



ATIK BİTKİSEL YEMEKLİK YAĞLARIN SAF BİTÜM ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

İslam GÖKALP*, Yağmur ÖZİNAL, Volkan Emre UZ

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01250, Adana

Anahtar Kelimeler

Bitümlü bağlayıcılar,
Penetrasyon,
Viskozite,
Atık bitkisel yemeklik yağlar.

Öz

Bitkisel yemeklik yağlar, insanların temel besin ögesinden birisini oluşturmaktadır. Sadece Türkiye’de değil, tüm dünyada insan nüfusu her geçen gün artmakta ve bu daha fazla temel besin malzemesine gereksinim duyan insan topluluğu doğurmaktadır. İnsanların kullandıkları yağ miktarındaki artış, beraberinde doğal olarak tehlikeli atık sınıfında yer alan atık bitkisel yemeklik yağlar (ABYY) sorununu ortaya çıkarmaktadır. Yönetmenliklerin öngördüğü yöntemlerle toplanmalarının, taşınmalarının ve bertaraf edilmelerinin sağlanamaması durumunda, ilgili belde ve yönetimleri için ciddi çevresel problemlere neden olabilmektedir. Bu çalışmada, ABYY’lerin bertaraf etme yöntemlerine alternatif bir yaklaşımda bulunulmuş ve bitümde bir katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve bitüm özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, 70/100 penetrasyon sınıfına sahip bitüm ve ABYY temin edilmiştir. % 2, 4, 6, 8 ve 10 (Bitüm ağırlığına) oranında ABYY bitüme eklenmiş, homojen bir karışım elde edilmesi için standart bir metotla karıştırılmıştır. ABYY katkılı bitüm ve taze bitüm numunelerine, penetrasyon, yumuşama noktası, parlama noktası, düktilite ve iki farklı sıcaklıkta dönel Viskozimetre testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak, ABYY’lerin bitüm özelliklerini belirgin bir şekilde değiştirdiği görülmüştür.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF WASTE VEGETABLE COOKING OILS ON THE PROPERTIES OF NEAT BITUMEN

Keywords

Bituminous binders,
Penetration,
Viscosity,
Waste Vegetable Cooking Oils.

Abstract

Vegetable edible oils are one of the basic nutritional elements of people. Not only in Turkey but all over the world human population is increasing every day this leads to the emergence of a human community that needs more basic nutrients. The increase in the amount of fat used by people leads to the problem of waste vegetable oils (WVOs) which is naturally present in the dangerous waste class. In cases where collection, transfer and disposal are not ensured by the methods prescribed by the directives, it can cause serious environmental problems for towns and their administrators. In this study, an alternative approach to the disposal methods of WVOs was made and the availability as an additive ingredient in neat bitumen and the effect on the bituminous properties of WVOs were investigated. In this context, bitumen with a penetration class of 70/100 and WVO were supplied. 2, 4, 6, 8 and 10 % (by weight of bitumen) WVOs were added to the bitumen, this mixture was stirred with a standard method to obtain homogeneity. Standard tests such as penetration, softening point, glare point, durability and rotary viscometer at two different temperatures were applied to WVO added bitumen and neat bitumen samples. As a result, it has been observed that WVOs significantly altered bitumen properties.

Alıntı / Cite

Gokalp I., Ozinal Y., Uz V. E., (2018). Atık Bitkisel Yemeklik Yağların Saf Bitüm Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Journal of Engineering Sciences and Design, 6(4), 570 – 578.

* İlgili yazar / Corresponding author: islammgokalp@gmail.com

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
İ. Gökalp, 0000-0003-3198-3508	Başvuru Tarihi / Submission Date 12.06.2018
Y. Özinal, 0000-0002-8083-6494	Revizyon Tarihi / Revision Date 16.08.2018
V.E. Uz, 0000-0002-9328-4756	Kabul Tarihi / Accepted Date 02.10.2018
	Yayın Tarihi / Published Date 03.12.2018

