

Kauçuk Katkılı Modifiye Bitüm Kullanılarak Mastik Asfalt Uygulaması
Application of Mastic Asphalt Using Rubber Added Modified Bitumen

Salih ALUÇ, Adem AHISKALI

Kastamonu Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Doi: 10.51764/smutgd.1049296

Geliş Tarihi :27.12.2021
Kabul Tarihi :23.03.2023

ÖZET

Ulaşım, insanların ticari metaların ve eşyaların belirli bir konumdan başka bir konuma taşınmasıdır. Türkiye’de birçok ulaşım sistemi bulunmakla birlikte karayolu ulaşımı, ulaşım sisteminin %95’lik kısmını teşkil etmesi nedeni ile önemli bir yere sahiptir. Karayolu, taban zemini üzerine esnek ve rijit olarak inşa edilen, araçların hızlı, güvenli ve konforlu geçişine olanak veren yapılardır. Düzenli bir dağılıma sahip bir karayolu ağı, ülkelerin kalkınmasında önemli bir unsur haline gelmiştir. Güçlü ve konforlu bir karayolu ağı, enerji kaynaklarına kolay ulaşılmasını, üretilen ürünlerin hızlı ve zamanında yerine teslim edilmesini ve zamandan tasarruf edilmesini sağlar. Günümüzde inşa edilen yolların, talepleri karşılayacak şekilde sağlam, konforlu ve uzun ömürlü olabilmesi için karayolu yapımında bağlayıcı olarak kullanılan bitümün, bu ihtiyacı karşılayacak nitelikte olması gerekmektedir. Bu gereklilikler göz önüne alınarak bitüme çeşitli modifikasyonlar uygulanması yoluyla, bitümün özelliklerinin iyileştirilmesi ve aynı zamanda daha ekonomik alternatiflerin oluşturulması, araştırmacılar için hedef haline gelmiştir. Özellikle polimer modifikasyon’lu katkıları sayesinde işlenebilirlik özelliği, performansa katkı sağlayabilmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmada değişik oranlarda kauçuk katkı malzemesi, modifiye bitüm ve mastik asfalt uygulamaları ele alınmıştır. Günümüzde, yüksek kaliteli aşınma tabakası olarak SMA (Taş Mastik Asfalt) tabakası kullanılmaktadır. Bu tabaka; Genellikle %70–80 kaba agrega, %20–30 ince agrega ve %6–8 gibi oldukça yüksek bir asfalt türü ve kesikli bir granülometriye sahip (agregalar arası boşluk miktarı yüksek) karışımlardan elde edilir. Kısaca SMA olarak bilinen bu tabakalar, kalıcı hasarlara ve aşınmaya karşı daha dirençlidir. Ayrıca daha kaliteli, daha homojen ve geçirimsiz olma gibi, özellikleri sebebiyle öne çıkmaktadır. Herhangi bir projenin başarısı, projelerde etkin maliyet kontrolünü kolaylaştıracak gelişmiş miktar, maliyet ve süre tahmin teknikleri ile tanımlanır.

Anahtar Kelimeler: Mastik asfalt, Mekanik özellikler, Kauçuk katkı, Modifiye bitüm, Kauçuk modifiye asfalt, Asfalt karışımı.

ABSTRACT

Transportation is the movement of people and goods from one place to another place. Besides there are many transportation systems in our country, road transportation has the most important place and has a share of 95 percent. Highways are structures that are built flexibly and rigidly on the ground floor and allow fast, safe and comfortable passage of vehicles. A road network that has an orderly distribution has become an important element in the development of countries. Because a strong and comfortable road network provides easy access to energy resources, fast and timely delivery of the products produced and saving time. Today, it is obvious that many studies need to be done in bitumen by adding various additives to bitumen in order to make the roads built more comfortable and durable. While polymer modification is now being applied effectively, it comes up to the agenda that it will provide better compaction and economic contributions by increasing the processability properties. Thanks to such additives, the workability feature can contribute to performance. In this study, different proportions of rubber additives, modified bitumen and mastic asphalt applications were discussed. Today, SMA (Stone, Mastic, Asphalt) layer is used as a high quality wear layer. SMA layers, which are generally obtained from mixtures of 70 - 80% coarse aggregate, 20 - 30% fine aggregate and 6 - 8% asphalt type (high amount of space between aggregates) stands out due to its features such as being more resistant to permanent damage and abrasion, higher quality and being more homogeneous and impermeable. any project success is defined by techniques improved quantity to facilitate effective cost control, cost and time estimation.

Keywords: Mastic asphalt, Mechanical properties, Rubber added, Modified bitumen, Rubber modified asphalt, Asphalt codes

Salih ALUÇ, Orcid: 0000-0002-5229-0439, salih_1734@hotmail.com

Adem AHISKALI, Orcid: 0000-0002-1265-7312, ahiskali@kastamonu.edu.tr

1. GİRİŞ

Ulaşım sistemleri, ekonomik, sosyal, politik ve kültürel kalkınmanın sağlanması açısından en önemli altyapı yatırımdır. Türkiye'de son beş yılda yapılan ulaşım yatırımları sayesinde asfalt yol uzunluğu giderek katlanıyor. Günümüzde hız olarak artan araç sayısı ve trafik yoğunluğu yolların tahrip olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle asfalt yolların uzunluğunun artırılması ve eski beton asfalt yollarımızın onarımı ve bakımı önemlidir. (O, X, Z, & H, 2018).

