

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ASFALT KAPLAMALARIN SBS
POLİMERİ VE SOYULMA ÖNLEYİCİ BİRLİKTELİĞİNDEKİ PERFORMANS
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Selahattin Can SARI

EKİM 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ASFALT KAPLAMALARIN SBS
POLİMERİ VE SOYULMA ÖNLEYİCİ BİRLİKTELİĞİNDEKİ PERFORMANS
ANALİZİ**

Selahattin Can SARI

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 / 09 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 14 / 10 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Atakan AKSOY

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplamaların SBS Polimeri Ve Soyulma Önleyici Birlikteliğindeki Performans Analizi” isimli bu Tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilim insanı olma yolundaki ilk adımlarımı atarken kıymetli bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan Danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Atakan AKSOY’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile Tezime büyük katkıları bulunan saygıdeğer hocalarıma, eğitim öğretim hayatımda katkısı olan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Tez çalışması sürecinde bana desteklerini esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Bölümü’ndeki tüm değerli hocalarıma ve asistan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, doğduğum günden beri elimi hiç bırakmayan, hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım ve her kararında arkamda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan annem Nuray SARI ve babam Muharrem SARI’ya, Kardeşim Sena Seda SARI’ya teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu Tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Selahattin Can SARI

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplamaların SBS Polimeri Ve Soyulma Önleyici Birlikteliğindeki Performans Analizi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Atakan AKSOY sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 14.10.2024

Selahattin Can SARI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Araştırma Özgeçmişi.....	3
1.3. Çalışmanın Amacı	11
1.4. Taş Mastik Asfalt (TMA).....	11
1.5. Marshall Deneyi	14
1.6. Geri Dönüştürülmüş Asfalt (RAP)	15
1.7. SBS Katkı Maddesi ve Özellikleri	18
1.8. Dolaylı Çekme Mukavemeti Testi	21
1.9. Tekerlek İzi Deneyi	23
2. MALZEME VE YÖNTEM	27
2.1. Kullanılan Malzemeler	27
2.2. Elek Analizi Deneyi	29
2.3. Taş Mastik Asfalt Özellikleri	29
2.4. Marshall Deneyi	30
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	34
3.1. Giriş.....	34
3.2. Birinci Grup Rap İçermeyen Optimum Bitüm İlişkisi	34
3.3. Birinci Grup Rap İçermeyen Optimum Bitüm %0,2 Dop Katkısı İlişkisi	36
3.4. Birinci Grup Rap İçermeyen %0,4 Dop Katkısı İlişkisi.....	38
3.5. Birinci Grup Rap İçermeyen %0,6 Dop Katkısı İlişkisi.....	41
3.6. İkinci Grup %40 Rap İçerip Optimum Bitüm İlişkisi	43

3.7. İkinci Grup %40 Rap İçerip %0,2 Dop Katkı İlişkisi	46
3.8. İkinci Grup %40 Rap İçerip %0,4 Dop Katkı İlişkisi	48
3.9. İkinci Grup %40 Rap İçerip %0,6 Dop İlişkisi	50
3.10. Optimum Bitümde Tekerlek İzi	56
3.11. Optimum Bitümde %0,6 Dop Katkılı Tekerlek İzi	57
3.12. %40 Rap İçerikli %0,4 Dop Katkılı Tekerlek İzi	58
4. SONUÇLAR.....	60
5. ÖNERİLER.....	62
6. KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	



ÖZET

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ ASFALT KAPLAMALARIN (RAP) SBS POLİMERİ VE
SOYULMA ÖNLEYİCİ BİRLİKTELİĞİNDEKİ PERFORMANS ANALİZİ**

Selahattin Can SARI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Atakan AKSOY
2024, 66 Sayfa

Bu Tez çalışması kapsamında, yüksek rap içeriğinde, taş mastik asfalt için SBS ve soyulma önleyici birlikteliğinin sorgulanması ve bu soyulma önleyici (Dop) birlikteliğinde tekerlek izi ve dolaylı çekme mukavemeti testleri (İÇM) için deneysel ve analitik inceleme yapılmıştır. Yapılan bu Tez çalışması üç ayrı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, taş mastik asfaltı açıklayarak bu taş mastik asfalt tasarımına etki eden parametreleri ile birlikte geri dönüştürülmüş asfalt birlikteliğinin sorgulanmasını ele alarak yapılan çalışmaları soyulma önleyici katkı ile geri dönüştürülmüş asfalt hakkında genel bilgilere ve son olarak bunların karışımı ile oluşan gerekli performans testlerine yer verilmektedir. İkinci bölümde; Tez kapsamında yapılan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen bulgulara yer verilmektedir. İkinci aşama iki kısımdan oluşuyor. Birinci kısımda taş mastik asfalt için toplam 32 adet briket yapıp her biri sekiz adet olup ilk 8adet briket optimum bitümde, ikinci 8 adet briket %0,2 dop katkılı, üçüncü 8 adet briket %0,4 dop katkılı ve son 8 adet briket de %0,6 dop katkılı varyasyonlar yapılmıştır. İkinci kısım da ise aynı 32 adet briket yapıp sadece tasarım yapılırken %40 Geri dönüştürülmüş asfalt (GDA) kullanılarak briketler yapılmıştır. Üçüncü bölümde ise bu yapılan briketlerin indirekt çekme kuvveti testi ile tekerlek izi testleri yapıp performans değerlendirmeleri yapılmış olup Tez çalışmasından elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Taş mastik asfalt, Geri Dönüştürülmüş asfalt, Dop katkısı, Tekerlek izi, indirekt çekme mukavemeti

Master Thesis

SUMMARY

PERFORMANCE ANALYSIS OF RECYCLED ASPHALT PAVEMENTS IN COMBINATION WITH SBS POLYMER AND ANTI-STRIPING AGENT

Selahattin Can SARI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Atakan AKSOY
2024, 66 Pages

Within the scope of this Thesis study, experimental and analytical investigations were carried out for the investigation of the combination of SBS and anti-stripping for stone mastic asphalt at high rap content and for the rutting and indirect tensile strength tests in this anti-stripping (DOP) combination. This thesis study consists of three separate parts. In the first part, the stone mastic asphalt is explained, the parameters affecting the stone mastic asphalt design, the studies carried out by examining the association of recycled asphalt, general information about recycled asphalt with anti-stripping additive, and finally the necessary performance tests formed by their mixture are included. In the second part, the studies carried out within the scope of the thesis and the findings obtained from these studies are included. The second stage consists of two parts. In the first part, a total of 32 briquettes were made for stone mastic asphalt, eight briquettes each, the first 8 briquettes in optimum bitumen, the second 8 briquettes with 0,2% dope additive, the third 8 briquettes with 0,4% dope additive and the last 8 briquettes with 0,6% dope additive. has been made. In the second part, the same 32 briquettes were made and only the design was made using 40% Recycled Asphalt (GDA). In the third chapter, indirect tensile strength test and rutting tests of these made bricks were performed and performance evaluations were made, and the results and suggestions obtained from the thesis study are included.

Key Words: Stone mastic asphalt, Recycled asphalt, Dope additive, Rutting, indirect tensile strength

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. RAP – Kırılma enerjisi ilişkisi	9
Şekil 2. Gençleştirici – RAP ilişkisi	10
Şekil 3. TMA Yapısı (URL – 4,2024)	13
Şekil 4. Yoğun dereceli numune (sol) TMA numunesi (sağ) (NAPA,2001)	13
Şekil 5. Kullanılan SBS maddesinin yapısı (Von,Van,1989)	19
Şekil 6. Asfaltla kaplanmış SBS molekülleri (URL-2,2004)	19
Şekil 7. SBS malzemesi (İskender,2008)	19
Şekil 8. İÇM deney düzeneği	21
Şekil 9. Su banyosu gösterimi	22
Şekil 10. İÇM düzeneği (Grönniger, Wistuba,2010)	23
Şekil 11. Tekerlek izi düzeneği (Stuart, Youtcheff,2001)	25
Şekil 12. Tekerlek takip cihazı	26
Şekil 13. Sıkıştırılan numune	26
Şekil 14. Karışım gradasyonu	29
Şekil 15. Dp grafiği	30
Şekil 16. Boşluk (%) grafiği	31
Şekil 17. VMA (%) grafiği	31
Şekil 18. Karışım Numunesi	32
Şekil 19. Marshall Kalıbı	32
Şekil 20. Marshall Kalıbı Dolumu	33
Şekil 21. Marshall Briketleri	33
Şekil 22. Koşullu numunelerin çekme dayanımları	53
Şekil 23. Koşulsuz numunelerin çekme dayanımları	53
Şekil 24. Koşullu ve koşulsuz numunelerin ortalama çekme mukavemetleri	54
Şekil 25. Koşullu ve koşulsuz numunelerin İÇM oranları	54
Şekil 26. Aktif ve Pasif Adezyon Grafiği	56
Şekil 27. Optimum bitümde tekerlek izi davranış grafiği	57
Şekil 28. Optimum bitümde %0,6 Dop katkılı tekerlek izi grafiği	58
Şekil 29. %40 Raplı %0,4 Doplu tekerlek izi davranış grafiği	59

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. İÇM – Boşluk ilişkisi	7
Tablo 2. RAP – İÇM ilişkisi.....	7
Tablo 3. RAP- Tekerlek izi ilişkisi.....	8
Tablo 4. Kaba agregA özellikleri.....	27
Tablo 5. İnce agregA özellikleri	27
Tablo 6. Bitümlü bağlayıcı özellikleri.....	27
Tablo 7. SBS özellikleri	28
Tablo 8. Soyulma önleyici katkı özellikleri	28
Tablo 9. TMA Tip-1 dizayn kriterleri	29
Tablo 10. Taş mastik dizaynı.....	30
Tablo 11. Rap içermeyen numunelerin özellikleri	34
Tablo 12. Optimum bitümde koşullandırılmış numunelerin özellikleri	35
Tablo 14. Optimum bitümde İÇM testi	36
Tablo 15. Rap içermeyen optimum bitüm %0,2 Dop numunelerinin özellikleri	36
Tablo 16. Optimum bitümde %0,2 Doplu koşullandırılmış numunelerin özellikleri.....	37
Tablo 17. Optimum bitümde %0,2 koşullandırılmamış numunelerin özellikleri.....	37
Tablo 18. Optimum bitümde %0,2 Doplu İÇM testi.....	38
Tablo 19. Rap içermeyen optimum Bitüm %0,4 Dop numunelerinin özellikleri.....	39
Tablo 20. Optimum bitümde %0,4 Doplu koşullandırılmış numunelerin Özellikleri	39
Tablo 21. Optimum bitümde %0,4 Doplu koşullandırılmamış numunelerin özellikleri	40
Tablo 22. Optimum bitümde %0,4 Doplu İÇM testi.....	40
Tablo 23. Rap içermeyen optimum bitüm %0,6 Dop numunelerinin özellikleri	41
Tablo 24. Optimum bitümde %0,6 Doplu koşullandırılmış numunelerin özellikleri.....	42
Tablo 25. Optimum bitümde %0,6 Doplu koşullandırılmamış numunelerin özellikleri	42
Tablo 26. Optimum bitümde %0,6 Doplu İÇM testi.....	43
Tablo 27. %40 rap içeren numunelerin özellikleri	44
Tablo 28. Optimum bitümde %40 RAP eklenip koşullandırılmış numunelerin özellikleri	44
Tablo 29. Optimum bitümde %40 RAP eklenip koşullandırılmamış numunelerin özellikleri	45

Tablo 30. Optimum bitümde %40 Raplı İÇM testi	45
Tablo 31. %40 Rap ve %0,2 Dop ilişkisi özellikleri	46
Tablo 32. %40 Rap %0,2 Dop katkısı koşullandırılmış numunelerin özellikleri.....	47
Tablo 33. %40 Rap %0,2 Dop katkısı koşullandırılmamış numunelerin özellikleri	47
Tablo 34. %40 Raplı ve %0,2 Dop katkılı İÇM testi	47
Tablo 35. %40 Rap ve %0,4 Dop ilişkisi özellikleri	48
Tablo 36. %40 Rap %0,4 Dop katkısı koşullandırılmış numunelerin özellikleri.....	49
Tablo 37. %40 Rap %0,4 Dop katkısı koşullandırılmamış numunelerin özellikleri.....	49
Tablo 38. %40 Raplı ve %0,4 Dop katkılı İÇM testi	50
Tablo 39. %40 Rap ve %0,6 Dop ilişkisi özellikleri	51
Tablo 40. %40 Rap %0,6 Dop katkısı koşullandırılmış numunelerin özellikleri.....	51
Tablo 41. %40 Rap %0,6 Dop katkısı koşullandırılmamış numunelerin özellikleri.....	52
Tablo 42. %40 Raplı ve %0,6 Dop katkılı İÇM testi	52
Tablo 43. Aktif Adezyon Matrisi	55
Tablo 44. Optimum bitümde tekerlek izi davranışı.....	56
Tablo 45. Optimum bitümde %0,6 Dop katkılı tekerlek izi davranışı	57
Tablo 46. %40 Raplı %0,4 Doplu tekerlek izi davranışı.....	58

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

TMA	: Taş Mastik Asfalt
RAP	: Recycled Pavement Asphalt
GDA	: Geri Dönüştürülmüş Asfalt
KTŞ	: Karayolları Teknik Şartnamesi
VFA	: Asfaltla dolu boşluk
VMA	: Agregalar arası boşluk
SBS	: Stiren Butadien Stiren
İÇM	: Dolaylı Çekme Mukavemeti
LVDT	: Doğrusal Değişken Saptırma Dönüştürücüleri
WMA	: Sıcak Karışım Asfalt

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Teknolojinin ilerlemesiyle artık yapı malzemelerinin sürdürülebilirliği söz konusu gündeme gelmiştir. Yapı malzemelerinden biri olan asfalt ile ilgili farklı konularla ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Kentsel yollar, yani Ana yollar, alt arterler, toplayıcı caddeler ve kırsal yollar dahil olmak üzere karayolu ağının büyük kısmı, yani Ulusal Karayolları (NH), Devlet Karayolları, Ana Bölge Yolları ve Diğer Bölge Yolları genellikle esnek kaplamalardır. Bitümlü kaplamalı yollar genellikle mükemmel performanslarından dolayı tercih edilir. Sessiz, pürüzsüz ve dayanıklıdır. Çimento beton kaplamaların aksine bitümlü kaplamaların inşaatı uzun süre gerektirmez ve kolay bakım sağlayarak trafik gecikmelerini minimuma indirir (Prashanth, 2019).

1990'ların ortalarından itibaren modifiye bitümlü bağlayıcıların kullanımı, daha iyi mukavemet, esneklik, dayanıklılık ve bağlayıcıda alternatif malzemelerin kullanılmasının sağlanması gibi avantajlarından dolayı yol müteahhitlerinin ilgisini çekmiştir. Herhangi bir karayolu ağının geliştirilmesindeki en büyük zorluklardan biri, otoyol projelerinin sürdürülebilirlik kavramıyla yürütülmesidir. Bu nedenle yol endüstrisi, yolların inşası ve bakımı için aynı zamanda çevre dostu, enerji açısından verimli ve aynı zamanda uygun maliyetli alternatif malzeme ve inşaat teknolojisinin kullanılmasını sabırsızlıkla beklemektedir. Mevcut yol inşaatı uygulamalarının çoğu, öncelikle taş ocaklarından elde edilen doğal olarak mevcut agregalara dayanmaktadır. Bu agregaların doğal kaynaklarından çıkarılması, orman örtüsünün kaybına neden olur ve kirliliği büyük ölçekte artırarak çevresel bozulmaya neden olur. Bu da dünyanın birçok yerinde çevresel kaygıların artmasına neden olur. Doğal kaynakları korumak için, agregaların mevcut ve gelecekteki taleplerini karşılamak için yeterli rezervlerin sağlanması gerekmektedir, çünkü bu kaynaklar daha hızlı tükenmektedir. (Prashanth, 2019).

Bir asfalt kaplamanın uzun ömürlü olması ve kullanım ömrü boyunca bakım ve rehabilitasyon işlemlerinden kaynaklanan ek malzeme tüketimini en aza indirmek için hizmet ömrü boyunca tatmin edici bir performans sergilemesi gerekir. Ayrıca üstyapının hizmet ömrünün tamamlanmasından sonra, geri kazanılmış asfalt (RAP) olarak bilinen

ömrünü tamamlamış malzemenin aynı katmanda yeni yol yapımında yeniden kullanılması hedeflenmelidir (Rathore, 2022).

18. ve 19. yüzyılda Sanayi Devrimi ile değişen ve gelişen dünyada toplumun ihtiyaçları ve yaşam stilleri üzerindeki değişiklikler dünyanın kirlenmesine ve doğanın tahrip olmasına sebep olmuştur. O günün dünyasında atıkların ileride oluşturacağı problemler düşünülememiş ve bu ihmal bugün dünyayı büyük bir çevre kaosa sürüklemiştir. İnsanoğlunun mevcut şartlarından ve ihtiyaçlarından artık vazgeçmek istememesi de bulunduğumuz çevre felaketini daha da içinden çıkılmaz bir hale getirmiştir. Tam da bu noktada devletlerin bir araya gelerek çevre tahribatını engelleme ve dünyayı koruma içgüdüsü ile birleşmesi geri dönüşüm ile ilgili çalışmalara olan ilgiyi artırmıştır. Doğayı korumak ve elimizde kalan malzemeleri daha iyi değerlendirmek için yapılacak çalışmalar ve bu çalışmalara yapılacak teşvik büyük önem taşımaktadır (Kuyucu, 2019).

Bozulmuş veya ömrünü tamamlamış asfalt kaplamaların yol yüzeyinden kazınarak yeni yapılacak sıcak asfalt karışımlarda yeniden kullanılmasına geri dönüşüm adı verilmektedir. Kazınarak geri kazanılan malzemenin yeni yapılacak kaplama tabakalarında kullanılması, kaynaklarımızın hem teknik hem de ekonomik anlamda daha verimli kullanılması açısından son derece önemlidir. Her geçen gün daha da genişleyen ülkemiz karayolu ağı, gelecek dönemlerde üstyapı iyileştirme faaliyetlerinin yoğun bir şekilde gündeme geleceğine işaret etmektedir. Kazınmış eski asfalt kaplama tabakalarının içerisinde bulunan ekonomik değeri yüksek bitüm ve agreganın yeniden yol yapımında kullanılması maliyetleri oldukça azaltacağı gibi çevrenin korunmasına da büyük oranda katkı sağlayacaktır. Dünyada her yıl yaklaşık 1,5 milyar ton asfalt karışım üretimi için 1.425 milyar ton agrega ve 75 milyon ton bitüm kullanılmaktadır. Diğer taraftan asfalt kaplama yolların yenilenmesi sırasında kazınan asfalt yığınları da doğaya terk edilmektedir. Kazınmış asfalt kaplamaların geri kazanılarak ekonomik değere dönüştürülmesi mümkündür (Oruç, Yılmaz, Mazlum, 2018).

Asfaltın sürdürülebilirliği, serilen asfalt kaplamanın yıllar geçtikçe yorulma sonrasında tekrardan aktif bir şekilde yola tekrardan geri kazandırılmasını mümkün kılacaktır. Bu süreci incelerken ekonomik ve teknik değeri yüksek olan taş mastik asfaltın, başka yolların kazılmasından çıkan trimer malzemesi olan kazınmış asfalt ile tekrar bir tasarım yapılarak asfaltın geri dönüşümü amacıyla kullanımı bu tezin konusu olmaktadır. RAP katkılı taş mastik asfalt dizaynının da SBS modifiye bitüm yaygınca kullanılmaktadır. Bu Araştırmada SBS katkılı RAP ilaveli taş mastik asfalt dizaynının da seçilen bir soyulma

önleyici katkı ile birlikte RAP- SBS – Soyulma önleyici katkı birlikteliğinin karışım performansları sorgulanmaktadır.

1.2. Araştırma Özgeçmişi

Huang ve diğerleri, 2005'a; McDaniel ve diğerleri, (2000), çeşitli araştırma çalışmalarında RAP kullanımını bildirmiş olsa da ve yeni asfalt karışımlarındaki performanslarını tanımlamasına rağmen, hiçbirisi, karıştırma işlemi sırasında gerçekte ne kadar eski asfaltın yeni karışımlarla karıştırıldığına ilişkin çalışmayı vurgulamamıştır.

Carpenter (1980), %20 RAP içeren karıştırılmış bir karışım üzerinde yapılan çalışmalarda, yaşlanmış asfaltın sadece bir kısmının yeniden karıştırma işlemine katıldığını, diğer kısımların ise RAP agregalarının etrafında sert bir kaplama oluşturduğunu ve RAP'ın kompozit kaya gibi davrandığını ortaya çıkarmıştır.

Oliver (2001), RAP malzemeleri içeren HMA karışımlarındaki karıştırma sürecini araştırmıştır. Sıkıştırılmış numuneler çeşitli özellikler açısından test edildi ve RAP'lı karışımın RAP'sız saf karışımlardan daha iyi mukavemet gösterdiği bulundu.

Prashanth (2019), sıcak karışım asfalt karışımlarındaki RAP malzemelerinin karışım sürecini araştırdı. Sıkıştırılmış numuneler çeşitli özellikler açısından test edilmiş ve RAP içeren karışımın, RAP içermeyen karışımlardan daha iyi mukavemet sergilediği bulunmuştur. Yapılan çalışmalar, malzemelerin gerçek karıştırma işleminden önce aslında biraz zaman aldığını ortaya çıkardı.

Zaumanis ve ark. (2014), RAP malzemelerinin %95'i agregalardan oluştuğu için karışım tasarımında dikkate alınması gereken en önemli faktördür. Gradasyonu sağlamak için, seçilen agrega karışımı, dikkate alınan karışım tipinin kontrol noktalarına uygun olmalıdır. Değişen RAP yüzdelerine sahip asfalt karışımlarının nihai gradasyonu, VMA, hava boşlukları vb. gibi hacimsel gereksinimleri karşılamalıdır. RAP bazlı sıcak asfalt karışımına eklenecek asfalt bağlayıcı miktarı, optimum bağlayıcı içeriğine ulaşmadan önce Marshall Karışım tasarımı ve daha güvenilir Superpave karışım Tasarımı gibi standart karışım tasarım prosedürlerinden herhangi biri benimsenerek dikkatlice belirlenir. RAP agregalarının özellikleri, ezilme, aşınma, su emme veya özgül ağırlık gibi dayanım parametreleri açısından geleneksel olarak kullanılan agregalarla aynıdır. Yoğun trafik yükü nedeniyle hasara uğramamış malzemeler yeni malzeme kadar iyidir çünkü tüm yol agregaları genellikle magmatik kökenli kayaların parçalanmış birimleridir. Agregaların herhangi bir

kullanım ömrü bulunmadığından dış bir kaynaktan zarar görmediği sürece çok iyi bir yol yapı malzemesi olarak kalır. Daha önce de belirtildiği gibi yeni asfalt karışımlarında RAP kullanım miktarı çeşitli hacimsel ve performans parametrelerine bağlı olarak değişmektedir.

