler neticesinde, kazınmış asfaltın içeriğindeki ayrıştırılan yaşlı bitüme; penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite deneyleri uygulanmıştır. Yaşlı bitüm viskozitesine göre Şekil 3.23.'te belirtilen abak ve Çizelge 3.7.'de belirtilen dönüşüm tablosu aracılığıyla karışıma konulması gereken yeni bitüm sınıfı belirlenmiştir.

Son olarak ise yeni oluşturulacak karışım dizaynında; %10, %20 ve %30 geri dönüştürülmüş BSK kaplaması ile %10 oranında sabit miktarda sathi kaplama agregası, yeni agregaya ile bitüm yapılan hesaplamalar sonucunda karıştırılarak Marshall numuneleri hazırlandı. Numunelere; akma, stabilite, İÇM, donma-çözünme ve Cantabro deneyleri uygulanarak performansları değerlendirilmiştir.

3.3. Kazınan Geri Dönüşüm Kaplamalarına Uygulanan İşlemler

İlk olarak, atık BSK kaplamasının ve sathi kaplamanın içeriğindeki malzemelerin performans durumunu tespit edebilmek amacıyla ayrıştırma işlemi uygulanmıştır. Yaşlı agregalara; özgül ağırlık, su emme ve Los Angeles aşınma deneyleri uygulanmıştır. Atık BSK kaplamasından ayrıştırılan yaşlı bitüme ise; penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite deneyleri uygulanmıştır.

3.3.1. Ekstraksiyon işlemi ve bitümün ayrıştırılması

Atık BSK üstyapı malzeme içeriğindeki, ortalama bitüm oranını tespit etmek amacıyla ekstraksiyon işlemi uygulanmıştır. Bu malzemeye 11 adet ekstraksiyon işlemi

gerçekleştirilmiştir ve kazınmış asfalt içerisinde, ortalama %3.15 oranında bitüm olduğu tespit edilmiştir.

Agregaya bağlı ve yapışmış halde bulunan bitüm, Triklor Etilen aracılığıyla ayrıştırılmıştır. Yaşlı bitüme, yumuşama noktası ve penetrasyon deneyleri yapabilmek için bu ayırma işlemi gerçekleştirildi. Cam beher içerisinde, bitüm ve Triklor Etilen karışımı konulmuştur. Cam beherin bir kısmı kimyasal sıvıya batacak şekilde yerleştirilmiştir. Kimyasal sıvıya uygulanan ısıtma işleminden sonra etilen 87.5°C 'de kaynamaya başlayarak buharlaştı ve üst taraftaki borudan yan taraftaki cam beherde toplandı.



Şekil 3.1. Ekstraksiyon İşlemi

3.4. Agregaya Uygulanan Deneyler

Bu kısımda ayrıştırılan geri dönüşüm agregası, sathi kaplama agregası ve yeni kalker agregasına uygulanan deneyler anlatılmıştır. Agregaların şartnameye uygunluğunu belirleyebilmek amacıyla aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır:

- Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi
- Los Angeles Aşınma Deneyi
- Elek Analizi
- Soyulma Deneyi

3.4.1. Agregaya uygulanan özgül ağırlık ve su emme deneyi

Agregalar elendikten sonra boyutlarına göre ince ve kaba agrega olarak ayrıldı.

- İnce Agrega Özgül Ağırlık Deneyi:

Agregalar, ilk olarak yıkandıktan sonra etüvde kurutuldu. Daha sonra ince agregadan 500 gr numune alınarak piknometreye konuldu ve piknometreyle birlikte tartıldı. Sonra piknometre yaklaşık yarı seviyesine kadar saf su ile dolduruldu ve 24 saat

bekletildi. Bekletilen malzeme 30dk vakumlu motor aracılığıyla havası çekildi. Malzemenin dibe çökmesi beklendi ve malzemenin üstünde şeffaf su oluştuktan sonra piknometrenin kalan kısmı saf su ile dolduruldu. Kapağı kapatıldı ve oda sıcaklığındaki su banyosunda 1 saat bekletildi. Su banyosundan çıkartılan piknometre, etrafı kurulandıktan sonra hassas terazide tartıldı.



Şekil 3.2. Vakumlu Desikatör Aracılığıyla Havanın Alınması



Şekil 3.3. Piknometre ve Agreganın Hassas Terazide Tartılması



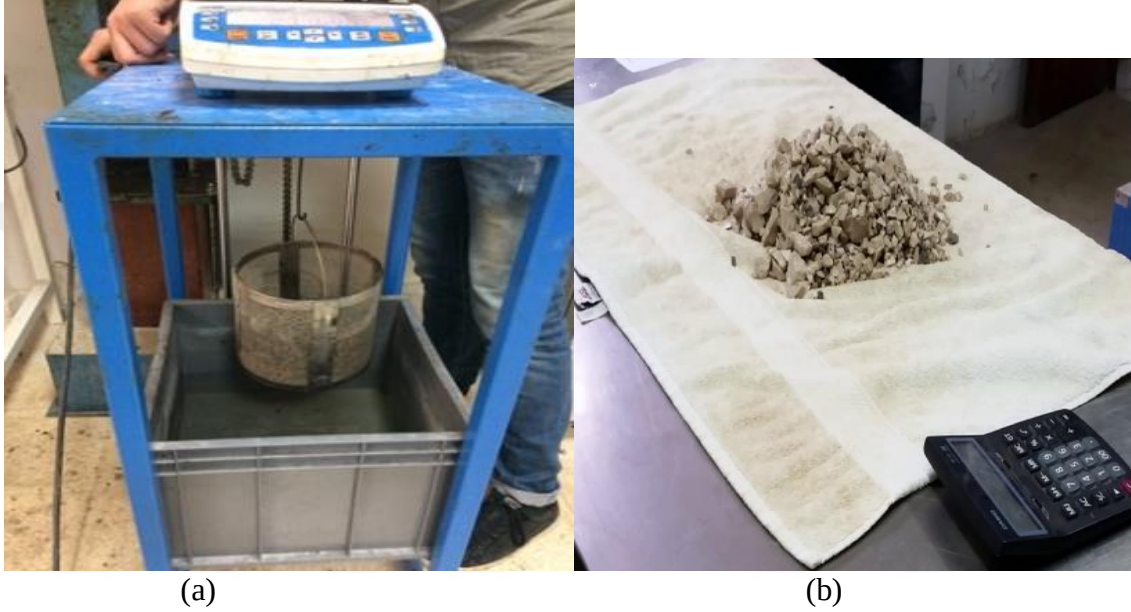
Şekil 3.4. Kesik Koni ile Kıvam Belirlenmesi

Şekil 3.4.'te belirtilen işlemde numunenin doymun yüzey kuru haline ulaşmasını anlayabilmek için kesik koni yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde ince agrega kesik koniye yerleştirilerek, üst yüzü 25 kez tokmaklama işlemine tabi tutulmuştur. Koni dik

olarak kaldırıldı ve numunenin yayılma miktarına göre doymun kuru yüzey kıvamına ulaşp ulaşmadığı gözlemlenmiştir.

- Kaba Agrega Özgöl Ağrlık Deneyi:

4.00 mm'lik elek üstünde kalan geri dönüşüm agregasından 2000 gram alındı. Yıkandıktan sonra etüvde kurutuldu. Doymun yüzey kuru ağrlığı bulmak için ise yıkanan kaba agrega yüzeyi havlu yardımıyla iyice kurulandı. Gerekli hesaplamalar aşağıdaki belirtilen formüller aracılığıyla yapıldı.



Şekil 3.5. a)Sudaki Ağrlığın Tartılması; b)Doymun Kuru Yüzey Elde Edilmesi

3.4.2. Aşınma (Los Angeles) deneyi

Agregaların aşınmaya karşı gösterdiği dayanıklılığı belirlemek amacıyla bu deney uygulandı. Deney için kullanılacak agrega yıkandı. Yıkanan agrega 110°C'de etüvde kurutuldu. Kurutulan agrega gerekli dane boyutuna ayrılması için eleme işlemine tabi tutuldu. Malzemenin ilk kuru ağrlığı tartıldı (a). Elenen agrega, tane büyüklüğüne göre ayrıldıktan sonra agrega sınıfına uygun ağrlıkta ve granülometrik sınıfa göre gerekli çelik biye sayısı ile birlikte ayrı ayrı tamburun içersine konuldu.

Kapağı kapatılan aşınma tamburu, 30-33 devir/dakika hıza ayarlandı ve 500 devir döndürüldü. Devir dönme işlemi bittikten sonra agrega 1,6mm'lik elekten elendi. Eleğin üstünde kalan son kuru malzeme tartıldı (b) ve kaydedildi.

Numunelerin aşınma kayıpları aşağıda belirtilen formüle göre belirlendi.

$$\text{Aşınma Kaybı} = \frac{a-b}{a} \times 100 (\%) \quad (3.1)$$

a= İlk Kuru Ağrlık(gr)

b= Son Kuru Ağırlık(gr)

3.4.3. Elek analizi

Kullanılacak sathi kaplama agregasına ve kazınmış asfalta elek analizi yapıldı. Sathi kaplama agregası ve kazınmış asfalta yapılan bu işlem ile çıkan analiz sonuçlarına göre yeni kullanılacak agregadaki boyut dağılımı belirlendi.

Kullanılacak agregalar ayrı ayrı homojen olarak karıştırılarak bir tepsiye döküldü. Tepsinin dört farklı yerinden alınan agregası 110°C etüvde kurutuldu. Kurutulan numune tartıldıktan sonra yıkandı ve 110°C de tekrar kurutularak eleme makinesi ile elendi. Her elek çapı üzerinde kalan malzeme tartılarak gerekli hesaplamalar yapıldı.

- Kazınmış Asfalt Kaplaması Agregası Elek Analizi

Kazınmış asfaltı ayrıştırmak maliyetli ve sahada uygulaması çok zor bir işlem olduğu için kazınmış asfalt yeni karışıma doğrudan eklendi. Kazınmış asfaltın sahada uygulanabilirliğini simüle edebilmek amacıyla malzemenin belli bir dane boyutunun altına getirmek için konkasörde kırıldı.



Şekil 3.6. Sahadan Kazınmış Asfalt



Şekil 3.7. Konkasör

Konkasörde kırılarak 0-9.5mm boyutuna getirilen bu malzemeye daha sonra eleme işlemi yapıldı.

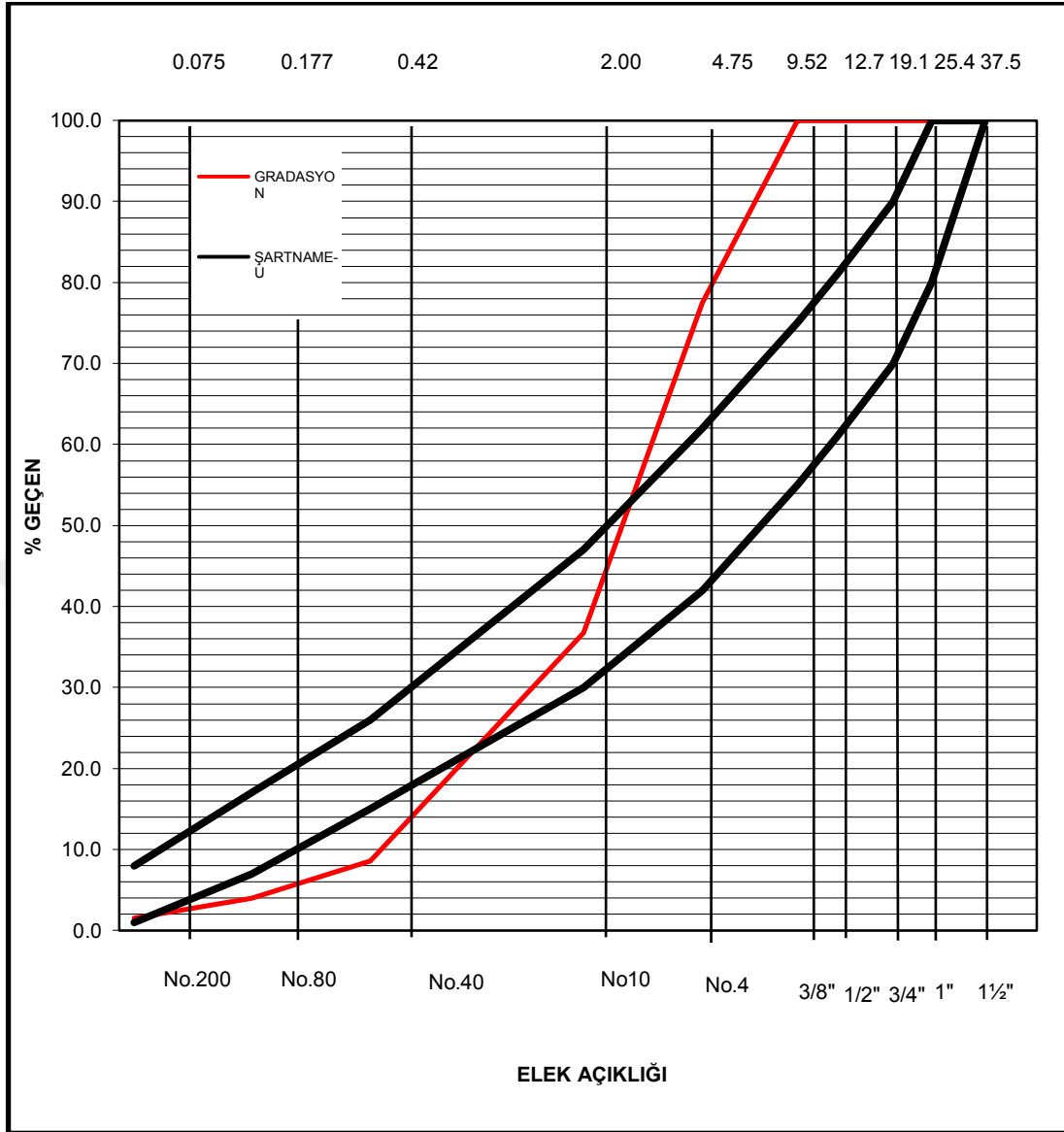


Şekil 3.8. Konkasörde Kırıldıktan Sonra Kazınmış Asfalt

Eleme işlemi yapılan agreganın elek analizi sonuçları Çizelge 3.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. Kazınmış Asfalt Elek Analizi

Elek Boyutu	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
Geçen Yığılımlı(%)	100	77.46	36.71	8.61	3.95	1.5



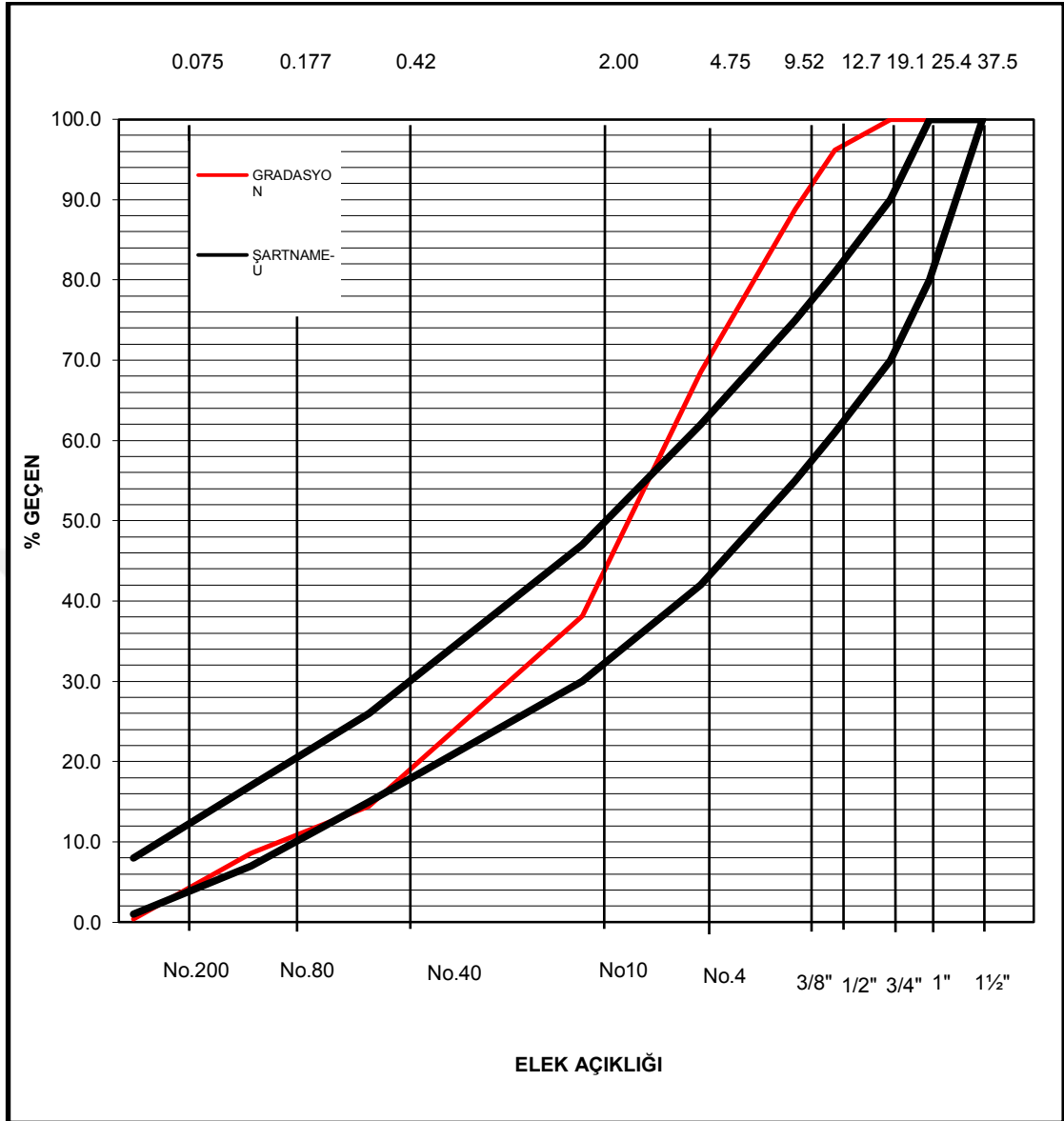
Şekil 3.9. Kazınmış Asfalt Gradasyon Grafiği

- Kazınmış Sathi Kaplama Agregası Elek Analizi

Kazınmış sathi kaplama agregasına, herhangi bir ayrıştırma işlemi uygulanmadan elek analizi yapılmıştır. Çizelge 3.2.'de sonuçlar belirtilmiştir.

Çizelge 3.2. Sathi Kaplama Agregası Elek Analizi

Elek Boyutu	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No.80	No.200
Geçen Yığılımlı(%)	100	96.17	88.84	68.55	38.15	14.45	8.61	0.39



Şekil 3.10. Sathi Kaplama Agregası Gradasyon Grafiği

3.4.4. Soyulma deneyi

Geri dönüşüm agregasına ve yeni agrega olarak kullanılacak kalker agregasına soyulma deneyi uygulanmıştır. Soyulma deneyi, agregaların su etkisi altında göstereceği davranışı belirlemek amacıyla yapıldı. İlk olarak, 9.5-4.75 mm elekler arasında kalan agregadan 200 gram alındı. Saf suyla yıkanan agregalar 110⁰ C'lik etüvde bekletildi. 1.5 gram bitüm ise ayrı bir kap içerisinde yine 110⁰ C'lik etüvde bekletildi. Gerekli sıcaklığa ulaşan malzemeler bitümün agrega etrafında uniform bir hale gelmesine kadar karıştırıldı. Bu malzeme karıştırıldıktan sonra 24 saat 60⁰ C'lik etüvde tutuldu. Petri kabına alınan numune laboratuvar ortamında bir süre bekletildikten sonra üzeri suyla dolduruldu. Numune, tekrar 24 saat 60⁰ C etüve konulmuştur. Çıkarılan numunenin durumuna bakıldı.



Şekil 3.11. Normal Agregasoyulma Durumu



Şekil 3.12. Geri Dönüşüm Agregasoyulma Durumu

Agregaların soyulma durumlarına bakıldığında, su etkilerine karşı dayanıklılıklarının oldukça iyi durumda olduğu gözlemlendi.

3.5. Bitüme Uygulanan Deneyler

Karışımında kullanılan yaşlı bitüm, B70/100, B100/150 bitümün özelliklerini ve şartnameye uygunluğunu belirlemek amacıyla aşağıda belirtilen deneyler yapılmıştır.

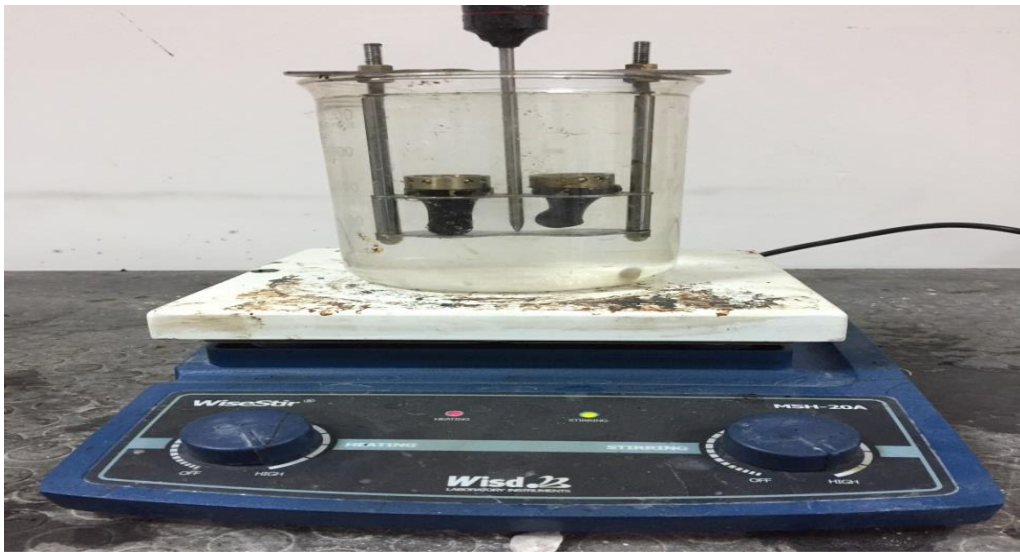
- Yumuşama Noktası Deneyi
- Penetrasyon Deneyi
- Viskozite Deneyi
- Parlama Noktası Deneyi
- Düktilite Deneyi

3.5.1. Yumuşama noktası deneyi

Bu deney, bitümün sıcaklık değişimlerinde göstereceği davranışı belirlemek ve şartnameye uygunluğunu görmek amacıyla yapıldı. Cam kaba yaklaşık 8cm düzeyinde 5⁰ C sıcaklığında saf su konuldu. Yumuşama noktası deney seti, su sıcaklığı dakikada 5⁰ C artacak şekilde bir ısıtıcının üzerine konuldu. Numune, üzerinde bilye olan halkadan yumuşayıp akana kadar ısıtıldı. Her iki numunenin yumuşayıp tabana temas ettiği sıcaklık belirlenerek ortalaması alındı.



Şekil 3.13. Yumuşama Noktası Deney Düzenegi



Şekil 3.14. Numunenin Bilyeden Akması

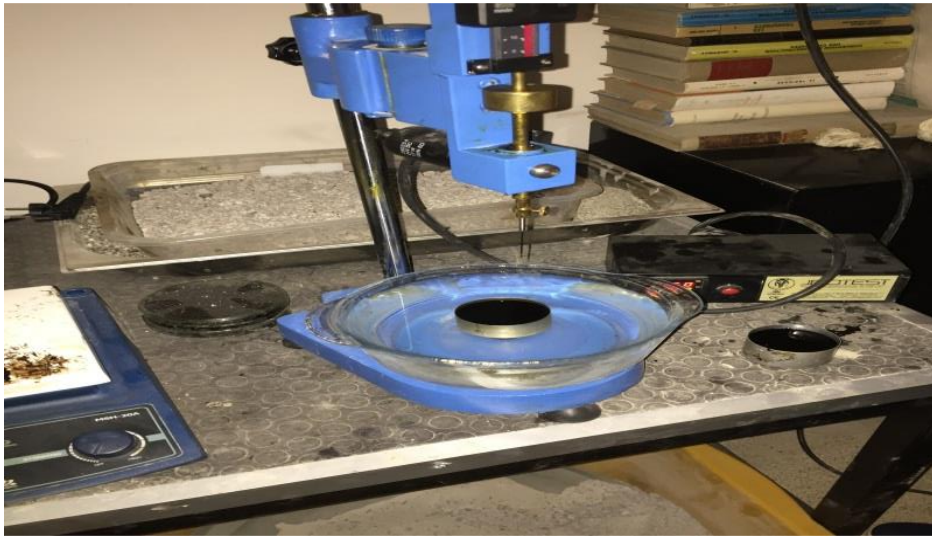
3.5.2. Penetrasyon deneyi

Bitümün kıvamı hakkında bilgi sahibi olabilmek adına yapılan deneylerden biri de penetrasyon deneyidir. Penetrasyon deney düzeneği, standart bir iğnenin 25^0 C ' de su içerisindeki bitüme batma miktarını ölçecek şekilde ayarlanmıştır. İğne batış miktarı cihazdan okunarak batma miktarı belirlenir ve bu penetrasyon sınıfını belirler. Ülkemizde KGM sorumluluğu altındaki yollarda kullanılan bitüm sınıfı, yine KGM tarafından hazırlanan BSK Bitüm Sınıfı Seçim Kitapçığı' nda belirtilen tablolara göre belirlenmektedir.

Tez çalışmasında bitümlere penetrasyon deneyi uygulanmıştır. Her bitüm sınıfı için oluşturulan numunelere 3'er adet batma yapılmıştır ve sonuçların ortalaması alınmıştır.



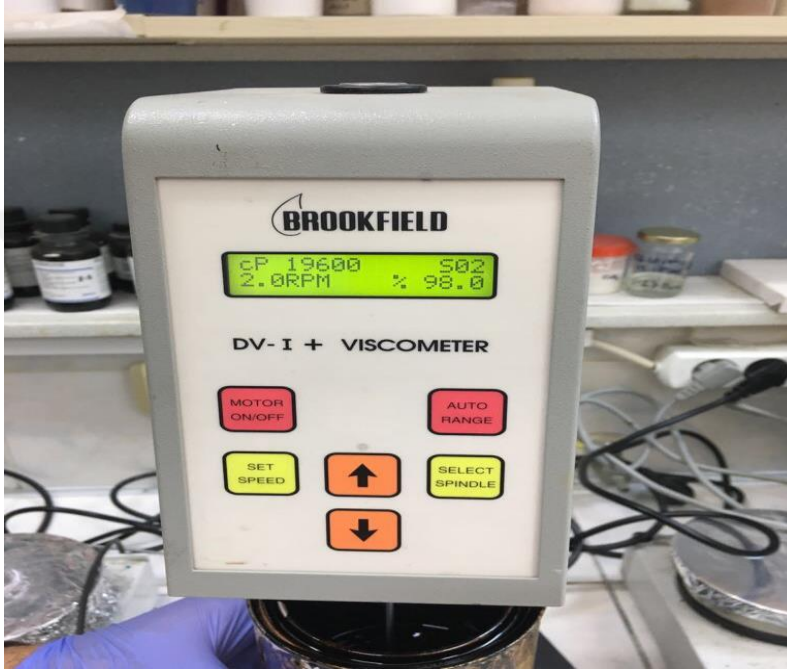
Şekil 3.15. Numunelerin 25^0 C Su Banyosunda Bekletilmesi



Şekil 3.16. Penetrasyon Deney Düzeneği

3.5.3. Viskozite deneyi

Dönel viskozite deneyi ile bitüm malzemesinin işlenebilirlik özelliği test edilir. Akdeniz Üniversitesi Kimya Bölümü laboratuvarında Brookfield Dönel Viskozimetre cihazı ile yapılan bu deneyde yaşlı bitümün kıvamını saptayabilmek ve karışım dizaynı aşamasında yeni kullanılacak bitümün sınıfını belirleyebilmek amacıyla yaşlı bitümün viskozitesi ölçüldü. 60⁰ C ısıtılan bitümün viskozitesi ölçüldü ve bu değer 19600 poise olarak okundu. Bu değer ile yaşlı bitümün tekrar kullanılabilmesini öğrenme açısından oldukça önemli bir parametre olmuştur.



Şekil 3.17. Brookfield Dönel Viskozimetre Cihazı

3.5.4. Parlama noktası deneyi

Bitüm petrol türevi bir malzeme olduğu için yanma riski vardır. Parlama noktası deneyi, sıcak karışım uygulaması için ısıtılan bağlayıcının parlama ve yanma riskine karşı duyarlılığını ölçmek amacıyla yapılmıştır. Cleveland cihazı ile yapılan deneyde bitümlü bağlayıcıların parlama anındaki sıcaklık kaydedilerek parlama noktası sıcaklıkları belirlenmiştir.

Bu amaçla bitüm, ortalama 150⁰C'ye kadar ısıtıldı ve deney kabına yerleştirildi. Kaba yerleştirilen bitümün içerisinde oluşan hava kabarcıklarının giderilmesi sağlandıktan sonra bitüm numunesinin sıcaklığı dakikada ortalama 15⁰C artacak şekilde ayarlandı. Bitümün şartnamede belirtilen parlama noktası değerine yaklaşıldığında sıcaklığın dakikada artış göstereceği miktar yaklaşık 5⁰C'ye düşürüldü. Numunenin üzerinden her 3⁰C'lik artışta bir alev geçirildi ve bitümün parlادığı sıcaklık parlama noktası değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.18. Parlama Noktası Deney Cihazı

3.5.5. Düktilite deneyi

Düktilite deneyi, bitümün ne kadar esneme kabiliyeti olduğunu iki çene arasında uzatarak bu uzamanın cm cinsinden değerine bakarak anlamak ve şartname kriterinin uygunluğunu belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Bitüm, akışkan kıvama gelecek şekilde ısıtıldıktan sonra pirinç levhanın üzerine yerleştirilen kalıba döküldü. Kalıp 40dk laboratuvar koşullarında bekletildi. Daha sonra 25⁰C'ye ayarlanmış su banyosuna konuldu. 30dk su banyosunda bekletildikten sonra çıkarılan kalıptan taşan bitüm numunesi önceden ısıtılmış spatula yardımıyla yüzeyi kazınarak pürüzsüz şekle gelmesi sağlandı. Yüzeyi düzeltilen numune 25⁰C su banyosunda 90dk bekletildikten sonra numune kalıptan çıkartıldı ve düktilite cihazına yerleştirildi. Düktilite cihazı dakikada 5cm uzayacak şekilde ayarlandı. Numunenin kopma anı cihazın üzerinde bulunan cetvelden ölçülerek kaydedilmiştir.



Şekil 3.19. Düktilite Cihazı

3.6. Karışımda Kullanılan Yeni Agreganın Miktarlarının Belirlenmesi

Karışımın işlenebilirliğini arttırabilmek amacıyla, kazınmış asfalt kaplaması 9.5mm çene ayarlı konkasörde kırılmıştır. Mevcut sathi kaplama malzemesinde herhangi bir kırma işlemi yapılmamıştır. Bu malzemelerin elek analizi Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2.'de belirtilmiştir. KTŞ 2013'te belirtilen bitümlü temel gradasyon limitlerine uyabilmek amacıyla karışıma eklenecek yeni agrega miktarları ise eski agrega miktarları göz önünde bulundurularak belirlenmiştir.