Karayolu, araçların hızlı, güvenli ve konforlu geçişini sağlayan zemin tabanına esnek ve sağlam bir şekilde inşa edilmiştir. Düzenli bir dağılıma sahip olan karayolu ağı ülkelerin kalkınmasında önemli bir yere sahiptir. Çünkü güçlü ve konforlu bir yol ağı, enerji kaynaklarına kolay erişim sağlar ve ürünler hızlı ve gerekli sürede teslim edilir. Aynı zamanda zaman kazandırır. Türkiye'de son beş yılda asfalt üretimi ortalama 40 milyon tona ulaşmıştır. Bu nedenle 2011 yılı itibarıyla Avrupa'da asfalt üretiminde ikinci sırada yer almıştır. (Torun, 2015). Bu rakamlar son beş yılda ortalama 38 milyon ton ile üretilmeye devam etmiştir.

Bu çalışmada bugüne kadar yapılan deneysel çalışmaların aksine kauçuk katkıli modifiye bitüm kullanılarak mastik asfaltın geliştirilmesi amaçlanmıştır. Elde edilecek sonuçlara göre üretilecek mastik asfalt tipinin uzun ömür, ekonomi ve kullanım kolaylığı açısından önemli olacağı düşünülmektedir. Asfalt üretiminde kullanılan katkı malzemelerinin kullanım yöntemleri iki türlü yapılmaktadır. Birinci yöntem, katkı maddesini bitüm içerisine eklenerek 'modifiye bitüm' elde edilmesidir. İkinci yöntem ise katkı maddesi asfalt platininin doğrudan doğruya karışıma eklenerek, 'modifiye karışım' elde edilmesidir. Dünya da ve Türkiye'de giderek yoğunlaşan trafik, yoğun ağır taşıtların asfalt kaplama yüzeyinde oluşturduğu hasarlar, bozulmalar, tekerlek izleri ve değişen iklim koşulları da eklendiğinde sıcak asfalt kaplamaları daha dayanıklı olmasını sağlamak için değişik çözümler gündeme gelmiştir. Bu çözümler içerisinde Modifiyeli Asfalt kullanımı çare olarak öne çıkmaktadır. Modifiye edici katkı maddelerinin kullanım amacı, bitümlü bağlayıcı ve karışımların davranışlarının iyileştirilmesidir. (Ceylan, 2006) Kauçuk modifiyeli asfalt (RMA), harmanlanmış agregalar, geri dönüştürülmüş kauçuğu ve bitümden oluşan bir bitümlü karışım olmaktadır. Kauçuk yapının elastik özelliği nedeniyle en önemli faktördür. (Karacasu, 2015) Kırıntı kauçuk ve bitümün harmanlanmasıyla hazırlanan asfalt kauçuğunun (AR), üstün yol tutuş direnci, daha düşük yol lastiği gürültüsü ve daha uzun servis ömrü gibi geleneksel asfalt bağlayıcıya kıyasla çeşitli avantajlar sağlamaktadır. (İmamoğlu, 2012)

2. MALZEME-YÖNTEM

Türk Dil Kurumu'na (TDK) göre asfalt, "siyah, şekilsiz bitüm veya ana maddesi katran olan ve yol döşemesi için kullanılan karışım" olarak tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu, , 2018). Asfalt beton üretiminden uygulama süreçlerine kadar iyi planlama, araştırma ve düzenli çalışma gerektiren yol yapımında kullanılan bir yapı malzemesidir (Büyüksaraçoğlu, 2009).

Dünyanın birçok ülkesinde asfalt karışımı, kaliteli yolların yapımında yaygın olarak kullanılmaktadır. yüksek performanslı asfalt karışım yollarının %90'ı İngiltere ve Çin'de görülmektedir. Asfalt karışımının gündemde ve güncel olmasının nedeni iyi bir performansa sahip olmasıdır (Zhang, 2018).

2.1 Malzeme

2.1.1 Agregalar

Agrega, asfalt üretimi ve yol yapımının ana maddesi olarak kullanılır. Büyüklük ve ağırlık bakımından üst yapının önemli bir parçasını oluşturan agregalar, yoldaki yük ağırlıklarının yarattığı gerilmeleri karşılamaktadır (Avcı, 2009). Yol yapımında önemli bir yere sahip olan agregalar iki grupta incelenir: doğal agregalar ve yapay agregalar (Büyüksaraçoğlu, 2009). Agregaları üç başlık altında inceleyebiliriz; 2.36 mm elek üzerinde kalan kaba agrega, 2.36 mm elekten geçen ve 0.075 mm elek üzerinde kalan agregalara ise ince agrega, un kıvamında ve daha çok ince olan malzemeler ise mineral filler olarak adlandırılır. Çalışmada yapılan elek analizi için kullanılan elekler şekil 2.1 de yer almaktadır



Şekil 2.1 Elek analizi ve elekleri

2.1.1.1 Doğal Agregalar

Doğal agregalar oluşum şekillerine göre doğal kayalardan ve fiziksel ayrışmalar sonucunda meydana gelir. Doğal agregalar, kayaların doğal etkilerle ya da istenilen boyutlarda parçalanması sonucu, karayolu yapımında kırma taş şeklinde kullanılabilir (Büyüksaraçoğlu, 2009). Agregalar genel olarak yapı sektöründe geniş kullanım alanına sahiptir (A.Çağlar, Çağlar, Sağlam, Çitoğlu, & Bayraktar, 2017).

2.1.1.2 Yapay Agregalar

Elde edilen bu tür agregalar endüstriyel olarak işleminden geçtikten sonra kullanılan agrega türleridir. İşleminden geçen bu tür agregaları cüruf, klinker ve çimento olarak ayrı ayrı başlık altında inceleyebiliriz. Yapay agregalar yüksek fırın ısısında sanayi ürünü olarak ince taneli ve iri taneli olarak oluşturulmaktadır. Tane büyüklüğü olarak bakıldığında 4 mm altında olan agregalar için ince agrega 4 mm üstünde olanlar için ise iri taneli agrega sınıfına girmektedir.

