



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ATIK PLASTİK PİROLİZ İLE YAPILAN TAŞ MASTİK ASFALT VE ASFALT
BETONUNUN HAVA GEÇİRGENLİĞİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Esmâ Nur KÖRKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

OCAK/2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Esma Nur KÖRKAYA tarafından hazırlanan “Atık Plastik Piroliz İle Yapılan Taş Mastik Asfalt Ve Asfalt Betonunun Hava Geçirgenliğinin Ölçülmesi” adlı tez çalışması 14/12/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Danışman

Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Üye

Pof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

Üye

Doç Dr. Salih BEKTAŞ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ARSLAN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Sadettin Erhan KESEN

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this thesis document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Esmâ Nur KÖRKAYA

01/2023

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi Atık Plastik Piroliz İle Yapılan Taş Mastik Asfalt Ve Asfalt Betonunun Hava Geçirgenliğinin Ölçülmesi

Esmâ Nur KÖRKAYA

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2023, 79 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK**

Doç. Dr. Salih BEKTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ARSLAN

Günümüzde trafik hacminin artması ve hava şartlarının değişmesi sonucunda kaplamada oluşan hasarlara karşı yeni yöntemler geliştirilmektedir.

Bitümlü karışımlarda geçirgenlik, bitümlü karışımın performansını ve dayanıklılığını etkileyen en önemli hususlardan birisidir. Bitümlü karışımların hava geçirirgenliği ve dayanıklılığı, boşluk oranı ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

Bu durumda, Leeds Üniversitesi'nde geliştirilmiş, Leeds Air Permeametre'si tanıtılmıştır ve bu çalışma kapsamında bitümlü karışımlarda hava geçirgenlik katsayısının belirlenebilmesi ve hava geçirirgenliğini analiz edilebilmesi amacıyla Türkiye'de ilk kez (Konya Teknik Üniversitesinde) hava geçirgenliği deney aleti tasarlanmıştır. Saf bitüm ve farklı atık malzemelerden üretilen, %5 polipropilen pirolizi ile modifiye edilmiş bitüm, %4.5 SBS pirolizi ile elde edilmiş modifiye bitüm ile taş mastik asfalt numunelerini ve saf bitüm ile %3 ve %5 oranında naylon poşet pirolizi ile modifiye edilmiş asfalt betonu karışımların hava geçirirgenliği ile boşluk oranları arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Üretilen bu numuneler 10 cm ve 15 cm çapında numuneler olarak üretilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda beklenildiği üzere taş mastik asfalt numunelerin asfalt betonu numunelerine göre daha fazla boşluk oranına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca hava geçirgenlik katsayısında taş mastik asfalt numunelerinde de asfalt betonu numunelerine göre daha fazla değere sahip olduğu görülmüştür. Farklı katkı malzemeli taş mastik asfalt ve asfalt betonu numunelerin kendi içinde de farklı hava geçirgenlik katsayısı değerleri verdiği görülmüştür. Buna ek olarak farklı numune çaplarının da hava geçirgenlik katsayısına etkisi için kesin bir sonuç çıkarılamamıştır.

Anahtar Kelime: Hava geçirgenliği, Bitümlü Karışımlar, BSK Mekanik Özellikler, Geçirirgenlik, Porozite, Plastik atık malzeme,

ABSTRACT

MSTHESIS

Measurement of Air Permeability of Stone Mastik Asphalt and Asphalt Concrete Made by Waste Plastic Pyrolysis

Esma Nur KÖRKAYA

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK

2023, 79 Pages

**Jury
Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK**

Doç. Dr. Salih BEKTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Deniz ARSLAN

Due to increasing traffic volume and changing weather conditions, new methodologies are being developed to prevent damage accumulation of pavements.

Permeability is one of the most crucial factors affecting the performance and durability of bituminous mixtures. It is surmised that the air permeability and durability of these mixtures are linked to their void ratios.

The Leeds Air Permeameter, developed at Leeds University, was introduced in this study. Note that, an air permeability test instrument was designed for the first time in Turkey (at Konya Technical University) to determine and analyze the air permeability coefficient in bituminous mixtures. Stone mastic asphalt (SMA) specimens were produced using pure and with two other waste material modified bitumen using 5% polypropylene pyrolysis and 4.5% SBS pyrolysis. In addition, asphalt concrete samples were produced using pure and two other modified bitumen using 3% and 5% plastic bag pyrolysis. The specimens were cylindrical and had diameters of 10 and 15 cm. The relationship between air permeability and void ratio of these samples has been investigated.

As expected, SMA had higher void ratios and air permeability than the asphalt concrete specimens. What is more, it was observed that SMA and asphalt concrete samples with different additives produced different air permeability coefficient values within themselves. Unfortunately, a definite conclusion could not be drawn for the effect of different sample diameters on the air permeability coefficient.

Keywords: Air Permeability, Bituminous Mixtures, Bituminous Mixtures Mechanical Properties, Permeability, Porosity, Plastic Waste Material

ÖNSÖZ

Geçmişten beri bitümlü karışımlarda hava geçirirliiliği konusu oldukça önemli olmuştur. Bitümlü karışımlarda porozite kavramı sürekli araştırma konusu olmuş durumdadır. Bitümlü karışımlarda hava geçirgenliğı, karışımların mekanik özelliklerinin etkilenmektedir. Bir karışım ne kadar az geçirgen olursa karışımın mekanik özellikleri o kadar iyi olacaktır. Bu tez çalışmasında bu hususlar göz önüne alınarak farklı atık plastik malzemelerden üretilen taş mastik asfalt ve asfalt betonu karışımların hava geçirgenliğı ve boşluk oranı arasındaki ilişki değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasında her türlü desteğı olan sayın Prof. Dr. Osman Nuri ÇELİK hocama, değerli Arş. Gör. Hüseyin KÖSE hocama ve Dr. Öğr. Üy. Hüseyin BÖLER hocama en içten duygularla teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca bana sürekli güvenen, elde ettiğim başarılarda ve karşılaştığım zorluklarda yanımda olan çok değerli aileme minnettarım.

Esmâ Nur KÖRKAYA
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ	II
ÖZET	III
ABSTRACT	IV
ÖNSÖZ	V
İÇİNDEKİLER	VI
KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Karayolu Yapısı	3
2.2. Karışım Kaplamaları	5
2.2.1. Soğuk Karışım Asfalt Kaplamaları	6
2.2.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları	6
2.2.3. Bitümlü Sıcak Karışımlar	7
2.2.4. Poroz Asfalt Karışım	8
2.3. Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri	9
2.3.1. Stabilite	9
2.3.2. Rijitlik	10
2.3.3. Durabilite	10
2.3.4. Yorulma mukavemeti (f_R)	10
2.3.5. Esneklik	10
2.3.6. Geçirimsizlik	11
2.3.7. İşlenebilirlik	13
2.3.8. Kayma Direnci (SR)	13
2.4. Taş Mastik Asfalt ve Asfalt Betonu Karışımlar	13
2.5. Plastik	14
2.5.1. Atık Plastikler ve Geri Dönüşümü	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Agregası	18
3.1.2. Bitümlü bağlayıcı	19
3.1.3. Plastikler	19
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Agregası deneyleri	23
3.2.1.1. Elek Analizi Deneyi (TS EN 933-1)	23

3.2.1.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (TS EN 1097-2)	26
3.2.1.3. Agrega Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi (TS EN 1097-6)	28
3.2.2. Bitüm Bağlayıcı Deneyleri	34
3.2.2.1. Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi (TS EN 15326);.....	34
3.2.2.2. Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426).....	35
3.2.2.3. Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427).....	36
3.2.2.4. Viskozite Deneyi.....	38
3.2.3. Piroliz Deney Sistemi	39
3.2.4. Modifiye Bitüm Üretimi.....	42
3.2.5. Marshall Tasarım Yöntemi (TS 12697-30)	44
3.2.6. Hava Geçirgenliği Deney Aleti	48
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	51
4.1. Agrega Deneyleri	52
4.1.1. Elek Analiz Deneyi Ve Deney Sonuçları	52
4.2. Piroliz Deney Sonuçları	56
4.2.1. Atık Naylon Poşet Pirolizi.....	56
4.2.2. Atık Polipropilen Pirolizi	59
4.3. Bitümlü Bağlayıcıların Modifiye İşlemleri	60
4.4. Bitüm Deneyleri	61
4.5. Marshall Tasarımı ve Sonuçları	62
4.5.1. Asfalt Betonu Marshall Deney Sonuçları	62
4.5.2. TMA Marshall Deney Sonuçları	65
4.6. Hava Geçirgenliği Deneyi.....	71
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	76
KAYNAKÇA.....	77

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1. SBS	21
Şekil 3. 2. VİATOP.....	22
Şekil 3. 3. Elek takımı.....	25
Şekil 3. 4. Elek takımı.....	26
Şekil 3. 5. Los Angeles Deney Aleti.....	27
Şekil 3. 6. Arşimet Terazisi	30
Şekil 3. 7. Abraham Hunisi.....	32
Şekil 3. 8. Filler Ölçüm Aleti.....	33
Şekil 3. 9. Bitüm ağırlık ölçümü.....	35
Şekil 3. 10. Penetrasyon Cihazı	36
Şekil 3. 11. Yumuşama Noktası Deneyi	38
Şekil 3. 12. Viskozite Deney Aleti (Arslan, 2014)	39
Şekil 3. 13. Piroliz deney aleti (Akmaz, 2020).....	40
Şekil 3. 14. Piroliz ekipmanı.....	41
Şekil 3. 15. Modifiye deney aleti	42
Şekil 3. 16. Konya Teknik Üniversitesi hava geçirgenliği deney aleti	50
Şekil 4. 1. Asfalt Beton gradasyon eğrisi.....	53
Şekil 4. 2. TMA gradasyon eğrisi	55
Şekil 4. 3. Piroliz Maddeleri	59
Şekil 4. 4. Piroliz Maddeleri (sıvı).....	59
Şekil 4. 5. Atık Propilen.....	60
Şekil 4. 6. Asfalt Beton Numuneler (15 cm çap).....	63
Şekil 4. 7. Asfalt Beton Numune (10 cm çap)	63
Şekil 4. 8. Asfalt Beton Numune (10 cm çap)	64
Şekil 4. 9. TMA Numune (15 cm çap)	66
Şekil 4. 10. TMA Numune (10 cm çap)	67
Şekil 4. 11. TMA Numune (10 cm çap)	67
Şekil 4. 12. Boşluk oranı- Bitüm İçeriği Grafiği (15 cm çap)	70
Şekil 4. 13. Boşluk oranı- Bitüm içeriği Grafiği (10 cm çap)	70
Şekil 4. 14. Bitüm İçeriği- Hava Geçirgenliği İlişkisi (10 cm çap)	73
Şekil 4. 15. Hava geçirgenliği- Bitüm İçeriği Grafiği (15 cm çap)	75

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2. 1. Plastik türlerine göre kullanım alanları ve özellikleri (Kılıç ve Yüce, 2014).....	17
Tablo 3. 1. SBS Teknik özellikleri (Arslan, 2014)	21
Tablo 3. 2. Elyaf Özellikleri (Evirgen ve ark, 2021)	22
Tablo 3. 3. Agregaların maksimum dane boyutune göre kullanılması gereken minimum numune ağırlığı (Sultani, 2021)	24
Tablo 3. 4. Los Angeles Bilye Sayısı (Sultani, 2021).....	27
Tablo 3. 5. Modifiye bitüm avantaj çizelgesi (İlcalı, 2001)	44
Tablo 4. 1. AB tasarım özellikleri.....	51
Tablo 4. 2. TMA tasarım özellikleri	52
Tablo 4. 3. Asfalt Betonu gradasyonu	52
Tablo 4. 4. TMA gradasyonu.....	54
Tablo 4. 5. Asfalt Betonu Agregada deney sonucu	55
Tablo 4. 6. TMA Agregada deney sonucu (Sultani, 2021).....	56
Tablo 4. 7. Atık malzeme pirolizi (Sultani, 2021)	57
Tablo 4. 8. Atık malzemeler	57
Tablo 4. 9. Asfalt Betonu Bitüm Deney Sonuçları	62
Tablo 4. 10. TMA Bitüm Deney Sonuçları (Sultani, 2021)	62
Tablo 4. 11. Asfalt Beton Bitüm içeriği – Boşluk oranı (15 cm çap).....	64
Tablo 4. 12. Asfalt Beton Bitüm içeriği- Boşluk oranı (10 cm çap).....	65
Tablo 4. 13. TMA Bitüm içeriği- Boşluk oranı (15cm çap).....	68
Tablo 4. 14. TMA Bitüm İçeriği- Boşluk oranı (10 cm çap).....	68
Tablo 4. 15. Bitüm oranı- Hava geçirgenlik katsayısı değerleri (10 cm çap).....	72
Tablo 4. 16. Bitüm oranı- Hava geçirgenliği katsayısı değerleri (15 cm çap).....	74

KISALTMALAR

Agrega Boşluğu	: VMA
Alçak yoğunluklu polietilen	: AYPE
Bitümlü Sıcak Karışımlar	: BSK
Doğal asfalt	: NA
Naylon poşet pirolizi	: NPP
Polietilen	: PE
Polietilen tereftalat	: PET yada PETE
Polipropilen	: PP
Polipropilen pirolizi	: PPP
Polistiren	: PS
Polivinilklorür	: PVC
Stirenbütdienstiren	: SBS
Taş mastik asfalt	: TMA
Yüksek yoğunluklu polietilen	: YYPE

1. GİRİŞ

Ulaşım, insanların ve eşyaların bir yerden başka bir yere taşınmasıdır. Günümüzde ülkeler yük ve yolcu taşımacılığında karayoluna bağımlı hale gelmiştir. Trafik yoğunluğunun artması ile yeni yol ağları ihtiyaç haline gelmiştir. Yüksek maliyetlere sahip olan yol ağlarının tasarımı oldukça önemlidir. İyi bir kaplama tasarımı dayanıklı, ekonomik, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, uzun ömürlü ve çevre dostu olmalıdır (Öner ve Özdaş, 2022)

Esnek kaplama tasarımında kullanılan malzemelerin farklı koşullar altında dayanıklılıklarını koruyamamasından ötürü yol ömürlerinde kısalmalar oluşabilir. Bu durum ulaşım ağının devamlılığını sağlamak için bakım ve onarım işlemlerinin yapılmasını zorunlu kılar. Bu bakım-onarım işlemlerini uygulamak ülke ekonomisine ek maliyet getirir. Dolayısıyla bu ek maliyetlerin oluşmaması için önceden önlem almak ve yol ömrünü uzatmak için esnek üstyapının en uygun şekilde tasarlanması gerekir. Yani esnek üst yapıların yapıldığı bitümlü sıcak karışımlarda (BSK) istenen tüm özellikler sağlanmalıdır (Tunç, 2001). Ayrıca esnek kaplama tasarımında; açık granülometreli, yoğun granülometreli, uniform granülometreli ve kesikli granülometreli karışımlar kullanılmaktadır. İnce agrega oranı az ve dolayısıyla hava boşluk oranı fazla olan karışımlar açık granülometreli asfalt karışımlardır. Açık granülometreli asfalt karışımlara poroz asfalt olarak adlandırılır. Agrega bileşenlerinin sürekliliği ile minimum hava boşluk oranı olan karışımlar yoğun granülometreli asfalt karışımlardır. Tüm parçacıkların aynı boyutta olduğu karışımlar üniform granülometreli asfalt karışımlardır. Belirli elek aralığındaki agrega oranı fazla ve pürüzlü yüzeye sahip olan Taş Mastik Asfalt (TMA) karışımlar ise kesikli granülometreye sahip asfalt karışımlardır. TMA kaplamalar, yoğun granülometreli asfalta göre daha dayanıklı olduğu düşünülmektedir. Bunun sebebi ise taşın taşla teması ile daha büyük tipte agrega dağılımına sahip bir asfalt karışımına sahip olmasıdır. TMA kaplamaların boşluk oranları yoğun granülometreli kaplamalara kıyasla daha fazladır (Öner ve Özdaş, 2022).

Bitümlü karışımların mekanik özelliklerini sağlamak için porozite (gözeneklilik) oldukça önemlidir. Porozite kayacın boşluklarının toplam hacmine oranıdır. Boşluklu malzemenin porozitesi yüksektir. Bitümlü karışımlarda ise porozite optimum olarak sağlanmalıdır. Çünkü hazırlanan karışımda porozitenin yüksek olması, karışımlarda hava geçişine kolay bir şekilde izin verecektir. Bu durumda karışım uzun vadede hava ile

etkileşiminden zarar görecektir. Bu durumun tam tersinde ise, porozitenin düşük olduğu, karışımlar istenilen ölçüden daha fazla rijit özellik gösterecektir. Bu durumda karışımda, uygulanan yükler ve çevre koşullarına maruz kaldığında çatlamlar ve bozulmalar meydana gelebilmektedir. Bu yüzden optimum porozite oranı sağlanmalıdır (Çelik, 2005).

Hava geçirimliliğinin, karışımdaki boşluk oranı ile ilişkili olduğu düşünülür. Ancak boşluk oranı ile birlikte boşluklar arası bağlantıda hava geçirimliliğinde büyük rol oynamaktadır. Boşluk oranı yüksek karışımlarda dahi eğer boşluklar arası geçiş kısıtlanabilir ise düşük geçirimlilik sağlanabilecektir. Dolayısıyla boşluklar arası geçişin kısıtlanması porozitesi yüksek karışımların dahi hava ile temasını azaltacak ve ömürlerini uzatacaktır (Çelik, 2005).

Bitümlü sıcak karışım kaplamaların yerinde uygulanmadan önce ve sonra hava geçirgenliğini belirlemek ve analiz edebilmek oldukça önemlidir. Dolayısıyla bitümlü sıcak karışımlarda hava geçirgenliğinin sağlanabilmesi ve belirlenebilmesi için mevcut ve yeni yöntemlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır (Chen, 2019). Bu çalışma kapsamında bitümlü karışımlarda hava geçirgenlik katsayısının belirlenebilmesi ve hava geçirimliliğini analiz edilebilmesi amacı ile Türkiye’de ilk kez (Konya Teknik Üniversitesinde) hava geçirgenliği deney aleti tasarlanmıştır. Hava geçirimliliğinin analizine ek olarak plastik atıkların hava geçirgenliğinde göstereceği değişiklikleri incelemek açısından bu çalışmada, atık plastik pirolizi ile yapılan taş mastik asfalt ve asfalt betonunun hava geçirgenliği ölçülüp analizi yapılmıştır.

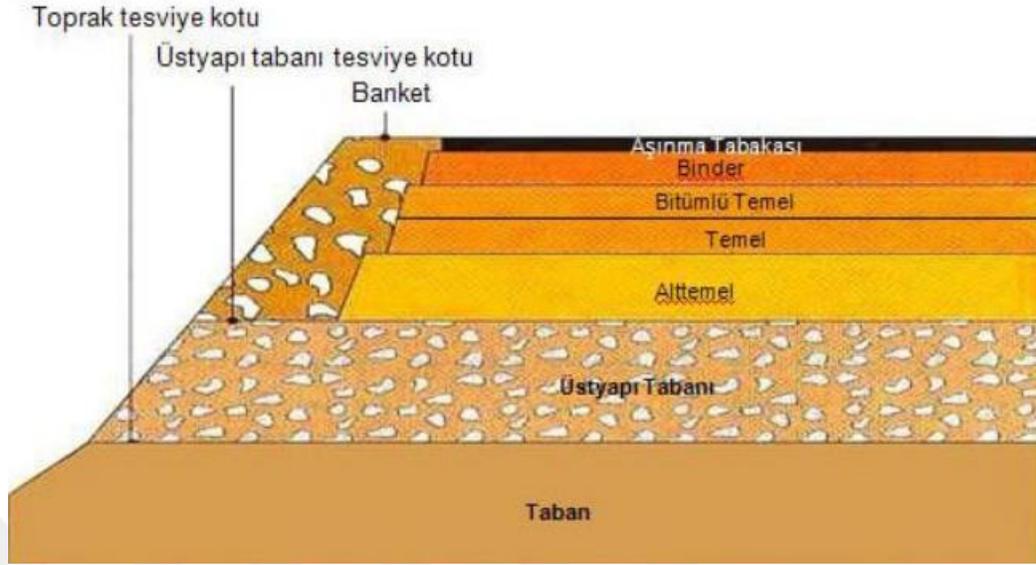
yüksek olmasından dolayı trafik yüklerine karşı oldukça dirençlidir (Demirbay, 2020 ve Tunç, 2001).

Esnek Üstyapı

Alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan esnek üstyapılar, üzerine gelen yükleri bir alt tabakaya yayarak iletir. Esnek üstyapılarda genellikle üst tabakadan taban zeminine inildikçe, tabakalarda kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri ve kaliteleri bir önceki tabakaya göre düşer. Bu tabakalanma durumunu belirleyen proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini dayanımı gibi kriterler oldukça önemlidir. Kaplama tabakası en üst katmandaki tabakadır. Kaplama tabakası aşınma ve binder olarak iki kısımdan oluşur. Kaplama tabakasının en üst tabakasına aşınma tabakası denir. Aşınma tabakası kullanım amacına göre karayolu şartnamesinde belirtildiği üzere Tip 1 ve Tip 2 olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır. Tip -1, ağır ve yoğun trafiğin olduğu bölgelerde, Tip 2, hafif araç otoparkları, yürüme yolları gibi ağır ve yoğun trafiğin bulunmadığı bölgelerde uygulanır. Binder tabakası ise genel olarak bitümlü temel ve plentmiks temel tabakaları üzerine uygulanır. Trafik yoğunluğuna göre 6-8 cm kalınlık arasında değişir (Demirbay, 2020 ve Tunç, 2001).