Şekil 3.20. Agrega Eleme İşlemi

Yeni agrega, eleme makinesinde elendikten sonra karışımda kullanılmak üzere elek çaplarına göre ayrıldı.



Şekil 3.21. Boyutlarına Göre Sınıflandırılan Agregalar

Çizelge 3.11.'de belirtilen bitümlü temel tabakası Tip B gradasyon limitlerine göre farklı oranlarda karışımlar oluşturmak üzere aşağıda belirtilen hesaplamalar yapıldı. Karışıma %10, %20 ve %30 olacak şekilde 3 farklı oranda RAP ve %10 sathi kaplama agregası eklenmiştir.

Çizelge 3.3. Bitümlü Temel Tabakası Agrega Gradasyon Limitleri(KTŞ 2013)

Elek Boyutu	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
Tip(B) Şartname Limitleri	100	80-100	70-90	61-81	55-75	42-62	30-47	15-26	7-17	1-8

3.6.1. %30 K.A. ve %10 S.K. oranına göre yeni agrega miktarları

Bitümlü temel agregasına göre şartname limitlerinde kalmak amacıyla elek boyutlarına göre ortalama değerler alınarak aşağıdaki hesaplamalar yapıldı:

$$\text{Karışıma Konulacak Agrega Miktarı}(\%) = (30xa) + (10xb) + (60xc) = e \quad (3.2)$$

a= Elek açıklığına göre kazınmış asfalt malzemesi miktarı

b= Elek açıklığına göre kazınmış sathi kaplama malzemesi miktarı

c= Karışıma konulması gereken yeni agrega miktarı

e= Tip B gradasyonuna göre şartname limit ortalaması

Formül 3.2.'ye göre belirlenen %30 KA ve %10 SK karışımına konulacak yeni agrega miktarları Çizelge 3.4.'te belirtildi.

Çizelge 3.4. %30 KA ve %10 SK İçin Yeni Agrega Miktarları

Elek Boyutu	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.10	No.40	No. 80	No. 200
Geçen Yığılmış(%)	100	83.3	66.7	52.3	43.5	36.5	33.64	27.45	16.59	6.69

3.6.2. %20 K.A. ve %10 S.K. oranına göre yeni agrega miktarları

$$\text{Karışıma Konulacak Agrega Miktarı}(\%) = (20xa) + (10xb) + (70xc) = e \quad (3.3)$$

a= Elek açıklığına göre kazınmış asfalt malzemesi miktarı

b= Elek açıklığına göre kazınmış sathi kaplama malzemesi miktarı

c= Karışıma konulması gereken yeni agrega miktarı

e= Tip B gradasyonuna göre şartname limit ortalaması

Çizelge 3.5. %20 KA ve %10 SK İçin Yeni Agregat Miktarları

Elek Boyutu	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
Geçen Yığılımlı(%)	100	85.7	71.4	59.1	51.6	42.3	34.1	24.8	14.8	5.9

3.6.3. %10 K.A. ve %10 S.K. oranına göre yeni agregat miktarları

$$Karışım Konulacak Agregat Miktarı(%) = (10xa) + (10xb) + (80xc) = e \quad (3.4)$$

a= Elek açıklığına göre kazanmış asfalt malzemesi miktarı

b= Elek açıklığına göre kazanmış sathi kaplama malzemesi miktarı

c= Karışım konulması gereken yeni agregat miktarı

e= Tip B gradasyonuna göre şartname limit ortalaması

Çizelge 3.6. %10 KA ve %10 SK İçin Yeni Agregat Miktarları

Elek Boyutu	1-1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No. 10	No. 40	No. 80	No. 200
Geçen Yığılımlı(%)	100	87.5	75	64.3	57.63	46.75	34.4	22.75	13.43	5.4

3.7. Karışımda Kullanılacak Yeni Bitüm Miktarı ve Sınıfı Tayini

Marshall karışım dizaynında kullanılacak agregat miktarları bulunduğundan sonra yeni dizaynda kullanılacak olan bitüm sınıfını belirlemek amacıyla aşağıda belirtilen hesaplamalar yapılmıştır.

3.7.1. Gerekli bitüm miktarı (agregat karışımı için)

$$Pc = 0.035a + 0.045b + 0.20c + F \quad (3.5)$$

a=No.10 elekten tutulan mineral agreganın yüzdesi

b=No.10 elekten geçen ve No.200 elekten tutulan mineral agregat yüzdesi

c=No.200 elekten geçen mineral agregat yüzdesi

F=0-2 arasında değişmektedir. Hafif ya da ağır agregat absorpsiyonuna bağlı olarak öteki verilerin yokluğunda 0.7 değeri önerilmektedir.

$$Pc = \%5.25$$

3.7.2. Karışım konulması gereken yeni bitüm miktarı

$$Pr = Pc - (PaxPp) \quad (3.6)$$

Pa=Kazınmış malzemedeki bitüm yüzdesi

Pr=Karışıma konulması gereken yeni bitüm miktarı

Pp=Kazınmış malzemenin toplam karışımdaki yüzdesi

- %30 Kazınmış Asfalt İçin:

$$Pr = 5.25 - (3.15 \times 0.3) = \%4.3$$

- %20 Kazınmış Asfalt İçin:

$$Pr = 5.25 - (3.15 \times 0.2) = \%4.62$$

- %10 Kazınmış Asfalt İçin:

$$Pr = 5.25 - (3.15 \times 0.1) = \%4.94$$

3.7.3. Karışıma konulması gereken bitüm sınıfı

Karışıma konması gereken bitüm miktarları bulunduğundan sonra kullanılması gereken uygun bitüm sınıfını saptayabilmek amacıyla madde 3.5.3.'te belirlenen yaşlı bitüm viskozitesi Şekil 3.23'teki asfalt viskozite abağı kullanılarak aşağıdaki işlemler yapılmıştır.

- %30 Kazınmış Asfalt İçin:

$$P_c = \%5.25 \quad P_r = \%4.3$$

$$\frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{4.3}{5.25} \times 100 = 81.9$$

- %20 Kazınmış Asfalt İçin:

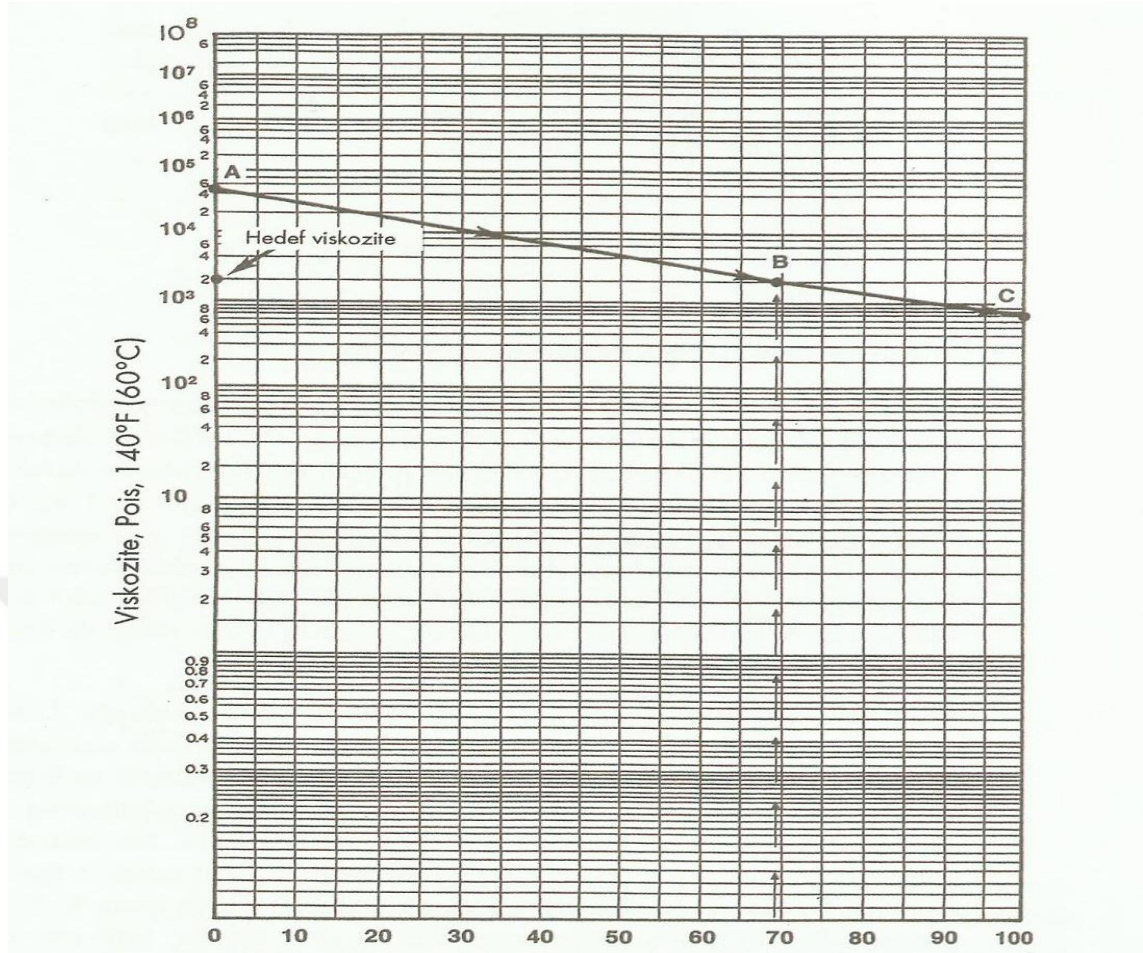
$$P_c = \%5.25 \quad P_r = \%4.62$$

$$\frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{4.62}{5.25} \times 100 = 88$$

- %10 Kazınmış Asfalt İçin:

$$P_c = \%5.25 \quad P_r = \%4.94$$

$$\frac{P_r}{P_c} \times 100 = \frac{4.94}{5.25} \times 100 = 94.09$$



Şekil 3.22. Asfalt Viskozite Abağı (Ilıcalı vd. 2001)

A=Yaşlı Bitüm Viskozitesi (19600 poise)

$B = \frac{Pr}{Pc} \times 100$ İşlemi Sonucu Alt Değerlerden İşaretlendi

C= A-B Doğrusu Birleştirilerek Sağ Düşey Eksendeki Değer Okuması Yapıldı

Çizelge 3.7. Viskozite-Penetrasyon Dönüşümü (Ilıcalı vd. 2001)

Asfalt Tipi	Penetrasyon 25°C, 100gr	Viskozite 60°C Poise	Pen AC
AC-2,5	220	250±50	200-300
AC-5	140	500±100	120-150
AC-10	80	1000±200	85-100
AC-20	60	2000±400	60-70
AC-40	40	4000±800	40-50

Şekil 3.22’de belirtilen abaktan yapılan hesaplamalar sonucunda kullanılması gereken bitüm sınıfı AC-10 olarak belirlenmiştir. Bu da 80 penetrasyona sahip olan ve

günümüz bitüm penetrasyon sınıflandırılmasında kullanılan B70/100 sınıfına denk gelmektedir. Ayrıca karışıma etki edeceği performansı belirleyebilmek amacıyla daha yumuşak bir bitüm olan B100/150 sınıfı bitümde kullanılmıştır.

3.8. Marshall Dizaynı

Konkasörde kırılan kazınmış asfalt, sathi kaplama ve yeni kalker agrega elek açıklığına göre ayrı ayrı numune kaplarına yerleştirildi.



Şekil 3.23. Elek Açıklığına Göre Sınıflandırılan Agregalar

Madde 3.10.2.'de belirtilen oranlarda bitüm ve Çizelge 3.4-3.5-3.6'da belirtilen yeni kalker agrega miktarına göre kazınmış asfalt içeriğindeki eski bitüm miktarı (%3.15) da dikkate alınarak aşağıdaki şekilde karışıma konulacak malzemelerin miktarları hesaplandı. Bağlayıcı olarak ise iki çeşit bitüm kullanıldı. Bunlar B70/10 ve B100/150 sınıfı bitümlerdir. Kontrol Numunelerinde B70/100 sınıfı bağlayıcı kullanılmıştır. Çünkü Madde 3.10.3.'te belirtilen hesaplamalarda karışıma konulması gereken ideal bitüm sınıfı B70/100 çıkmıştır. Yaşlı bitümün viskozitesi göz önünde bulundurularak karışımda göstereceği performansı gözlemleyebilmek amacıyla B70/100'e göre daha yumuşak bir bitüm olan B100/150 bitümde karışımlarda kullanılmıştır.

- %30 Kazınmış Asfalt:

$$a=1150 \times 0.3=345\text{gr (Kazınmış Asfalt Miktarı)}$$

$$b=\frac{345 \times 3.15}{100}=10.9\text{gr (Kazınmış Asfalttaki Yaşlı Bitüm Oranı)}$$

$$c=345+10.9=355.9\text{gr (Kazınmış Asfalt + Yaşlı Bitüm Miktarı)}$$

$$d=1150 \times 0.1=115\text{gr (Sathi Kaplama Agregası Miktarı)}$$

$$e=1150 \times 0.6=690\text{gr (Yeni Agrega Miktarı)}$$

$$f=355.9+690+115=1160.9\text{gr (Toplam Agregat + Yaşlı Bitüm)}$$

$$g=1160.9 \times \frac{4.3}{100}=49.9\text{gr (Karışıma Konulması Gereken Yeni Bitüm Miktarı)}$$

- %20 Kazınmış Asfalt:

$$a=1150 \times 0.2=230\text{gr (Kazınmış Asfalt Miktarı)}$$

$$b=\frac{230 \times 3.15}{100}=7.3\text{gr (Kazınmış Asfalttaki Yaşlı Bitüm Oranı)}$$

$$c=230+7.3=237.3\text{gr (Kazınmış Asfalt + Yaşlı Bitüm Miktarı)}$$

$$d=1150 \times 0.1=115\text{gr (Sathi Kaplama Agregası Miktarı)}$$

$$e=1150 \times 0.7=805\text{gr (Yeni Agregat Miktarı)}$$

$$f=237.3+805+115=1157.3\text{gr (Toplam Agregat + Yaşlı Bitüm)}$$

$$g=1157.3 \times \frac{4.62}{100}=53.5\text{gr (Karışıma Konulması Gereken Yeni Bitüm Miktarı)}$$

- %10 Kazınmış Asfalt:

$$a=1150 \times 0.1=115\text{gr (Kazınmış Asfalt Miktarı)}$$

$$b=\frac{115 \times 3.15}{100}=3.6\text{gr (Kazınmış Asfalttaki Yaşlı Bitüm Oranı)}$$

$$c=115+3.6=118.6\text{gr (Kazınmış Asfalt + Yaşlı Bitüm Miktarı)}$$

$$d=1150 \times 0.1=115\text{gr (Sathi Kaplama Agregası Miktarı)}$$

$$e=1150 \times 0.8=920\text{gr (Yeni Agregat Miktarı)}$$

$$f=118.6+920+115=1153.6\text{gr (Toplam Agregat + Yaşlı Bitüm)}$$

$$g=1153.6 \times \frac{4.94}{100}=57\text{gr (Karışıma Konulması Gereken Yeni Bitüm Miktarı)}$$

Belirtilen hesaplara göre miktarları belirtilen numunelerden biri kontrol numunesi olmak üzere 7 çeşit hazırlanmıştır ve aşağıdaki şekilde adlandırılmıştır. Aşağıda malzeme içeriğine göre adlandırılan numunelerin kodları belirtilmiştir.

Yeni agregat ve 70/100 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan kontrol numunesi:
KN-70/100

%30 kazınmış asfalt + %10 sathi kaplama + %60 yeni agregat ve 70/100 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan numune: **30KA-70/100**

%30 kazınmış asfalt + %10 sathi kaplama + %60 yeni agregası ve 100/150 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan numune: **30KA-100/150**

%20 kazınmış asfalt + %10 sathi kaplama + %70 yeni agregası ve 70/100 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan numune: **20KA-70/100**

%20 kazınmış asfalt + %10 sathi kaplama + %70 yeni agregası ve 100/150 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan numune: **20KA-100/150**

%10 kazınmış asfalt + %10 sathi kaplama + %80 yeni agregası ve 70/100 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan numune: **10KA-70/100**

%10 kazınmış asfalt + %10 sathi kaplama + %80 yeni agregası ve 100/150 bitüm içerikli Marshall karışımı ile hazırlanan numune: **10KA-100/150**

3.8.1. Marshall numunelerinin hazırlanması

Karışım hesaplamaları yapılan numuneler KTŞ 2013'te belirtilen bitümlü temel tabakası şartlarına göre hazırlandı. Hazırlanan agregası karışımları etüvde 18 saat süresince 180° C ye ayarlı etüvde ısıtıldı. Karışımında kullanılacak bitüm ise 130° C ye kadar etüvde ısıtıldı. Gerekli sıcaklığa ulaşan malzemeler karıştırma mikserine döküldü ve 120sn karıştırıldı. Uygun sıcaklıkta karıştırılan malzeme altına kağıt yerleştirilen daha önce yağlanmış ve ısıtılmış Marshall kalıplarına döküldü. Etüvde ısıtılmış demir çubuk aracılığıyla 25 defa şişlendi. Şişlenen numune üzerine de tekrar kağıt yerleştirildi.



Şekil 3.24. Karıştırma ve Kalıba Alma İşlemi

Kalıba dökülen numuneler iki yüzüne 75'er kez Marshall tokmağıyla darbe vurularak sıkıştırıldı.



Şekil 3.25. Marshall Briketlerinin Sıkıştırılması

Sıkıştırılan bu numuneler laboratuvar sıcaklığında soğumaya bırakılarak gerekli testlerin yapılması amacıyla 24 saat sonra krika yardımıyla çıkartıldı.



Şekil 3.26. Hazırlanan Marshall Numuneleri

3.9. Akma ve Stabilite Deneyi

Numunelerin, karayolunda göstereceği esneklik ve dayanıklılık performansını gözlemleyebilmek için önemli bir parametre olan akma ve stabilite deneyler yapıldı. Bu kapsamda numunelerin akma ve stabilite değerlerini belirlemek amacıyla 60⁰C'de 40dk su banyosunda bekletilen numuneler Marshall Stabilite Cihazında kırıldı.



Şekil 3.27. Marshall Stabilite Test Cihazı

3.10. Parça Kaybı (Cantabro) Deneyi

Cantabro deneyi esas itibariyle boşluk oranı fazla olan poroz asfalt karışımlarında kullanılan bir deney yöntemidir. Bu tez çalışmasında kullanılmasının sebebi ise karışımda kullanılan yaşlı bitüm ve agreganın durumunu gözlemlemektir. Atık asfalt malzemeleri ile oluşturulan bitümlü temel karışımında sertleşmiş yaşlı bitüm varlığının agregalarda herhangi bir yapışma problemi yaratıp yaratmadığının öngörülebilmesi amacıyla bu deney uygulanmıştır.

Briketler kalıptan çıkarıldıktan sonra laboratuvar koşullarında 24 saat bekletildi. Numunelerin deney uygulanmadan önceki ağırlıkları kaydedildi. Daha sonra Los Angeles Aşınma Cihazı'na yerleştirilen numunelerin her birine 300 devir yaptırıldı. Cihazdan çıkarılan numunelerin ağırlıkları kaydedildi.

$$Pk = \frac{(W_1 - W_2)}{W_1} \times 100 \quad (3.7)$$

W_1 = Numunenin ilk ağırlığı(gr)

W_2 = Numunenin deney sonrası ağırlığı(gr)

Pk = Parça kaybı değeri(%)

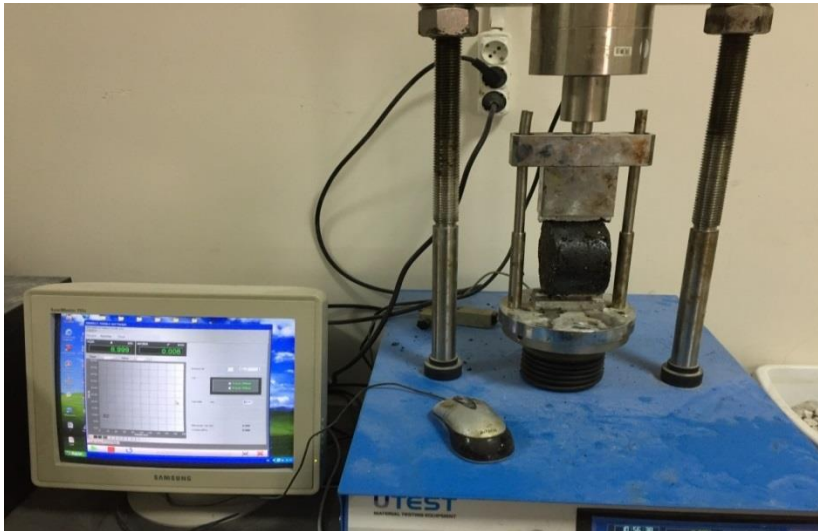


Şekil 3.28. Cantabro Deneyi Sonrası Numune Ağırlık Ölçümü

3.11. İndirekt Çekme Deneyi (İÇM)

Numunelere sudan kaynaklanan bozulmalara karşı direncini belirleyebilmek amacıyla indirekt çekme deneyi uygulandı. Numuneler, koşullu ve koşulsuz numuneler olacak şekilde iki kısma ayrıldı. Koşulsuz indirekt çekme deneyinde numuneler 120dk süresince 25°C ' de su banyosunda tutuldu. Su banyosundan çıkarılan numuneler kırılarak dayanım değerlerine bakılarak karşılaştırıldı.

Bu tez çalışmasında koşullu İÇM deneyi, şartnamede belirtildiği şekilde gerçekleştirilmedi. Numunelere belli bir döngü içerisinde donma çözünme kabininde donma çözünme işlemi uygulandı. Bu koşullardan sonra 25°C 'de 120dk su banyosunda bekletilen numunelere İÇM deneyi uygulandı.



Şekil 3.29. İÇM Deneyi

3.12. Donma Çözünme Deneyi

Numunelere doğal koşullara karşı dayanımını belirleyebilmek amacıyla 6 ay kadar süreyle laboratuvar koşullarında bekletilen numunelere donma çözünme deneyi uygulandı. Antalya, Isparta ve Burdur illerinin meteorolojik veri ortalamaları göz önünde bulundurularak Çizelge 3.8.'de gösterildiği şekilde bir döngü oluşturuldu. Bu döngü için Tam Otomatik Donma Çözünme Kabini kullanıldı.

Donma çözünme kabini saatte 5°C artış gösterecek şekilde soğutma ve saatte 10°C artış gösterecek şekilde ısıtma işlemi yapabilme kapasitesine sahip olduğundan dolayı Çizelge 3.8.'de belirtilen hedef sıcaklığa ulaşma süresi bu durum göz önüne alınarak hesaplandı. Numuneler, 25°C 'ye ayarlı su banyosunda 120dk bekletildi. Daha sonra numunelerin üzerinde 2cm su kalacak şekilde bir kaba alınarak donma çözünme deneyi uygulandı.

Çizelge 3.8. Donma Çözünme Deneyi Döngüsü

Hedef Sıcaklığa Ulaşma Süresi(dk)	Hedef Sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)	Hedef Sıcaklıkta Tutma Süresi(dk)
300	-2.4	30
115	-12.0	30
84	+2.0	30
60	+12.0	30
120	-3.0	30
165	-16.7	30
180	-1.7	30
70	+9.7	30
109	+27.8	30

Çizelge 3.8.'de belirtilen verilerin hazırlanmasında Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yayınlamış olduğu 1929-2017 yılları arası sıcaklık verilerinden yararlanılarak Antalya, Isparta ve Burdur illerine ait sıcaklık ortalamaları kullanıldı.

STEP NO	RAMP	TEMPERATURE	HOLD
1	300 min	-2.4°C	30 min
2	115 min	-12.0°C	30 min
3	84 min	2.0°C	30 min
4	60 min	12.0°C	30 min
5	120 min	-3.0°C	30 min
6	165 min	-16.7°C	30 min
7	180 min	-1.7°C	30 min
8	70 min	9.7°C	30 min
9	109 min	27.8°C	30 min
10	0 min	0.0°C	0 min
11	0 min	0.0°C	0 min
12	0 min	0.0°C	0 min
13	0 min	0.0°C	0 min
14	0 min	0.0°C	0 min
15	0 min	0.0°C	0 min
16	0 min	0.0°C	0 min

Şekil 3.30. Donma Çözünme Deneyi Döngüsü



Şekil 3.31. Donma Çözünme Kabini

4. BULGULAR

Bu kısımda, yaşlı bitüm ve agrega ile yeni bitüm ve kalker agregasına yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ve hazırlanan Marshall briketlerine uygulanan performans deney sonuçları verilerek KTŞ 2013 şartnamesine uygunluğu kontrol edilmiştir.

4.1. Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları

Karışımında kullanılacak bitümlerin özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları ve karşılaştırması aşağıdaki gibidir.

4.1.1. Yaşlı bitüme uygulanan deney sonuçları

Yaşlı bitüm için 6 adet numuneye penetrasyon ve yumuşama noktası deneyi uygulanmıştır. Penetrasyon deneyinde; her numuneye 3 adet batma işlemi uygulanarak bu sonuçların ortalaması alınmıştır.

Yaşlı bitüme uygulanan penetrasyon ve yumuşama noktası deney sonuçları Çizelge 4.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.1. Yaşlı Bitüm Penetrasyon ve Yumuşama Noktası Deney Sonuçları

Deney Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4.Numune	5.Numune	6.Numune
Penetrasyon, (25°C) 0.1mm	59.4	59.9	60.4	59.5	59.7	59.9
Yumuşama Noktası, °C	59.7	59.2	59	59.4	59.3	59.2

Yaşlı bitüme uygulanan penetrasyon, yumuşama noktası ve dönel viskozite deneyi sonuçlarının ortalamaları Çizelge 4.2.'de belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.2. Yaşlı Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları Ortalamaları

Deney Adı	Standardı	Ortalama
Penetrasyon, (25°C) 0.1mm	TS EN 1426	59.8
Yumuşama Noktası, °C	TS EN 1427	59.3
Penetrasyon İndeksi(PI)		1.353
Viskozite, cP	AASHTO TP48	19600

4.1.2. Yeni bitüme uygulanan deney sonuçları

Karışımında kullanılan yeni B70/100 ve B100/150 bitümlerine; penetrasyon, yumuşama noktası, parlama noktası ve duktilite deneyleri uygulanmıştır. Penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerine bakılarak penetrasyon indeksi, Denklem 4.1.'de belirtilen formüle göre belirlenmiştir.

$$Penetrasyon\ Indeksi(PI) = \frac{1952 - 500 \times \log(Pen_{25}) - 20 \times SP}{50 \times \log(Pen_{25}) - SP - 120} \quad (4.1)$$

Pen₂₅= Bitümün 25⁰C'deki penetrasyon değeri

SP= Bitümün yumuşama değeri

B70/100 bitüme uygulanan penetrasyon ve yumuşama noktası deneyi sonuçları Çizelge 4.3.'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. B70/100 Yeni Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları

Deney Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4.Numune	5.Numune	6.Numune
Penetrasyon, (25 ⁰ C) 0.1mm	91.1	90.9	90.5	90.7	90.5	90.5
Yumuşama Noktası, ⁰C	49.7	49.7	49	49.9	49.2	48.9

B100/150 bitüme uygulanan penetrasyon ve yumuşama noktası deneyi sonuçları Çizelge 4.4.'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. B100/150 Yeni Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları

Deney Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune	4.Numune	5.Numune	6.Numune
Penetrasyon, (25 ⁰ C) 0.1mm	133	132.9	133.7	133.7	133.6	134.1
Yumuşama Noktası, ⁰C	45.5	45.1	44.5	44.6	44.9	44.2

Yeni bitümlerin deney sonuçlarının ortalaması Çizelge 4.5. ve 4.6.'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.5. B70/100 Yeni Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları Ortalaması

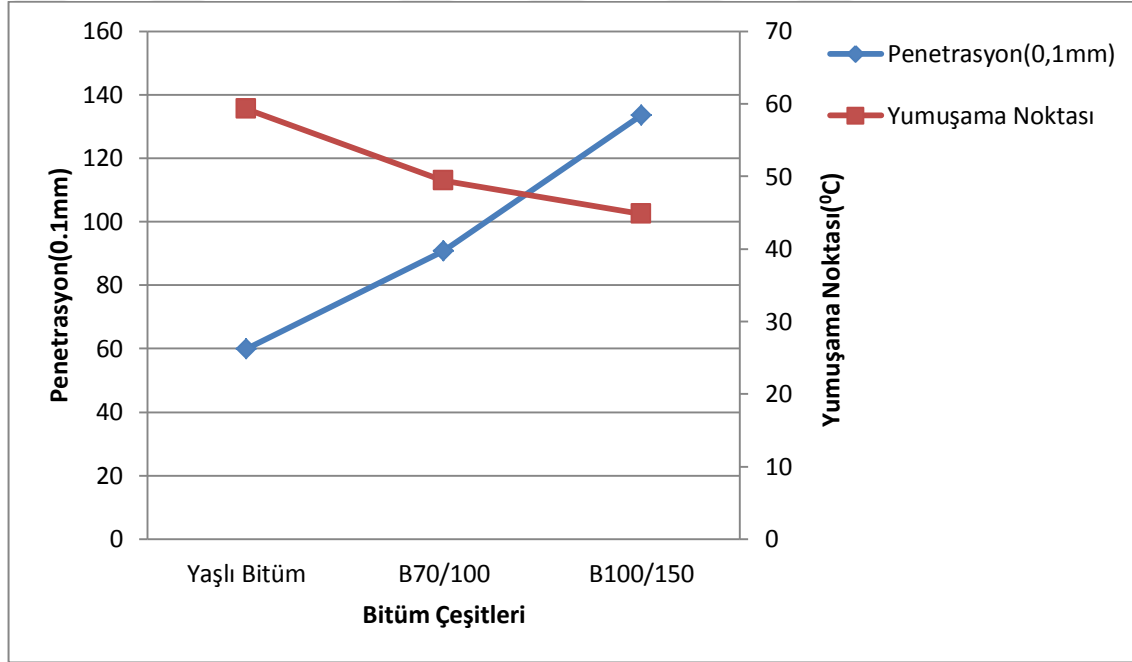
Deney Adı	Standartı	B70/100 BİTÜM	Şartname Limiti(KTŞ 2013)
Penetrasyon,(25⁰C) 0.1mm	TS EN 1426	90.7	70-100
Yumuşama Noktası, ⁰C	TS EN 1427	49.4	43-51
Penetrasyon İndeksi(PI)		0.207	
Parlama Noktası, ⁰C	TS EN ISO 2592	282	≥230
Düktilite	TS EN 12589	≥100	

Çizelge 4.6. B100/150 Yeni Bitüme Uygulanan Deney Sonuçları Ortalaması

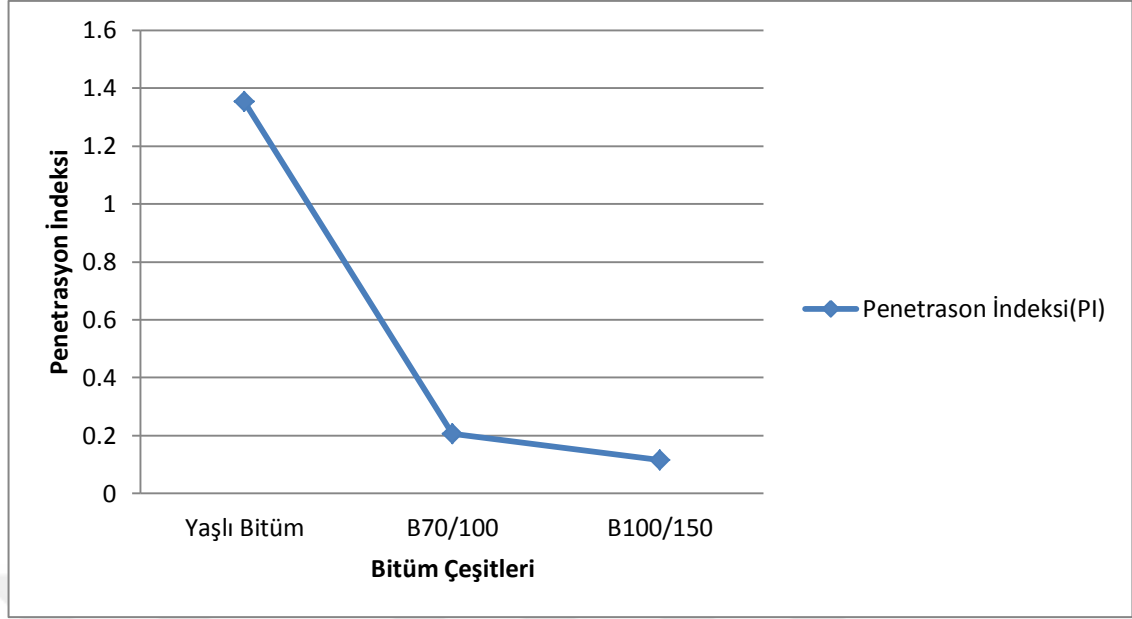
Deney Adı	Standardı	B100/150 BİTÜM	Şartname Limiti(KTŞ 2013)
Penetrasyon,(25 ⁰ C) 0.1mm	TS EN 1426	133.5	100-150
Yumuşama Noktası, ⁰ C	TS EN 1427	44.8	39-47
Penetrasyon İndeksi(PI)		0.115	
Parlama Noktası, ⁰ C	TS EN ISO 2592	271	≥230
Düktilite	TS EN 12589	≥100	

4.1.3. Bitüme uygulanan deney sonuçları karşılaştırılması

Bu kısımda okside olmuş yaşlı bitüm ile karışımında kullanılacak yeni bitümlerin penetrasyon, yumuşama noktası ve penetrasyon indeksi değerleri karşılaştırılmıştır.

