



HAM PETROL KALINTISI İLE ÜRETİLEN BİTÜMLERİN SUYA KARŞI DUYARLILIKLARININ BELİRLENMESİ

Jülide ÖNER*

Uşak Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uşak, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Soyulma,
Suya Bağlı Bozulma,
Ham Petrol Kalıntısı,
Neme Karşı Hassasiyet.*

Öz

Trafik hacmindeki ve dingil yüklerindeki artışlar ile toplumların güvenli yolculuk kalitesi talebi asfalt kaplamaların daha dayanımlı olarak inşa edilmesini zorunlu hale getirmektedir. Asfalt kaplamaların hizmet ömrü boyunca sağlayabileceği konfor ve dayanım parametreleri, büyük ölçüde karışımlarda kullanılan bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır. Kaplamalarda meydana gelen en önemli deformasyon türlerinden biri de sudan kaynaklanan bozulmalardır. Bitümlü kaplamalarda sudan kaynaklanan bozulmaların seviyesi; kullanılan agreganın çeşidine, bitümlü bağlayıcının özelliklerine, karışım tasarımına, trafik, çevresel etkenler ile bitümlü bağlayıcıya eklenen katkılara bağlıdır. Çalışmanın amacı, ülkemizde üretilen iki farklı rafineriden alınan bitüm örneklerine %1, %2 ve %3 oranlarında ham petrol kalıntısı eklenerek hazırlanmış karışımların soyulma potansiyeli ve neme karşı duyarlılık özelliklerinin saptanmasıdır. Hazırlanan örneklerin bu özellikleri, Nicholson Soyulma Deneyi (ASTM D 1664), mineral malzeme ile bitümün adezyon yeteneğini belirleme (GOST 11508-74) deneylerinden edinilen sonuçlar ve Leica S 8 AP0 Stereo Mikroskopu kullanılarak çekilen görüntüler ile yorumlanmıştır. Deneysel çalışma sonuçlarına göre, kaynağı farklı bitümlere, farklı oranlarda ham petrol kalıntısı ilavesinin asfalt karışımlar üzerinde suya bağlı bozulmaları azalttıkları ve kaplamanın neme karşı direncini arttırdıkları gözlemlenmiştir.

EVALUATION OF MOISTURE SUSCEPTIBILITY CHARACTERISTICS OF BITUMENS INVOLVING CRUDE OIL RESIDUES

Keywords

*Stripping,
Water Damage,
Crude Oil Residue,
Moisture Susceptibility.*

Abstract

With the increase in traffic volume and axle loads, the demand of safe travel quality for communities makes necessary to build durable asphalt pavements. The comfort and durability parameters that asphalt pavements can provide over the service life depend on the properties of the bitumen used in asphalt mixtures. One of the major causes of pavement failure is also the moisture induced damage of asphalt pavements. Many variables affect the level of water damage in asphalt pavement layer such as the type of aggregate, bitumen, mixture design and construction, level of traffic, environment and the additive properties that are introduced to the bitumen. This study is aimed to determine the effect of 1%, 2% and 3% addition of crude oil residues within the bitumens on the stripping potential and moisture susceptibility characteristics of asphalt mixtures. Moisture susceptibility characteristics of the samples have been evaluated by Nicholson Stripping Test (ASTM D 1664) and determination of adhesion ability by using mineral material (GOST 11508-74) as well as images by captured Leica S 8 AP0 Stereo microscope respectively. The results of experimental study indicated that addition of different contents of crude oil residues within the bitumens increased the resistance of asphalt mixtures to stripping.

* İlgili yazar / Corresponding author: julide.oner@usak.edu.tr

Alıntı / Cite

Öner, J., (2018). Ham Petrol Kalıntısı İle Üretilen Bitümlerin Suya Karşı Duyarlılıklarının Belirlenmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(4), 691– 700.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

J. Öner, 0000-0003-3229-152X

Makale Süreci / Article Process

Başvuru Tarihi / Submission Date

06.04.2018

Revizyon Tarihi / Revision Date

02.10.2018

Kabul Tarihi / Accepted Date

17.10.2018

Yayın Tarihi / Published Date

11.12.2018

1. Giriş

Petrol, yeraltında tortul kayalar içinde doğal olarak oluşan ve rengi kahveden siyaha değişebilen sıvı olarak tanımlanmaktadır. Petrolün, genel olarak yüksek sıcaklık ve basınç altında deniz hayvanlarının fosillerinden ve bitki artıklarından oluştuğu da kabul edilmektedir (Fischer vd., 2013). Ham petroler, içeriklerinin değişebilir oranlarının bir sonucu olarak farklı özellikler gösterirler. Bazı ham petroler fazla miktarda düşük kaynama noktalı bileşenlere sahip hafif petroler sınıfına girerler. API gravitesi 20 'nin üzerinde olan hafif petrolerin kükürt içeriği ağırlıkça %2'nin altındadır. Renkleri ise koyu kahve yeşilimsidir (Speight, 1991).

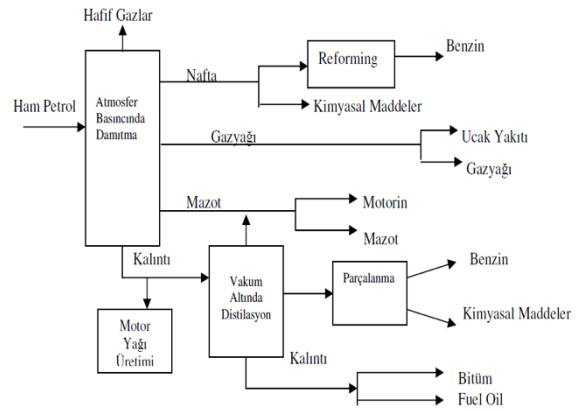
Hafif petroler, ağır fraksiyonlara göre daha değerli olan hafif ve orta destilat ürünleri verirler ve daha yüksek fiyata satılırlar. Yüksek kaynama noktalı, uçuculuğu az ve ağır fraksiyonları içeren petroler, ağır petroler sınıfına girmektedir (Rudyk, 2018). Ağır petroler terimi, API gravitesi 20 'den düşük ve genelde ağırlıkça kükürt muhtevası ağırlıkça % 2 'den daha yüksek petroler için kullanılır.