Aşınma tabakasının altında, temel tabakası bulunur. Temel tabakası bir veya birden fazla tabakadan oluşabilmektedir. Temel tabakasının fonksiyonu taşıt yüklerinden dolayı meydana gelen gerilmeleri taban zemininin taşıma gücünü aşmamak amacı ile yaymaktır (Demirbay, 2020 ve Tunç, 2001).

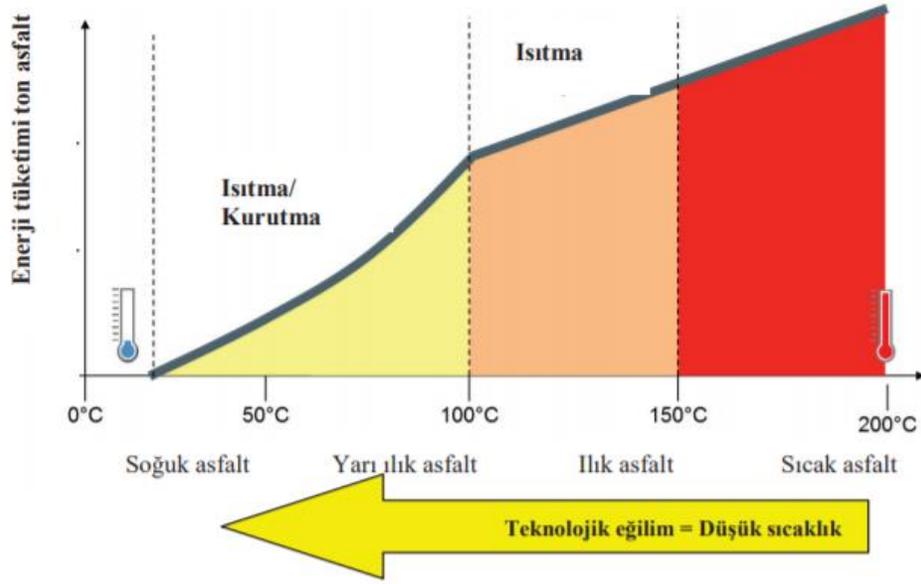
Temel tabakasının altında alttemel tabakası bulunmaktadır (Şekil 2.2). Bitümlü tabakaların inşası için çalışma alanı oluşturma görevi alttemel tabakasına aittir. Temel tabakasına göre bu tabakada daha düşük kalitede malzeme kullanılmaktadır. Sıkıştırılmış doğal zeminden oluşan taban zemini, yapısal olarak oldukça önemlidir. Üstyapıya gelen yük son olarak bu tabakaya iletilir. İyi bir dranej çalışması bu tabakanın görevini iyi yapmasını sağlayacaktır (Tanyıldızı ve Geçkil, 2019 ve Tunç, 2001). Şekil 2.2' de tipik bir yol enkesiti gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Yol Enkesiti (Tanyıldızı ve Geçkil, 2019)

2.2. Karışım Kaplamaları

Kaplamalar karıştırma sıcaklığına göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.3 bu sınıflandırmayı göstermektedir.



Şekil 2.2. Üretim sıcaklığına göre karışımın sınıflandırılması (Demirbay, 2020)

2.2.1. Soğuk Karışım Asfalt Kaplamaları

Asfalt emülsiyonları veya agrega yüzeyindeki nemin kurummasına yetecek kadar sıcaklıkta karıştırılması ile elde edilen karışım türüne denilmektedir. Yol kenarı boyunca, yol üzerinde veya sabit bir karıştırma tesisinde karıştırılmasında problem yoktur. Soğuk karışımlar aşınma, temel veya alt temel tabaka katmanlarında tercih edilebilmektedir. Hafif ve orta dereceli trafik yoğunluğunda aşınma tabakası olarak kullanılırken, temel ve alt temel için her yoğunluktaki trafikte kullanılabilir. Soğuk karışım asfalt kaplamaları uygulaması, bitümlü bağlayıcının karıştırma yöntemine ve iklim koşullarına bağlıdır (Demirbay, 2020 ve Tunç, 2001).

2.2.2. Ilık Karışım Asfalt Kaplamaları

Bitümlü sıcak karışımlara göre 20-50°C gibi düşük sıcaklıklarda yaklaşık 100-140°C arasında üretilen ve sıkıştırılan karışımlara denilmektedir. Sıcak karışımların ısıtması yüksek enerji gerektirir. Bu ısıtma işlemi, hem ekonomik açıdan hem ekolojik açıdan olumsuzluklar yaratır. Ilık karışımli asfalt kullanılarak bu olumsuz etkiler bir nebze azaltılabilir. Ilık karışım asfalt, taş mastik asfalt, yoğun gradasyonlu asfalt, mastik asfalt ve poroz asfalt karışımlarda olmak üzere bitümlü karışımların tümünün hazırlanmasında kullanılabilir. Geri dönüşüme

uygun olmaları en önemli özelliklerindedir. Bu da ılık asfalt karışımların kullanımını arttırmaktadır (Alataş ve İstek, 2019).

Alataş ve İstek (2019), yaptıkları çalışmada farklı katkılarla hazırladıkları asfalt karışımlarının sünme performanslarını incelemişlerdir. Buna göre yapılan deneylerde, %0.35 oranında Pawma-1 ve %1.5 oranında Leadcap ile %2 oranında Stiren-Butadien-Stiren (SBS) katkı malzemeleri kullanılarak bitümlü karışım numuneleri hazırlanmıştır. Kullanılan bu katkı malzemelerinin karışımların sünme performansına olan etkileri incelenmiştir. Buna ek olarak sönmüş kireç ılık karışım asfaltlarda filler olarak kullanılmıştır ve bitümlü karışımların sünme performansına etkileri de incelenmiştir. Bu çalışmada B50/70 penetrasyonlu bitüm ve kalker türü kırmataş kullanılmıştır. Modifiye bağlayıcıların hazırlanmasının ardından Marshall Yöntemi ile optimum bitüm oranları belirlenip karışım numuneleri hazırlanmıştır ve bu karışım numunelerinin yarısında filler yerine %2 oranında sönmüş kireç kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler ile 40°C sıcaklıkta ve 500 kPa gerilme seviyesinde dinamik sünme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre sönmüş kireç katkısının yapılan karışımlarda sünme performansını arttırdığı görülmüştür. Leadcap modifiyeli karışımlarda sünme performansının bir miktar azaldığı görülürken, Pawna-1 modifiyeli karışımlarda sünme performansının çok fazla etkilemediği görülmüştür. SBS modifiyeli karışımlarda ise sünme performansının diğer karışımlara kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

2.2.3. Bitümlü Sıcak Karışımlar

Bitümlü sıcak karışımlar (BSK), üst yapılarda en çok kullanılan kaplama türüdür. Bunun nedeni BSK ile inşa edilen yolların sağladığı sürüş konforu, servis performansı, stabilite, suya karşı dayanım ve durabilitesinin iyi olmasıdır. BSK'lar belirli bir gradasyonu olan agrega karışımı ve bitümden oluşur (Demirbay, 2020 ve Kök ve ark., 2012).

Bitüm viskoelastik ve termoplastik bir malzemedir. Viskoelastik malzemelerde gerilme-şekil değiştirme ilişkisi yükleme zamanı ile değişmektedir. Termoplastik malzemelerde ise gerilme-şekil değiştirme davranışı sıcaklığa bağlıdır. Karışımın mekanik özellikleri bitümün bu özelliklerine göre değişim gösterir. BSK' nın etkilendiği en önemli mekanik özellikleri çekme dayanımı, rijitlik, kalıcı deformasyonlar, yorulma davranışı ve tekerlek izi oluşumudur. Sürekli trafik yükleri altında kalan asfalt kaplamalar bu mekanik özellikler göz önüne alarak tasarlanmalıdır. Ek olarak sürüş konforunun sağlanmasında

unutulmamalıdır. Bu yüzden asfalt kaplama yüzeylerinin, optimum düzeyde pürüzsüz olmaları gerekirken belirli bir sürüş güvenliğini sağlaması amacı ile belli bir sürtünmeye sahip olmalarıda gerekmektedir (Demirbay, 2020 ve Kök ve ark., 2012).

Yüksek kalite ve standartlardaki üstyapılarda kullanılacak esnek kaplamalar için BSK'lar kullanılmaktadır. BSK kaplamalar malzeme içeriğine göre 4 sınıfa ayrılmaktadır.

- Açık Granülometrilili Sıcak Karışımlar: Bu karışımlarda ince agrega oranı çok az olduğu için boşluk oranı fazladır (% 5-15).
- Kesikli Granülometrilili Sıcak Karışımlar: Boşluk oranı % 8-12 arasındadır. Pürüzlü bir yüzey verirler ve tekerlek izine karşı dirençlidirler. Taş mastik asfalt kullanımında bu granülometre kullanılır.
- Yoğun ya da Sürekli Granülometrilili Sıcak Karışımlar: Agrega granülometrisi düşük boşluk verecek şekilde tasarlanırlar. Boşluk oranı % 2-5 arasında olan bitümlü karışımlardır. Yüzey pürüzlülüğü azdır.
- Harç Tipi Karışımlar: İnce malzeme miktarı fazladır. Kaba agrelar ise, bitümlü ince agrega karışımında dağınık şekildedir. Bu tür karışımlarda boşluk oranı az olup bitüm yüzdesi çok yüksek olduğundan penetrasyonu düşük (viskozitesi yüksek) bitümlü bağlayıcı yani sert bitüm kullanılır. Yüzey pürüzlülüğü azdır (Demirbay, 2020 ve Tunç, 2001).

Namlı (2011), çalışmasında bitümlü sıcak karışımlarda katkı malzemesi olarak SBS türü polimerleri kullanmıştır. Çalışma sonucunda SBS katkı malzemesinin bitümün özelliklerini iyileştirdiği ve asfalt karışımların performansını ve bir çok özelliği açısından olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

2.2.4. Poroz Asfalt Karışım

Geçirimli asfalt kaplama, karışım içerisinde çakıl ve kırılmış agregalardan oluşan, içindeki boşluk yüzdesi yüksek olan, kaplamaya gelen yağmur suyu veya eriyen kar suyunun kaplama içerisine absorbe olmasına izin veren ve suyun drenaj tesisine ulaşmasından veya taban zemine sızmasından önce üstyapı içinde geçici olarak depo edilmesine izin veren karışımlardır. Geçirimli asfalt karışımların diğer karışımlara göre farkı, serildikten ve sıkıştırıldıktan sonra yaklaşık %20 daha fazla boşluk oranına (poroziteye) ve daha büyük çapta agregalara sahip olmasıdır (Özay ve Öztürk, 2013 ve Vardanega ve ark., 2008).

Özay ve Öztürk (2013), yapmış oldukları deneysel çalışmada modifiye edilmiş poroz asfalt karışımlarının performansını incelemiştirlerdir. Buna göre 50/70 penetrasyonlu bitümden MD243 SBS ve TPS (TafPack-Super) katkılarını kullanıp modifiye bitümler ve test etmişlerdir. Yapılan testler, indirekt çekme mukavemeti, bitüm süzülme, parça kaybı (cantabro), tekerlek izini, permeabilite, tekrarlı yükler altında yorulmaya karşı dayanım ve soyulma deneyleridir. Sonuçlar değerlendirildiğinde kimi deneyler MS243 SBS katkısı ile hazırlanan karışımın kimi deneylerde ise TPS katkılı karışımın daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

2.3. Bitümlü Sıcak Karışımların Özellikleri

BSK tabakaların kalitesi mekanik özellikleri ile bağlantılıdır. Bu özellikler aşağıda listelenmiştir (Tunç, 2001);

- Stabilite
- Rijitlik
- Durabilite (Dayanıklılık)
- Yorulma Mukavemeti
- Fleksibilite (Esneklik)
- Geçirimsizlik
- Kayma Direnci
- İşlenebilirlik

Optimum karışım dizaynı ve uygulamada en uygun bitümlü kaplamaların elde edilebilmesi için bu özellikleri göz önüne almak oldukça önemlidir (Tunç, 2001).

2.3.1. Stabilite

Kaplamanın trafik yüklerine karşı farklı deformasyonlar göstermeyecek şekilde direnç göstermesine stabilite denmektedir. Kısaca deformasyon direnci olarak ifade edilebilmektedir. Çok yüksek stabilite değerine sahip olan sıcak asfalt karışımlar gevrek bir davranış göstermektedir. Çok düşük stabilite değerine sahip sıcak asfalt karışımlar ise düşük mukavemet değerleri göstermektedir. Bitümlü sıcak karışımların stabilitesine etkileyen unsurlar kayma mukavemeti, ısı ve eylemsizlik direnci olarak tanımlanabilmektedir (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.3.2. Rijitlik

Rijitlik belirli bir yükleme süresi ve sıcaklık etkisinde BSK' da meydana gelen gerilme ve deformasyon arasındaki ilişkidir. Rijitlik yükleme hızı arttıkça veya süresi azaldıkça artmaktadır. Uygulanılan ısı miktarı arttıkça veya karışımın yoğunluğu azaldıkça azalmaktadır. Sıcak asfalt karışımların rijitlik değerlerinin belirlenmesi için indirekt (yarılma) çekme Testi (AASHTO T283) uygulanmaktadır (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.3.3. Durabilite

BSK'ların çevre koşulları ve ağır trafik yükler altında özelliklerinin değişmesine karşı gösterdiği dirence durabilite denir. Karışım içerisindeki bitüm miktarının artması ve karışımın iyi sıkıştırılması ile karışım daha az su ve havaya maruz kalır. Bu durum da durabiliteyi artırır. Çünkü hava ve su asfaltın oksidasyonunu hızlandırdığı için asfaltın yaşlanmasına sebep olmaktadır (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.3.4. Yorulma mukavemeti (f_R)

Yorulma mukavemeti, kaplamada çatlama oluşmadan tekerrür eden yükler altında kalıcı olmayan deformasyonların oluşmasına izin verme yeteneğidir. Yorulma mukavemeti rijitlik arttıkça, asfalt penetrasyonu arttıkça, gradasyon ve yoğunluk arttıkça, bitüm miktarı arttıkça, kaplama kalınlığı arttıkça ve eğilme gerilmesi azaldıkça artış gösterir. Ayrıca karışımın yeterli miktarda sıkıştırılması da yorulma mukavemetini artırır (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.3.5. Esneklik

Asfalt kaplamalar zamanla yüklere maruz kalmaktadır ve bu durumda zeminde oturmalar meydana getirmektedir. Kaplamanın çatlama, meydana gelen farklı deformasyonlara uyum kabiliyetine esneklik denir. Kaplamanın esnekliği artarsa stabilitesi azalmaktadır. Düşük esneklik özelliği gösteren bitümlü sıcak karışımlarda aşırı çatlama malzemenin parçalanmasına neden olduğu için stabilitenin düşmesine sebep olmaktadır. Don kabarması olayı zeminde meydana geldiği durumda aşağıdan yukarı doğru gerilmeler meydana gelecektir. Bu durumda kaplama esnekliği yeterli olursa kaplamada sadece geçici deformasyon meydana gelecektir. İklim olarak soğuk olan bölgelerde kaplama tasarımında esneklik özelliği oldukça önemli bir kriterdir (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.3.6. Geçirimsizlik

Asfalt kaplamaların içine hava ve suyun nüfus etmesinin bir ölçüsüdür. Kaplamadaki boşluk miktarı ve bu boşlukların birbirleri ile olan irtibatı geçirimsizliğin oranını belirler. Geçirim fazla olması durumunda hava, suyun etkisi ile asfaltın yaşlanmasına neden olur ve kaplamanın soyulma mukavemetini azaltır. Geçirimsizlik;

- Asfalt miktarı arttıkça,
- Agrega gradasyonunun ve karışımın yoğunluğu arttıkça,
- Sıkıştırma arttıkça

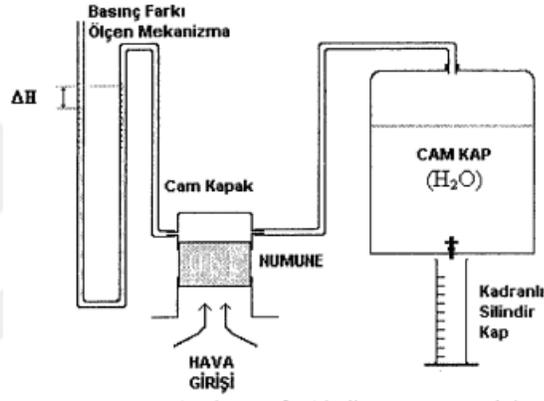
artmaktadır. Aşınma tabakası için geçirimsizliğin temel standardı olarak boşluk oranının %3-5 arasında olması istenmektedir (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

Çelik (2005) yaptığı deneysel çalışmada sabit karıştırma sıcaklığında 50 ve 100 penetrasyon dereceli bitümler ile bir dizi BSK'lar hazırlamıştır. Hazırlanan BSK'ların vakum porozite sonuçları oldukça yakinken, hava geçirgenliği sonuçlarının oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen bu sonuçların bağlayıcı malzemenin aynı karıştırma sıcaklığında farklı viskoziteye sahip olmasından dolayı olduğu tahmin edilmiştir.

Geçirgenlik kaplamanın performansı ve dayanıklılığı için oldukça önemlidir. Karışımlardaki boşluk oranı ile hava geçirimliliğinin doğrudan ilişkili olduğu düşünülür. Bu durumda ideal bir karışımda boşluklar bağlantısız olmalıdır. Boşlukların bağlantısız olması ile yüksek boşluk oranına sahip kaplamada düşük geçirgenlik elde edilir. Düşük geçirgen kaplama ise, hava ve suya daha az maruz kalacağı için oksitlenme ve buharlaşmaya karşı direnç gösterecektir (Çelik, 2005).

Bitümlü sıcak karışım kaplamaların yerinde uygulanmadan önce ve sonra hava geçirgenliğini belirlemek ve analiz edebilmek oldukça önemlidir. Dolayısıyla bitümlü sıcak karışımlarda hava geçirgenliğinin sağlanabilmesi ve belirlenebilmesi için mevcut ve yeni yöntemlerin kullanımı ön plana çıkmaktadır Fakat çalışmalarda uygulanan benzer saha testleri ve benzer laboratuvar testleri için farklı geçirgenlik değerleri bulunmuştur. Dolayısıyla geçirgen kaplamalarda geçirgenliği ölçmek için kullanılan mevcut bir ortak yöntem yoktur. Li ve diğ. (2013) hangi yöntemi kullanılırsa kullanılsın, geçirgenlik ölçümünü belirlemek için doymuş hidrolik iletkenliği, sızma oranı, geçirgenlik katsayısının kullanılması gerektiğini vurgulamıştır (Chen, 2019).

Karışımların hava geçirgenliğini belirleyebilmek için Leeds Air Permeametri kullanılmaktadır. Şekil 2.4 ve 2.5'te bu deney düzeneğinin şeması ile resmi gösterilmektedir. Bu sistem, hava basıncını gösteren eşit su seviyeli iki düşey cam boru ve bu sisteme bağlı içerisine, hava geçirirliği ölçülecek numunenin sadece alt kısmından hava girişi sağlayacak bir demir numune kap ve hava girişine kapalı içerisinden su alınabilecek bir cam kaptan ibarettir (Çelik, 2005). Hava geçirgenlik katsayısı 2.1' de verilen denklem yardımı ile hesaplanır.



Şekil 2.3. Hava Geçirgenliği Deney Düzeneği (Çelik, 2005)

Hava geçirirlik katsayısı;

$$k = \frac{\mu \cdot V \cdot L}{A \cdot dP \cdot dT} * 10^5 \quad (2.1)$$

k = geçirgenlik katsayısı (cm/sn),

V = cam kaptan alınan su hacmi (cm³),

μ = havanın viskozitesi (Pa.s),

L = numune yüksekliği (cm),

A = numune yüzey alanı (cm²),

dP = basınç farkı (Pa),

dT = V hacmindeki suyun alınma süresi (sn).



Şekil 2.4. Leeds Hava Geçirgenliği Deney Aleti (Çelik, 2005)

2.3.7. İşlenebilirlik

İşlenebilirlik, BSK inşası esnasında kolay bir şekilde sıkıştırılabilmesi yeteneğidir. Aslında, agrega malzemelerin yer değiştirmeye karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilmektedir. İşlenebilirliği düşük olan bitümlü sıcak karışımlar homojen yapıda olmayacağı için sıkıştırma işlemi esnasında birtakım güçlükler oluşur. Bu da karışımın stabilitesinin düşmesine neden olur (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.3.8. Kayma Direnci (SR)

Araç tekerlekleri ile kaplama arasındaki sürtünme kuvveti kayma direnci olarak tanımlanmaktadır. Kaplama yüzeyi pürüzlü olan agrega kullanılması kayma direncinde artış sağlar. Ancak kaplama pürüzlülüğü ile sürüş konforu ters orantılıdır (Tunç, 2001 ve Demirbay, 2020).