1. Giriş

Artan ülke nüfusumuz ile paralel olarak artan tüketim miktarımız hızla doğal kaynakların tüketimine neden olmaktadır. Bu hızı bir nebze de olsa düşürmek amacıyla geri kazanılabilen atıkların yönetimi, doğal kaynakların korunması yahut önemli miktarlarda kayba neden olmadan etkin kullanılması birçok açıdan topluma bir kazanç ve yarar sağlayacaktır. Bu yararlar arasında çevre kirliliğinin önlenmesi veya azaltılması, atık ürün miktarının azaltılması, atıkların bertaraf edilmesi noktasında harcanacak enerjide tasarrufun sağlanması ve yararlı atıkların ekonomiye katkı sağlaması olarak sıralamak mümkündür (Onurlubaş ve Kızılaslan, 2007). Sanayi veya sanayi dışı alanlarda belli bir süre kullanılan yağ, fiziksel ve kimyasal özelliğini kaybederek atık yağ haline gelir. Oluşan atık yağlar, ekotoksit olmalarının yanında içerdikleri ağır metal ve klor bileşiklerinin yakılmaları sonucu atmosfer kirliliğine sebep olmakta ve insan sağlığına zarar vermektedir (Top Başkaya, 2010). Bu nedenle atık yağların güvenli bir şekilde bertaraf edilmesi veya insanlar için zararlı olmayacak biçimde geri kazanılması büyük önem arz etmektedir. Zira atık yağların çevre ile uyumlu yönetiminin sağlanması ile insan ve çevre sağlığı korunabileceği, geri kazanım ile ekonomik değeri olan ürünlerin geliştirilebileceği ve dolayısı ile ülkemiz ekonomisine katkı sağlanacağı aşikârdır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanan rapora göre yaklaşık 950 bin ton akışkan, 550 bin ton margarin, 200 bin ton da yem, boya ve sabun sanayi ihtiyacı olmak üzere toplam 1,7 milyon ton bitkisel yağ tüketimi söz konusudur. Yağın tüketimi sonucu yaklaşık 350 bin ton bitkisel atık yağ oluştuğu ön görülmektedir. Kullanılmış atık yağların yönetmeliklere uygun olmayan şekilde bertaraf edilmesi sonucunda insan ve çevre sağlığı tehdit edilmektedir (Top Başkaya, 2010; Onurlubaş ve Kızılaslan, 2007; Eriskin vd., 2017).

Bitüm, termal hassasiyeti yüksek olan farklı amaçlar için kullanışlı, ancak pahalı bir malzemedir. Kısıtlı kaynaklar olmasına rağmen ulaşım sektöründe yıllık 110 milyon ton gibi çok büyük miktarlarda kullanılmaktadırlar (Zargar vd., 2012; Turk ve Tuşar, 2016; Cong vd., 2012). Bitüm işlenme şekillerine bağlı olarak ham petrolden farklı özelliklere sahip şekilde tedarik edilebilmektedir. Farklı köken (doğal veya petrol kaynaklı) ve üretim yöntemleri, değişken termal özelliklere sahip bitümlerin oluşmasında birer etkendirler (Lesueur, 2009; Jacob, 1989). Bu nedenle,

çok çeşitli viskozite ve/veya penetrasyon sınıfına sahip bitümler elde edilebilmektedir.

Bitümün özelliklerini değiştiren diğer bir parametre zinciri ise yol üstyapı inşaatı sırasında maruz kaldıkları depolanma, nakil, karıştırılma, serilme ve sıkıştırılma gibi yoğun ısıl değişimlere maruz kalmalarıdır. İnşaat sonrası yolun servis ömrü boyunca zorlayıcı çevresel koşullara ve değişken trafik yüklerine maruz kalırlar. Bu süreç neticesinde, bitüm rafineriden çıktığı andaki özelliklerini kaybetmekte yani bitümlü bağlayıcı yaşlanmaktadır. Bitümün yaşlanması iklimsel koşullar, bitüm bileşenleri, agregası gibi birçok faktör ile ilişkilendirilebilir. Bu anlamda karşılaşılan en temel iki problem; bitümün uçuculuğunu kaybetmesi ve oksitlenmesidir. Zira uçuculuğunu kaybeden ve oksitlenen bitüm daha yüksek viskoziteye sahip olur ki; bu durum bitüm daha sert bir yapıya bürünmesine neden olur (Azahar vd., 2016; Ji vd., 2016; Zargar vd., 2012; Wen vd., 2012; Singh-Ackbarali vd., 2017; Eriskin vd., 2017; Dokandari vd., 2014; Airey, 2003). Yaşlanan bitüm, zamanla kaplamada çatlak oluşumu veya sökölme gibi çeşitli bozulmalara neden olur. Bu tür problemler, kaplamaların yenilenmesinde ve var olan kaplamanın korunmasında alınacak önlemlerin maliyetli olmasına neden olur. Bu yüzden, ulaşım sanayinde yer alan firmalar, araştırmacılar bu tür problemlerin ortadan kaldırılması veyahut minimize edilmesi noktasında, doğal kaynakların kullanarak çözüm yolu arayışına girmişlerdir. Aslında, bitüm yaşlanmasını engellemek, dolayısı ile yol kaplama ömrünü artırmak amacı gütmeyen yanında, kısıtlı olan bitüm kaynaklarının da efektif kullanımı noktasında arayış içerisinde olmuşlardır (Widyatmoko, 2008; Su vd., 2015).

ABYY'lerin kullanım ve/veya araştırılma alanlarına bilimsel çalışmalar ışığı altında bakıldığında, çalışmaların genellikle biyo dizel yakıt üretiminde kullanılabilirliği üzerinde olduğu görülebilir (Kulkarni ve Dalai, 2006). Diğer taraftan, bu çalışmanın da konusunu oluşturan ve ABYY'lerin bir katkı maddesi olarak bitümde kullanımını araştıran birçok çalışma da mevcuttur. Bu çalışmalarda ise genellikle yaşlanmış bitümlerin başlangıçta sahip olduğu özelliklerinin geri kazandırılması amacıyla yenileyici/iyileştirici bir katkı olarak ABYY'lerin değerlendirip değerlendirilemeyeceği ve bitümün özelliklerine etkisi araştırma konusu olmuştur. Burada, ilgili bazı çalışmalar özetlenmiştir.