Watson ve ark. (2008), daha yüksek RAP içeriğinin kullanılmamasının nedenlerinin çoğu, asfalt karışımlarındaki agrega çapının büyük oluşundan kaynaklanıyordu. RAP malzemesinde bulunan agrega çapının bağlayıcılardan daha yüksek içeriğinden kaynaklandığı bulunmuştur.

Prashanth (2019), RAP malzemelerinin, inşaat uygulamalarında yer alan her türlü asfalt karışım tasarımına uygun olduğu görülmüştür. Karışım tasarımı önemli olan hacimsel gereksinimlerin karşılanmasıdır.

Kusam, Malladi, Tayebali, Khosla (2016), Sıcak karışım asfalt ve geri kazanılmış asfalt kaplama (RAP), ulaşım endüstrisinde sürdürülebilir kaplama tasarımı amacıyla popülerlik kazanmaktadır. WMA teknolojileri karıştırma sıcaklıklarını düşürebilir dolayısıyla emisyonları düşürürken aynı zamanda asfalt karışımlarının düşük sıcaklıklarda işlenebilirliğini de geliştirebilir.

Im,Karki,Zhou (2016), RAP'ın geri dönüştürülmesi, yalnızca eski hasarlı kaplamaların çöpe atılmasını ve bertaraf edilmesini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda RAP'ta agrega ve bitümü kullanarak doğal kaynakları da korur.

Zaumanis,Mallick (2015), Sıcak karışım asfaltının geri dönüştürülmüş asfalt plânlaması (RAP) için kullanılmasının amacı, RAP'teki bitümün yüksek sıcaklıklarda taze bitümle eritilerek karıştırılmasıdır. Bu, RAP'teki bitümün, temiz bağlayıcı ile karışmak için gerekli viskoziteyi elde etmesine yardımcı olur ve dolayısıyla agregaların homojen bir şekilde kaplanmasını sağlar.

Al-Qadi, Elseifi, Carpenter (2007) Genellikle, RAP içeren asfalt betonunun mekanik davranışlarını inceleyen çalışmalar, RAP bağlayıcısı ile taze bağlayıcının karışım gradasyonu %100 olduğunu varsayar; dolayısıyla karışım gradasyonu mekanik davranış araştırmalarında genellikle belirlenmez. Bu varsayıma göre, RAP'teki yaşlanmış bağlayıcı tamamen karışıma etki eder. Kanaan, Ozer, Al-Qadi (2014) ve "bağlayıcı yer değiştirme" olarak tanımlanan saf bağlayıcının miktarı, karışıma dahil edilen toplam RAP bağlayıcısına eşittir.

Bennert, Dongre (2010), Çalışmasında, %15 ve %20 RAP içeren sıcak karışım asfalt (HMA) ile karışım ölçüsünün, %25 RAP içeren HMA'ya kıyasla yeterince kapsamlı

olmadığını göstermektedir. Bu, daha yüksek oranlarda RAP kullanıldığında karışım ölçüsünün artabileceğini göstermektedir.

Prashant ve arkadaşları (2011) , HMA'daki RAP bağlayıcısı ile taze bağlayıcının karışım gradasyonunu nicel olarak belirlemek için bir yöntem önerdiler. Çalışmada, %25 RAP içeren PG 70-28 saf bağlayıcı için karışım gradasyonunun %70 olduğu, %35 RAP içeren PG 58-28 saf bağlayıcı için ise karışım gradasyonu %96 olduğu belirtilmiştir. Bu durum, daha yumuşak taze bağlayıcı kullanıldığında daha yüksek bir karışım ölçüsü elde edilebileceğini göstermektedir.

Carpenter (2007), RAP malzemelerinden elde edilen eski bağlayıcıların, işlem görmemiş bağlayıcılara kıyasla düşük penetrasyon değerleriyle daha yüksek viskozite sergiledikleri bulmuştur.

McDaniel ve diğerleri (2000), HMA'da RAP kullanımının, işlem görmemiş bağlayıcının önceden kullanılan asfalt bağlayıcıyla tamamen karışmaması nedeniyle nemin neden olduğu hasara karşı daha duyarlı olabileceğini ortaya çıkardı.

Xiao ve Amirkhanian (2010), düşük RAP malzemesi (%10- %20) içeren modifiye bitümlü karışımların direnci de nem hasarına karşı direnç açısından tatmin edici sonuçlar vermemektedir. Ancak, daha yüksek oranda RAP malzemesi içeren asfalt karışımlarını hazırlamak için modifiye bağlayıcılar kullanıldığında nem hasarına karşı direncin arttığı görülmüştür.

Zaumanis ve ark. (2014), RAP malzemesi içeren asfalt karışımlarında gençleştiricilerin kullanılmasının uygulanması, geri dönüştürülmüş karışımın daha iyi performans gösterme ve karışımında daha yüksek RAP içeriğinden yararlanma özelliğini arttırmıştır. Bunun, karışımın nem hasarına karşı direnç gösterme ve tasarım ömrü boyunca tatmin edici performans gösterme özelliğini iyileştirdiği kanıtlanmıştır.

Yu ve ark. (2014), Asfalt karışımlarında %100 RAP kullanıldığını göstermiş ve bu karışımların, geleneksel agrega ve bağlayıcı malzemeleriyle hazırlanan karışımlarla karşılaştırıldığında performans açısından eşit veya daha iyi olduğunu iddia etmiştir. Daha yüksek RAP içeriğine sahip karışımında bitümlü bağlayıcıya %15'e kadar kauçuk eklenmesi, karışımların nem hasarına karşı direncini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir.

Karki ve ark. (2016), Gençleştiriciler, yüksek içerikli geri dönüştürülmüş malzemeler içeren asfalt karışımlarının özelliklerini iyileştirebildikleri için bu konuya son zamanlarda ilgi duymuştur. Bu çalışma, arazi test bölümlerinde oluşturulan RAP ve gençleştirici içeren asfalt karışımları için geliştirilen yeni bir karışım tasarım yöntemini sunmaktadır.

Geliştirilen adım adım tasarım prosedürüne dayalı olarak bir dizi laboratuvar testi gerçekleştirildi. Gençleştirici kullanılan karışımların performansını uygun şekilde geliştirmek amacıyla gençleştiricilerle karıştırılan asfalt bağlayıcı numuneleri test edilmiş ve optimum asfalt içeriğini ve optimum gençleştirici içeriğini belirlemek için bir tür dengeli karışım tasarım yöntemi uygulanmıştır. Laboratuvar testi sonuçları, asfalt karışımlarının dengeli çatlama ve tekerlek izi oluşumu performansı için gençleştirici dozajının dikkatli seçilmesi gerektiğini göstermiştir.

Prashanth (2019), Asfalt betonu karışımlarında RAP kullanımı onlarca yıldır pratikte mevcuttur ancak kullanılan RAP miktarı genel asfalt karışımlarının ağırlığına göre %25 ile %30 arasında sınırlandırılmıştır. Daha yüksek RAP yüzdelerinin kullanılması karışımın tekerlek izi özelliğinde iyileşme bildirmesine rağmen, bu karışımların yorulma ömründe dikkate değer bir azalma olmuştur. Daha yüksek içerikli RAP bazlı asfalt betonu karışımlarının çatlama direncindeki bu azalma özelliği, içeriğini neredeyse %30 ile sınırlandırılmıştır. Bu nedenle, RAP'ta daha yüksek içeriklerin kullanıldığı iyi tasarlanmış bir bitümlü kaplama, çevresel bozulma sorunlarının üstesinden gelme potansiyeline sahiptir.

McMillan, C. ve Palsat (1985), RAP bağlayıcılar aynı zamanda havaya maruz kaldığında stoktaki yaşlanmayı hızlandırmaya eğilimlidir ve bu da oksidasyona neden olur.

Kennedy ve ark. (1998), Geri dönüştürülecek malzemenin bağlayıcısı çok sertse, RAP içeren sıcak karışım asfalt karışımları daha iyi performans göstermeyebilir.

(Lu, Saleh, Nguyen (2019), Sıcak karışım asfalt 'da RAP kullanmanın, yüksek karıştırma sıcaklıklarının bitümün kısa süreli yaşlanmasına neden olabilmesi gibi bir dezavantajı vardır. Bu, sıcak karışım asfalttaki RAP oranını sınırlayacak ve asfalt karışımlarının işlenebilirlik, yorulma çatlama ve termal çatlama gibi mekanik özelliklerini etkileyebilecektir. Gençleştiricilerin kullanılması, RAP sıcak karışım asfaltının performansını artırmanın yanı sıra sıcak karışım asfalta eklenebilecek RAP oranını artırmanın yaygın bir yöntemidir. Gençleştiriciler, üretim, inşaat ve servis sırasında kaybolan yaşlanmış bağlayıcının kimyasal bileşimini geri kazandırır, yaşlanmış bağlayıcının sertliğini azaltır ve karışımların çatlama direncini artırır.

Watson ve ark. (2008), Yüksek oranlarda RAP içeren HMA karışımlarının, kontrol karışımlarına göre yorgunluk ömründe önemli bir azalma gösterdiği, bu tür karışımların trafik yüklerine karşı daha hızlı bir şekilde yorgunluk göstermesi ve dolayısıyla daha kısa sürede hasar riski taşıdığı anlamına gelir. Bu, RAP kullanımının, asfaltın uzun ömürlülüğü

ve dayanıklılığı üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini ve bu nedenle karışım tasarımında dikkatli bir denge gerektirdiğini gösterir.

Abreu, Oliveria, Silva, Palha, Fonseca (2015), Su hassasiyeti asfalt karışımlarının çok önemli bir özelliğidir çünkü karışımın su ile temas halindeki davranışı hakkında bilgi sağlar ve karışımın dayanıklılığının bir ölçüsüdür. Su hassasiyeti ve dolaylı çekme mukavemetinin sonuçları, hava boşluğu içeriğiyle ilişkilendirilebilecek Tablo 1’de sunulmaktadır.

Tablo 1. İÇM – Boşluk ilişkisi

	Kontrol Karışım	%30 RAP	%50 RAP	%3 Gençleştirici
İÇM (%)	94	94	92	90
İÇM BASINÇ (kPa)	2850	2900	3228	2400
Hava boşluğu içeriği (%)	3,4	3,5	3,2	2,3

Van Loon ve Butcher (2003), Karışımlar, çeşitli iklim koşullarında ve gün boyunca sıcaklık değişimlerinde ve ayrıca yıl boyunca mevsim değişikliklerinde tatmin edici performans göstermelidir. Karışımlar hazırlanıp ve saha koşullarına simüle edecek şekilde dönüşümlü donma ve çözölmeye tabi tutuldu. Bu test, karışımın nem varlığında ki değişimi göstermek için yapılmıştır. Koşullandırılmamış ve koşullandırılmış numuneler dayanıklılık açısından test edildi. Standartların öngördüğü tavsiyeleri karşılamak için ikisinin oranının %80'den az olmaması gerekir. Test edilen numunelerin sonuçları tablo 2’de verilmiştir. Gençleştirilmiş RAP ilavesinin nem etkilerine yenik düşmediği görülmüştür. Bunun nedeni, parçacıklar üzerinde mevcut güçteki işlem görmemiş bağlayıcı filmin varlığı olabilir ve gençleştirilmiş RAP karışımının nem hasarına karşı bu davranışının hem RAP malzemesi hem de gençleştiricilerle tutarlı olduğu bulunmuştur.

Tablo 2. RAP – İÇM ilişkisi

KARIŞIM TİPİ	İÇM (SINIR DEĞER) (81,25)
%30 RAP	83,75
%50 RAP	97,35
%70 RAP	94,59

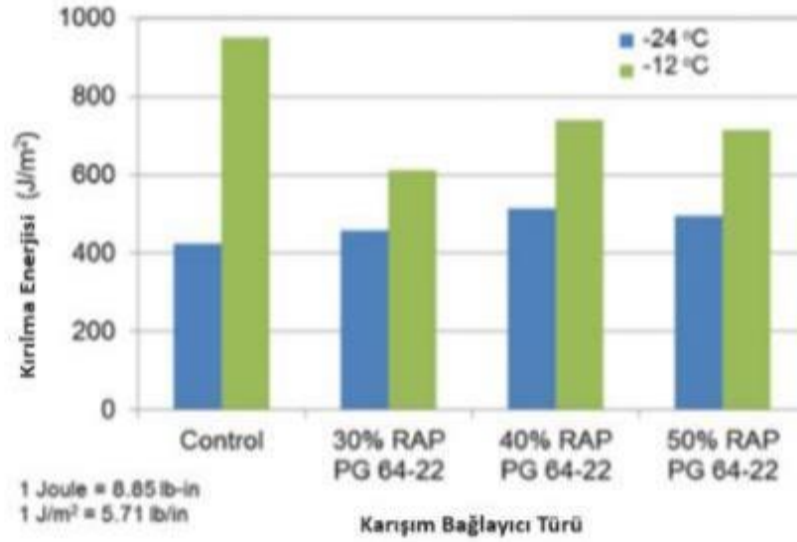
Prashanth, (2019), Tekerlek izleri, yol kusurlarının en önemli nedenlerinden biridir. Tekrarlanan trafik yüklerinin uygulanması sonucu ortaya çıkan plastik deformasyonun birikmesidir. Bunun nedeni bitümlü karışımların yoğunlaşması veya kayma deformasyonu olabilir. Bu özellikler karışımın ölçüsünden ve sertliğinden etkilenir. Asfalt karışımına RAP ilavesinin plastik deformasyona karşı direnç yeteneğini arttırdığı ve dolayısıyla bu özelliğin test edilmesinin büyük önem taşıdığı görüldü. Yenilenmiş RAP bazlı taş mastik asfalt karışımları üzerinde laboratuvar tekerlek izi testi, daldırma tekerleği izleme test makinesi kullanılarak incelenmiştir. Karışımlardaki tekerlek izleri, 10.000 yük döngüsünden sonra doğrusal Dikey Yer Değiştirme Dönüştürücüsü (LVDT) aracılığıyla elde edilen bir veri toplama sistemi kullanılarak ölçüldü. Bir yük döngüsü, yüklü tekerleğin test numunesi üzerinde ileri geri hareketi anlamına gelir. Tablo 3’de, RAP içermeyen, %30 RAP, %50 RAP ve %70 RAP içeriği olmayan taş mastik asfalt karışımlarının tekerlek izi testi sonuçlarını özetlemektedir. Şekilden RAP değeri yüksek karışımların daha düşük deformasyon değerlerini gösterdiği görülmektedir. Tüm numunelerin tekerlek izi derinliğinin 5 mm’nin altında olması, karışımdaki agregalar arasında daha iyi bir taş-taş temasının kurulduğunu gösterir. Ayrıca karışıma RAP eklenmesi tekerlek izi derinliğini yaklaşık 1 mm azaltmıştır. Bunun nedeni RAP’ın eklenmesiyle karışımdaki artan sertlik olabilir.

Tablo 3. RAP- Tekerlek izi ilişkisi

Geçiş Sayısı	Karışım	Deformasyon					
		R1			R2		
		30%	50%	70%	30%	50%	70%
0	0	0	0	0	0	0	0
1000	1,80	1,30	1,10	1,00	1,00	1,00	0,80
2000	2,10	1,60	1,30	1,20	1,40	1,20	1,10
3000	2,30	1,90	1,60	1,60	1,80	1,60	1,50
4000	2,70	2,40	2,00	2,00	2,40	1,90	1,90
5000	3,00	2,70	2,40	2,30	2,70	2,30	2,20
6000	3,40	3,00	2,70	2,60	3,10	2,70	2,40
7000	3,60	3,20	3,00	2,90	3,30	2,90	2,70
8000	3,90	3,40	3,40	3,10	3,40	3,20	2,90
9000	4,10	3,70	3,70	3,40	3,70	3,50	3,20
10000	4,40	3,90	4,00	3,70	3,90	3,60	3,30

Al-Qadi, Aurangzeb, Carpenter, Pine, Trepanier, (2012), Illinois ulaştırma departmanının talebi üzerine bir araştırma projesinde %0 ila %50 RAP içeren geri

dönüştürülmüş asfalt karışımlarının davranışı incelendi. Yaptıkları deneyler arasında -24 ve -12 sıcaklıklarda SCB numuneleri kullanılarak asfalt karışımlarının kırılma testi de vardı. Bu deneyde kuvvet diyagramını çatlak açılması açısından incelediler. Ayrıca RAP içeren asfalt karışımlarının yorulmasını tahmin etmek amacıyla 4 noktalı kiriş testi de yapılmıştır. Yorulma testlerinin sonuçları, yüzde 40 ila 50 RAP içeren karışımların, yüzde 0 ila 30 RAP içeren karışımlara kıyasla daha düşük yorulma sürelerine sahip olduğunu gösterdi. Ayrıca kırılma testi sonuçları, karışıma RAP eklenmesiyle -12 °C'de kırılma enerjisinin azaldığını gösterdi. Ancak daha sonra RAP'ın bir yüzdesi eklendiğinde kırılma enerjisinde nispi bir iyileşme gözlemlendi. -24 °C'deki kırılma enerjisi RAP eklendiğinde bir miktar iyileşir. Şekil 1. 'de, asfalt bağlayıcı PG 64-22 için bu deneyin sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 1. RAP – Kırılma enerjisi ilişkisi

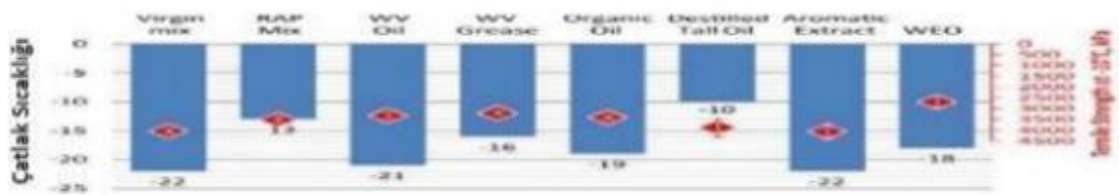
Bu araştırmanın ilginç ve dikkat çekici sonuçlarından biri, RAP yüzdesinin artmasıyla iki sıcaklıktaki kırılma enerjisi değişimlerinin eğiliminin farklı olabilmesidir. -12 °C'de, %30 RAP eklendiğinde kırılma enerjisi önemli ölçüde azalırken, %40 ve %50 RAP eklendiğinde kırılma enerjisi artmıştır. Ancak yine de RAP içermeyen karışımından daha düşüktü. Bu -24 °C'deki asfalt karışımına RAP eklenirken kırılma enerjisi neredeyse değişmeden kalırken %40 ve %50 RAP eklenmesi, RAP içermeyen karışımına kıyasla kırılma enerjisini arttırmıştır. Asfalt bağlayıcı -12°C'de henüz tamamen kırılğan değildi. Daha yüksek RAP yüzdeleri içeren karışımlar, RAP içermeyen karışımlarına kıyasla hem daha yüksek sertliğe hem de daha düşük deformasyonlara sahiptir ve daha düşük kırılma enerjisine sahiptir. Ancak -24°C'de karışımlar tamamen kırılğandır ve yükten kaynaklanan deformasyon

neredeyse yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla RAP arttıkça karışım daha da sertleşerek kırılmalar sertleşir ve kırılma enerjisi artar. NCHRP 9-46 projesi kapsamında %0,25 ve 55 RAP içeren asfalt karışımlarının -9'da kırılma tokluğu ve kırılma enerjisi araştırılmıştır. Kırıklardan birinci moddaki SCB numuneleri kullanılarak, -19 ve -29 °C araştırıldı. Sonuçlar, tüm sıcaklıklarda RAP yüzdesinin artmasıyla kırılma tokluğunda bir artış olduğunu gösterdi. Bir yandan RAP yüzdesinin artmasıyla -9 °C'deki kırılma enerjisi azalırken, RAP yüzdesinin artmasıyla kırılma enerjisinde bir artış gözlenmektedir. Bunun nedeni, daha düşük sıcaklıklarda kırılma enerjisinin maksimum yükten daha fazla etkilenmesidir, RAP yüzdesinin artmasıyla maksimum yük arttığından, daha düşük sıcaklıklarda RAP yüzdesinin artmasıyla kırılma enerjisinin azalmasıdır.

Shah, McDaniel, Huber, Gallivan (2007) yılında yapılan bir çalışmada, -10°C'de % 0, 15, 25 ve 40 RAP içeren asfalt karışımları üzerinde dolaylı çekiş testi gerçekleştiren RAP yüzdesinin arttırılmasının karışımın sertliğini arttırdığını, dolayısıyla karışımların kritik çatlak sıcaklığının arttığını göstermiştir.

Walla Mogawer ve ark. 2016 yılındaki araştırmalarında, %50 RAP içeren asfalt karışımlarının performansını iyileştirmeyi amaçladılar. Bu doğrultuda, gençleştiriciler, farklı asfalt bağlayıcıları ve SBS polimeri kullandılar. Sonuçlarına göre, bu yöntemlerin tümü, %50 RAP içeren asfalt karışımlarının çatlaklar ve yorgunluğa karşı direncini artırmada etkili olmuştur. Ancak, modifiye edilmemiş geri dönüştürülmüş karışımların, normal karışıma kıyasla daha düşük direnç gösterdiği gözlemlenmiştir.

Mallick, O'Sullivan, Tao, Frank (2010), Bu araştırmada geri dönüştürülmüş karışımların daha yüksek kritik çatlak sıcaklıklarına sahip olduğu ve gençleştirici kullanımının bu eksikliği önemli ölçüde giderdiği ortaya koymuştur. Bu deneyin sonuçları Şekil 2'de sunulmaktadır. Bu şekilde görülebileceği gibi gençleştirici içermeyen geri dönüştürülmüş karışımın kritik çatlak sıcaklığı, RAP içermeyen karışımından 10 °C daha yüksektir.



Şekil 2. Gençleştirici – RAP ilişkisi

1.3. Çalışmanın Amacı

Rafineri teknolojilerinin gelişimi ham petrolün daha çok damıtılmasına neden olmaktadır. Ham petrolden üretilen asfalt çimentolarının adezyon özellikleri ileri rafinerizasyon ile azalmaktadır. Ayrıca artan trafik yükleri ile de kaplamalar daha büyük gerilmelere tekrarlı olarak maruz kalmaktadır. Taş mastik asfalt tekerlek izine dirençli bir karışım olarak üretilmiştir. Günümüzde agrega ve bitüm yönlü modifikasyon neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Taş mastik asfalt kaplamalarda SBS polimeri yaygınca kullanılmaktadır. SBS polimeri karışımın adezyon ve kohezyon direncini korumakta ve aynı zamanda su hasarı direncini de artırmaktadır. TMA kaplamalarda agreganın büyük oranda silis içeren kayalardan yaygınca oluşması durumu karşısında TMA karışımlar için soyulma önleyici katkı kullanımı da öne çıkmaktadır. TMA karışımlar, çoğunlukla polimerlerin, soyulma önleyicilerin ve bitüm drenaj önleyen selülozik fiberlerin varlığında üretilmektedir. Bu çalışmada seçilen bir soyulma önleyici katkı ile SBS birlikteliğinde oluşması muhtemel birlikte kazanım çalışma prensibi sorgulanmaktadır. Bu sorgulama, sadece kontrol karışımlar için değil aynı zamanda yüksek oranda RAP katılan karışımlarda bu birlikteliğin etkisi araştırılmaktadır. %40 oranında RAP varlığında SBS ve farklı dop oranları için polimer ve soyulma önleyici katkı birlikteliğinde karışımlar su hasarı ve tekerlek izi performansları yönünden sorgulanmaktadır. Soyulma önleyicilerin hibrit özellikleri gereği sinerjik bir performansın söz konusu olabileceği değerlendirilmektedir. Özellikle yüksek RAP içeriğinde (%40) soyulma önleyicinin numuneler üzerinde bir gençleştirici (rejuvenator) etkisi gösterip göstermeyeceği irdelenmektedir.