2.4. Taş Mastik Asfalt ve Asfalt Beton Karışımlar

TMA, asfalt beton karışımlara göre yüksek oranda bitüme ve kaba agregalara sahip sıcak karışımlardır. Taşın taşa taşıtılması ilkesi ile daha iyi tekerlek izi direnci ve daha yüksek mukavemet sağlanır. Kaba agrega iskeleti, ağır trafik yüklerine dayanmak için araçların

kesme mukavemetine ve etkili yükleme dağılım modeline katkıda bulunur. İnce agrega, bitümlü bağlayıcı, filler ve katkı malzemelerinden oluşan TMA karışımlar, daha yüksek bağlayıcı ve dolgu içeriği nedeniyle karışımın dayanıklılığının artmasını sağlar (Umutlu, 2022).

İzol ve Sarıışık (2022), yaptıkları deneysel çalışmada TMA karışımına, mineral filler olarak atık mermer tozu ekleyerek, Marshall tasarımı ile oluşturulan karışımların performansına dair araştırma yapmış ve çıkan sonuçları mineral filler olarak bazalt ve kalker kullanılan numunelerle karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmada agregaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla gradasyon eğrisine uygun olacak biçimde belirli oranlarda bağlayıcı bitüm kullanıp Marshall Deneyi yapmıştır. Her bitüm yüzdesine sahip 3 numune olmak üzere, toplam 45 numune dökümü yapılmıştır. Optimum bitüm yüzdesinin belirlenmesinin ardından bazalt, kalker ve mermer filler malzemenin kullanıldığı numuneler, Karayolları Teknik Şartnamesine göre değerlendirilmiştir. Diğer malzemelerle benzer sonuçların elde edilmesi ile mermer tozunun taş mastik asfaltlarda alternatif filler malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Ayyıldız ve ark. (2021), yapmış oldukları çalışmada TMA karışımlarda SBS, nanokil, bitüm nano-kompozitler için optimum bileşim oranlarını araştırmıştır. SBS'in su hasarı, tekerlek izi ve çatlama direncini arttırdığı, yorulma davranışını iyileştirdiği konusunda inceleme yapabilmek için farklı SBS oranlarında (%5, %4, %3, %2 ve %1) sabit %2 ve %3 nanokil ilavesinin etkisi, su hasarı, tekerlek izi ve çatlama direnci yönüyle incelenmiştir. SBS oranının azaltılabilirliği konusu düşünülmüştür. Nanokil, polimer modifiye bitümlere ilave edildiğinde, polimer modifiye bitümlerin depolama stabilitesini arttırabilmekte ve asfalt karışımın mekanik özelliklerini geliştirebilmektedir. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, %2 nanokil- %3 SBS oranı daha yüksek deformasyon direnci ve su hasarı göstermiştir.

2.5. Plastik

Yunanca “plastikos” kolayca şekil alabilen kelimesinden gelen plastikler ham petrol, doğal gaz, kömür ve diğer katkı malzemeleri gibi maddelerden elde edilen organik ürünler olarak adlandırılmaktadır. Dünyada üretilen petrolün yaklaşık %4'ü sadece plastik yapımında kullanılmaktadır. Çünkü kolay biçimlendirilebilmesi, hafif oldukları için uzak mesafelere kolay bir şekilde taşınabilmesi ve dayanıklı olmasından dolayı geniş kullanım alanına sahiptirler. Plastiklerin en önemli özellikleri ısı ve basınç etkisiyle yumuşatılıp ve

çeşitli yöntemler ile biçimlendirilebilmeleri ve soğuyunca aldıkları biçimlerini koruyabilmeleridir (Safi, 2019).

Plastiklerin aşağıda verilen avantajları, kullanımının artmasında önemli rol oynamaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1997).

- Hafif oldukları için taşıma maliyeti oldukça düşüktür.
- Esnek ve rijit oldukları için istenilen şekilde biçimlendirilir.
- Dayanıklı oldukları için güvenli bir kap oluşturulabilir.
- İyi yalıtkan bir malzemedir.

2.5.1. Atık Plastikler ve Geri Dönüşümü

Günümüzde nüfus artışına bağlı olarak artan tüketim ve yaşam standartlarındaki değişim gibi faktörlerden dolayı plastik atıklar oldukça artmıştır. Bununla birlikte mevcut kaynakların hızlı bir şekilde tüketimi, çevre ve görüntü kirliliği gibi evrensel sorunlara sebep olmaktadır. Plastiklerin çözülme ve doğada kaybolma süreleri oldukça fazladır. Ayrıca plastiklerin yakılması ise hava kirliliğine sebep olmaktadır. Plastiklerin denize atılması sonucunda ise besin zincirinde olan deniz canlılarına nüfuz etmesi sonucunda dolaylı olarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Plastik atıkların her şekilde doğaya ve canlılara olan olumsuz etkilerini ortadan kaldırmanın en önemli çözüm yolu plastiklerin geri dönüştürülmesidir. Bu sebeplerden dolayı plastik atıkların geri dönüşümü hem ekonomik hem de çevresel bakımdan oldukça mühim bir konu haline gelmiştir (Kayılı ve Çelebi, 2020).

Ekonomik olarak önemli olan yaklaşık elli tip plastik bulunmaktadır. Polietilen (PE), Polietilen tereftalat (PET), Polipropilen (PP), Polistiren (PS) ve Polivinilklorür (PVC) gibi polimerler plastik tüketiminin hemen hemen %60' ını oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu polimerlerin dünyamızı ve enerji kaynaklarımızı korumak ve plastiğin üstün özelliklerini en etkili şekilde kullanabilmeye devam edebilmek için geri dönüşümü oldukça önemlidir. Plastiklerin geri dönüşümü bu sayede günden güne önem kazanmaktadır (Ekrem, 2014).

Saltan ve İnkaya (2020), çalışmalarında sınıflandırılmış granül haldeki atık plastik ısıtma işlem yöntemiyle bitüm ile karıştırarak numuneler hazırlamıştır. Hazırlanan bu numuneler Marshall dayanım ve indirekt çekme deneyleri ile incelenilmiştir. Yapılan bu çalışmanın amacı atık malzemelerin sadece basit bir malzeme olmadığını gösterip aynı zamanda plastik malzemelerin özellikleri açısından teknik etkilerini tanıtmak ve dolayısıyla bu malzemelerin avantajlarını karayolları inşaatı uygulamasında kullanarak avantaj haline

getirmektedir. Tüm bunlardan dolayı bitümlü karışımlarda atık malzemelerin bağlayıcı olarak kullanılabileceği görülmüştür.

Gökalp ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada polimer modifiye bitüm modifikasyonuna etki eden parametrelerin araştırmasını yapmışlardır. Bu çalışmadaki amaç konu hakkında hem araştırmacılar hem de sektör temsilcileri için bir farkındalık yaratmaktır. Çünkü bitümlü bağlayıcıların karışım içerisindeki oranı yaklaşık olarak %5-7 (ağırlıkça)' dir. Bu da düşük bir değere tekabül etmektedir fakat üst yapı bozulmalarında karışımın özellikleri bakımından oldukça önemlidir. Bu bozulmaları engellemek ve atık malzemelerin geri dönüşümü amacıyla modifikasyon işleminin uygun bitüm ve katkı malzemesi ile yapılabileceğini savunmuşlardır.

Erkuş ve ark. (2021), yapmış oldukları deneysel çalışmada doğal asfalt (NA) ve SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcıları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada NA, saf bitümün ağırlığınca %20, %35 ve %50 oranlarında kullanılmıştır. NA modifiyeli bağlayıcıların özellikleri, %2 ve %4 SBS içeren modifiye bağlayıcılarla karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan deneyler şu şekildedir; penetrasyon, yumuşama noktası, dönel viskozimetre ve dinamik kayma reometresi. Buna ek olarak tekerlek izi dirençleri ve bağlayıcıların sıcaklık hassasiyetleri ölçülmüştür. Bitüm içerisine NA ilavesi yumuşama noktası, viskozite ve tekerlek izi parametrelerinde önemli bir artışa neden olmuştur. %50 oranında kullanılan NA işlenebilirlik açısından bir sorun teşkil etmemiştir. %50 NA modifiyeli bağlayıcının tekerlek izi parametresi %4 SBS modifikasyonundan 4.3 kat daha fazla çıkmıştır. Bu durumda NA modifikasyonu kabul edilebilir değerler vermiş fakat SBS modifikasyonu kadar başarılı olamamıştır. Ancak NA modifiyeli kaplamalar yüksek hava sıcaklığı olan yerlerde yoğun trafik şartlarına olumsuz bir sonuç oluşturmadan SBS modifikasyonuna göre daha ekonomik olduğu belirlenmiştir.

Plastik atıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Pet şişeler,
- Şişe kapakları,
- Su damacaneleri,
- Ambalajlar,
- Naylon poşetler,
- Pet bardaklar

- Temizlik malzemesi ambalajları,
- Plastik oyuncaklar (Kayan ve Küçük,2020)

Plastik atıkların geri dönüşümü için gereken adımlar aşağıdaki gibidir;

- Plastik atığın içindeki malzemeler boşaltılarak işleme başlanır.
- Taşımadan tasarruf etmek için biriktirme depolarına iyi bir şekilde sıkıştırılarak yerleştirilir.

- Plastik atıklar geri dönüşüm tesisine gönderilir.
- Plastik atıkları türlerine göre ayrıştırılır ve sonra geri dönüşüm işlemi başlatılır.
- Atık plastikler türlerine göre ayrıştırıldıktan sonra makineler ile küçük parçalar haline getirilir.

- Bu küçük parçaları belli oranlarda orjinal hammadde ile karıştırılarak üretim yapılabilmektedir (Kayılı ve Çelebi, 2020).

Her bir plastik farklı kimyasal bağlardan oluştuğu için farklı türler için ayrı geri dönüşüm işlemi uygulanmaktadır. Aşağıda gösterilen Tablo 2.1' de bazı plastik türlerine göre kullanım alanları ve özellikleri gösterilmektedir (Kılıç ve Yüce, 2014).

Tablo 2. 1. Plastik türlerine göre kullanım alanları ve özellikleri (Kılıç ve Yüce, 2014)

Polimer İsmi	Kısaltma	Kullanım Alanı
Polietilen Teraftalat	PETE, PET	Polyester fiberler, film, elyaf, köpük şişe, katı cisim
Yüksek yoğunluklu polietilen	YYPE	Taşınmaya elverişli kapların yapımı, çeşitli şişeler, çantalar, oyun alanı malzemeleri
Polivinil klorür	PVC	Çit ve parmaklık malzemeleri, yiyecek dışı şişeler
Alçak yoğunluklu polietilen	AYPE	Sera örtüsü, film, ambalaj, elektrik sanayi
Polipropilen	PP	Plastik şişe, elektrik sanayi, mutfak eşyası
Polistiren	PS	Oyuncak,video kaset, tepsiler, yalıtım malzemeleri

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm, iki alt bölümden oluşmaktadır. Materyal bölümü çalışmada kullanılan agrega, filler, bitüm, atık plastik ve kullanılan malzemeler için ayrıntılı açıklamalar içermektedir. Yöntem bölümünde ise agrega, bitüm ve hazırlanan karışımın özelliklerini belirlemek için yapılan deneysel çalışmalar ve karışımın hava geçirgenliği ölçülebilmesi için tasarlanan deney aleti hakkında bilgi verilmektedir.

3.1. Materyal

3.1.1. Agrega

Ulaşım sisteminde yol yapımı için kullanılan temel malzeme agregadır. BSK'ların içerisindeki agrega miktarı genel olarak ağırlıkça %90-%95, hacimce yüzde %75-%85 arasındadır. Bitümlü karışımlarda kullanılan agregalar, karayolu teknik şartnamesinde verilen standartlar ile birlikte gerekli tane dağılım yüzde sınırlarını sağlaması gerekmektedir. Agreganın taşıyıcı bir sistem oluşturarak yolu etkileyen yüklerden dolayı meydana gelen gerilmeleri karşılamakta önemli bir rolü bulunmaktadır. Bu bakımdan üstyapıda kullanılacak agregaların özelliklerini bilmek yol mühendisleri için oldukça önemlidir. Agreganın şekli, yüzey pürüzlülüğü, tane dağılımı, yassılık durumu gibi özellikleri, BSK'ların işlenebilirliği yanında, tekerlek izi, yorulma ve geçirimsizlik gibi özellikleri yönünden performansları için oldukça önemlidir. Kaplamanın performansını etkileyen faktörler: yapımda kullanılan ürünler, uygulanan yapım yöntemleri ve uygulama sonrası etki eden yüklerdir. Yüklerin etkisi altında, kaplama tabakasında deformasyonlar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle bir kaplama tabakasının direnci ve yoğunluğu için agrega özellikleri önemlidir. Bu açıdan agregaların dayanıklı, sert, zararlı maddelerden arındırılmış ve yüzey şekillerinin kenetlenme yapmaya elverişli olması istenmektedir (İzol, 2020 ve Arslan, 2014).

Agregalar boyut olarak üç grupta incelenir. Bu üç grup aşağıdaki gibidir.

- Kaba agrega; 4 nolu elek (4,75 mm) üzerinde kalan malzeme
- İnce agrega; 4 nolu ile 200 nolu elek (0,075 mm) arasında kalan malzeme
- Mineral filler; 200 nolu elekten geçen malzeme

Uygun özelliklerde agrega tercihi agregadan beklenen performansı alabilmek için oldukça önemlidir. Kaplamalarda kalıcı olarak stabil, ekonomik ve emniyetli olmayı sağlayabilmek agrega üretiminde ve yapım aşamasında gerekli olan işlemlerinin özenli bir şekilde yapılması gerekmektedir (Tunç, 2001).

Bu çalışma bünyesinde asfalt betonu için kullanılan agrega türü kalkerdir ve bu malzeme Konya-Aksaray yolunda bulunan Öztaş firmasından temin edilmiştir. TMA ise Niğde ilinde bulunan AS Beton firmasından temin edilmiş bazalt kullanılmıştır.

3.1.2. Bitümlü bağlayıcı

Bitüm kompleks bir kimyasal karışımdır. Bu kompleks karışım yapısında yüksek miktarda hidrokarbonlar içerirken bunun beraberinde düşük miktarda oksijen, nitrojen ve sülfür atomlarında bulundurmaktadır. Bitümlü bağlayıcılar asfaltlar ve katranlar olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Doğal halde bulunan veya ham petrolün işlenmesi sonucu oluşan, rengi koyu kahverengi ile siyah arası değişebilen, katı, yarı-katı veya sıvı halde olabilen ve kuvvetli bağlayıcı özelliğe sahip olan hidrokarbonlardan oluşan maddeye asfalt denilmektedir. Bitümlü bağlayıcı, penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılabilir. Penetrasyon derecesi ne kadar yüksek olursa bitümlü bağlayıcı o kadar yumuşamaktadır. Bitümün yumuşaması ise bağlayıcılık özelliğinin azalmasına sebep olmaktadır (İlcalı, 2001 ve Akmaz, 2020).

Sürekli olarak artan trafik yükleri ve daha konforlu sürüş talebi, üstyapıların zamana bağlı bozulmalarının en aza indirilmesi için yapılan tasarımın önemini arttırmaktadır. Her hangi bir üstyapıdaki tasarım ve uygulama, üstyapı kalitesi için farklı faktörlere bağlı olmaktadır. Bitüm, karışım içerisinde hacimce küçük bir orana sahip olmasına rağmen dayanıklılık ve agrega arasında bir bağ oluşturması sebebi ile oldukça önemli bir malzemedir (Whiteoak, 2004).

Bitüm sınıfı seçimi; sürüş konforunu arttırmak ile kaplama tabakalarının performansı, bakım ve onarım maliyetlerini azaltmak amacıyla yeni TS EN 12591 standardına göre iklim koşulları da göz önüne alınarak B50/70 penetrasyonlu olarak belirlenmiştir.

3.1.3. Plastikler

Bu bölümde, çalışma kapsamında YYPE, AYPE, PET ve PP plastik türleri kullanılmıştır.

YYPE etilen monomerlerinden düşük basınçta üretilen bir PE türüdür. YYPE, suya ve kimyasal maddelere karşı dirençli olup, nitrik asit (HNO₃), ışık ve dolayısıyla açık hava şartlarına karşı direnci oldukça düşüktür. Yaklaşık olarak 0.936-0.960 gr / cm³ arasında yoğunluğa sahiptir. YYPE 0.02 – 20 arasında erime akış hızına sahipken, erime sıcaklığı 125°C-135°C arasındadır (Arıkan, 2007).

AYPE etilen monomerlerinden yüksek basınç ile üretilen bir PE çeşididir. Alçak yoğunluğa sahip olan polietilen üstün gerilme ve üstün yırtılma direnç özelliği göstermektedir. Darbeye karşı dayanıklılığı oldukça yüksektir. AYPE 0.910-0.930 gr/ cm³ arasında yoğunluğa sahipken AYPE'nin 0.2–50 arasında erime akış hızına sahipken, erime sıcaklığı 100°C-120°C arasındadır (Arıkan, 2007).

PET poliester polimer grubunun en yaygın kullanılan malzemesidir. PET, termoplastik özelliktedir. PET saf halindeyken erime noktası 275 °C' nin üzerindedir (Karaman, 2008).

Dünyadaki en çok kullanılan ikinci plastik hammaddesi polipropilen, ilk olarak 1957 yılında kullanılmıştır. Termoplastik bir polimer olup oldukça geniş kullanım alanına sahiptir. Çözücüler ve kimyasallara karşı direnci yüksek olup, sürtünme katsayısı düşüktür. Nem ve ısıya karşı direnç gösterme özellikleri ile oldukça avantajlıdır. Polipropilen polimerlere göre daha ekonomiktir. Polipropilen, erime sıcaklığı 130°C-171°C arasındadır. Darbeye karşı oldukça dayanıklı polipropilen, çok iyi elektrik yalıtkanıdır (Ekrem, 2014).

Sürekli artan dingil yükleri nedeni ile kaplamalarda bozulmalar meydana gelmektedir. Meydana gelen bozulmaları en aza indirebilmek ve daha uzun süreli kullanılacak karışımlar elde edebilmek için bitümün katkı malzemeleri ile modifiye edilmesi tercih edilmektedir. SBS katkı malzemesi bu katkılardan biridir. SBS katkı malzemesini bitüm ile homojen bir şekilde karıştırılabilmek için, yüksek devirli öğütücü tesis gerektirir. SBS, bitüm ile uygun bir şekilde karışması için 180°C-190°C arası bir sıcaklıkta modifiye işlemi gerçekleştirilmektedir (Arslan, 2014). Şekil 3.2'de SBS malzemesi gösterilmekte ve Tablo 3.1' de SBS malzemesinin teknik özellikleri belirtilmektedir.

Bu çalışma kapsamında naylon poşet ve PP pirolizi yapılmıştır. Piroliz sonunda elde edilen katkı malzemeleri B50/70 penetrasyonlu optimum bitüm ile modifiye edilerek asfalt betonu ve taş mastik asfalt karışımlar elde edilmiştir. Asfalt betonu karışımlarında %3 ve %5 oranında naylon poşet pirolizi sonucu elde edilen katkı malzemesi kullanılırken, TMA karışımı için %5 oranında PP pirolizi sonucu elde edilen katkı malzemesi kullanılmıştır. Son olarak SBS pirolizi ile elde edilen katkı malzemesi B50/70 penetrasyonlu belirlenen optimum bitüm içeriğine %4.5 oranı ile katılarak TMA karışımında kullanılmıştır.



Şekil 3. 1. SBS

Tablo 3. 1. SBS Teknik özellikleri (Arslan, 2014)

SBS Teknik Özellikleri	
Özgül Ağırlık, gr/cm ³	0.94
Kütle Ağırlık, ton/m ³	0.40
Çekme Gerilmesi, MPA	33
Kopma Uzaması, %	1000
Sertlik, Shore A (15 sec)	70
Erime Akış Hızı, g/10 min.	<1

Selülozik VIATOP, karışımlarına katılması kaplamanın stabilite değerini artırır. Selülozik Viatop katılarak oluşturulan karışımlar ile yapılan yol kaplamalarında yüksek trafik yükleri altında bile uzun süreli kullanım ve deformasyona karşı güçlü bir direnç sağlanmaktadır. TMA' da kullanılması en temel kullanım şeklidir. Ayrıca Viatop, bitüm içerisindeki liflerin ayrışmasını ve dağılmasını kolaylaştırmaktadır (Evirgen ve ark., 2021). Bitümlü karışımlarda kullanılan elyaflar Karayolu Teknik Şartnamesine uygun olmalıdır. Karayolu Teknik Şartnamesine göre elyafların özellikleri Tablo 3.2' de verilmiştir.

Tablo 3. 2. Elyaf Özellikleri (Evirgen ve ark, 2021)

Elyaf Uzunluğu (max)	6 mm
No 20 (0.850 mm) elekten geçen	%85±%10
No 40 (0.425 mm) elekten geçen	%65±%10
No 100(0.149 mm) elekten geçen	%30±%10
Kül Muhtevası	%18±%5
pH	%7.5±%1
Yağ absorpsiyonu	Elyaf ağırlığının 5±1 katı
Nem absorpsiyonu	(Ağırlıkça) < %5

TMA karışımlarda bitümdeki akmayı önlemek ve aggregalar arasındaki bağları kuvvetlendirmek amacı ile Selülozik elyaf (Viatop) kullanılır. Karayolu Teknik Şartnamesine göre TMA karışım ağırlığının yaklaşık %0.3-1 arasındaki kısmı viatop olmalıdır.

Bu çalışma kapsamında kullanılan VİATOP selülozik elyaf Teknomet kimya sanayinden temin edilmiştir. TMA karışımı hazırlanırken %0.5 oranında viatop malzemesi kullanılmıştır. Şekil 3.2' de VİATOP malzemesi gösterilmektedir.