Chen vd. (2014) yaşlanmış bitüm bağlayıcıların iyileştirmesinde atık yemelik yağların (AYY) fiziksel, kimyasal ve reolojik özellikleri açısından etkisini incelemişlerdir. Çalışmaları kapsamında, üç adet farklı

tür ve penetrasyon değerine sahip saf bitüm bağlayıcıdan yaşlandırılmış bağlayıcı numuneleri hazırlanmış, yaşlandırılan numunelere farklı oranlarda AYY eklenerek özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda, farklı oranlarda atık yemeklik yağ ile modifiye edilen bitüm bağlayıcıların sadece fiziksel ve reolojik özelliklerinde iyileşmelerin olduğu görülmemiş, ancak yaşlanmaya, tekerlek izine karşı direncinde artma ve elastik geri toparlanma özelliğinde de iyileşme olduğu rapor edilmiştir. Bunların yanında, AYY'nin bitüm bağlayıcısına eklenmesi nedeni ile bitüm bağlayıcıların bitüm içeriği ve karbonil ve sülfoksit yaşlanmasında düşme olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, atık yemeklik yağ ile modifiye edilen bitüm bağlayıcıların düşük sıcaklık esnekliği, elastisitesinde ve termal stabilizesinde iyileştirmeler gerekliliği ortaya çıkmış, farklı bir katkı ile bu özelliklerinin geliştirilmesi uygun olabileceği ifade edilmiştir.

Zargar vd. (2012), yaşlanmış bitüm bağlayıcılar için AYY'nin yenileyici/iyileştirici katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırılmışlardır. Çalışma kapsamında orijinal/saf bitümün, yaşlandırılmış ve AYY ile modifiye edilmiş yaşlı bitümlü bağlayıcıların hem fiziksel (penetrasyon, yumuşama noktası, viskozite) hem de reolojik (kompleks dinamik kesme modülü, faz açısı) özellikleri tespit edilmiş ve belirtilen bu özellikleri karşılaştırılmıştır. Bu doğrultuda, 80/100 penetrasyon değerine sahip saf bitüm hızlandırılmış bir şekilde yaşlandırılmış ve 40/50 penetrasyon değerine sahip yaşlandırılmış bitüm elde edilmiştir. Kütlece % 3-4 oranında AYY ile yaşlandırılmış bitümlü bağlayıcı modifiye edilmiştir. Araştırmacılar, belirtilen oranlarda kullanılan atık yemeklik yağları ile modifiye edilen yaşlandırılmış bitüm ile orijinal/saf bitümün fiziksel ve reolojik özelliklerinin birbiri ile benzer olduğunu raporlamışlardır. Ayrıca AYY'nin, yaşlandırılmış bitümde kullanılması ile antioksidan veya yenileyici/iyileştirici özellik gösterdiği, atık yemeklik yağları ile modifiye edilmiş yaşlandırılmış bitümlü bağlayıcının kısa dönem yaşlanmasına karşı daha az eğilim gösterdiği ifade edilmiştir.

Su vd. (2015) AYY içeren mikro kapsüllerin yaşlanmış bitümlerin yerinde yenilenmesi/iyileştirmesinde kullanılabilirliği araştırmışlardır. Çalışmada, 80/100 penetrasyon değerine sahip orijinal/saf bitüm kullanılmış, döner ince film (RTFO) etüvü kullanılarak 40/50 penetrasyon değerine sahip yaşlanmış bitüm elde edilmiştir. Yaşlanmış bitümün modifiye edilmesinde kütlece %2, 4, 6, 8, 10, 12 oranında atık yemeklik yağları içeren mikro kapsüller kullanılmıştır. Saf bitüm, yaşlandırılmış bitüm ve mikro kapsüller ile modifiye edilen yaşlandırılmış bitümün penetrasyon, yumuşama noktası ve viskozite gibi fiziksel özellikleri ölçülmüş ve bu ölçülen değerler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Araştırmacılar, kütlece %8 oranında atık yemeklik yağı içeren mikro kapsüller ile modifiye edilmiş yaşlanmış bitümün

fiziksel özelliklerinin, 80/100 penetrasyon değerine sahip saf/orijinal bitümün fiziksel özelliklerini sağladığı belirtmişlerdir. Ayrıca, AYY'nin yaşlanmış bitüme kolayca nüfuz ettiği, dolayısıyla yerinde yenilen bitüm ile yaşlanmış bitümün, orijinal saf haline geçişinin sağlanabileceği de yapılan bu çalışmada ifade edilmiştir.