1.4. Taş Mastik Asfalt (TMA)

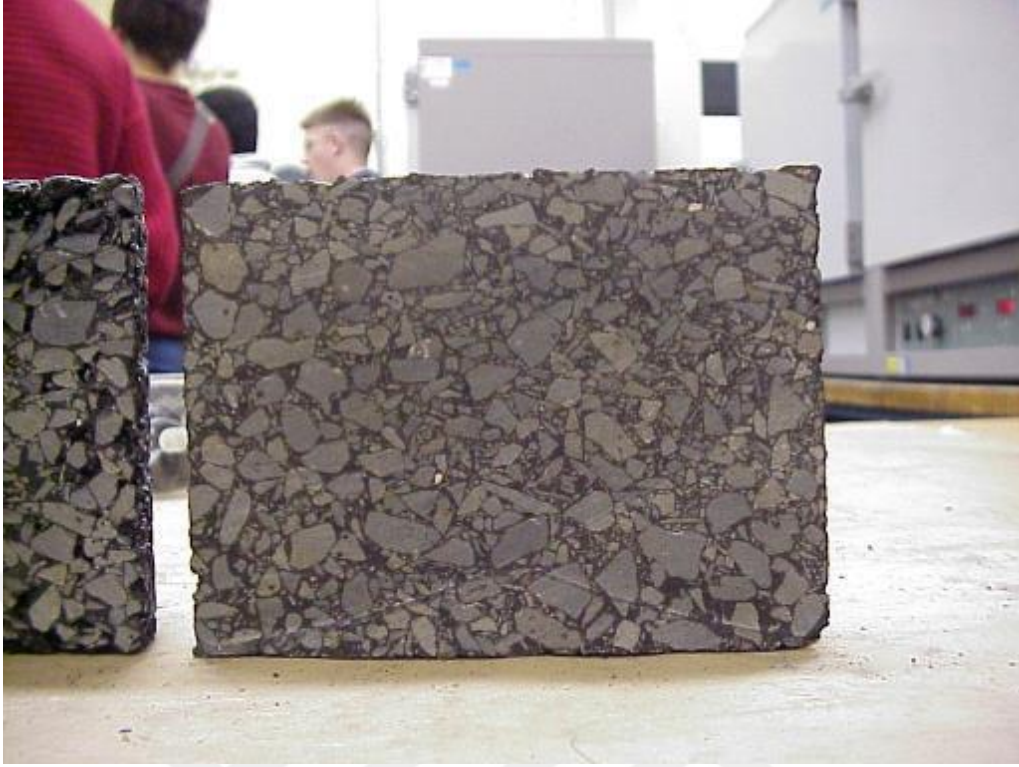
Taş Mastik Asfalt (TMA), 1960'lı yıllarda Almanya'da geliştirildi. Bu karışımlar yüksek hacimli yollara uygun, deformasyona dayanıklı ve dayanıklı yüzey kaplama sağlar. TMA, konut caddeleri ve otoyollar için dayanıklı bir yüzey kaplama seçeneği olarak Avrupa, Avustralya, Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada'da kullanım alanı buldu. TMA, kalıcı deformasyona direnecek bir iskelet oluşturacak şekilde birbirine kenetlenen yüksek iri agrega içeriğine sahiptir. Taşlar, bitümün yeterli stabilitesini sağlamak ve karışımın taşınması ve yerleştirilmesi sırasında bağlayıcının drenajını önlemek için elyafların eklendiği bitüm mastiği ve dolgu maddesi ile doldurulur. Tipik bir TMA bileşimi %70 ila

%80 iri agrega, %8 ila %12 dolgu maddesi, %6 ila %7 bitümlü bağlayıcı ve %0,3 elyaftan oluşur. TMA'nın deformasyon direnci kapasitesi, geleneksel yoğun kademeli asfaltla karşılaştırıldığında taş üzerinde daha fazla taş teması sağlayan kaba iskeletinden kaynaklanmaktadır. Yüksek bitüm içeriği aynı zamanda karışımın esnekliğini de artırır. Az miktarda selüloz veya mineral elyafın eklenmesi, malzemenin taşınması ve yerleştirilmesi sırasında bitümün drenajını önler (Prashanth, 2019).

Taş mastik asfalt (TMA), taş temasının yapısal bir temelini kullanarak deformasyon (izlenme) direncini ve dayanıklılığını en üst düzeye çıkarmak için tasarlanmış, boşluk dereceli bir sıcak karışım asfaltıdır. Agregaların hepsi temas halinde olduğundan, izlenme direnci asfalt bağlayıcı özelliklerinden ziyade agrega özelliklerine dayanır. Agregalar yük altında asfalt bağlayıcı kadar deforme olmadığından, bu taş-taş teması izlenmeyi büyük ölçüde azaltır. TMA genellikle tipik bir yoğun gradasyonlu sıcak karışım asfalttan (yaklaşık %20 - %25) daha pahalıdır çünkü daha dayanıklı agregalar, daha yüksek asfalt içeriği ve tipik olarak modifiye edilmiş bir asfalt bağlayıcı ve lifler gerektirir. Doğru durumlarda, artan izlenme direnci ve iyileştirilmiş dayanıklılığı nedeniyle uygun maliyetli olmalıdır (NAPA,1999).

TMA karışımları yüksek asfalt bağlayıcı içeriğine sahip olduğundan (%6 mertebesinde), nakliye kamyonlarında ve yerleştirildikten sonra bekletilirken asfalt bağlayıcı agrega üzerinden aşağı doğru süzülme eğilimindedir - bu "karışım drenajı" olarak bilinen bir olgudur. Karışım drenajı genellikle asfalt bağlayıcıyı yerinde tutmak için selüloz veya mineral lifler eklenerek önlenir. Selüloz lifler genellikle parçalanmış gazete ve dergilerdir, mineral lifler ise erimiş kayadan eğilir. Karışımın aşırı drenaja maruz kalmadığından emin olmak için karışım tasarımı sırasında bir laboratuvar testi yapılır (NAPA ,1999).

TMA'nın başka faydaları arasında ıslak hava sürtünmesi (daha kaba bir yüzey dokusu nedeniyle), daha düşük lastik gürültüsü (daha kaba bir yüzey dokusu nedeniyle) ve daha az şiddetli yansıtıcı çatlaklar bulunur. Mineral dolgu maddeleri ve katkı maddeleri genellikle inşaat sırasında asfalt bağlayıcının boşalmasını en aza indirmek, karışımında kullanılan asfalt bağlayıcı miktarını artırmak ve karışımın dayanıklılığını iyileştirmek için eklenir (NAPA,1999).



Şekil 3. TMA Yapısı (URL – 4,2024)



Şekil 4. Yoğun dereceli numune (sol) TMA numunesi (sağ) (NAPA,2001)

1.5. Marshall Deneyi

Marshall yöntemi, diğer karışım tasarım yöntemleri gibi, her biri farklı bir asfalt bağlayıcı içeriğine sahip birkaç deneme agrega-asfalt bağlayıcı karışımı (tipik olarak her biri 3 numune olmak üzere toplam 15 numunedan oluşan 5 karışım) kullanır. Daha sonra, her deneme karışımının performansını değerlendirerek optimum bir asfalt bağlayıcı içeriği seçilebilir. Bu konseptin işe yaraması için, deneme karışımları optimum asfalt içeriğinin hem üstünde hem de altında bir dizi asfalt içeriğine sahip olmalıdır. Bu nedenle, numune hazırlamanın ilk adımı optimum bir asfalt içeriği tahmin etmektir. Deneme karışımı asfalt içerikleri daha sonra bu tahminden belirlenir. Optimum asfalt bağlayıcı içeriği tahmininin sonuçlarına dayanarak, numuneler genellikle karışım artışlarının ağırlığının %0,5'i oranında hazırlanır ve en az iki numune tahmini asfalt bağlayıcı içeriğinin üstünde ve iki numune de altında olacak şekilde hazırlanır. (URL-1,2024).

Bitümlü sıcak karışımların tasarımı için kullandığımız Marshall tasarım metodu TMA karışımların dizaynında da bir metot olarak kullanılabilir. Marshall metodu kavramı ilk olarak bitüm mühendisi Bruce Marshall tarafından formülize edilmiştir. Daha sonra “U.S. Corps of Engineers” (ABD istihkam sınıfı) kuruluşu tarafından çok geniş araştırma ve korelasyon çalışmalarıyla karışım tasarım kriterlerini geliştirmiştir. “American Society for Testing and Materials” Amerikan deney ve materyal topluluğu tarafından ASTM D 1559 Marshall test metodu adıyla standart hale getirilmiştir. Marshall test metodunun Türk standartlarındaki karşılığı TS 3720’ de verilmiştir (Yıldız,2003).

Bitümlü sıcak karışımların optimum bitüm içeriğinin belirlenmesinde kullanılan Marshall tasarım metodu sıkıştırma enerjisinde uygulanan bir miktar azaltmayla TMA karışımlar içinde kullanılır. Bitümlü sıcak karışımların tasarımı için sıkıştırılmasında 2 x 75 darbe kullanılırken, TMA karışımlarda 2x50 darbe kullanılır. Buradaki amaç Marshall tokmağı ile sıkıştırma enerjisi uygulanması sırasında TMA karışımındaki agregaların kırılarak gradasyonun bozulmamasıdır (Yıldız, 2003).

Marshall tasarım metodunun yapılış aşamaları: Marshall yöntemi, yalnızca maksimum boyutu 25 mm veya daha küçük agrega ihtiva eden ve penetrasyon veya viskozite ile sınıflandırılmış bitümlü bağlayıcı kullanılan sıcak karışım asfalt kaplama karışımlarına uygulanır. Metot sıcak karışım asfalt kaplamaların laboratuvar tasarımı için tasarlanmıştır.

Marshall tasarım metodunun aşamalarını kısaca aşağıdaki sırada verebiliriz (TS3720,1983).

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

1.6. Geri Dönüştürülmüş Asfalt (RAP)

Geri dönüştürülmüş asfalt (RAP), kullanım dışı bir kaplamadan çıkarılan ve sıcak veya soğuk geri dönüşüm yoluyla kaplama yapısına geri döndürülmek üzere daha ileri işlemlere tabi tutulan kullanım ömrü bitmiş asfalt malzemesine verilen isimdir. Çoğunlukla şantiyeden elde edilen eski kaplama malzemesi merkezi tesise taşınır ve kırılır, elenir, boyutlandırılır ve stoklanır (Little & Epps,1980).

Kaplamaların hizmet ömrü boyunca yolların en iyi durumda tutulması için düzenli olarak onarım ve bakım çalışmaları yapılmaktadır. Yol onarımı ve bakımı önemli miktarda atık üretir. Yenileme ve bakım çalışmaları sırasında bir Yol kaldırıldığında asfalt kaplama atığı olarak bilinen malzeme üretilir. Bu malzeme RAP (Geri Dönüştürülmüş Asfalt Kaplama) olarak adlandırılan asfaltla kaplanmış agregalardan oluşur. Geçmişte, bu RAP malzemeleri esas olarak geçici erişim için ve yol yapımında alt temel malzemesi olarak yeniden kullanılmıştı ve bu da yeterince iyi değildi. Bu malzemeler uygun şekilde işlendiğinde genellikle çok faydalıdır. Asfalt her zaman geri dönüştürülebilir bir malzeme olmuştur ve hatta dünyada geri dönüştürülebilir sudan sonra ikinci sırada yer almaktadır (Prashanth, 2019).

RAP malzemesinin özellikleri, orijinal asfalt karışımının türü ve özellikleri, malzemeyi geri kazanmak için kullanılan teknoloji, kaplamanın hizmet ömrü, çevre ve trafik

koşulları ve agregaların kalitesi ve özellikleri gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Montanez vd. 2020) Bunlar;

- Gradasyon; Geri kazanılmış asfalt malzemesinin parçacık boyutu dağılımı, trafik yüklemesi sırasında agregaların ezilmesi ve öğütme işlemi sırasında oluşan toz nedeniyle genellikle orijinal karışımda kullanılan agrega gradasyonundan daha incedir. RAP malzemesindeki yüksek ince içerik, karışım tasarım spesifikasyonlarının yerine getirilmemesi nedeniyle asfalt karışımlarındaki içeriğini sınırlamaktadır(Copeland 2011). Bu nedenle, geri kazanılmış asfalt malzemesinde toz oluşmasına neden olacak operasyonlardan kaçınmak için dikkatli olunmalıdır. Örneğin, ezme yönteminin RAP malzemesinde daha az bozulmaya neden olduğu ve öğütme yöntemine kıyasla daha düşük ince parçacıklarla sonuçlandığı bilinmektedir (Kandhal & Mallick 1997).İnce oluşumu sınırlamak için RAP malzemesinin aşırı işlenmesinden kaçınılması da tavsiye edilir(West ve diğerleri, 2013).
- Değişkenlik; RAP malzemesi farklı bileşimlere sahip farklı asfalt kaplama katmanlarından gelir ve yığınlar farklı kaynaklardan gelen malzemelerle inşa edilir. Etkili bir RAP stok yönetimi, RAP malzeme özelliklerinin değişkenliğini azaltmak için çok önemli olabilir. Birden fazla projeden elde edilen malzemelerin karıştırılması istenmez çünkü stoğun değişkenliğini büyük ölçüde artırabilir (McDaniel ve Anderson, 2001).
- Nem Tutma; Nem tutma sorunu, geri kazanılmış asfalt malzemenin istiflenmesiyle ilişkilidir (Kandhal ve Mallick 1997). RAP malzemesindeki yüksek nem içeriği, tesisin üretim oranında ve karışımdaki RAP içerik sınırında sınırlayıcı bir faktör olabilir(West vd. 2013). Nemin tutulmasını önlemek için, çöken suyun boşaltılması amacıyla stoklama için büyük konik yığınlar kullanılabilir ancak bu aynı zamanda RAP malzemesini ayırmaya daha yatkın hale getirebilir (West vd. 2013). Stokun kendi kendine konsolidasyon potansiyelini azaltmak için işlenmiş RAP ve öğütülmüş ürün stoklarının yüksekliğinin 10 metre ile sınırlandırılması tavsiye edilir (West 2015).

- Kirlilik; Geçmişte asfalt karışımında kömür katranı ve diğer katran damıtlıkları kullanılıyordu. Avrupa'da, 50 mg/kg'ın üzerinde polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) içeren RAP malzemesi, sıcak geri dönüşüm/yeniden kullanım prosesi için reddedilmektedir (EAPA 2017). RAP malzemesi aynı zamanda hizmet ömrü boyunca yol işaret boyalarından kaynaklanan kurşun veya krom pigmentleri ve araç egzozundan kaldırımında biriken PAH'lar gibi toksik maddeleri de biriktirebilir (Murtagh ve Vallette 2017). Bu toksik maddeler inşaat süreci sırasında açığa çıkabilir. Ayrıca, toksik maddelerin tedarik zinciri boyunca aktarılmasını taramak ve önlemek için çaba gösterilmelidir.

Yüzey tabakası karışımlarındaki mevcut geri kazanılmış asfalt içeriği çoğu ülkede %10-30 ile sınırlıdır (Abed vd., 2018). Yüksek içerikli RAP karışımlarının tasarımı, geleneksel asfalt karışımlarıyla karşılaştırıldığında çok daha karmaşıktır. İlk olarak, RAP malzemesi, ince agrega ve oksitlenmiş bağlayıcıdan oluşan bir mastik ile bağlanan bir kaba agrega kümesi formundadır. RAP malzemesinin parçacık boyutu dağılımı, öğütme işleminden kaynaklanan toz oluşumunun yanı sıra hizmet ömrü boyunca trafik yüklerinden dolayı agregaların parçalanması nedeniyle genellikle orijinal karışımdan daha incedir. Yüksek miktardaki ince taneler nedeniyle, RAP malzemesi kullanılarak üretilen karışımların gradasyon gereksinimlerini karşılamak zorlaşmaktadır. Pek çok kuruluş için geri kazanılmış asfaltın kullanılmasıyla ilgili bir diğer önemli husus da malzemenin değişkenliğidir (McDaniel ve Anderson, 2001).

RAP malzemesi, tatmin edici performansa sahip asfalt karışımları üretmek için daha yumuşak bağlayıcı, yumuşatıcı maddeler veya gençleştiriciler kullanılarak değiştirilmesi gereken oksitlenmiş bağlayıcıdan oluşur. Bunlar arasında gençleştiriciler, sadece bağlayıcıyı yumuşatmakla kalmayıp aynı zamanda asfalten/malten oranını ayarlayarak yaşlanmış bağlayıcının özelliklerini de dengelediğinden yaşlandırılmış bitümün işlenmesinde en etkilidir (Garcia ve diğerleri, 2011; You ve diğerleri, 2011).

Gençleştiriciler geri dönüştürülecek olan bağlayıcıya nüfuz eder, viskozitesini azaltır ve asfalt karışımının işlenebilirliğini artırır. Bununla birlikte, farklı kaynaklara dayanan ve farklı miktarla karışım ile sonuçlanabilecek çeşitli gençleştiriciler vardır ve bunların uzun vadeli etkinlikleri çalışmalarda geniş çapta araştırılmamıştır. Sektördeki en büyük endişelerden biri, çeşitli gençleştiriciler kullanılarak geri dönüştürülen karışımlar üzerinde

saha yaşlanması simüle edilmesiyle ele alınan, geri kazanılmış asfalt karışımlarının bilinmeyen uzun vadeli performansdır (Rathore, 2022).

1.7. SBS Katkı Maddesi ve Özellikleri

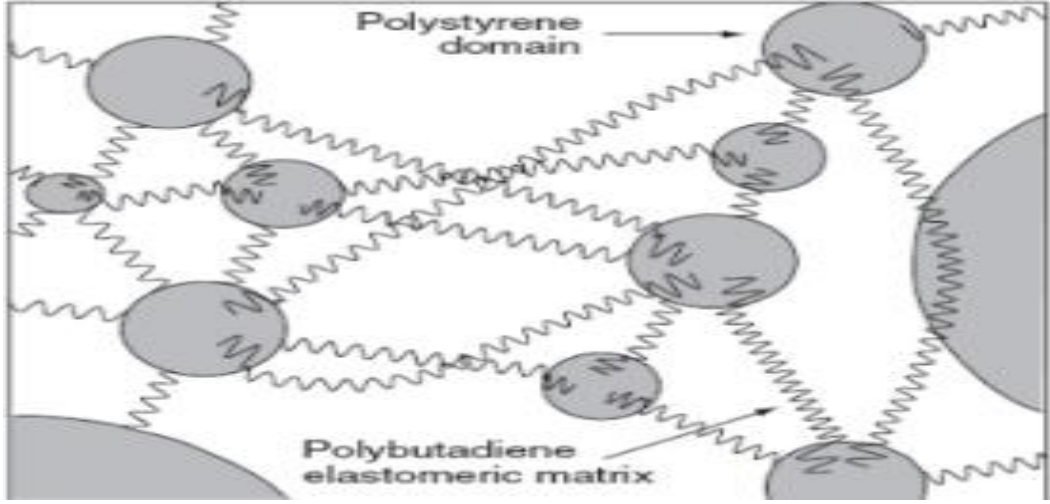
Polimer ilavesiyle özellikleri değiştirilmiş asfaltların kullanımı, geleneksel asfaltlara kıyasla hava ve trafik kaynaklı (araç ve ağır iş makinelerinin geçişi, zamanla aşınma vb.) değişim ve deformasyonlara karşı direnç mekaniğinde önemli bir iyileşme göstermektedir (URL-3,2024).

SBS (stiren-bütadiyen-stiren) Şekil 7’de gösterilen toz deterjan görünümüne sahiptir. Gerekli koşulları sağlayarak yapılan modifikasyonda bitüm içerisine Bitüme yeterli oranda katıldığında bitüm içerisinde bir ağ oluşturmakta (Şekil 5, Şekil 6) ve bitüm performansını önemli ölçüde artırmaktadır.

Bağlayıcının performans derecesini yüksek sıcaklık derecesini iyileştirmek için polimerlerin kullanılması gerekir. Yalnızca birkaç polimer türü, bitümlerle böyle bir geliştirme sağlayacak şekilde etkileşime girer; bunlar arasında da yalnızca camlaşma noktası düşük olan polimerler, asfalt karışımlarına düşük sıcaklıklarda fazladan esneklik verir ve sıcaklıkla ilgili olumsuz etkenlere karşı koymalarını sağlayacak bir iç yapışkanlık kazandırır. Bu iki özelliği çok verimli ve etkin bir biçimde sağlayan polimerlerden biri, stiren-bütadiyen-stiren 'dir (Vonk, Van , 1989).

Bitüm ve SBS'in hem ortalama çözünürlük parametreleri birbirine yakındır, hem de aromatik bileşikler olan bitümler, kullanım sıcaklıkları 70°C'nin altında olmasına karşın, 160°C'nin üstündeki sıcaklıklarda işlenirler (Vonk, 1998).

SBS sıcak bitüme ilave edildiğinde, polimer bitümden maltenleri emer ve başlangıçtaki hacminden dokuz kat fazla şişer. Kütle itibarıyla %4-%6 arasındaki konsantrasyonlarda şişen polimer bitümün hacmindeki ana bileşen haline gelir. SBS'in daha düşük konsantrasyonlarında, polimer ağı sürekli olmayabilir. Ama parçalı formda bile bitümün önemli bir hacmini alır ve asfalt performansında kayda değer iyileştirmeler sağlar. Bitüm soğuduğunda, polistiren uç blokları 100 °C altında kütleler oluşturur ve bunlar polibütadienin üç boyutlu ağının fiziksel kesişme noktaları haline gelir. Polistiren uç blokları yapıya güç kazandırır ve polibütadien orta bloku materyale olağanüstü elastikliğini kazandırır. 100 °C'nin üzerinde yeniden ısıtıldığında, polistiren uç blokları yumuşar ve malzeme yeniden akar.