Tablo 2.1 Yol ve agrega grupları (M.İlcalı, 2001)

YOL AGREGA GRUPLARI (İSFALT)			
BAZALT GRUBU		KUM TAŞI GRUBU	
Andezit	Mag. Nöt F	Aglomera	To.
Bazalt	Mag. Baz F	Arkoz	To.Si
Bazik Portifirit	Mag.Nöt M	Bres	To.
Diyabaz	Mag.Baz M	Konglemera	To.
Dolerit	Mag.Baz M	Grovak	To.Si
Epidiyorit	To B	İnce Çakıl	To.Si
Hornblendsist	To B	Kumtaşı	To.Si
Lamprofir	Mag. Baz	Tüf	To.
Kuvartz-dolerit	Mag Baz M	HORNFELS GRUBU	
Silipit	Mag.Baz F	Mermer hariç bütün basınç sonucu	
Teserit	Mag. Baz	Değişmiş kayalar	Met.Ter.

Teralit ÇAKMAK TAŞ GRUBU Silistaşı (cert) Çakmaktaşı GABRO GRUBU Diyorit Grayn Gabro Norit Peridorit Pikrit Serpantin GRANİT GRUBU Gnays Granit Granodiyorit Granülier Kuvartz – diyorit Siyerit ŞİST GRUBU Filit Şist Kaynak ardovaz	Mag. Baz To Si To Si Mag. OrC Met.B Mag. Baz.C Mag. Baz.C Mag. Ü Mag. Ü Met. B Mag.As.C Mag. As.C Mag. Or.C Mag. Or. C Met. B Met.B Met.B	KİREÇ TAŞI GRUBU Dolomit Kireçtaşı Mermer PORFİR GRUBU Aplit Dasit Felsit Granotir Keratofir Mikrogranit Porfir Kuvartz- porfirit Riyolit Trakit KUARSİT GRUBU Garister Kuvarsitik kumtaşı Yeniden kristallenmiş Kuvarsit	To.Kal To.Kal Met. Ter Mag.As.F. Mag.As.M. Mag.As. M Mag.Or.F Mag.As.M. Mag.Or.M. Mag. Or. M Mag. As. F To. Si Met. Ter.
Mag= Magnetik To= Tortul Met= Metamorfik As= Asit Or= Orta	Baz= Bazik U= Ultamafik Kal= Kalkerli Si= Silisli C=İri dokulu	M= Orta dokulu F= İnce dokulu Ter= Termik B= Bölgesel	

2.1.2 Bitümlü Konektörler

Asfalt, güçlü bir bağlanma özelliğine sahip katı ve yarı katı da dahil olmak üzere sıvı halde bulunabilen hidrokarbon yapılı bir malzemedir. Doğal olarak göllerden ve kayalardan olmasının yanı sıra, ham petrolün rafine edilmesi sonucu da üretilebilir (Büyüksaraçoğlu, 2009).

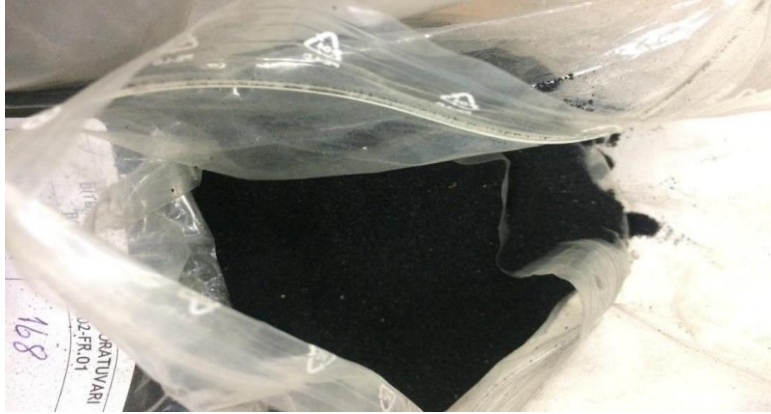
2.1.3 Katkı Maddeleri

Asfalt üretiminde kullanılan katkı maddelerinin kullanım yöntemleri iki tipe yapılmaktadır. Birinci yöntem, katkı maddesini bitüme ekleyerek 'modifiye bitüm' elde etmektir. İkinci yöntem, katkı maddesi asfalt platinini doğrudan karışıma eklemek ve bunun sonucunda 'değiştirilmiş bir karışım elde etmektir. Modifiye bitüm, daha çok asfalt çimentosunun özelliklerini artırarak ve ısı duyarlılığını azaltarak elde edilen bitümlü bağlayıcılar olarak bilinir. Hazırlanacak modifiye bitümün depolanması ve taşınması gibi sorunlar olduğu için genellikle ek ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. Karışım modifikasyonunda, katkı maddesi olan asfalt tesisi doğrudan bitüm karışımına ilave edilebildiğinden ilave karıştırma malzemesine ihtiyaç duyulmaz, ancak depolama ve taşıma gibi sorunlarla karşılaşılır. Bu durumda, modifiye bitümün karışımdan uzaklaştırılmasıyla özelliklerin belirlenmesinin ve değerlendirilmesinin uygun olmadığı görülmektedir (Büyüksaraçoğlu, 2009).