Ağır petroler, molekül yapıları itibariyle hafif petrolere nazaran oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir. Renkleri siyahımsıdır. % 10-45 arasında asfalt içerir (Azinfar vd., 2015).

Bir hidrokarbon karışımı olan petrol, değişik miktarlarda kükürt, azot ve oksijen içeren bileşiklerden oluşmaktadır. Petrolü oluşturan bileşenlerin oranları, petrolün çıkarıldığı kaynağa bağlı olarak farklılık göstermektedir (Speight, 1991). Petrol, 104-105 arasında değişen sayılardaki farklı organik bileşiklerin karmaşık karışımından oluşmaktadır (Simanzhenkov ve Idem, 2003). Şekil 1'de ham petrol destilasyonunun basit bir şematik gösterimi verilmektedir.

Petrol ısıtılarak belirli kaynama noktası aralıklarında belli fraksiyonlara ayrılabilir. Her bir fraksiyon, kaynamanın başladığı ve bittiği sıcaklık değerleri ile karakterize edilmektedir (Kumar ve Srivastava, 2017). Bu yöntemle atmosferik basınç altında kaynama noktası 350°C 'ye kadar olan hafif fraksiyonlar ayrılır. Atmosferik destilasyondan sonra geri kalan kısım ise atmosferik kalıntı olarak adlandırılmaktadır. Kaynama noktası 350°C'den fazla

olan kısımlar ise, düşük basınç ya da vakum altında ileri bir destilasyona maruz bırakılmaktadır. Atmosferik kalıntının fraksiyonları da ağır fraksiyonlar olarak adlandırılmaktadır ve rafinerilerde bu destilat ürünleri silolar halinde depolanmaktadır (Varanda vd., 2017). Petrol rafinerilerinde kalıntı olarak depolanan bu ürünler kozmetik sanayi başta olmak üzere; tekstilde, eczacılıkta, plastik sanayide, patlayıcı madde ve elektrik malzemelerin imalatında, bağcılıkta aşı yerlerinin izolasyonunda kullanılmaktadır. (Gedeon vd., 2005).



Şekil 1. Bitüm üretiminin şematik gösterimi (Whiteoak ve Read, 2003).

Asfalt kaplamalarda meydana gelen en önemli deformasyonlardan birisi suya bağlı bozulmalardır. Suya bağlı bozulmalar genellikle kaplama tabakasının altında veya su içeriğinin fazla olduğu asfalt kaplama tabakalarının arasında başlamakta ve yol yüzeyinde agrega danelerinin yol yüzeyinden ayrılması şeklinde görülmektedir. Karışımların suya bağlı bozulmaları; agrega daneleri ile bağlayıcı arasındaki bağın azalmasına bağlı bozulmalar, bağlayıcı kohezyonunun azalmasına bağlı bozulmalar ve donma gibi çevresel etkiler nedeni ile agrega danelerinin kırılmasına bağlı bozulmalar olmak üzere üç sınıfta incelenmektedir (Gorkem ve Sengoz, 2009).

Bitüm ve agrega arasındaki adezyon bir yüzeysel etkileşim olayıdır. Bu olay, iki farklı malzeme arasındaki yakın temasa ve karşılıklı yüzeysel etkileşime bağlıdır. Agregalar çok veya az hidrofilik malzemeler olup, kolayca su tarafından kaplanırlar. Bitüm ise tam tersi hidrofobik bir malzemedir. Eğer agreganın yüzeyi ince bir su tabakası ile kaplı ise,

bitüm agrega yüzeyini sarmış gibi gözükecek ancak aradaki su tabakasıyla yer değiştirmedikçe tam yapışma ve etkileşim olmayacaktır (Hamedî ve Tahamî, 2018).

Su belli koşullar altında bitümü agregadan ayırma özelliğine sahip olup bu olayın başlamasını takiben trafik bunu daha da hızlandırmaktadır. Asfalt kaplamalarında meydana gelen suya bağlı bozulmaları engellemek amacıyla ticari ürünler olan soyulma önleyici katkıların kullanımı öne çıkmaktadır. Sözü edilen bu ticari katkı maddeleri; bitümün daha düşük yüzey gerilmesi ile ıslanmayı ve bitüm ve agrega arasındaki bağı arttırmak amacıyla kullanılır.

Genellikle asfalt endüstrisinde tercih edilen katkıları; polimerler, geleneksel sıvı katkıları, metal iyonu yüzey ajan katkıları, sönmüş kireci, silan katkıları ve silikonları içermektedir (Mansour ve Vahid, 2016; Chaturabong ve Bahia, 2017). Asfalt üst yapının maliyeti göz önünde bulundurulduğunda; bu katkıları kullanmak ekstra bir maliyet getirmektedir.