Şekil 3. 2 VİATOP

3.2. Yöntem

3.2.1. Agregada deneyleri

Agregaların teknik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneylerin yöntemleri anlatılmıştır.

3.2.1.1. Elek Analizi Deneyi (TS EN 933-1)

Elek analizi deneyinin temel amacı agrega yığının tane boyutu dağılımını belirlemektir. Deney sonrası belirlenen değerler gradasyon sınıflandırılmasında, agrega karışım oranlarının hesabında ve gradasyonun uygun şartnameye uygunluğunun kontrolünde kullanılmaktadır. Asfalt kaplamalarda kullanılacak agregaların boyut dağılımını belirlemek için standart kare delikli elekler kullanılmaktadır (Altan, 2018). Agregaların maksimum dane boyutuna göre kullanılması gereken minimum numune ağırlığı Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3. 3. Agregaların maksimum dane boyutune göre kullanılması gereken minimum numune ağırlığı
(Sultani, 2021)

Elek Açıklıkları		Deney Numunesi Ağırlığı
mm	İnç	Minimum (kg)
37.5	1 1/2	15
25.0	1	10
19.1	3/4	5
12.7	1/2	2
9.52	3/8	1
4.75	No.4	0.50
2.00	No.10	
0.42	No.40	
0.177	No.80	
0.075	No.200	

Elek analizi sırasında uygulanan adımlar aşağıda listelenmiştir:

- Agreg a numunesi homojen bir karışım olacak şekilde karıştırılır. Daha sonra homojen haldeki agrega numunesinden maksimum dane boyutune göre Tablo 4'te belirtildiği miktarda temsili olarak çeyrekleme veya bölgeç metodu ile alınır. Alınan agrega numunesi $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lik bir sıcaklıkta etüvde veya havada kurutulmaya bırakılır. Kurutulan agrega numunesi soğuduktan sonra tartılarak kütlesi kaydedilir.

- Kurutulan ve soğuduktan sonra tartılan numune 200 nolu elek (0.075 mm) üstünde su berraklaşana kadar yıkanır.
- Yıkama işlemi bitirildikten sonra, agrega numunesi etüvde $110^{\circ} \pm 5^{\circ}C$ 'lik bir sıcaklıkta kurutulmaya bırakılır. Kurutulan numune tartılır ve kütlesi kaydedilir.
- Tartma işleminden sonra agregalar elek takımına dökülüp önce %100 geçen elekte ve sonra alt eleklerle doğru ayrı olarak eleme işlemi gerçekleştirilir. Deneyde kullanılan elek takımı Şekil 3.3 ve Şekil 3.4' te gösterilmektedir.
- Eleme işlemi tamamlanır ve sonrasında her elek üzerinde kalan numune miktarı tartılır. Tartım sonrası elde edilen sonuçlar elek analizi tablosuna geçirilmesi ile kaydedilir.
- Elekler üzerinde kalan agrega miktarı yüzde cinsinden hesaplanır. Buna bağlı olarak geçen yüzde de hesaplanarak elek analizi tablosuna aktarılır.
- En sonunda granülometri eğrisi çizilir. Şartname sınırları içerisinde ise işlem tamamlanır (Altan, 2018).



Şekil 3. 3. Elek takımı



Şekil 3. 4. Elek takımı

3.2.1.2. Los Angeles Aşınma Deneyi (TS EN 1097-2)

Üstyapı kaplamalarında kullanılan agregaların sıkıştırma işlemi uygulamasında ve yüksek trafik yükleri altında aşınmaya ve kırılmaya karşı direçli olması gerekir. Los Angeles aşınma deneyi iri agregaların parçalanma ve aşınmaya karşı direncini tespit etmek için uygulanan bir deneydir. Şekil 3.5' te Los Angeles deney cihazı gösterilmektedir. Silindirik şeklinde olan cihaz boş bir tamburdan oluşmaktadır. Cihazın iki ucu kapalı olup iki paralel destekle etrafında rahatlıkla dönebilmektedir. Tamburun iç uzunluğu (508 ± 5) mm iç çapı ise (711 ± 5) mm'dir. Belirlenen numunenin kaç adet çelik bilye ile kullanılması gerektiği Tablo 3.4' te gösterilmiştir. Cihazda seyyar bir kapak kullanılır. Bu seyyar kapağın amacı cihazın iç yüzeyinin sürekli silindirik kalmasını sağlamaktır. Bu kapak deliklerin toz sızdirmasını engellemek amacı ile iyice kapatılmalıdır. Her bir küresel bilye çapı 45 mm - 49 mm arasında olup kütlesi ise 400 g ile 445 g arasındadır (İzol, 2020, Arslan, 2014 ve TS 1097-2, 1998).



Şekil 3. 5. Los Angeles Deney Aleti

Tablo 3. 4. Los Angeles Bilye Sayısı (Sultani, 2021)

Aralık Sınıfları (mm)	Bilyelerin Sayısı	Bilye yükü katsayısı
4-8	8	3410-3540
6.3-10	9	3840-3980
8-12	10	4260-4420
11.2-16.0	11	5120-5300

Deneyin Yapılışı:

- Numuneyi cihazın içine koymadan tamburun temiz olup olmadığı kontrol edilir.
- Deneye agrega çap aralığına uygun miktarda malzeme tartılıp iyice yıkanır.
- Yıkanmış numune 24 saat 110°C sıcaklıkta etüvde kurutulmaya bırakılır.
- Kurutulmuş numune (5000 gr) bilyeler ile birlikte tamburanın içine yerleştirilir.

- Tamburanın kapağı deliklerden toz sızdırmayacak şekilde iyice kapatılır ve dakikada 31 ile 33 arasında sabit bir hız ile 500 devir döndürülür.

- Deney bittiğinde aşınmış numene 1.6 mm elekten elenir. 1.6 mm elek üzerinde kalan agreganın miktarı tartılır ve aşağıda verilen denklem yardımı ile Los Angeles katsayısı hesaplanır (İzol, 2020, Arslan, 2014 ve TS 1097-2, 1998).

$$\text{Los Angeles Katsayısı (\%)} = \frac{5000 - m}{5000} \quad (3.1)$$

m: 1.6 mm elek üzerinde kalan agreganın miktarı

3.2.1.3. Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi (TS EN 1097-6)

Bu deney agreganın özgül ağırlığı ve su emme oranını belirlemek amacıyla yapılan bir deneydir. TS EN 1097-6 standartları göz önüne alınarak yapılmıştır. Özgül ağırlık; birim hacim ağırlığının aynı hacimde ve 25°C deki suyun ağırlığına oranıdır. Absorbsiyon (su emme), kuru agreganın içerdiği su emme miktarını belirlemek için yapılan bir deneydir.

İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneyi (TS EN 1097-6);

Bu deney agregaların hacim, ağırlık ilişkisini analiz edebilmek ve bitümlü karışımlardaki boşluk yüzdesini hesaplamak amacı ile yapılmaktadır (İlcalı, 2001, İzol, 2020).

Deneyin Yapılışı

- 4.75 mm üzerinde kalan agregalardan 2 kg numune tartılır.
- Numune su berraklaşana kadar yıkanır ve 24 saat agregaları kaplayacak şekilde suyun içerisinde bekletilir.
- Numuneler delikli bir sepet içine yerleştirilerek su dolu kovaya daldırılır ve agreganın numunelerin üzerinden su seviyesi 5 cm geçecek şekilde Arşimet terazisi (Şekil 3.6) yardımıyla su içerisindeki ağırlığı belirlenir (C).
- Delikli sepet birkaç defa sarsılarak agregalar arasında hava boşluğu oluşması engellenir.
- Numuneler sudan çıkartılıp yüzey kuru suya doygun bir hale getirilecek şekilde kurutulup tartılır (B).
- Daha sonra su içerisindeki numune bir tepsiye boşaltılarak etüvde 110°C bir sıcaklıkta 24 saat kurutulmaya bırakılır.

- En sonunda kurutulmuş numune oda sıcaklığına soğutmaya bırakılır ve kuru agrega ağırlığı tartılır (A).

- İri agreganın özgül ağırlık ve su emme oranları aşağıda verilen bağlantılar yardımı ile hesaplanır (Ilıcalı, 2001 ve İzol, 2020).

$$\text{Kaba agrega hacim özgül ağırlığı (g/cm}^3\text{)} = \frac{A}{B-C}$$

$$\text{Kaba agrega zahiri özgül ağırlık (g/cm}^3\text{)} = \frac{A}{A-B} \quad (3.2)$$

$$\text{Kaba agrega su emme oranı (\%)} = \left(\frac{B-A}{A} \right) * 100$$

A: Etüvde kurutulmuş deney numunesi kütlesi, (g).

B: Doygun-yüzey kuru numune kütlesi, (g).

C: Doygun-yüzey kuru numunenin sudaki kütlesi, (g).



Şekil 3. 6. Arşimet Terazisi

İnce Agregalar İçin Özgül Ağırlık Ve Su Emme Deneyi (TS EN 1097-6);

Bu deney ince gregaların su emme oranları ve özgül ağırlığının belirlenmesi için yapılır (İlcalı, 2001 ve TS 1097-2, 1998).

Deneyin Yapılışı;

- 4,75 mm ile 0.075 mm elekler arasında kalan agregalardan 1 kg tartılarak deneye başlanır.
- Tartılan numuneler tepside üzerini su geçecek şekilde 24 saat boyunca bekletilir.
- Daha sonra agregalar yüzey kuru suya doymuş olacak şekilde ayarlanır. Bu şekilde agrega ağırlığı belirlenir.
- Numunenin yüzey kuru suya doymuş halde olup olmadığını kontrol etmek için Şekil 3.7' de gösterilen Abraham hunisi ile kontrol sağlanır. Agreganın bu nem kıvamına varabilmesi için Abraham Hunisinden yayılma miktarına bakılır. Doğru nem oranını

yakalayabilmek için sprey ile ıslatılabilir veya gerektiğinde ısı tabancası ile kurutulabilir. Doymun kuru yüzey kıvamı yakalanmış agregadan Şişe Piknometre içerisine alt çizgiyi geçmeyecek miktarda alınarak hassas tartım gerçekleştirilir.

- Sonra piknometre ağırlığı belirlenir (A). 500 g agrega numunesi piknometreye koyulur. Bu şekilde tartım işlemi gerçekleştirilir (C).
- Hazırlanan numune su içerisinde kalacak şekilde ayarlanır. Numune arasında hava boşluğu kalmaması amacı ile piknometre yaklaşık 10-15 dk süre ile sarsılır.
- Daha sonra Piknometre su banyosuna (25 °C) tabi tutulur. 25 °C' ye ulaşan numune su banyosundan çıkartılıp kurutularak tartılır (D).
- Piknometrenin içindeki numuneler tepsiye boşaltılarak 110 °C etüvde kurutulur ve agreganın kuru ağırlığı belirlenir (E).

Aşağıdaki bağlantılar vasıtasıyla ince agreganın su emme oranları ve özgül ağırlığı belirlenebilmektedir. (Ilıcalı, 2001 ve TS 1097-2, 1998).

$$\text{İnce agreganın hacim özgül ağırlığı} = \frac{E}{(B-A)-(D-C)}$$

(3.3)

$$\text{İnce agreganın zahiri özgül ağırlığı} = \frac{E}{B+E-D}$$

$$\text{İnce agreganın su emme oranı (\%)} = \frac{C-A-E}{E}$$

A= Piknometre ağırlığı (g)

B= Piknometre + Suyun ağırlığı (g)

C= Piknometre + Yüzey kuru ve suya doymun olan numune ağırlığı (g)

D= Piknometre + Yüzey kuru ve suya doymun olan numune + suyun ağırlığı (g)

E= Kuru numunenin ağırlığı (g)



Şekil 3. 7. Abraham Hunisi

Mineral Filler Özgül Ağırlık Deneyi (TS EN 1097-6);

Bu deney, 200 nolu elekten geçen filler malzemesinin özgül ağırlığını belirlemek amacı ile yapılmaktadır. Filler malzemesinin sadece zahiri özgül ağırlığı bulunmaktadır. Belirli sıcaklıkta agreganın geçirimsiz boşluklarını içeren birim hacminin havadaki ağırlığının aynı sıcaklık ve hacimdeki suyun ağırlığına oranına zahiri özgül ağırlık denilmektedir (TS 1097-2, 1998).

Deney Yapılışı;

- Boş piknometre şişesi tartılır (A).
- Daha sonra piknometre iyice doldurulur. $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta 1 saat boyunca su banyosunda bekletilir. Sonra piknometre su banyosundan çıkarılıp iyice kurutulduktan sonra tartılır (B).
- Daha sonra filler malzemesi, $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'lik bir sıcaklıkta 4 saat boyunca etüvde kurutulmaya bırakılır. Etüvden çıkartılan filler malzemesi oda sıcaklığında soğutulmaya bırakılır. Sonra soğumuş filler malzemesi temiz ve kuru bir piknometre şişesine 1/3' i dolacak şekilde boşaltılır. Ayarlanan piknometre şişesinin kapağı kapatılması ile tartım işlemi gerçekleştirilir (C).

- Piknometre şişesi tamamen dolana kadar su ilave edilerek $25 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 'lik su banyosunda 1 saat boyunca bekletilir. Sonra su banyosundan çıkartılan piknometre kurutulup tartılır (D).

Elde edilen değerler ile 3.4' teki bağlantı kullanılarak filler malzemesinin özgül ağırlığı belirlenir (TS 1097-2, 1998).

$$\text{Mineral Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (3.4)$$

Şekil 3.8' de filler ölçüm aleti gösterilmektedir.



Şekil 3. 8. Filler Ölçüm Aleti

Asfalt Betonlu Tip-1

Tip 1 Beton Asfalt Aşınma: En büyük tane boyutu 19 mm olan aşınma tipidir. Ağır veya yoğun trafiğin olduğu alanlarda kullanılmaktadır. Tip 2 Beton Asfalt Aşınma: En büyük tane boyutu 12.5 mm olan, Tip 1 aşınmaya kıyasla daha yüksek oranda bitüme ait aşınma tipidir. Genellikle hafif araç otoparkları, spor sahaları, yürüme yolları gibi ağır ve yoğun trafiğin olmadığı alanlarda kullanılmaktadır (KGM Teknik Şartnamesi, 2013).

3.2.2. Bitüm Bağlayıcı Deneyleri

3.2.2.1. Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi (TS EN 15326);

Bitümlü maddelerin özgül ağırlığı, 25°C’de hacmi bilinen bir bitüm numunesinin aynı hacim ve sıcaklıktaki suyun ağırlığına oranıdır (İlcalı, 2001). Şekil 3.9’ da bitüm ağırlığının ölçümü gösterilmiştir.

Deneyin Yapılışı:

- Boş piknometre tartma işlemi yapılır (A).
- Piknometre ağzına kadar su ile doldurulur, kapağı kapatılıp tartma işlemi gerçekleştirilir (B).
- Daha sonra bitüm numunesi piknometreye yaklaşık 2/3’ ü kadar doldurulur. Bu şekilde tartma işlemi gerçekleştirilir (C).
- Daha sonra içine bitüm konulmuş piknometre üzerine su ilave edilir, kapağı kapatılıp 25°C sıcaklıkta 30 dakika boyunca su banyosunda bekletilir ardından piknometre iyi kurulandıktan sonra tartılır (D).
- Bitüm özgül ağırlığı 3.5’ te verilen denklem yardımı ile hesaplanır (İlcalı, 2001).

$$\text{Bitüm Özgül Ağırlık} = \frac{(B-A)-(D-C)}{E} \quad (3.5)$$

E = Bitüm ağırlığı



Şekil 3. 9. Bitüm ağırlık ölçümü

3.2.2.2. Penetrasyon Deneyi (TS EN 1426)

Penetrasyon standart bir iğnenin bitümlü bağlayıcıya düşey yönde batma uzunluğudur. Bu işlem gerçekleşirken bağlayıcı belirli bir yük altında, belirli bir süre içinde ve belirli bir sıcaklıkta olmalıdır. 0.1 mm penetrasyon birimi olarak tanımlanmaktadır (Ilıcalı, 2001).

Penetrasyon deneyi bitümlü bağlayıcının kıvamlılığını belirlemek amacı ile yapılmaktadır. Penetrasyon değeri 500'e kadar olan bağlayıcılara 5 saniye süre ile 25°C sıcaklıkta 100 gr bir yük uygulanır. Penetrasyon değeri 500'den fazla olan bitümlü bağlayıcılarda, deney 15°C'lik bir sıcaklıkta gerçekleşmekte ve yükleme şartları değişmektedir. Daha akışkan ve yumuşak bir bitümün penetrasyon derecesi yüksek olarak değerlendirilebilmektedir. Daha kıvamlı bir bitümün penetrasyon değeri azalmaktadır (Ilıcalı, 2001).

Deneyin Yapılışı:

- Bitümlü bağlayıcının yumuşama noktası 90°C sıcaklığı aşmayacak bir şekilde ısıtılır ve penetrasyon kabına dökülür.
- Numune oda sıcaklığında soğutulduktan sonra 1-1.5 saat süre ile 25 °C su banyosunda bekletilir.
- Penetrasyon iğnesi iyice temizlenir.
- Numune kabı penetrasyon cihazına yerleştirilir (Şekil 3.10). Penetrasyon iğnesi ile numune yüzeyi teması sıfır olacak şekilde ayarlanır.
- İğne serbest düşmeye (5 saniye) maruz bırakılır.
- Kenarları hemen hemen 1 cm uzunlukta eşkenar oluşturacak şekilde iğne numuneye batırılır ve üç adet okuma kaydedilir.
- Bulunan değerlerin ortalaması alınıp en yakın tam sayıya yuvarlanır (Iıcalı, 2001).



Şekil 3. 10. Penetrasyon Cihazı

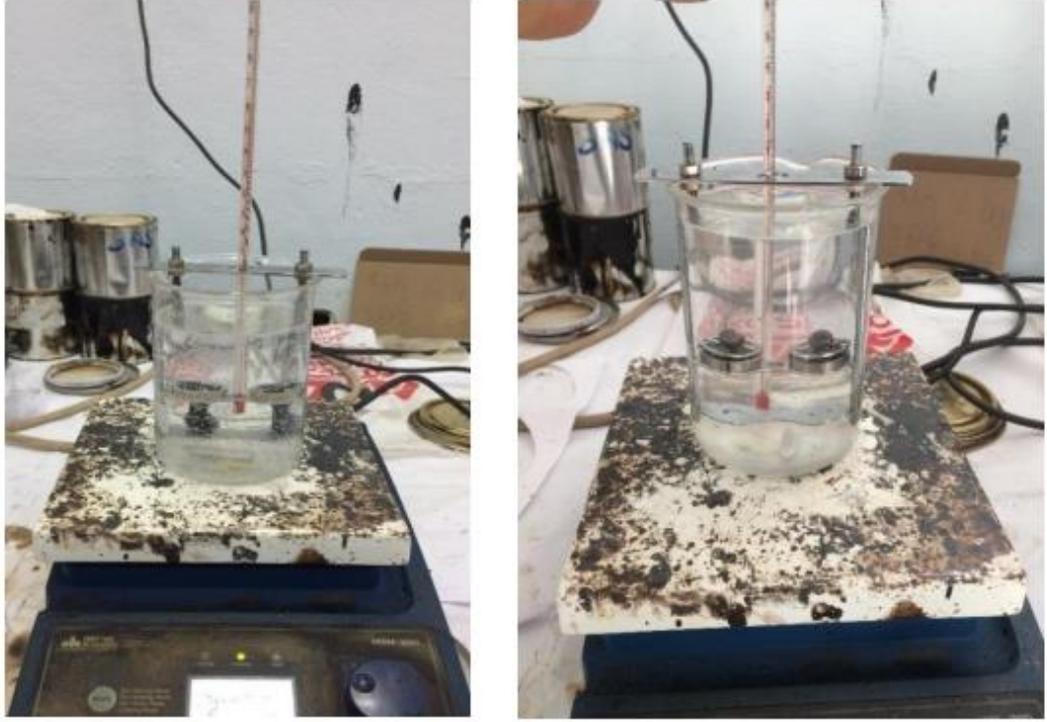
3.2.2.3. Yumuşama Noktası Deneyi (TS EN 1427)

Bitümün akmaya başladığı sıcaklığı belirlemek amacı ile yapılmaktadır. Başka bir deyişle bitümün sıcaklığa karşı olan duyarlılığıdır. Bitümün viskozite değeri ile yumuşama

noktası doğru orantılıdır (Sultani, 2021). Şekil 3.11’de Yumuşama Noktası deneyi gösterilmektedir.

Deneyin Yapılışı:

- Bitümlü bağlayıcı max 90°C sıcaklıkta ısıtılır.
- Çelik sehpa üzeri çok ince film şeklinde vazelin ile yağlanır.
- Halkalar içerisine bitümü taşırmadan dökülerek 30 dakika oda sıcaklığında bekletilir.
- İçi su ile dolu cam beher (5°C) kullanım için hazırlanır.
- Bilye sabitleme aparatı, deney numuneleri ve termometre; halka ve termometre sistemine takılarak beher içerisine yerleştirilir.
- Cam beher ısıtıcı üstün konulur ve ısıtıcı deney sıcaklığı dakikada 5°C artacak şekilde hazırlanır.
- Deney halkaları içerisindeki bitümün, bilyelerle birlikte aşağıya sarkan kısmı düzeneğin taban yüzeyine dokunduğu anda termometreden sıcaklık değeri kaydedilir. Bu sıcaklık yumuşama noktası değeridir (Sultani, 2021).