**Şekil 4.1.** Penetrasyon-Yumuşama Noktası Grafiği

Şekil 4.1.'de belirtilen veriler incelendiğinde yaşlı bitümün yeni bitümlere göre daha sert olduğu penetrasyon değerine bakılarak anlaşılmaktadır. Yaşlı bitümün zamanla okside olup sertleşmesinden dolayı yaşlı bitümün penetrasyonu düşmesi beklenen bir sonuçtur. Ayrıca grafikte penetrasyon değerleri arttıkça yumuşama noktası değerlerinin düşüş gösterdiği görülmektedir. Yaşlı bitümün en sert bitüm olmasından dolayı yumuşama noktası diğer bitümlerden yüksektir.



Şekil 4.2. Penetrasyon İndeksi(PI) Grafiği

Şekil 4.2.'de belirtilen PI verileri incelendiğinde bağlayıcının penetrasyon değeri arttıkça PI değerinin azaldığı görülmektedir. Yumuşama noktası değeri ile PI değerinin doğru orantılı olduğu görülmüştür. Sonuç olarak PI değeri azaldıkça bitümün sıcaklığa karşı hassasiyetinin arttığı saptanmıştır.

Bu sonuçlar incelendiğinde yaşlı bitümün kullanılabilir düzeyde ve sertlikte olduğu öngörüldü. Diğer yeni bitümler ise standartlara uygun olduğu belirlendi. Ayrıca yaşlanmış bitümün beklenildiği gibi diğer B70/100 ve B100/150 yeni bitüme göre daha sert olduğu görülmüştür.

4.2. Agregaya Uygulanan Deney Sonuçları

Bu kısımda kazınmış asfalt kaplamasından ayrıştırılan agregaya, sathi kaplama agregasına ve yeni kalker agregaya uygulanan deney sonuçları belirtilmiştir.

4.2.1. Özgül ağırlık ve su emme sonuçları

Çizelge 4.7. Ayrıştırılan İnce Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Özellik	Ortalama Sonuç	Şartname Limiti(%) (KTŞ-2013)	Deney Standardı
Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık	1.9867	≤ 2.5	TS-EN1097-6(Madde8)
Zahiri Özgül Ağırlık	1.99		
Su Emme(%)	0.16		

Çizelge 4.8. Ayırıştırılan Kaba Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Özellik	Ortalama Sonuç	Şartname Limiti(%) (KTŞ-2013)	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	2.48		
Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	2.49		
Zahiri Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	2.52		
Su Emme(%)	0.75	≤ 2.5	TS-EN1097-6(Madde8)

Çizelge 4.9. Sathi Kaplama Agregası Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranları

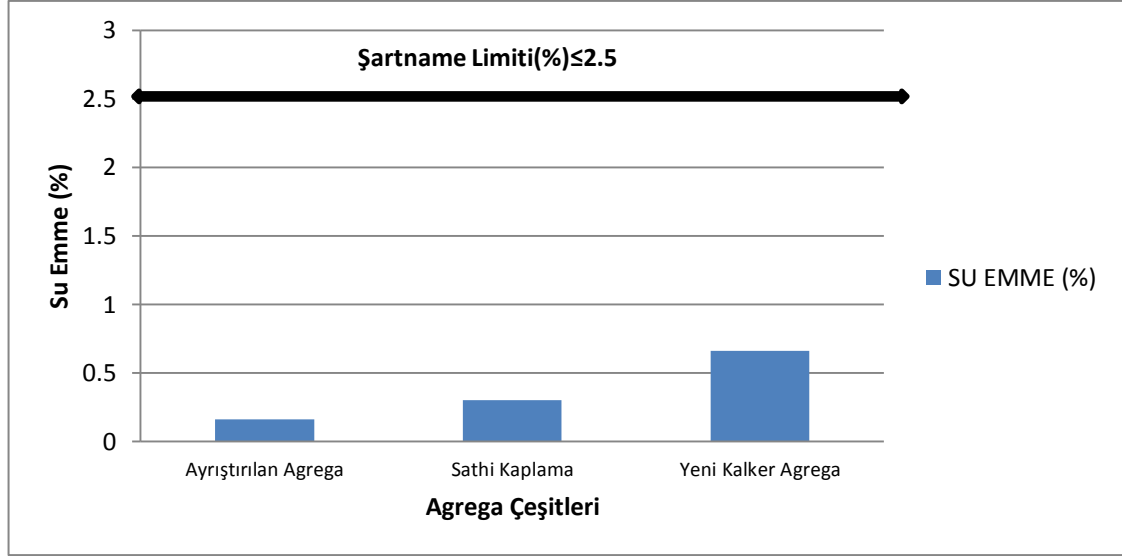
Deney	İnce Agregası	Kaba Agregası
Özgül Ağırlık	2.48	2.69
Su Emme(%)	0.30	0.33
Şartname Limiti(%)KTŞ-2013	≤ 2.5	≤ 2.5

Çizelge 4.10. Yeni Kalker İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Değerleri

Özellik	Ortalama Sonuç	Şartname Limiti(%) (KTŞ-2013)	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	1.915		
Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	1.952		
Zahiri Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	1.99		
Su Emme(%)	0.66	≤ 2.5	TS-EN1097-6(Madde8)

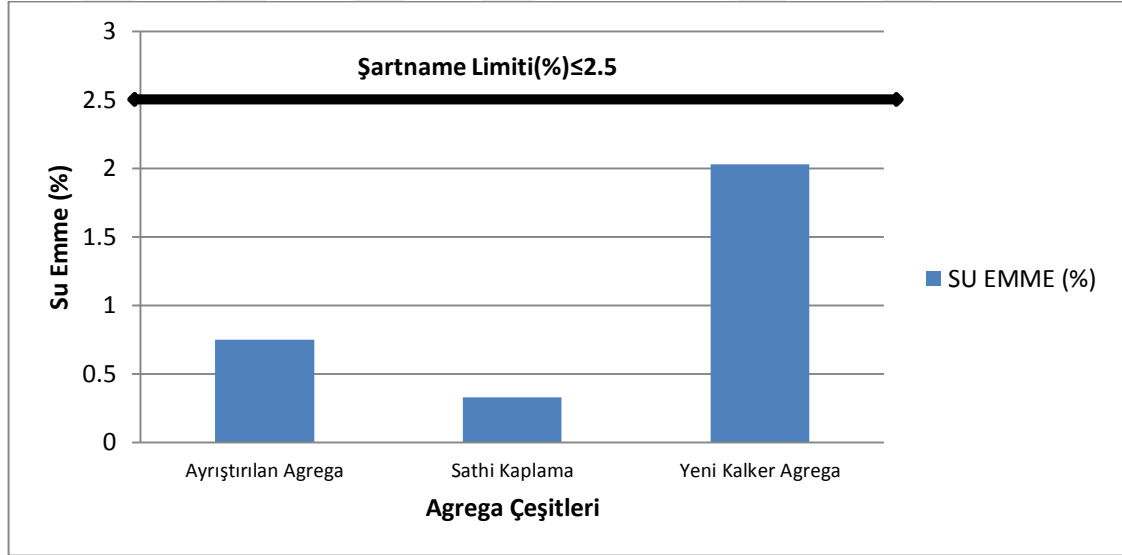
Çizelge 4.11. Yeni Kalker Kaba Agreganın Su Emme Oranları

Özellik	Ortalama Sonuç	Şartname Limiti(%) (KTŞ-2013)	Deney Standardı
Hacim Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	2.52		
Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	2.57		
Zahiri Özgül Ağırlık(gr/cm^3)	2.66		
Su Emme(%)	2.03	≤ 2.5	TS-EN1097-6(Madde8)



Şekil 4.3. İnce Agregas Su Emme Değerleri

Şekil 4.3.'te belirtilen grafik incelendiğinde tüm agregaların şartname kriterini sağladığı görülmüştür. Ayırıştırılan agreganın ve sathi kaplamanın su emmesinin düşük çıkması agregaların çevresinde kalan Triklor etilen kalıntıları ile açıklanabilir. Bu durum, agreganın su emmesini engellemiştir. Yeni kalker agregasının su emme oranı ise eski agregalardan yüksek çıkmıştır fakat şartname kriterinin sağladığı için sorun teşkil etmemektedir.



Şekil 4.4. Kaba Agregas Su Emme Değerleri

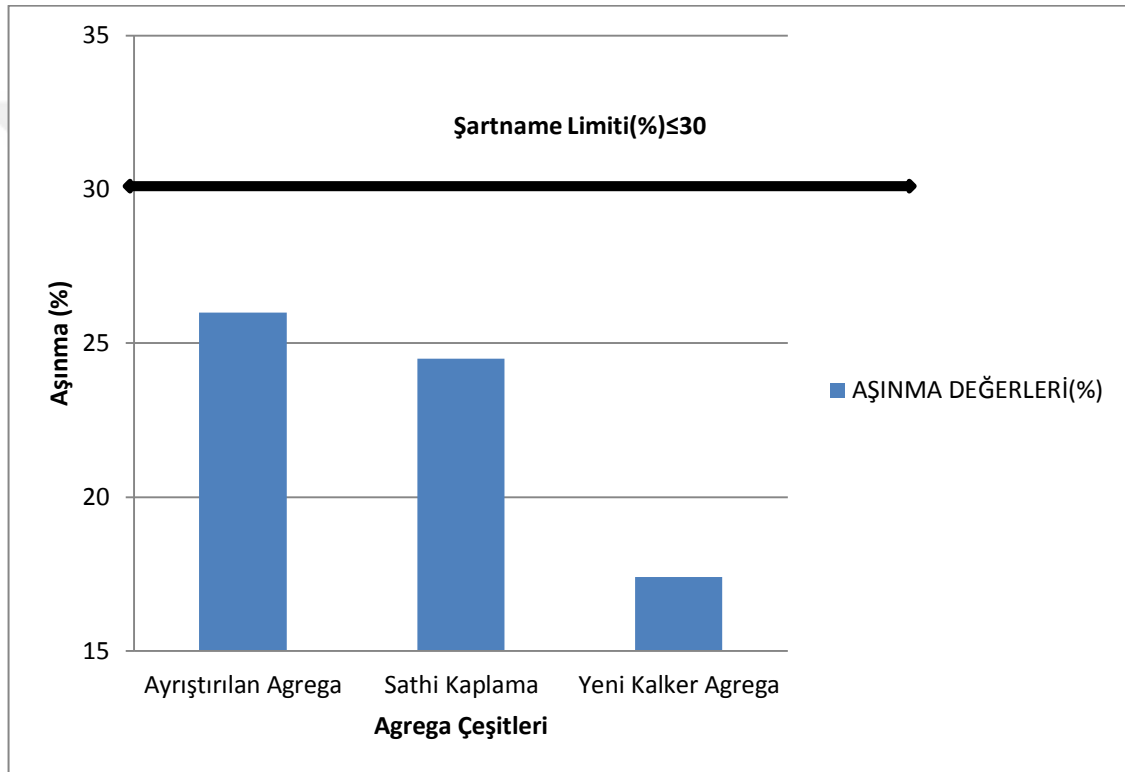
Şekil 4.4.'te belirtilen grafik incelendiğinde tüm agregaların şartname kriterini sağladığı ve karışımında kullanılması için bir sorun teşkil etmediği görülmüştür. Ayırıştırılan agreganın ve sathi kaplamanın su emmesinin düşük çıkması agregaların

çevresinde kalan Triklor Etilen ile açıklanabilir. Bu durum, agreganın su emmesini engellemiştir.

4.2.2. Aşınma (Los Angeles) deneyi sonuçları

Çizelge 4.12. Agreg Aşınma Değerleri

Deney	Ayrıştırılan Agreg	Sathi Kaplama Agregası	Yeni Kalker Agreg	Şartname Limitleri(KTŞ 2013)	Deney Standardı
Los Angeles Aşınma Deneyi(%)	26	24.5	17.4	≤ 30	TS EN 1097-2

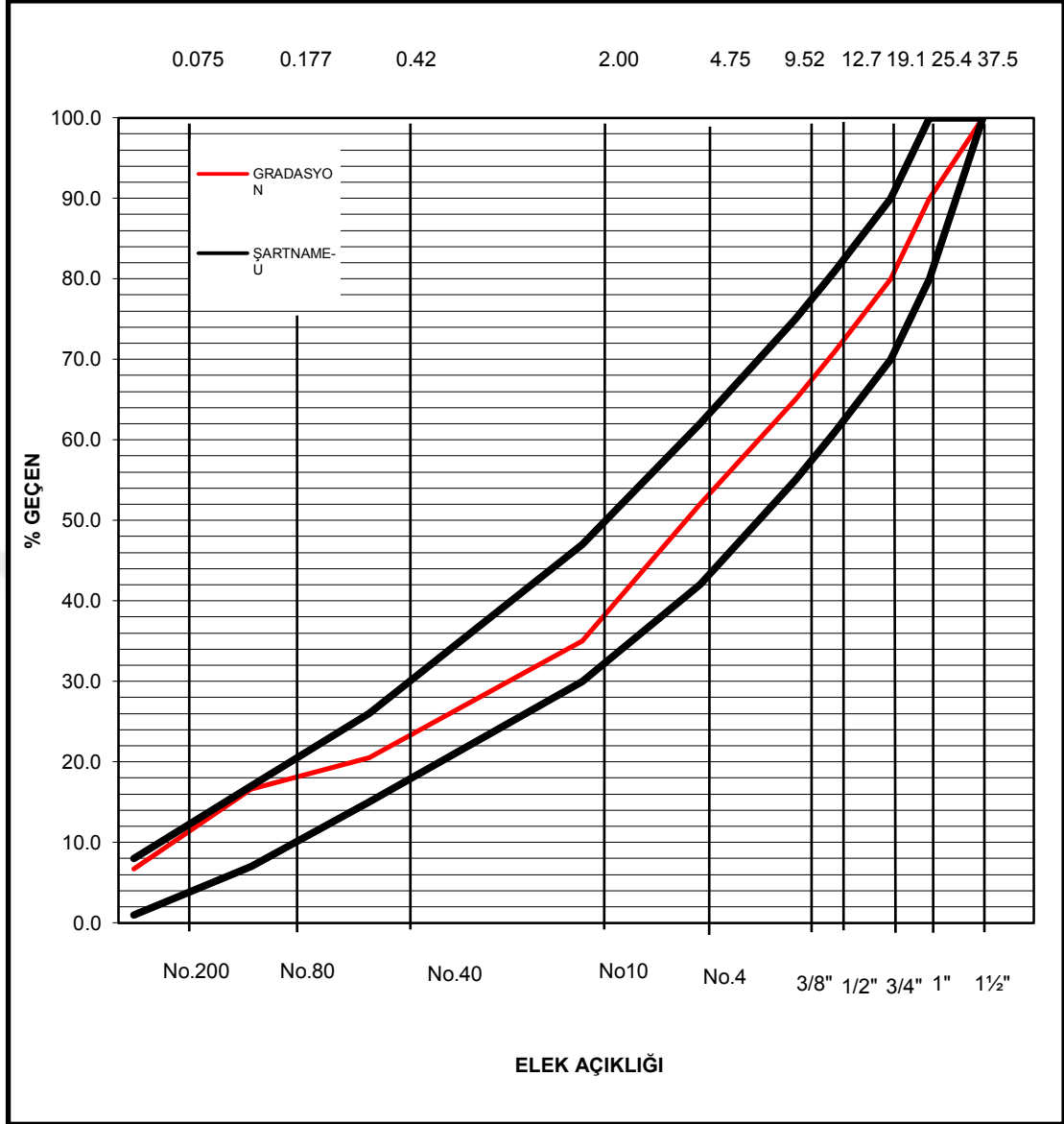


Şekil 4.5. Aşınma Değerleri

Şekil 4.5.'te belirtilen veriler incelendiğinde en fazla aşınmanın ayrıştırılan agregada olduğu görüldü. Tüm agregalar şartname kriterini sağladı ve karışımda kullanılması için sorun teşkil etmediği görüldü.

4.3. Elek Analizi Sonuçları

Eldeki mevcut kazınmış asfalt ve sathi kaplama elek analizinden yola çıkılarak hesapları Madde 3.6.'nın alt başlıklarında hesaplanan yeni agreg gradasyonu sonucu Şekil 4.6.'da gösterilen hedef gradasyon elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Bitümlü Temel Şartname Limitlerine Uygun Olarak Elde Edilen Karışım Gradasyonu

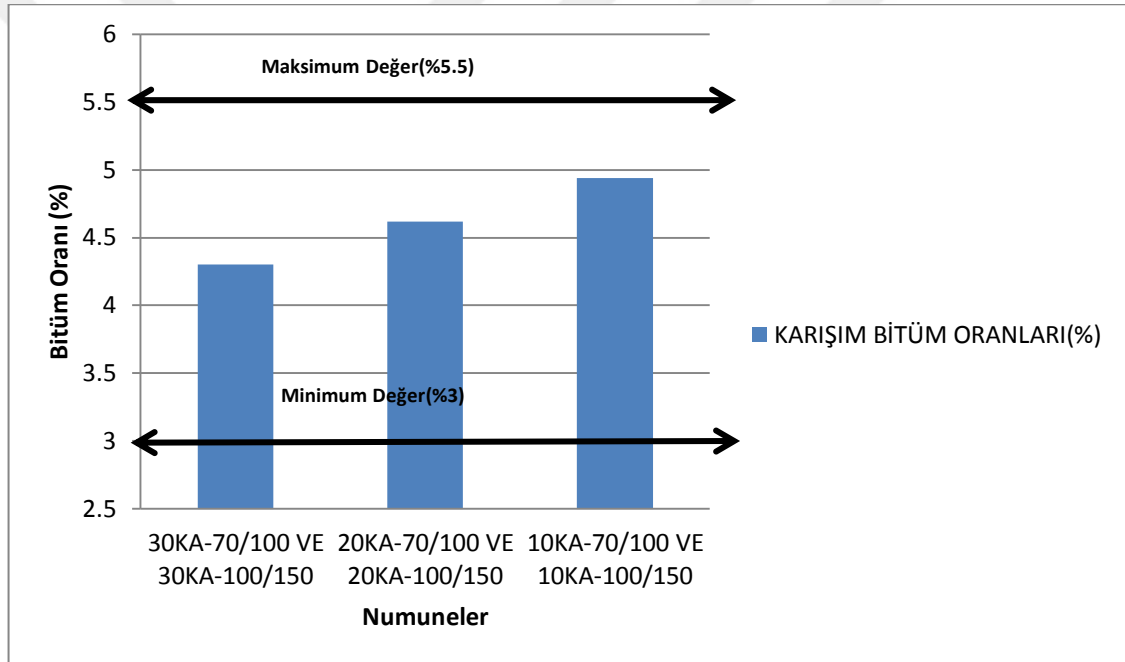
Bitümlü temel şartname kriterlerinde belirtilen karışıma konulacak agrega gradasyon Tip B limitleri ortalaması alınarak hesaplanan karışım gradasyonuna göre elde edilen grafik Şekil 4.1.'de belirtildiği gibidir. Grafik incelendiğinde karışıma konulan agrega gradasyonunun şartname limitleri arasında kaldığı görülmüştür. Karışımında kullanılacak agregaların gradasyon şartları açısından bir sorun teşkil etmediği görülmektedir.

4.4. Bitüm Oranları

Madde 3.7.2.'de belirtilen ve hesaplanan bitüm oranları, bitümlü temel tabakası için karışıma konulması gereken bitüm oranı şartname limitleri Çizelge 4.13.'te belirtildiği gibidir.

Çizelge 4.13. Karışım Bitüm Oranları(%)

Numune Adı	Bitüm Oranı	Bitümlü Temel Şartname Limiti(KTŞ 2013)
30KA-70/100 İLE 30KA-100/150	4.3	3-5.5
20KA-70/100 İLE 20KA-100/150	4.62	3-5.5
10KA-70/100 İLE 10KA-100/150	4.94	3-5.5



Şekil 4.7. Karışım Bitüm Oranları(%)

Şekil 4.7. incelendiğinde karışımda kullanılan kazınmış asfalt miktarı arttıkça, karışıma konulan yeni bitüm oranının azaldığı görülmüştür. Karışımdaki kazınmış asfalt miktarı arttıkça, kazınmış asfalt içeriğindeki %3.15'lik bitüm içeriğinden ötürü yaşlı bitüm miktarı artmaktadır. Bu miktar dikkate alınarak karışıma konulacak yeni bitüm miktarı arttığı için kazınmış asfalt oranı arttıkça karışımdaki yeni bitüm miktarı azalmaktadır.

4.5. Marshall Briketlerine Uygulanan Deneyler

Madde 3.8.1’de belirtilen yöntemle göre hazırlanan Marshall numuneleri, krikoyardıımıyla kalıplarından çıkarıldıktan sonra kumpas yardıımıyla 3 noktadan yükseklikleri ölçölerek ortalamaları kaydedildi. Havada, suda ve doygun yüzey ağırlıkları tartıldı.



Şekil 4.8. Numunelerin Yüksekliklerinin Ölçölmesi



Şekil 4.9. Sudaki Ağırlığın Bulunması

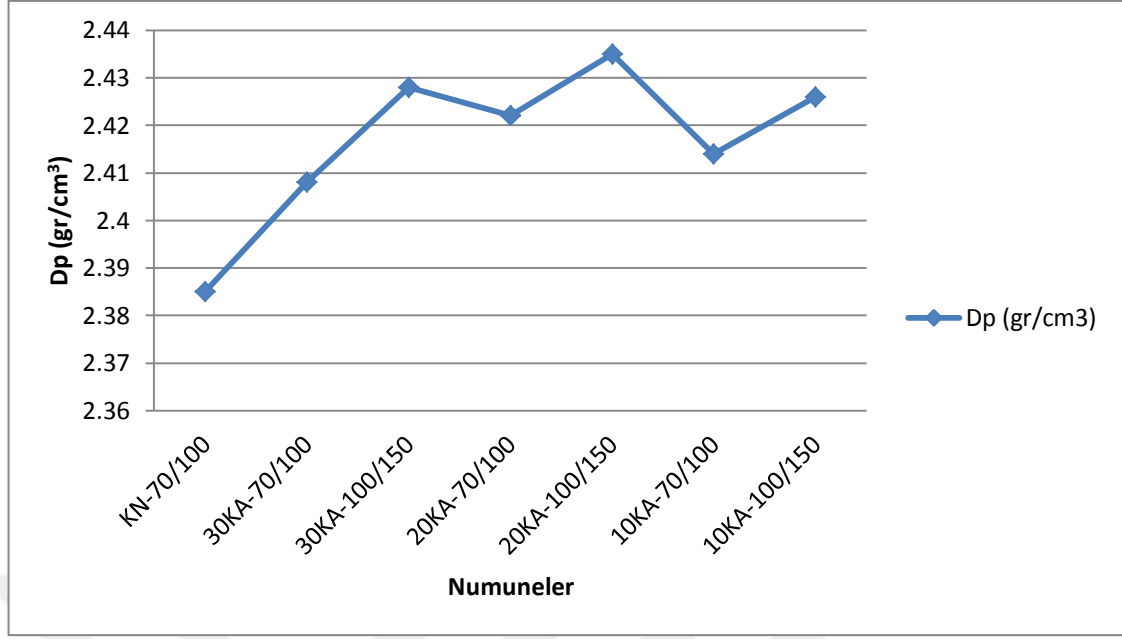
Havadaki, sudaki ve doygun yüzey ağırlıkları tartılan numunelerin; Hacim Özgü Ağırlığı (Dp), Boşluk Oranları (Vh), Agregalar Arası Boşluk Oranları (VMA) ve Asfalt Dolu Boşluk Oranları (Vf) hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Marshall Briketlerinden Elde Edilen Veriler

	No	BITÜM	YÜKSEKLİKLER(mm)					Havadaki	Sudaki	Doy.Yüz.	Hacim	Hacim	Boşluk	V.m.a	Asf.Dol.
		Wa,%	g	1	2	3	ort.	Ağırlık gr	Ağırlık gr	Ağırlık,gr	cm ³	Özg.Ağırl.	%	%	Boşluk
								A	C	B	V	Dp	Vh		Vf
	1	4.25	48.9	62	62.5	63	62.5	1193.7	696.3	1196.3	500	2.387			
KN-70/100	2	4.25	48.9	62.9	62.5	62.7	62.7	1192.4	696.4	1196.7	500.3	2.383			
	3	4.25	48.9	62	62.2	62.5	62.2	1194	699.9	1202.1	502.1	2.378			
	ORT.											2.385	5.056	15.05	66.4
	4	4.3	49.9	62.5	62.7	63	62.7	1199.1	709.3	1199.6	490.3	2.446			
KA30-70/100	5	4.3	49.9	63.3	63	62.8	63	1197.6	698.5	1204	505.5	2.37			
	6	4.3	49.9	62.7	63	63.5	63.1	1194.7	700.5	1196.8	496.3	2.407			
	ORT.											2.408	4.558	14	67.44
	7	4.3	49.9	62	61.5	62	61.8	1200.1	704.9	1201.4	496.5	2.417			
KA30-100/150	8	4.3	49.9	62.5	62.7	62.5	62.6	1197.1	704.4	1197.8	493.4	2.426			
	9	4.3	49.9	63	63.5	62.9	63.1	1193.2	705.6	1194.4	488.8	2.441			
	ORT.											2.428	3.765	13.28	71.65
	10	4.62	53.5	62.2	63.2	62.5	62.6	1197.4	705.7	1198.6	492.9	2.429			
KA20-70/100	11	4.62	53.5	63.1	63.1	62.9	63	1193	700.8	1194.8	494	2.415			
	12	4.62	53.5	63.2	63.5	63	63.2	1194	703.1	1195.8	492.7	2.423			
	ORT.											2.422	3.582	13.77	73.99
	13	4.62	53.5	61.9	62.1	62	62	1195	706.3	1196.1	489.8	2.44			
KA20-100/150	14	4.62	53.5	62.1	62.5	62.3	62.3	1195.6	706.9	1196.7	489.8	2.44			
	15	4.62	53.5	63	62.8	62.5	62.8	1195	703.4	1196.1	492.7	2.425			
	ORT.											2.435	3.065	13.31	76.97
	16	4.94	57	63	63.9	64	63.6	1201.4	702.7	1205.1	502.4	2.391			
KA10-70/100	17	4.94	57	62	62.5	62	62.2	1207.5	708.8	1209.8	501	2.41			
	18	4.94	57	63.1	63.2	63.1	63.1	1202.5	711.3	1203.8	492.5	2.442			
	ORT.											2.414	3.44	14.29	75.93
	19	4.94	57	61	61.5	61	61.2	1202.7	706.4	1205	498.6	2.412			
KA10-100/150	20	4.94	57	62	61.5	61.7	61.7	1206.6	712.4	1207.1	494.7	2.439			
	21	4.94	57	62	62.1	61.7	61.9	1206.3	710.5	1207.5	497	2.427			
	ORT.											2.426	2.96	13.86	78.64
	BITÜMLÜ TEMEL DİZAYN KRİTERLERİ												(4-6)	(12-14.5)	(55-75)

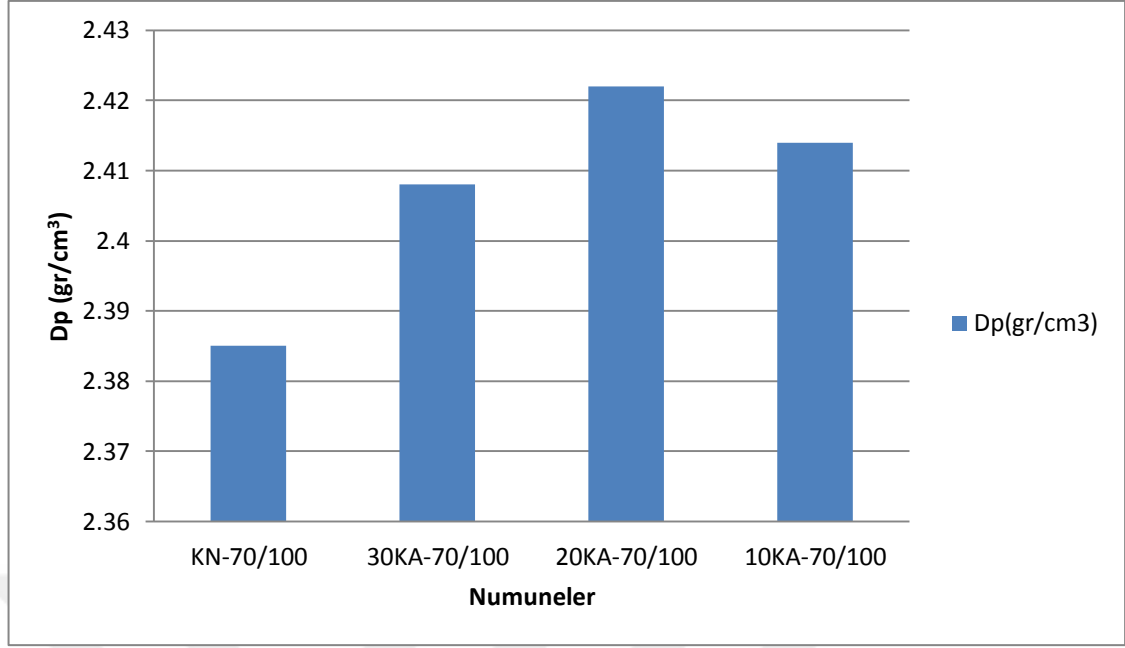
Çizelge 4.15. Marshall Briketinden Elde Edilen Boşluk Oranları ve Şartname Limitleri

Özellikler	Kontrol Numunesi-70/100	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100	20KA-100/150	10KA-70/100	10KA-100/150	Bitümlü Temel Dizayn Limitleri(KTŞ 2013)
Darbe Sayısı								75
Boşluk %'si Ortalaması(Vh)	5.056	4.558	3.765	3.582	3.065	3.44	2.96	4-6
Asfaltın Dolu Boşluk %'si Ortalaması(Vf)	66.4	67.44	71.65	73.99	76.97	75.93	78.64	55-75
Agregalar Arası Boşluk %'si Ortalaması(VMA)	15.05	14.0	13.28	13.77	13.31	14.29	13.86	12-14.5

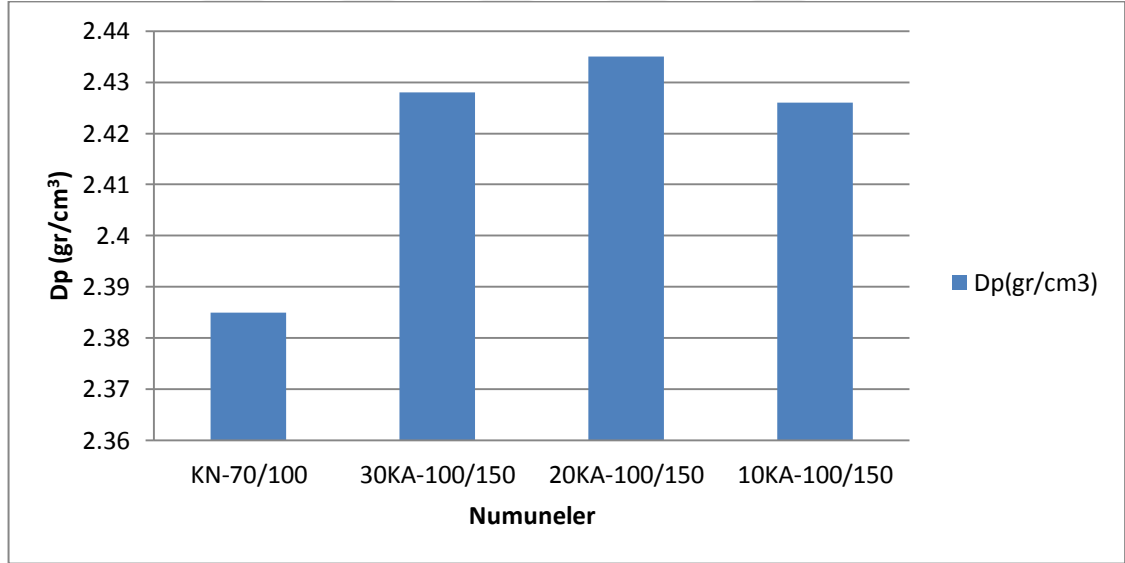


Şekil 4.10. Hacim Özgöl Ağırlık Değerleri

Şekil 4.10.'da belirtilen grafiğe göre B100/150 bitüm ile oluşturulan numunelerin B70/100 ile oluşturulan numunelere göre Dp değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlendi. Bunun sebebi ise şu şekilde açıklanabilir; Çizelge 4.14.' te belirtilen değerlerde B100/150 bitüm sınıfı ile oluşturulan numunelerin B70/100 bitüm ile oluşturulan numunelere oranla daha çok sıkıştığı numune yüksekliklerine bakılarak anlaşılmaktadır. B100/150 bitümün daha yumuşak olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu doğal bir sonuçtur. Buna bağlı olarak B100/150 bitüm sınıfı ile oluşturulan numunelerin hacim değerleri azalış göstermiş ve Dp değerleri daha yüksek çıktı.