Çalışma kapsamında; iki farklı kaynaktan temin edilen bitüm örneklerine üç farklı oranlarda ham petrol kalıntısı (HPK) eklenerek hazırlanmış asfalt karışımları üzerinde Nicholson Soyulma (ASTM D 1664) ve mineral malzeme ile bitümün adezyon yeteneğini belirleme (GOST 11508-74) deneyleri uygulanmıştır. Bu araştırmanın amacı; petrol rafinerilerinde kalıntı olarak depolanan ürünlerle hazırlanan asfalt karışımlarının soyulma potansiyeli ve neme karşı dirençlerinin belirlenmesidir.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Malzemeler

Çalışma kapsamında TÜPRAŞ Aliğa ve TÜPRAŞ Batman rafinerilerinden temin edilen 50/70 penetrasyon sınıfına ait bitüm örnekleri kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda, TÜPRAŞ Aliğa ve TÜPRAŞ Batman rafinerilerinden temin edilen bitümler için sırasıyla Bit-A ve Bit-B şeklinde kısaltmalar yapılmıştır. Çalışmada kullanılan bitüm örneklerine ait kısaltmalar, penetrasyon ve performans sınıfları Tablo 1’de özetlenmektedir.

Tablo 1. Bitüm örneklerine ait özet gösterimler.

Bitümler	Kısaltmalar	Penetrasyon Sınıfı	Performans Sınıfı
TÜPRAŞ Aliğa	Bit-A	50/70	PG64
TÜPRAŞ Batman	Bit-B	50/70	PG70

Saf bitümlü bağlayıcı üzerinde bağlayıcının özelliklerini tespit etmek amacıyla penetrasyon, yumuşama noktası, duktilite, viskozite, yanma ve parlama, dönel film halinde ısıtma, dönel film halinde ısıtma deneyi sonrası penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır (ASTM D5-06, ASTM D 36-06, ASTM D113-86, EN 12593, ASTM D 4402-06, ASTM D 2872-12). Deney sonuçları Tablo 2’de verilmektedir. Tablo 2’de sunulduğu gibi elde edilen deney sonuçları Karayolları Teknik Şartnamesi (KTŞ) limitleri içinde kalmaktadır.

Tablo 2. Saf bitümlere ait geleneksel bitüm testi sonuçları.

Deney Adı	Standart	Bit-A	Bit-B	Şartname Limitleri	
Penetrasyon (1/10 mm)	ASTM D5-06	48	50	50-70	
Yumuşama noktası (°C)	ASTM D 36-06	49,7	54	46-56	
Penetrasyon İndeksi (PI)	-	-1,37	-0,25	-	
Duktilite (25°C, cm)	ASTM D113-86	150	64	-	
Fraass Kırılma Noktası (°C)	EN 12593	-12	-12	Maks. -8	
Viskozite (Pa.s)	ASTM D 4402-06	60 °C	258,3	576,6	-
		135 °C	0,463	0,613	-
		165 °C	0,125	0,150	-
Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) (163°C; 85 dk.) Kütle Değişimi (%)	ASTM D 2872-12	0,07	0,07	Maks. 0,5	
RTFOT sonrası kalıcı Penetrasyon (%)		58	62	Min. 50	
RTFOT sonrası Yumuşama Noktası farkı (°C)		4,7	8,8	Maks. 9	
RTFOT sonrası Duktilite (cm)		120	14	-	

Farklı içeriklerde ham petrol kalıntısı içeren bitümlerle hazırlanan asfalt karışımlarının suya karşı duyarlılıklarının belirlenmesinde agrega olarak kalker agregası kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında kullanılan kalker agregası Dere Madencilik A.Ş’ne ait Belkahve/İzmir Taş Ocağı’ndan temin edilmiştir. Agrega özelliklerini belirlemek

amacıyla agrega grupları üzerinde özgül ağırlık, Los Angeles aşınma, sağlamlık yüzdesi, köşellik deneyleri uygulanmıştır (ASTM C 127, 2012; ASTM C 128, 2012; ASTM C 131, 2006; ASTM D 4791, 2010; ASTM C 88, 2005; ASTM C 1252, 1998).

Agrega özelliklerinin bitümlü sıcak karışımlarda kullanılabilirliğine ilişkin deneyler uygulandıktan sonra KTŞ'nde aşınma tabakaları için belirtilen aşınma Tip-1 gradasyon limitlerine göre elek analizi deneyi uygulanmıştır (ASTM C 136, 2008).

Agrega deney sonuçları ve elek çaplarına göre seçilen gradasyon değerleri ile şartname limitleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmalarda kullanılan kalker agregasının özellikleri.

Test	Şartname	Karışım Gradasyonu	Şartname Limitleri
Elek No	ASTM C 136		
¾"		100	100
½"		92	83-100
3/8"		73	70-90
No.4		44,2	40-55
No.10		31	25-38
No.40		12	10-20
No.80		8	6-15
No.200		5,3	4-10
Kaba agrega özgül ağırlığı	ASTM C 127		
Hacim		2,704	-
Kuru yüzey doygun		2,717	-
Zahiri		2,741	-
İnce agrega özgül ağırlığı	ASTM C 128		
Hacim		2,691	-
Kuru yüzey doygun		2,709	-
Zahiri		2,739	-
Filler Özgül Ağırlığı		2,732	-
Los Angeles Aşınması (%)	ASTM C 131	22,6	Max. 30
Yassılık İndeksi (%)	ASTM D 4791	7,5	Max. 10
Sağlamlık Yüzdesi (%)	ASTM C 88	1,47	Max. 10-20
İnce Agreganın Köşelliliği	ASTM C 1252	47,85	Min. 40

Çalışma kapsamında, soyulma önleyici katkı olarak kullanılması planlanan ham petrol kalıntılarını (HPK) Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş.'den (TÜPRAŞ) temin edilmiştir. Mevcut ham petrol kalıntılarının özellikleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Ham petrol kalıntısına (HPK) ait özellikler.