2.1.4 Kauçuk

Kauçuk modifiyeli asfalt (RMA), harmanlanmış agregalar, geri dönüştürülmüş kauçuğu ve bitümden oluşan bir bitümlü karışım olmaktadır. Kauçuk yapının elastik özelliği nedeniyle en önemli faktördür (Karacasu, 2015). Kırıntılı kauçuk, tanecikli bir yapıya sahiptir. Kırıntılı kauçuğun genel kuvveti arttırmakta ve yüzey alanını

azaltmaktadır. RMA'nın düşük ve yüksek sıcaklıklarda bile kullanım ömrü üç kat daha uzundur. Kauçuğun hem karayollarında hem de demiryollarında kullanımının geleneksel asfalta göre daha avantajlıdır (Karacasu, 2015). Asfalt üretiminde kullanılan geri dönüşümü sağlanmış kauçuk malzeme şekil 2.2 de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Geri dönüşüm ile elde edilen kauçuk katkı malzemesi

2.2 Yöntem

2.2.1 Bitüm Deneyleri

A. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon değeri, standart bir iğnenin bir yük altında ve belirli bir süre içinde bitüm numunesine dikey olarak batacağı mesafedir. Penetrasyon deneyi TS EN 1426 “Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar-İğne Penetrasyon Derinliği Deneyi” deney standardına göre yapılır. Penetrasyon değeri tutarlılıkla ters orantılıdır ve penetrasyon arttıkça bitüm yumuşar. Penetrasyon değeri tutarlılıkla ters orantılı olmasına rağmen, penetrasyon değerindeki artış bitümün yumuşamasını gösterir.

B. Parlama Noktası Deneyi

Bitümün tehlikeli bir şekilde ısıtılacağı sıcaklığı belirlemek için parlama noktasının belirlenmesi gerekir. Parlama noktası, ısıtılmış bitüm buharının alevle temas halinde geçici olarak parladığı, ancak yanmaya başladığı en düşük sıcaklıktır. Bu deney, üretim sırasında bitümün yanmadan hangi sıcaklığa kadar güvenli bir şekilde ısıtılacağıni belirlemek için yapılır. Bitümün parlama noktası genellikle Cleveland Açık Gemi yöntemi ile tespit edilir. Deney TSE EN ISO 2592 standardına dayanmaktadır.

C. Yumuşama noktası deneyi

Yumuşama noktası, belirlenen deney koşulları altında bitüm numunesinin belirli bir yumuşaklık değerine ulaştığı sıcaklık idi. Yumuşama noktası deneyi TS EN 1427 “Bitümler ve Bitümlü Bağlayıcılar-Yumuşama Noktası Tayini-Halka ve Bilye Yöntemi” deney standartlarına göre gerçekleştirilir.

Bitümlü bağlayıcının akmaya başladığı sıcaklığı, yani sıcaklığa duyarlılığını ölçmek için halka-bilye yöntemi kullanılarak yumuşama noktası adı verilen sıcaklığın belirlenmesidir.

D. Elastik Geri Tepme Deneyi

Bu deney TS EN 13398 standardına dayanmaktadır. Deneyde, bitümün elastik geri dönüşü ve geri dönen elastik deformasyon, bir süneklik aleti kullanılarak istenen sıcaklıkta (25 °C) belirlenir. Modifiye bitüm üzerinde yapılan

bu deneyde deney kaplarına dökülen sıcak bitüm 2-3 saat ortam sıcaklığında tutulur. Tuttuktan sonra, kalıp üzerindeki fazla bitüm bir spatula yardımıyla çıkarılır. Daha sonra süneklik cihazında 30 dakika boyunca 25 °C suda bekletilir. Bu bekletmeden sonra deney başlar. Deney numunesinin sünekliği cihazdaki sayaçtan 20 cm ye ulaştığında, bitüm tam ortada kesilir. Bu kesme işleminden sonra modifiye bitüm geri tepmeye başlar ve bu işlemi tamamlamak için 30 dakika beklenir. 30 dakika sonunda, bitümün her iki tarafı bir cetvel yardımıyla ölçülür. Aradaki mesafe belirlenir.

E. Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

Bitüm içeren malzemelerin özgül ağırlığı, deney numunesinin bilinen hacminin 25°C'de, havadaki ağırlığının ve damıtılmış suyun aynı sıcaklıkta ve aynı hacimde, hava parçacıklarından arındırılmış ağırlığının oranıdır (F.Orhan, 2012).

Deney pycnometer, 25°C'de piknometer, damıtılmış su bitümü ile yapılır. Temizlenmiş ve susuz piknometre tartılır ve kaydedilir (A). Daha sonra piknometreye kalibrasyon hattına kadar damıtılmış su ilave edilir ve tartılır (B). Piknometredeki damıtılmış su pycnometer boşaltılır, piknometre tamamen kurutulur, kalibrasyon hattının üçte iki seviyesine bitüm eklenir ve tartılır (C). Son olarak, piknometre kabına kalibrasyon hattına damıtılmış su eklenir ve tartılır (D). Bununla birlikte, damıtılmış su ilave edilirken hava kabarcıklarının giderilmesine özen gösterilmelidir (TS EN 15326 + A1, 2010) (Ömer & Agar, 2017). Bulunan değerler aşağıda verilen formülde yerine yazılır ve bitümün özgül ağırlığı hesaplanır. Formülde, mektubun muhabirleri; A; piknometre ağırlığı (gr), B; pycnometer Kalibrasyon hattına su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (g), C; Kalibrasyon hattının üçte ikisine kadar Bitüm dolu ağırlık (gr), D; Piknometre ağırlığı (g), kalibrasyon hattına su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (g), C; Kalibrasyon hattının üçte ikisine kadar Bitüm dolu ağırlık (gr), D; Piknometre ağırlığı (g), kalibrasyon hattına su ile doldurulmuş piknometrenin ağırlığı (g), C; Kalibrasyon hattının üçte ikisine göre) bitüm ve damıtılmış su.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{kN}{cm^3} = \frac{C-A}{B-A-(D-C)}$$

F. RTFO (Haddelme İnce Film Fırın Deneyi)

Deney TS EN 14769 standardına göre gerçekleştirilmiştir (TSEN14770, 2012). Yaşlı bitüm üzerinde fiziksel deneyler yapılarak asfalttaki kütle kayıplarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Bitüm yaşlandıkça kütle kaybeder, ancak bazı asfaltlarda yaşlanma ile oksitlenmiş ürünlerin oluşması nedeniyle kilo alımı meydana gelir.