Şekil 5. Kullanılan SBS maddesinin yapısı (Von, Van, 1989)



Şekil 6. Asfaltla kaplanmış SBS molekülleri (URL-2, 2004)



Şekil 7. SBS malzemesi (İskender, 2008)

SBS polimerler, genellikle gözenekli taneler biçiminde üretilir. SBS ile bitümün karıştırılması temelde bir çözme işlemidir. İşlem genellikle 180-190°C arası sıcaklıklarda yapılır ve bu sıcaklıkta saf polimer sıvılaşacak derecede erimez. Polimer, sıcak bitüme temas eder etmez bitümün asfaltten içermeyen bileşenlerini soğurmaya başlar. Bunun sonucunda stiren bölgeleri zayıflar ve zamanla tek moleküller, molekül ağından koparak çözeltiye karışır. Azami boyutu 1200 mikron olan öğütülmüş SBS'nin kullanılması halinde, aynı koşullarda aynı bitüm içinde tam olarak çözünme süresi 2 saatin altına düşer. SBS'in bu öğütülmüş çeşidi, basit karıştırma gereçlerinin kullanılmasını mümkün kılar. Burada dikkat edilmesi gereken sadece iki nokta vardır: Tozun büyük parçalar halinde atılmaması ve çalkalama esnasında temas etmeyen bölümlerin bırakılmaması. Eğer buna dikkat edilmezse parçacıklar topak haline gelir ve çözünmesi saatler alacak tek bir büyük parçaya dönüşür (Vonk, 1998).

Bitümün modifikasyonundan önce, karışımların istenmeyen oksidasyonu gibi ters etkilerden kaçınmak için SBS'nin yapışmamış toz halinde olup olmadığı kontrol edildi. Düşük hızda karıştırma operasyonu ile daha önceden 180 °C'ye kadar ısıtılan bitüm içerisine, polimer tozlarının kümeleşmesinden kaçınmak için yavaş yavaş katıldı. SBS eklenmesinden sonra karıştırma hızı artırıldı ve 2 saat daha karıştırmaya devam edildi. Karıştırmadan sonra, 160 °C sıcaklıkta 1 saat dinlendirildi. Polimer ve asfalt arasında faz ayrışması gözlenmedi ve briket üretiminde kullanılmak üzere daha küçük kutulara konuldu. Bu yöntemin uygunluğu diğer araştırmacılar tarafından da kanıtlanmıştır (Gahvari, 1996).

Polimer değiştiricilerin avantajı malzemenin dozajına, morfolojisine, moleküler ağırlığına, kimyasal özelliklerine ve moleküler yapısına bağlı olarak değişecektir. Bu faktörlerin her birinin yanı sıra ham kaynak, arıtma yöntemi ve saf asfalt bağlayıcının derecesi kritik öneme sahiptir. Bu katkı maddeleri arasında SBS en yaygın kullanılan elastomerik tip kopolimerdir. Çeşitli çalışmalar SBS modifiye asfalt bağlayıcının yüksek sıcaklıklarda daha kalıcı deformasyon direnci, düşük sıcaklıklarda çatlama ve yorulma çatlama gösterdiğini ortaya koymuştur (Gordon D. Airey, 2003; İskender ve diğerleri, 2012b; X. Lu ve Isacsson, 1997; Xiaochun Lu ve diğerleri, 1998).

1.8. Dolaylı Çekme Mukavemeti Testi

Dolaylı çekme mukavemeti (İÇM), EN 12697 23'e göre, 50 mm/dk sabit hızda numunenin dairesel kesiti boyunca çapsal bir yükleme uygulanarak ve arızaya kadar yük kaydedilerek gerçekleştirilir. Test numuneleri, İÇM değerlendirmesi için her iki tarafa 50 darbe ve EN 12697-12'ye göre nem duyarlılığı için her iki tarafa 35 darbe ile EN 12697-30'a göre Marshall kompaktörü kullanılarak sıkıştırılmıştır. Neme duyarlılık değerlendirmesi için, karışımlardaki nem hasarını belirlemek amacıyla ıslak numunelerin ve kuru numunelerin indirekt çekme mukavemetinin oranı hesaplanır ve yüzde olarak ifade edilir (Rathore,2022).

Karışımların çekme mukavemeti, agrega-bağlayıcı etkileşiminin yapışma ve kohezyon özelliklerini gösteren, kaplamada çekme mukavemetine karşı geliştirilmiş direnç sağlayan önemli bir özelliktir. Karışımların nem hasarına karşı direnci AASHTO T283 standardı kullanılarak araştırıldı (AASHTO T283,2014).

İÇM'yi elde etmek için AASHTO T322'ye göre 25 °C'de 5,1 cm/dakika sürekli deformasyon hızına sahip bir çekme kuvveti uygulandı. Çekme mukavemeti oranı (İÇM), nem bozulmasının neden olduğu karışım bütünlüğündeki bir azalmayı belirtir ve şartlandırılmış numunenin gerilme mukavemetinin şartlandırılmamış numuneye bölünmesiyle hesaplanır. İÇM için başarısızlık kriteri olarak sıklıkla minimum %80 oranı kullanılmıştır (AASHTO T322,2011).



Şekil 8. İÇM deney düzeneği

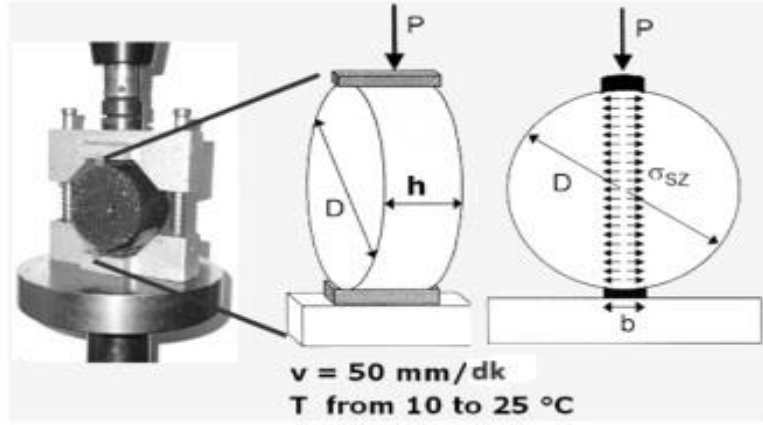
Deneyi açıklamak gerekirse; numune alt yükleme şeridi üzerine yerleştirildi ve daha sonra çapın düzlemi boyunca numuneler arasında yeterli temasın sağlanması için kalıbın üst kısmı alçaltıldı. Kurulumun tamamı Şekil 8 ve Şekil 10'da gösterildiği gibi Marshall Kafasına yerleştirildi. Numune artık daha fazla yükü kaldıramayacak hale gelene kadar 50

mm/dakikalık sabit bir deformasyon hızı muhafaza edilerek dikey bir basınç yükü uygulanır. Bitümlü karışımın dolaylı çekme dayanımını belirleme prosedürü (Prashanth,2019):

- Marshall Stabilite Testi sonucu elde edilen optimum bağlayıcı içeriğindeki kalıplar hazırlanarak numuneler sıkıştırılır.
- Nem hasarını, yani Çekme mukavemeti oranını (İÇM) belirlemek için numuneler iki durum için hazırlanır; biri koşullandırma için, diğeri koşullandırmama için.
- İÇM'yi belirlemek için her durum için üç numune hazırlanacaktır. Ve bireysel numunelerin çapı ve kalınlığı not edilir.
- Şartlandırılmamış numuneler durumunda test, numunelerin iki saat süreyle 25°C'de termostatik olarak kontrol edilen bir su banyosuna daldırılmasıyla gerçekleştirilir. (Şekil 9.)
- Numune Marshall kafasına yerleştirilir ve yükleme uygulanır, Yükleme hızı 50 mm/dk'dır ve numunenin kırıldığı anda ki yük kaydedilir.
- Numunenin dolaylı gerilmesi belirlenir ve diğer numunelere de aynı sıra da devam edilip İÇM oranları belirlenir.



Şekil 9. Su banyosu gösterimi



Şekil 10. İÇM düzeneği (Grönniger, Wistuba, 2010)

İÇM oranı belirlenirken aşağıda belirtilen formül ile hesaplanır;

P = Numunenin başarısız olduğu yük

T = Numunenin yüksekliği

D = Numunenin çapı

İÇM = MPa cinsinden İndirek Çekme Dayanımı

$$\text{İÇM} = \frac{2 \times P}{\pi \times D \times T}$$

1.9. Tekerlek İzi Deneyi

Tekerlek yüklerinin tekerlek yolu üzerindeki sürekli hareketi, çok küçük miktarda geri dönüşü olmayan gerilimin birikmesine yol açarak, belirli bir süre boyunca kalıcı deformasyona neden olur. Agrega gradasyonu, bağlayıcı türü, yüzey sıcaklığı ve kullanılan katkı maddeleri gibi faktörler bitümlü karışımların tekerlek izi direncini etkiler. Asfalt karışımların tekerlek izi direncini belirlemek için yapılan standart test yöntemlerinden bazıları; statik sünme testi, dinamik sünme, daldırma tekerlek izleme testi, basit kesme ve tekerlek izi testleridir (Prashanth, 2019).

Genel olarak, daha iri agrega gradasyonuna sahip karışımlar, daha az iri agrega gradasyonuna sahip ve karışımın yoğun olarak düzenlenmiş olan karışımlara kıyasla daha iyi tekerlek izi oluşumu performansı sergiler. Bunun nedeni iri agreganın ince parçacıklara göre daha fazla yüke dayanabilmesidir. Karışım daha iri taneli olduğunda agregalı bir iskelet oluşturur, böylece taş üstünde taş bir yapı oluşur. RAP karışımlarının tekerlek izi oluşumu özellikleri, geleneksel işlenmemiş agregalar ve asfalt bağlayıcı içeren Sıcak Karışım Asfalt karışımlarının kontrolüne referansla çeşitli yazarlar tarafından değerlendirilmiş ve

karışımındaki RAP içeriğinin artmasıyla direnç açık ara artmıştır. Laboratuvarında ölçülen %50 RAP karışımlarının tekerlek izi derinlikleri 5 mm'den az olmak üzere kabul edilebilir sınırlar içerisindeydi (Brown, E Ray, Doyle ve ark. 2011).

Yoğun gradasyonlu asfalt karışımları ve değişen yüzdelerde RAP malzemesi içeren boşluk gradasyonlu asfalt karışımları, çeşitli araştırmacılar tarafından tekerlek izi oluşumuna tabi tutuldu. Aralıklı gradasyon asfalt karışımlarının yoğun gradasyonlu karışımlara göre daha yüksek tekerlek izi direnci gösterdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca RAP eklenmesi karışımın tekerlek izi oluşumuna karşı direncini arttırmıştır (Watson ve ark. 2008).

Yenilenmiş RAP bazlı sıcak karışım asfalt karışımlarının hem yoğun hem de boşluk dereceli asfalt karışımlarında kalıcı deformasyona karşı direnci test edilmiştir. Dirençleri RAP karışımlarına göre daha düşük bulunmasına rağmen sonuçlar geleneksel kontrol sıcak karışım asfalt karışımlarından çok daha üstün olmuştur (Prashanth, 2019).

Kurtarılamayan gerinimlerin daha küçük büyüklükteki bu birikimi, tasarlanan TMA karışım numuneleri için %7 hava boşluğunda, Şekil 12'da gösterilen Tekerlek Takip Cihazı üzerinde tekerlek izi testine tabi tutularak test edilir. 100 kg'lık tekerlek yükü, tüm test numuneleri için sabit tutulan 620 kPa'lık temas basıncına karşılık gelen bir çelik lastik aracılığıyla doğrudan numuneye uygulandı. Test için 320 mm uzunluğunda, 260 mm genişliğinde ve 50 mm derinliğinde tasarımı TMA karışımının sıkıştırılmış bir levha numunesi hazırlanır. Cihaz, 200 mm çapında ve 50 mm kalınlığında kauçuk kaplı bir tekerlek, tekerleğe yük sağlayan dirsekli bir yükleme kolu ve hazırlanan numuneyi sağlam bir şekilde tutmak için yanal sınırlamalı bir kalıptan oluşur. Bir motor ve ileri geri hareket eden bir cihaz. ve yüklü tekerlek numune yüzeyinin üzerinde statik bir konumda tutularak numuneyle birlikte 320 mm'lik bir mesafe boyunca platforma doğru ileri hareket eder. Tekerleğin hareketinin neden olduğu deformasyonun derinliği, okumaların görüntülendiği tekerleğin her iki tarafına sabitlenmiş iki LVDT (Doğrusal Değişken Saptırma Dönüştürücüleri) aracılığıyla ölçülür (Prashanth,2019).



Şekil 11. Tekerlek izi düzeneği (Stuart,Youtcheff,2001)

Tekerlek izi deneyi yapılırken şu sıralama izlenir (Prashanth,2019);

- Agregalar tasarım gereksinimlerine göre ısıtılır ve eşit şekilde karıştırılır. Daha sonra gerekli miktarda ısıtılmış bitüm sıcak agregaya ilave edildi.
- Bu gevşek SMA karışımı, sağlam bir çelik kalıpta ($320 \times 260 \times 50$ mm) statik bir sıkıştırma makinesi kullanılarak gerekli yoğunluk ve kalınlığa sıkıştırılır.
- Sıkıştırılmış numune Şekil 13' de gösterilmektedir. 24 saat sonra dökümden sonra levha makineye yerleştirilecek ve tüm kenarları sınırlayıcı plakalarla çevrelenmiştir.
- Statik tekerlek döşeme yüzeyi ile temas ettirilir. Korunacak gerilim seviyesine bağlı olarak konsol üzerindeki ağırlık yastıkları ayarlandı.
- Döşeme 10000 geçiş boyunca karşılıklı yük tekrarlarına tabi tutulmuş ve döşeme yüzeyindeki çöküntü kaydedilmiştir.



Şekil 12. Tekerlek takip cihazı



Şekil 13. Sıkıştırılan numune

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Kullanılan Malzemeler

Agrega özelliklerini belirlemek için uygulanan testler tablo 4 ve 5’de bitüm özelliklerini tanımlamak için uygulanan testler tablo 6’da verilmektedir.

Tablo 4. Kaba agrega özellikleri

Deney Adı	Metot	Birim
Los Angeles Aşınma	TS EN 1097-2	%
Yassılık İndeksi, 5-12 mm	TS EN 933-3	%
Yassılık İndeksi, 12-19 mm	TS EN 933-3	%
Soyulma Mukavemeti	TS EN 12697-11	%
Kil ve Ufalanabilir Taneler	ASTM C142	%
Kuru Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6	Mg/m3
Görünür Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6	Mg/m3
Doygun Kuru Yoğunluğu	TS EN 1097-6	Mg/m3
Su Absorbsiyonu	TS EN 1097-6	%

Tablo 5. İnce agrega özellikleri

Deney Adı	Metot	Birim
Plastisite İndeksi	TS 1900-1	%
Metilen Mavisi	TS EN 933-9+A1	MB
Kurutulmuş Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6	Mg/m3
Görünür Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-6	Mg/m3
Doygun Kuru Yoğunluk	TS EN 1097-6	Mg/m3
Su Absorbsiyonu	TS EN 1097-6	%
Filler Tane Yoğunluğu	TS EN 1097-7	Mg/m3

Tablo 6. Bitümlü bağlayıcı özellikleri

Deney Adı	Metot	Birim
Penetrasyon 25°C	TS EN 1426	0,01mm
Özgül Ağırlık	TS EN 15326 +A1	-
Yoğunluk 25°C		Kg/m3
Yumuşama Noktası	TS EN 1427	°C
Parlama Noktası	TS EN ISO 2592	°C
Çözünürlük	TS EN 12592	%

Kullanılan SBS özellikleri aşağıdaki Tablo 7’de verilmektedir. Kullanılan soyulma önleyici katkının özellikleri ise Tablo 8’de görülmektedir.

Tablo 7. SBS özellikleri

SBS ÖZELLİKLERİ	
Vizkosite (135°C) (cm)	≤ 3
Süneklik (10°C) (Pa.s)	≥ 20
İz Faktörü (kPa)	≥ 1
Penetrasyon Endeksi	≥ 0
Penetrasyon Derecesi (25°C) (0.1mm)	30~60
Yumuşama Noktası (°C)	≥ 60

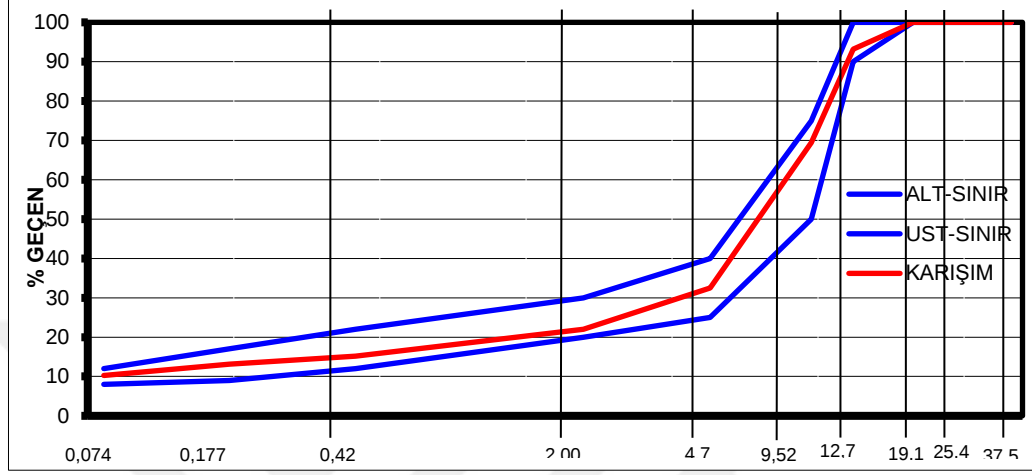
Tablo 8. Soyulma önleyici katkı özellikleri

ASFALT SOYULMA ÖNLEYİCİ KATKI (DOP)

Form	Sıvı
Renk	Koyu Kahverengi - Amber
Koku	Karakteristik Koku
Erime Noktası Aralığı (°C)	-15
Suda Çözünürlüğü	Çözünmez
Viskozite - Kinematik	20 mm ² /s
Kaynama Noktası Aralığı (°C)	350
Parlama Noktası	>140
pH	5

2.2. Elek Analizi Deneyi

Yukarıda gösterilen malzemeleri incelediğiniz de çıkan gradasyon grafiğimiz şekil 14 'de gösterilmiştir.



Şekil 14. Karışım gradasyonu

2.3. Taş Mastik Asfalt Özellikleri

Deneyisel çalışmalarda uyguladığımız Karayolları Teknik Şartnamesi TMA Tip-1'in tasarım kriterleri Tablo 9'da TMA dizaynı ise Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 9. TMA Tip-1 dizayn kriterleri

ÖZELLİKLER	ŞARTNAME LİMİTLERİ
Briket Yapımında Uygulanacak Darbe Sayısı	50
Hava Boşlukları, (%)	2-4,
Sıcak İklim bölgelerinde hava boşlukları, (%)	3-4,
Agregalar arası boşluk (VMA), (%), min. TMA Tip-1	16
Tekerlek izinde oturma *(30 000 devir, 60°C'de), (%)	6
Tekerlek izinde oturma *(30 000 devir, 60°C'de), (%)	0,3-1,5
Schellenberger bitüm süzülme deneyi, (%)	0,3

Tablo 10. Taş mastik dizaynı

ELEK BOYUTU		TMA TİP-1 A
in, No	mm	GEÇEN (%)
3/4 "	19,0	100
1/2 "	12,50	90-100
3/8 "	9,50	50-75
No.4	4,75	25-40
No.10	2,00	20-30
No:40	0,425	12-22
No.80	0,18	9-17
No.200	0,075	8-12

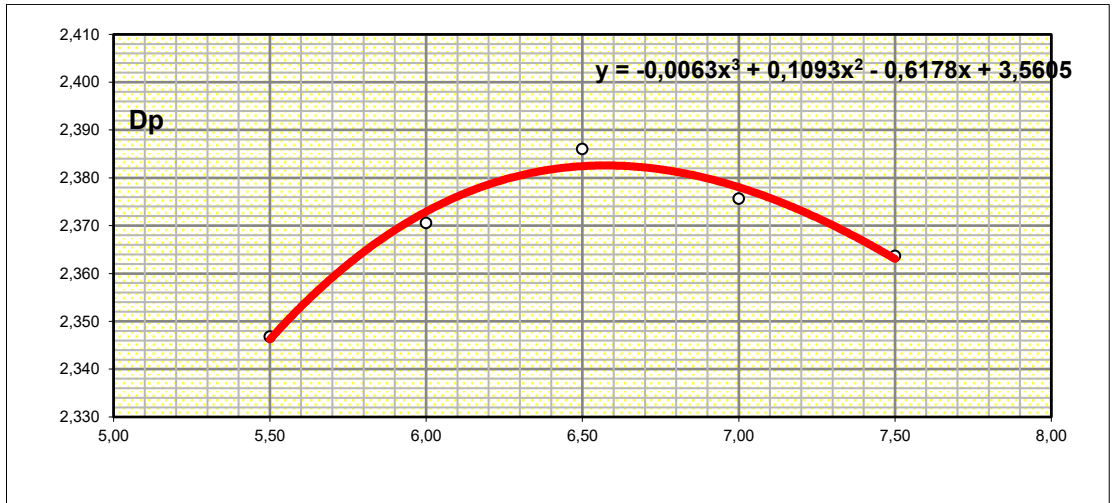
2.4. Marshall Deneyi

Yapılan Marshall deneyi ile çıkan grafikler aşağıda belirtilmiş olup deney sonucu bulunan optimum bitüm değeri %6,40 olarak belirlenmiştir