Özellik	Standartlar	Ham Petrol Kalıntısı
Yoğunluk (15.6 °C'ta)(API)	ASTM D287	32-33
Renk,(% 10 Seyreltik)	ASTM D1500	4,5
Parlama Noktası(°C)	ASTM D92	240
Erime Noktası(°C)	ASTM D125	69
Yağ içeriği (% Ağırlık)	ASTM D721	10
Viskozite (100 °C'ta) (cSt)	ASTM D445	13-16
Kükürt (% Ağırlık)	ASTM D129	0,5
Karbon Kalıntısı (% Ağırlık)	ASTM D189	0,15

2.2. Farklı İçeriklerde HPK Katkılı Bitüm Numunelerinin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda, farklı sıcaklık ve karışım sürelerinde ham petrol kalıntısı içeren bitümler üzerinde viskozite deneyleri uygulanmıştır. Öncelikli olarak, üretim sıcaklıkları sabit tutulan ham petrol kalıntısı içeren bitümler farklı sıcaklıklarda karıştırılarak viskoziteleri Brookfield Viskometresi DV-II-Pro EXTRA ile belirlenmiştir. Karışım süreleri ham petrol kalıntısı içeren bitümler için 5'er °C artırılarak viskozite değerleri sabit olana kadar sıcaklık artışına devam edilmiştir. Viskozite değerlerinin sabit kaldığı üretim süresi ve sıcaklığı, ham petrol kalıntısı içeren bitümler için üretim süresi ve sıcaklığı olarak belirlenmiştir (Sengoz vd., 2013).

Çalışmada; ham petrol kalıntısı %1, %2 ve %3 oranında kullanılmıştır. Saf bitüm 150°C sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra, yukarıda belirtilen oranda katkı malzemesi saf bitüme eklenmiş ve 20 dakika süreyle düşük devirli (800 rpm) karıştırıcı yardımıyla katkı bitüm örnekleri hazırlanmıştır.

2.3. Nicholson Soyulma Deneyi

ASTM D 1664 standardına uygun olarak yapılan Nicholson soyulma deneyinde; agrega numunesinin 9,5-4,75 mm veya 4,75-3,35 mm lik elekler arasında kalan kısmı kullanılır. Malzemeden 30 gram numune beher içinde tartılır ve ısıtılmak üzere 1 saat 110°C lik etüvde bekletilir. Bitümlü malzemeden 1,5 g bir beher içinde tartılır ve bitümlü malzeme eriyince etüvde ısıtılmış agrega dolu behere dökülür. Karışım, bir cam bagetle bütün mıcır tanelerin üzeri homojen bir bitüm filmi ile kaplanıncaya kadar karıştırılır ve ardından 10 cm çapında petri kabına aktarılır. 10 dakika laboratuvar sıcaklığında bekletildikten sonra petri kabı su ile doldurulur. Petri kabının üzeri cam kapak kapatıldıktan sonra tekrar 24 saat bekletilmek üzere 60°C lik etüve konur. Bu sürenin sonunda; yandan gelen bir ışık altında bilhassa karışımın üst yüzü gözle

incelenir. Deney sonunda soyulmamış sathın bütün satha oranı, soyulmaya karşı dayanıklılık olarak verilir.

2.4. Mineral Malzeme İle Bitümün Adezyon Yeteneğini Belirleme Deneyi

Mineral malzeme ile bitümün adezyon yeteneğini belirleme deneyi Rusya Federasyonu'nda deney standartları arasında yer alan GOST 11508-74 yöntemine göre belirlenmiştir.

Deneyde kullanılacak mineral malzeme elenir, distile suda yıkanır ve 105°C'de kurutulur. Diğer yandan deneyde bağlayıcı olarak kullanılacak bitüm malzemesi 105°C'de karıştırılarak ısıtılır. Bitümlü mineral malzeme karışımı elde etmek için 15 g mineral malzeme ve 0,6 g bitüm porselen bir fincanda karıştırılır. Karıştırma işlemi mineral agreganın tamamının bitüm ile kaplanmasına kadar devam eder. Hazırlanan karışım 20 dakika boyunca 160-170°C'lik etüvde bekletilir. Etüvden çıkarılan malzeme metal bir ağ üzerine yayılır ve 20 dakika boyunca oda sıcaklığında bekletilir. Metal ağ üzerine serilen malzeme, kaynamakta olan distile su içerisine konular ve bitümlü mineral malzeme 30 dakika boyunca kaynayan suda tutulur. Kaynayan su etkisiyle karışımdan kopan yağ ve bitüm kalıntıları bir filtre yardımıyla su yüzeyinden alınır. 30 dakikalık süre

sonunda karışım metal ağdan alınır, 40°C lik hava üfleme ile 15 dakika kurutulur ve bitümlü mineral malzeme karışımı tartılır. Değerlendirme Eşitlik 1'de verildiği gibi bitümün mineral üzerindeki kalma miktarına (X) göre yapılmaktadır.

$$X = \frac{(m' - m) * 100}{0,60} \quad (1)$$

m'= Kaynamadan sonra bitüm mineral karışımının ağırlığı (gr)

m= Mineral malzemenin ağırlığı (gr)

0,60= Mineral malzemeye eklenen bitüm miktarı (gr)

3. Deney Sonuçları

3.1. Geleneksel Bitüm Deney Sonuçları

Üretim süre ve sıcaklıklarının belirlenmesinin ardından ham petrol kalıntısı ilave edilmiş bitüm örneklerine geleneksel bitüm deneyleri uygulanarak bağlayıcıların fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Tablo 5'te uygulanan bu deneyler ve sonuçları verilmektedir.

Tablo 5. HPK ilave edilmiş bitüme uygulanan geleneksel bitüm deneyleri sonuçları.