Wen vd. (2012) sıcak karışım asfaltlar için AYY içeren biyo asfaltın alternatif bir bağlayıcı olup olmayacağı araştırılmıştır. Bu araştırma kapsamında AYY içeren biyo asfaltın sıcak karışım asfaltta kullanımının araştırılması için hem bağlayıcının hem de bu bağlayıcı ile hazırlanan karışımlar test edilmiştir. Sıcak karışım asfaltlar, kütlece farklı oranlarda (%0, 10, 30 ve 60) AYY'nin temelde kullanılan bitüm ile karıştırılarak hazırlanmıştır. AYY bazlı biyo asfaltın reolojik özelliklerinin tayini için kompleks kesme modülü için dinamik kesme reometresi ve sünme sertliği ve sünme oranı için de eğilme kirişi deney yöntemleri uygulanmıştır. Sıcak karışımlara ise dinamik modülü, tekerlek izi, dolaylı çekme ve nem duyarlılık testi uygulanmıştır. AYY içeren biyo asfaltın için araştırma bulguları şu şekilde gibi sıralanabilir:

- (1) Biyo asfalt eklenen geleneksel bitümün penetrasyon seviyesinde ve tekerlek izine karşı direncinde düşme meydana gelirken, termal çatlamalara karşı direncinde artış olduğu,
- (2) Biyo asfalt ile modifiye edilen geleneksel bitümün yorulma direncinde düşme olduğu,
- (3) Biyo asfalt eklenen temel bitümün tekerlek izine karşı daha iyi bir dirence sahip olduğu görülmüştür.

AYY içeren biyo asfalt katkılı sıcak karışım asfaltlar için araştırma bulguları şu şekilde gibi sıralanabilir:

- (1) Sıcak karışımın dinamik modülünde düşme,
- (2) Sıcak karışımın tekerlek izine karşı daha hassas olduğu,
- (3) Sıcak karışımın yorulma bozulmalarına karşı daha hassaslaştığı,
- (4) Sıcak karışımın düşük sıcaklık çatlamalarına karşı daha dirençli olduğu,
- (5) Kütlece farklı oranlarda (% 0, 10, 30 ve 60) AYY'nin temelde kullanılan bitüm ile karıştırılarak hazırlanan sıcak karışımların tümünün ilgili standardın gerekliliklerini sağladığı görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

Bu kısımda materyal alt başlığında kullanılan bitüm ve atık bitkisel yağın temin süreci ve özellikleri sunulmuş, metot kısmında ise gerek saf bitüme gerekse ABYY ilave edilmiş bitüm karışımları üzerinde uygulanan test metotları verilmiştir.

2.1. Materyal

Karayolları Genel Müdürlüğüne bağlı 5. Bölge

müdürlüğü bünyesinde faaliyet gösteren ve Adana'da konuşlanan bitüm şefliğinden 70/100 penetrasyon sınıfına sahip bitüm tedarik edilmiştir.

Adana Kurttepe Şehit Ali Öztaş Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nde yürütülmekte olan bir sosyal sorumluluk projesi kapsamında, öğrencilerden toplanan ABYY'ler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından tahsis edilen saklama ve toplama kaplarında muhafaza edilmiş, bu çalışmanın yazarları tarafından girişimlerde bulunularak toplanan bu ABYY'lerden 15 litre kadar tedarik edilmiştir. Atık yağlar üzerinde kimyasal özellikleri belirlemek için, Adana ili sınırları içerisinde yer alan bir yağ firmasının laboratuvarında deneyler yapılmıştır. Yine yağların anti-oksidant özelliklerini ortaya koymak için ise üniversitemiz gıda mühendisliği bölümü laboratuvarında bir dizi deneyler yapılmış, sonuçlar raporlanmıştır. Atık bitkisel yemelik yağlarının kimyasal ve anti-oksidant özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 1. ABYY'lerin kimyasal içerikleri

Kimyasal İçerik	Oran (%)
Myristic Acid (C14:0)	0,11
Palmitic Acid (C16:0)	9,94
Palmiotetic Acid (C16:1)	0,14
Stearic Acid (C18:0)	3,44
Oleic Acid (C18:1n9c)	30,56
Linoleic acid (C18:2n6c)	55,54
Linolelaidic acid (C18:2n6t)	0,27
Linoleic acid (C18:2n6c) (Cis-9,12,15)	0,64
Arachidic acid (C20:0)	0,38
Cis-11-eicosenoic acid (C20:1) Gadoleik	0,18
Heneicosanoic Acid (C21:0)	0,10
Elcosatrienoic Acid (C20:3n6) (Cis-8,11,14)	0,69
Lignoceric Acid (C24:0)	0,26
Docosahexaenoic Acid (C22:6n3)	0,10
Eicosapentaenoic Acid (C20:5n3)	0,22

Tablo 2. ABYY'lerin Anti-oksidant özellikleri

Numune No	Denemeler	Anti-Oksidant Oranı (%)
1	Deneme No 1	3,74
	Deneme No 2	3,19
	Deneme No 3	4,11
Ortalama		3,68
2	Deneme No 1	47,84
	Deneme No 2	49,58
	Deneme No 3	52,14
Ortalama		49,85

Uzmanların raporu ve bilimsel çalışmalar ışığı altında, temin edilen ABYY'nin Ayçiçek yağı olduğu tespit edilmiştir. Yine çalışma kapsamında anti-oksidant yüzdesi daha fazla olan atık yağ numunesinin bitümde katkı malzemesi olarak kullanılması karar verilmiştir.