Şekil 3. 11. Yumuşama Noktası Deneyi

3.2.2.4. Viskozite Deneyi

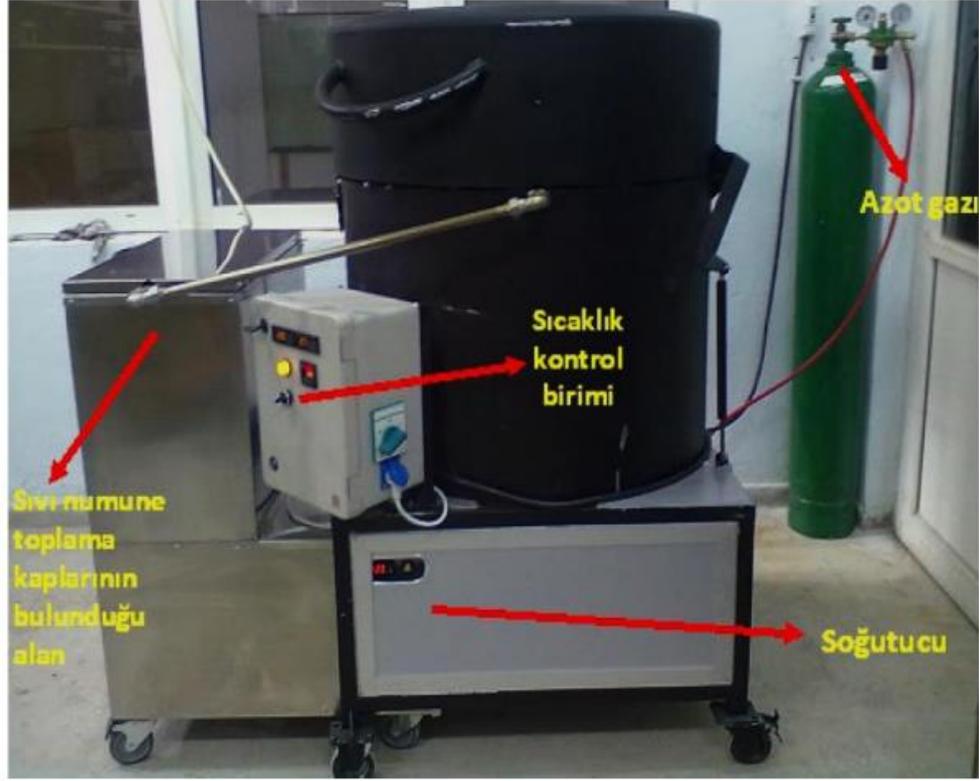
Viskozite; akmaya karşı direncin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Viskozite, bağlayıcıların kıvamlılığını tarif ederek sınıflandırmasında en önemli etkindir. Bağlayıcıların sıcaklığı arttıkça, viskozite değeri azalmaktadır. Viskozite deneyi, bitümlü bağlayıcının farklı sıcaklıklardaki akıcılık özelliklerini gösteren bir deneydir. Karışım içerisindeki bitümlü bağlayıcı, agrega ile karıştırılma ve serme aşamalarında, belirli bir akıcılıkta olmalıdır. Çünkü bitümlü sıcak karışımın (BSK) serme aşamasında, agrega ile bitümün yeterli derecede bağlanabilmesi (eksik adezyon kuvveti) ve sıkıştırma işlemi yeterli derecede gerçekleştirilebilmesi gerekir. Bitümün akıcılığını arttıran sıcaklık faktörü aynı zamanda bitümün yaşlanmasına da sebep olmaktadır. Bitümün yaşlanması, büyük oranda yüksek sıcaklıklara maruz kalmasından dolayıdır. Bu sebeple, bitümün akıcılık özelliği BSK yapımının farklı aşamalarında dikkat edilmesi oldukça önemli bir konudur (Arslan, 2014). Şekil 3.12’ de Viskozite deney aleti gösterilmektedir.



Şekil 3. 12. Viskozite Deney Aleti (Arslan, 2014)

3.2.3. Piroliz Deney Sistemi

Şekil 3.13' te gösterilen deney sistemi ile plastik atıkların piroliz işlemi yapılmıştır. Bu deney sistemi üç farklı göreve sahip (fırın, kontrol ve yoğunlaştırma (soğutucu ve sıvı ürün toplama kısmı)) bölümden oluşmaktadır (Akmaz, 2020).



Şekil 3. 13. Piroliz deney aleti (Akmaz, 2020)

Piroliz işleminin fırın bölümünde;

- 30 cm yüksekliğinde ve 10 cm iç çapa sahip olan çelik bir reaktöre (Şekil 3.14 (a)) numune yerleştirilir ve cihazda bulunan fırın bölümüne söz konusu reaktör dik bir biçimde koyulur.
- Dik bir şekilde koyulan bu bölümde piroliz işlemi gerçekleşmekte olup bu bölümün iç kısmında direnç telleri bulunmaktadır (Şekil 3.14 (b)). Bu teller ısıyı reaktöre aktarmakla görevlidir.
- Deney esnasında bozulan ürünün reaktörden çıkışına izin veren (Şekil 3.14 (a)'da sol taraftaki boru) kısma fırın çıkış borusu denilmektedir.
- Şekil 3.14 (c)'deki görselde görüldüğü üzere; borudaki tıkanmayı engellemek ve buna bağlı olarak akışı hızlandırmak veya basitleştirmek için borular kalınlaştırılmıştır ve bu borular üzerinde ısıtma düzeneği mevcuttur. Çalışmada uygulanan piroliz işlemleri, cihazın bu son haldeki durumunda yapılır (Akmaz, 2020).



(a) Reaktör

(b) Direnç telleri

(c) kalınlaştırılmış boru hali



(d) soğutucu banyosu



(e) sıvı toplama kapları

Şekil 3. 14. Piroliz ekipmanı

Piroliz işleminin kontrol bölümünde;

- Kontrol bölümünde ısıtma hızını ayarlanabildiği düğmeler bulunmaktadır.
- Yoğunlaştırma bölümünde ürün sıvı ürün haline gelmektedir.

Yoğunlaştırılmayan ürünlerin, gaz olarak çıkışı deney düzeneğinde bulunan borular ile sağlanmaktadır.

- Piroliz işleminde N_2 (Azot) gazı akışını uygun olarak sağlamak gerekir. Şekil 3.14 (a)' da görüldüğü üzere reaktörde bulunan diğer borudan azot gazı girişi sağlanmaktadır (Akmaz, 2020).

Bu çalışmada atık naylon pirolizi ve atık propilen pirolizi ile elde edilen katkı malzemeleri kullanılarak modifiye bitüm elde edilmiştir.

3.2.4. Modifiye Bitüm Üretimi

Bitümlü bağlayıcılar yapısal olarak karmaşık bağlara sahiptir ve çeşitli kimyasal bileşiklerin etkileşimindedir. Kökeni veya üretim yeri aynı olsa bile bitümlü bağlayıcılar birbirinden farklı davranışlar gösterebilmektedir. Bu sebeple bitümün yapısını çözmek oldukça zor bir durum olmakla birlikte istenilen özelliklere sahip bitümü kontrol edebilmek güçleşmektedir. Bu sebeple, bitüm, bazı katkı malzemeleriyle, iyileştirme veya davranışını istenilen doğrultuda kontrol edebilmek için modifiye edilir. Bitüm ve bitümlü karışımların modifiye işleminin temel amacı yol kaplamalarında istenilen özelliklerin sağlanmasıdır (Tunç, 2004).

Bitümlü bağlayıcı ve bitümlü karışımlarda istenilen özelliklerin sağlanması amacıyla yapılan modifiye işlemi belirli şartlarda ve oranlarda doğrudan veya karışım plentinde karışımın içerisine katkı maddesi ilave edilerek uygulanmaktadır. Yapılan bu uygulamaya “modifiye bitüm” denmektedir (Tunç, 2004). Bu çalışmada bitüm içerisine katkı maddesi katılarak bitüm modifiye işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.15’ te modifiye bitüm deney aleti gösterilmektedir.



Şekil 3. 15. Modifiye deney aleti

Bitümün modifiyesinin temel amaçları aşağıdaki gibidir (Sultani, 2021).

- Hava sıcaklıklarının düşük olduğu bölgelerde daha yumuşak karışımlar elde edilerek, çatlakları en aza indirebilmek,
- Hava sıcaklıklarının yüksek olduğu bölgelerde daha kıvamlı karışımlar elde edilerek, tekerlek izinden dolayı oluşabilecek oturmayı azaltabilmek,
- İşlenebilirliği yani dolasıyla sıkıştırmayı iyileştirebilmek,
- Karışımın durabilitesini artırabilmek,
- Karışımın aşınma direncini arttırabilmek ve agregası arası bağları iyileştirebilmek,
- Karışımın yorulma direncini arttırabilmek,
- Yaşlanmış bitümlü bağlayıcıyı tekrar gençleştirebilmek,
- Bitümlü bağlayıcının kullanım süresini dolayısıyla hizmet ömrünün arttırabilmek,
- Bitüm ve agregası arasındaki bağı kuvvetlendirebilmek, dolayısıyla agregası soyulmasının engellenebilmesi,
- Kusma olayını engelleyebilmek,
- Kaplama tabakalarının kalınlığı azaltabilmek,
- Kaplamanın ömür-döngü maliyetini azaltabilmektir.

Modifiye katkı maddesinin ekonomik, pratik ve etkili olabilmesi için uygun şartlar aşağıdaki gibidir (Whiteoak, 2004).

- Ekonomik ve ulaşılabilir olmalıdır.
- Bitümlü bağlayıcı ile karıştırınca özelliklerini koruyabilmelidir.
- Bitümlü bağlayıcıyı; karıştırma, serme ve sıkıştırma işleminin yapılacağı bölgenin sıcaklık şartlarına göre tasarlanmalıdır.

Bitümlü bağlayıcı ve bitümlü karışımların modifiye edilmesinde etkili olan bazı hususları aşağıda sıralanmıştır (Ilıcalı, 2001).

- Ham maddede fiyat artışı olabilme ihtimali bulunmaktadır.
- Daha ince kaplamalar daha az maliyetli olduğundan dolayısı kaplamanın uzun süreli kullanımını engelleyebilmektedir.
- Kaplamada meydana gelen bozulmaları kaynak sıkıntısı oluşmadan onarımı uygun sürede gerçekleştirilebilmektedir.

- Dünyada atık malzemelerin geri dönüşümü için oldukça iyi bir fırsat oluşturur. Atık malzemelerin geri dönüşümü konusu hem çevre hem ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Tablo 3.15’ te bazı kimyasal katkıların bitümlü karışımlara sağladığı avantajlar gösterilmiştir.

Tablo 3. 5. Modifiye bitüm avantaj çizelgesi (Ilıcalı, 2001)

Kimyasal Katkılar	Yaşlanm Sertliğini azaltma	Rutubet Zararı Hassasiyetini azaltma	Agrega Bağlayıcı değişikliği	İşlenebilirlik gelişimi	Adezyon gelişimi	Stabilite artma	Tekerlek Izi Direncin de artma	Soyulm aya Karşı Özelliklerinde gelişme	Gevrek likte artma
Hidrate Kil	√	√		√	√	√	√	√	√
Portland çimentosu				√	√	√	√		
Manganez Modifiyesi			√	√	√		√	√	√
Katyonik yüzey aktif ajanları	√	√		√	√	√			
Sülfür				√		√	√		√
Organik polimerler				√		√	√		

3.2.5. Marshall Tasarım Yöntemi (TS 12697-30)

Bu yöntemde bitümlü sıcak karışımların tasarlanması; optimum bitüm miktarı ile iyi bir üstyapı oluşturulması, sıkıştırılma işlemi gerçekleştirilmiş olan asfalt tabakasında belirli bir boşluk oranı sağlayıp çevresel faktörlerden oluşabilecek akma ve kuma gibi durumlar engellenebilmesi, asfalt tabakasında oluşabilecek bozulmaların önlenmesi ve ekonomik bir karışım elde edilebilmesi amaçlanmaktadır (Alp, 2018).

Deneyin yapılışı;

- Gradasyonu belirlenmiş, 0.075 mm - 25 mm arasında değişen agregamalzemesinden 1150 gr ağırlığında bir numune hazırlanır. Daha sonra bu numune bitümlü sıcak karışımın karıştırma sıcaklığına göre etüve bir gün önceden ısıtılmaya bırakılır. Bitümlü bağlayıcının ise deneyden 2-3 saat önce ısıtılması yeterlidir.

- Marshall tasarım deneyinde kullanılan numune kalıpları, şişleme çubuğu ve kürek gibi aletler, deney esnasında ısı kaybı gerçekleşmemesi için etüvde ısıtılır.

- Etüvden çıkarılan agrega ve bitüm bağlayıcı malzeme mikserde 1.5 - 2 dakika süre ile karıştırılır. Karıştırma esnasında ısı kaybını önlemek için mikserin altına ısıtıcı yerleştirilir.
- Her bitüm oranı için 3 adet numune hazırlanır. Karıştırılmış numune briquete kürek ile şişlenerek yerleştirilir. Malzemenin yapışmaması için briketin altına ve üstüne kâğıt konulur.
- Daha sonra briket Marshall tokmağı aletine yerleştirilir ve her iki yüzeyine 75 vuruş yapılarak sıkıştırma işlemi gerçekleştirilir.
- Numuneler soğuduktan sonra bir kriko yardımı ile kalıptan çıkartılır ve bir gün boyunca oda sıcaklığına bırakılır.
- Daha sonra hazırlanmış numunelerinin kumpas aleti ile 3 farklı yerden yükseklikleri ölçülür. Ardından havada (A), suda (B) ve suya doymun yüzey kuru (C) ağılıkları tartılarak belirlenir.
- Marshall numunelerin dayanım ve akma değerlerini elde etmek için, numuneler 60°C'lik su banyosunda 30-40 dakika bekletilir. Bu süre sonrası numuneler çıkartılıp Marshall dayanım aletine yerleştirilir. Numuneye belirli şartlar altında yüklemeler yapılarak dayanım ve akma değerleri elde edilir (Ilıcalı, 2001 ve Alp, 2018).

Deneyin Hesaplamalarında Kullanılan Formüller;

Özgül Ağırlıkların Bulunması:

Bitümlü karışımda kullanılmış olan mineral fillerin, kaba agrega ve ince agrega özgül ağırlıkları farklıdır. Aşağıda verilen formüllerin yardımı ile toplam agreganın zahiri ve hacim özgül ağırlıkları hesaplanır. Hesaplarda filler sadece zahiri özgül ağırlık kullanılabilir (Ilıcalı, 2001 ve Alp, 2018).

$$\text{Agreganın hacim özgül ağırlığı } G_{sb} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\left(\frac{\%K}{G_{kb}}\right) + \left(\frac{\%İ}{G_{ib}}\right) + \left(\frac{\%F}{G_{fa}}\right)} \quad (3.6)$$

$$\text{Agreganın zahiri özgül ağırlığı } G_{sa} = \frac{\%K + \%İ + \%F}{\left(\frac{\%K}{G_{ka}}\right) + \left(\frac{\%İ}{G_{ia}}\right) + \left(\frac{\%F}{G_{fa}}\right)} \quad (3.7)$$

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

G_{sa} : Agreganın zahiri özgül ağırlığı

% K, % İ, % F: Agregaların (kaba, ince ve filler) ağırlıkça yüzdeleri

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

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

Agreganın efektif özgül ağırlığı aşağıda verilen bağlantı yardımı ile hesaplanır (İlcalı, 2001 ve Alp, 2018).

$$G_{ef} = \frac{100}{\left(\frac{100+W_a}{D_t}\right) - \left(\frac{W_a}{G_b}\right)} \quad (3.8)$$

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

W_a : Agreganın yüzdesi olarak bitüm

D_t : Gevşek kaplama karışımının boşluksuz maksimum özgül ağırlığı

G_b : Bitümün özgül ağırlığı

Agrega su hacmini asfalt hacmine göre daha çok absorbe edebilmektedir ve dolayısıyla agreganın efektif özgül ağırlık değeri, zahiri ve özgül ağırlık değerleri arasında olmalıdır (İlcalı, 2001 ve Alp, 2018).

Bitüm yüzdelerine göre karışımın maksimum özgül ağırlığı:

Bitüm yüzdelerine göre karışımın max. özgül ağırlığı aşağıda verilen denklem yardımı ile hesaplanır (İlcalı, 2001 ve Alp, 2018).

$$G_T = \frac{100+W_a}{\left(\frac{100}{G_{ef}}\right) + \left(\frac{W_a}{G_b}\right)} \quad (3.9)$$

D_t : Kaplama karışımının boşluksuz maksimum teorik özgül ağırlığı

W_a : Agreganın yüzdesi olarak bitüm

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_b : Bitümün özgül ağırlığı

Bitüm absorpsiyonu:

Agregalar tarafından absorbe edilen bitüm miktarı aşağıda verilen bağlantı ile hesaplanır (İlıcılı, 2001 ve Alp, 2018).

$$P_{ba} = \frac{G_{ef} - G_{sb}}{G_{sb} * G_{ef}} * G_b \quad (3.10)$$

P_{ba} : Absorbe edilen bitüm, agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak

G_{ef} : Agreganın efektif özgül ağırlığı

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

G_b : Bitümün özgül ağırlığı

Genelde sadece agregaların dışını kaplayan bitüm oranı aşağıdaki bağlantı ile hesaplanır (İlıcılı, 2001 ve Alp, 2018).

$$P_{be} = W_a - P_{ba}$$

W_a : Agreganın ağırlıkça ifadesi olarak bitüm

P_{ba} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak absorbe edilen bitüm

P_{be} : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak efektif edilen bitüm

Sıkıştırılmış karışımdaki VMA yüzdesi:

VMA, efektif bitüm yüzdesi ve hava boşluğunu içeren bir tanım olup agregalar arası boşluk yüzdesi olarak tanımlanır. Aynı zamanda VMA sıkıştırılmış kaplamada agregaların arasındaki boşluk olarak da tanımlanır (İlıcılı, 2001 ve Alp, 2018).

$$VMA = 100 - \left(\frac{D_p}{G_{sb}} \right) * \frac{100}{100 + W_a} * 100 \quad (3.11)$$

VMA: Agregalar arası boşluk yüzdesi

D_p : Sıkıştırılmış kaplama karışımının hacim özgül ağırlığı

G_{sb} : Agreganın hacim özgül ağırlığı

W_a : Agreganın ağırlıkça yüzdesi olarak bitüm

Sıkıştırılmış karışımdaki hava boşluğu ve asfaltla dolu boşluk yüzdesi:

$$V_h = \frac{DT - DP}{DT} * 100 \quad (3.12)$$

$$V_f = \frac{WMA - V_h}{WMA} * 100 \quad (3.13)$$

V_h : Toplam hacmin yüzdesi olarak hava boşluğu

V_f : Bitümle dolu boşluk

D_T : Toplam karışımının maksimum teorik özgül ağırlığı

D_p : Sıkıştırılmış karışımın (briketin) hacim özgül ağırlığı

Marshall tasarım deneyinden elde edilen sonuçlara göre, her bitüm yüzdesi için briketlerin yüksekliklerinin ortalaması belirlendikten sonra aşağıda verilen değerler hesaplanarak, grafikleri çizilir (Orhan, 2001).

- D_p - %Bitüm
- Stabilite -%Bitüm
- V_f - %Bitüm
- V_h - %Bitüm
- Akma - %Bitüm
- VMA - %Bitüm

Grafikler çizildikten sonra, pratik özgül ağırlık (D_p), asfaltla dolu boşluk yüzdesi, stabilite ve boşluk yüzdesine göre şartname koşullarına uygun bulunan optimum bitüm değerlerinin ortalaması alınarak, tasarımın optimum bitüm değeri bulunur (İlıcılı, 2001).

$$\text{Optimum bitüm (\%)} = \frac{D_p \text{ için } W_a + V_h \text{ için } W_a + V_f \text{ için } W_a + \text{stabilite için } W_a}{4} \quad (3.14)$$

Bu çalışmada yukarıdaki formüller kullanılarak TMA ve asfalt betonu karışımlar için optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Belirlenen optimum oranları dikkate alınarak 10 cm ve 15 cm çapında 36 adet numune üretilmiştir.

3.2.6. Hava Geçirgenliği Deney Aleti

Bu çalışma kapsamında Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü kapsamında hava geçirgenliği deney aletinin tasarlanması amacı ile proje gerçekleştirilmiştir. Proje kapsamındaki deney aleti İngiltere’de kullanılan Leeds Air Permeametesinin çalışma sistemine göre tasarlanmıştır.