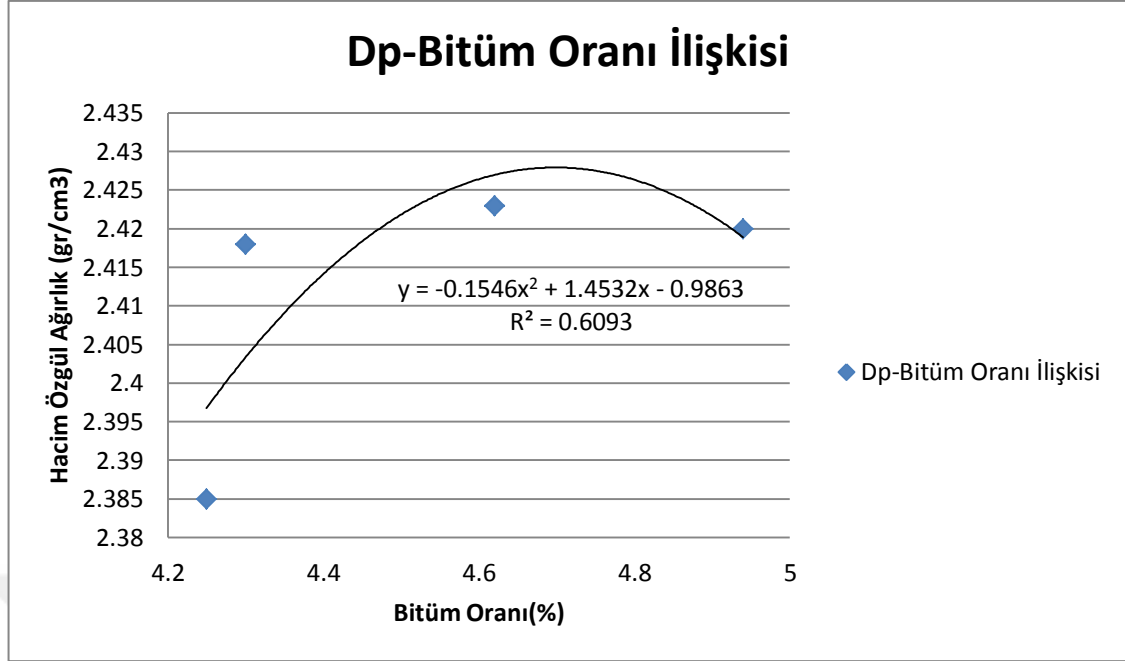


Şekil 4.11. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 Hacim Özgöl Ağırlık Değerleri



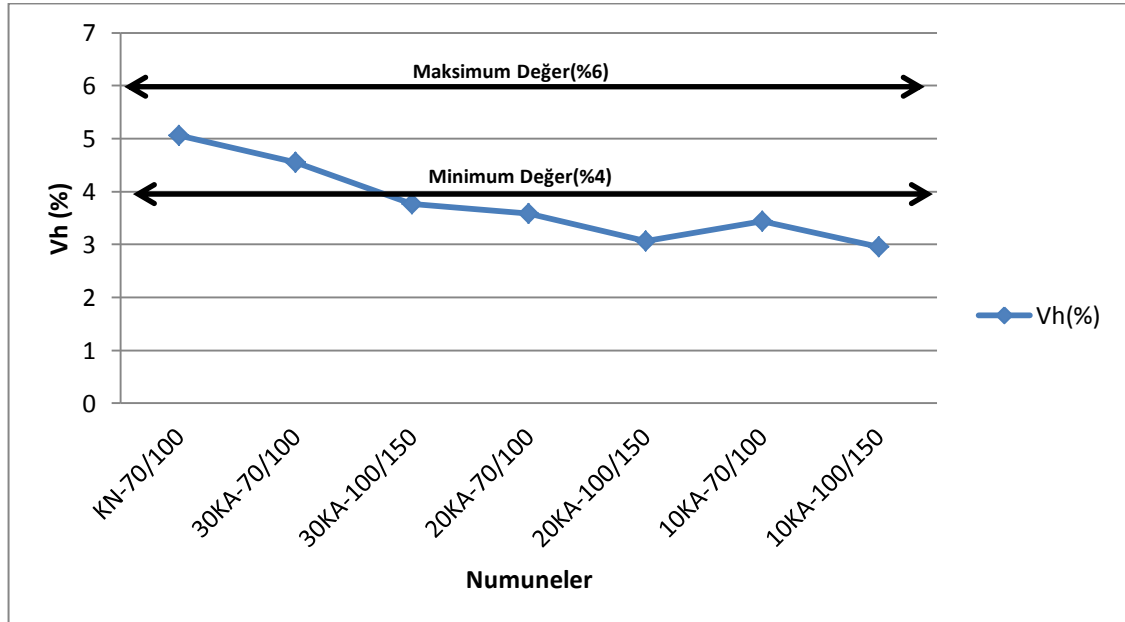
Şekil 4.12. KN-70/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 Hacim Özgöl Ağırlık Değerleri

Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de belirtilen grafikte, en yüksek hacim özgül ağırlık değerlerinin %20 kazınmış asfalt ile oluşturulan numunelerde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13. Bitüm Oranına Göre Ortalama Hacim Özgül Ağırlık Değerleri

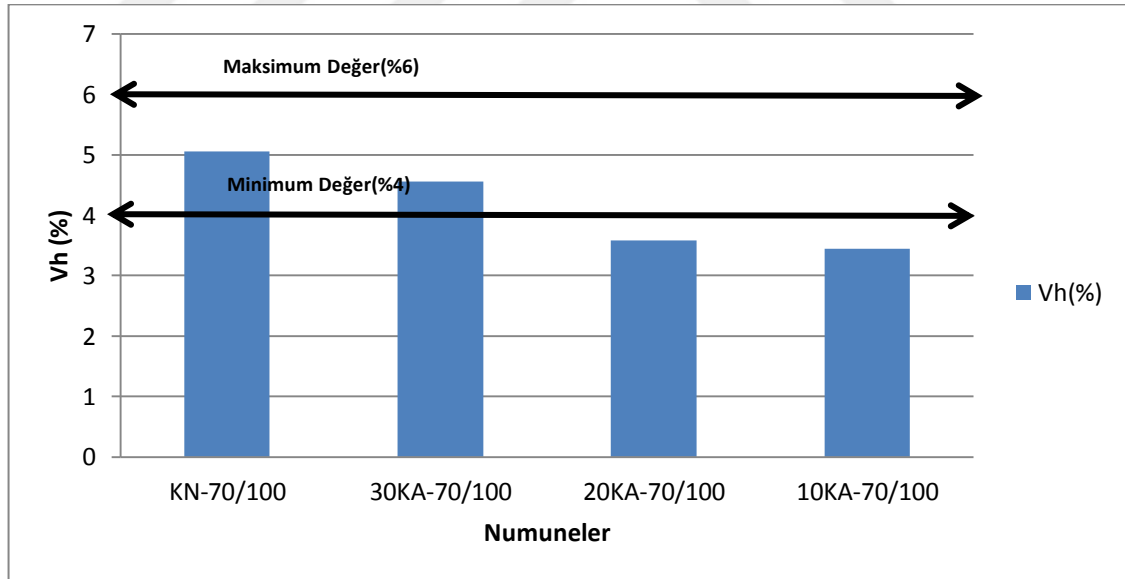
Bitüm oranına göre ortalama Dp değerlerinin nasıl sonuçlar verdiğini belirleyebilmek amacıyla her RAP yüzdesine göre Dp değerleri ortalaması alındı ve Şekil 4.13.'te belirtilen Dp-Bitüm Oranı İlişkisi Grafiği çizildi. Bulgulara göre maksimum Dp oranının 20KA numuneleri için kullanılan %4.6 bitüm oranında olduğu belirlenmiştir.



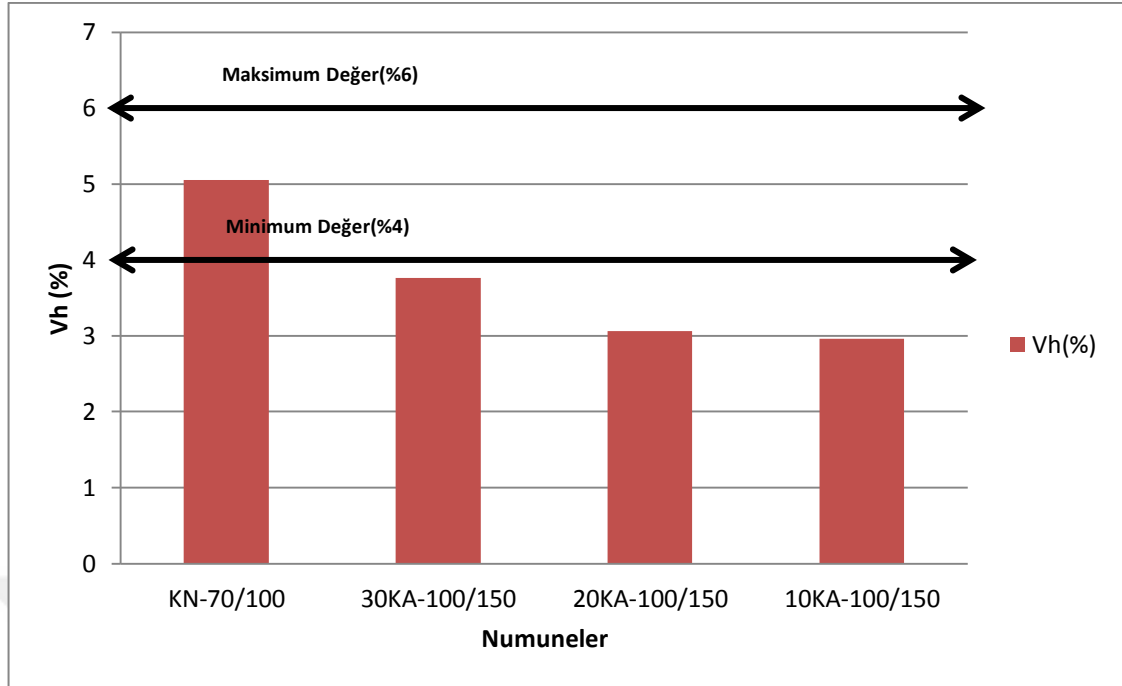
Şekil 4.14. Boşluk Oranı Değerleri

Karayolları Teknik Şartnamesi'nde bitümlü temel tabakası boşluk oranı miktarının %4-%6 arasında olması istenmektedir. Şekil 4.14.'te belirtilen grafikte boşluk oranı değerlerinin numune içeriğinde bulunan yeni bitüm miktarı arttıkça azaldığı görüldü. KN-70/100, 30KA-70/100, numunelerinin şartname limitleri içerisinde olduğu saptanırken diğer numuneler bu limitlerin dışında kaldı. Şartname limit ortalaması referans alındığında ise en ideal davranışın KN-70/100 daha sonra İSE 30KA-70/100 numunelerinin gösterdiği belirlendi. 30KA-100/150, 20KA-70/100, 20KA-100/150, 10KA-70/100 ve 10KA-100/150 numuneleri limitlerin dışında kaldı fakat boşluk oranları değerleri yüksek olduğu için değil aksine daha düşük olduğu için kriterleri sağlamadığı görülmüştür.

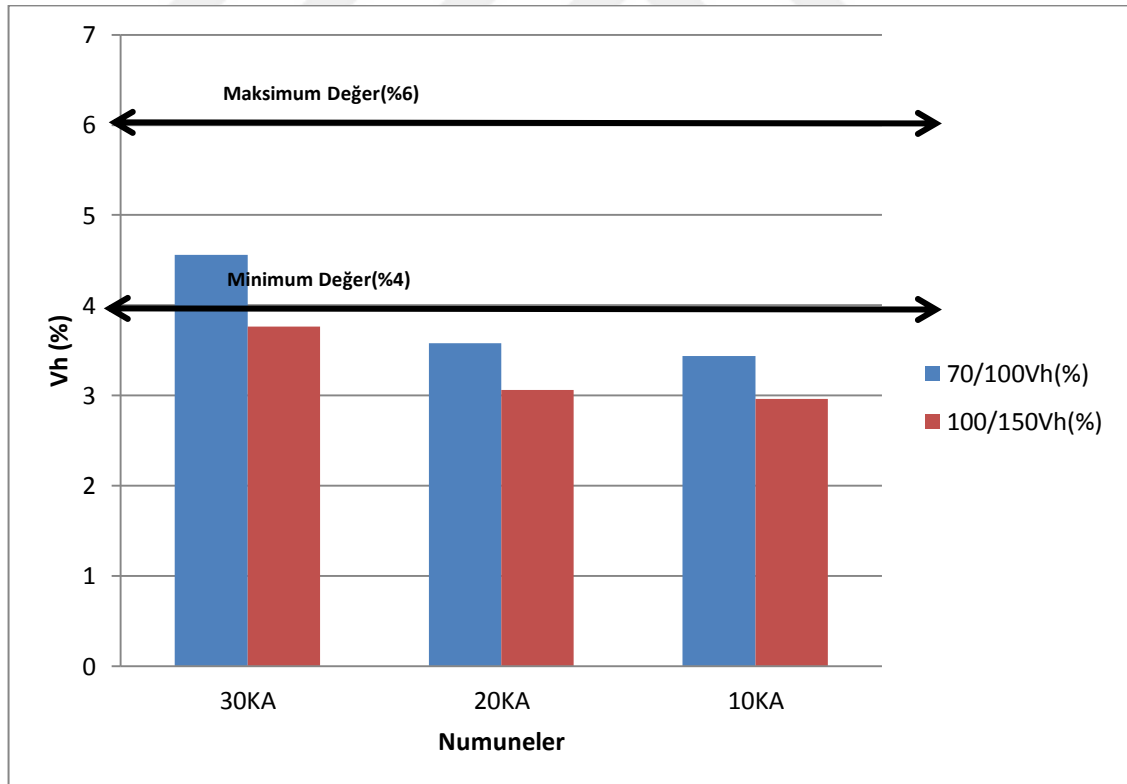
KA oranı arttıkça Madde 3.7.2.'de belirtilen hesaplamalar neticesinde karışıma konulacak yeni bitüm oranı azaldı. Bu nedenle KA oranı arttıkça karışımındaki eski bitüm oranı yükselmiştir. Eski bitümün zamanla sertleşmiş ve buna bağlı olarak yumuşama noktasının yeni bitüme göre daha yüksek olmasından dolayı yaşlı bitüm yeterince yumuşamadı ve agregaları homojen şekilde sarmalayamadığı öngörülmüştür. Sonuç olarak agregaların birbirine yeteri kadar yapışmayıp aralarında boşluk kalmasına sebep oldu ve boşluk miktarı arttı. Ayrıca karışıma konulacak yeni kalker agregası mevcut kazınmış asfalt kaplaması ve sathi kaplama agregasına göre belirlenmiştir. Bu sebepten ötürü zorunlu olarak eski agregalara bağlı olarak karışımında kullanılan yeni kalker agregasında ince malzemede artış görülmüştür. Bu bitümlü temel tabakası şartname limitlerini sağlamıştır fakat Vh oranını doğrudan etkilemiştir. KA oranı azaldıkça yeni agrega oranı arttığından Vh oranları şartname limitlerinin altında yer almıştır.



Şekil 4.15. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 Boşluk Oranları(%)

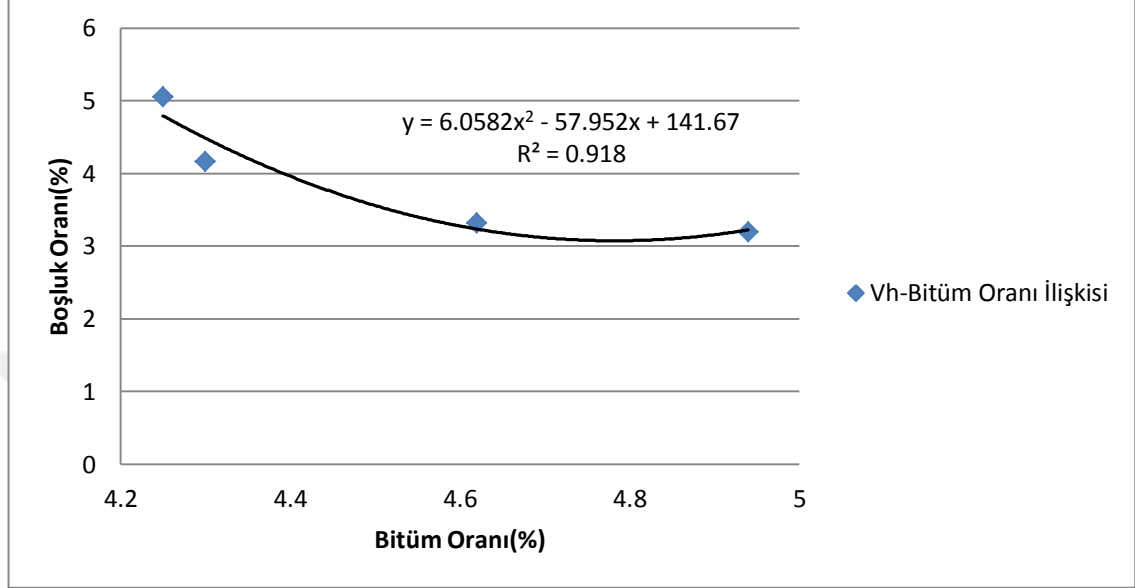


Şekil 4.16. KN-70-100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 Boşluk Oranları(%)



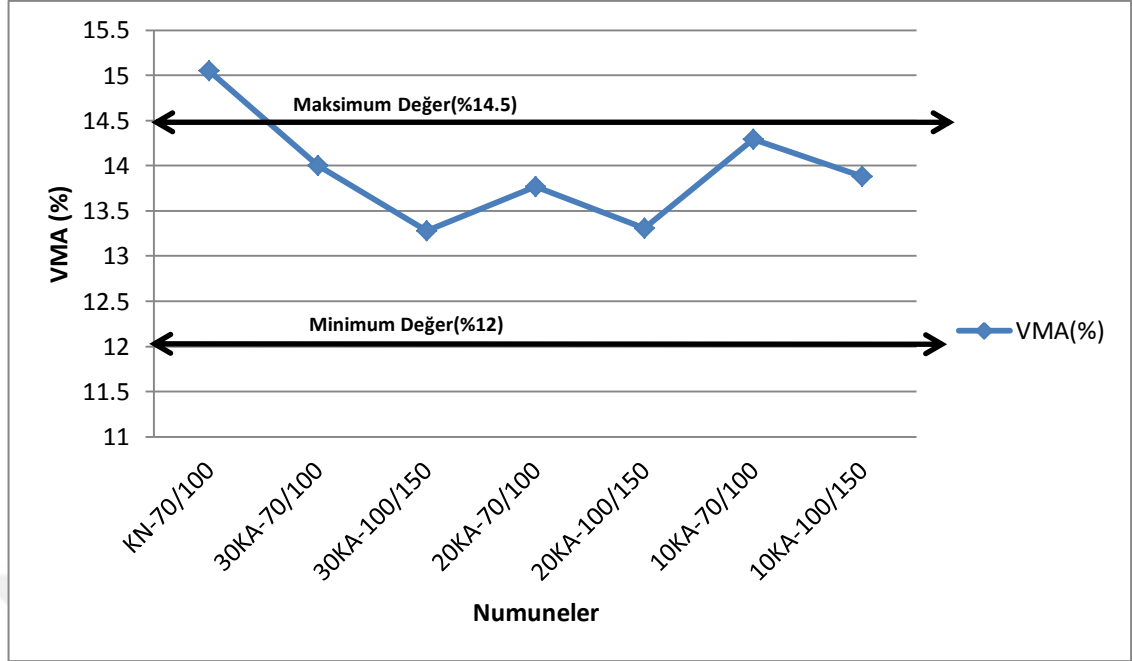
Şekil 4.17. Boşluk Oranları Karşılaştırılması

Şekil 4.17.'de belirtilen grafikte B100/150 bitüm ile oluşturulan numunelerin B70/100 bitüm ile oluşturulan numunelere göre daha iyi sıkıştığı görüldü. 100/150 bitüm sınıfı ile oluşturulan numunelerin B70/100 ile oluşturulan numunelere göre daha iyi sıkışma göstermesinin nedeni ise Dp oranlarının daha yüksek olmasıyla açıklanabilir.



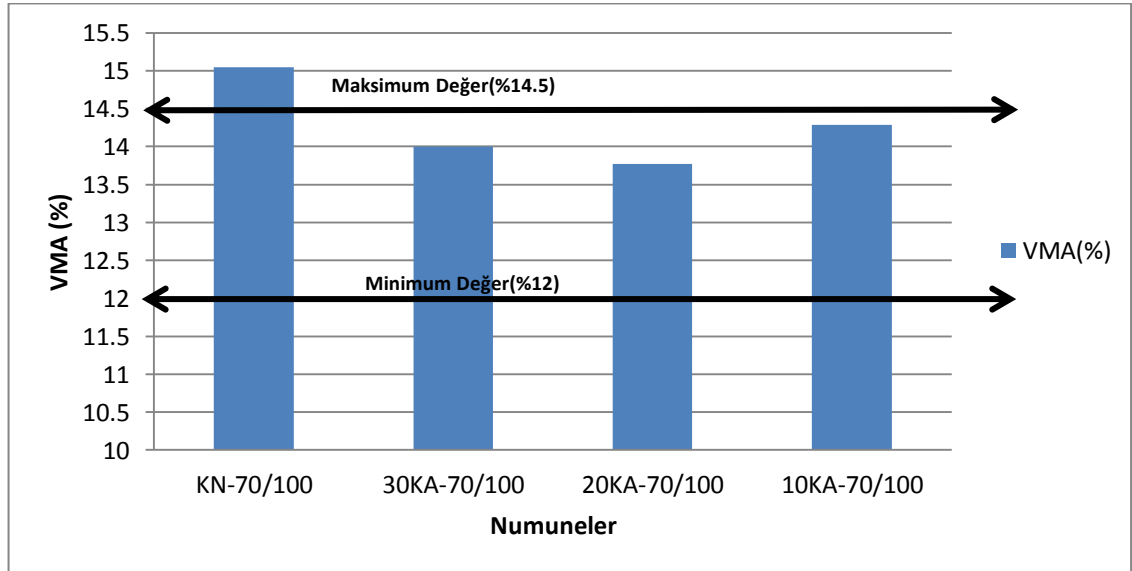
Şekil 4.18. Bitüm Oranına Göre Ortalama Boşluk Oranı Değerleri

Bitüm oranına göre ortalama boşluk oranı değerlerinin nasıl bir davranış gösterdiğini belirleyebilmek amacıyla her RAP yüzdesine göre Vh değerleri ortalaması alındı ve Şekil 4.18.'de belirtilen Vh-Bitüm Oranı Grafiği çizildi. Bitüm miktarı arttıkça boşluk yüzdesinin beklenildiği gibi azaldığı görüldü. Şartname limitleri arasında kalan uygun bitüm oranının ise %4.3 olduğu belirlenmiştir.



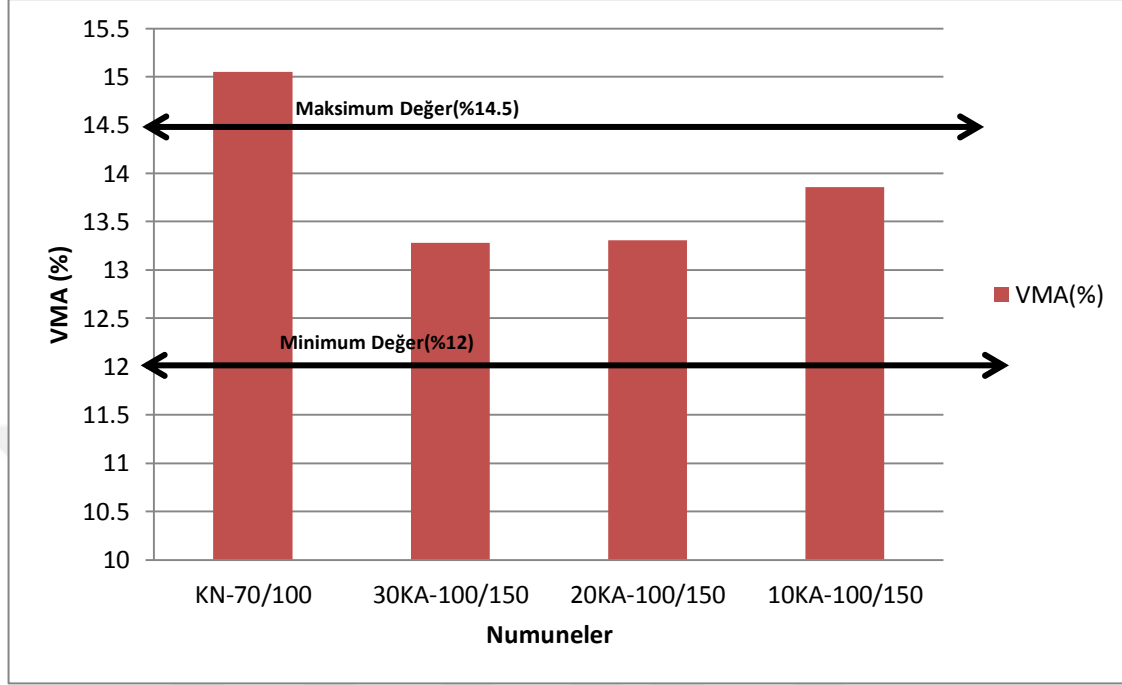
Şekil 4.19. Agregalar Arası Boşluk Oranı Değerleri

KTŞ'de bitümlü temel VMA limitlerinin %12-%14.5 arasında olması istenmektedir. Şekil 4.14.'te belirtilen grafiğe bakıldığında VMA değerlerinin aynı KA oranına sahip numunelerde B100/150 bitüm sınıfı ile oluşturulan numunelerin daha iyi performans gösterdiği gözlemlendi. KN-70/100 numunesi hariç diğer tüm numuneler gerekli limitlerin arasında kaldığı gözlemlenmiştir.