$$y = -0,0063x^3 + 0,1093x^2 - 0,6178x + 3,5605$$

$$x = 6,40$$

$$y = 2,432$$

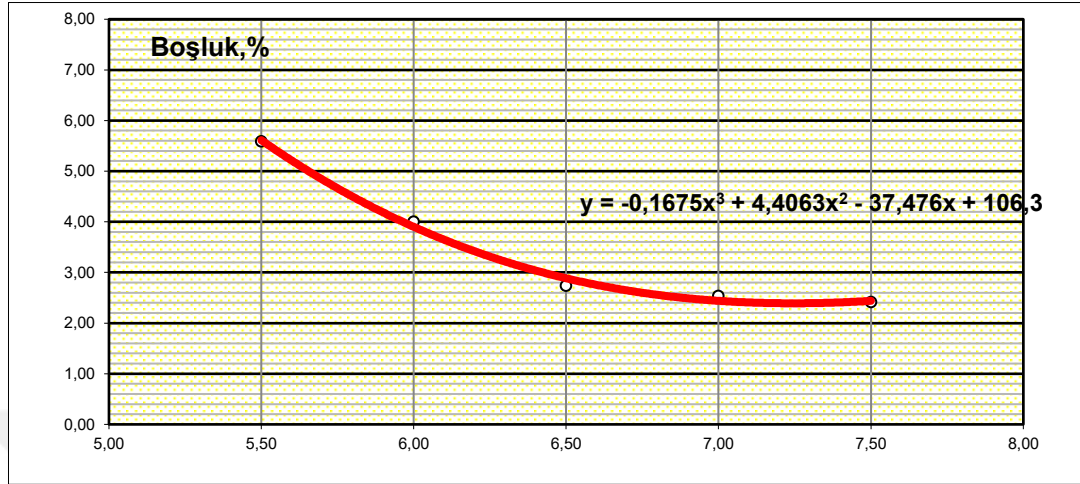


Şekil 15. Dp grafiği

$$y = -0,1675x^3 + 4,4063x^2 - 37,476x + 106,3$$

$$x = 6,40$$

$$y = 3,00$$

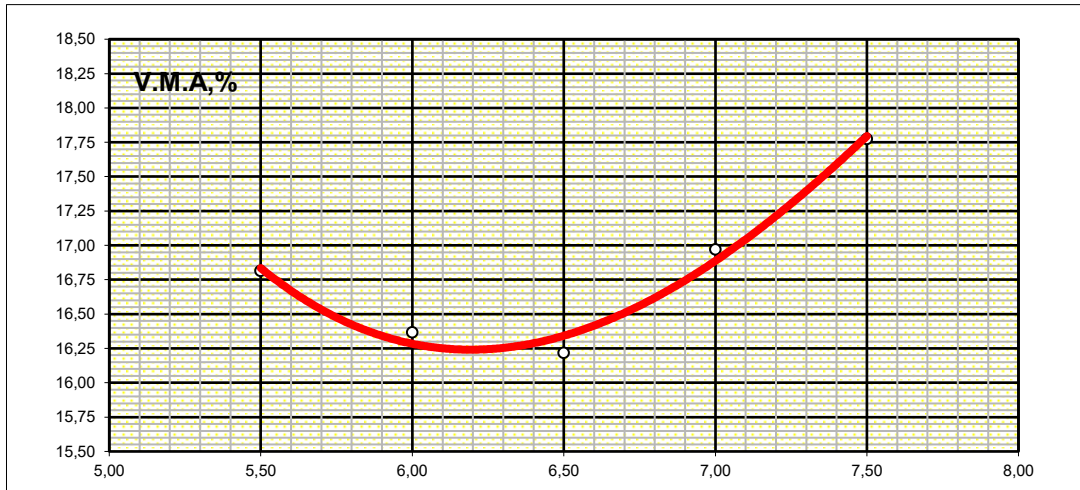


Şekil 16. Boşluk (%) grafiği

$$y = -0,1629x^3 + 4,1481x^2 - 32,64x + 97,969$$

$$x = 6,40$$

$$y = 16,28$$



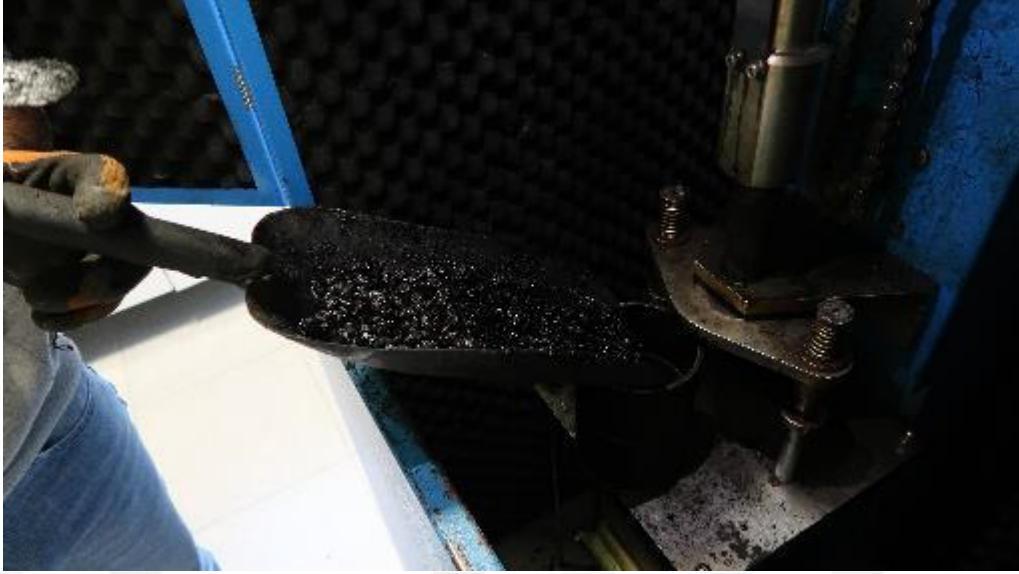
Şekil 17. VMA (%) grafiği



Şekil 18. Karışım Numunesi



Şekil 19. Marshall Kalıbı



Şekil 20. Marshall Kalıbı Dolumu



Şekil 21. Marshall Briketleri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Giriş

Bu bölümde, yüksek rap içeriklerinde taş mastik asfalt için soyulma önleyici birlikteliğinin sorgulanması ve bu soyulma önleyici birliktelikte tekerlek izi ve İÇM testlerinin yapılması istenmiştir. Deneyler yapılırken iki gruba ayrılmıştır. İlk grupta RAP eklenmeyip optimum bitümün yanında %0,2 arttıracak şekilde %0,6'ya kadar soyulma önleyici dop kullanılıp her bir durum için 8 adet briket numunesi hazırlanıp toplam 32 adet briketin İÇM deneyi yapıp değişim gözlenmiştir. İkinci grupta ise bunlara istinaden %40 rap içeriği eklenip ve RAP içeriği sabit tutulup bununla birlikte optimum bitümün yanında tekrardan %2 artış ile %6 ya kadar devam edip yine aynı şekilde her bir durum için 8 adet briket numunesi hazırlanıp 32 adet briket numunesinin artan soyulma önleyici dop oranı ile birlikte gözlemlenen İÇM deneyleri saptandı.

Tekerlek izi deneyinde ise üç adet numune gözlemlendi. Bunlardan ilki olarak optimum bitümde, ikinci olarak sadece %0,6 dop katkılı son olarak ise %40 geri dönüştürülmüş malzeme içerip aynı zamanda %0,4 dop katkılı numuneler incelendi.

3.2. Birinci Grup Rap İçermeyen Optimum Bitüm İlişkisi

Bu durumda Marshall deneyi ile optimum bitüm içeriği bulunup tablo 11'de gerekli oranlar gösterilmiştir.

Tablo 11. Rap içermeyen numunelerin özellikleri

TMA DİZAYNI YOĞUNLUKLAR													
Bitüm						cm	Havadaki	Sudaki	Doygun	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.Özgül	%
Biriket No							Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Yüzey Ağr (gr)	(cm3)	Ağırlık	Ağ.	Boşluk Vh
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	
1	6,40		67,6	67,8	67,6	6,8	1165,8	666,0	1176,0	510,0	2,286	2,456	6,93
2	6,40		67,8	67,6	67,9	6,8	1164,8	665,4	1174,6	509,2	2,288	2,456	6,86
3	6,40		67,6	67,9	67,8	6,8	1169,7	667,4	1179,2	511,8	2,285	2,456	6,94
4	6,40		67,6	67,8	67,9	6,8	1170,3	664,4	1178,1	513,7	2,278	2,456	7,24
5	6,40		67,8	67,9	67,6	6,8	1164,8	667,2	1179,1	511,9	2,275	2,456	7,35
6	6,40		67,9	67,8	67,6	6,8	1168,2	666,4	1176,2	509,8	2,291	2,456	6,70
7	6,40		67,9	67,8	67,8	6,8	1162,3	668,3	1178,6	510,3	2,278	2,456	7,26
8	6,40		67,9	67,8	67,6	6,8	1167,6	668,2	1176,6	508,4	2,297	2,456	6,49
DİZAYN Dp:										2,382			
Opt.Bitüm, % (Ortalama) :										6,40	2,285	6,97	

Tablo 11’de gösterilen briket numuneler de ilk etapta sadece optimum bitüm için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. Tablo 12’de gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan Tablo 13’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 12. Optimum bitümde koşullandırılmış numunelerin özellikleri

KOŞULLU BRİKET OPTİMUM BİTÜMDE													
Bitüm							Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket		%’e					Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
No	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt	
1	6,40		67,6	67,8	67,6	6,8	1165,8	666,0	1176,0	510,0	2,286	2,456	6,93
3	6,40		67,6	67,9	67,8	6,8	1169,7	667,4	1179,2	511,8	2,285	2,456	6,94
5	6,40		67,8	67,9	67,6	6,8	1164,8	667,2	1179,1	511,9	2,275	2,456	7,35
7	6,40		67,9	67,8	67,8	6,8	1162,3	668,3	1178,6	510,3	2,278	2,456	7,26
										Ortalama	2,281		7,12

Tablo 13. Optimum bitümde koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

KOŞULSUZ BRİKET OPTİMUM BİTÜMDE													
Bitüm							Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket	%'e						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
No	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	
2	6,40		67,8	67,6	67,9	6,8	1164,8	665,4	1174,6	509,2	2,288	2,456	6,86
4	6,40		67,6	67,8	67,9	6,8	1170,3	664,4	1178,1	513,7	2,278	2,456	7,24
6	6,40		67,9	67,8	67,6	6,8	1168,2	666,4	1176,2	509,8	2,291	2,456	6,70
8	6,40		67,9	67,8	67,6	6,8	1167,6	668,2	1176,6	508,4	2,297	2,456	6,49
										Ortalama	2,288		6,82

Tablo 12’de ve Tablo 13’de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan İndirek Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 14’de gösterilmiştir.

Tablo 14. Optimum bitümde İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE İÇM					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği,cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm2)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm2)
1	2,286	6,77	606	5,61	-
3	2,285	6,78	578	5,35	-
5	2,275	6,78	671	6,20	-
7	2,278	6,78	667	6,16	-
2	2,288	6,78	898	-	8,31
4	2,278	6,78	618	-	5,72
6	2,291	6,78	807	-	7,46
8	2,297	6,78	966	-	8,93
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		5,83	7,60	76,7	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ'ye referans olarak bir sınır değeri vardır. Bu sınır değeri KTŞ'de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda yani optimum bitüm oranı ve soyulma önleyici katkı koymayarak oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %76,7 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı altında kalmıştır.

3.3. Birinci Grup Rap İçermeyen Optimum Bitüm %0,2 Dop Katkısı İlişkisi

Bu durumda Marshall deneyi ile optimum bitüm içeriği bulunup tablo 15'de gerekli oranlar gösterilmiştir.

Tablo 15. Rap içermeyen optimum bitüm %0,2 Dop numunelerinin özellikleri

TMA DİZAYNI YOĞUNLUKLAR														
Bitüm						Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%		
Biriket No						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh		
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	Dt		
1	6,40		68,3	68,5	68,7	6,9	1162,3	665,1	1176,5	511,4	2,273	2,456	7,46	
2	6,40		67,9	67,4	67,1	6,7	1163,5	663,5	1175,2	511,7	2,274	2,456	7,42	
3	6,40		68,1	68,6	68,5	6,8	1167,6	665,9	1179,9	514,0	2,272	2,456	7,51	
4	6,40		67,8	67,3	67,4	6,8	1166,8	664,8	1178,2	513,4	2,273	2,456	7,46	
5	6,40		67,6	67,9	67,1	6,8	1168,1	666,7	1179,6	512,9	2,277	2,456	7,27	
6	6,40		67,2	67,4	67,3	6,7	1164,6	665,7	1177,1	511,4	2,277	2,456	7,28	
7	6,40		68,4	68,6	68,3	6,8	1165,3	666,3	1177,1	510,8	2,281	2,456	7,11	
8	6,40		68,0	68,3	68,5	6,8	1162,3	667,4	1175,4	508,0	2,288	2,456	6,84	
DİZAYN Dp:									2,382					
Opt.Bitüm, % (Ortalama):									6,40		2,277		7,29	

Tablo 15 ‘de gösterilen briket numuneler de ilk etapta sadece optimum bitüm ve %0,2 doplu için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. Tablo 16’da gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan Tablo 17’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 16. Optimum bitümde %0,2 Doplu koşullandırılmış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU %0,2 DOP												
Bitüm		Havadaki				Sudaki		Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket		Ağırlık (gr)				Ağırlık (gr)		Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	
1	6,40	68,3	68,5	68,7	6,9	1162,3	665,1	1176,5	511,4	2,273	2,456	7,46
3	6,40	68,1	68,6	68,5	6,8	1167,6	665,9	1179,9	514,0	2,272	2,456	7,51
5	6,40	67,6	67,9	67,1	6,8	1168,1	666,7	1179,6	512,9	2,277	2,456	7,27
7	6,40	68,4	68,6	68,3	6,8	1165,3	666,3	1177,1	510,8	2,281	2,456	7,11
Ortalama										2,276		7,34

Tablo 17. Optimum bitümde %0,2 koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ %0,2 DOP												
Bitüm		Havadaki				Sudaki		Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket		Ağırlık (gr)				Ağırlık (gr)		Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	
2	6,40	67,9	67,4	67,1	6,7	1163,5	663,5	1175,2	511,7	2,274	2,456	7,42
4	6,40	67,8	67,3	67,4	6,8	1166,8	664,8	1178,2	513,4	2,273	2,456	7,46
6	6,40	67,2	67,4	67,3	6,7	1164,6	665,7	1177,1	511,4	2,277	2,456	7,28
8	6,40	68,0	68,3	68,5	6,8	1162,3	667,4	1175,4	508,0	2,288	2,456	6,84
Ortalama										2,278		7,25

Tablo 16’da ve Tablo 17’de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan İndirekt Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 18’de gösterilmiştir.

Tablo 18. Optimum bitümde %0,2 Doplu İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE 0,02 DOP					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği, cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm2)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm2)
1	2,273	6,85	692	6,33	-
3	2,272	6,84	796	7,30	-
5	2,277	6,75	724	6,71	-
7	2,281	6,84	699	6,40	-
2	2,274	6,75	836	-	7,76
4	2,273	6,75	877	-	8,14
6	2,277	6,73	825	-	7,68
8	2,288	6,83	918	-	8,43
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		6,69	8,00	83,5	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ'de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ'de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda yani optimum bitüm oranı ve %0,2 dop katkılı oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %83,5 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

3.4. Birinci Grup Rap İçermeyen %0,4 Dop Katkısı İlişkisi

Bu durumda Marshall deneyi ile optimum bitüm içeriği bulunup tablo 19'da gerekli oranlar gösterilmiştir.

Tablo 19. Rap içermeyen optimum Bitüm %0,4 Dop numunelerinin özellikleri

TMA DİZAYNI YOĞUNLUKLAR													
Bitüm						Havadaki	Sudaki	Doygun	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%	
						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk	
Biriket No	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	V _h
1	6,40		68,1	68,3	67,5	6,8	1164,2	666,4	1178,1	511,7	2,275	2,456	7,36
2	6,40		67,2	68,4	68,1	6,8	1168,1	665,1	1178,3	513,2	2,276	2,456	7,32
3	6,40		67,8	68,2	68,4	6,8	1168,8	667,3	1179,8	512,5	2,281	2,456	7,14
4	6,40		67,7	67,9	68,3	6,8	1167,3	669,1	1180,2	511,1	2,284	2,456	7,01
5	6,40		67,9	67,5	68,7	6,8	1167,4	667,3	1177,3	510,0	2,289	2,456	6,80
6	6,40		67,6	67,8	68,2	6,8	1167,7	667,4	1176,9	509,5	2,292	2,456	6,68
7	6,40		68,1	67,7	68,2	6,8	1166,9	667,1	1178,1	511,0	2,284	2,456	7,02
8	6,40		67,8	68,4	67,9	6,8	1168,1	666,3	1179,2	512,9	2,277	2,456	7,27
DİZAYN D _p :									2,382				
Opt.Bitüm, % (Ortalama) :									6,40		2,282		7,08

Tablo 19 ‘da gösterilen briket numuneler de ilk etapta sadece optimum bitüm ve %0,4 doplu için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. Tablo 20’de gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan Tablo 21’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 20. Optimum bitümde %0,4 Doplu koşullandırılmış numunelerin Özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU %0,4 DOP													
Bitüm						Havadaki	Sudaki	Doygun	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%	
						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk	
Biriket No	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	V _h
1	6,40		68,1	68,3	67,5	6,8	1164,2	666,4	1178,1	511,7	2,275	2,456	7,36
3	6,40		67,8	68,2	68,4	6,8	1168,8	667,3	1179,8	512,5	2,281	2,456	7,14
5	6,40		67,9	67,5	68,7	6,8	1167,4	667,3	1177,3	510,0	2,289	2,456	6,80
7	6,40		68,1	67,7	68,2	6,8	1166,9	667,1	1178,1	511,0	2,284	2,456	7,02
Ortalama									2,282		7,08		

Tablo 21. Optimum bitümde %0,4 Doplu koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ %0,4 DOP												
Bitüm						Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
						A	C	B	V	D _p	D _t	
2	6,40	67,2	68,4	68,1	6,8	1168,1	665,1	1178,3	513,2	2,276	2,456	7,32
4	6,40	67,7	67,9	68,3	6,8	1167,3	669,1	1180,2	511,1	2,284	2,456	7,01
6	6,40	67,6	67,8	68,2	6,8	1167,7	667,4	1176,9	509,5	2,292	2,456	6,68
8	6,40	67,8	68,4	67,9	6,8	1168,1	666,3	1179,2	512,9	2,277	2,456	7,27
Ortalama										2,282		7,07

Tablo 20’de ve Tablo 21’de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan İndirek Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 22’de gösterilmiştir.

Tablo 22. Optimum bitümde %0,4 Doplu İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE 0,04 DOP					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği, cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm ²)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm ²)
1	2,275	6,80	885	8,16	-
3	2,281	6,81	1069	9,83	-
5	2,289	6,80	931	8,58	-
7	2,284	6,80	1118	10,30	-
2	2,276	6,79	1132	-	10,44
4	2,284	6,80	1299	-	11,97
6	2,292	6,79	1087	-	10,03
8	2,277	6,80	1149		10,58
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		9,22	10,76	85,7	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ’de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ’de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda yani optimum bitüm oranı ve %0,4 dop katkılı oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %85,7 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

3.5. Birinci Grup Rap İçermeyen %0,6 Dop Katkısı İlişkisi

Bu durumda Marshall deneyi ile optimum bitüm içeriği bulunup tablo 23’de gerekli oranlar gösterilmiştir.

Tablo 23. Rap içermeyen optimum bitüm %0,6 Dop numunelerinin özellikleri

TMA DİZAYNI İÇİN YOĞUNLUKLAR												
Bitüm	Havadaki					Sudaki	Doygun	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%	
Biriket No	Ağırlık (gr)					Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk V _h	
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t
1	6,40	68,2	68,1	67,5	6,8	1163,2	665,2	1176,1	510,9	2,277	2,456	7,30
2	6,40	67,5	68,6	67,9	6,8	1168,9	664,3	1177,4	513,1	2,278	2,456	7,24
3	6,40	68,0	68,5	68,6	6,8	1166,5	666,2	1178,3	512,1	2,278	2,456	7,25
4	6,40	67,9	67,4	68,5	6,8	1168,5	668,4	1179,4	511,0	2,287	2,456	6,89
5	6,40	68,7	67,4	68,9	6,8	1167,9	665,9	1176,9	511,0	2,286	2,456	6,94
6	6,40	67,1	67,5	67,9	6,8	1169,1	666,7	1176,4	509,7	2,294	2,456	6,61
7	6,40	68,3	68,4	68,3	6,8	1167,8	665,8	1177,1	511,3	2,284	2,456	7,00
8	6,40	67,6	68,3	67,9	6,8	1167,7	665,6	1178,9	513,3	2,275	2,456	7,37
DİZAYN D _p :								2,382				
Opt.Bitüm, % (Ortalama) :								6,40	2,282	7,08		

Tablo 23 ‘de gösterilen briket numuneler de ilk etapta sadece optimum bitüm ve %0,6 doplu için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. Tablo 24’de gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan Tablo 25’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 24. Optimum bitümde %0,6 Doplu koşullandırılmış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU %0,6 DOP													
Bitüm							Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No							Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt	
1	6,40		68,2	68,1	67,5	6,8	1163,2	665,2	1176,1	510,9	2,277	2,456	7,30
3	6,40		68,0	68,5	68,6	6,8	1166,5	666,2	1178,3	512,1	2,278	2,456	7,25
5	6,40		68,7	67,4	68,9	6,8	1167,9	665,9	1176,9	511,0	2,286	2,456	6,94
7	6,40		68,3	68,4	68,3	6,8	1167,8	665,8	1177,1	511,3	2,284	2,456	7,00
Ortalama											2,281		7,12

Tablo 25. Optimum bitümde %0,6 Doplu koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ %0,6 DOP													
Bitüm							Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No							Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt	
2	6,40		67,5	68,6	67,9	6,8	1168,9	664,3	1177,4	513,1	2,278	2,456	7,24
4	6,40		67,9	67,4	68,5	6,8	1168,5	668,4	1179,4	511,0	2,287	2,456	6,89
6	6,40		67,1	67,5	67,9	6,8	1169,1	666,7	1176,4	509,7	2,294	2,456	6,61
8	6,40		67,6	68,3	67,9	6,8	1167,7	665,6	1178,9	513,3	2,275	2,456	7,37
Ortalama										2,283	7,03		

Tablo 24’de ve Tablo 25’de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan İndirek Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 26’da gösterilmiştir.

Tablo 26. Optimum bitümde %0,6 Doplu İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE (0,06 DOP)					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği, cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm ²)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm ²)
1	2,277	6,79	1152	10,62	-
3	2,278	6,84	1111	10,18	-
5	2,286	6,83	977	8,96	-
7	2,284	6,83	1008	9,24	-
2	2,278	6,80	1109	-	10,22
4	2,287	6,79	1125	-	10,37
6	2,294	6,75	1020	-	9,46
8	2,275	6,79	1025	-	9,46
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		9,75	9,88	98,7	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ'de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ'de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda yani optimum bitüm oranı ve %0,6 dop katkılı oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %98,7 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

3.6. İkinci Grup %40 Rap İçerip Optimum Bitüm İlişkisi

Giriş kısmında belirtildiği üzere bu grubun ilk gruptan farkı %40 oranında her briket numunesine RAP yani geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve bu oran sabit tutulup artan dop oranıyla birlikte tekrardan İÇM ve tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. İlk olarak inceleyeceğimiz 8 adet briket numunesinde sadece %40 oranında geri dönüştürülmüş asfalt eklenip bu oranda optimum bitüm saptanıp değişim gözlenmiştir.