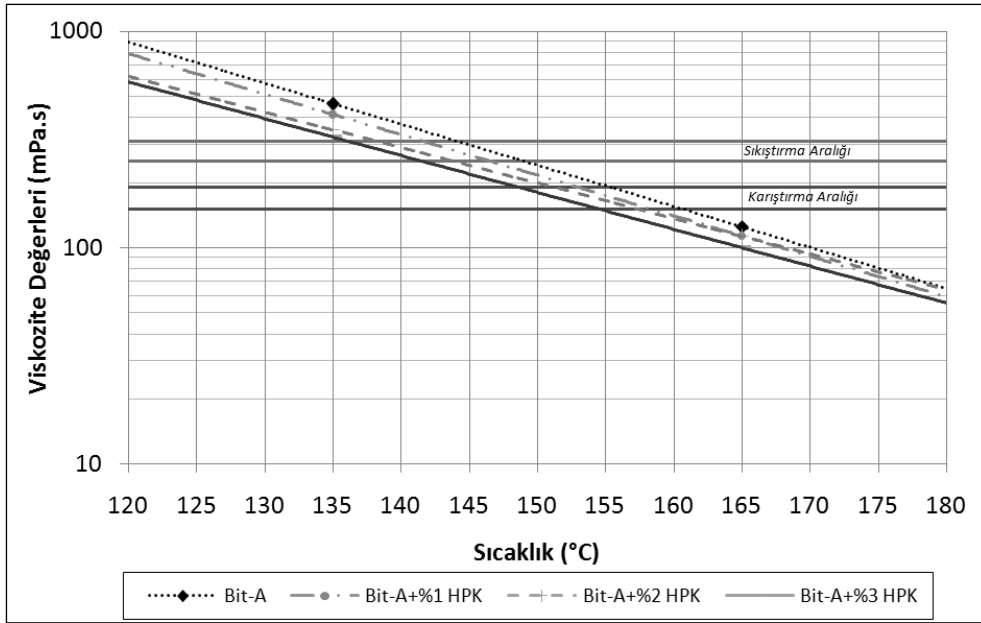
Deney Adı	Saf Bitüm Tipi	HPK ilavesi (%)				
		0	1	2	3	
Penetrasyon (1/10 mm)	Bit-A	48	68	76	88	
Yumuşama Noktası (°C)		49,7	51	46,8	44,6	
Penetrasyon İndeksi (PI)		-1,37	-10,20	-1,04	-1,30	
Kütle değişimi (%)		0,07	0,16	0,16	0,17	
RTFOT sonrası kalıcı Penetrasyon (%)		58	82,4	85,53	72,27	
RTFOT sonrası Yumuşama Noktası farkı (°C)		4,7	4,8	5	3,7	
Viskozite (Pa.s)		135 °C	0,463	0,413	0,350	0,325
		165 °C	0,125	0,113	0,113	0,100
Penetrasyon (1/10 mm)		Bit-B	50	56	72	75
Yumuşama Noktası (°C)			54	52	48,4	47
Penetrasyon İndeksi (PI)	-0,25		-0,45	-0,73	-1,02	
Kütle değişimi (%)	0,07		0,15	0,15	0,16	
RTFOT sonrası kalıcı Penetrasyon (%)	62		58,93	75	69,33	
RTFOT sonrası Yumuşama Noktası farkı (°C)	8,8		7,9	6,6	6,3	
Viskozite (Pa.s)	135 °C		0,613	0,425	0,388	0,363
	165 °C		0,150	0,135	0,113	0,113

Penetrasyon deneyi ile bitümlü bağlayıcıların sertlik veya kıvamlılıkları belirlenmektedir. Penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılıdır, penetrasyon yükseldikçe bitüm yumuşamaktadır. Saf ve HPK katkılı bitümlerin orijinal ve yaşlanmış hallerinin

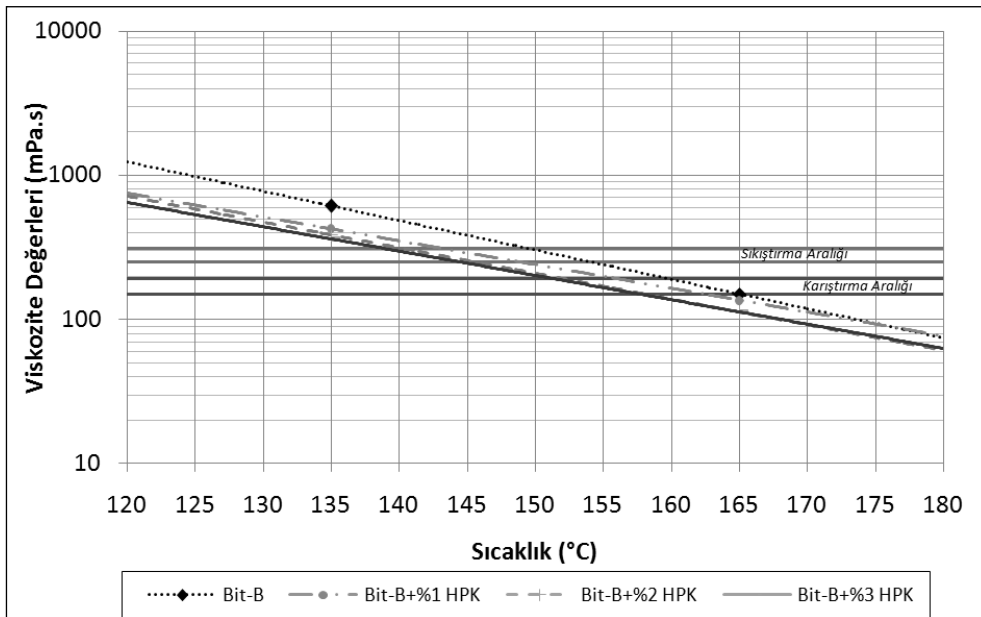
penetrasyon değerleri birbirleri ile kıyaslandığında katkı kullanımı ile birlikte kıvamlılığın düştüğü görülmüştür. Değişik ham petrolerden üretilmiş asfaltların ısı değişimlerine karşı olan duyarlılıkları farklıdır. Bu duyarlılıkları ölçmek için en kısa ve en