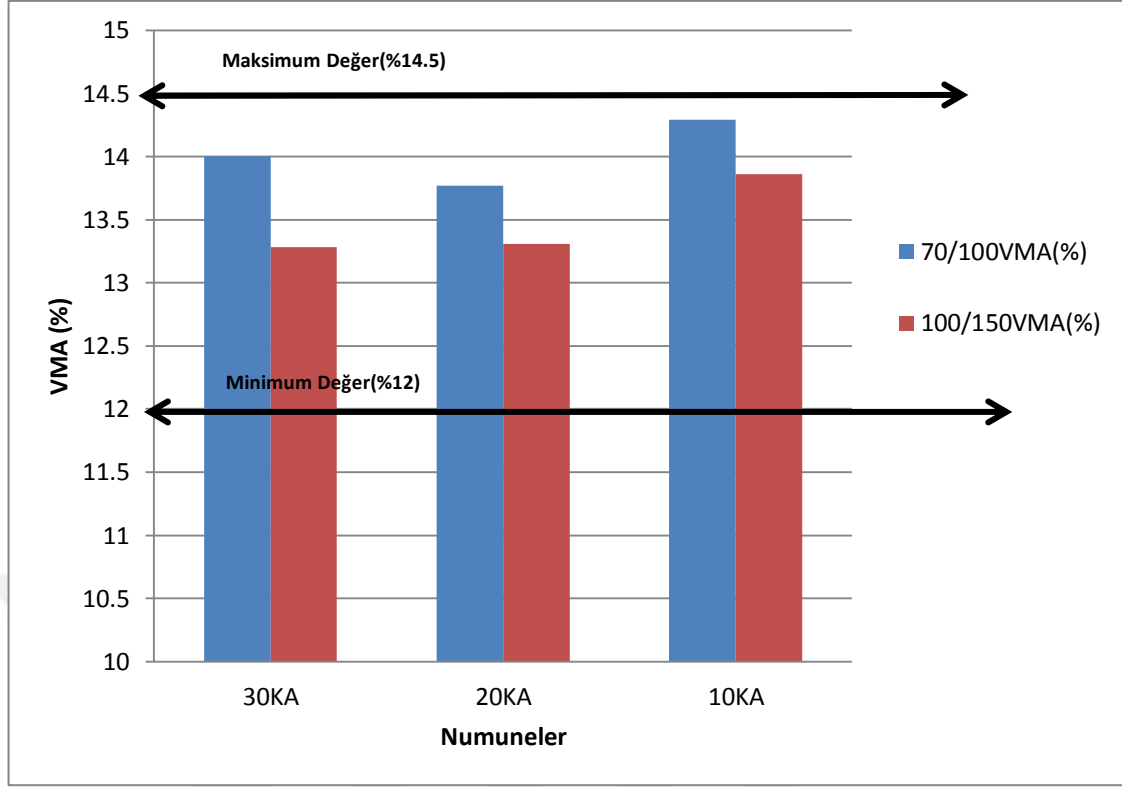
Şekil 4.20. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 VMA Oranları

Şekil 4.20.'ye bakıldığında VMA için B70/100 bitüm ile oluşturulan numuneler arasında en ideal davranışın 20KA-70/100 numunesinin gösterdiği görülmüştür. Bu ideal davranış ise şartname limit ortalaması (13.25) referans alınarak belirlenmiştir.



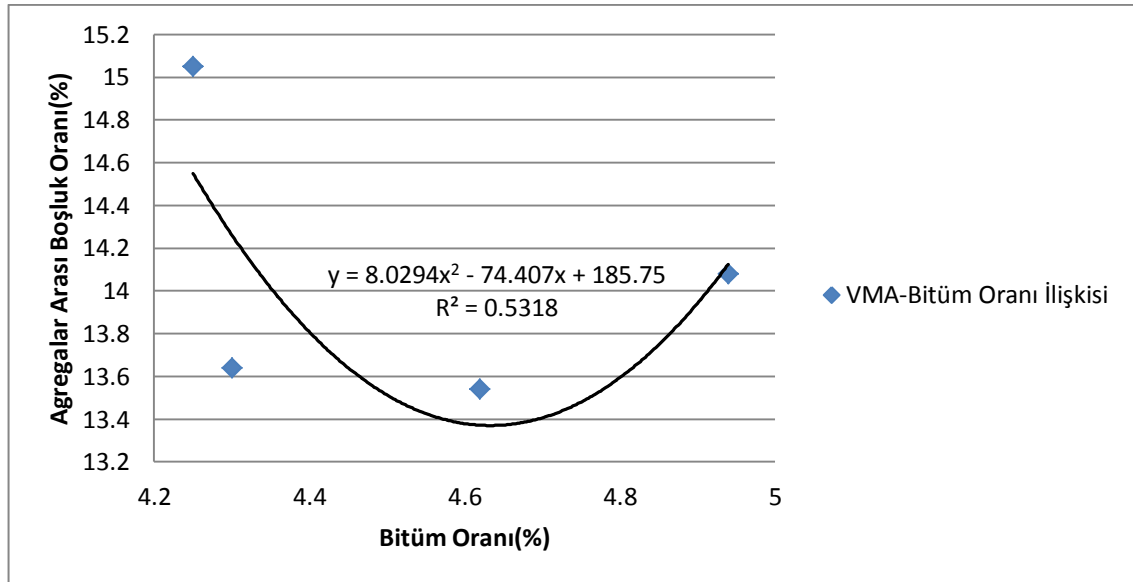
Şekil 4.21. KN-70/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 VMA Oranları

Şekil 4.21.'de belirtilen VMA değerleri arasından yine şartname limit ortalaması referans alındığında 30KA-100/150 numunesinin B100/150 bitüm sınıfı ile oluşturulan numuneler arasından en ideal davranış gösterdiği belirlenmiştir.



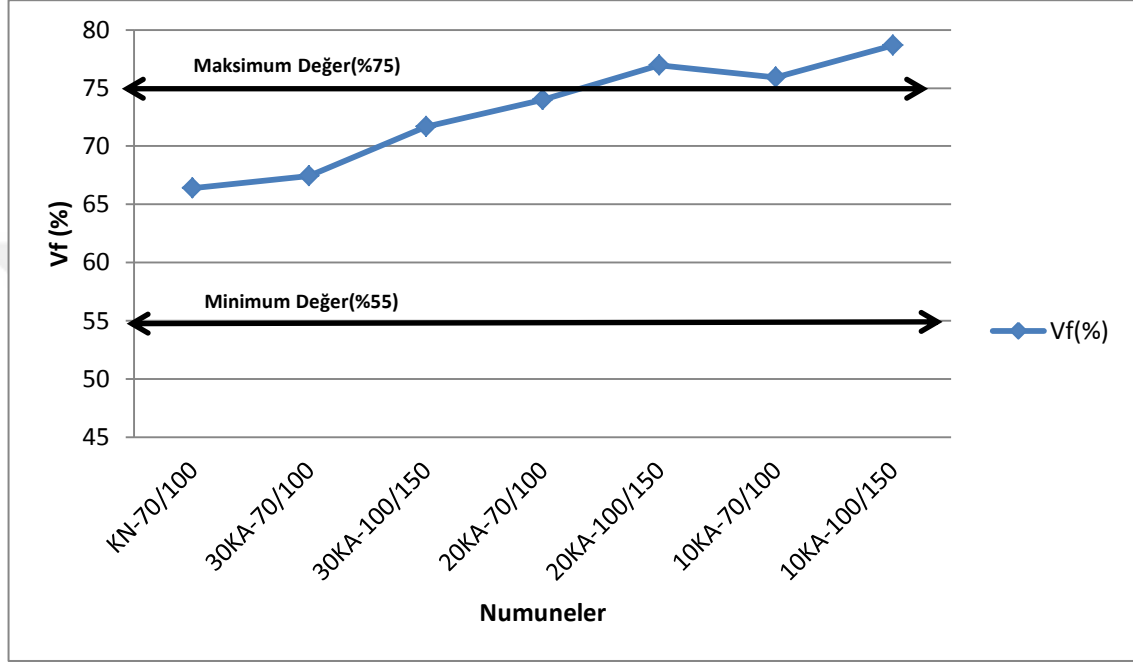
Şekil 4.22. Agregalar Arası Boşluk Oranları Karşılaştırılması

Şekil 4.22.'de belirtilen grafikte B100/150 bitüm sınıfı ile oluşturulan numunelerin B70/100 bitüm ile oluşturulan numunelere göre daha ideal performans gösterdiği gözlemlendi. Bu sonuç Vh oranlarıyla doğru orantı gösterdi.



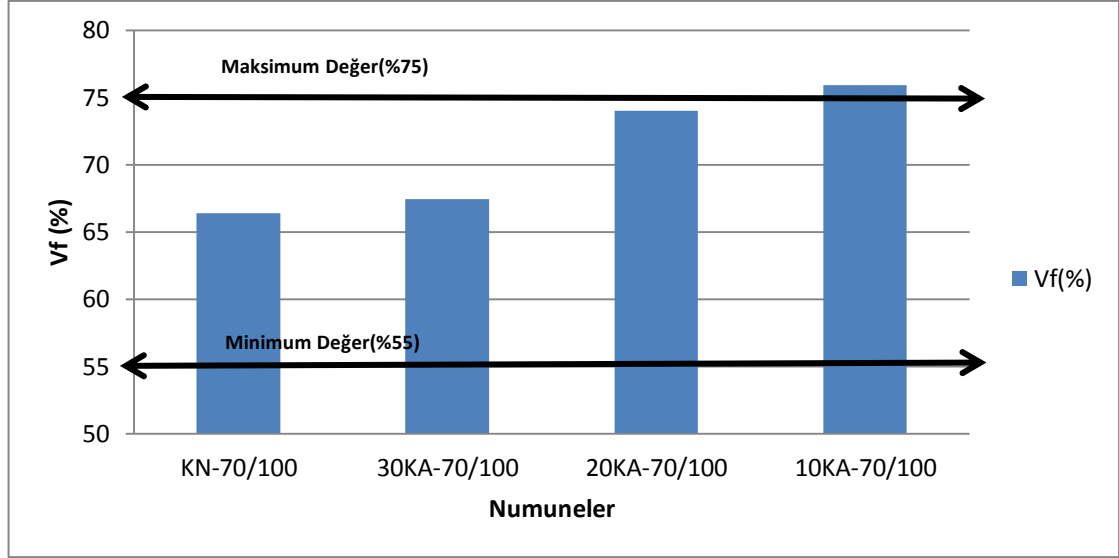
Şekil 4.23. Bitüm Oranına Göre Ortalama Agregalar Arası Boşluk Oranı Değerleri

Her RAP yüzdesine göre VMA değerleri ortalaması alındı ve Şekil 4.23.'te belirtilen VMA-Bitüm Oranı Grafiği çizildi. Şartname limitleri ortalaması referans alındığında en ideal davranışın 20KA ile oluşturulan numunelerin gösterdiği belirlendi. Bitüm miktarı arttıkça yaklaşık %4.6 ya agregalar arası boşluk yüzdesinin azaldığı görüldü. %4.6'dan sonra ise VMA yüzdesinin arttığı gözlemlendi. Bunun neden ise şu şekilde açıklanabilir; yaklaşık %4.6 bitüm oranına kadar agregalar arası boşluğun dolduğu daha sonra ise artan bitüm miktarının agregalar arasında bitümün kaygan yapısından dolayı agregalar arasından sıyrılarak boşluğun artmasına sebep oldu.

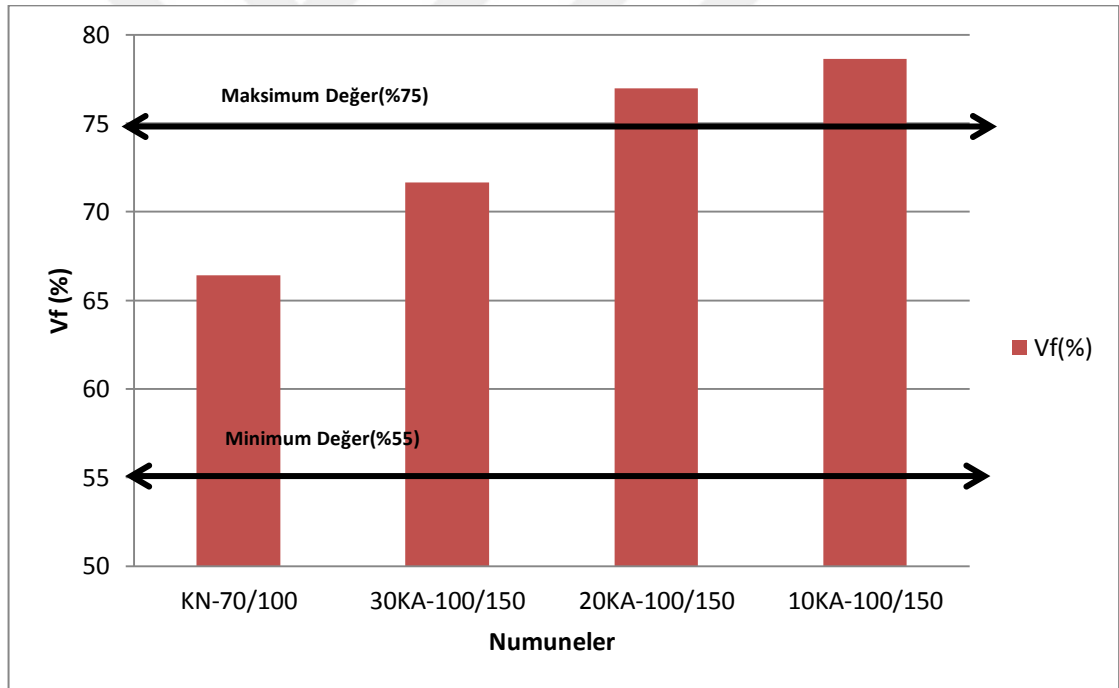


Şekil 4.24. Asfalt Dolu Boşluk Oranı Değerleri

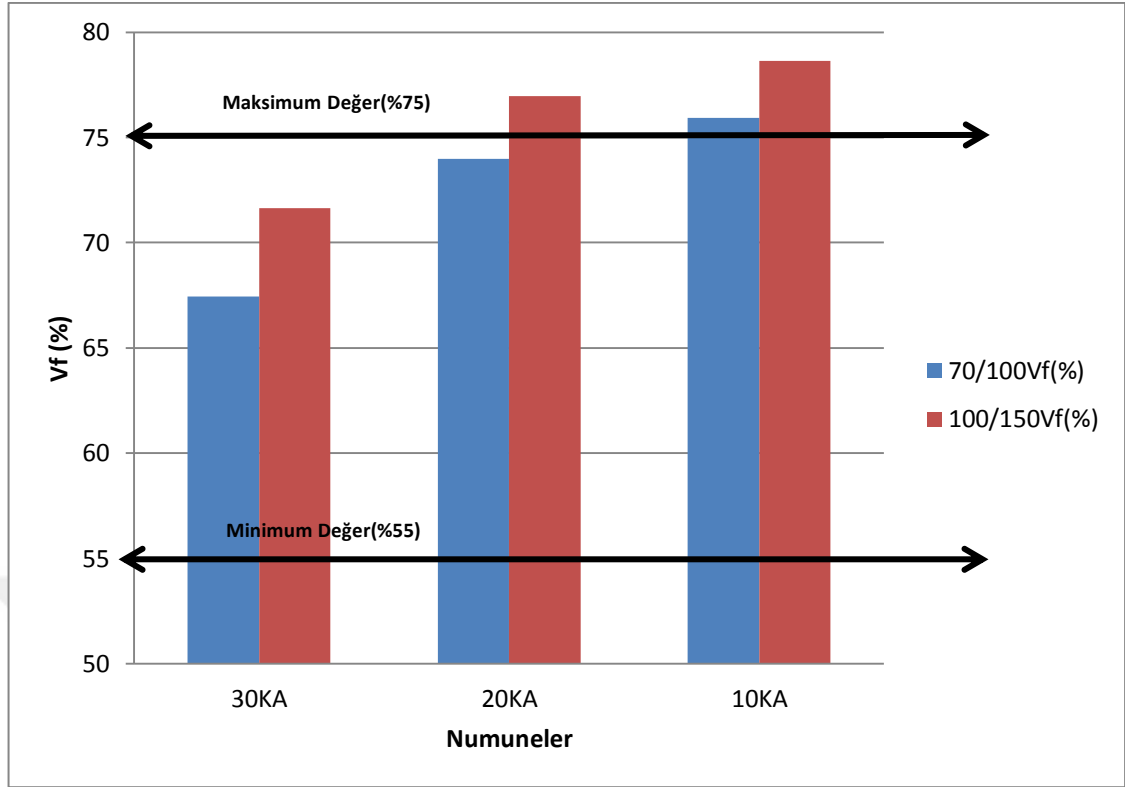
Şekil 4.24.'te belirtilen grafiğe göre KN-70/100, 30KA-70/100, 30KA-100/150, 20KA-70/100 numunelerinin şartname limitlerini sağladığı görüldü. Şartname limitleri ortalaması alındığında en ideal davranış KN-70/100 ve 30KA-70/100 numunelerini gösterdi. KA oranı azaldıkça Vf değerinin genel olarak artış gösterdiği gözlemlendi. Bu sonuç Vh değerlerine bakıldığında beklenildiği gibi oldu. Yine B100/150 bitüm ile oluşturulan numunelerin Vh değerlerinin B70/100 bitüm ile oluşturulan numunelere göre daha düşük olmasıyla ilişkili olarak Vf değerlerinde de artış gözlemlenmiştir.



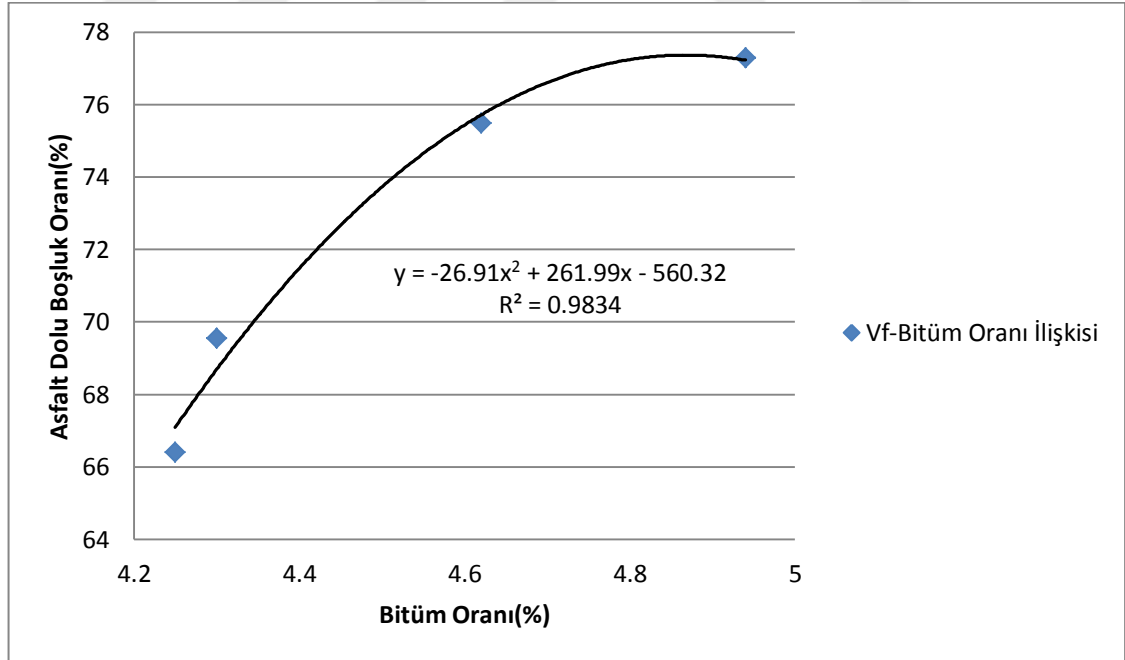
Şekil 4.25. KN-70/100, 30KA-70/100, 20KA-70/100, 10KA-70/100 Asfalt Dolu Boşluk Oranları



Şekil 4.26. KN-700/100, 30KA-100/150, 20KA-100/150, 10KA-100/150 Asfalt Dolu Boşluk Oranları



Şekil 4.27. Asfalt Dolu Boşluk Oranları Karşılaştırılması

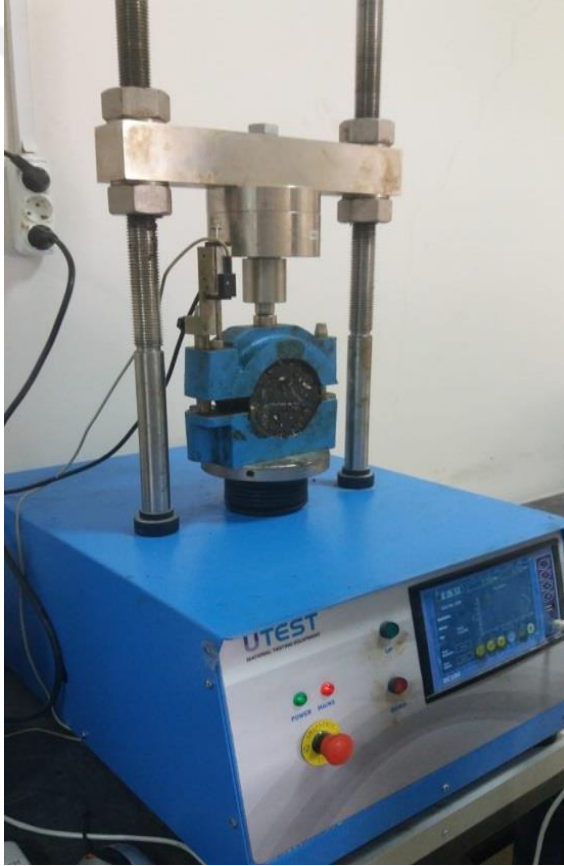


Şekil 4.28. Bitüm Oranına Göre Ortalama Asfalt Dolu Boşluk Oranı Değerleri

Her RAP yüzdesine göre Vf değerleri ortalaması alındı ve Şekil 4.28.'de belirtilen Vf-Bitüm Oranı Grafiği çizildi. Limit değerleri referans alındığında Vf için en ideal davranışın 30KA oranı ile oluşturulan numunelerin gösterdiği belirlendi. Bitüm miktarı arttıkça yaklaşık asfalt dolu boşluk oranının beklenildiği üzere arttığı gözlemlendi. Bunun neden ise şu şekilde açıklanabilir; bitüm miktarı arttıkça boşluk oranları genel olarak düşüş gösterir. Vh değerlerine bakıldığında boşluk oranı azaldıkça Vf değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

4.5.1. Akma ve stabilite deneyi sonuçları

Numunelerin yük altında gösterdiği dayanım ve esneklik davranışını gözlemleyebilmek amacıyla yapılan akma ve stabilite deneyi sonuçları Çizelge 4.16. ve Çizelge 4.18.'de belirtildiği gibidir. Akma ve stabilite deney ortalamaları ise Çizelge 4.17. ve Çizelge 4.19.'da belirtilmiştir.



Şekil 4.29. Marshall Stabilite Test Cihazı

Numunelere 3 adet akma deneyi uygulanmıştır. Sonuçları Çizelge 4.16.'da belirtilmiştir.

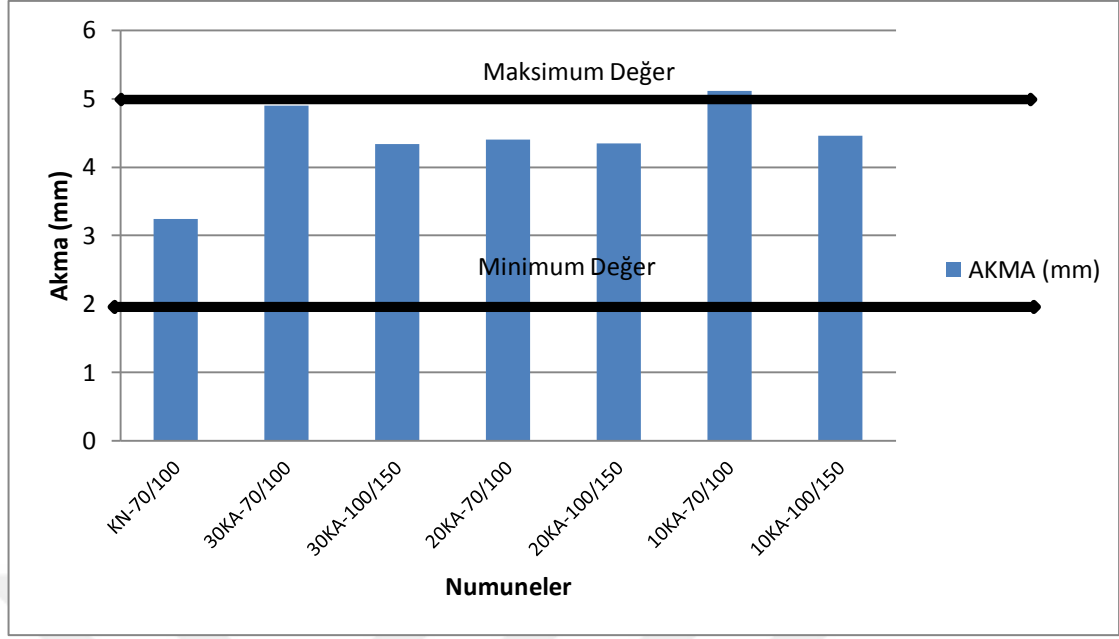
Çizelge 4.16. Akma Değerleri (mm)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Kontrol Numunesi	2.88	3.42	3.41
30KA-70/100	5.48	4.25	4.78
30KA-100/150	4.62	4.63	3.78
20KA-70/100	3.67	4.68	4.85
20KA-100/150	4.50	5.02	4.59
10KA-70/100	5.08	4.44	5.81
10KA-100/150	5.03	4.6	3.76

3 adet numuneye yapılan akma deneyi sonuçlarının ortalaması Çizelge 4.17.'de belirtilmiştir.

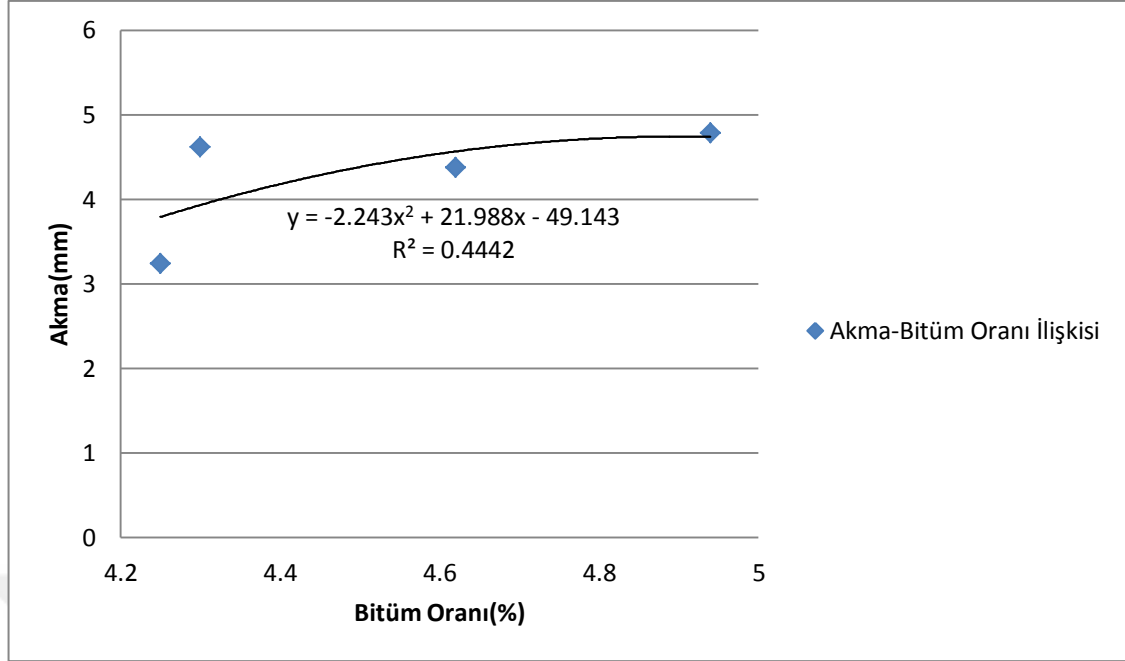
Çizelge 4.17. Akma Değerleri Ortalamaları (mm)

Numune Adı	Akma Değeri Ortalaması(mm)	Bitümlü Temel Dizayn Limiti(mm)(KTŞ 2013)	Deney Standardı
Kontrol Numunesi	3.24	2-5	TS-EN 12697-34
30KA-70/100	4.9	2-5	
30KA-100/150	4.34	2-5	
20KA-70/100	4.4	2-5	
20KA-100/150	4.35	2-5	
10KA-70/100	5.11	2-5	
10KA-100/150	4.46	2-5	



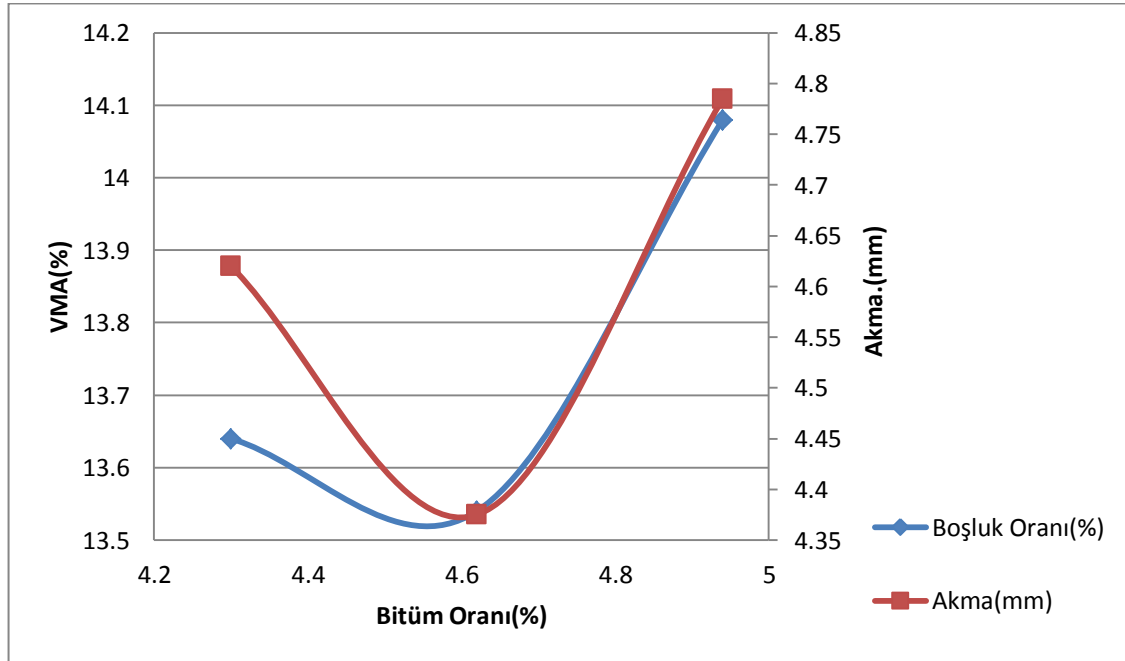
Şekil 4.30. Akma Değerleri ve Şartname Limitleri

Numunelerin esnekliğini belirlemede etken olan akma değerlerine bakıldığında 10KA-70/100 numunesi hariç diğer numunelerin şartname limitleri arasında kaldığı görüldü. Şartname limitleri ortalaması alındığında en ideal davranışı KN-70/100 numunesi gösterdi. B70/100 bitüm ile oluşturulan numunelerin B100/150 bitüm ile oluşturulan numunelere göre akma değerlerinin yüksek olduğu dolayısıyla daha esnek bir davranış gösterdiği belirlendi. B70/100 bitüm ile oluşturulan numunelerin B100/150 ile oluşturulan numunelere göre daha esnek bir davranış göstermesi ise yumuşama noktası değerleri ile açıklanabilir. Akma deneyi, numunelere 60°C’de 40dk bekletildikten sonra uygulandığından dolayı numune içerisindeki bitümde yumuşama meydana geliyor. B100/150 bitümün yumuşama noktası B70/100 bitüme göre daha düşük olduğu için yumuşayan bitümün, agrega etrafından sıyrılarak kopmalar neden olduğu ve esnekliğini etkilediği öngörülmüştür..