G. Basınçlı Yaşlandırma Kabı Deneyi (P. A. V)

Deney TS EN 14770 standardına dayandırılmıştır (TSEN14770, 2012). Deneyde RTFOT deneyinden çıkan numuneler, her biri 50 gr olan numune kaplarına yerleştirilir. Numune kapları, 10 numune kabı alabilen rafli bir numune taşıyıcısına yerleştirilir. Daha sonra basınçlı bir yaşlanma kabına alınır ve 20 saat boyunca 100°C'de 2.4 MPa basınç altında yaşlandırılır. Bu sayede kaplamanın servis sırasında karşılaşacağı yaşlanma etkileri yansıtılır. Cihaz çalıştırılır ve çelik raf cihaza yerleştirilir ve istenen sıcaklığa (100°C) ulaşana kadar ısıtılır. Çelik raf çıkarılır ve deney numuneleri yerleştirilir, çelik raf numune dolu kaplarla doldurmasa bile boş kaplarla doldurulur. Kuru hava tüpündeki çubuk seviyesi 24 bara ayarlanır ve kapaktaki civatalar birbirine sıkılarak kapatılır. Deney, cihaz 100°C'ye ulaştığında başlatılır. 20 saatlik yaşlanmadan sonra pav'den çıkan numune bir vakum kabına alınır. Numunelerle dolu kap vakum cihazına yerleştirilir ve 15 dakika boyunca 170 °C'de

vakumlamaya tabi tutulur. İçindeki azot gazı numuneyi BBR Kiriş Bükme Reometrisi kalıbına 3 numune olarak dökülür.

H. Kiriş Bükme Reometresi Deneyi (BBR)

Deney TS EN 14771 standardına göre yapılmıştır. BBR, düşük sıcaklıklarda bitümün davranışını belirlemek için yapılır. BBR, bağlayıcının belirli bir sıcaklıkta ve sabit bir yük altında ne kadar sürünme veya sapma geçirdiğini gösterir.

I. Dinamik Kesme Reometrisi (DSR)

Deney TS EN 14770 standardına dayandırılmıştır. Bitümün davranışı hem yükleme süresine hem de sıcaklığa bağlı olduğundan, ideal deney her iki faktörü de içermelidir. Dinamik Kesme Reometrisi ile bitümlü bağlayıcıların reolojik özellikleri (kompleks kesme modülü ve faz açısı) orta ve yüksek sıcaklıklarda zaman içinde belirlenir.

3. BULGULAR

3.1 Penetrasyon Deneyi

Bu çalışmada saf bitüme %8 kauçuk katkısı kullanılarak penetrasyon değerinin düşürülmesi ve bitüm sertliğinin artırılması amaçlanmıştır. Bu duruma uygun olarak, elastikiyet oranı, verilen katkı maddesinin yüzdesi ile artırılmıştır. Buradaki genel amaç uygulama esnasında esneme özelliğini arttırmak ve trafik yoğunluğundaki rutubetten kaynaklanabilecek deformasyonu önlemektir. Deney sonucunda elde edilen verilerde 38,2 mm saf ve 50 mm derinliğinde olması gereken değer azalmış ve kauçuk katkılı elastik oran sağlanmıştır. Sonuç olarak, Karayolları Teknik Şartnameleri aralığındadır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Penetrasyon deneyi sonucu ve spesifikasyon değeri

Öğ	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri	
			Min.	Maks.
1	Penetrasyon (25 °C,100g,5sec)	38,2 mm	35 mm	70 mm

Sadece kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilen bitümün, orjinal bitümden daha yüksek penetrasyon değerine sahip olduğu görülmektedir. Kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün penetrasyon değeri artırılarak gerekli bitüm sertliği elde edilmiştir (%8).

Kauçuk katkı maddeleri ile modifiye edilmiş saf bitümde yapılan deneylerde penetrasyon değerinin artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Penetrasyon değerindeki artış, bitümün akışkanlık oranındaki artışı doğrudan etkiler. Yüksek akışkanlığa sahip bitüm, agrega temas yüzeyini tamamen kaplar ve bu sayede bağlanma özelliği artar. Kauçuk katkı oranındaki artışa bağlı olarak penetrasyon değerindeki artış deneylere göre beklenen bir sonuçtur. Kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün yaşlanmış penetrasyon değerinin, saf bitüm penetrasyon değerine kıyasla daha yüksek bir değere sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen penetrasyon değerinin Karayolları Teknik şartnamelerinde belirlenen sınır değer aralığında olduğu ve uygulama için sorun teşkil etmeyeceği görülmektedir. Yapılan çalışma şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Penetrasyon deney numunesi hazırlanması ve penetrasyon deney cihazı

3.2 Parlama Noktası

Parlama noktası deneyi, karışımda kullanılan bitüm bağlayıcıyı, ısının etkisi altında tutuşma sıcaklığının belirlenmesi sırasında alınacak önlemlere dahil etmek amacıyla uygulanır. Deney sonucunda elde edilen verilere göre parlama noktasının 280 °C olduğu ve Karayolları Teknik Şartnamelerinde verilen parlama noktası aralığında olduğu anlaşılmaktadır. Sonuç Tablo 3.2'de verilmiştir. Yangın vb. durumları en aza indirmek için yapılan değişikliğin sonucu. bu, 280 °C ile sonuçlanan kauçuk katkı maddesi ile nakliye sırasında ortaya çıkabilir.