Tablo 27'de görülmek üzere %40 oranında yapılan briket numunesinin özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 27. %40 rap içeren numunelerin özellikleri

TMA DİZAYNI İÇİN YOĞUNLUKLAR												
Bitüm						Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	
1	6,40	67,8	68,3	67,6	6,8	1164,5	665,4	1175,4	510,0	2,283	2,456	7,03
2	6,40	67,9	68,5	67,2	6,8	1169,1	663,7	1176,8	513,1	2,279	2,456	7,23
3	6,40	68,5	68,1	68,4	6,8	1167,2	665,8	1177,6	511,8	2,281	2,456	7,14
4	6,40	67,4	67,9	68,3	6,8	1167,5	667,3	1178,4	511,1	2,284	2,456	6,99
5	6,40	68,5	67,6	68,7	6,8	1168,2	664,0	1176,9	512,9	2,278	2,456	7,26
6	6,40	67,8	67,9	67,4	6,8	1168,7	665,9	1178,1	512,2	2,282	2,456	7,10
7	6,40	68,0	68,5	68,7	6,8	1168,6	666,5	1176,8	510,3	2,290	2,456	6,76
8	6,40	67,1	67,7	67,9	6,8	1167,5	667,1	1178,4	511,3	2,283	2,456	7,03
DİZAYN D _p :									2,382			
Opt.Bitüm, % (Ortalama) :									6,40	2,282		7,07

Tablo 27 'de gösterilen briket numuneler de %40 RAP eklenip optimum bitüm için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. Tablo 28'de gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamanda Tablo 29'da koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 28. Optimum bitümde %40 RAP eklenip koşullandırılmış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU BİRİKET %40 RAP												
Bitüm						Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	
1	6,40	67,8	68,3	67,6	6,8	1164,5	665,4	1175,4	510,0	2,283	2,456	7,03
3	6,40	68,5	68,1	68,4	6,8	1167,2	665,8	1177,6	511,8	2,281	2,456	7,14
5	6,40	68,5	67,6	68,7	6,8	1168,2	664,0	1176,9	512,9	2,278	2,456	7,26
7	6,40	68,0	68,5	68,7	6,8	1168,6	666,5	1176,8	510,3	2,290	2,456	6,76
Ortalama										2,283		7,05

Tablo 29. Optimum bitümde %40 RAP eklenip koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ BİRİKET %40 RAP												
Bitüm	Havadaki					Sudaki	Doygun	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%	
Biriket No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
						A	C	B	V	D _p	D _t	
2	6,40	67,9	68,5	67,2	6,8	1169,1	663,7	1176,8	513,1	2,279	2,456	7,23
4	6,40	67,4	67,9	68,3	6,8	1167,5	667,3	1178,4	511,1	2,284	2,456	6,99
6	6,40	67,8	67,9	67,4	6,8	1168,7	665,9	1178,1	512,2	2,282	2,456	7,10
8	6,40	67,1	67,7	67,9	6,8	1167,5	667,1	1178,4	511,3	2,283	2,456	7,03
Ortalama										2,282		7,09

Tablo 28’de ve Tablo 29’da gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan İndirekt Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 30’da gösterilmiştir.

Tablo 30. Optimum bitümde %40 Raplı İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE (%40 RAP)					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği, cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm ²)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm ²)
1	2,283	6,79	1449	13,38	-
3	2,281	6,83	1192	10,93	-
5	2,278	6,83	1325	12,16	-
7	2,290	6,84	1365	12,51	-
2	2,279	6,79	1506	-	13,90
4	2,284	6,79	1500	-	13,85
6	2,282	6,77	1533	-	14,19
8	2,283	6,76	1369		12,70
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		12,24	13,66	89,6	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ’de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ’de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda yani optimum bitüm oranı ve %40 Rap eklenip oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %89,6 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

3.7. İkinci Grup %40 Rap İçerip %0,2 Dop Katkı İlişkisi

Giriş kısmında belirtildiği üzere bu grubun ilk gruptan farkı %40 oranında her briket numunesine RAP yani geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve %0,2 dop katkısıyla İÇM ve tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. İkinci olarak inceleyeceğimiz 8 adet briket numunesinde sadece %40 oranında geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve %0,2 dop katkısı koyarak optimum bitüm saptanıp değişim gözlenmiştir.

Tablo 31’de görülmek üzere %40 oranı rap ve %0,2 dop katkısı ile yapılan briket numunesinin özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 31. %40 Rap ve %0,2 Dop ilişkisi özellikleri

TMA DİZAYNI İÇİN YOĞUNLUKLAR														
Bitüm		Havadaki					Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%		
Biriket		Ağırlık (gr)					Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh		
No	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t		
1	6,40		68,3	67,9	67,8	6,8	1165,2	664,9	1176,1	511,2	2,279	2,456	7,19	
2	6,40		67,5	68,2	67,6	6,8	1169,8	664,8	1178,4	513,6	2,278	2,456	7,26	
3	6,40		68,6	68,2	67,9	6,8	1168,2	664,7	1176,8	512,1	2,281	2,456	7,12	
4	6,40		67,8	67,2	68,0	6,8	1168,4	668,1	1179,3	511,2	2,286	2,456	6,94	
5	6,40		68,2	67,4	68,5	6,8	1167,7	667,4	1178,6	511,2	2,284	2,456	6,99	
6	6,40		67,5	68,3	67,7	6,8	1168,5	665,7	1176,9	511,2	2,286	2,456	6,93	
7	6,40		67,9	68,2	68,8	6,8	1167,9	667,8	1178,6	510,8	2,286	2,456	6,90	
8	6,40		67,6	67,2	67,9	6,8	1169,2	668,4	1178,1	509,7	2,294	2,456	6,60	
								DİZAYN Dp:		2,382				
								Opt.Bitüm, % (Ortalama) :		6,40		2,284		6,99

Tablo 31 ‘de gösterilen briket numuneler de %40 RAP eklenip ve %0,2 dop katkısının kullanımıyla optimum bitüm için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. Tablo 32’de gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan Tablo 33’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 32. %40 Rap %0,2 Dop katkısı koşullandırılmış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU BİRİKET %40 RAP %0,2 DOP												
Bitüm	cm	Havadaki				Sudaki		Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
						A	C	B	V	D _p	D _t	
1	6,40	68,3	67,9	67,8	6,8	1165,2	664,9	1176,1	511,2	2,279	2,456	7,19
3	6,40	68,6	68,2	67,9	6,8	1168,2	664,7	1176,8	512,1	2,281	2,456	7,12
5	6,40	68,2	67,4	68,5	6,8	1167,7	667,4	1178,6	511,2	2,284	2,456	6,99
7	6,40	67,9	68,2	68,8	6,8	1167,9	667,8	1178,6	510,8	2,286	2,456	6,90
Ortalama										2,283		7,05

Tablo 33. %40 Rap %0,2 Dop katkısı koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ BİRİKET %40 RAP %0,2 DOP												
Bitüm	cm	Havadaki				Sudaki		Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
						A	C	B	V	D _p	D _t	
2	6,40	67,5	68,2	67,6	6,8	1169,8	664,8	1178,4	513,6	2,278	2,456	7,26
4	6,40	67,8	67,2	68,0	6,8	1168,4	668,1	1179,3	511,2	2,286	2,456	6,94
6	6,40	67,5	68,3	67,7	6,8	1168,5	665,7	1176,9	511,2	2,286	2,456	6,93
8	6,40	67,6	67,2	67,9	6,8	1169,2	668,4	1178,1	509,7	2,294	2,456	6,60
Ortalama										2,286		6,93

Tablo 32’de ve Tablo 33’de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan indirekt Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 34’de gösterilmiştir.

Tablo 34. %40 Raplı ve %0,2 Dop katkılı İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE (% 40 RAP 0,02 DOP)					
0					
Briket No:	Dp	Briket Yüksekliği, cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm ²)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm ²)
1	2,279	6,80	1522	14,02	-
3	2,281	6,82	1420	13,04	-
5	2,284	6,80	1459	13,44	-
7	2,286	6,83	1339	12,28	-
2	2,278	6,78	1496	-	13,83
4	2,286	6,77	1535	-	14,21
6	2,286	6,78	1473	-	13,61
8	2,294	6,76	1518	-	14,08
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		13,20	13,93	94,7	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ’de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ’de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda optimum bitüm oranına göre %40 RAP ve %0,2 doplu oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %94,7 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

3.8. İkinci Grup %40 Rap İçerip %0,4 Dop Katkı İlişkisi

Giriş kısmında belirtildiği üzere bu grubun ilk gruptan farkı %40 oranında her briket numunesine RAP yani geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve %0,4 dop katkısıyla İÇM ve tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. Üçüncü olarak inceleyeceğimiz 8 adet briket numunesinde sadece %40 oranında geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve %0,4 dop katkısı koyarak optimum bitüm saptanıp değişim gözlenmiştir.

Tablo 35’de görülmek üzere %40 oranı rap ve %0,4 dop katkısı ile yapılan briket numunesinin özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 35. %40 Rap ve %0,4 Dop ilişkisi özellikleri

TMA DİZAYNI İÇİN YOĞUNLUKLAR												
Bitüm	cm					Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
Biriket No	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t
1	6,40	68,0	67,7	67,9	6,8	1166,5	665,1	1176,5	511,4	2,281	2,456	7,13
2	6,40	67,5	68,1	67,8	6,8	1168,7	663,7	1177,3	513,6	2,276	2,456	7,35
3	6,40	68,8	68,3	67,7	6,8	1167,9	665,2	1176,8	511,6	2,283	2,456	7,05
4	6,40	67,6	67,5	67,4	6,8	1168,2	667,7	1178,7	511,0	2,286	2,456	6,92
5	6,40	68,3	67,7	68,3	6,8	1168,0	668,3	1179,1	510,8	2,287	2,456	6,90
6	6,40	67,6	68,6	67,2	6,8	1167,4	666,4	1178,4	512,0	2,280	2,456	7,16
7	6,40	68,1	68,5	68,4	6,8	1167,6	669,1	1179,5	510,4	2,288	2,456	6,86
8	6,40	68,3	67,8	68,5	6,8	1168,9	667,6	1179,3	511,7	2,284	2,456	6,99
DİZAYN Dp:									2,382			
Opt.Bitüm, % (Ortalama) :									6,40	2,283		7,04

Tablo 35 ‘de gösterilen briket numuneler de %40 RAP eklenip ve %0,4 dop katkısının kullanımıyla optimum bitüm için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. tablo 36’da gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan tablo 37’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 36. %40 Rap %0,4 Dop katkısı koşullandırılmış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU BİRİKET %40 RAP %0,4 DOP												
Bitüm	Biriket Yüksekliği,cm (30*2 darbe)					cm	Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.
Biriket No							Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.
	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	Boşluk V _h
1	6,40	68,0	67,7	67,9	6,8	1166,5	665,1	1176,5	511,4	2,281	2,456	7,13
3	6,40	68,8	68,3	67,7	6,8	1167,9	665,2	1176,8	511,6	2,283	2,456	7,05
5	6,40	68,3	67,7	68,3	6,8	1168,0	668,3	1179,1	510,8	2,287	2,456	6,90
7	6,40	68,1	68,5	68,4	6,8	1167,6	669,1	1179,5	510,4	2,288	2,456	6,86
Ortalama										2,285		6,98

Tablo 37. %40 Rap %0,4 Dop katkısı koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ BİRİKET %40 RAP %0,4 DOP												
Bitüm						cm	Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.
Biriket No							Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.
	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	D _p	D _t	Boşluk V _h
2	6,40	67,5	68,1	67,8	6,8	1168,7	663,7	1177,3	513,6	2,276	2,456	7,35
4	6,40	67,6	67,5	67,4	6,8	1168,2	667,7	1178,7	511,0	2,286	2,456	6,92
6	6,40	67,6	68,6	67,2	6,8	1167,4	666,4	1178,4	512,0	2,280	2,456	7,16
8	6,40	68,3	67,8	68,5	6,8	1168,9	667,6	1179,3	511,7	2,284	2,456	6,99
Ortalama										2,282		7,10

Tablo 36’da ve Tablo 37’de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan indirekt Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 38’de gösterilmiştir.

Tablo 38. %40 Raplı ve %0,4 Dop katkılı İÇM testi

OPTİMUM BİTÜMDE (%40 RAP 0,04 DOP)					
Briket No:	Dp	0	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm ²)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm ²)
1	2,281	6,79	1356	12,52	-
3	2,283	6,83	1302	11,95	-
5	2,287	6,81	1350	12,42	-
7	2,288	6,83	1195	10,96	-
2	2,276	6,78	1192	-	11,02
4	2,286	6,75	1590	-	14,76
6	2,280	6,78	1177	-	10,88
8	2,284	6,82	1283	-	11,79
		Koşullu	Koşulsuz	İÇM ORANI	
Ortalama		11,96	12,11	98,8	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ’de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ’de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda optimum bitüm oranına göre %40 RAP ve %0,4 doplu oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %98,8 olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

3.9. İkinci Grup %40 Rap İçerip %0,6 Dop İlişkisi

Giriş kısmında belirtildiği üzere bu grubun ilk gruptan farkı %40 oranında her briket numunesine RAP yani geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve %0,6 dop katkısıyla İÇM ve tekerlek izi deneyleri yapılmıştır. Dördüncü ve son olarak inceleyeceğimiz 8 adet briket numunesinde sadece %40 oranında geri dönüştürülmüş asfalt eklenip ve %0,6 dop katkısı koyarak optimum bitüm saptanıp değişim gözlenmiştir.

Tablo 39’da görülmek üzere %40 oranı rap ve %0,6 dop katkısı ile yapılan briket numunesinin özellikleri belirlenmiştir.

Tablo 39. %40 Rap ve %0,6 Dop ilişkisi özellikleri

TMA DİZAYNI İÇİN YOĞUNLUKLAR														
Bitüm			cm				Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%	
Biriket No						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh		
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt		
1	6,40		68,4	68,1	68,3	6,8	1167,8	665,3	1177,1	511,8	2,282	2,456	7,09	
2	6,40		67,7	68,5	68,2	6,8	1168,2	663,5	1176,5	513,0	2,277	2,456	7,28	
3	6,40		68,4	68,8	67,4	6,8	1167,3	666,4	1177,6	511,2	2,283	2,456	7,03	
4	6,40		68,1	68,0	68,7	6,8	1168,8	665,3	1178,1	512,8	2,279	2,456	7,20	
5	6,40		67,9	68,3	68,8	6,8	1167,3	667,4	1179,6	512,2	2,279	2,456	7,21	
6	6,40		68,3	68,7	67,8	6,8	1168,6	667,1	1177,9	510,8	2,288	2,456	6,85	
7	6,40		67,8	67,5	67,7	6,8	1166,8	668,4	1178,7	510,3	2,286	2,456	6,90	
8	6,40		68,6	68,4	67,8	6,8	1167,4	666,8	1179,1	512,3	2,279	2,456	7,22	
DİZAYN Dp:									2,382					
Opt.Bitüm, % (Ortalama) :									6,40		2,282		7,10	

Tablo 39 ‘da gösterilen briket numuneler de %40 RAP eklenip ve %0,6 dop katkısının kullanımıyla optimum bitüm için hesaplanıp İÇM testi uygulanmış ve bunun öncesinde tek sayı olan briket numuneleri koşullandırılmış geriye kalan çift sayılar ise koşullandırılmamıştır. tablo 40’da gösterilen koşullandırılmış numunelerin özellikleri verilmiştir aynı zamandan tablo 41’de koşullandırılmamış numunelerin özellikleri verilmiştir.

Tablo 40. %40 Rap %0,6 Dop katkısı koşullandırılmış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULLU BİRİKET %40 RAP %0,6 DOP													
Bitüm							Havadaki	Sudaki	Doygun Yüzey	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.	%
Biriket No						Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh	
	Wa	(gr)	1	2	3	Ort.	A	C	B	V	Dp	Dt	
1	6,40		68,4	68,1	68,3	6,8	1167,8	665,3	1177,1	511,8	2,282	2,456	7,09
3	6,40		68,4	68,8	67,4	6,8	1167,3	666,4	1177,6	511,2	2,283	2,456	7,03
5	6,40		67,9	68,3	68,8	6,8	1167,3	667,4	1179,6	512,2	2,279	2,456	7,21
7	6,40		67,8	67,5	67,7	6,8	1166,8	668,4	1178,7	510,3	2,286	2,456	6,90
Ortalama											2,283	7,06	

Tablo 41. %40 Rap %0,6 Dop katkısı koşullandırılmamış numunelerin özellikleri

OPTİMUM BİTÜMDE KOŞULSUZ BİRİKET %40 RAP %0,6 DOP												
Bitüm	Havadaki					Sudaki	Doygun	Hacim	Hac.Özg.	Maks.Teo.		
Biriket No	Wa (gr)	1	2	3	Ort.	Ağırlık (gr)	Ağırlık (gr)	Ağr (gr)	(cm ³)	Ağırlık	Özgül Ağ.	Boşluk Vh
						A	C	B	V	D _p	D _t	
2	6,40	67,7	68,5	68,2	6,8	1168,2	663,5	1176,5	513,0	2,277	2,456	7,28
4	6,40	68,1	68,0	68,7	6,8	1168,8	665,3	1178,1	512,8	2,279	2,456	7,20
6	6,40	68,3	68,7	67,8	6,8	1168,6	667,1	1177,9	510,8	2,288	2,456	6,85
8	6,40	68,6	68,4	67,8	6,8	1167,4	666,8	1179,1	512,3	2,279	2,456	7,22
Ortalama										2,281		7,14

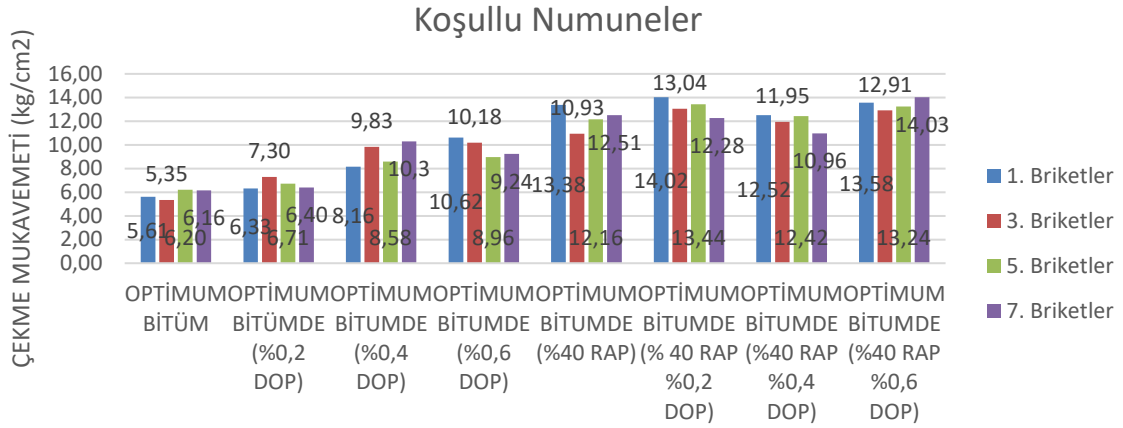
Tablo 40'da ve Tablo 41'de gösterilen numunelerin özelliklerine oranla briket numunelerine uygulanan indirekt Çekme Mukavemeti yani İÇM testleri sonucunda ortaya çıkan Tablo 42'da gösterilmiştir.

Tablo 42. %40 Raplı ve %0,6 Dop katkılı İÇM testi

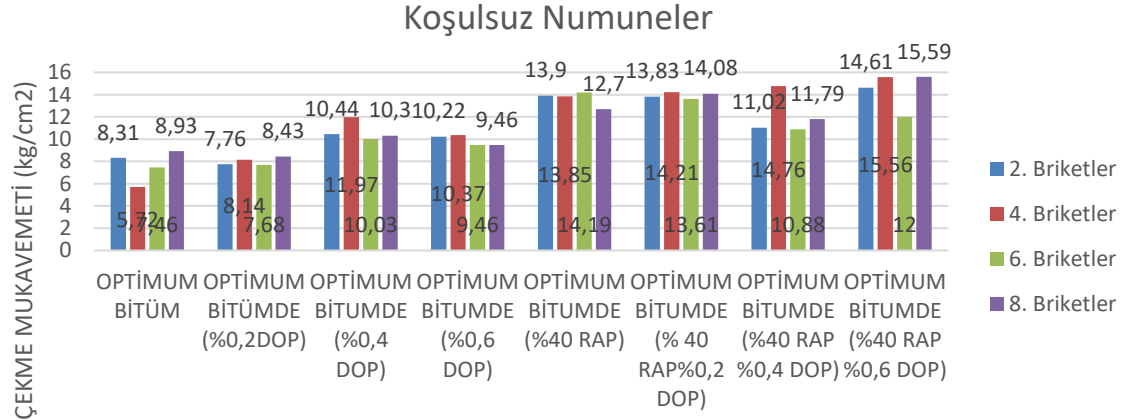
OPTİMUM BİTÜMDE (%40 RAP 0,06 DOP)					
Briket No:	D _p	Briket Yüksekliği, cm (30*2 darbe)	Yük (kg)	KOŞULLU İÇM (kg / cm ²)	KOŞULSUZ İÇM (kg / cm ²)
1	2,282	6,83	1480	13,58	-
3	2,283	6,82	1405	12,91	-
5	2,279	6,83	1443	13,24	-
7	2,286	6,77	1515	14,03	-
2	2,277	6,81	1589	-	14,61
4	2,279	6,83	1696	-	15,56
6	2,288	6,83	1308	-	12,00
8	2,279	6,83	1698	-	15,59
Ortalama				Koşullu 13,44	Koşulsuz 14,44
				İÇM ORANI 93,1	

Çıkan veriler sonucunda KTŞ'de verilen referans değerinden yukarıda çıkmıştır. Bu sınır değer KTŞ'de %80 olarak belirlenmiştir. Yapılan deney sonucunda optimum bitüm oranına göre %40 RAP ve %0,6 doplu oluşturulan koşullandırılmış ve koşullandırılmamış numunelerin sonucunda bu oran %93,1olarak belirlenip KTŞ referans sınırı üstünde kalmıştır.

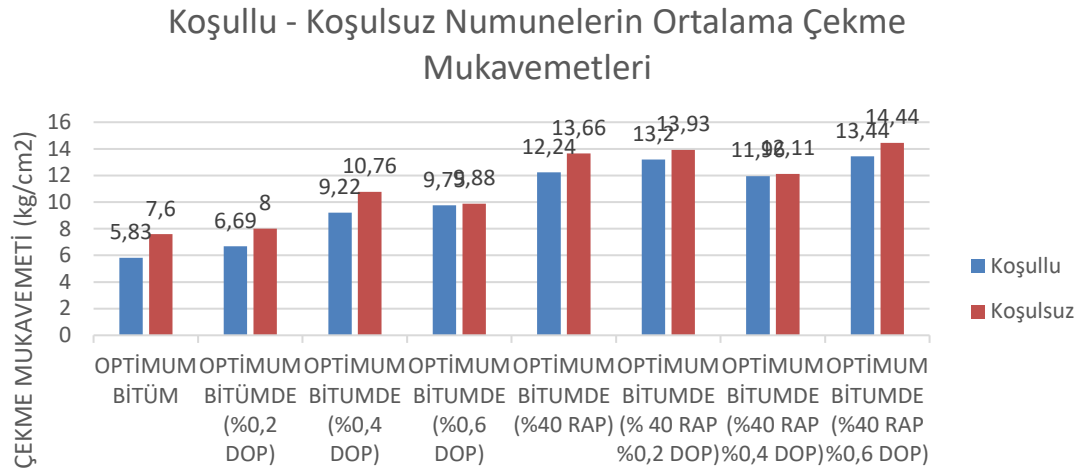
Bu sonuçların Şekil üzerinde görselleri Şekil 22, Şekil 23, Şekil 24 ve Şekil 25’de görülmektedir.