Şekil 4.31. Bitüm Oranına Göre Ortalama Akma Değerleri

Şekil 4.13.'te belirtilen grafik incelendiğinde ortalama akma değerinin en fazla olduğu numunenin 10KA ile oluşturulan karışımın gösterdiği görülmüştür. 10KA ile oluşturulan karışım içeriğinde yeni bitüm oranı diğerlerine göre en fazla olduğundan daha iyi esneklik göstermiştir. Bu nedenden dolayı akma değerini yükselttiği neticesine varılmıştır.



Şekil 4.32. Bitüm Oranına Göre Ortalama VMA ve Akma Değerleri

Şekil 4.32.'de belirtilen bitüm oranına göre ortalama agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve akma değerleri incelendiğinde bu parametrelerin birbiriyle doğru orantı gösterdiği görülmektedir. VMA değeri arttıkça agregaların arasına giren bitüm miktarı boşluğu doldurmak için doğal olarak artış gösterir. Bitümün esnek yapısı, akma değerlerini etkileyen önemli bir faktördür.

3 adet numuneye Marshall stabilite deneyi yapılmıştır. Sonuçları Çizelge 4.18.'de belirtilmiştir.

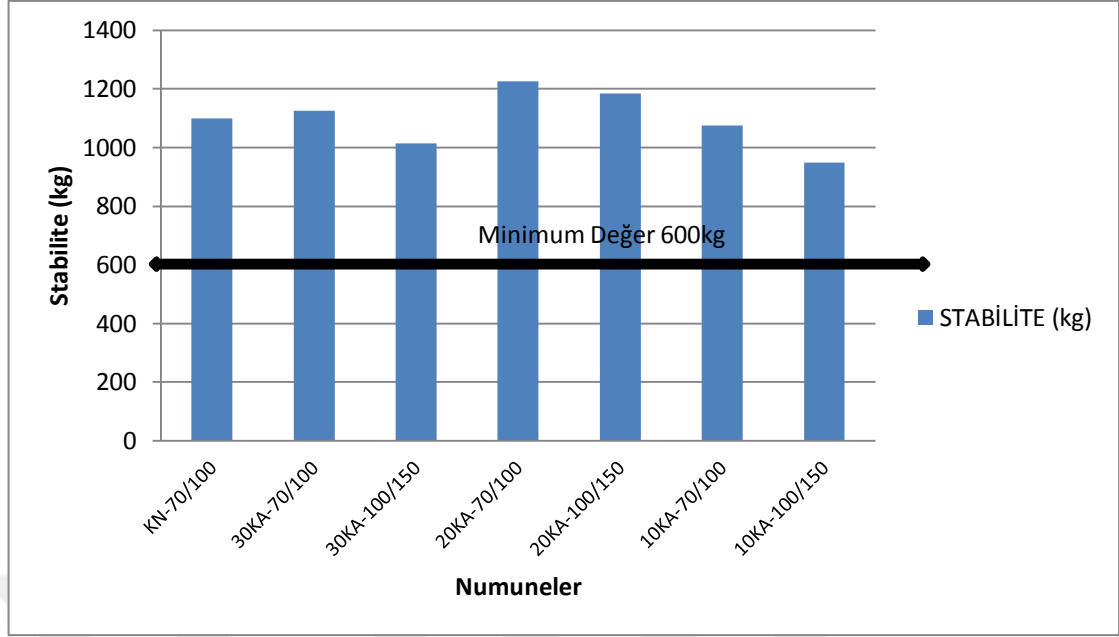
Çizelge 4.18. Stabilite Değerleri (kg)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Kontrol Numunesi	1082	942	1213
30KA-70/100	1325	827	1158
30KA-100/150	974	1110	899
20KA-70/100	1111	1131	1368
20KA-100/150	957	1436	1093
10KA-70/100	1142	1094	926
10KA-100/150	864	1112	815

Marshall stabilite deneyi sonuçlarının ortalamaları Çizelge 4.19.'de belirtildiği gibidir.

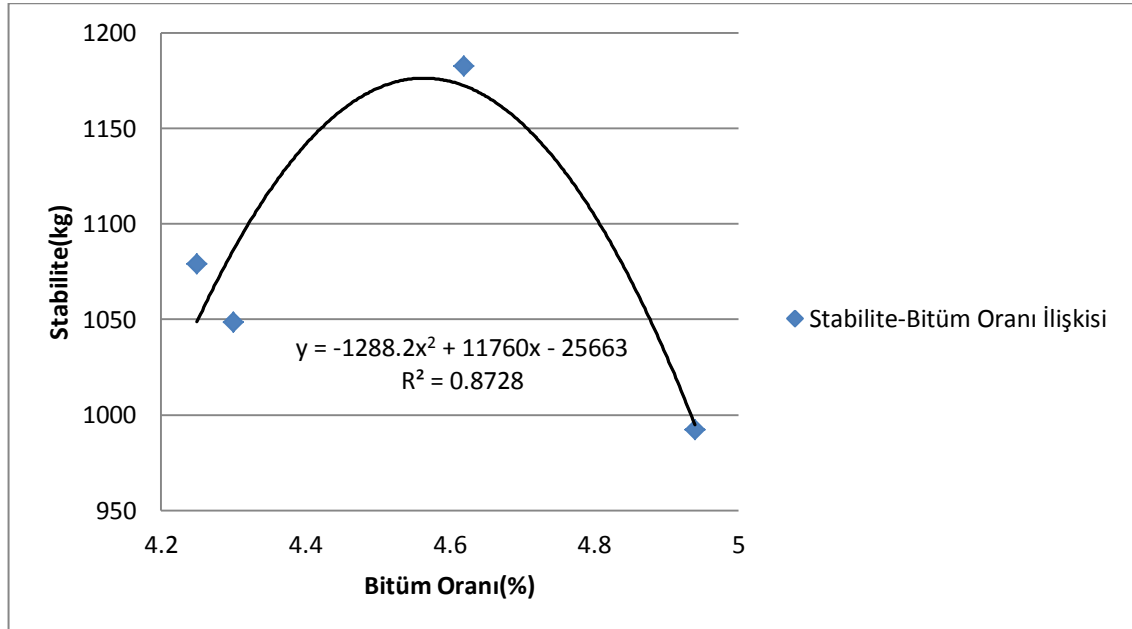
Çizelge 4.19. Stabilite Değerleri Ortalamaları (kg)

Numune Adı	Stabilite Değeri Ortalaması(kg)	Bitümlü Temel Dizayn Kriteri(kg)(KTŞ 2013)	Deney Standardı
Kontrol Numunesi	1079	Min.600	TS-EN 12697-34
30KA-70/100	1103	Min.600	
30KA-100/150	994	Min.600	
20KA-70/100	1203	Min.600	
20KA-100/150	1162	Min.600	
10KA-70/100	1054	Min.600	
10KA-100/150	930	Min.600	



Şekil 4.33. Stabilite Değerleri ve Şartname Limitleri

Numunelerin stabilite değerleri incelendiğinde, tüm numunelerin şartname kriterini sağladığı görülmektedir. En stabil davranışı 20KA-70/100 numunesinin gösterdiği görülmektedir. B70/100 ile oluşturulan numunelerin B100/150 ile oluşturulan numunelere göre daha stabil davranış gösterdiği görülmektedir. Bu durum ideal karışım bitüm sınıfının B70/100 olması ile açıklanabilir. Ayrıca akma ile stabilite oranları doğru orantı gösterdiğinden akmayı etkileyen faktörler stabiliteyi de doğrudan etkilemiştir.



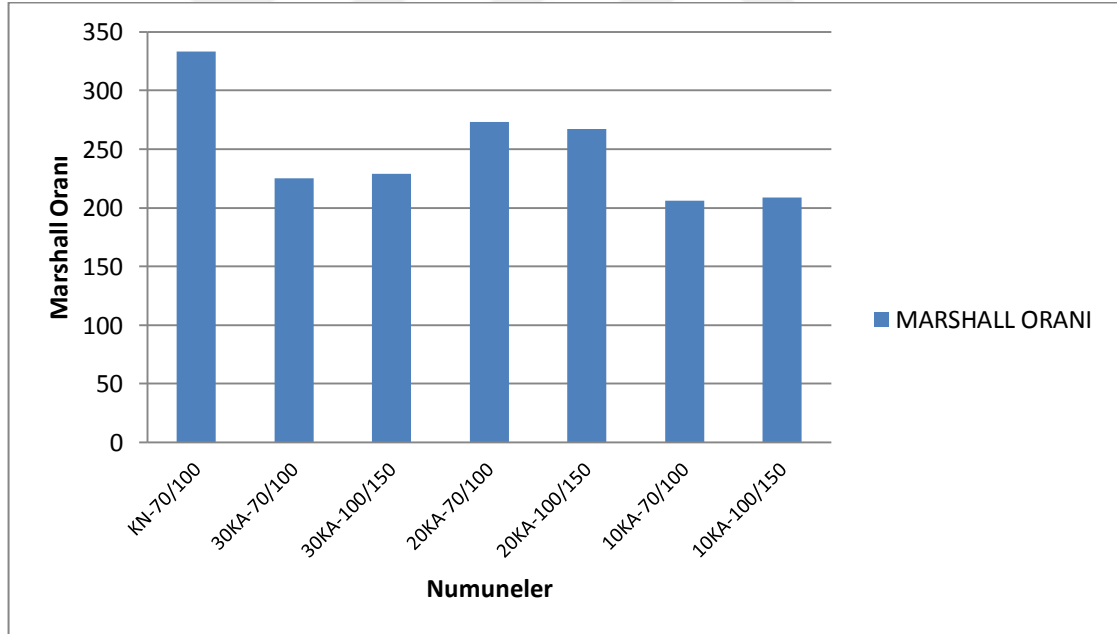
Şekil 4.34. Bitüm Oranına Göre Ortalama Stabilite Değerleri

Şekil 4.34.'te belirtilen grafik incelendiğinde en iyi davranışın 20KA ile oluşturulan numunelerin gösterdiği görülmektedir. Bu da yine Şekil 4.32.'de belirtilen grafiğin durumu ile açıklanabilir.

Numunelerin, akma ve Marshall stabilitesi değerlerine göre hesaplanan Marshall Oranı değerleri Çizelge 4.20.'de belirtilmiştir.

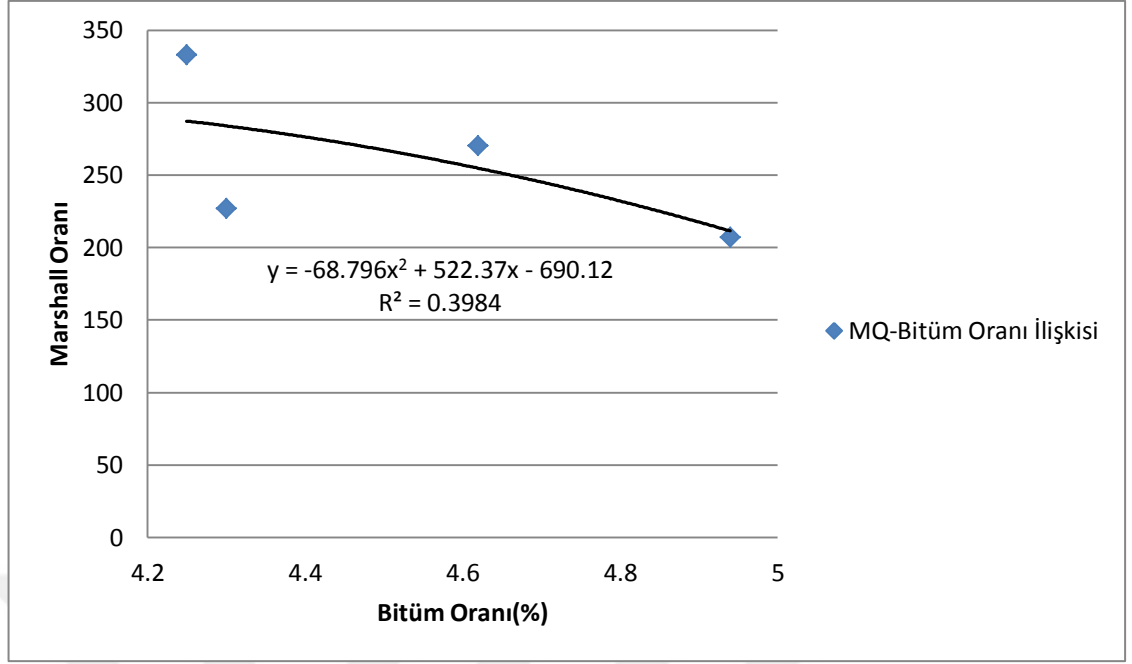
Çizelge 4.20. Marshall Oranları (MQ)

Numune Adı	Akma Değeri Ortalaması(mm)	Stabilite Ortalaması(kg)	Marshall Oranı(MQ)
KONTROL NUMUNESİ	3.24	1079	333,025
30KA-70/100	4.9	1103	225,102
30KA-100/150	4.34	994	229,032
20KA-70/100	4.4	1203	273,409
20KA-100/150	4.35	1162	267,126
10KA-70/100	5.11	1054	206,262
10KA-100/150	4.46	930	208,52

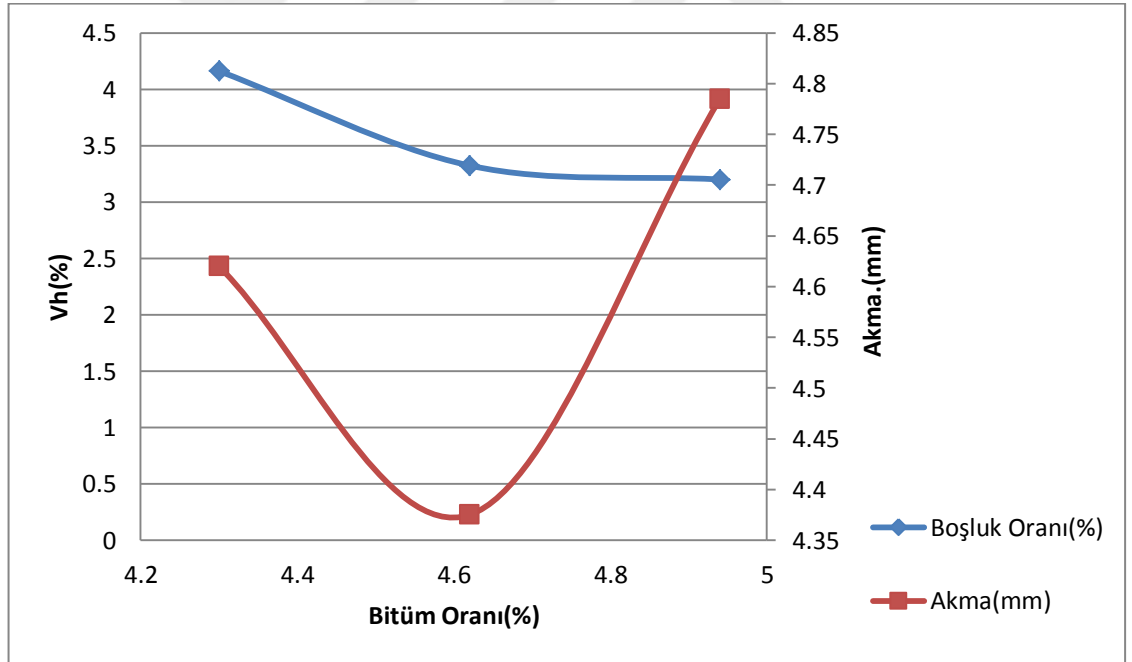


Şekil 4.35. Marshall Oranları (MQ)

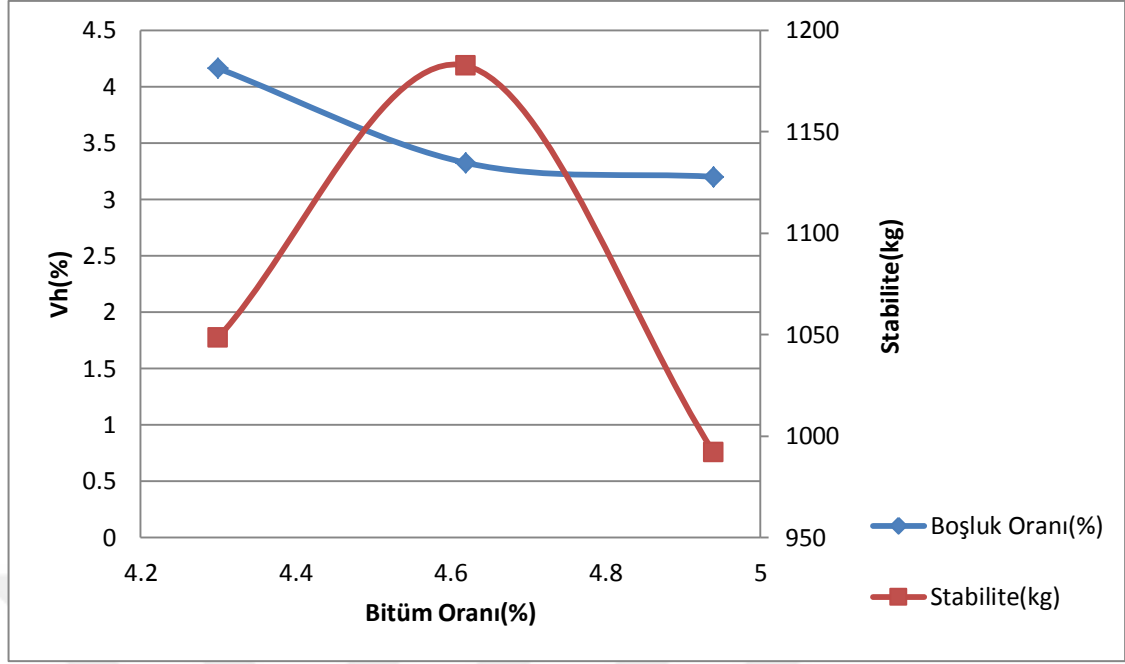
Şekil 4.35.'te verilen grafik incelendiğinde, aynı KA miktarı ile oluşturulan numunelerin birbirine oldukça yakın MQ değerlerine sahip olduğu görülmüştür.



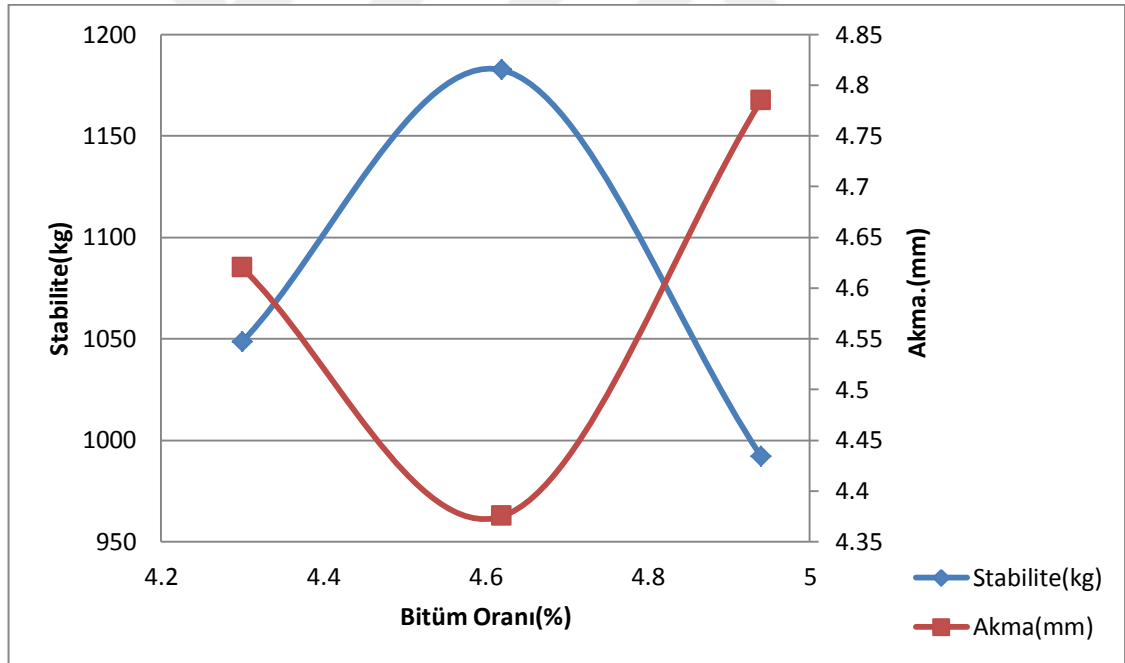
Şekil 4.36. Bitüm Oranına Göre Ortalama MQ Değerleri



Şekil 4.37. Bitüm Oranına Göre Ortalama Vh ve Akma Değerleri



Şekil 4.38. Bitüm Oranına Göre Ortalama Vh ve Stabilite Değerleri



Şekil 4.39. Bitüm Oranına Göre Ortalama Akma ve Stabilite Değerleri

Şekil 4.39.'da belirtilen grafik incelendiğinde akma ve stabilite değerlerinin birbiriyle oldukça benzer davranışlar gösterdiği görülmektedir. En ideal davranışın 20KA ile oluşturulan numunelerin oluşturduğu görülmektedir.

4.5.2. Cantabro deneyi sonuçları

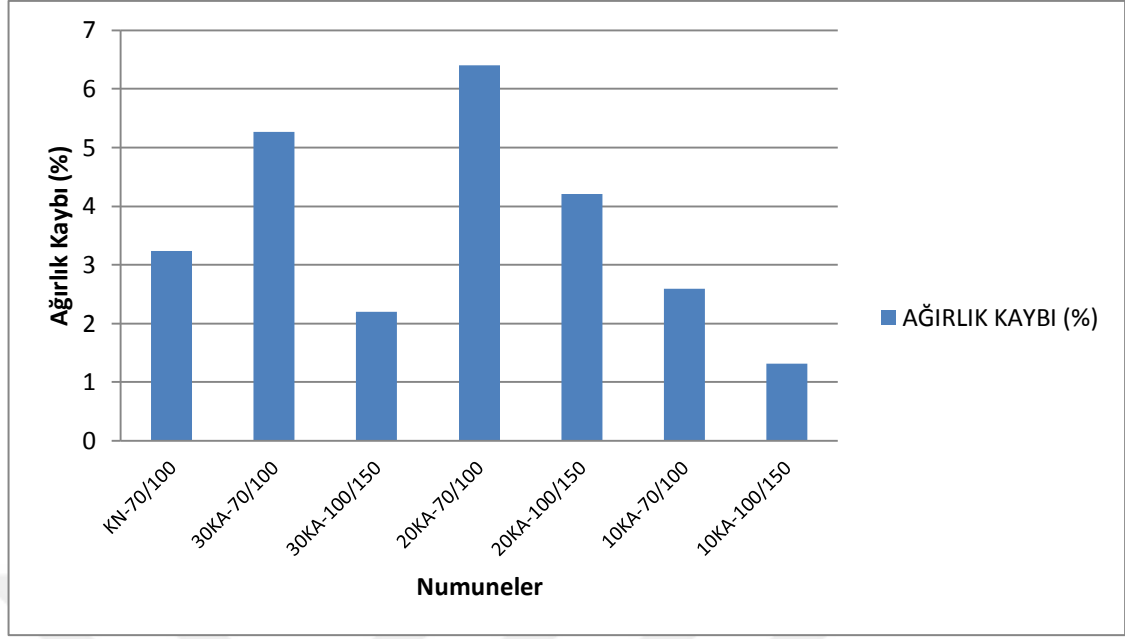
Bu deneyde numunelerin darbeli yükler altında performansını belirleyebilmek amacıyla Los Angeles aşınma cihazında 300 devir işlem uygulanmıştır. Numunelerin deney uygulanmadan önceki ağırlıkları ve deneyden sonraki ağırlıkları karşılaştırıldı. Ağırlık kayıpları yüzde cinsinden Çizelge 4.21.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.21. Cantabro Deneyi Ağırlık Kayıpları (%)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune
Kontrol Numunesi	3.19	3.29
30KA-70/100	5.22	5.32
30KA-100/150	2.2	2.2
20KA-70/100	6.53	6.27
20KA-100/150	4.43	3.99
10KA-70/100	2.71	2.47
10KA-100/150	1.30	1.34

Çizelge 4.22. Cantabro Deneyi Ağırlık Kaybı Ortalamaları (%)

Numune Adı	Ağırlık Kaybı(%)
Kontrol Numunesi	3.24
30KA-70/100	5.27
30KA-100/150	2.2
20KA-70/100	6.4
20KA-100/150	4.21
10KA-70/100	2.59
10KA-100/150	1.32



Şekil 4.40. Cantabro Deneyi Ağırlık Kayıpları

Cantabro ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında stabilite değerleriyle ters orantı olduğu gözlemlenmiştir. B70/100 ile oluşturulan numunelerde ağırlık kaybının daha fazla olduğu görüldü. Bu durum malzemenin rijitliği arttıkça daha gevrek bir davranış göstermesi ile açıklanabilir.

4.5.3. İndirekt çekme deneyi (normal)

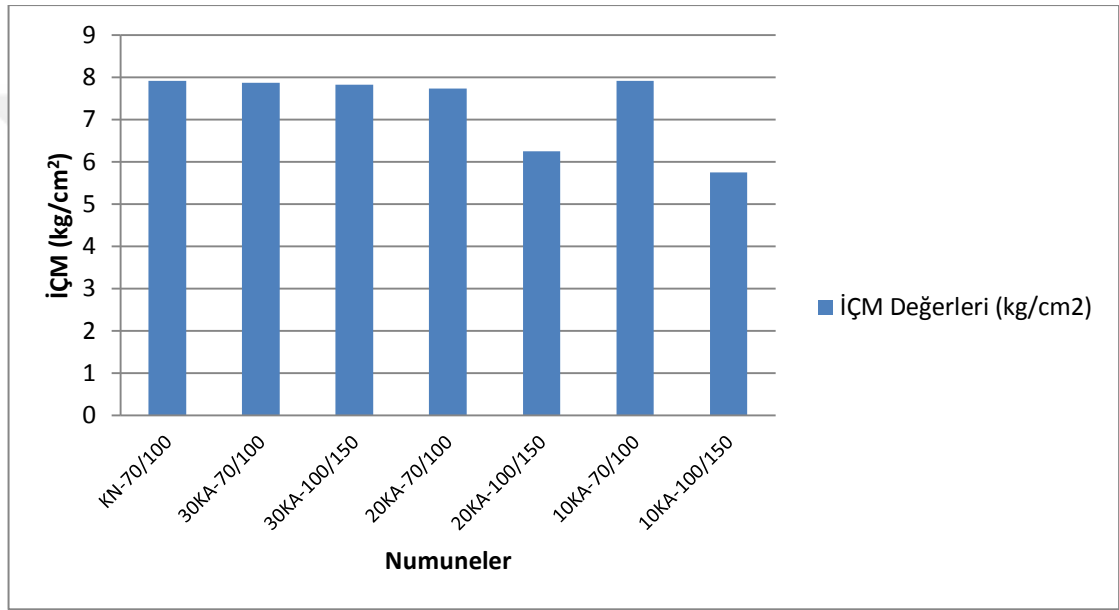
3 adet numuneye koşulsuz İÇM deneyi uygulanmıştır. Numunelerin, koşulsuz İÇM değerleri Çizelge 4.23.'te belirtilmiştir. Çizelge 4.24.'te ise numunelerin koşulsuz İÇM değeri ortalamaları gösterilmiştir.

Çizelge 4.23. İÇM Değerleri (kg/cm²)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Kontrol Numunesi	7.757	7.748	7.789
30KA-70/100	6.689	7.157	9.306
30KA-100/150	6.829	8.36	7.82
20KA-70/100	8.443	7.435	6.887
20KA-100/150	6.335	6.563	5.497
10KA-70/100	8.015	7.718	7.562
10KA-100/150	5.639	5.61	5.361

Çizelge 4.24. İÇM Değerleri Ortalamaları (kg/cm²)

Numune Adı	Dayanım Değeri Ortalaması(kg)
Kontrol Numunesi	7.765
30KA-70/100	7.717
30KA-100/150	7.67
20KA-70/100	7.588
20KA-100/150	6.132
10KA-70/100	7.765
10KA-100/150	5.637

**Şekil 4.41.** İndirekt Çekme Deneyi Sonuçları(Normal)

4.5.4. Donma çözünme deneyi

Çizelge 3.8.'de belirtilen döngüye göre, numunelere donma çözünme işlemi uygulanmıştır. Donma çözünme deneyine tabi tutulan numunelerin deneyden sonra fiziki durumlarına bakıldı. Numunelerde herhangi bir ayrışma veya bozulma gözlemlenmemiştir..



Şekil 4.42. Donma Çözünme Deneyi

Donma çözünme deneyinin ardından numunelerin performanslarını belirleyebilmek amacıyla İndirekt Çekme Deneyi ve Cantabro Deneyi uygulandı ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.5.5. İndirekt çekme deneyi (koşullu)

Numunelerin doğa koşullarında karşılaşılabileceği olumsuz bazı etkiler sonrası dayanım davranışını belirleyebilmek amacıyla 6 ay süreyle laboratuvar koşullarında bekletilen ve ardından donma çözünme işlemi uygulanan numunelere İndirekt Çekme Deneyi uygulandı.

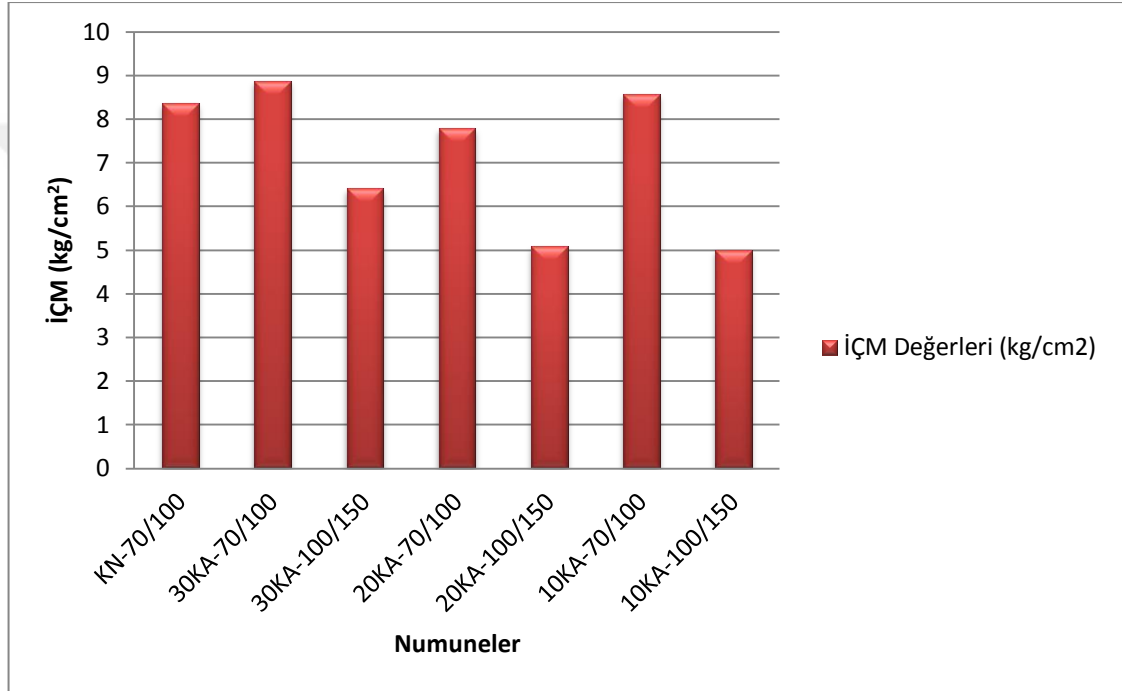
3 adet numuneye uygulanan İÇM deneyi sonuçları Çizelge 4.25.'te belirtildiği gibidir. Çizelge 4.26.'da ise İÇM değerleri ortalamaları gösterilmiştir.