basit yöntem yüzük ve bilye yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır. Tablo 5'ten anlaşılacağı biçimde yaşlanmadan sonraki yumuşama noktası değerleri göz önüne alındığında, bitümlerin yaşlanma sırasında yapılarındaki uçucu madde miktarı azalmış, dolayısıyla numunedeki asfaltın içeriği artmıştır. Buna bağlı olarak da kristallenme oranı yükselmiş, bitüm daha sert hale gelip yumuşama noktası değerleri yaşlanmadan önceki değerlerine kıyasla artmıştır. Bitümlerin penetrasyon indekslerindeki artış, bitümlerin sıcaklığa karşı duyarlılığının önemli ölçüde azaldığını göstermektedir (Whiteoak ve Read, 2003). Yapılan deneysel çalışma sonuçları, üç farklı oranda HPK içeren Bit-A numunelerinin sıcaklığa karşı duyarlılığının az olduğunu ve tekerlek izi

oluşumuna karşı dirençli olduğunu göstermektedir. Farklı içeriklerde HPK katkılı bitümlerle asfalt karışımı hazırlanmadan önce karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bitümlü karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının bulunması amacıyla saf ve HPK katkılı bitüm örneklerinin 135-165°C 'deki viskozite değerleri bulunmuştur. ASTM D2493-09'a göre karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının tayininde kullanılan viskozite değerleri sırasıyla 170±20 mPa.s ve 280±30 mPa.s'dir. Seçilen saf bitümler ve HPK katkıları ile hazırlanan bitümlü bağlayıcıların karıştırma-sıkıştırma sıcaklıkları Şekil 2-3'te ve sıcaklık aralıkları Tablo 6'da verilmiştir.



Şekil 2. Bit-A ve HPK katkılı bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları.



Şekil 3. Bit-B ve HPK katkılı bağlayıcıların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları.

Tablo 6. Karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları.

	Saf Bitüm Tipi	HPK ilavesi (%)			
		0	1	2	3
Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Bit-A	156-161	153-157	151-156	148-154
Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)		144-149	142-146	137-143	135-141
Karıştırma Sıcaklığı (°C)	Bit-B	160-165	155-163	152-157	152-157
Sıkıştırma Sıcaklığı (°C)		150-154	143-147	140-145	139-145

Brookfield Viskozite deney sonucuna göre, saf bitümlere kıyasla HPK katkısı kullanımıyla beraber katkı oranı arttıkça karışımların karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıkları düşmektedir. %3 oranda HPK katkısı kullanımıyla yaklaşık olarak karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarının 10 °C düştüğü gözlenmektedir.

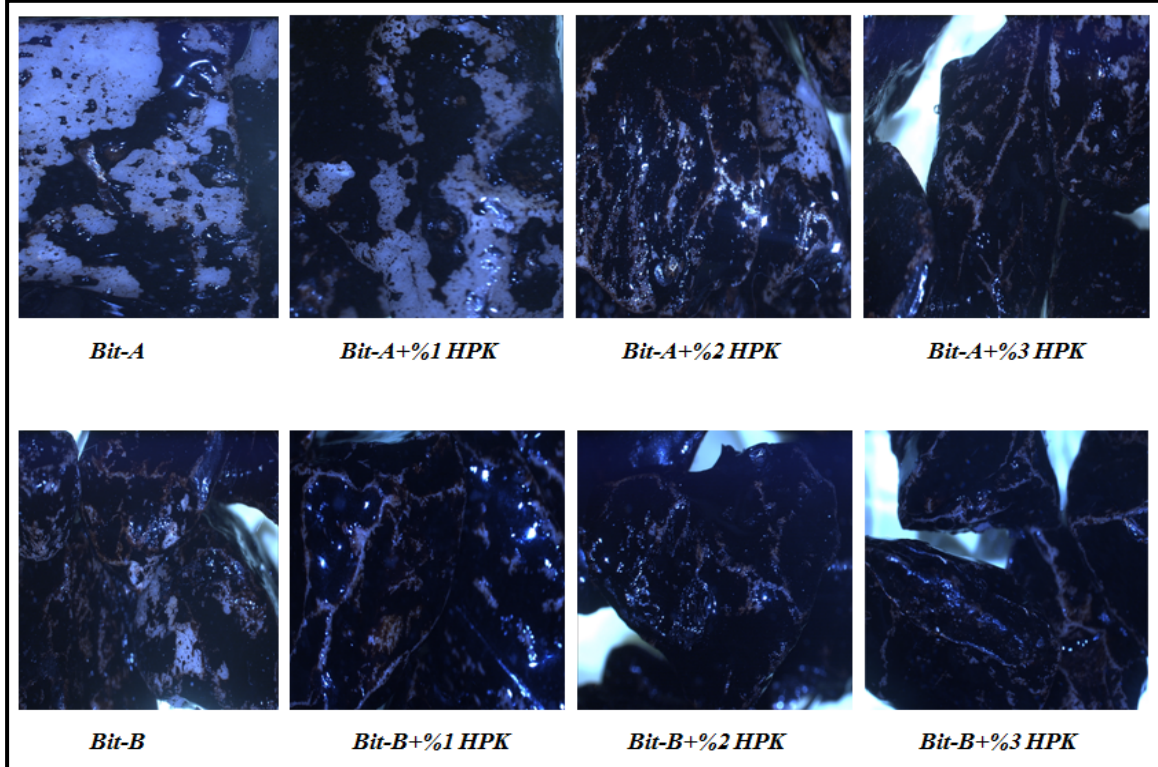
3.2. Suya Karşı Duyarlılık Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında, saf bitümlerin ve farklı HPK içeriklerine sahip bitüm örneklerinin soyulmaya karşı mukavemetlerini tespit etmek amacıyla Nicholson Soyulma (ASTM D 1664) ve Mineral Malzeme İle Bitümün Adezyon Yeteneğini Belirleme (GOST 11508-74) deneyleri uygulanmıştır.