Hava geçirgenliği için Leeds Air Permeametesini kullanılmaktadır. Bu sistem, hava basıncını gösteren eşit su seviyeli iki düşey cam boru ve bu sisteme bağlı içerisine, sadece

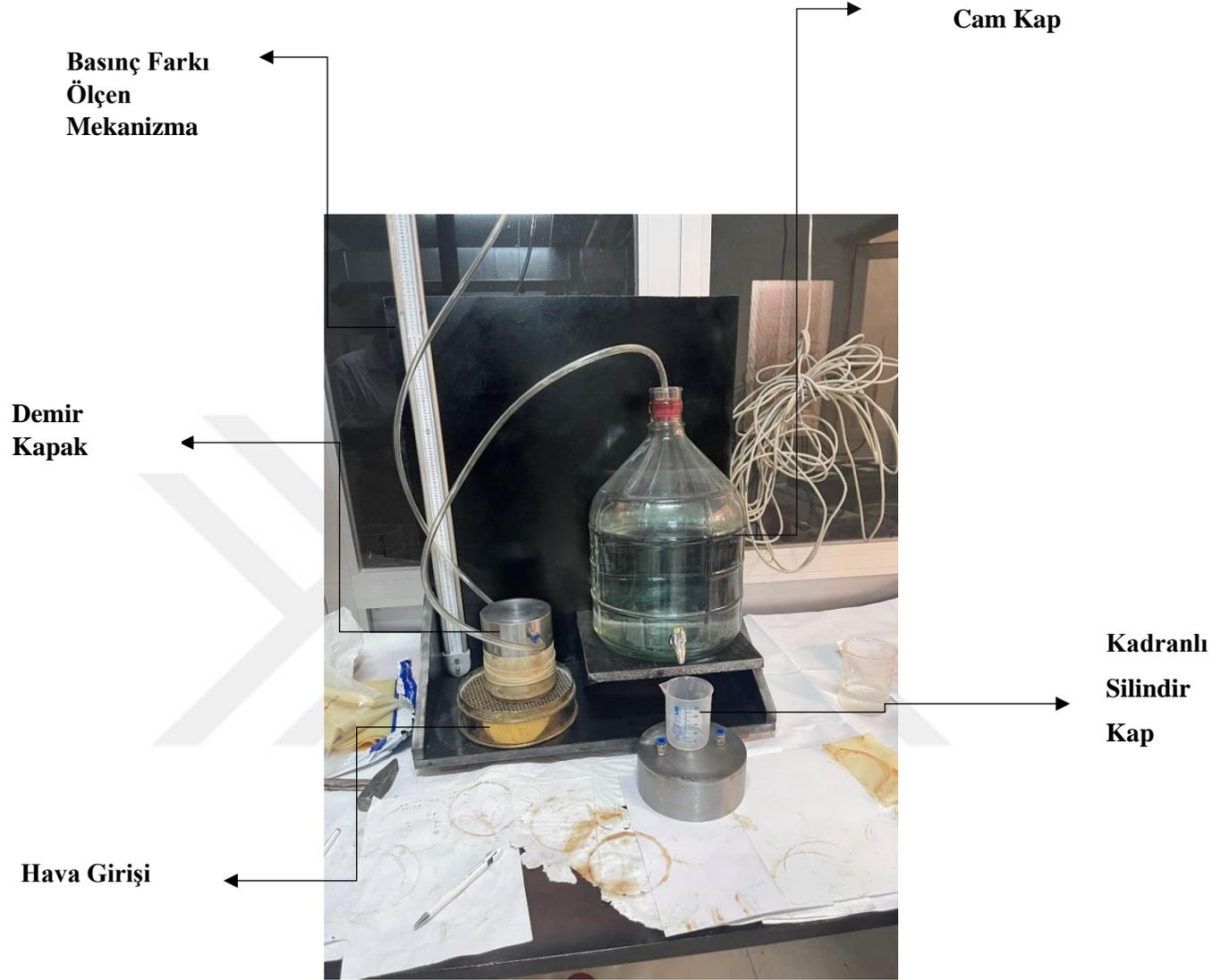
hava geçirirliğini ölçebilecek numunenin alt kısmından hava girişı dışında, hava girişine kapalı alt kısmından su alınabilecek bir cam kaptan oluşmaktadır. Deney aletinde kullanılan cam kap başlığında hava geçişine izin vermemesi amacıyla tıpa bulunmaktadır. Aynı şekilde numune demir kalıba yerleştirildiğinde hava geçişini engellemek için Geodestek Zemar Zemin Araştırma Firmasından temin edilen demir kaba uygun 100 mm çapında ve 150 mm çapında kauçuk membran kullanılmıştır. Demir kalıp, numune ve kauçuk membran arasında gres yağı kullanılmıştır.

Hava geçirgenliğini ölçen deney aletinde izlenen adımlar şu şekildedir.

1. Numune demir kaba yerleştirilir. Bu aşamada demir kap ile numune arasında hava sızıntısını engellemek için kauçuk membran kullanılır.
2. Demir kapta bulunan numune ölçüm cihazına yerleştirilir.
3. Basınç farkı ölçen mekanizma ve cam kap demir kapta bulunan numuneye bağlanarak hava geçirgenliği için gerekli parametlerin değerlerini belirlemek amacıyla deneye başlanır.
4. Bu noktada belirlenen hacimde suyun kadranlı silindir numuneye akması sırasında geçen süre ve basınç farkı ölçülür.
5. Belirlenen parametreler hazırlanan çizelgeye not edilerek 2.1 formülü kullanılarak hava geçirgenliği kat sayısı (k) belirlenir.

Şekil 3.16' da Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğünce destek alınarak üretilen deney aleti görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında TMA ve asfalt betonunun farklı çapta ve farklı atık malzemelerin pirolizi ile elde edilen katkı malzemeleri ile modifiye edilerek hazırlanan karışımlar ile üretilen toplam 36 adet numunelerin hava geçirgenliği deney aleti ile deneye tabi tutulmuş ve hava geçirgenliği katsayısı hesaplanmıştır.



Şekil 3. 16. Konya Teknik Üniversitesi hava geçirgenliği deney aleti

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma, asfalt betonu Tip-1 ve TMA Tip-1 için yapılmıştır. Asfalt betonu karışımı için, filler, ince agrega ve kaba agrega olarak kalker kullanılmıştır. Çalışma doğrultusunda kullanılan bitüm tipinde değişiklik göstermek üzere üç farklı asfalt betonu üretilmiştir. Kullanılan bitüm tipleri katkısız 50/70 ve naylon poşet karışımın (YYPE, AYPE, PET ve PP) pirolizi ile elde edilen %3 ve %5 oranlarında modifiye edilmiş 50/70'dir. Asfalt betonu karışımının tasarım özellikleri Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 1. AB tasarım özellikleri

Kullanılan Agrega	Bitüm Penetrasyonu	Modifiye Bitüm Katkısı
Kalker	50/70	Katkısız
Kalker	50/70	%3 Naylon poşeti
Kalker	50/70	%5 Naylon poşeti

TMA karışımı için, filler, ince agrega ve kaba agrega olarak bazalt kullanılmıştır. Çalışma doğrultusunda bitüm tipinde değişiklik göstermek üzere üç tür karışım kullanılmıştır. Kullanılan bitüm tipleri katkısız 50/70, Polipropilen pirolizi sonucunda elde katkı maddesinin %5 oranı ile modifiye edilmiş 50/70 ve SBS (styrenebutadienestyrene) katkı maddesinin +4.5 oranı ile modifiye edilmiş 50/70'dir. Ayrıca, karışımların içerisindeki bitümün akmasını engellemek için selülozik elyaf kullanılmıştır. TMA karışımının tasarım özellikleri Tablo 4.2' de verilmiştir.

Tablo 4. 2. TMA tasarım özellikleri

Kullanılan Agregası	Bitüm Penetrasyonu	Modifiye Bitüm Katkısı	Elyaf
Bazalt	50/70	Katkısız	Selülozik Elyaf
Bazalt	50/70	%5 PP	Selülozik Elyaf
Bazalt	50/70	% 4.5 SBS	Selülozik Elyaf

4.1. Agregası Deneyleri

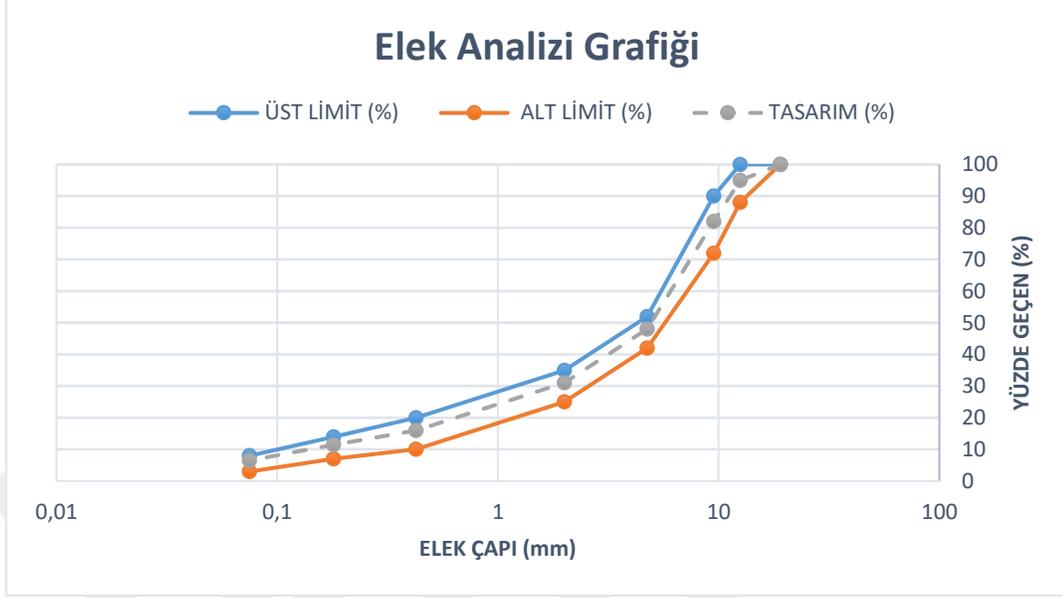
4.1.1. Elek Analiz Deneyi Ve Deney Sonuçları

Asfalt betonu karışımı ve TMA karışımın agregası tane dağılımını tespit edebilmek için agregası elek analizi yapılmıştır. Karışımın gradasyonu, Karayolu Şartnamesinde asfalt betonu aşınma tabakası Tip-1 için verilen değerler dikkate alınarak belirlenmiştir (Sultani, 2021).

Tablo 4.3' te gösterilen ve şartnamede asfalt betonu Tip-1 aşınma için önerilen sınır değerler ile kullanılmış olan gradasyon belirlenmiştir. Çizilen gradasyon eğrisi şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4. 3. Asfalt Betonu gradasyonu

Elek Boyu		Üst Limit (%)	Alt Limit (%)	Tasarım (%)	Agregası miktarı (g)
mm	Inc				
19	3/4	100	100	100	0
12,5	1/2	100	88	95	57.5
9,5	3/8	90	72	82	149.5
4,75	No.4	52	42	48	391
2	No.10	35	25	31	195.5
0,425	No.40	20	10	16	172.5
0,18	No.80	14	7	11,5	51.75
0,075	No.200	8	3	6,5	57.5
Toplam					1150

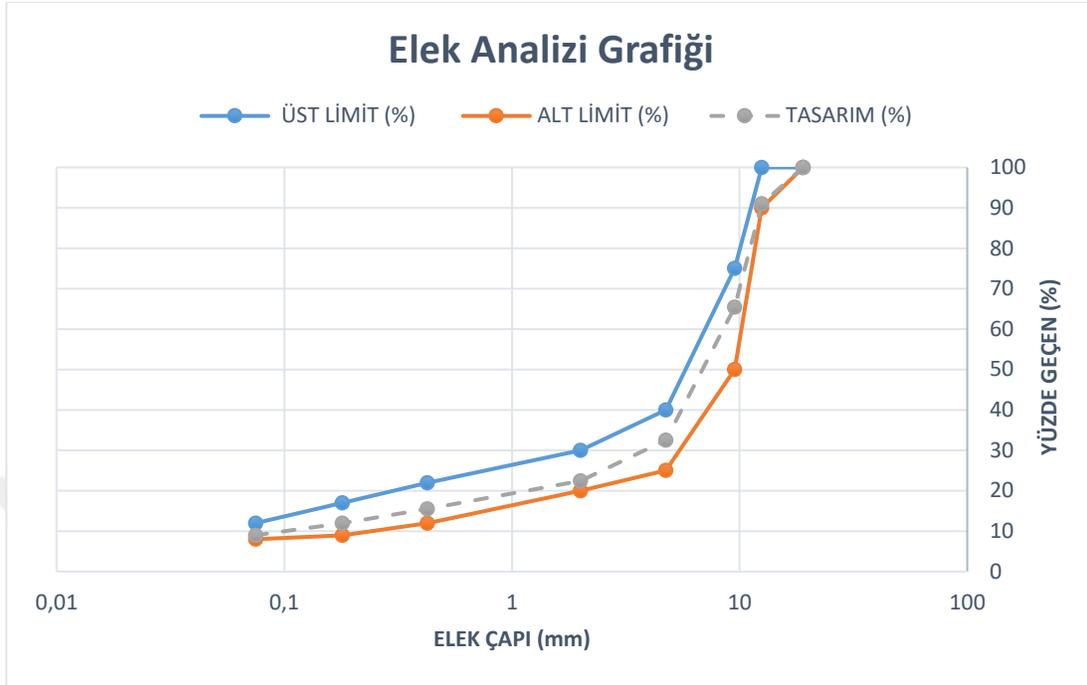


Şekil 4. 1. Asfalt Betonu gradasyon eğrisi

Sultani (2021) tarafından yapılan elek analizi ve deney Tablo 4.4'te gösterilen ve şartnamede TMA Tip-1 aşınma için önerilen sınır değerler ile kullanılmış olan gradasyon belirlenmiştir. Çizilen gradasyon eğrisi şekil 4.4' te gösterilmiştir. Bu tez çalışmasında kullanılan karışımdaki agrega oranları şekil 4.2'de gösterilen gradasyon eğrisindeki gibidir.

Tablo 4. 4. TMA gradasyonu

Elek Boyu		Üst Limit (%)	Alt Limit (%)	Tasarım (%)	Agrega miktarı (g)
mm	Inc				
19	3/4	100	100	100	0
12.5	1/2	100	90	91	103.5
9.5	3/8	75	50	65.4	294.4
4.75	No.4	40	25	32.5	378.35
2	No.10	30	20	22.4	81.65
0.425	No.40	22	12	15.5	113.85
0.18	No.80	17	9	12	40.25
0.075	No.200	12	8	9	34.5
Toplam					1150



Şekil 4. 2. TMA gradasyon eğrisi

Asfalt beton karışımı için tercih edilen kalker agregaya uygulanan deney sonuçları, Tablo 4.5' te verilmiştir.

Tablo 4. 5. Asfalt Betonu Agregası deney sonucu

Agrega deneyi	Kaba agregası	İnce agregası	Filler
Hacim özgül ağırlık	2.66	2.64	-
Zahiri özgül ağırlık	2.73	2.72	2.74
Su emme (%)	0.85	0.91	-
Los Angeles (%)	26		

Sultani (2021) tarafından yapılmış olan TMA karışımı için kullanılan bazalt agregası üzerinde yapılan agregası deney sonuçları, Tablo 4.6' da gösterilmiştir. Bu deney sonuçlarını baz alarak numuneler hazırlanmıştır.

Tablo 4. 6. TMA Agrega deney sonucu (Sultani, 2021)

Agrega deneyi	Kaba agreg	İnce agreg	Filler
Hacim özgül ağırlık	2.604	2.61	-
Zahiri özgül ağırlık	2.74	2.746	2.705
Su emme (%)	1.87	1.92	-
Los Angeles (%)	14		

4.2. Piroliz Deney Sonuçları

4.2.1. Atık Naylon Poşet Pirolizi

Asfalt betonu karışımı için atık naylon poşeti, piroliz işlemine tabii tutularak elde edilen malzemesi, bitüm modifiye edici katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Naylon poşet çeşitli plastiklerden üretilmektedir. Deney hakkında daha önce fikir sahibi olunmadığı için, deney sıcaklığı değiştirilerek elde edilen sıvı ve katı malzemelerin verileri hesaplanmıştır. Deney için 1000 gr numune hazırlanarak, malzemenin hacmine göre sadece 500 gr malzeme reaktöre yerleştirilmiştir (Sultani, 2021).

Sultani (2021) tarafından bu çalışma kapsamında kullanılan atık malzeme piroliz işlemi yapılmıştır. Piroliz sonucu elde edilen atık katkı malzemeleri hava geçirgenliği ölçümü için numune üretiminde kullanılmıştır. Tablo 4.7’ de plastik oranları ve Şekil 4.8’ de gösterilen piroliz için küçük parçalara kesilmiş plastik malzemesi gösterilmiştir.

Tablo 4. 7. Atık malzeme pirolizi (Sultani, 2021)

Platik Türü	Plastik Miktarı (gr)
YYPE	150
AYPE	300
PET	300
PP	250



Tablo 4. 8. Atık malzemeler

Yapılan ilk deneyde, reaktöre 500 gram plastik karışımı konmuştur. Sonrasında sıcaklık 75°C ilk sıcaklık olarak ayarlanmıştır. Yaklaşık 20-25 dakika arasında N₂ (azot gazı) akışı ile deney başlatılmıştır. Deney düzeneğinin ulaştığı max sıcaklık 216 °C olmuştur ve deney sıcaklık düşüşü sonucunda 177 °C’ de sonlandırılmıştır. İlk yapılan piroliz deneyin sonucunda malzeme kimyasal bir değişime uğramamış ve reaktör içerisinde 450 gr katı bir malzeme tartılmıştır (Sultani, 2021).

İkinci piroliz deneyinde, ilk sıcaklık 225°C olarak ayarlanmış olup max. sıcaklık değeri 369°C olmuştur. Sonrasında sıcaklık düşüşü sonucu ile deney sonlandırılmıştır. Bu

deneyin sonucunda katkı maddesi 33 gr toz halinde (Şekil 4.3) elde edilmiştir. Katı ve sıvı ürünlerin verim değerleri aşağıda verilen bağlantılar (4.1) ile hesaplanmıştır (Sultani, 2021).

$$\begin{aligned}\%Katı &= \frac{Katı\ maddesi(gr)}{Toplam\ hammade(gr)} \times 100 & \Longrightarrow & \%Katı = 6,60 \\ \%Sıvı &= \frac{Katı\ maddesi(gr)}{Toplam\ hammade(gr)} \times 100 & \Longrightarrow & \%Sıvı = 54,54 \\ \%Gaz &= 100 - (\%Katı + \%Sıvı) & \Longrightarrow & \%Gaz = 38,86\end{aligned}\tag{4.1}$$

İkinci piroliz deneyi sonucunda elde edilen katı malzemesi tatmin edici olmayıp daha düşük sıcaklıkta daha önceki deneylere benzer 500 gr plastik karışımı reaktöre konulmuş, ilk sıcaklık 175°C olarak ayarlanmıştır. Sonrasında max. sıcaklık 306°C olup, sıcaklık düşüşü sonucu ile deney 185°C sıcaklıkta sonuçlandırılmıştır. Bu deneyin sonucunda mavimsi bir renge sahip (Şekil 4.3) 410 gr bir malzeme elde edilmiştir. Katı ve sıvı ürünlerin verim değerleri aşağıda verilen bağlantılar (4.2) ile hesaplanmıştır (Sultani, 2021). Şekil 4.4' te sıvı piroliz katkı malzemesi görülmektedir.

$$\begin{aligned}\%Katı &= \frac{Katı\ maddesi(gr)}{Toplam\ hammade(gr)} \times 100 & \Longrightarrow & \%Katı = 82 \\ \%Sıvı &= \frac{Katı\ maddesi(gr)}{Toplam\ hammade(gr)} \times 100 & \Longrightarrow & \%Sıvı = 6 \\ \%Gaz &= 100 - (\%Katı + \%Sıvı) & \Longrightarrow & \%Gaz = 12\end{aligned}\tag{4.2}$$



Şekil 4. 3. Piroliz Maddeleri



Şekil 4. 4. Piroliz Maddeleri (sıvı)

4.2.2. Atık Polipropilen Pirolizi

TMA karışımı için atık polipropilen piroliz işlemi yapılmıştır. Piroliz işlemi sonunda elde edilen katkı malzemesi ile bitüm modifiye edilerek modifiye bitüm yapılması

amaçlanmıştır. Akmaz (2020) tarafından yapılan çalışmada, 1000 gr polipropilen atığı hazırlanarak reaktör içine konulmuştur. Daha sonra cihazın kontrol biriminde; ilk sıcaklık 180°C olarak ayarlanmıştır. Yaklaşık 20- 25 dakika arasında N₂ (azot) gazı akışı ile deney başlatılmıştır. Deneyde ulaşılan max. sıcaklık değeri 330°C olup, sıcaklık düşüşü sonucu ile deney sonuçlandırılmıştır. Deneyin sonucunda elde edilen kat ve sıvı malzeme verim değeri aşağıdaki bağlantılar (4.3) ile hesaplanmıştır. (Sultani, 2021). Şekil 4.5 'te atık propilen maddesi gösterilmektedir.

$$\begin{aligned} \%Katı &= \frac{Katı\ maddesi(gr)}{Toplam\ hammade(gr)} \times 100 && \Rightarrow \%Katı = 51,85 \\ \%Sıvı &= \frac{Katı\ maddesi(gr)}{Toplam\ hammade(gr)} \times 100 && \Rightarrow \%Sıvı = 32,4 \\ \%Gaz &= 100 - (\%Katı + \%Sıvı) && \Rightarrow \%Gaz = 15,75 \end{aligned} \quad (4.3)$$



Şekil 4. 5. Atık Propilen

4.3. Bitümlü Bağlayıcıların Modifiye İşlemleri

Tez çalışması kapsamında üç farklı katkı maddesi, naylon poşet pirolizi, polipropilen pirolizi, ve SBS ile hazırlanan modifiye bitümler kullanılmıştır. Bitüm bağlayıcı modifikasyonunda genel olarak üç faktör; sıcaklık, hız ve süre dikkate alınmaktadır. Literatür incelendiğinde; plastiklerin bitüm bağlayıcı ile modifikasyon işlemlerinde kullanılan sıcaklığın yaklaşık olarak 160°C-180°C arasında değiştiği tespit edilmiştir (Al- Abdul Wahhab,2017, Akmaz,2020).