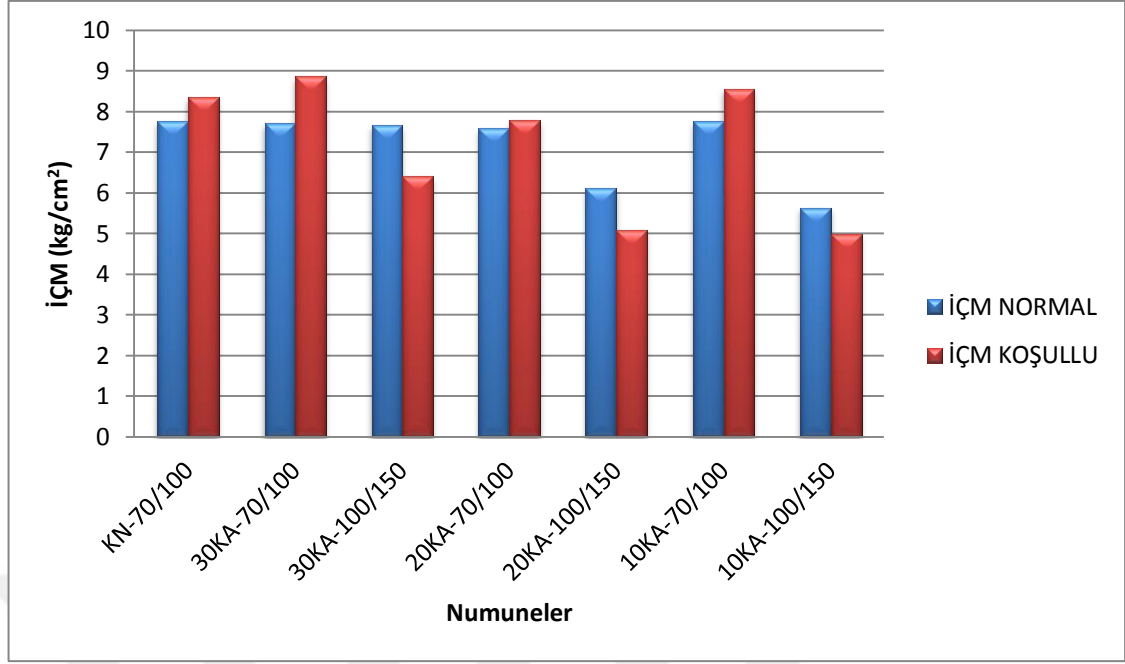
Çizelge 4.25. İÇM Değerleri (koşullu) (kg/cm²)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune	3.Numune
Kontrol Numunesi	7.749	8.794	8.567
30KA-70/100	9.112	8.537	8.985
30KA-100/150	5.929	7.16	6.129
20KA-70/100	7.449	7.99	7.937
20KA-100/150	4.995	5.384	4.891
10KA-70/100	8.49	8.658	8.574
10KA-100/150	4.93	5.3	4.77

Çizelge 4.26. İÇM Değerleri Ortalamaları (koşullu) (kg/cm²)

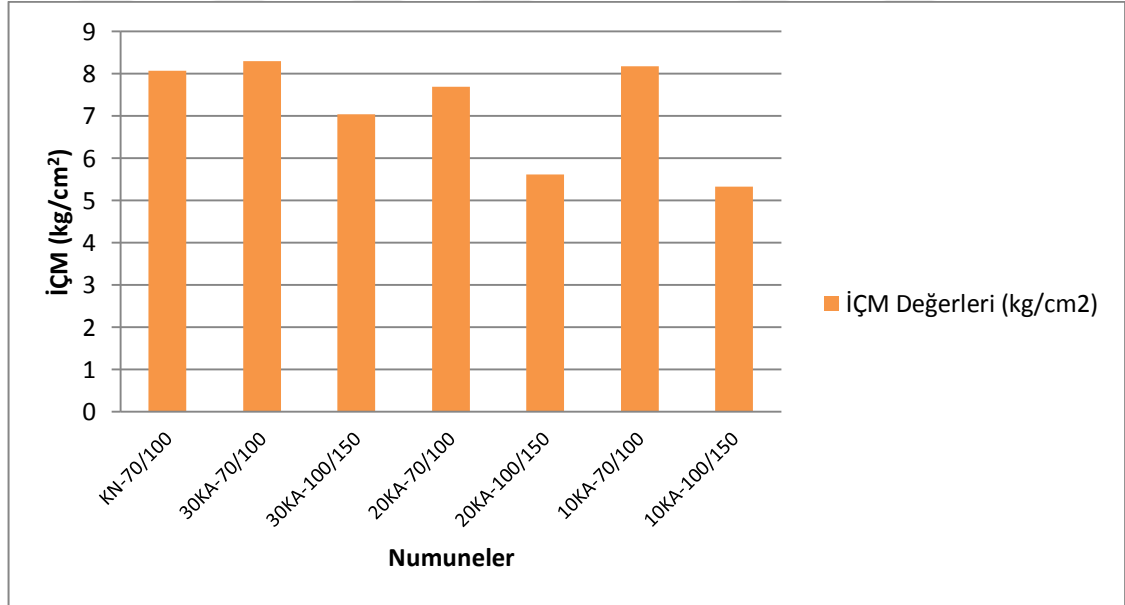
Numune Adı	Dayanım Değeri Ortalaması(kg/cm ²)
Kontrol Numunesi	8.37
30KA-70/100	8.878
30KA-100/150	6.406
20KA-70/100	7.792
20KA-100/150	5.09
10KA-70/100	8.574
10KA-100/150	5.00

**Şekil 4.43.** İndirekt Çekme Deneyi Sonuçları



Şekil 4.44. İndirekt Çekme Deneyi Sonuçları Karşılaştırılması

Şekil 4.44.'te verilen grafik incelendiğinde donma çözünme döngüsünden sonra B100/150 ile oluşturulan numunelerin İÇM değerleri azalırken B70/100 ile oluşturulan numunelerin İÇM değerleri artış göstermiştir.

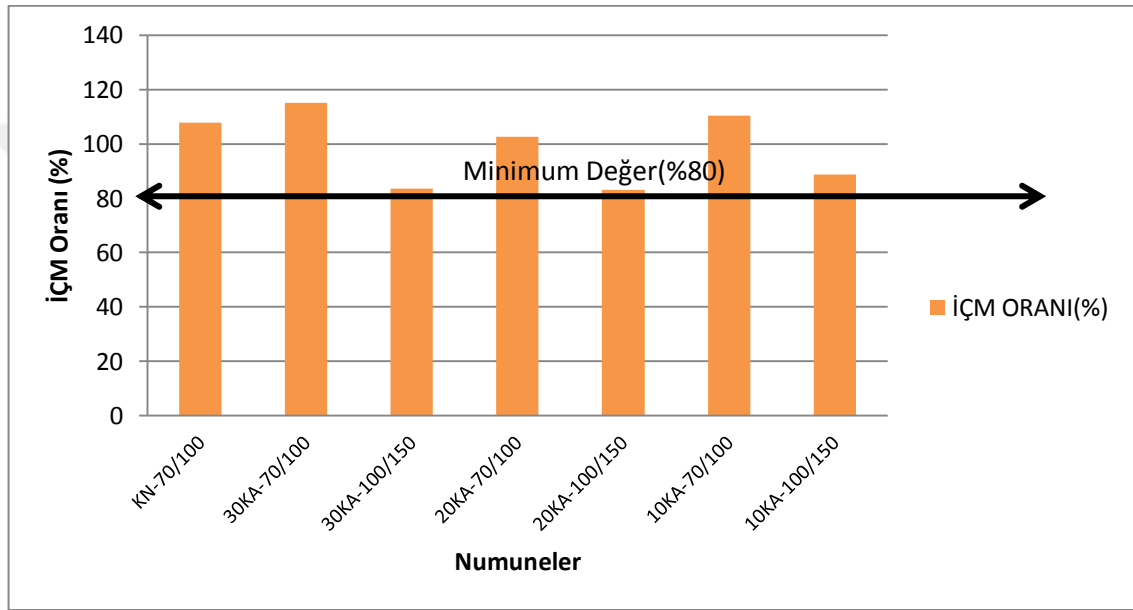


Şekil 4.45. İndirekt Çekme Deneyi Sonuçları Ortalaması

Normal ve koşullu İÇM değerlerine göre elde edilen İÇM oranları Çizelge 4.27.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.27. İÇM Oranları(%)

Parametre		Kontrol Numunesi	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100	20KA-100/150	10KA-70/100	10KA-100/150
İÇM (kg/cm ²)	Normal	7.765	7.717	7.67	7.588	6.132	7.765	5.637
	Koşullu	8.37	8.878	6.40	7.792	5.09	8.574	5.00
İÇM Oranı(%)		107.99	115	83.44	102.7	83	110.42	88.70
Bitümlü Temel Dizayn Kriteri(%) (KTŞ 2013)		Min.80						



Şekil 4.46. İÇM Oranları

Şekil 4.46.'da belirtilen İÇM oranları incelendiğinde tüm numunelerin şartname limitini sağladığı görüldü. B70/100 ile oluşturulan numunelerin B100/150 ile oluşturulan numunelere göre daha yüksek İÇM oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

4.5.6. Cantabro deneyi

Donma çözünme deneyi uygulanan numunelere tekrar Cantabro deneyi yapıldı. Koşullu numuneler ile normal numunelerin ağırlık kayıpları karşılaştırıldı. Numunelerin deney uygulanmadan önceki ağırlıkları ve deneyden sonraki ağırlıkları karşılaştırıldı. Ağırlık kayıplarının ortalamaları yüzde cinsinden Çizelge 4.29.'da belirtilmiştir.

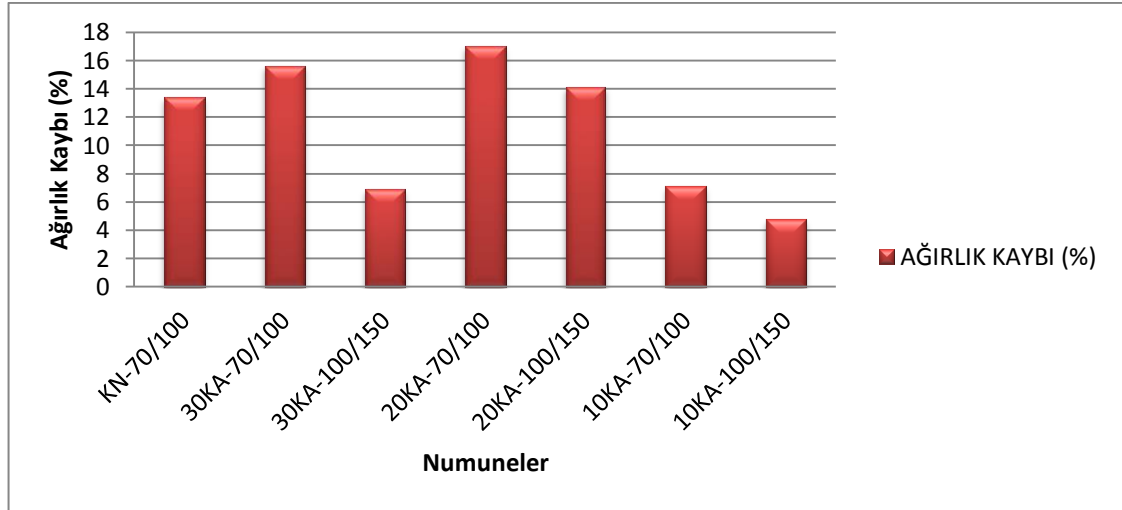
Çizelge 4.28. Cantabro Deneyi Ağırlık Kayıpları (%)

Numune Adı	1.Numune	2.Numune
Kontrol Numunesi	12.95	13.95
30KA-70/100	15.47	15.82
30KA-100/150	6.75	7.11
20KA-70/100	16.89	17.17
20KA-100/150	14.97	13.37
10KA-70/100	7.32	6.92
10KA-100/150	4.75	4.77

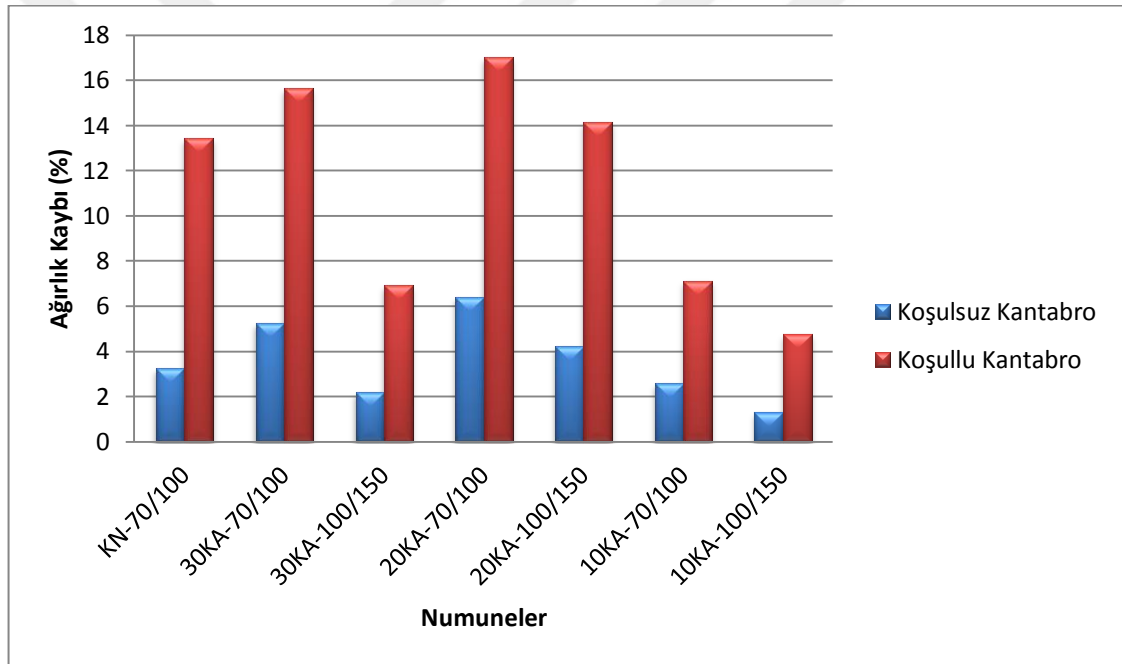
Çizelge 4.29. Cantabro Deneyi Ağırlık Kaybı Ortalamaları (%)

Numune Adı	Ağırlık Kaybı(%)
Kontrol Numunesi	13.45
30KA-70/100	15.64
30KA-100/150	6.93
20KA-70/100	17.03
20KA-100/150	14.17
10KA-70/100	7.12
10KA-100/150	4.76

**Şekil 4.47.** Cantabro Deneyi Öncesi ve Sonrası Numune

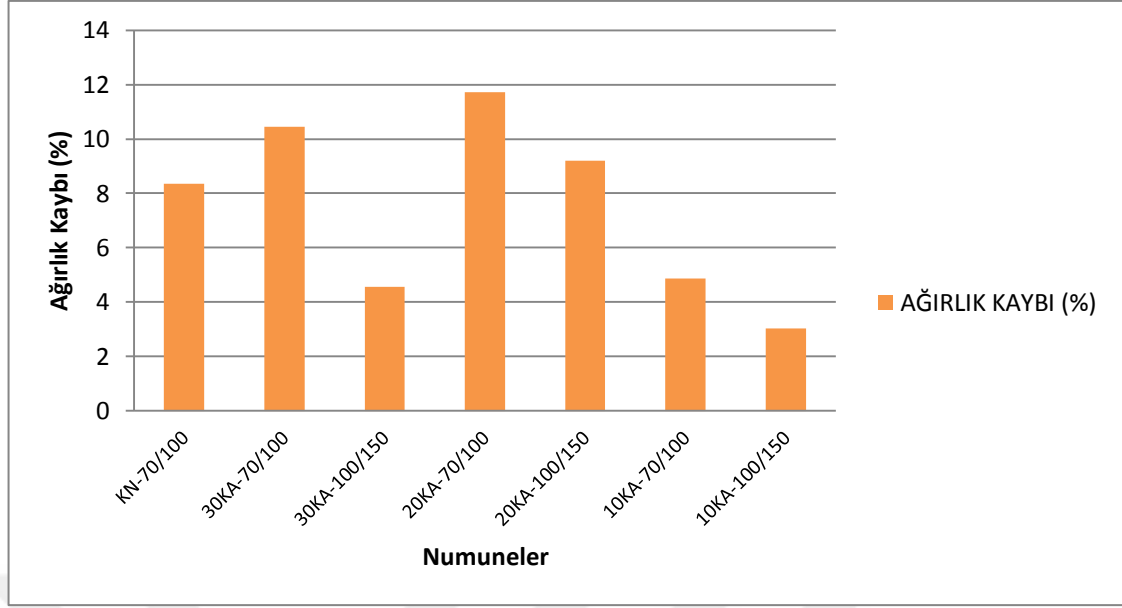


Şekil 4.48. Cantabro Deneyi Ağırlık Kayıpları



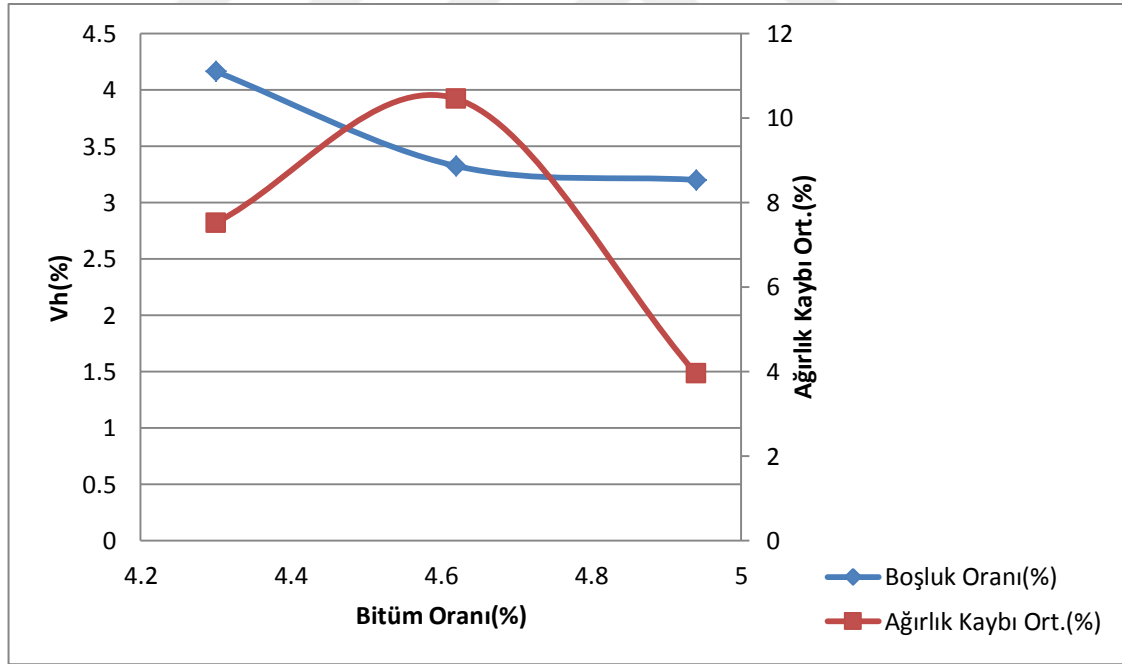
Şekil 4.49. Cantabro Deneyi Ağırlık Kayıpları Karşılaştırılması

Şekil 4.49.'da belirtilen grafik incelendiğinde koşullandırılan numunelerin ağırlık kayıplarında beklendiği gibi artış gözlemlendi.

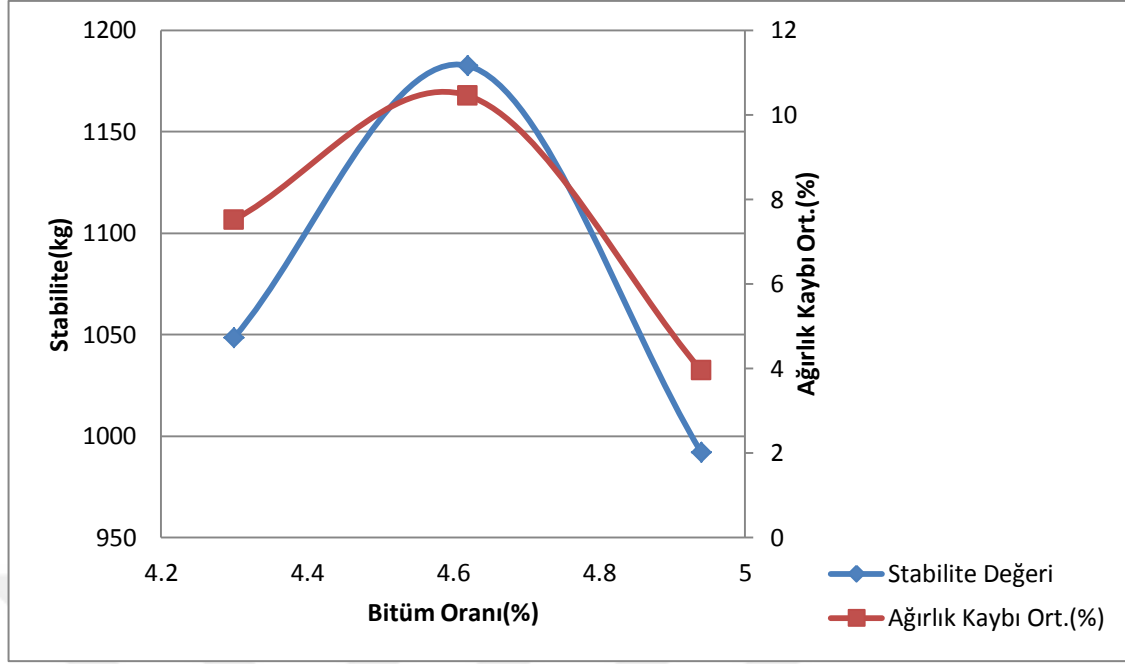


Şekil 4.50. Cantabro Deneyi Ağırlık Kayıpları Ortalaması

Ağırlık kaybı ortalamalarına bakıldığında B100/150 ile oluşturulan numunelerin daha iyi bir davranış gösterdiği görülmüştür.



Şekil 4.51. Bitüm Oranına Göre Ortalama Vh ve Ağırlık Kaybı Değerleri



Şekil 4.52. Bitüm Oranına Göre Ortalama Stabilite ve Ağırlık Kaybı Değerleri

Ortalama stabilite değerleri ile ortalama ağırlık kaybı değerleri oldukça benzer bir davranış gösterdi. Numunelerin stabilite değerleri arttıkça parça kaybında artış görüldü. Bu davranış yine malzemenin gevreklik ilkesiyle açıklanabilir.

4.6. Performans Değerlendirmesi

En ideal davranış gösteren numune çeşidinin bulunması amacıyla karışımların gösterdiği performansa bakılarak bir puanlama sistemi oluşturuldu. Her parametreye göre en ideal davranış gösterenden en kötü performans gösteren karışıma kadar sırasıyla puan verildi. 7 çeşit numune olduğu için en yüksek puan 7 olarak belirlendi. İdeal davranış ise KTŞ' de mevcut olan şartname limitlerine göre belirlendi. Maksimum ve minimum değerlerin belirtildiği parametrelerde, referans değeri bu değerlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

- Akma, Stabilite, İÇM Oranı Parametreleri

Akma, stabilite ve İÇM Oranı değerlerinin limitleri KTŞ' de belirtildiği için ve performans belirlenmesinde etkili olduğu için bu parametrelerin etki çarpanı 3 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.30. Akma, Stabilite, İÇM Oranı Performansı Etki Değerleri

Özellikler	Referans Değeri	KN-70/100	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100	20KA-100/150	10KA-70/100	10KA-100/150
Akma(mm)	$(2+5)/2=3.5$	7	2	6	4	5	1	3
Stabilite(kg)	Min:600	4	5	2	7	6	3	1
İÇM Oranı(%)	Min(%)80	5	7	2	4	1	6	3
Toplam		16	14	10	15	12	10	7
Etki Çarpanı		3						
Toplam X Etki Çarpanı		48	42	30	45	36	30	21

- Vh, VMA, Vf Parametreleri

Vh, VMA ve Vf değerlerinin limitleri KTŞ' de belirtilmiştir. Fakat numune performansının belirlenmesinde akma, stabilite ve İÇM Oranı' na nazaran daha az bir öneme sahip olduğu için etki çarpanı 2 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.31. Vh, Vma, Vf Performansı Etki Değerleri

Özellikler	Referans Değeri	KN-70/100	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100	20KA-100/150	10KA-70/100	10KA-100/150
Boşluk %'Si(Vh)	$(4+6)/2=5$	7	6	5	4	2	3	1
Agregalar Arası Boşluk %'Si(VMA)	$(12+14,5)/2=13.25$	1	3	7	5	6	2	4
Asfalt Dolu Boşluk %'Si(Vf)	$(55+75)/2=65$	7	6	5	4	2	3	1
Toplam		15	15	17	13	10	8	6
Etki Çarpanı		2						
Toplam X Etki Çarpanı		30	30	34	26	20	16	12

- Cantabro Ortalaması Parametreleri

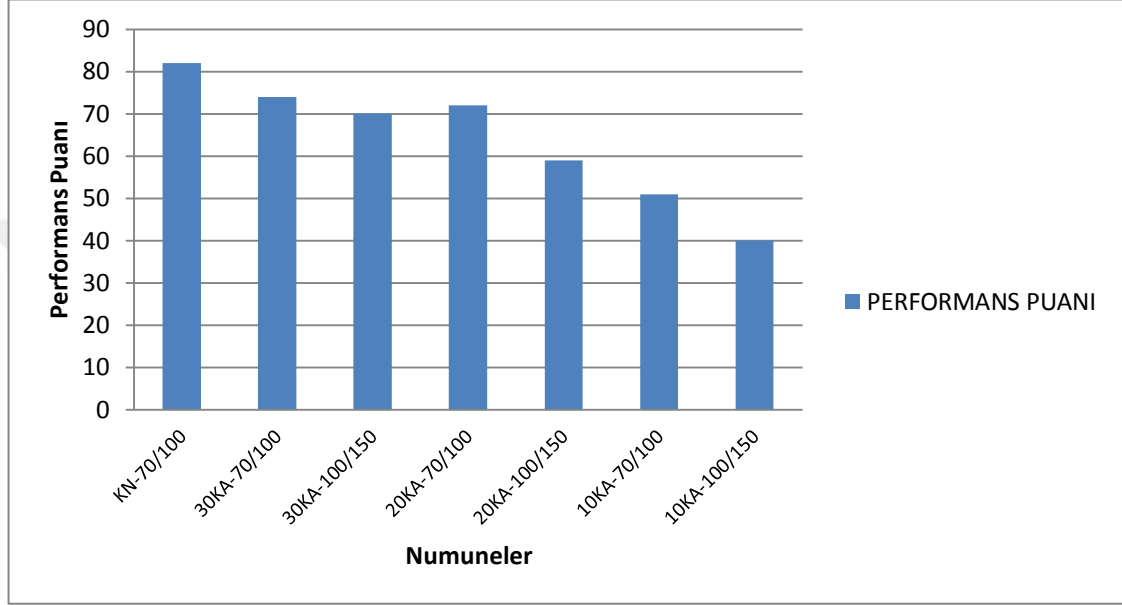
Cantabro için KTŞ' de herhangi bir şartname limiti olmadığından etki çarpanı 1 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.32. Cantabro Performansı Etki Değerleri

Özellikler	Referans Değeri	KN-70/100	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100	20KA-100/150	10KA-70/100	10KA-100/150
Cantabro Ort.		4	2	6	1	3	5	7
Toplam		4	2	6	1	3	5	7
Etki Çarpanı		1						
Toplam X Etki Çarpanı		4	2	6	1	3	5	7

Çizelge 4.33. Performans Toplam Etki Değerleri

Özellikler	KN-70/100	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100	20KA-100/150	10KA-70/100	10KA-100/150
Akma + Stabilite + İÇM Oranı	48	42	30	45	36	30	21
Vh + VMA + Vf	30	30	34	26	20	16	12
Cantabro Ortalaması	4	2	6	1	3	5	7
Genel Toplam	82	74	70	72	59	51	40

**Şekil 4.53.** Performans Puanları

Şekil 4.53.'te belirtilen performans puanları grafiği incelendiğinde en iyi davranışın KN-70/100 numunesinin gösterdiği belirlenmiştir. Bu beklenen bir sonuçtur. KA ile oluşturulan numuneler arasında ise en yüksek performansa sahip numunenin ise 30KA-70/100 numunesinin gösterdiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.34. Numunelerin Şartnameye Uygunluğu

Özellikler	30KA-70/100	30KA-100/150	20KA-70/100
Vh	+	-	-
VMA	+	+	+
Vf	+	+	+
Akma	+	+	+
Stabilite	+	+	+
İÇM Oranı	+	+	+

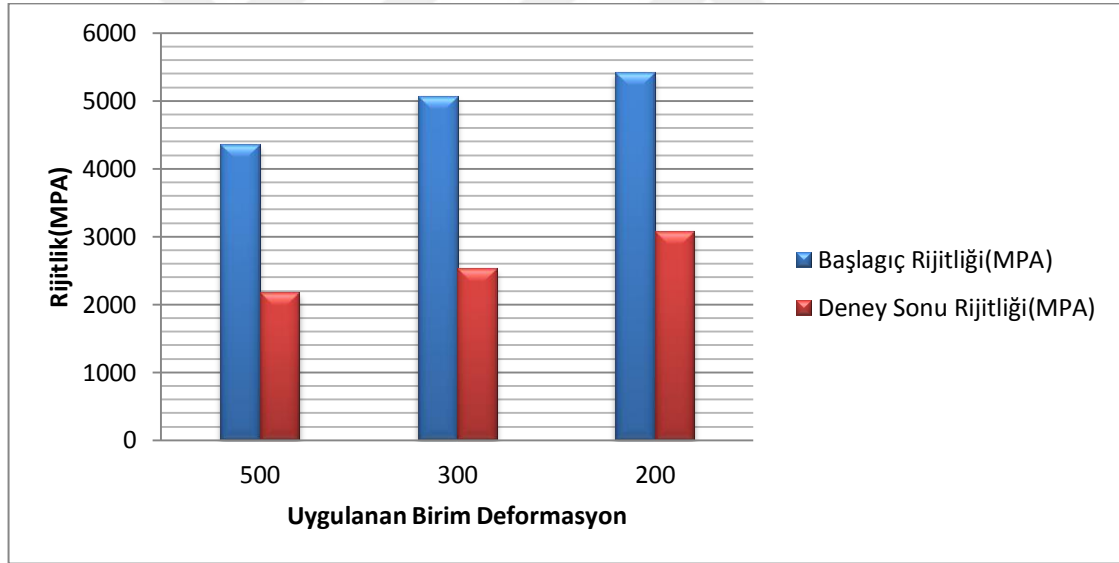
Çizelge 4.34.'te en yüksek performans puanını alan ilk 3 numunenin şartnameye uygunluğu gösterilmiştir. En yüksek puanı alan 30KA-70/100 numunesinin tüm şartname limitlerini sağladığı görülmüştür.