Tablo 3.2. Penetrasyon deneyi sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
2	Parlama Noktası (°C)	280 °C	220 °C

Parlama noktası deney sonucu incelendiğinde, modifiye bitümün %8 kauçukla ısı duyarlılığı orjinal bitüme göre %1,27 oranında azalmış ve katkı maddesindeki malzemelerle ısı duyarlılığı azaltılmıştır. Bitümün uygulama alanına verilmesi sırasında oluşabilecek riskler nedeniyle yanma, yanıp sönmeye ve yanma özellikleri azalır. Elde edilen sonucun Karayolları Teknik Özellikleri aralığında olduğu ve uygulamada kullanılan bitüme göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yapılan bu deneyin görseli şekil 3.2 de parlama noktası ve uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Parlama noktası deney cihazı ve numunesi

3.3 Yumuşama Noktası

Saf bitümdeki ani sıcaklık değişiminin etkisi altında değeri arttırmak amacıyla eklediğimiz kauçuk katkı maddesi ile bu değer mevcut sertlikten elastik yapıya dönüştürülmesi hedeflenmektedir. Deneyden elde edilen yumuşama noktası değeri 57,8 °C olarak belirlenmiş ve bu değer Karayolları Teknik Şartnamelerinde belirtilen minimum değer üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Sonuç Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3 Yumuşama noktası deney sonucu ve özellikleri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
3	Yumuşama Noktası (R/B °C)	57,8 °C	57,8 °C - 55 °C

Kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün yumuşama noktası deney sonucu incelendiğinde, %8 kauçuk katkı maddesi ile modifiye edilmiş bitümün yumuşama deney sonucundaki artışın saf bitüme göre beklendiği gibi daha yüksek olduğu görülmüştür. Deneyin amaçları arasında yer alan ani sıcaklık değişimlerine karşı daha dirençli olduğunun belirlenmesi deney sonuçlarında gösterilmiştir. Deney şekil 3.3'de görsel olarak verilmiştir.



Şekil 3.3 Yumuşama noktası deney numunesi ve deney cihazı

3.4 Elastik Geri Tepme Deneyi

Kauçuk katkı maddesi ile yoğun trafikte rutting oluşumuna ve trafik yükünün neden olduğu deformasyona karşı karışımdaki bitümün direncinin artırılması hedeflenmektedir. Bitümün elastik oranını belirlemek amacıyla yapılan bu deneyde %8 kauçuk katkısıyla elde edilen modifiye bitüm sonucu aşağıdaki Tablo 3.4'te sunulmuştur. Deney sonucunda elde edilen değer Karayolları Teknik Şartnameleri tarafından belirlenen sınır aralığında olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 3.4. Yumuşama noktası deney sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
4	Elastik Geri Tepme Deneyi (25 °C)	60,2 °C	60 °C

Deney sonucu incelendiğinde, %8 kauçuk katkılı bitümün ağırlıkça kalıcı deformasyonlara karşı direncinin saf bitüme kıyasla daha da arttığı gözlenmiştir. Deforme olmuş deney numunesi deformasyonu emdi ve kalıcı olarak özelliklerine geri döndü. Elastikiyete dayalı bu deneyde, bitümün elastik özelliğinin %8 kauçuk katkısıyla %1,0 oranında arttığı gözlenmiştir.

3.5 Bitüm Özgül Ağırlık Deneyi

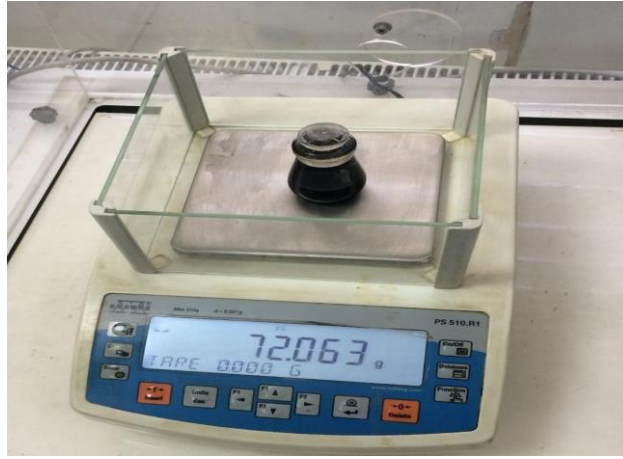
Bitümün özgül ağırlık deneyi TS EN 15326 standardının kurallarına uygun ve esas alınarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.5'te, bitüm yapısındaki bileşenlerin 25 °C 'de damıtılmış su ile teması sırasında ölçümlerin sonunda elde edilen modifiye bitüm hacminin damıtılmış suya oranının Karayolları Teknik Şartnamelerinin sınır aralığında olduğu belirtilmiştir.

Tablo 3.5 Bitüm özgül ağırlık deneyi ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri	
			Min.	Maks.
5	Bitüm özgül ağırlık deneyi gr / cm ³	1,031gr/cm ³	1,0gr/cm ³	1,1gr/cm ³

Katkısız saf bitüm ve kauçuk katkılı modifiye bitüm %8 ile kıyaslandığında elde edilen sonuca göre özgül ağırlıkta %1 artış olduğu açıkça görülmektedir. Bunun temel nedeni, katkı maddesi olarak kullanılan kauçuğun ana bileşenlerinden birinin bitüm olmasına rağmen, karıştırma sırasında boşluk oranındaki hafif artışa bağlı olarak özgül ağırlık değerinde bir artış meydana gelmesidir. Sonuç olarak katkı oranı arttıkça özgül ağırlık oranı da katkı oranına bağlı olarak artmaktadır. Deneyde kullanılan malzeme ve tartımı şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Deney numunesi tartımı