Saf ve farklı HPK içeriklerine sahip bitümlerin soyulmaya karşı dirençleri, mineral malzeme ile

bitümün adezyon yeteneğini belirleme deneyi ile Rusya Federasyonu'nda geçerli olan GOST 11508-74 metoduna göre tespit edilmiştir. Değerlendirme, bitümün mineral malzeme üzerindeki kalma miktarı yüzdesine göre yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 7'de sunulmaktadır. Saf ve farklı HPK içeriklerine sahip bitümler, Nicholson soyulma deneyi test prosedürüne göre agregalarla karıştırılmış ve uygun bekleme süresi sonunda petri kaplarına alınmıştır. Her bir numuneye ait petri kapları on farklı kişiye sunularak, soyulmaya karşı direncin yüzde olarak ifade edilmesi istenmiştir.

Aynı zamanda saf ve farklı HPK içeriklerine sahip bitümlerle hazırlanan örnekler oda sıcaklığında Leica S8AP0 Stereo mikroskop altında incelenmiştir. Mikroskoptan elde edilen görsel resimler Şekil 4'te ve verilen cevapların ortalaması alınarak her bir numuneye ait sonuçlar Tablo 7'de özetlenmektedir.

**Şekil 4.** Her bir numuneye ait Leica S8AP0 stereo mikroskop görüntüleri.

Tablo 7. Her bir numuneye ait Nicholson soyulma deneyi ve mineral malzeme ile bitümün adezyon yeteneğini belirleme deneyi sonuçları.

<i>Bitümler</i>	<i>Bitümün mineral</i>	<i>Soyulmaya Karşı Direnç</i>
Bit-A	23	75-80
Bit-A+%1 HPK	38	85-90
Bit-A+%2 HPK	78	90-95
Bit-A+%3 HPK	75	90-95
Bit-B	62	90-95
Bit-B+%1 HPK	77	95-100
Bit-B+%2 HPK	80	95-100
Bit-B+%3 HPK	84	95-100

Rus bitüm standartları içinde yer alan mineral malzeme ile bitümün adezyon yeteneğini belirleme (GOST 11508-74) yöntemi ve Nicholson soyulma deneyi sonuçları bir arada değerlendirildiğinde, Bit-A bitümleri ile hazırlanan numunelerin soyulmaya karşı en hassas örnek olduğu tespit edilmiştir. Bit-A bitümüne yapılan HPK katkı ilavesiyle asfalt numunelerinin suya karşı duyarlılıkları azalmaktadır. Bit-A+%2 ve Bit-A+%3 bitümleriyle hazırlanan asfalt karışımlarının soyulma dirençleri farklılık göstermemektedir. Dolayısıyla minimum katkı maliyeti ve en yüksek soyulma direnci göz önüne alındığında; Bit-A bitümüne %2 oranında HPK katkısı optimum oran olarak belirlenebilir.

Bit-B bitümüne üç farklı oranlarda HPK katkısı ilave edilerek üretilen bitüm örnekleri soyulmaya karşı en iyi direnci göstermişlerdir. Bit-B bitümüne ilave edilen HPK katkısının oranı soyulmaya karşı dayanımı etkilememektedir. Dolayısıyla Bit-A bitümünde %2, Bit-B bitümünde %1 optimum oranda HPK katkısı ilavesi, karışımların soyulmaya karşı dirençlerini en üst düzeye çıkarmışlardır.

4. Sonuç ve Tartışma

Bitümlü kaplamaların ömrü pek çok faktöre bağlıdır. Birçok ülkede soyulma, kaplama yetmezliğinin önemli bir sebebi olarak değerlendirilir. Bu yüzden soyulmayı engelleyici maddeler günümüzde artarak kullanılmaya başlanmıştır. Asfalt ömrünü uzatma, ilk başta yapılacak düşük artışlı maliyetlerle mümkün olabilmektedir.

Çalışmada, petrol rafinerilerinde kalıntı olarak depolanan ürünlerle hazırlanan asfalt karışımlarının soyulma potansiyeli ve neme karşı hassasiyet özelliklerinin tespit etmek amaçlanmıştır.

Geleneksel bitüm deneylerinden elde edilenlere göre, HPK katkılı bitüm örneklerinin tekerlek izi oluşumuna karşı dirençli ve ısıya karşı duyarlılıklarının daha az olduğu belirlenmiştir. Brookfield viskozite deneyi sonuçları dikkate alındığında, bitümlere HPK katkı

ilavesi karıştırma ve sıkıştırma sıcaklıklarını düşürmekte ve böylelikle bitümlü karışımın işlenebilirliğini arttırmaktadır. Genel olarak, saf bitümlere eklenen farklı HPK içerikleri bitümün kısa dönem yaşlanma özelliklerini olumlu yönde arttırdığı ifade edilebilir. Bununla birlikte, çalışma kapsamında kullanılan katkılar bitümün silo halinde bekletilmesi, agrega ile karıştırılması, inşaat alanına taşınması, serim ve sıkıştırılmasındaki yaşlanma etkilerini azaltmaktadır.