2.2. Metot

Kütlece farklı oranlarda ABYY eklenerek hazırlanan bitüm karışımlarında meydana gelen değişimi ve

ABYY'lerin etkisini gözlemlediğimiz bu çalışma kapsamında, Tablo 3'de verilen testler kullanılmıştır. Bu testler aynı zamanda geleneksel bitüm testleri olarak da bilinmektedir. Çalışmanın kapsamı bu test yöntemleri ile sınırlı tutulmuştur. Çalışmanın bu bölümünde, bu yöntemler kısaca tanıtılacaktır.

Tablo 3. Bitüme uygulanan testler

Sıra No	Testler	Standart
1	Penetrasyon	TS EN 1426
2	Yumuşama Noktası	TS EN 1427
3	Parlama Noktası	TS ISO EN 2592
4	Düktilite	TS EN 12589
5	Viskozite	ASTM D4402

Penetrasyon testi: Bitümlü bağlayıcıların kıvamlılığı "Penetrasyon Deneyi" ile tayin edilir. Standart bir iğnenin belirli bir yük altında ve belirli bir süre içinde asfalt numunesi içerisine dikey olarak batma gözlemlenir. Deney sırasında numunenin sıcaklığı sabit tutulur. Deney şartlarının belirtmediği durumlarda ağırlık 100 gram sıcaklık 25 °C ve zaman 5 saniye olarak alınır. Penetrasyon birimi santimetrenin yüzde biridir. Aletin göstergesindeki her bir bölüm 0,1 mm'yi gösterir. Çalışma kapsamında TS EN 1426 standardına uygun olarak penetrasyon deneyleri yapılmıştır.

Yumuşama noktası testi: Yumuşama noktası bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilye bulunan, standart bir kap içerisindeki bitümlü maddenin belli bir hızla ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometreden okunan sıcaklıktır. Çalışma kapsamında TS EN 1427 standardı takip edilerek yumuşama noktası deneyleri yapılmıştır.

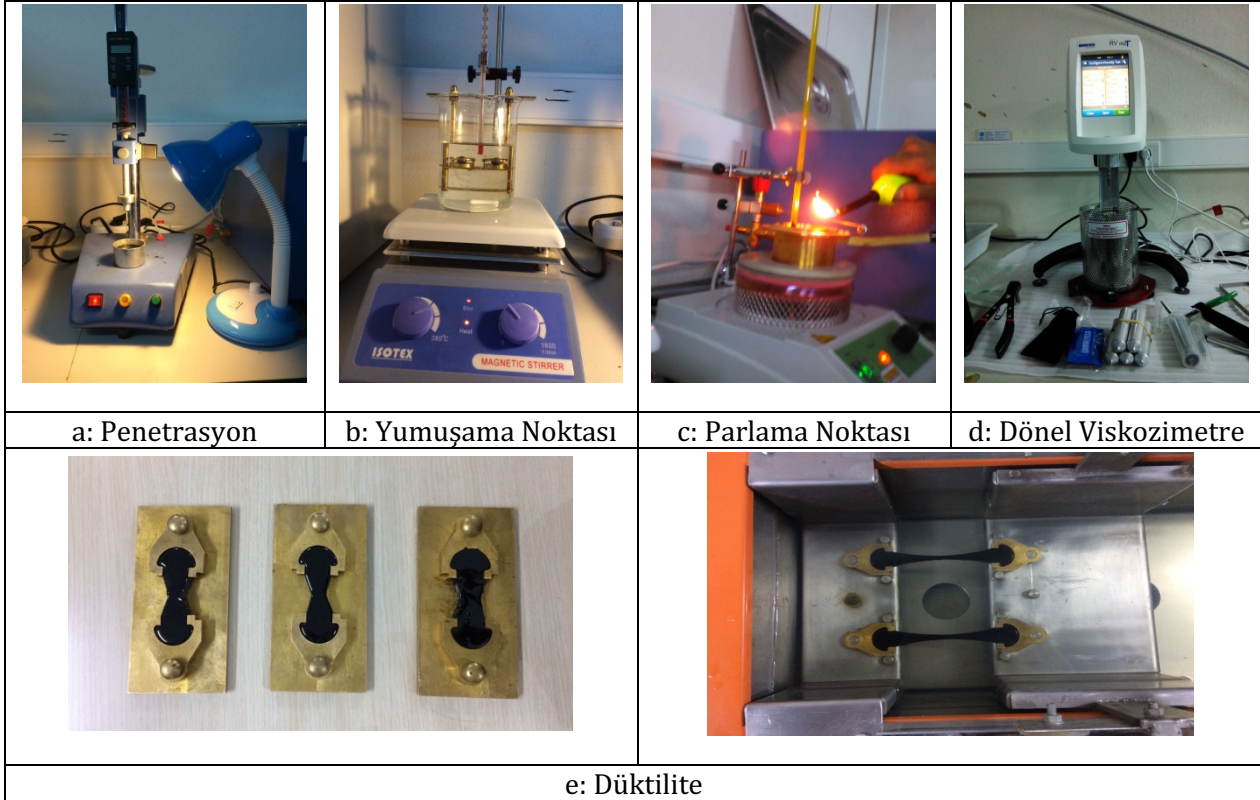
Parlama noktası testi: Parlama noktası, bir maddenin buharının alev temasında geçici olarak parladığı fakat yanmaya devam etmediği en düşük sıcaklıktır. Bir malzemenin parlama noktasının bilinmesi, ilgili malzemenin uygulaması sırasında ısıtılırken meydana gelebilecek herhangi bir tutuşma ve yangın tehlikesinin önlenmesi bakımından çok önemlidir. Parlama noktası deneyleri TS ISO EN 2592 standardına uygun olarak yapılmıştır.