3.6 Dinamik Kesme Reometresi (DSR) deneyi

Karıştırma modülleri ve faz açıları, modifiye bitüme 1,59 Hz (10rad/sn) frekansta bitümlü bağlayıcıya 6 °C bir yükselme ile 3 farklı sıcaklıkta belirlendi. Karışık bitümün farklı kullanımı ve farklı sıcaklıklarda $G^* / \sin \delta$ değerlerine karşı etkileri verilmiştir. Sıcaklık yükseldikçe, karışık bitüm için $G^* / \sin \delta$ değeri azalır ve bu düşüşe bağlı olarak bu değer orta sıcaklıklarda daha yüksektir. Bitümün rutting deformasyonu, 6 °C bir sıcaklık değişiminde kademeli olarak azalır. 1.0 kPa ve 70 °C 'de bitümlü bağlayıcının spesifikasyon sınırını karşılarken, %8 modifiye bitümlü bağlayıcı için 78.5 °C 'de 1kpa'nın altındaki spesifikasyon değerini sağlamıştır. Deney sonucunda bulduğumuz oran 78,5°C olup Karayolları Teknik Şartnamelerinde verilen 70 °C limit değerini sağlar ve kullanıma uygundur. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.6'da sunulmuştur.

Tablo 3.6. Dinamik kesme reometrisi deney sonucu ve spesifikasyon değeri

Öge	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
6	Dinamik kesme reometresi (DSR) (arıza sıcaklığı °C) ($G \sin \delta < 1$ kPa)	78,5 °C	70 °C

3.7 (RTFO) Haddelme İnce Film Fırın Deneyi

Haddelme ince film fırın deneyi (RTFO), deney numunesinde kullanılan bağlayıcının taşıma, bekleme ve

üretim sırasında kütle kaybını ve kısa süreli yaşlanma özelliklerini ve üretim aşamasından sonraki uygulama süresini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Kauçuk katkılı bitüm numunesinden elde edilen sonuç %0,3 kayıp aralığında ve Karayolları Teknik Şartnamelerinin verdiği değerdedir ve elde edilen sonuca göre numune kullanıma uygundur. Haddeme ince film fırınının deney sonuçları ve spesifikasyon değerleri Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7 Haddeme ince film fırın deney sonucu ve spesifikasyon değerleri

Öğ e	Deney Adı	Deney Sonucu	Spesifikasyon Limitleri	
			Min.	Maks.
7	Haddeme ince film çalışması deneyi (ısıtma kaybı) (TS EN 12607-1%)	0,3		0,5
7,1	Isı kaybı sonrası deneyler Yumuşama noktası Penetrasyonu Kalıcı penetrasyon (%) (DSR)(Arıza sıcaklığı °C) (Gsinδ<2.2 kPa)	60 25,7 67,3 81,6	81,6 55 35 50 70	

Rtfo'dan sonra 2 yıl yaşlandığımız numunenin sonucu incelendiğinde, sonucun Gsinδ>2.2 Pa'nın eşitlik sınır değerine göre spesifikasyon değeri olan %1.16'nın üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu değere bağlı olarak, elastik özelliklere ve deformasyona karşı dirence sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sonuç şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 RTFO deney cihazı

3.8 P. A. V ile Modifiye Bitüm Yaşlandırma deneyleri

Üretilen numune, orta ve düşük sıcaklıklarda karışımda kullanılan bağlayıcının kılcal çatlaklarına karşı mukavemet, yorulma ve deformasyonu belirlemek amacıyla B. B. R deneyine tabi tutulur. B. B. R deneyi sayesinde numunenin sertlik ve kırılma özellikleri belirlenir. Karışık bitüm numunesinin deney sonucu, Karayolları Teknik Özellikleri sınırı olan -6 °C -18 °C aralığındadır ve uygulama uygundur. PAV ile yaşlandırılmış modifiye bitüm deney sonuçları Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8 PAV deney sonuçları ile yaşlandırılmış modifiye bitüm sonuçları

Öge	Deney Adı	Deney Sonuçları	Spesifikasyon Limitleri
			Min.
8	Dinamik Kesme Reometresi (DSR) (Arıza Sıcaklığı) (Gsinδ<5000 kPa) PAV 81,6 70 sonrası modifiye bitüm deneyleri	81,6	70
8,1	Kiriş Bükme Reometresi (BBR) (S≤300 MPa, m ≤ 0.300) (Arıza sıcaklığı)	— 6-18	-18
8,2	PAV Sonrası DSR (Arıza sıcaklığı)	25,3	25

Çalışmamızda kullanılan modifiye bitüm numunesinin deneysel sonuçlarının Karayolları Teknik Şartnamelerinin (K. T. Ş) kauçuk katkılı modifiye bitüm limitleri aralığında olduğu görülmektedir. Bu çalışmanın görseli şekil 3.6’ da verilmiştir.