Farklı içeriklerdeki HPK katkı ilavesiyle hazırlanmış toplam sekiz farklı bitüm numunesiyle hazırlanmış asfalt karışım örnekleri üzerine neme karşı duyarlılık analizleri Nicholson Soyulma ile Rus bitüm şartnamesi içinde yer alan mineral malzeme ile bitümün adezyon yeteneğini belirleme yöntemleri ile belirlenmiştir. Her iki deney yöntemi bir arada değerlendirildiğinde, HPK katkı ilavesinin asfalt karışımlarındaki sudan kaynaklanan bozulmaları olumlu yönde etkilediği sonucuna varılmıştır.

DeneySEL çalışma sonuçları, Aliğa bitümlerine optimum %2 HPK ilavesi ve Batman bitümlerine optimum %1 HPK ilavesi ile hazırlanan karışımların suya bağlı soyulma mukavemeti açısından, maliyetli ticari soyulma önleyici katkılara alternatif olabileceğini göstermektedir.

Yurtdışında üretilen ve ithal edilen soyulma önleyici katkılar yerine ülkemiz rafinerilerinde destilat ürünü olarak silolar halinde depolanan HPK'nın kullanılabilmesi ülkemiz ekonomisi açısından büyük avantaj sağlayacaktır.

Farklı HPK içeriklerine sahip bitümlerle hazırlanan asfalt karışımları için daha ileri performans analizlerinin yapılması ve reolojik bitüm test sonuçları ile karşılaştırılması önerilmektedir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

- ASTM 1664, 2008. Standard Method of Test for Coating and Stripping of Bitumen Aggregate Mixtures. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C1252, 1998. Standard Test Method for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as influenced by particle shape, surface texture, and grading). Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C127, 2012. Standard Test Method for Density, Relative Density (specific gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C128, 2012. Standard Test Method for Density, Relative Density (specific gravity), and Absorption of Fine Aggregate. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C131, 2006. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C136, 2008. Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C88, 2005. Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D113-86, 1994. Standard Test Method for Ductility of Bituminous Materials. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D2872-12, 2012. Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D36-06, 2006. Test Method for Softening Point of Bitumen (ring-and-ball apparatus). Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4402-06, 2002. Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4419-90, 2015. Standard Test Method for Measurement of Transition Temperatures of Petroleum Waxes by Differential Scanning Calorimetry (DSC). Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4791, 2010. Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D5-06, 2006. Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials. Conshohocken, PA: American Society for Testing and Materials.
- Azinfar, B., Zirrahi, M., Hassanzadeh, H., Abedi, J., 2015. A Method for Characterization of Bitumen. *Fuel*, 153, 240-248.
- Chaturabong, P., Bahia, H.U., 2017. The Evaluation of Relative Effect of Moisture in Hamburg Wheel Tracking Test. *Construction and Building Materials*, 153, 337-345.
- European Standard EN 12593, 2007. Bitumen and Bituminous Binders - Determination of the Fraass Breaking Point. Brussel: European Committee for Standardization.
- Fischer, H., Poulikakos L. D., Planche, J. P., Das, P., Grenfell, J., 2013. Challenges While Performing AFM on Bitumen. *Proceedings of the International RILEM Symposium*, Stockholm, Sweden.
- Gedeon, E., Nicolas, C., Achard, C., Rogalski, M., 2005. Characterization of Aggregation Processes in Crude Oils Using Differential Scanning Calorimetry. *Energy & Fuels*, 19, 1297-1302.
- Gorkem, Ç., Şengöz, B., 2009. Predicting Stripping and Moisture Induced Damage of Asphalt Concrete Prepared with Polymer Modified Bitumen and Hydrated Lime. *Construction and Building Materials*, 23, 2227-2236.
- GOST 11508-74, 1980. Petroleum Bitumens. Methods for Determination of Bitumen Adhesion to Marble and Sand. Russia Government Committee for Metrology and Standardization.
- Hamed, H., Tahami, S.A., 2018. The Effect of Using Anti-Stripping Additives on Moisture Damage of Hot Mix Asphalt. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 81, 90-97.
- Kumar, S., Srivastava, M., 2017. Meliorate Optical Textures and Mesophase Contents by Promising Approach of Deasphalting of Petroleum Residues. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 48, 133-141.
- Mansour, F., Vahid, V., 2016. Effect of Liquid Nano Material and Hydrated Lime in Improving the Moisture Behaviour of HMA. *Transportation Research Procedia*, 17, 506-512.
- Rudyk, S., 2018. Relationships Between SARA Fractions of Conventional Oil, Heavy Oil, Natural Bitumen and Residues. *Fuel*, 216, 330-340.

- Sengoz, B., Topal, A., Gorkem, C., 2013. Evaluation of Natural Zeolite as Warm Mix Asphalt Additive and Its Comparison with Other Warm Mix Additives. *Construction and Building Materials*, 43, 242-252.
- Simanzhenkov, V., Idem, R., 2003. *Crude Oil Chemistry* (6. Baskı). New York: Marcel Dekker.
- Speight, J.G., 1991. *The Chemistry and Technology of Petroleum* (1.Baskı). New York: Marcel Dekker.
- Varanda, C., Portugal, I., Ribeiro, J., Silva, A.M.S., Silva, C.M., 2017. Optimization of Bitumen Formulations Using Mixture Design of Experiments (MDOE). *Construction and Building Materials*, 156, 611-620
- Whiteoak, D., Read J.M., 2003. *The Shell Bitumen Handbook* (5. Baskı). London: Thomas Telford Services Ltd.