Bitümlü bağlayıcılarda oksidasyon gibi olumsuz durumlarla karşılaşmamak için yüksek sıcaklıklarda modifiye işleminin gerçekleştirilmemesine dikkat edilmelidir. Çünkü oksidasyon, bitümlü bağlayıcıların yaşlanması sonucu bozulmasına sebep olmaktadır (Al-Abdul Wahhab, 2017). Daha önceki çalışmalara bakıldığında karıştırma hızı 1200-1300 rpm arası, karıştırma süresi de 50-60 dakika arası seçildiği görülmüştür (Akmaz, 2020). Dalhat ve Wahhab (2017) yaptıkları çalışmada, YYPE için en uygun karıştırma süresini 60 dakika, PP için ise 50 dakika olarak belirlemiştir (Akmaz, 2020).

Literatür araştırmasının yanı sıra, modifikasyon işlemine başlamadan önce katkıların fiziksel özelliklerine bakılmış ve erime sıcaklıkları 170°C civarında olduğu görülmüştür. Bu bilgiler ışığında, modifikasyon işlemi boyunca sıcaklık 160°C-170°C sabitlenmiştir (Sultani, 2021).

Sonuç olarak, bitüm ağırlığına göre naylon poşet pirolizi sonucunda elde edilen katkı %3 ve %5 oranlarında, PP pirolizi ile elde edilen katkı %5 oranında ve SBS katkı %4.5 oranında 50/70 penetrasyon dereceli bitüm bağlayıcı ile karıştırılarak modifiye işlemleri gerçekleştirilmiştir.

4.4. Bitüm Deneyleri

Tez çalışması kapsamında Kırıkkale rafinerisinde üretilmiş 50/70 bitümü kullanılmıştır. Asfalt Betonu karışımı için Konya Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisi Nasrat Jamal BEHZAD' ın (Aralık-2021) "Atık Plastik Piroliz ile Yapılan Taş Mastik Asfalt ve Asfalt Betonun İşlenebilirliği" adlı savunulmamış tez çalışması kullanılmıştır. Behzad (2021) tarafından saf ve katkılı bitüm bağlayıcıların özelliklerini belirlemek amacıyla bazı deneylere tabi tutulmuştur. Saf bitüm, %3 Naylon Poşet Prolizi (NPP) katkılı ve %5 NPP katkılı bitümlerin deney sonuçları Tablo 4.9' da verilmiştir. Bu bitüm bağlayıcılar Asfalt Betonu karışımın üretiminde kullanılmıştır

Tablo 4. 9. Asfalt Betonlu Bitüm Deney Sonuçları

Deney	Saf Bitüm	%3NPP Katkılı Bitüm	%5 NPP Katkılı Bitüm	Birim	Deney Standardı
Bitüm Özgül Ağırlığı	1031	1041	1048	gr/cm ³	TS-EN 15326
Penetrasyon derecesi	53.5	47	41	0.1mm	TS-EN 1426
Yumuşuma noktası	51.5	56.5	61	°C	TS EN 1427

Ayrıca TMA karışımının üretiminde kullanılan Polipropilen pirolizi (PPP) ve SBS katkıli bitümlü bağlayıcıların deneyleri Sultani (2021) tarafından yapılmıştır. Tablo 4.10’ da deney sonuçları verilmiştir (Sultani, 2021).

Tablo 4. 10. TMA Bitüm Deney Sonuçları (Sultani, 2021)

Deney	Saf Bitüm	%5 PP Katkılı Bitüm	%4,5SBS Katkılı Bitüm	Birim	Deney Standardı
Bitüm Özgül Ağırlığı	1031	1037	1041	gr/cm ³	TS-EN 15326
Penetrasyon derecesi	53.5	42.7	37.8	0.1mm	TS-EN 1426
Yumuşuma noktası	51.5	62	67	°C	TS EN 1427

4.5. Marshall Tasarımı ve Sonuçları

4.5.1. Asfalt Betonlu Marshall Deney Sonuçları

Asfalt Betonlu karışımı için Konya Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans öğrencisi Nasrat Jamal BEHZAD’ ın (Aralık-2021) “Atık Plastik Piroliz ile Yapılan Taş Mastik Asfalt ve Asfalt Betonun İşlenebilirliği” adlı savunulmamış tez çalışması kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında belirlenen gradasyona göre 1150 gr ağırlığında agrega için %3.5, %4, %4.5, %5, %5.5 ve %6 bitüm oranları seçilerek her bitüm oranı içinde 3’er numune olmak üzere 18 adet numune üretilmiştir. Laboratuvarda Marshall tasarımı için ilk başta numeneler (%4, %4.5, %5, %5.5, %6) bitüm oranları ile üretilmiştir. Daha sonra %3.5 bitümü ile de numene üretimi gereksinimi duyulmuştur. Daha sonrasında optimum bitüm oranını belirlemek için gerekli hesaplamalar yapılarak maksimum hacim özgül ağırlık (Dp), maksimum stabilite, %4 boşluk (Vh) ve %70 bitümle dolu boşluk (Vf) oranlarına karşılık gelen bitüm oranları her 3 karışım için tespit edilmiştir. Daha sonra her bir karışım için (saf, %3NPP ve %5NPP) bu değerlerin ortalaması alınarak optimum bitüm oranları hesaplanmıştır. Bu kapsamda asfalt

betonu için optimum bitüm oranı, optimum bitüm oranına 0.5 oranında bitüm ekleyerek ve 0.5 oranında bitüm çıkararak her karışım için 3'er adet numune hazırlanmıştır. Böylelikle 3 tip karışım için (Saf, %3 NPP ve %5 NPP) olmak üzere toplam 9 adet numune 155°C sıcaklıkta karıştırılarak ve 145°C sıcaklıkta sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Şekil 4.6'da 15 cm çapında, şekil 4.7 ve şekil 4.8' de 10 cm hazırlanan asfalt betonu numunelerini görülmektedir.



Şekil 4. 6. Asfalt Beton Numuneler (15 cm çap)



Şekil 4. 7. Asfalt Beton Numune (10 cm çap)



Şekil 4. 8. Asfalt Beton Numune (10 cm çap)

Hazırlanan bu numuneler için gerekli ölçümler yapılarak numune içerisindeki bitüm içeriğine göre boşluk oranları belirlenmiş ve Tablo 4.11 ve 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4. 11. Asfalt Beton Bitüm içeriği – Boşluk oranı (15 cm çap)

ASFALT BETONU		
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
SAF (50/70 PEN) (-0,5)	3.9	8.5
SAF (50/70 PEN) (OPT)	4.4	8
SAF (50/70 PEN) (+0,5)	4.9	5.1
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
NPP %5 (50/70 PEN) (-0,5)	3.71	9.4
NPP %5 (50/70 PEN) (OPT)	4.21	7.5
NPP %5 (50/70 PEN) (+0,5)	4.71	3.7
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
NPP %3 (50/70 PEN) (-0,5)	3.76	9.5
NPP %3 (50/70 PEN) (OPT)	4.26	8.1
NPP %3 (50/70 PEN) (+0,5)	4.76	4.3

Tablo 4. 12. Asfalt Beton Bitüm içeriği- Boşluk oranı (10 cm çap)

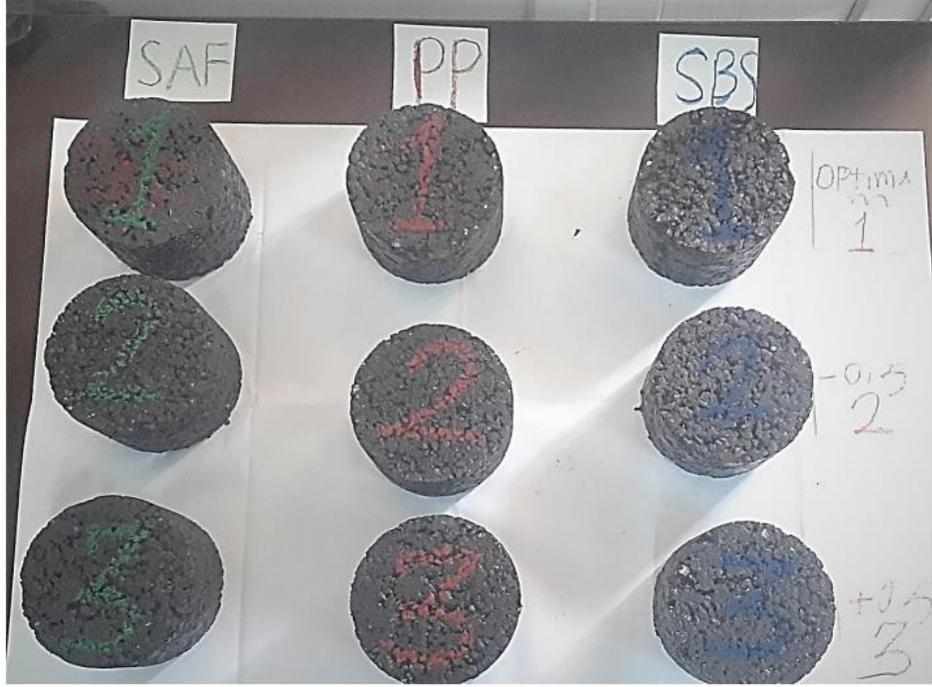
ASFALT BETONU		
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
SAF (50/70 PEN) (-0,5)	3.9	8.45
SAF (50/70 PEN) (OPT)	4.4	3.76
SAF (50/70 PEN) (+0,5)	4.9	2.3
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
NPP %5 (50/70 PEN) (-0,5)	3.71	6.07
NPP %5 (50/70 PEN) (OPT)	4.21	5.66
NPP %5 (50/70 PEN) (+0,5)	4.71	2.8
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
NPP %3 (50/70 PEN) (-0,5)	3.76	6.21
NPP %3 (50/70 PEN) (OPT)	4.26	3.78
NPP %3 (50/70 PEN) (+0,5)	4.76	2.6

4.5.2. TMA Marshall Deney Sonuçları

Sultani (2021) tarafından yapılan çalışmada, 1150 gram ağırlığında agrega ve belirli oranlarda bitüm oranları ile toplam 54 numune hazırlanmıştır. Bu numuneler bir adet saf bitüm, %5 PPP katkı malzemeli ve %4.5 SBS katkı malzemeli modifiye bitüm ile hazırlanmıştır. Bu üç tür karışımın ağırlığına göre %0.5 elyaf (viatop) kullanılmıştır. Hazırlanan bu numunelerde Marshall metoduna göre TMA karışımlarda agrega ağırlığına göre optimum bitüm oranları belirlenmiştir. Bu oranlar %6.2 saf bitüm için, %6.3 oranı %5 PPP katkı malzemeli için ve %6.6 oranı %4.5 SBS katkı malzemeli için olarak tespit edilmiştir (Sultani, 2021).

Bu kapsamda TMA için optimum bitüm oranı, optimum bitüm oranına 0.5 oranında bitüm ekleyerek ve 0.5 oranında bitüm çıkararak her karışım için 3'er adet numune hazırlanmıştır. Böylelikle 3 tip karışım için (Saf, %5 PP ve %4.5 SBS) olmak üzere toplam 9 adet numune 155°C sıcaklıkta karıştırılarak ve 145°C sıcaklıkta sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Şekil 4.9' da 15 cm çapında, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de 10 cm hazırlanan

TMA numunelerini görülmektedir. Üç tür karışımda %0.5 oranında viatop malzemesi eklenmiştir.



Şekil 4. 9. TMA Numune (15 cm çap)



Şekil 4. 10. TMA Numune (10 cm çap)



Şekil 4. 11. TMA Numune (10 cm çap)

Hazırlanan bu numuneler için gerekli ölçümler yapılarak numune içerisindeki bitüm içeriğine göre boşluklar hesaplanmış ve Tablo 4.13 ve 4.14' te gösterilmiştir.

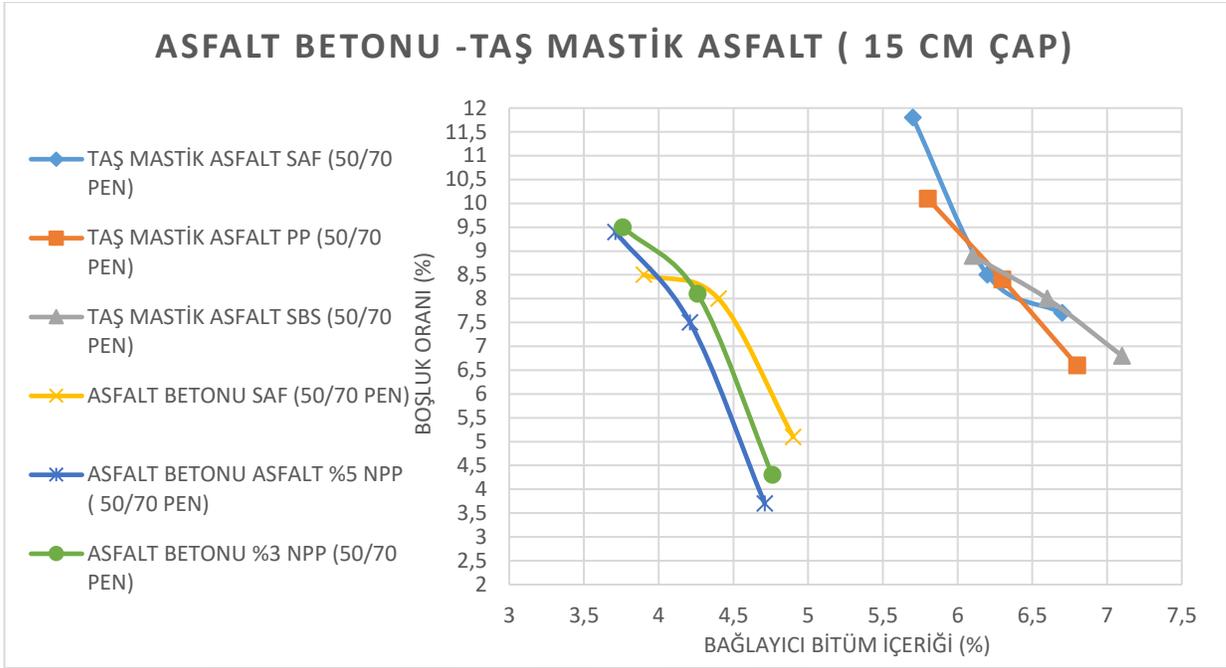
Tablo 4. 13. TMA Bitüm içeriği- Boşluk oranı (15cm çap)

TAŞ MASTİK ASFALT		
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
SAF (50/70 PEN) (-0,5)	5.7	7
SAF (50/70 PEN) (OPT)	6.2	5.45
SAF (50/70 PEN) (+0,5)	6.7	5.56
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
PPP (50/70 PEN) (-0,5)	5.8	6.13
PPP (50/70 PEN) (OPT)	6.3	4.36
PPP (50/70 PEN) (+0,5)	6.8	4.13
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
SBS (50/70 PEN) (-0,5)	6.1	4.23
SBS(50/70 PEN) (OPT)	6.6	3.65
SBS (50/70 PEN) (+0,5)	7.1	2.83

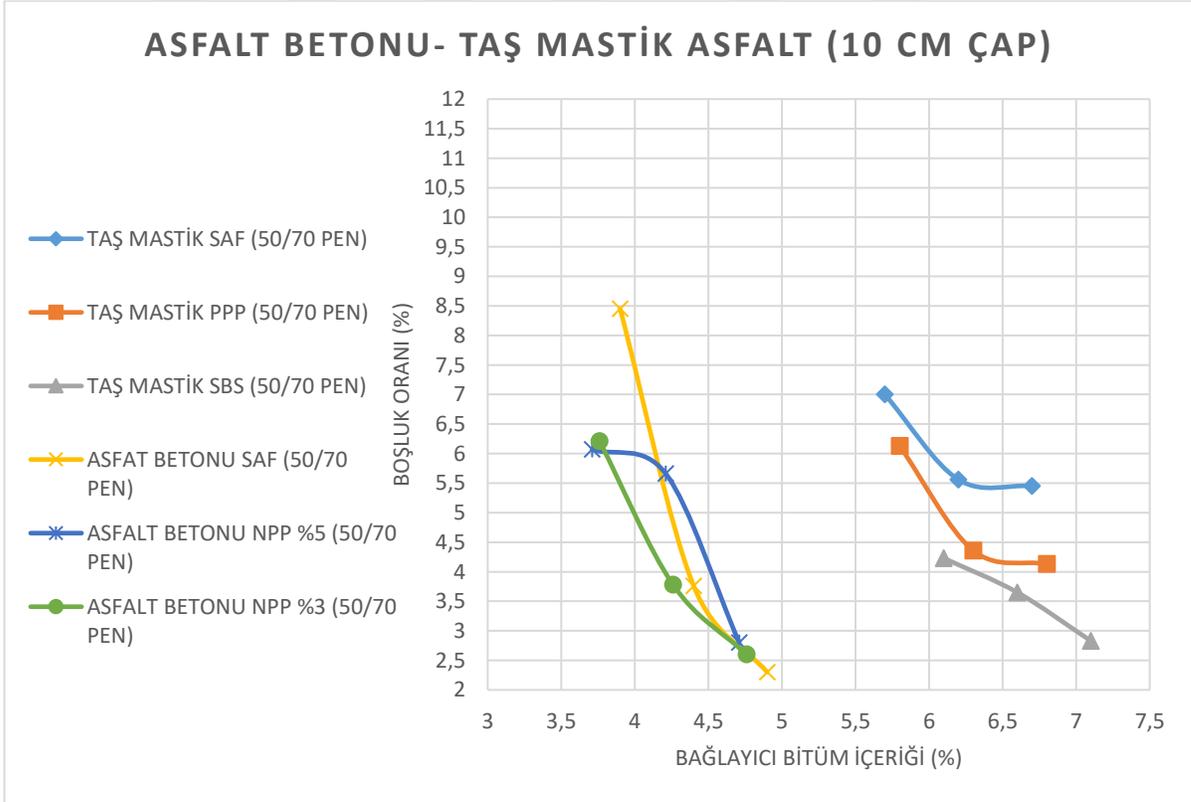
Tablo 4. 14. TMA Bitüm İçeriği- Boşluk oranı (10 cm çap)

TAŞ MASTİK ASFALT		
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
SAF (50/70 PEN) (-0,5)	5.7	7
SAF (50/70 PEN) (OPT)	6.2	5.45
SAF (50/70 PEN) (+0,5)	6.7	5.56
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
PPP (50/70 PEN) (-0,5)	5.8	6.13
PPP (50/70 PEN) (OPT)	6.3	4.36
PPP (50/70 PEN) (+0,5)	6.8	4.13
	Bitüm içeriği Wb (%)	Boşluk oranı (%)
SBS (50/70 PEN) (-0,5)	6.1	4.23
SBS(50/70 PEN) (OPT)	6.6	3.65
SBS (50/70 PEN) (+0,5)	7.1	2.83

Taş Mastik Asphalt ve Asphalt Betonu için ölçülen boşluk oranı aşağıdaki şekil 4.12 ve 4.13' teki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 4. 12. Boşluk oranı- Bitüm İçeriği Grafiği (15 cm çap)



Şekil 4. 13. Boşluk oranı- Bitüm içeriği Grafiği (10 cm çap)

Şekil 4.12 incelendiğinde 15 cm numuneler boşluk oranlarının bitüm içeriği arttıkça azaldığı görülmüştür. Beklenildiği üzere taş mastik asfalt karışımında boşluk oranının asfalt betonu karışımındakinden daha fazla olduğu görülmüştür. Taş mastik asfalt ve asfalt betonu karışımlar için farklı oranda NPP katkı malzemesinin kullanımının boşluk oranına etkisi tam olarak değerlendirilememiştir.

Benzer şekilde Şekil 4.13 incelendiğinde 10 cm numuneler boşluk oranlarının bitüm içeriği arttıkça azaldığı görülmüştür ve taş mastik asfalt karışımında boşluk oranı asfalt betonu karışımındakinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Taş mastik asfalt ve asfalt betonu karışımlar için farklı oranda NPP katkı malzemesinin kullanımının boşluk oranına etkisi tam olarak değerlendirilememiştir.