Şekil 3.6 Yaşlandırma deney cihazı açık ve kapalı hali

4. SONUÇ

Modifiye bitüm ile yapılan sıcak karışımların uygulamadaki avantajları göz önünde bulundurularak, bu deneysel çalışmada kauçuk katkılı modifiye bitüm kullanılarak mastik asfalt uygulamasının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma yapmış olduğumuz, kauçuk katkılı modifiye bitüm kullanılarak mastik asfalt uygulaması, geleneksel yöntemlerle yapılan sıcak döküme oranla servis ömrünün 15 ± 2 yıl daha uzun seneler kullanım imkanı sunduğu için geniş açıklıklı çelik köprülerde esneme ve titreşim çok olduğundan dolayı mastik asfalt normal asfalta göre daha esnek ve rijit yapıda olduğu için uzun ömürlü kullanım sağlar. Geniş açıklıklı çelik köprülerde uygulanan sıcak döküm ile serilen asfaltın ömrü iki yıl iken, mastik asfaltta servis ömrü 15 ± 2 yıldır. Sıcak döküm ile yapılan uygulama ile arasındaki servis ömrü açısından tercih sebebi olabilir. Normal serimde $150\text{ }^{\circ}\text{C} - 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklık değeri arası döküm yapılırken mastik asfaltta sıcaklık $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta serim yapılır. Yüksek sıcaklıkta sıcaklık kaybı olmadan homojen olarak serim yapılması için özel asfalt taşıyıcı cooker isimli özel asfalt taşıyıcı kamyonlar ile plentten cookerlara yüklenen mastik asfalt en az bir saat süre ile homojen hale gelmesi ve uygulama şartlarını sağlaması için cookerlarda işleme tabi tutulur. Bu işlemlerden sonra özel serim finişeri ile tek parça döküm halinde tamamlanır.

Yapılan çalışma sonucunda; bitüm esaslı bağlayıcı kullanılarak modifiye edilmiş bitüm deneylerinden ilki olan penetrasyon deneyi sonucu incelendiğinde; sadece kauçuk katkılı modifiye edilmiş bitümün orjinal bitümden daha yüksek penetrasyon değerine sahip olduğu görülmektedir. Parlama noktası deney sonuçları incelendiğinde Karayolları Teknik Özellikleri aralığında olduğu ve uygulamada kullanılan bitüme göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Yumuşama noktası deney sonucu incelendiğinde, deneyin amaçları arasında yer alan ani sıcaklık değişimlerine karşı daha dirençli olduğunun belirlenmesi deney sonuçlarında gösterilmiştir. Yaşlı deney örneklerinde ise saf bitüm ile karşılaştırıldığında artış devam etmiştir. Bu durum yapının içeriğinin bozulmadan yıllarca devam edebileceği sonucunu doğurmaktadır. Elastik geri tepme deneyi sonucu incelendiğinde, kauçuk katkılı bitümün ağırlıkça kalıcı deformasyonlara karşı %8 oranında direncinin saf bitüme kıyasla daha da arttığı gözlenmiştir. Bitüm özgül ağırlık deneyinde katkı oranı arttıkça katkı oranına bağlı olarak özgül ağırlık oranının arttığı gözlenmiştir. Deney numunesinin %8 kauçuk katkılı modifiye bitüm kullanılarak elde edilen DSR değerinin, orjinal ve polimer katkılı modifiye bitüme kıyasla daha yüksek ve daha elastik bir yapıya sahip olduğu anlaşılmıştır. Sonuç olarak, elde edilen tüm deney sonuçlarının Karayolları Teknik Şartnamesinin sınır değer aralığında olduğu belirlenmiştir. Yapılan deney ve çalışma sonuçlarına göre, kauçuk ile modifiye edilerek elde edilen mastik asfaltın uygulamada kullanılması önerilmektedir.

5.KAYNAKLAR

- A.Çağlar, Çağlar, H., Sağlam, G., Çitoğlu, O., & Bayraktar, Y. (2017). "Geri dönüştürülmüş Agregaların İnşaat Sektöründe Yeniden Kullanımı". 1. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi. Antalya.
- Avcı, E. (. (2009). *Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonlu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi*. Isparta: Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Büyüksaraçoğlu, Y. (2009). *Asfalt Yol İnşaatının Tedarik Zincirinin Simülasyon Tabanlı Modellenmesi*. Doctoral dissertation, Institute of natural and Applied Sciences.
- Ceylan, S. (2006). *Bitümlü sıcak karışımlarda filler olarak carboniferous-triassic kayaç tozlarının kullanılması ve etkisi*. Konya: Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,.
- F.Orhan. (2012). *Bitümlü Karışımlar Laboratuvar Çalışmaları*. Ankara: Karayolları Genel Müdürlüğü, Üstyapı Geliştirme Daire Başkanlığı, Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı.
- İmamoğlu, C. T. (2012). *Atık Lastik Katkılı Asfalt Kaplamaların Trafik Gürültü Sönümlemesindeki Etkileri*. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karacasu, M. O. (2015). A study on the rheological properties of recycled rubber-modified asphalt mixtures. *The Scientific World Journal*.
- M.İlçali. (2001). *Asfalt ve Uygulamaları*. İstanbul: İSFALT.
- O, R. P., X, W., Z, W., & H, C. (2018). *Farklı Yaşlanma İşlemlerinden Sonra SBS/CRP Modifiye Bitümün Sıcaklık Duyarlılığı Özellikleri*.
- Ömer, F., & Agar, E. (2017). *Petrol ürünleri-Parlama ve alevlenme noktası belirleme - Cleveland açık gemi yöntemi*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü,.
- Torun, S. (2015). *Bitümlü sıcak karışımlarda katkı maddesi olarak Pr Plast S kullanımının araştırılması*.
- TS EN 15326 + A1. (2010). *Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar, Yoğunluk ve Özgül Kütle Tayini, Kılcal Kapaklı Piknometre Yöntemi*,. Ankara: TSE.
- TSEN14770. (2012). *Bitüm ve bitümlü bağlayıcılar-Kompleks kesme modülü ve faz açısının belirlenmesi - Dinamik Kesme Reometresi (DSR)*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Dil Kurumu, (2018). *Asfalt Nedir?* : http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_yanlis&view=yanlis&kelimez=50 adresinden alındı
- Zhang, X. Z. (2018). *Asfalt Karışımının Düşük Dereceli Agrega, Kauçuk Asfalt ve Kükürt Giderme Alçı Artıkları ile Hazırlanmasının Fizibilite Değerlendirmesi. Malzemeler*.