Düktilite: Asfalt çimentosundan yapılmış standart briketin belirli sıcaklık ve hızda kopmadan çekilebildiği uzunluğun cm cinsinden ifadesi olarak tanımlanabilir. Asfalt çimentolarının önemli özelliklerinden biridir. Uzama yeteneği fazla olan asfalt çimentoları, düktilite değeri daha düşük asfalt çimentolarına göre, daha üstün bir bağlama yeteneğine sahiptirler. Diğer yandan çok yüksek düktilite değerine sahip asfaltlar ise ısı değişimlerine karşı fazla duyarlılık gösterirler. Çalışma kapsamında TS EN 12589 standardına uygun olarak uzama miktarı (Düktilite) deneyleri yapılmıştır.

Dönel Viskozimetre testi: Dönel Viskozimetre testi,

bitüm bağlayıcıların yüksek sıcaklıktaki akışkanlık özelliklerini belirlemek amacıyla yapılmaktadır. Bu amaçla ASTM D4402 standardına uygun olarak "Brookfield Viskozimetresi" kullanılmaktadır. Bağlayıcıların yüksek sıcaklık viskozite değerleri, pompalanma ve karıştırma sırasında bağlayıcıların yeterince akışkan olduklarının tespiti amacıyla belirlenmektedir. Genellikle saf bitüm bağlayıcılar üzerinde uygulanan dönel Viskozimetre deneyinde 135 °C'deki viskozite değerinin 3 Pa.s'yi (3000 cP) aşmaması beklenir. Bitümlü sıcak karışımların (BSK)

hazırlanmasında, bitüm bağlayıcıların 170 ± 20 cP, sıkıştırılmasında ise 280 ± 30 cP viskozite değerine sahip olması istenmektedir. Belirtilen viskozite değerlerine karşılık gelen sıcaklık değerleri, karıştırma ve sıkıştırma sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda 135 ve 165 °C gibi iki farklı sıcaklıkta dönel Viskozimetre testi, numuneler üzerinde uygulanmıştır. Yukarıda verilen testlere ait görseller aşağıdaki şekilde verilmiştir(Şekil1).



Şekil 1. Uygulanan testlere ait görselleri

3. Bulgular

Kütlece farklı oranlarda (% 2, 4, , 10) ABYY'lerin katkı olarak ilave edilen bitümler ve herhangi bir katkı eklenmemiş, saf bitüm numuneleri üzerine uygulanan testlere ait sonuçlar bu kısımda verilmiştir. Bu çalışma kapsamında yapılan penetrasyon testine ait sonuçlar Tablo 4 verilmiştir.

Tablo 4. Penetrasyon testi sonuçları

Sıra No	Numune Türü	Sonuç (dmm)
1	70/100 saf bitüm	88,2
2	% 2 ABYY katkılı bitüm	146,7

3	% 4 ABYY katkılı bitüm	205,4
4	% 6 ABYY katkılı bitüm	254,9
5	% 8 ABYY katkılı bitüm	> 300
6	% 10 ABYY katkılı bitüm	> 300

Tablo 4'de görüleceği üzere, saf bitüm deney sonucu 70/100 penetrasyon değeri aralığını sağlamaktadır. Bitüm ile karıştırılan her % 2'lik atık yağ, bitümün sahip olduğu penetrasyon oranının belirgin bir şekilde artırdığı görülmektedir. Deneyler derinliği 300 mm'lik standart penetrasyon kaplarında yapılmıştır. % 8 ve 10'lük oranı ile bitüme ilave edilen atık yağ; bitümün penetrasyon değerini oldukça yükseltmiştir. 5 saniye içerisinde kendi kendini kilitleyebilen bir özeliğe sahip olan deney cihazı, % 8 ve 10'lük yağ oranına sahip bitüm karışımının penetrasyon değerinin tayininde yetersiz kaldığı gözlenmiştir. Standart penetrasyon iğnesi, deney başladıktan 5 saniye geçmeden kabın tabanına kadar indiği belirlenmiştir. Bu nedenle belirtilen yağ oranına sahip

bitümlerin penetrasyon değerleri > 300 mm olarak verilmiştir.

Tablo 5'te bitüm numuneleri üzerinde uygulanan yumuşama noktasına testlerine ait sonuçlar verilmektedir.