4.7. Yorulma (Fatigue) Deneyi

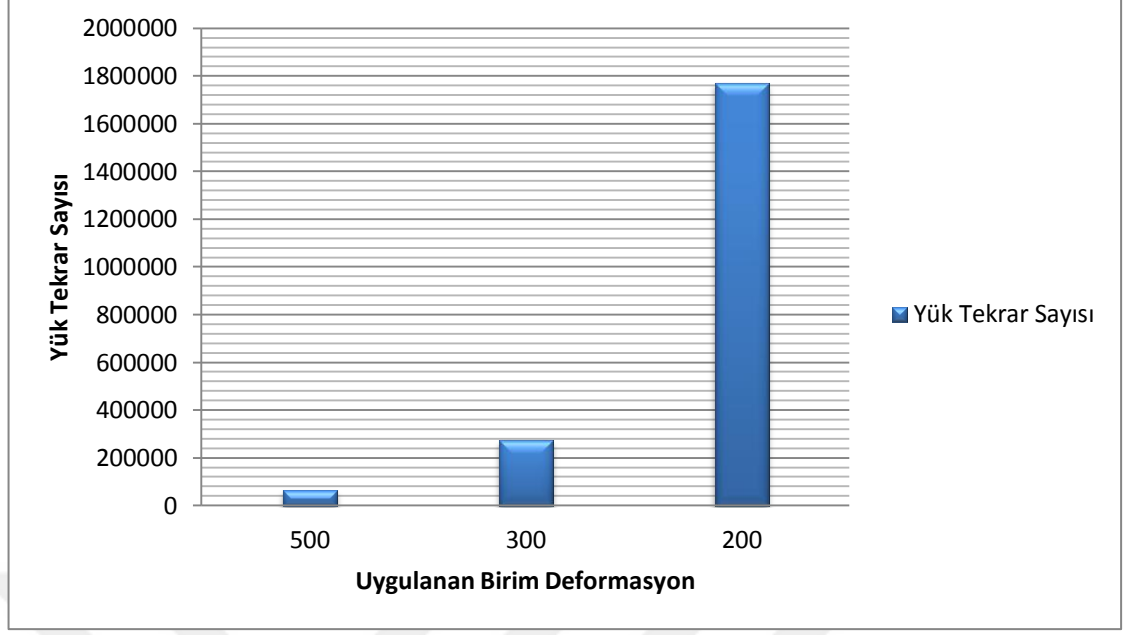
Yorulma deneyi, karışımlardan en yüksek puanı alan 30KA-70/100 numunesine uygulanmıştır. Bu deney prizmatik şekilli numune üzerinde 4 nokta yorulma şekli olacak şekilde uygulanmıştır. Numune karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra 300x400x50 mm boyutlarında sıkıştırıldı. Daha sonra 400x50x50 mm boyutlarında kiriş numuneler olacak şekilde kesildi. Deneylerde 500.10^{-6} , 300.10^{-6} ve 200.10^{-6} olmak üzere 3 farklı birim deformasyon seviyesi seçilmiştir.

Çizelge 4.35. Yorulma Deneyi Ortalama Sonuçları

Uygulanan Birim Deformasyon	Başlangıç Rijitliği(MPA)	Deney Sonu Rijitliği(MPA)	Rijitlik Değişimi(%)	Harcanan Toplam Enerji(MJ/m ³)	Deney Sonu Tekrar Yük Sayısı
500	4361	2184	50.1	20.9	67100
300	5065	2532	50	27.4	273995
200	5425	3084	56.8	81.3	1768842



Şekil 4.54. Numunenin Rijitlik Değişimi



Şekil 4.55. Yük Tekrar Sayısı Değişimi

Şekil 4.55.'te belirtilen grafikte uygulanan birim deformasyon miktarı arttıkça yük tekrar sayısının düştüğü görülmektedir.

5. TARTIŞMA

Atık asfalt kaplamalarının geri dönüşümü, hem ekonomik hem de ekoloji için önemli bir fayda sağlayabilmektedir. Karayolundan kazınan atık asfalt, ülkemizde genellikle atıl bir vaziyette ya depolanmaktadır ya da yeni yapılacak karayolu inşaatlarında dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu durum, atık asfalt içeriğindeki bitüm ve agreganın israf edilmesine sebep olmaktadır. Depolanacak atık asfalt malzemesi ise arazi israfı yaratmaktadır. Ashtiani vd. (2019) çalışmalarında, Washington Eyaleti'ndeki depolanmış RAP malzemesi miktarını Google Earth Pro uygulaması sayesinde analiz etmişlerdir. Atık asfalt malzemesinin yeni asfalt yapımında kullanma oranının %20 seviyesinde olduğunu belirtmişlerdir. Kazınan asfalt kaplamasından çıkan malzemenin yeni kullanılacak asfalt malzemesine göre 5 kat daha fazla hacim kapladığını ve bunun önemli bir sorun olduğunu belirtmişlerdir.

Karışımında kullanılan malzemenin RAP içeriği, kazıma derinliği malzemenin verimli kullanılabilmesi ve asfalt karışımının maliyetini azaltmak açısından önemlidir. Bu faktörler kriterlere göre dayanım özelliklerini etkilemektedir (Lyubarskaya vd. 2017).

Atık asfalt kullanılarak oluşturulan karışımların, herhangi bir bitüm gençleştirici katkı kullanmadan gösterebileceği performans özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın amaçlarından birisidir. Oluşturulan karışımlarda atık asfalt kaplamasının yanı sıra atık sathi kaplama da kullanılmıştır. Ülkemizde sathi kaplamalı karayollarının uzunluğu Çizelge 2.1.'de belirtilen veriler incelendiğinde ilk sırada yer almaktadır. Son yıllarda hızla artan karayolu genişletme ve iyileştirme çalışmaları kapsamında sathi kaplamalı karayolları BSK kaplamalı karayollarına dönüştürülmektedir. Ortaya çıkan fazla miktarda atık sathi kaplama malzemesinin geri dönüşümü de bu araştırmanın amaçlarından biridir. Ülkemizde mevcut literatür kaynakları tarandığında sathi kaplamanın geri dönüştürülmesiyle ilgili çalışmanın yetersiz olduğu görülmektedir. RAP içeriğindeki yaşlı bitüm ve agrega ile sathi kaplama agregasının içerisinde bulunan malzemelerin karakterleri birbirinden doğal olarak farklıdır. Atık asfalt kaplaması, sathi kaplama malzemesi ve yeni agreganın sıcak karışımlarda birlikte kullanılmasının göstereceği performans da oldukça önemlidir.

Bu çalışmada bağlayıcı olarak iki çeşit bitüm kullanılmıştır. Bunlar B70/100 ve B100/150 sınıfı bitümlerdir. Bu bitümlere maliyeti artırıcı herhangi bir katkı işlemi uygulanmamıştır. Yaşlı bitümün viskozitesi ölçülerek kıvamı belirlenmiştir. Kuloğlu vd. (2008) çalışmalarında, B70/100 ve B100/150 bitümlü bağlayıcılarının penetrasyon sınıfına göre farklı sınıfta yer almasına rağmen yüksek sıcaklıklarda benzer performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Çalışmamızda da bu iki çeşit bitüm kullanılarak karışımında nasıl bir davranış gösterdiği performans sonuçlarına göre birbirleriyle karşılaştırılarak vurgulanmıştır.

Noferini vd. (2017) deneysel çalışmalarında, bu tez çalışmasına benzer içerikte %10, %20 ve %30 RAP malzemesi kullanarak karışımlar oluşturulmuştur. RAP malzemesinin içerisindeki bitümü ayrıştırarak yeni bitümle karıştırmışlardır. Yaşlı bitüm ile yeni bitümü karıştırmak özelliklerini incelemişlerdir. Karışımındaki yaşlı bitüm oranı arttıkça viskozitenin arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca karışımındaki yaşlı bitüm miktarının %10 seviyesine kadar karışım viskozitesine etki etmediğini belirtmişlerdir.

Atık asfalt kaplamadaki ve sathi kaplamadaki yaşlı agreganın su emme özellikleri karışım özelliklerini etkileyebilmektedir. Eski agreganın etrafındaki bitüm filmi, malzemenin su emme kapasitesini etkilemektedir. Bu da malzemenin performans özelliklerinin değişimine neden olmaktadır. Singh vd. (2017) çalışmalarında, karışımındaki RAP agregası oranı arttıkça numunelerin su emme kapasitelerinin düştüğünü ve bu durumda boşluk oranı değerini etkilediğini belirtmişlerdir. Boşluk oranı değeri, karışımın performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir.

MQ değerleri, aynı KA oranı ile farklı sınıfta bağlayıcı kullanılarak yapılan numunelerde az değişim gösterdi. Farklı bitüm sınıflarının MQ değerlerine çok etkisi olmadı. %20 oranında RAP malzemesi ile oluşturulan karışımların Marshall Stabilitesi değerlerinin en yüksek olduğu gözlemlendi. Farooq vd. (2018) çalışmalarında ise ılık asfalt karışımlarda RAP oranı arttıkça Marshall Stabilitésinin düştüğü, MQ değerinin ise arttığı görüldü. Bu sonuca göre, karışım hazırlama sıcaklığı performans özelliklerini etkilemektedir.

Olumsuz koşulları arttırmak için numuneler 6 ay süreyle Antalya ilindeki doğal koşullara bırakıldı. Temmuz-Aralık ayları boyunca doğal koşullarda bırakılan numuneler daha sonra su içerisine bırakılarak donma çözünme döngüsüne tabi tutulmuştur. Bu işlemler, numunelerin olumsuz şartlarda göstereceği performansın belirlenmesi açısından önemlidir.

Daomitrovic vd. (2019) deneysel çalışmalarında, karışıma %0, %20, %35 ve %50 oranlarında RAP katılmıştır. Bu numuneler 14 donma çözünme döngüsüne sabit tutulmuştur. Elde edilen bulgularda donma çözünme döngüsünün numunelerin esnekliğinde azalışa sebep olduğu belirtilmiştir.

Karışımında %10 oranında sathi kaplama malzemesi kullanılmasının karışım performansına etkisi merak edilmekteydi. Elde edilen bulgulardan bu malzemenin karışıma önemli ölçüde bir olumsuz etkisi görülmemiştir. Sağlık vd. (2013) yaptıkları çalışmada, biri bozulmuş BSK kaplamalı diğeri ise eski sathi kaplamalı karayolu olmak üzere iki farklı kesimde yerinde soğuk geri dönüşüm uygulaması yapılmıştır. Ekstraksiyon sonucu eski kaplamanın ortalama bitüm miktarının %3.33 olduğu belirtilmiştir. Bu geri dönüşüm uygulamasında ilave bitümlü bağlayıcı olarak köpük bitüm kullanılmıştır. Uygulamadan sonra takip edilen her iki karayolunda da herhangi bir bozulma gözlemlenmemiştir. Sathi kaplamalı yol kesiminde yapılan geri dönüşüm uygulamasında da tatmin edici sonuçlar alınmıştır. Yerinde soğuk geri dönüşüm uygulamasının yollarımızın çoğunu oluşturan sathi kaplamaların hızlı ve ekonomik şekilde BSK kaplamaya dönüştürülmesinde iyi bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Donma çözünme işleminden sonra numunelere Cantabro deneyi uygulanmıştır. Parça kaybı (Cantabro) deneyi, sadece poroz asfalt karışımlarına uygulanan bir deneydir. Karayolları Teknik Şartnamesinde bu deney için bir kriter bulunmamaktadır. Japonya Karayolları Standartlarına göre Cantabro kaybı %20'den küçük olmalıdır (Özay ve Öztürk 2013). Numunelere Cantabro deneyi uygulayarak parça kaybı açısından nasıl bir performans göstereceği merak edilmiştir. Bu değerlerin ortalamaları %20'den az çıkmıştır. Ayrıca Şekil 4.51.'de belirtilen bitüm oranına göre ortalama stabilite ve ağırlık kaybı değerleri incelendiğinde, ağırlık kaybı ile stabilite oldukça benzer davranışlar gösterdiği görülmüştür. Bu da çalışmanın özgün sonuçlarından biri

olarak yerini almaktadır.

Atık asfaltın geri dönüşümü ile ülke ekonomisine kazandırılacağı katkı da ihmal edilmeyecek düzeydedir. Gencer ve Kunduracıoğlu'nun (2009) yaptıkları çalışmada yıllık üretim kapasitesi 250.000 ton/yıl olan bir asfalt üretim tesisi örnek alınmıştır. %30 oranında geri kazanılmış asfalt kullanılması halinde 45 \$/ton esas alınarak yapılan üretimin 8.75 milyon dolar olan cirosunun %6.7' lik artış ile 12 milyon \$/yıl olacağı belirtilmiştir.



6. SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, atık asfalt kaplamalar ve sathi kaplama agregasının geri kazanılarak yeni yapılacak karayolunun bitümlü temel tabakasında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Ekstraksiyon sonucu elde edilen yaşlı bitümün; penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite değerlerine bakıldığında kullanılabilir düzeyde olduğu görülmüştür. Yaşlı bitüm, B70/100 ve B100/150 sınıfı bitümlerle karşılaştırıldığında daha sert olduğu görülmüştür. Bu durum yaşlı bitümün oksitlenme sonucu yumuşaklığını yitirmesi ile açıklanmıştır.

Yaşlı bitüm ve yeni bitümler karşılaştırıldığında, penetrasyon indeksinin (PI) bitümün penetrasyon değerleriyle ters orantılı olduğu görülmüştür. Bitümün yumuşaklığı arttıkça PI değerinin azaldığı saptanmıştır. PI değeri arttıkça bitümün ısıya karşı gösterdiği hassasiyet azalmıştır.

Ayrıştırılan agreganın özellikleri incelendiğinde, su emme kapasitesinin en düşük olduğu agreganın ayrıştırılan kazınmış asfalt agregasında olduğu bulunmuştur. Bu agregayı sathi kaplama agregası izlemektedir. Yeni agreganın su emme kapasiteleri arasındaki fark oldukça fazladır. Bu durum eski agregaların etrafındaki bitüm filmi ile açıklanabilmektedir. Agreganın su emme oranını etkilemiştir. Karışımda kullanılan agregaların su emme kapasitesi şartname limitlerini sağladığı için kullanılması sorun teşkil etmemiştir.

Aşınma (Los Angeles) değerlerine bakıldığında ise en fazla aşınmanın ayrıştırılan kazınmış asfalt agregasında olduğu belirlenmiştir. Fakat tüm agregalar şartname kriterini sağlamıştır.

Yapılan ekstraksiyon işlemi sonucu kazınmış asfalttaki ortalama bitüm oranının %3.15 olduğu saptanmıştır. Karışıma eklenen yeni bitüm oranları bu miktar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Bu hesaplama sonucu bulunan yeni bitüm oranlarının şartname limitleri arasında kaldığı görülmüştür.

B100/150 ile oluşturulan numunelerin B70/100 ile oluşturulan numunelere göre daha fazla sıkıştığı numune hacimlerine bakılarak anlaşılmıştır. Bu durum bitümlerin penetrasyon ve yumuşama noktası değerlerinin farklı olması ile açıklanabilmektedir. Hacim özgül ağırlık değerleri de bu faktörlere bağlı olarak etkilenmiştir. Bitüm oranına göre ortalama hacim özgül ağırlık değerleri incelendiğinde bu değerin en fazla %20KA ile oluşturulan numunelerde olduğu belirlenmiştir.

Karışıma konulacak yeni kalker agregası mevcut kazınmış asfalt kaplaması ve sathi kaplama agregasına göre belirlenmiştir. Bu sebepten ötürü zorunlu olarak eski agregalara bağlı olarak karışımda kullanılan yeni kalker agregasında ince malzemede artış görülmüştür. Bu bitümlü temel tabakası şartname limitlerini sağlamıştır fakat Vh oranını doğrudan etkilemiştir. KA oranı azaldıkça yeni agreganın oranı arttığından Vh oranları şartname limitlerinin altında yer almıştır.

Akma değerleri incelendiğinde B70/100 ile oluşturulan numunelerin B100/150 ile oluşturulan numunelere göre daha esnek bir davranış gösterdiği saptanmıştır. En esnek davranışı ise 10KA ile oluşturulan karışımlar gösterdi. 10KA ile oluşturulan karışım içeriğinde yeni bitüm oranı fazla olduğu için esneklik buna bağlı olarak etkilenmiştir.

Bitüm oranına göre agregalar arası boşluk oranı (VMA) ve akma değerlerine bakıldığında bu parametreler oldukça benzer davranış göstermişlerdir. VMA değeri arttıkça agregaların arasına giren yeni bitüm miktarı arttığından bitümün esnek yapısı karışımın akma değerlerini etkilemiştir.

Tüm numuneler Marshall stabilitesi şartname kriterini sağlamıştır. En stabil davranışı 20KA-70/100 numunesi göstermiştir. B70/100 ile oluşturulan numuneler B100/150 ile oluşturulan numunelere göre daha stabildir.

MQ değerleri incelendiğinde, aynı KA oranı farklı bitüm sınıfı ile oluşturulan numunelerin yakın sonuçlar gösterdiği gözlemlendi.

Cantabro ağırlık kaybı değerlerine bakıldığında en fazla ağırlık kaybının 20KA-70/100 numunesinde olduğu görülmüştür. Marshall stabilite değerleri arttıkça ağırlık kaybında arttığı görüldü. Bu durum malzemenin gevreklik davranışıyla açıklanmıştır.

Donma çözünme döngüsü sonrası Cantabro değerlerine bakıldığında ağırlık kayıplarının artış gösterdiği görülürken, bu artış ilk ağırlık kayıplarıyla doğru orantılı olarak gerçekleşmiştir.

İÇM oranları incelendiğinde, tüm numunelerin şartname limitini sağladığı görüldü. B70/100 ile oluşturulan numunelerde koşullandırma işlemi yapıldıktan sonra İÇM değerlerinde artış görüldü.

Performans puanlarına bakılan numunelerin, en yüksek puanları sırasıyla 30KA-70/100, 20KA-70/100 ve 30KA-100/150 aldıkları belirlendi.

30KA-70/100 numunesi tüm şartname kriterlerini sağladığından ve yüksek performans puanından dolayı en iyi numune kabul edildi.

Karışımlar, maksimum %30 RAP ve %10 sathi kaplama malzemesi kullanılarak oluşturulmuştur. %30 RAP ile oluşturulan numunenin en iyi performansı gösterdiği görülmüştür. İleriki çalışmalarda karışımda kullanılan RAP oran arttırılarak karışımların performans özelliklerine bakılabilir.

Sathi kaplama oranı, karışımda sabit tutulduğu için etkisi tam olarak belirlenememiştir. RAP miktarı sabit tutulup bu malzeme miktarı değişik oranlarda karışıma eklenerek performansa olan etkisi araştırılabilir.

3 boyutlu mikroskopik görüntüleme cihazlarıyla karışımın içerisinde bulunan eski ve yeni bitümün birbirine karşı nasıl davranış gösterdiği belirlenebilir.

Yorulma (fatigue) deneyi daha fazla numune çeşidine yapılmalıdır.

Bu çalışma sahada da uygulanarak malzemenin zamanla göstereceği performans gözlemlenebilir.



7. KAYNAKLAR

- Ağar, E., Umar, F. 1991. Yol Üstyapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası: 1451, İstanbul, 255 s.
- Al-Mufti, R.L., Fried, A.N. 2017. Improving the strength properties of recycled asphalt aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 149: 45-52.
- Anonim 1: http://www.mfa.gov.tr/i_-temel-çevre-sorunlari.tr.mfa [Son erişim tarihi: 05.03.2018].
- Anonim 2: <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Yayinlar/Yayinlar.aspx> [Son erişim tarihi: 07.04.2018].
- Anonim 3: <http://www.tupras.com.tr/bitum-fiyatlari-kronoloji> [Son erişim tarihi: 03.05.2018].
- Anonim 4: <http://www.isfalt.istanbul/ar-ge/kalite-kontrol/yol-ustyapisi> [Son erişim tarihi: 03.05.2018].
- Anonim 5: <http://www.nurtal.com.tr/sathi-kaplama/> [Son erişim tarihi: 05.05.2018].
- Anonim 6: <http://www.movea.com.tr> [Son erişim tarihi: 05.05.2018].
- Anonim 7: <http://www.pmvmiddleeast.com>. [Son erişim tarihi: 06.05.2018].
- Anonim 8: <http://www.ecopavesystems.com>. [Son erişim tarihi: 07.05.2018].
- Anonim 9: <http://www.dpw.lacounty.gov>. [Son erişim tarihi: 08.05.2018].
- Anonim 10: <http://www.uepg.eu/statistics/estimates-of-production-data/>. [Son erişim tarihi: 27.05.2019].
- Aravind, M., Mallick, R.B., Frank, R. 2014. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 92: 230-245.
- Ashtiani, K., Das, A. 2007. Pavement design with central plant hot-mix recycled asphalt mixes. *Construction and Building Materials*, 21: 928-936.
- Bağdatlı, M., Yıldırım, M. 2017. Karayolu üstyapılarındaki bozulmaların bakım maliyetlerine etkisi. *Nevşehir Bilim ve Teknik Dergisi*, 6(1): 102-111.
- Ceylan, H. 2006. Çevre Kanun ve kırmataş sektörü ilişkisi. 4. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, ss. 51-56, 1-2 Aralık, İstanbul.
- Ceylan, H., Saraç, S. 2000. Madencilik faaliyetlerinde çevresel planlama ve uygulanabilecek doğaya yeniden kazandırma alternatifleri. Türkiye 12. Kömür Kongresi, ss. 91-100, 23-26 Mayıs, Zonguldak.
- Chen, M., Lin, J., Wu, S. 2011. Potential of recycled fine aggregates powder as filler in asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 25: 3909-3914.
- Deniz, M.T., Kalkancı, Ç., Eren, B.K., Yıldırım, S.A., Atalay, İ. 2009. Shingle atık parçacıklarının bitümlü sıcak karışımda kullanımı. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss. 318-328, 18-19 Kasım, Ankara.
- Domitrovic, J., Rukavina, T., Lenart, S. 2019. Effect of freze-thaw cycles on the resilient moduli and permanent deformation of RAP/natural aggregate unbound base mixtures. *Transportation Geotechnics*, 18: 83-91.

- Ding, X., Chen, L., Ma, T., Ma, H., Gu, L., Chen, T., Ma, Y. 2019. Laboratory investigation of the recycled asphalt concrete with stable crumb rubber asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 203: 552-557.
- Farooq, M.A., Mir, M.S., Sharma, A. 2018. Laboratory study on use of RAP in WMA pavements using rejuvenator. *Construction and Building Materials*, 168: 61-72.
- Guo, N., You, Z., Zhao, Y., Tan, Y., Diab, A. 2014. Laboratory performance of warm mix asphalt containing recycled asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 64: 141-149.
- Gencer, Kunduracioğlu, G. 2009. Asfaltın geri kazanılması. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss. 339-348, 18-19 Kasım, Ankara.
- Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Çalışkol, A., Yönter, G. 2009. Kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanımı KGM uygulamaları. 5. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss. 349-358, 18-19 Kasım, Ankara.
- Güngör, A.G., Orhan, F., Kaşak, S., Dost, Y. 2009. Kazınmış asfalt kaplamaların yeniden kullanılması. Karayolu 1. Ulusal Kongresi, 1-3 Nisan, Ankara.
- Huffman, J.E. 2001. Basic asphalt recycling manual. <http://www.arra.org> [Son erişim tarihi: 01.06.2018].
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen H., Sönmez İ., Eren, K. 2001. Asfalt ve Uygulamaları. İsfalt, İstanbul, 280 s.
- Izaks, R., Haritonovs, V., Klasa, I., Zaumanis, M. 2015. Hot mix asphalt with high RAP content. *Procedia Engineering*, 114: 676-684.
- Karaşahin, M., Güre, C. 2007. Sathi Kaplamalar. Konya Belediyeler Birliği 106. Eğitim Semineri, Asfalt Günleri, ss. 75-116, 23-25 Mart, Konya.
- Karayolları Trafik Yönetmeliği. 18.07.1997. *T.C. Resmi Gazete Sayı:23053*, Ankara.
- Karayolu Teknik Şartnamesi. 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Kısım 406.
- Karayolu Teknik Şartnamesi. 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Kısım 412.
- Karayolu Teknik Şartnamesi. 2013. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, Kısım 413.
- Kök, B.V., Yılmaz, M., Kuloğlu, N. 2012. Asfaltitin bitüm ve bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi. *İMO Teknik Dergi*, 371(1): 5813-5826.
- Kuluğlu, N., Yılmaz, M., Kök, B.V. 2008. Farklı penetrasyon derecelerine sahip asfalt çimentolarının kalıcı deformasyona karşı dayanımlarının ve işlenebilirliklerinin incelenmesi. *Uludağ Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 13(1): 81-91.
- Kuttah, D.K. 2014. Hot recycling of asphalt at a central plant. <http://www.vti.diva-portal.org> [Son erişim tarihi: 01.06.2018].
- Kwon, B.J., Kim, D., Rhee, S.K., Kim, Y.R. 2018. Spray injection patching for pothole repair using 100 percent reclaimed asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 166: 445-451.
- Lira, R.R.D., Cortes, D.D., Pasten, C. 2015. Reclaimed asphalt binder aging and its implications in the management of RAP stockpiles. *Construction and Building Materials*, 101: 611-616.

- Lopez, C., Gonzalez, A., Thenoux, G., Sandoval, G., Marcobal, J. 2019. Stabilized emulsions to produce warm asphalt mixtures with reclaimed asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production*, 209: 1461-1472.
- Lyubarskaya, M.A., Merkusheva, V.S., Osian, P.A., Ilin, A.A., Svintsov, E.S. 2017. Integrated Approach to using technology of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Procedia Engineering*, 189: 860-866.
- Ma, T., Wang, H., Huang, X., Wang, Z., Xiao, Feipeng. 2015. Laboratory performance characteristics of high modulus asphalt mixture with high-content RAP. *Construction and Building Materials*, 101: 975-982.
- Mangiafico, S., Sauzeat, C., Benedetta, H.D., Pouget, S., Olard, F., Planque, L. 2016. Prediction of LVE behavior of mixtures containing RAP from properties of base constituents. *Transportation Research Procedia*, 14: 3552-3561.
- Noferini, L., Simone, A., Sangiorgi, C., Mazzotta, F. 2017. Investigation on performances of asphalt mixtures made with Reclaimed Asphalt Pavement: Effects of interaction between virgin and RAP bitumen.. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10: 322-332.
- Ongel, A., Hugener, M. 2014. Aging of bituminous mixes for rap simulation. *Construction and Building Materials*, 68: 49-54.
- Orhan, F. 2012. Bitümlü Karışımlar Laboratuvarı Çalışmaları. Araştırma Geliştirme Dairesi Başkanlığı Üstyapı Geliştirme Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 39 s.
- Orhan, M. 2013. Yol Bilgisi ve Tasarımı. Gazi Kitabevi, Ankara, 255 s.
- Oylumoğlu, J., Dokandari, P.A., Şengöz, B., Topal, Ali. 2013. Köpüklendirme esaslı katkılar içeren ılık karışım asfaltlarda geri kazanılmış asfalt kullanımı. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss. 252-261, 27-28 Kasım, Ankara.
- Özay, O., Öztürk, E. 2013. Modifiye edilmiş poroz asfalt kaplamaların performansı. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 28(3): 577-586.
- Professor, J.L.A., Hong, J., Xiao, Y. 2017. Dynamic characteristics of 100% cold recycled asphalt mixture using asphalt emulsion and cement. *Journal of Cleaner Production*, 156: 337-344.
- Rahardjo, H., Satyanaga, A., Leong, E.C., Ilin, A.A., Wang, J.Y. 2013. Unsaturated properties of recycled concrete aggregate and reclaimed asphalt pavement. *Engineering Geology*, 161: 44-54.
- Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı. 30.12.2014. *T.C. Resmi Gazete Sayı:29221*, Ankara.
- Sağlık, A., Güngör A.G. 2008. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 148 s.
- Sağlık, A., Demir, B., Güngör, A.G. 2013. Kazınmış asfalt kaplamaların yerinde soğuk geri dönüşüm olarak kullanımı KGM uygulamaları. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss. 282-296, 27-28 Kasım, Ankara.
- Salta, İ. 2010. Bitümlü karışımların geri dönüşüm yöntemlerinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 151 s.

- Saltan, M., Fındık, F.S. 2005. Geniş tabanlı ve çift tekerlekli ağır taşıtların karayolu esnek üstyapıları üzerindeki etkilerinin incelenmesi, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-24 Eylül, Antalya.
- Shu, X., Huang, B., Vukosavljevic, D. 2008. Laboratory evaluation of fatigue characteristics of recycled asphalt mixture. *Construction and Building Materials*, 22: 1323-1330.
- Singh, D., Girimath, S. 2016. Influence of RAP sources and proportions on fracture and low temperature cracking performance of polymer modified binder. *Construction and Building Materials*, 120: 10-18.
- Singh, S., Ransinchung, G.D., Kumar, P. 2017. An economical processing technique to improve RAP inclusive concrete properties. *Construction and Building Materials*, 148: 734-747.
- Sreeram, A., Leng, Z. 2019. Variability of RAP binder mobilisation in hot mix asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 201: 502-509.
- Temren, Z. 2013. Asfaltın geri kazanımı ve sürdürülebilirlik. 6. Ulusal Asfalt Sempozyumu, ss. 241-251, 27-28 Kasım, Ankara.
- Tunç, A. 2001. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Nobel Yayıncılık, Ankara, 840 s.
- Wang, Y., Leng, Z., Li, X., Hu, C. 2018. Cold recycling of reclaimed asphalt pavement towards improved engineering performance. *Journal of Cleaner Production*, 171: 1031-1038.
- Yayla, N. 2014. Karayolu Mühendisliği. Birsan Yayınevi, İstanbul, 285 s.
- Yılmaz, M., Kök, B.V. 2011. Malzemelerin geri dönüşümünde köpük asfalt yönteminin kullanılması. 6. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu , ss. 81-86, 16-18 Mayıs, Elazığ.
- Zaumanis, M., Mallick, R.B., Frank, R. 2014. 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 92: 230-245.
- Zaumanis, M., Oga, J., Haritonovs, V. 2014. How to reduce reclaimed asphalt variability: A full-scale study. *Construction and Building Materials*, 188: 546-554.
- Zhang, R., You, Z., Wang, H., Chen, X., Si, C., Peng, C. 2018. Using bio-based rejuvenator derived from waste wood to recycle old asphalt . *Construction and Building Materials*, 189: 568-575.
- Zhou, Z., Gu, X., Jiang, J., Ni, F., Jiang, Y. 2019. Fatigue cracking performance evaluation of laboratory-produced polymer modified asphalt mixture containing reclaimed asphalt pavement material . *Construction and Building Materials*, 216: 379-389.

ÖZGEÇMİŞ

TAYFUN GÜRCAN
tgurcan90@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
2008-2012	Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Şantiye Şefi	ATG Mimarlık İnşaat Ltd. Şti.
2012-Devam Ediyor	