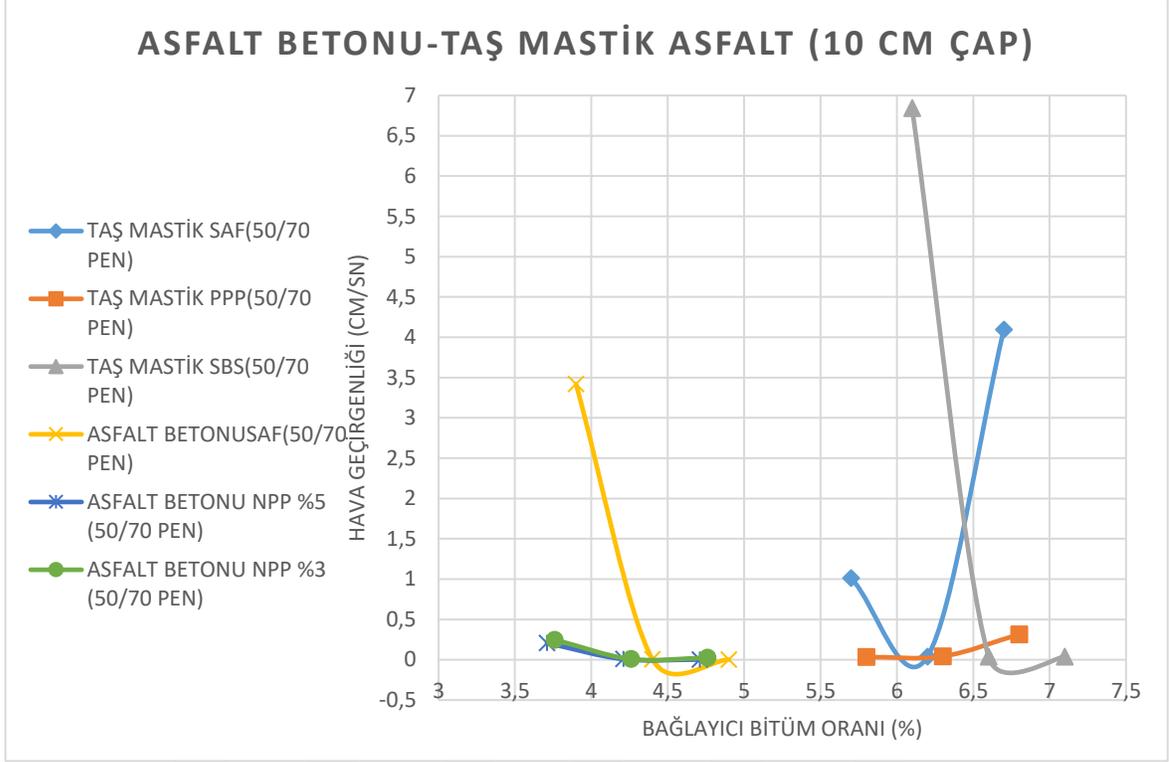
Numune çapına göre kıyaslama yapıldığında ise 10 cm çapındaki numunelerdeki boşluk oranının 15 cm numunelere göre az olduğu görülmüştür.

4.6. Hava Geçirgenliği Deneyi

Taş mastik ve asfalt betonu olarak üretilen 10 cm ve 15 cm çapındaki numuneler yukarıda bahsedilen gerekli deneylerden sonra hava geçirgenliğini ölçmek için üretilen deney aletinde test edilmiştir. Yapılan ölçümler sonucunda 2.1 formülü kullanılarak hava geçirgenliği kat sayısı bulunmuştur. Sonuç olarak elde edilen hava geçirgenliği kat sayısı ile bitüm içeri arasındaki bağıntıyı görmek için gerekli grafikler çıkarılmıştır. Aşağıda yapılan deney sonucunda elde edilen grafikler gösterilmektedir.

Tablo 4. 15. Bitüm oranı- Hava geçirgenlik katsayısı değerleri (10 cm çap)

Taş Mastik Asfalt Saf (50/70 Pen) Opt. Bağ. Oranı +-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
SAF (50/70 PEN) (-0.5)	5.7	1.013865732
SAF (50/70 PEN) (OPT)	6.2	0.03800872
SAF (50/70 PEN) (+0.5)	6.7	4.096019721
Taş Mastik Asfalt PPP (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
PPP (50/70 PEN) (-0.5)	5.8	0.033863036
PPP (50/70 PEN) (OPT)	6.3	0.042098527
PPP (50/70 PEN) (+0.5)	6.8	0.314438922
Taş Mastik Asfalt SBS (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
SBS (50/70 PEN) (-0.5)	6.1	6.841155436
SBS(50/70 PEN) (OPT)	6.6	0.039083315
SBS (50/70 PEN) (+0.5)	7.1	0.037997668
Asfalt Betonu Saf (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
SAF (50/70 PEN) (-0.5)	3.9	3.419790104
SAF (50/70 PEN) (OPT)	4.4	0.00569775
SAF (50/70 PEN) (+0.5)	4.9	0.001544621
Asfalt Betonu NPP %5 (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
NPP %5 (50/70 PEN) (-0.5)	3.71	0.207268591
NPP %5 (50/70 PEN) (OPT)	4.21	0.007889976
NPP %5 (50/70 PEN) (+0.5)	4.71	0.001582243
Asfalt Betonu NPP %3 (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
NPP %3 (50/70 PEN) (-0.5)	3.76	0.248390575
NPP %3 (50/70 PEN) (OPT)	4.26	0.00790595
NPP %3 (50/70 PEN) (+0.5)	4.76	0.024395503

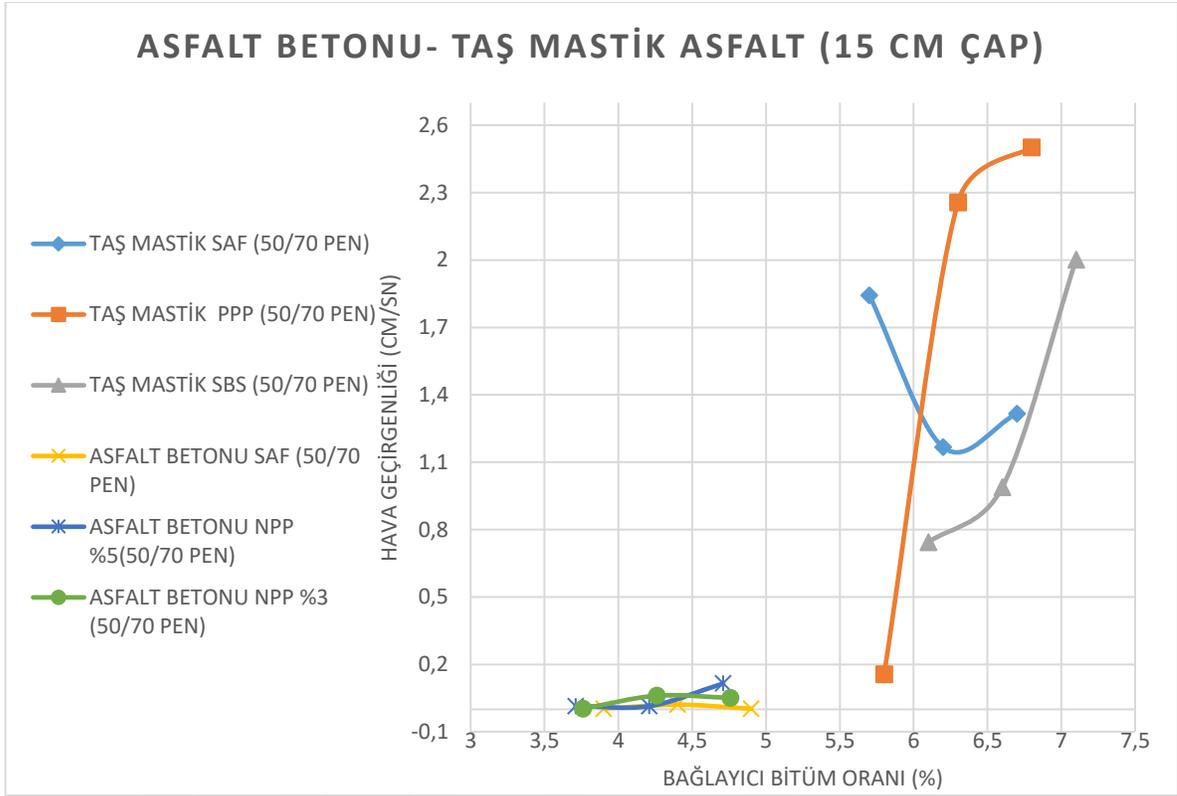


Şekil 4. 14. Bitüm İçeriği- Hava Geçirgenliği İlişkisi (10 cm çap)

Tablo 4.15 ve Şekil 4.14 incelendiğinde 10 cm çapındaki numunelerde hava geçirgenlik katsayısının taş mastik asfalt karışımlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Asfalt betonu karışımlardaki hava geçirgenlik katsayısının %3 ve %5 NPP katkı malzemesinin kullanımı ile saf karışımlara göre azaldığı görülmektedir. Taş mastik asfalt karışımlarda ise kullanılan farklı tür katkı malzemelerinin hava geçirgenlik katsayısı değerlerinde farklılıklar oluşturduğu görülmektedir. Dolayısıyla kullanılan farklı tür katkı malzemelerinin hava geçirgenlik katsayısına etkisi tam anlaşılammıştır. Taş mastik asfalt karışımlarda PPP katkı malzemesinde hava geçirgenlik katsayısının saf bitüm ve SBS katkılı bitüm ile hazırlanan karışımlara göre daha az olduğu görülmektedir.

Tablo 4. 16. Bitüm oranı- Hava geçirgenliği katsayısı değerleri (15 cm çap)

Taş Mastik Asfalt Saf (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +/-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
SAF (50/70 PEN) (-0.5)	5.7	1.842700600
SAF (50/70 PEN) (OPT)	6.2	1.166589958
SAF (50/70 PEN) (+0.5)	6.7	1.315843943
Taş Mastik Asfalt PPP (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +/-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
PPP (50/70 PEN) (-0.5)	5.8	0.155914161
PPP (50/70 PEN) (OPT)	6.3	2.256381221
PPP (50/70 PEN) (+0.5)	6.8	2.500975392
Taş Mastik Asfalt SBS (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +/-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
SBS (50/70 PEN) (-0.5)	6.1	0.743148684
SBS(50/70 PEN) (OPT)	6.6	0.987995652
SBS (50/70 PEN) (+0.5)	7.1	2.001653529
Asfalt Betonu Saf (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +/-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
SAF (50/70 PEN) (-0.5)	3.9	0.002914679
SAF (50/70 PEN) (OPT)	4.4	0.020704501
SAF (50/70 PEN) (+0.5)	4.9	0.002916589
Asfalt Betonu Saf NPP %5 (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +/-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
NPP %5 (50/70 PEN) (-0.5)	3.71	0.014510376
NPP %5 (50/70 PEN) (OPT)	4.21	0.014341257
NPP %5 (50/70 PEN) (+0.5)	4.71	0.114864949
Asfalt Betonu NPP %3 (50/70 pen) Opt. Bağ. Oranı +/-0.5	Bağlayıcı Oranı (%)	Hava Geçirgenliği (cm/sn)
NPP %3 (50/70 PEN) (-0.5)	3.76	0.002869223
NPP %3 (50/70 PEN) (OPT)	4.26	0.060614515
NPP %3 (50/70 PEN) (+0.5)	4.76	0.050903332



Şekil 4. 15. Hava geçirgenliği- Bitüm İçeriği Grafığı (15 cm çap)

Tablo 4.16 ve Şekil 4.15 incelendiğinde 10 cm çapındaki numunelerde hava geçirgenlik katsayısının taş mastik asfalt karışımlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Asfalt betonu karışımlarda ise hava geçirgenlik katsayı değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmüştür. Taş mastik asfalt karışımlarda saf bitüm içeriğinde optimum bitüm içeriğinde hava geçirgenlik katsayısının en düşük değerde olduğu, PPP katkı malzemeli bitüm içeriğinde geçirgenlik katsayısının bitüm oranı arttıkça arttığı görülmüştür. Ayrıca SBS katkı malzemeli bitüm içeriğinde bitüm içeriği oranı arttıkça geçirgenlik katsayısının arttığı görülmüştür.

Yukarıda hava geçirgenlik katsayısı-bitüm oranı grafik ve tablolarına bakıldığında farklı numune çapının hava geçirgenlik katsayı değerlerindeki etkisi kesin olarak yorumlanamamıştır. Farklı numune çaplarında hava geçirgenlik katsayısının taş mastik asfalt karışımlarda daha yüksek değerler verdiği tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Karayolu üstyapı inşaatında kullanılan bitümlü sıcak karışımların hizmet ömürleri boyunca iyi performans göstermeleri ve kaliteli bir üretim yapabilmeleri için yeterli oranda hava geçirgenliğine sahip olması gerekir.

Yapılan hava geçirgenliği deneylerinde elde edilen sonuçlar şu şekildedir.

1. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' e bakıldığında taş mastik asfalt karışımların asfalt betonu karışımlara göre hava geçirgenlik katsayısının daha yüksek değere sahip olduğu görülmektedir.

2. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15' e bakıldığında farklı atık malzemeler ile üretilen taş mastik asfalt karışımlarda ise yüksek hava geçirgenlik katsayısının çıkması ve farklı numune çaplarında hava geçirgenlik katsayısının farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

3. Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'e bakıldığında farklı atık malzemeler ile üretilen asfalt betonu karışımlarda ise farklı numune çaplarında hava geçirgenlik katsayısının farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

4. Yapılan deney çalışmasında numunedeki boşluk oranı arttıkça hava geçirgenliği katsayısının yaklaşık olarak arttığı görülmektedir.

Bu çalışmada atık malzemelerin modifiyesi ile üretilen taş mastik asfalt ve asfalt betonu karışımlar hazırlanmıştır. Bu karışımlar için ölçülen boşluk oranları hemen hemen birbirine yakınken hava geçirgenlik katsayısı değerleri birbirinde farklı olduğu tespit edilmiştir. Bunun karışımların hazırlanmasında kullanılan sıcaklık veya karıştırma süresinde oluşan farklılıklardan kaynaklanabileceği tahmin edilmektedir.

Bitümlü karışımlarda hava geçirgenliğinin, malzeme içerisindeki boşlukların akışkan geçişine uygun kısmının ölçülmesinin, dayanıklılık kararı tahmininde, boşluk oranı kadar önemli bir kriterdir. Hava geçirgenliği ve boşluk oranı arasındaki bağlantının değerlendirilmesine yönelik yeni ve kapsamlı çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

- Akmaz, M. M., 2020, Farklı plastik atıkların birlikte pirolizinden elde edilen katı ürünle modifiye edilmiş bitümlü sıcak karışımların mühendislik özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi.
- Alataş, T., İstek, A., 2019, Farklı Katkılarla Hazırlanan Asfalt Karışımların Sünme Performanslarının İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ. DÜMF Mühendislik Dergisi.*
- Altan, F., 2018, Taş Mastik Asfaltta Elektrik Ark Fırını Cürufunun Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması ve Doğal Agregası İle Karşılaştırılması. İstanbul Teknik Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 97s.*
- Arıkan, A., 2007, Sert plastik ambalajlar, https://sepa.org.tr/wpcontent/uploads/2020/02/sert_plastik_ambalajlar_2007en_son_pdf.pdf, [Ziyaret Tarihi: 14 Kasım 2022].
- Arslan, F., 2014, Taş Mastik Asfalt Karışımlarında İstanbul Çevresindeki Cebeci-Dolamitli Kireçtaşı, Gölcük-Kumtaşı Ve Karatepe-Bazaltı Kullanımının İncelenmesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 273s.*
- Al-Abdul Wahhab, H. I., Dalhat, M. A., & Habib, M. A., 2017, Storage stability and high-temperature performance of asphalt binder modified with recycled plastic. *Road materials and pavement design, 18(5), 1117-1134.*
- ALP, B., 2018, Aşınma Asfalt Betonu ve Taş Mastik Asfalt Tekniğinin Köprü Uygulamalarında Kullanılması ve Karşılaştırılması. Bahçeşehir Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 139s.*
- Ayyıldız, D., Aksoy, A., İskender, E., 2021, Taş Mastik Asfalt Karışımlarında SBS/Nanokil/Bitüm Nano- Kompozitler İçin Optimum Bileşim Oranının Araştırılması. *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Araştırma Makalesi, Trabzon.*
- Chen, L. M., Chen, J. W., Chen, T. H., Lecher, T., & Davidson, P. C., 2019, Measurement of permeability and comparison of pavements. *Water, 11(3), 444.*
- Çelik, O. N., *Bitümlü Karışımlarda Hava Geçirimsizliğinin Ölçülmesi ve Hava Geçirimsizliği-Boşluk Oranı Arasındaki İlişki* <https://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/12076.pdf> [Ziyaret tarihi: 20 Ocak 2021]
- Dalhat, M., ve Abdul Wahhab, H. (2017). Performance of recycled plastic waste modified asphalt binder in Saudi Arabia. *International Journal of Pavement Engineering.*
- Demirbay, S., 2020, *Bitümlü sıcak karışımlarda agregası boyutu ve tabaka kalınlığı ilişkisinin araştırılması* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ekrem, Y. Ü. C. E., & Kiliç, M., 2014, PVC ve PET Atıkların Seçimli Flotasyonu Bölüm 1: Plastikler; Çevresel Etkileri; Geri Dönüşümü. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2), 79-94.*
- Erkuş, Y., Kök, B.V., Yılmaz, M., 2021, Doğal Asfalt ve SBS Modifiyeli Bitüm Bağlayıcıların Karşılaştırılması. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi.*
- Evirgen, B., Çetin, A., Karşlıoğlu, A., Tuncan, A., 2021, An Evaluation of the Usability of Glass and Polypropylene fibers in SMA Mixtures. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.*

- Gökalp, İ., Çetin, H. M., Özinal, Y., Gündoğan, H., Uz, V.E., 2019, Polimer Modifiye Bitüm Modifikasyonuna Etki Eden Parametreler Üzerine Bir Literatür Araştırması. *Ömer Halis DEMİR Üniversitesi Müh. Bim. Der., Cilt 8, Sayı 2.*
- Güler, Ç., ve Çobanoğlu, Z., 1997, Risk iletişimi ve risk yönetimi, *Çevre Sağlığı Kaynak Dizisi*, (47).
- İlcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, G., & Eren, K., 2001, Asfalt ve uygulamaları. *İsfalt Yayınları, İstanbul, Türkiye.*
- İzol, E., 2020, Taş Mastik Asfalt Yapımında Mineral Filler Olarak Mermer Tozunun Kullanılması. *Yüksek Lisan Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.*
- İzol, E., Sarıışık, A., 2022, Taş Matik Asfalt Karışımlarda Mermer Tozu Kullanımının Dayanım Etkisinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Müh. Fak. Der., 37(1), ss. 1-11, Mart 2022*
- Karaman, H., 2008, Polietilen Tereftalat (PET) tan Poliester Poliöl Sentezi. *Gaziantep Üniversitesi Kimya Bölümü Yüksek Lisans Tezi.*
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013, Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler.
- Kayan, A., Küçük, A., 2020, Plastik Kirliliğin Çevresel Zararları ve Çözüm Önerileri. *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 22/2 (2020) 403-427*
- Kayılı, M., Çelebi, G., 2020, Plastik Atıkların ve Yapıda Kullanım Olanaklarının İncelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi, Sayı 3(3): 148-157 (2020)*
- Kılıç, M., Yüce, A.E., 2014, PVC ve PET Atıkların Seçimli Flotasyonu Bölüm1: Plastikler; Çevresel Etkileri; Geri Dönüşümü. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(2), 79-93 ss., Aralık 2014*
- Kök, B. V., Yılmaz, M., ve Kuloğlu, N., 2012, Asfaltitin bitüm ve bitümlü sıcak karışımların mekanik özelliklerine etkisi. *Teknik Dergi, 23(111), 5813-5826*
- Lewandowski, L. H., 1994, Polymer modification of paving asphalt binders. *Rubber Chemistry and Technology, 67(3), 447-480.*
- Li, H.; Kayhanian, M.; Harvey, J.T. Comparative field permeability measurement of permeable pavements using ASTM C1701 and NCAT permeameter methods. *J. Environ. Manag. 2013, 118, 144–152.*
- Namlı, R., 2011, SBS Türü Polimerlerin Sıcak Asfalt Karışımında Katkı Olarak Kullanılması. *e-Journal of New World Sciences Academy 2011, Volume: 6, Number: 2, Article Number: 1A0185.*
- Orhan, F., 2001, Bitümlü karışımlar laboratuvar çalışmaları. *Kgm Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.*
- Öner, J., Özdaş, F., 2022, Taş Mastik Asfalt Karışımlarında Tekstil Atığı Kullanımının Araştırılması. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Dergisi.*
- Özay, O., Arıkan Öztürk, E., 2013, Modifiye Edilmiş Poroz Asfalt Karışımların Performansı. *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 28, No 3, 577-586.*
- Safi, S., 2019, Synthesis of flocculants from waste plastics by sulfonation and investigation of their effectiveness in plastic washing wastewater treatment (*Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi*).
- Saltan, M., İnkaya, N., 2020, Usage Of Waste Plastics in Road Pavements. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt 24, Sayı 1, 158-163, 2020*

- Sultani, K. A., 2021, Polipropilen pirolizi kullanılarak yapılan taş mastik asfalt karışımların Marshall özellikleri (*Master's thesis, Konya Teknik Üniversitesi*).
- Tanyıldızı, M.M., Geçkil, T., 2019, Taşıma Gücünün Rijit ve Esnek Üstyapıların Kalınlıklarına ve Maliyetlerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Müh. Bil. Dergisi 31(2)*, 399-406, 2019
- TS 1097-2. (1998). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar. TSE, Ankara.
- Tunç, A., & Malzemeleri, Y., 2001, Uygulamaları, Nobel Yayın Dağıtım.
- Tunç, A. 2004, *Esnek kaplama malzemeleri elkitabı*. Asil Yayın Dağıtım.
- Umutlu, A., 2022, Havaalanı Pistlerinde Taş Mastik Asfalt Karışımlarının Dayanıma Etkisi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi*.
- Vardanega, P., Nataatmadja, A., Waters, T., and Ramanujam, J., 2008, A study of asphalt permeability: Empirical permeability models. *In ARRB Conference, 23rd, 2008, Adelaide, South Australia, Australia*.
- Whiteoak, D., Lav, A. H., & Lav, M. A., 2004, *Shell bitüm el kitabı*. İsfalt.