Tablo 5. Yumuşama noktası testi sonuçları

Sıra No	Numune Türü	Sonuç (°C)
1	70/100 saf bitüm	48
2	% 2 ABYY katkılı bitüm	37
3	% 4 ABYY katkılı bitüm	33
4	% 6 ABYY katkılı bitüm	30
5	% 8 ABYY katkılı bitüm	26
6	% 10 ABYY katkılı bitüm	22

Tablo 5'te görüleceği üzere, bitüm ile karıştırılan her % 2'lik ABYY, bitümün sahip olduğu yumuşama noktası değerlerini belirgin belirgin bir şekilde değiştirmektedir. Bu değişim azalma yönündedir ve her bir %2 ABYY artışı, yumuşama noktasında yaklaşık olarak 3-4 °C'lik bir azalış meydana getirmektedir. Tablo 6'da farklı oranlarda ABYY kullanılarak bir homojen karışımlar üzerinde uygulanan parlama noktası test sonuçlarına yer verilmiştir.

Tablo 6. Parlama noktası testi sonuçları

Sıra No	Numune Türü	Sonuç (°C)
1	70/100 saf bitüm	280
2	% 2 ABYY katkılı bitüm	260
3	% 4 ABYY katkılı bitüm	256
4	% 6 ABYY katkılı bitüm	249
5	% 8 ABYY katkılı bitüm	224
6	% 10 ABYY katkılı bitüm	195

Tablo 6'de diğer testlerde olduğu her bir ABYY karışım oranına sahip bitümler ve saf bitümün parlama noktası değerlerinin yağ oranı artıktıkça azaldığı görülmüştür. Bu durum, yağ oranını artması ile bitüm numunelerinin daha fazla ısıya duyarlı olmasına ve yağ karışımı ile beraber daha fazla seyrelmiş bir bitüm elde edilmesine bağlanabilir. Ayrıca, artış oranlarına bakıldığı zaman, en yüksek artış saf bitüm ile %2 oranında ABYY'ye sahip bitüm arasında ve %8 ile % 10 ABYY oranına sahip bitümler arasında görülmüştür. Ancak %2'den %4'e ve 4'ten % 6'ya artırılan ABYY oranının ise bitümün parlama noktasında daha az bir değişime neden olduğu görülebilecektir.

Tablo 7'te verilen duktilite uzama miktarları verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, 70/100 saf bitümün cihazın uzama kapasitesi üst sınırı olan 108 cm'lik uzama boyunca kopmadığı görülecektir. Ancak, % 2'lik bir atık yağ oranının sahip bitümün uzama miktarı neredeyse yarı orana inmiştir. En düşük uzama miktarı, aralarında belirgin bir farklılık olmamak beraber %8 ve %10 oranında ABYY ilave edilen bitüm karışımlarında görülmüştür.

Tablo 7. Duktilite (uzama miktarı) testi sonuçları

Sıra No	Numune Türü	Sonuç (cm)
1	70/100 saf bitüm	> 108
2	% 2 ABYY katkılı bitüm	58
3	% 4 ABYY katkılı bitüm	53,5
4	% 6 ABYY katkılı bitüm	43
5	% 8 ABYY katkılı bitüm	30
6	% 10 ABYY katkılı bitüm	28

Dönel Viskozimetre ile metot kısmında anlatılan kaygılardan dolayı, farklı iki sıcaklıkta (135 °C ve 165 °C) en yüksek Tork değerine veren bir dönme hızında (200 dev/dk) ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin sonuçları her bir atık yağ oranı ile karıştırılmış bitüm numunesi için Tablo 8'da görülecektir.

Tablo 8. Dönel Viskozite testi sonuçları

Sıra No	Numune Türü	Sonuç (cp)	
		135 °C	165 °C
1	70/100 saf bitüm	390	107,9
2	% 2 ABYY katkılı bitüm	315,4	98,75
3	% 4 ABYY katkılı bitüm	253,8	80,2
4	% 6 ABYY katkılı bitüm	239,6	73,75
5	% 8 ABYY katkılı bitüm	198,3	66,25
6	% 10 ABYY katkılı bitüm	181,3	58,75

Tablo 8'dan görüleceği üzere saf bitüm için belirlenen değer ile %10'luk atık yağ oranına sahip bitüm karışımı için belirlenen değer arasında 135 °C'de yaklaşık 2 kat bir fark olduğu görülmüştür. Bu durum, 165 °C için de benzer bir şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, yağ oranı ve sıcaklık artıktıkça numunelerin viskoz özellikleri azalmakta, yani numune daha akıcı hale gelmektedir. Ayrıca, BSK hazırlanmasında, bitümlü bağlayıcıların 170 ± 20 cP, sıkıştırılmasında ise 280 ± 30 cP viskozite değerine sahip olması istendiğini ifade edilmişti. Bu durumda, 70/100 saf bitüm ile %2 ABYY oranına sahip olan bitümlerde belirtilen iki durum için sıcaklık değerleri tayin edilebilecektir. Ancak, sıkıştırılma sıcaklıklarının tayini tüm numuneler için çizilecek bir grafik üzerinden belirlenebilir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, ABYY'lerin taze bitümde bir katkı maddesi olarak kullanılabilirliği ve ilave edildiği bitümün özelliklerine olan etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, 70/100 penetrasyon sınıfına sahip bitüm ve ABYY temin edilmiştir. % 2, 4, 6, 8 ve 10 oranında (bitüm ağırlığınca) ABYY bitüme eklenmiş, homojen bir karışım elde edilmesi için standart bir metotla karıştırılmıştır. ABYY katkılı bitüm ve taze bitüm numunelerine, geleneksel test metotlarından olan penetrasyon, yumuşama noktası, parlama noktası,

düktilite ve iki farklı sıcaklıkta dönel Viskoziyetre testleri ilgili TS EN ve ASTM standartları takip edilerek uygulanmıştır. Yapılan testler ve analizler neticesinde aşağıda sıralanan sonuçlar ulaşılmıştır.