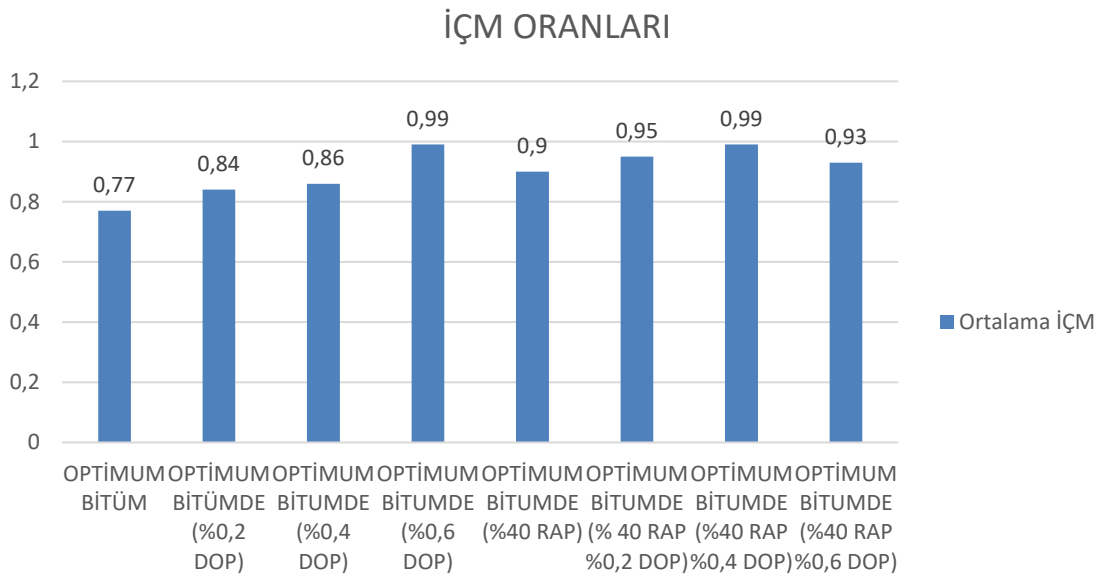
Şekil 22. Koşullu numunelerin çekme dayanımları



Şekil 23. Koşulsuz numunelerin çekme dayanımları



Şekil 24. Koşullu ve koşulsuz numunelerin ortalama çekme mukavemetleri

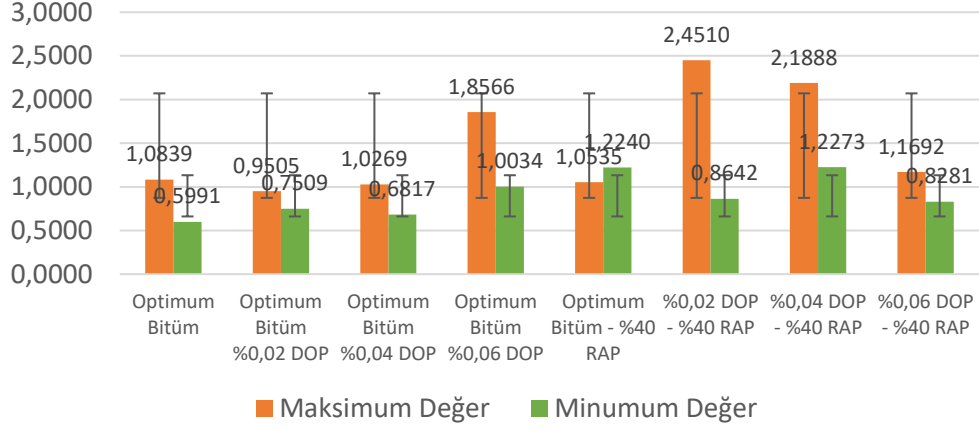


Şekil 25. Koşullu ve koşulsuz numunelerin İÇM oranları

Tablo 43. Aktif Adezyon Matrisi

		KOŞULSUZ NUMUNELER																																															
		Optimum Bitüm												Optimum Bitüm - %0,04 DOP																																			
		5,72	7,46	8,31	8,93	7,68	7,76	8,14	8,43	10,03	10,44	10,58	11,97	9,46	9,46	10,22	10,37	12,7	13,85	13,9	14,19	13,61	13,83	14,08	14,21	10,88	11,02	11,79	14,76	12	14,61	15,56	15,59																
		Optimum Bitüm - %0,02 DOP												Optimum Bitüm - %0,04 RAP												%0,02 DOP - %0,04 RAP																							
Optimum Bitüm	5,35	0,93531	0,71716	0,6438	0,5991	0,69661	0,68943	0,65725	0,63464	0,5334	0,51245	0,50567	0,44695	0,56554	0,56554	0,53248	0,51591	0,42126	0,38628	0,38489	0,37703	0,39309	0,38684	0,37997	0,3765	0,49173	0,48548	0,45377	0,36247	0,44583	0,36619	0,34883	0,34317																
	5,61	0,98077	0,75201	0,67509	0,62822	0,73047	0,72294	0,68919	0,66548	0,55932	0,53736	0,53025	0,46867	0,53902	0,53902	0,53902	0,54098	0,44173	0,40305	0,4036	0,39535	0,4122	0,40564	0,39844	0,39479	0,51563	0,50907	0,47583	0,38008	0,4675	0,38398	0,36054	0,35985																
	6,16	1,07692	0,82574	0,74128	0,68881	0,80208	0,79381	0,75676	0,73072	0,61416	0,59004	0,59223	0,51462	0,65116	0,65116	0,60274	0,59402	0,48504	0,44477	0,44317	0,43411	0,45261	0,44541	0,4375	0,4335	0,56618	0,55988	0,52248	0,41734	0,51333	0,42163	0,39589	0,39513																
Optimum Bitüm	6,2	1,08392	0,8311	0,74609	0,69429	0,80729	0,79897	0,76167	0,73547	0,61813	0,59387	0,58601	0,51796	0,65539	0,65539	0,60665	0,59788	0,48819	0,44765	0,44604	0,43693	0,45555	0,44883	0,44034	0,43631	0,56985	0,56261	0,52387	0,42005	0,51667	0,42437	0,39846	0,39769																
	6,33	1,10664	0,84853	0,76173	0,70885	0,82422	0,81572	0,77764	0,75089	0,63111	0,60632	0,5983	0,52862	0,66913	0,66913	0,61937	0,61041	0,49843	0,45704	0,4554	0,44609	0,4651	0,4577	0,44957	0,44546	0,5818	0,57441	0,5369	0,42886	0,5275	0,43326	0,40681	0,40603																
	6,4	1,11888	0,85791	0,77016	0,71669	0,83333	0,82474	0,78824	0,75919	0,63809	0,61303	0,60491	0,53467	0,67653	0,67653	0,62622	0,61716	0,50394	0,46209	0,46043	0,45102	0,47024	0,46276	0,45455	0,45029	0,58824	0,58076	0,54283	0,4336	0,53333	0,43806	0,41131	0,41052																
%0,02 DOP	6,71	1,17308	0,89946	0,80746	0,7514	0,8737	0,86469	0,82432	0,79397	0,66899	0,64272	0,63422	0,56057	0,7093	0,7093	0,65656	0,64706	0,52835	0,48448	0,48273	0,47287	0,49302	0,48518	0,47656	0,4722	0,61673	0,60889	0,56913	0,45461	0,55917	0,45927	0,43123	0,4304																
	7,3	1,27622	0,97855	0,87846	0,81747	0,95052	0,94072	0,90881	0,86395	0,72782	0,69923	0,68998	0,60986	0,77167	0,77167	0,71429	0,70395	0,5748	0,52708	0,52518	0,51445	0,53637	0,52784	0,51847	0,51372	0,67096	0,66243	0,61917	0,49458	0,60833	0,49966	0,46915	0,46825																
	8,16	1,42657	1,09383	0,98195	0,91377	1,0625	1,05155	1,00246	0,96797	0,81356	0,78161	0,77127	0,6817	0,86258	0,86258	0,79843	0,78689	0,64252	0,59817	0,58705	0,57505	0,59956	0,59002	0,57955	0,57424	0,75	0,74047	0,69211	0,55285	0,68	0,55852	0,52442	0,52341																
Optimum Bitüm	8,38	1,5	1,15013	1,03249	0,96081	1,11719	1,10567	1,05405	1,01779	0,85343	0,82184	0,81096	0,71679	0,90698	0,90698	0,83953	0,82739	0,67539	0,61949	0,61727	0,60463	0,63942	0,62039	0,60938	0,6038	0,7886	0,77858	0,72774	0,5813	0,715	0,58727	0,55141	0,55305																
	9,83	1,71853	1,31769	1,18291	1,10078	1,27995	1,26675	1,20762	1,16607	0,98006	0,94157	0,92911	0,82122	1,03911	1,03911	0,96104	0,94793	0,77402	0,70975	0,70719	0,69274	0,72226	0,71077	0,69815	0,69177	0,90349	0,89201	0,83376	0,66599	0,81917	0,67283	0,63175	0,63953																
	10,3	1,8007	1,3807	1,23947	1,15342	1,34115	1,32732	1,26536	1,22183	1,02692	0,98659	0,97353	0,86948	1,08879	1,08879	1,00783	0,99325	0,81102	0,74388	0,74101	0,72586	0,7568	0,74476	0,73153	0,72484	0,94669	0,93466	0,87362	0,69783	0,85833	0,705	0,66195	0,66068																
DOP	8,96	1,56643	1,20107	1,07822	1,00336	1,16667	1,15464	1,10074	1,06287	0,89332	0,85824	0,84688	0,74854	0,94715	0,94715	0,87671	0,86403	0,70551	0,64693	0,6446	0,63143	0,65834	0,64787	0,63636	0,63054	0,82353	0,81307	0,75597	0,60705	0,74667	0,61328	0,57584	0,57473																
	9,24	1,61538	1,23861	1,11191	1,03471	1,20313	1,19072	1,13514	1,09609	0,92124	0,88506	0,87335	0,77193	0,97674	0,97674	0,90441	0,89103	0,72756	0,66715	0,66475	0,65116	0,67891	0,66811	0,65625	0,65025	0,84926	0,83848	0,78372	0,62802	0,77	0,63244	0,59383	0,59289																
	10,18	1,77972	1,36461	1,22593	1,13988	1,32552	1,31186	1,25061	1,20759	1,01496	0,9751	0,96219	0,85946	1,07611	1,07611	0,99609	0,98168	0,80157	0,73302	0,73237	0,71741	0,74798	0,73608	0,72301	0,71764	0,93566	0,92377	0,86344	0,6897	0,84833	0,69678	0,65424	0,65298																
DOP	10,62	1,85664	1,42359	1,27738	1,18925	1,38281	1,36856	1,30467	1,25979	1,05882	1,01724	1,00378	0,89722	1,12262	1,12262	1,03914	1,02411	0,83822	0,76679	0,76403	0,74841	0,78031	0,7679	0,75426	0,74736	0,9761	0,9637	0,90076	0,71951	0,885	0,7269	0,68252	0,68121																
	10,93	1,91084	1,46515	1,31528	1,22396	1,42318	1,40851	1,34075	1,29656	1,08973	1,04693	1,03308	0,91312	1,15539	1,15539	1,06947	1,054	0,86063	0,78917	0,78633	0,77026	0,80309	0,79031	0,77628	0,76918	1,0046	0,99183	0,92706	0,74851	0,91083	0,74812	0,70244	0,70109																
	12,16	2,12587	1,63003	1,4633	1,3617	1,58333	1,56701	1,49386	1,44247	1,21236	1,16475	1,14934	1,01387	1,28541	1,28541	1,18892	1,17261	0,95748	0,87798	0,87482	0,85694	0,89346	0,87925	0,86364	0,85574	1,11765	1,10345	1,03138	0,82285	1,01333	0,83231	0,78149	0,77999																
Optimum Bitüm - %0,04 RAP	12,51	2,18706	1,67694	1,50542	1,4009	1,62891	1,61211	1,53886	1,48389	1,24726	1,19828	1,18242	1,04511	1,32241	1,32241	1,22407	1,20636	0,98504	0,90325	0,9	0,88161	0,91918	0,90456	0,88849	0,88037	1,14992	1,13521	1,06107	0,84756	1,0425	0,85626	0,80398	0,80244																
	13,38	2,33916	1,79357	1,61011	1,48932	1,74219	1,72423	1,64373	1,58719	1,334	1,28161	1,26465	1,11779	1,41438	1,41438	1,3092	1,29026	1,05354	0,96066	0,96259	0,94292	0,9831	0,96746	0,95028	0,94159	1,22978	1,21416	1,13466	0,9065	1,115	0,91381	0,8599	0,85824																
	12,28	2,14685	1,64611	1,47774	1,37514	1,59896	1,58247	1,5086	1,4567	1,22433	1,17625	1,16088	1,0259	1,2981	1,2981	1,20157	1,18419	0,96693	0,88664	0,88345	0,8654	0,90228	0,88792	0,87216	0,86418	1,12868	1,11434	1,04156	0,83198	1,02333	0,84052	0,7892	0,78768																
%0,02 DOP - %0,04 RAP	13,04	2,27972	1,74799	1,56919	1,46025	1,69792	1,68041	1,61097	1,54686	1,3001	1,24904	1,23251	1,08839	1,37844	1,37844	1,27583	1,25747	1,02677	0,94152	0,93813	0,91896	0,93812	0,94288	0,92614	0,91766	1,19835	1,1833	1,10602	0,88347	1,08667	0,89254	0,83805	0,83643																
	13,44	2,34965	1,80161	1,61733	1,50504	1,75	1,73196	1,65111	1,59431	1,33998	1,28736	1,27032	1,12281	1,42072	1,42072	1,31507	1,29605	1,05827	0,9704	0,96691	0,94715	0,99751	0,9718	0,95455	0,94581	1,23529	1,2196	1,13995	0,91057	1,12	0,91992	0,86375	0,86209																
	14,02	2,45105	1,87936	1,68712	1,56999	1,82552	1,8067	1,72236	1,65311	1,39781	1,34291	1,32514	1,17216	1,48203	1,48203	1,37812	1,35108	1,10394	1,02827	1,00963	0,98802	1,03012	1,01374	0,99574	0,98663	1,2886	1,27223	1,18914	0,94986	1,16833	0,95962	0,90103	0,89929																
Optimum Bitüm - %0,04 RAP	10,96	1,91608	1,46917	1,31889	1,22732	1,42708	1,41237	1,34644	1,30012	1,09272	1,04681	1,03592	0,91562	1,13856	1,13856	1,07241	1,05689	0,86299	0,79334	0,78849	0,77227	0,80529	0,79248	0,77841	0,77129	1,00735	0,99456	0,9296	0,74255	0,91333	0,75017	0,70437	0,70301																
	11,95	2,08916	1,60188	1,43803	1,33819	1,55599	1,53995	1,4606	1,41756	1,19143	1,14464	1,12949	0,99833	1,26321	1,26321	1,16928	1,15236	0,94094	0,86282	0,85971	0,84024	0,87803	0,86406	0,84872	0,84096	1,09835	1,08439	1,01357	0,80962	0,99583	0,81793	0,76799	0,76652																
	12,42	2,17133	1,65488	1,49458	1,39082	1,61719	1,60052	1,5238	1,47331	1,23829	1,18966	1,17391	1,03759	1,3129	1,3129	1,21526	1,19769	0,97795	0,89675	0,89533	0,87526	0,91256	0,89805	0,8821	0,87403	1,14154	1,12704	1,05344	0,84146	1,005	0,8501	0,7892	0,79666																
%0,06 DOP - %0,04 RAP	12,52	2,18881	1,67828	1,50662	1,40021	1,63021	1,6134	1,53808	1,48517	1,24026	1,19923	1,18336	1,04595	1,32347	1,32347	1,22505	1,20733	0,96583	0,90972	0,90072	0,88231	0,91991	0,90528	0,8892	0,88107	1,15074	1,13612	1,06192	0,84824	1,04333	0,856																		

Aktif ve Pasif Adezyon



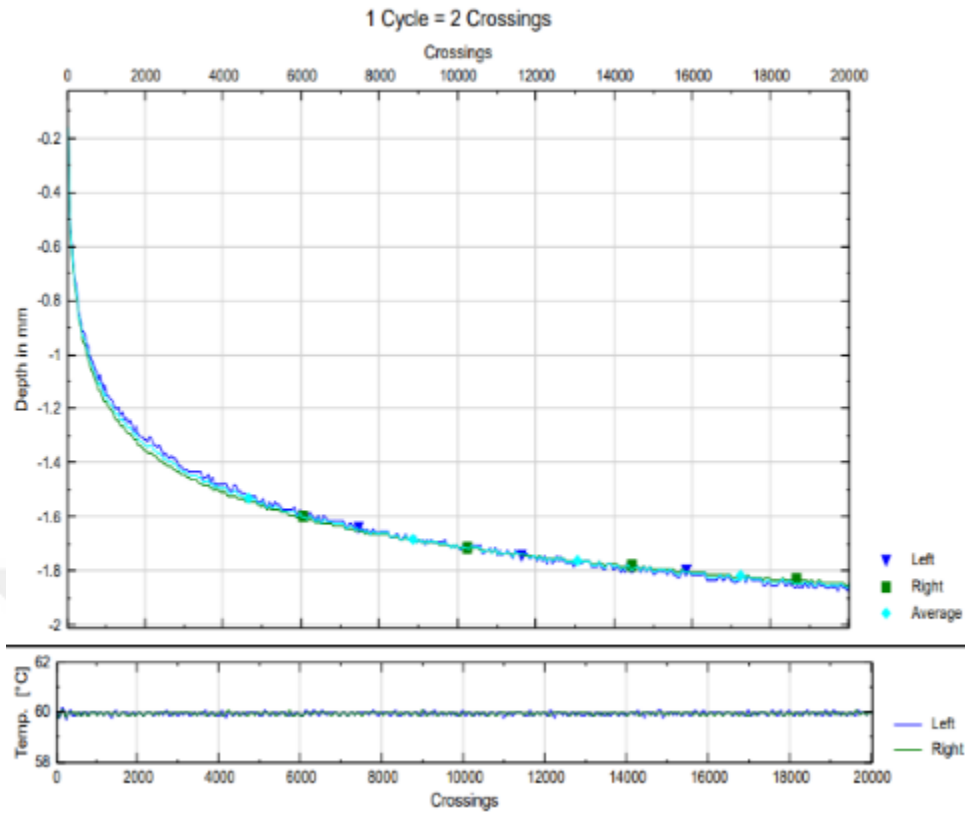
Şekil 26. Aktif ve Pasif Adezyon Grafiği

3.10. Optimum Bitümde Tekerlek İzi

Numunelerin özelliklerine gelirse bu numunede kullanılan optimum bitüm tüm deneyler boyunca sabit olup tekrardan burada da 6,40 alındı. Ortalama Dp ise bu numune için 2,376 alındı ve bunun sonucunda ortaya çıkan değerler tablo 41’de verilmiştir.

Tablo 44. Optimum bitümde tekerlek izi davranışı

	Tekerlek İzleme Eğilimi (mm/1000döngü)	Tekerlek izleme eğimi (doğrusal kısım) [mm/1000döngü]	Tekerlek izi derinliği (mm)			Tekerlek izi derinliği (%)
Sol	0,03	0,07	1,7	/	1,9 / 1,9	3,6
	d10000-d5000)	(d4525,5-d2525,5)	d5000,5/d10000,5 /d10000,5			(d10000,5)
Sağ	0,03	0,07	1,7	/	1,8 / 1,8	3,6
	d10000-d5000)	(d6775,5-4775,5)	d5000,5/d10000,5 /d10000,5			(d10000,5)
Ortalama Değer	0,03	0,05	1,7	/	1,8 / 1,8	3,6
			d5000,5/d10000,5 /d10000,5			



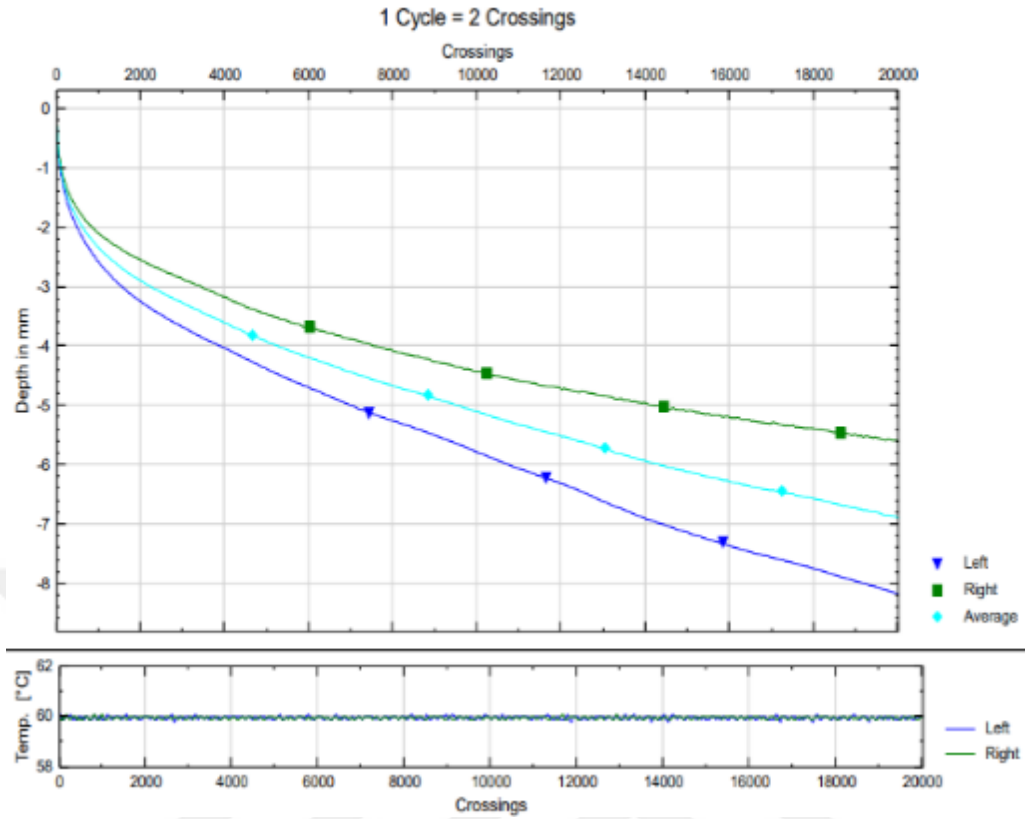
Şekil 27. Optimum bitümde tekerlek izi davranış grafiği

3.11. Optimum Bitümde %0,6 Dop Katkılı Tekerlek İzi

Bu numunede kullanılan optimum bitüm tüm deneyler boyunca sabit olup tekrardan burada da 6,40 alındı. Ortalama Dp ise bu numune için 2,376 alındı ve bunun sonucunda ortaya çıkan değerler tablo 42’de verilmiştir.