Bitüme ilave edilen ABYY miktarı arttıkça, penetrasyon değerinde artış, yumuşama noktasında azalış, parlama noktasında azalış, uzama miktarında azalış ve farklı sıcaklıklar altında yapılan viskozite değerlerinde azalış meydana gelmiştir.

Teşekkür

Bu kısımda; Bu çalışma, Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından 16103022 numaralı proje ile desteklenmiştir. Destek ve yardımlardan dolayı BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz. Ayrıca, KGM 5. Bölge Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Başmühendisliğine, Adana il sınırlarında olan KGM Bitüm şefliğine ve Kurttepe Şehit Ali Öztas Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi yönetimine malzemelerin temin edilmesi noktasında verdikleri desteklerden dolayı teşekkürü borç biliriz.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynakça

- Airey, G., 2003, State of the art report on ageing test methods for bituminous pavement materials, *International Journal of Pavement Engineering*, 4, 165-176.
- Azahar, W. N. A. W., Jaya, R. P., Hainin, M. R., Bujang, M., Ngadi, N., 2016, Chemical modification of waste cooking oil to improve the physical and rheological properties of asphalt binder, *Construction and Building materials*, 126, 218-226.
- Chen, M., Leng, B., Wu, S., Sang, Y., 2014, Physical, chemical and rheological properties of waste edible vegetable oil rejuvenated asphalt binders, *Construction and Building materials*, 66, 286-298.
- Cong, P., Wang, J., Li, K., Chen, S., 2012, Physical and rheological properties of asphalt binders containing various antiaging agents, *Fuel*, 97, 678-684.
- Dokandari, P. A., Oner, J., Topal, A., Sengoz, B., 2014, Organik Ilık Karışım Asfalt Katkı Maddesinin Bitümlü Karışımların Yaşlanma Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20, 332-337.

- Eriskin, E., Karahancer, S., Terzi, S., Saltan, M., 2017, Waste frying oil modified bitumen usage for sustainable hot mix asphalt pavement, *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 17, 863-870.
- Jacob, H., 1989, Classification, structure, genesis and practical importance of natural solid oil bitumen ("migrabitumen"), *International Journal of Coal Geology*, 11, 65-79.
- Ji, J., Yao, H., Suo, Z., You, Z., Li, H., Xu, S., Sun, L., 2016, Effectiveness of vegetable oils as rejuvenators for aged asphalt binders, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29, D4016003.
- Kulkarni, M. G., Dalai, A. K., 2006, Waste cooking oil an economical source for biodiesel: a review, *Industrial & engineering chemistry research*, 45, 2901-2913.
- Lesueur, D., 2009, The colloidal structure of bitumen: Consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification, *Advances in colloid and interface science*, 145, 42-82.
- Onurlubaş, H. E., Kızılaslan, H., 2007, Türkiye'de bitkisel yağ sanayindeki gelişmeler ve geleceğe yönelik beklentiler, *Tarım Ekonomisi Araştırma Enstitüsü*.
- Singh-Ackbarali, D., Maharaj, R., Mohamed, N., Ramjattan-Harry, V., 2017, Potential of used frying oil in paving material: solution to environmental pollution problem, *Environmental Science and Pollution Research*, 24, 12220-12226.
- Su, J.-F., Qiu, J., Schlangen, E., Wang, Y.-Y., 2015, Investigation the possibility of a new approach of using microcapsules containing waste cooking oil: In situ rejuvenation for aged bitumen, *Construction and Building materials*, 74, 83-92.
- Top Başkaya, B., 2010, Bitkisel Atık Yağlar, *Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü (TEAE-Bakış)*, 11 7.
- Turk, M. R., Tušar, M. 2016. "Effect of ageing on the low temperature properties of bitumen." In *6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*. Prague Congress Centre.
- Wen, H., Bhusal, S., Wen, B., 2012, Laboratory evaluation of waste cooking oil-based bioasphalt as an alternative binder for hot mix asphalt, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25, 1432-1437.
- Widyatmoko, I., 2008, Mechanistic-empirical mixture design for hot mix asphalt pavement recycling, *Construction and Building materials*, 22, 77-87.

Zargar, M., Ahmadinia, E., Asli, H., Karim, M. R., 2012, Investigation of the possibility of using waste cooking oil as a rejuvenating agent for aged bitumen, *Journal of hazardous materials*, 233, 254-258.