Tablo 45. Optimum bitümde %0,6 Dop katkılı tekerlek izi davranışı

	Tekerlek İzleme Eğilimi (mm/1000döngü)	Tekerlek izleme eğimi (doğrusal kısım) [mm/1000döngü]	Tekerlek izi derinliği (mm)			Tekerlek izi derinliği (%)
Sol	0,48	0,4	5,8	/	8,2 / 8,2	16
	(d10000-d5000)	(d9725,5-d7725,5)	d5000,5/d10000,5 /d10000,5			(d10000,5)
Sağ	0,24	0,26	4,4	/	5,6 / 5,6	11
	(d10000-d5000)	(d7600,5-d5600,5)	d5000,5/d10000,5 /d10000,5			(d10000,5)
Ortalama Değer	0,36	0,33	5,1	/	6,9 / 6,9	13,5
			d5000,5/d10000,5 /d10000,5			



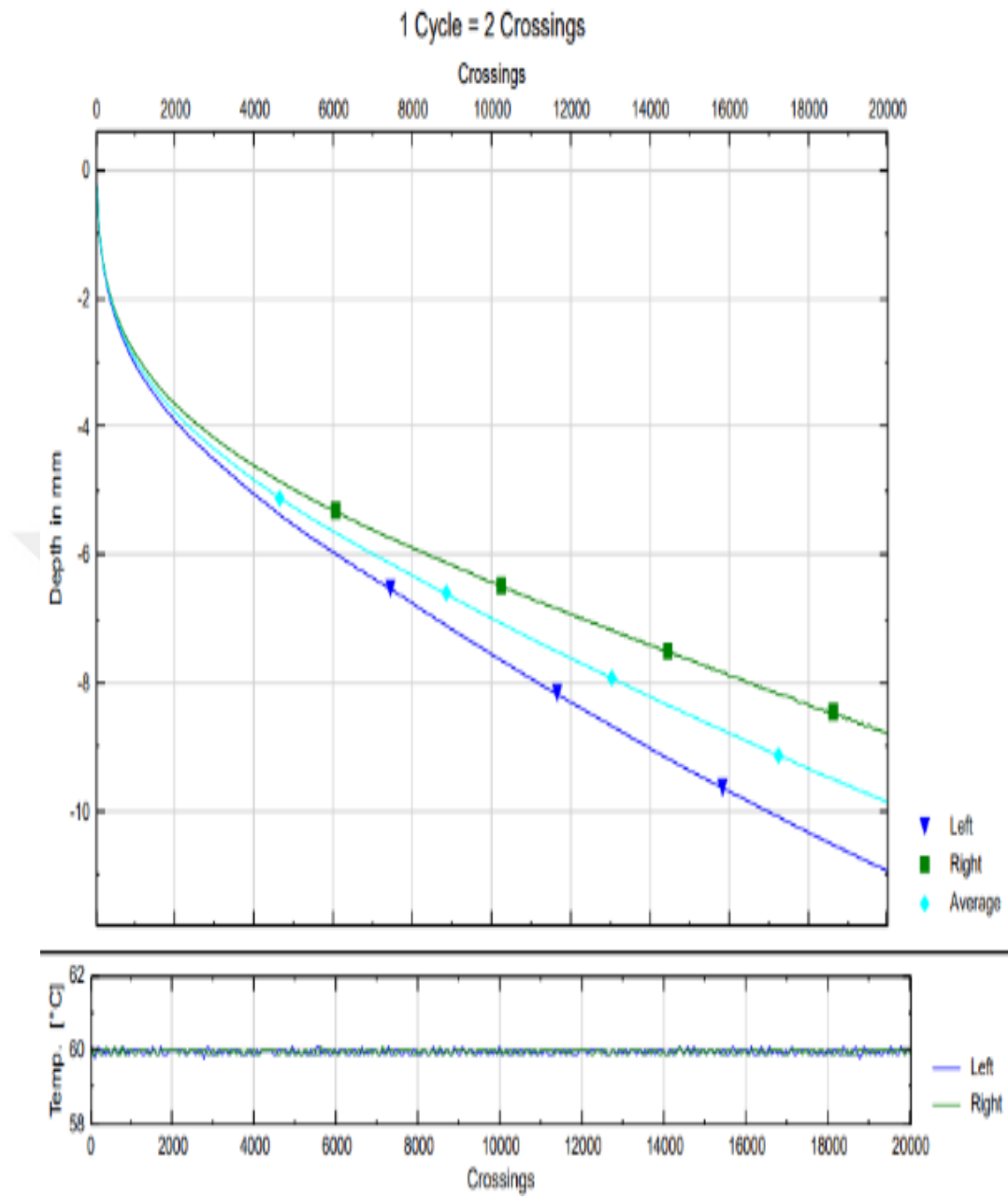
Şekil 28. Optimum bitümde %0,6 Dop katkılı tekerlek izi grafiği

3.12. %40 Rap İçerikli %0,4 Dop Katkılı Tekerlek İzi

Bu numunede kullanılan optimum bitüm tüm deneyler boyunca sabit olup tekrardan burada da 6,40 alındı. Ortalama Dp ise bu numune için 2,370 alındı ve bunun sonucunda ortaya çıkan değerler tablo 43’de verilmiştir.

Tablo 46. %40 Raplı %0,4 Doplu tekerlek izi davranışı

	Tekerlek İzleme Eğilimi (mm/1000döngü)	Tekerlek izleme eğimi (doğrusal kısım) [mm/1000döngü]	Tekerlek izi derinliği (mm)			Tekerlek izi derinliği (%)
Sol	0,67	0,64	7,5	/	10,9 / 10,9	21,8
	d10000-d5000)	(d9425,5-d7425,5)	d5000,5/d10000,5	/	d10000,5	(d10000,5)
Sağ	0,48	0,54	6,4	/	8,8 / 8,8	17,6
	d10000-d5000)	(d5425,5-d3425,5)	d5000,5/d10000,5	/	d10000,5	(d10000,5)
Ortalama Değer	0,58	0,59	7,0	/	9,8 / 9,8	19,7
			d5000,5/d10000,5	/	d10000,5	



Şekil 29. %40 Raplı %0,4 Doplu tekerlek izi davranış grafiği

4. SONUÇLAR

Bu Tez çalışması kapsamında, geri dönüştürülmüş asfalt kaplamaların SBS polimeri ve soyulma önleyici birlikteliğindeki performans analizi deneysel yöntemlerle araştırma yapılmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar deneysel olarak iki kısımda incelenmiştir. İki kısmın ilki numunelere İÇM testleri yapıldı ikinci kısımda ise tekerlek izi testleri yapıldı. Birinci kısımda 64 adet briket hazırlanıp her sekiz brikette kriterler değiştirildi. Bunlar ilk sekiz brikette normal optimum bitüm hesaplanıp o şekilde teste tabi tutuldu ikinci sekiz brikette %0,02 dop eklenip optimum bitümde yapıldı üçüncü sekiz brikette %0,04 ve son sekiz brikette ise %0,06 dop katkısı eklenip bunlara İÇM testleri uygulandı. 64 adet numuneden kalan 32 adet numune de ise her sekiz brikette %40 geri dönüştürülmüş asfalt eklenip bununla beraber %0,02'den %0,06 dop katkısını arttırarak hazırlanan numunelere İÇM testleri uygulanmıştır. İkinci kısım da ise kriterler daha az tutulup yapılan numunelerde 3 adet kriter belirlendi bunlardan ilki optimum bitüm için tekerlek izi deneyi yapıldı ikincisi ise %0,6 dop katkılı ve son olarak %40 rap eklenip %0,4 dop katkısı birlikteliği incelenip tekerlek izi deneyi yapılmıştır.

Yapılan İÇM testleri ile şu sonuçlara varılmıştır.

- İlk kriter yani sadece optimum bitümde yapılan briketlerin deney sonuçlarına gelirse KTŞ'de verilen %80 şartını sağlamamıştır.
- İkinci kriter yani sadece %0,2 dop katkısı eklenerek hazırlanan numunelerde çıkan sonuçlara bakılırsa KTŞ'de verilen %80 limit üzerinde kalıp bu değer 83,5 olarak bulunmuştur.
- Üçüncü kriter yani sadece %0,4 dop katkısı eklenerek hazırlanan numunelerde çıkan sonuçlara bakılırsa KTŞ'de verilen %80 limit üzerinde kalıp bu değer 85,7 olarak bulunmuştur.
- Dördüncü kriter yani sadece %0,6 dop katkısı eklenerek hazırlanan numunelerde çıkan sonuçlara bakılırsa KTŞ'de verilen %80 limit üzerinde kalıp bu değer 98,7 olarak bulunmuştur.
- 64 numuneden kalan 32 adet numunede ise şu şekilde olmuştur. Birinci kriterde yani sadece %40 RAP eklenip teste tutulan numuneler için çıkan sonuç 89,6 olup KTŞ limitinin üstünde kalmıştır.

- İkinci kriter yani %40 geri dönüştürülmüş asfaltın yanına %0,2 dop katkısı eklenerek hazırlanan numunelerde çıkan sonuçlara bakılırsa KTŞ’de verilen %80 limit üzerinde kalıp bu değer 94,7 olarak bulunmuştur.
- Üçüncü kriter yani %40 geri dönüştürülmüş asfaltın yanına %0,4 dop katkısı eklenerek hazırlanan numunelerde çıkan sonuçlara bakılırsa KTŞ’de verilen %80 limit üzerinde kalıp bu değer 98,8 olarak bulunmuştur.
- Dördüncü kriter son olarak %40 geri dönüştürülmüş asfaltın yanında %0,6 dop katkısı eklenerek hazırlanan numunelerde çıkan sonuçlara bakılırsa KTŞ’de verilen %80 limit üzerinde kalıp bu değer 93,1 olarak bulunmuştur.

Yapılan tekerlek izi deneyleri ilgili çıkan sonuçlar şu şekildedir;

- Birinci kriterde optimum bitümde yapılan tekerlek izi deneyi sonucunda çıkan ortalama derinlik 1,8 olmuştur bu değer karayolları teknik şartnamesinin belirttiği üzere 3,5 mm’den az olduğu için şartname limiti sağlamıştır.
- İkinci kriterde %0,6 dop katkılı olarak hazırlanan deney numunesinde yapılan tekerlek izi deneyi sonucunda çıkan ortalama derinlik 6,9 olmuştur bu değer karayolları teknik şartnamesinin belirttiği üzere 3,5’ten fazla olduğu için şartname limiti sağlamamıştır.
- Üçüncü olarak son kriterde %40 RAP’ın yanında %0,4 dop katkılı olarak yapılan numunenin tekerlek izi deneyi sonucunda çıkan ortalama derinlik 9,8 olmuştur bu değer karayolları teknik şartnamesinin belirttiği üzere 3,5’ten fazla olduğu için şartname limiti sağlamamıştır.

5. ÖNERİLER

Yüksek lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, aktif olarak serilen asfaltı ömrü bittiği zaman geri dönüştürerek tekrardan serime hazır hale getirilip ve serime hazır hale getirilene kadar asfaltın gerekli tekniklere uyulması kaydı ile farklı katkı çeşitleri etkileyerek performans testlerine bakıp ne denli bir karakter sunduğu gözlemlenip geliştirilmiştir. Bu nedenle bu Tez konusu ile çalışma yapmak isteyen araştırmacılara ve uygulayıcılara iletmek istenen öneriler aşağıdaki gibi belirtilmiştir:

- Gradasyon, bu Tez için kullanılan gradasyon oranlarını değiştirerek yapılacak olan yeni karışım numunesi ile yapılan performans testleri gözden geçirilerek farklılık saptanabilir.
- Gençleştirici, Gençleştirici katkı maddesinin % oranını değiştirerek geri dönüştürülmüş asfaltın nasıl değiştiğini gözlemlenebilir.
- RAP oranı, Yapılmış olan çalışmalara bakılırsa bu Tez için %40 RAP oranı sabit tutulup gözlemlenmiştir. Bu oranı değiştirerek veya her RAP oranını belli oranlarla arttırarak performans testleri gözlemlenebilir.
- Koşullandırma parametreleri, KTŞ'ye uygun olarak koşullandırılan bu Tez de daha farklı koşullandırma opsiyonları kullanılarak geri dönüştürülmüş asfaltı değişimi gözlemlenebilir.
- SBS, yapılacak olan yeni testlerde bu Tezde ki RAP oranı ve katkı aynı tutularak SBS'in oranını değiştirerek performans analizi yapılabilir.
- Bu Tez de karışım olarak modifiye bitüm kullanıldı. Yapılacak olan yeni araştırmalarda geleneksel bitüm ile ilişkisi araştırılıp gözlemlenebilir.

6. KAYNAKLAR

- Prashanth, L. D., (2019). Laboratory Investigations On The Effect of Rejuvenators in Reclaimed. Department of Civil Engineering National Institute of Technology, Doctor of Philosophy, Karnataka
- Rathore, M., (2022). High Reclaimed Asphalt Content Mixtures: Design Parameters and Performance Evaluation. Riga Technical University, Doctoral Thesis, Riga
- Kuyucu, H., (2019). Bitümlü Sıcak Asfalt Karışımlarda Geri Dönüşüm ve Türkiye'deki Uygulamaları. KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya
- Oruç, Ş., Yılmaz, B. & Mazlum, M.S., (2018). Geri Kazanılan Asfalt Kaplamaların Sıcak Asfalt Karışımlarda Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30(1), 87-93.
- Airey, Gordon D. (2002). Rheological Evaluation of Ethylene Vinyl Acetate Polymer Modified Bitumens. Construction and Building Materials, 16, 473–487.
- Huang, B., Li, G., Vukosavljevic, D., Shu, X., Egan, B. K., Huang, B., Vukosavljevic, D. and Shu, X. (2005).—Laboratory Investigation of Mixing Hot-Mix Asphalt with Reclaimed Asphalt Pavement. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, 37–45.
- Carpenter, S. H. (1980). —Modifier influence in the characterization of hot-mix recycled material" Transp. Res. Rec., (777)
- Stephens, J. E., Mahoney, J., and Dippold, C. (2001). —Determination of the PG binder grade to use in a RAP mix. Connecticut. Dept. of Transportation.
- Oliver, J. W. H. (2001). —The Influence of the Binder in RAP on Recycled Asphalt Properties. Road Mater. Pavement Des., 2(3), 311–325.
- Yu, X., Zaumanis, M., Santos, S. dos and Poulikakos, L. D. (2014). —Rheological, microscopic, and chemical characterization of the rejuvenating effect on asphalt binders. Fuel, 135, 162–171.
- Watson, D. E., Vargas-Nordbeck, A., Moore, J., Jared, D. and Wu, P. (2008).—Evaluation of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Stone Matrix Asphalt Mixtures. Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board, 2051(1), 64–70.
- Singh, D., Ashish, P. K., and Chitragar, S. F. (2018). Laboratory performance of Recycled Asphalt Mixes containing wax and chemical based Warm Mix Additives using Semi Circular Bending and Tensile Strength Ratio tests. Constr. Build. Mater., 158, 1003–1014.
- Copeland, A., 2011. Reclaimed asphalt pavement in asphalt mixtures: state of the practice. McLean, VA: Turner-Fairbank Highway Research Center, Report Number FHWA-HRT-11-021.

- P. Shirodkar, Y. Mehta, A. Nolan, K. Sonpal, A. Norton, C. Tomlinson, E. Dubois, P. Sullivan, R. Sauber, A study to determine the degree of partial blending of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder for high RAP hot mix asphalt, *Construction and Building Materials* 25(1) (2011) 150-155.
- Xiao, F., Amirkhanian, S. and Juang, C. H. (2007). —Rutting Resistance of Rubberized Asphalt Concrete Pavements Containing Reclaimed Asphalt Pavement Mixtures. *JMCE@ASCE*.
- S. Im, P. Karki, F. Zhou, Development of new mix design method for asphalt mixtures containing RAP and rejuvenators, *Construction and Building Materials* 115 (2016) 727-734.
- Kennedy, T. W., Tam, W. O., and Solaimanian, M. (1998). *Asphalt paving technology*. J. Assoc. Asph. Paving Technol., Association of Asphalt Paving Technologists
- McMillan, C. And Palsat, D. (1985). —Alberta's experience in asphalt recycling. *Proc. Can. Tech. Asph. Assoc.*, 148–167.
- X.D. Lu, M. Saleh, Laboratory evaluation of warm mix asphalt incorporating high RAP proportion by using evotherm and sylvaroad additives, *Construction and Building Materials* 114 (2016) 580-587.
- R.C. West, G.R. Rada, J.R. Willis, M.O. Marasteanu, Improved mix design, evaluation, and materials management practices for hot mix asphalt with high reclaimed asphalt pavement content, *Transportation Research Board* 2013.
- Watson, D. E., Vargas-Nordbeck, A., Moore, J., Jared, D. and Wu, P. (2008). —Evaluation of the Use of Reclaimed Asphalt Pavement in Stone Matrix Asphalt Mixtures. *Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board*, 2051(1), 64–70.
- Abreu, L.P.; Oliveira, J.R.; Silva, H.M.; Fonseca, P.V. Recycled asphalt mixtures produced with high percentage of different waste materials. *Constr. Build. Mater.* 2015, 84, 230–238.
- Loon, H. Van. and Butcher, M. J. (2003). —Analysis of a Thirteen Year Old Rap Site in South Australia. 21st ARRB Transp. Res. Conf. Cairns, (May 2003).
- J.R. Willis, P. Turner, G. Julian, A.J. Taylor, N. Tran, F. Padula, Effects of changing virgin binder grade and content on RAP mixture properties, *NCAT Report* (12-03) (2012).
- Al-Qadi, I. L., Carpenter, S. H., Roberts, G., Ozer, H., Aurangzeb, Q., Elseifi, M. and Trepanier, J. (2009). Determination of usable residual asphalt binder in RAP. *FHWA*, (09), 64.
- A. Shah, R.S. McDaniel, G.A. Huber, V.L. Gallivan, Investigation of properties of plant-produced reclaimed asphalt pavement mixtures, *Transportation Research Record*. 1998 (2007) 103–111.
- M. Zaumanis, R.B. Mallick, R. Frank, 100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis, *Resources, Conservation and Recycling*. 92 (2014) 230–245

- W. Mogawer, A. Austerman, K. Stuart, F. Zhou, P. Romero, Balanced mix design sensitivity to production tolerance limits and binder source, *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologist (AAPT)*. 88 (2019).
- R.B. Mallick, K.A. O'Sullivan, M. Tao, R. Frank, Why not use rejuvenator for 100% RAP recycling, 2010.
- Vonk, W.C. ve Van Gooswilligen, G., Improvement of Paving Grade Bitumens with SBS Polymers, IVth Eurobitume Conference, 4-6 October 1989, Madrid.
- Vonk, W., Styrene-Butadiene-Styrene (SBS) Block Copolymers: Asphalt Mix Improvers for Severe Climatic Conditions. Lecture Delivered at the CSIR Conference Centre, Pretoria, South Africa, 1998.
- Gahvari, F., Modeling of The Linear Viscoelastic Response of Polymer Modified Asphalt Binders at Intermediate and High Temperatures, PhD thesis, Virginia Polytechnic Institute and State Univ., Blacksburg, 1996.
- Kusam, H. Malladi, A.A. Tayebali, N.P. Khosla, Laboratory Evaluation of Workability and Moisture Susceptibility of Warm-Mix Asphalt Mixtures Containing Recycled Asphalt Pavements, *Journal of Materials in Civil Engineering* (2016) 04016276.
- S. Im, P. Karki, F. Zhou, Development of new mix design method for asphalt mixtures containing RAP and rejuvenators, *Construction and Building Materials* 115 (2016) 727-734.
- M. Zaumanis, R.B. Mallick, Review of very high-content reclaimed asphalt use in plantproduced pavements: state of the art, *International Journal of Pavement Engineering* 16(1) (2015) 39-55.
- A. Kanaan, H. Ozer, I. Al-Qadi, Testing of fine asphalt mixtures to quantify effectiveness of asphalt binder replacement using recycled shingles, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2445) (2014) 103-112.
- T. Bennert, R. Dongré, Backcalculation method to determine effective asphalt binder properties of recycled asphalt pavement mixtures, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (2179) (2010) 75-84.
- P. Shirodkar, Y. Mehta, A. Nolan, K. Sonpal, A. Norton, C. Tomlinson, E. Dubois, P. Sullivan, R. Sauber, A study to determine the degree of partial blending of reclaimed asphalt pavement (RAP) binder for high RAP hot mix asphalt, *Construction and Building Materials* 25(1) (2011) 150-155.
- Little, D. N., and Epps, J. A., "Evaluation of Certain Structural Characteristics of Recycled Pavement Material," in *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 1980.
- Montañez, J., Caro, S., Carrizosa, D., Calvo, A., & Sánchez, X. (2020). Variability of the mechanical properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) obtained from different sources. *Construction and Building Materials*, 230, 116968. doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.11

- Kandhal, P.M., and Mallick, R.B., 1997. Pavement recycling guidelines for state and local governments-participant's reference book. Auburn, AL: National Center for Asphalt Technology, Report Number FHWA-SA-98-042.
- West, R., Willis, J.R., and Marasteanu, M., 2013. Improved mix design, evaluation, and materials management practices for hot mix asphalt with high reclaimed asphalt pavement content. Auburn, AL: National Center for Asphalt Technology, Report Number NCHRP 752, Project Number 09-46
- McDaniel, R.S. and Anderson, R.M., 2001. Recommended use of reclaimed asphalt pavement in the Superpave mix design method: technician's manual. West Lafayette, IN: North Central Superpave Center, Report Number NCHRP 452
- West, R.C., 2015. Best Practices for RAP and RAS Management. Natl. Asph. Pavement Assoc. 44.
- Abed, A., Thom, N. & Lo Presti, D. Design considerations of high RAP-content asphalt produced at reduced temperatures. *Mater Struct* 51, 91 (2018).
- You, Z., Mills-Beale, J., Fini, E., Goh, S. W., & Colbert, B. 2011. Evaluation of low-temperature binder properties of warm-mix asphalt, extracted and recovered RAP and RAS, and bioasphalt. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 23(11), 1569–1574.
- García, A., Schlangen, E., & Van de Ven, M., 2011. Properties of capsules containing rejuvenators for their use in asphalt concrete. *Fuel*, 90(2), 583–591.
- Brown, E Ray, Doyle, J. D., Mejias-Santiago, M., and Howard, and I. L. (2011). Performance of High RAP-WMA Surface Mixtures. *Asph. Paving Technol.*
- URL-1. (2024, Ağustos 30). <https://pavementinteractive.org/reference-desk/design/mix-design/marshall-mix-design/>. adresinden alındı.
- URL-2. (2024, Ağustos 30). <http://www.e-asfalto.com/ingles/venezuela.pdf>. adresinden alındı.
- URL-3. (2024, Ağustos 30). <https://chemfluid.com.co/en/polymers-sbs-modification-asphalt/> adresinden alındı.
- URL-4. (2024, Ağustos 30). <https://pavementinteractive.org/reference-desk/pavement-types-and-history/pavement-types/stone-matrix-asphalt/> adresinden alındı.

ÖZGEÇMİŞ

Selahattin Can SARI, İlköğrenimini Kurtuluş İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2011 yılında Rize Tevfik İleri Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2015-2016 öğretim yılında Erzurum Teknik Üniversitesinde eğitimine başlayan Sarı 2017-2018 öğretim yılında yatay geçiş yaparak Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2019 yılında bu bölümden yüksek onur derecesiyle mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında Tezli yüksek lisans programına başladı. 2024 yılında “Geri dönüştürülmüş asfalt kaplamaların SBS polimeri ve soyulma önleyici birlikteliğindeki performans analizi” başlıklı yüksek lisans Tezini yaparken aynı zamanda kendi mesleğini icra etmeye devam etti.2023 yılından itibari ile ICA İçtaş İnşaat Sarıyer Kilyos Tünelinde Sanat Yapıları Mühendisi olarak görev yapmaktadır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.