

## Kızartma Prosesinin Atık Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyodizel YAME Ürünü Üzerine Etkilerinin Araştırılması

Tuba Hatice DOĞAN

Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Geliş / Received: 02/03/2018, Kabul / Accepted: 18/09/2018

### Öz

Biyodizel genellikle yüksek saflıkta yağlar kullanılarak, alkali katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilir. Ancak hammadde olarak yemeklik bitkisel yağların kullanımı, biyodizelin en önemli dezavantajlarından biri olan maliyetini artırır. Her yıl tüm dünyada çok miktarda atık kızartma yağı oluşmaktadır. Bu yağlardan biyodizel üretilmesiyle, hem yakıt maliyetinin düşürülmesine yardımcı olunacak hem de çevreye ve ekonomiye önemli katkılar sağlanmış olacaktır. Bitkisel yağların kızartma prosesi sırasında maruz kaldıkları pişirme şartları, yağda bir takım değişikliklere sebep olmaktadır. Yağdaki değişiklikler bunlardan üretilen biyodizelin de bazı özelliklerini etkilemektedir. Bu çalışmada, tuz oranı, su oranı, kızartma sıcaklığı ve kızartma süresi gibi farklı kızartma şartlarına maruz bırakılan ve atık hale getirilen üç farklı bitkisel yağdan biyodizel üretilmiştir. Bitkisel yağların kızartma şartlarının üretilen biyodizelin yağ asiti metil ester (YAME) ürününü nasıl etkilediği incelenmiştir. Biyodizel örneklerinin yağ asiti metil ester içerikleri gaz kromatografisi ile ölçülmüştür. Sonuç olarak, tüm bitkisel yağların tuz oranı, su oranı, kızartma sıcaklığı ve kızartma süresi arttıkça üretilen biyodizel örneklerinin ürün miktarının azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, kızartma prosesinin en fazla mısırozü yağını ve buna bağlı olarak mısırozü biyodizelinin olumsuz yönde etkilediği de görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Kızartma Yağları, Biyodizel Yame Verimi, Kızartma Şartları

## Investigation of the Effects of Frying Process on Biodiesel YAME Product Obtained from Waste Vegetable Oils

### Abstract

Biodiesel is usually produced by the alkali-catalyzed transesterification reaction using high purity oils. However, the use of edible vegetable oils as raw material increases the cost, which is one of the most important disadvantages of biodiesel. Every year, a lot of waste frying oil is produced all over the world. By producing biodiesel from these oils, both the cost of fuel will be reduced and there will be significant environmental and economic benefits. The cooking conditions vegetable oils are subject to during the frying process cause some changes in the oil. Changes in the oil affect some properties of biodiesel produced from these oils. In this study, biodiesel was produced from three different vegetable oils which were exposed to different frying conditions such as salt content, water content, frying temperature and frying time. It has been investigated how frying conditions of vegetable oils affect the fatty acid methyl ester (FAME) product of the biodiesel produced. The fatty acid methyl ester contents of the biodiesel samples were measured by gas chromatography. As a result, it was determined that the product amount of biodiesel samples produced decreased as the salt content, water content, frying temperature and frying time of all vegetable oils increased. It has also been observed that the frying process has the greatest effect on corn oil and consequently corn oil biodiesel in the negative direction.

**Keywords:** Waste Frying Oils, Biodiesel FAME Yield, Frying Conditions

### 1. Giriş

Dünyadaki enerji ihtiyacının artması, bu enerjinin büyük oranda karşılandığı fosil yakıtların mevcut kullanılabilir rezerv miktarlarının hızla tükeniyor olması ve bunların çevreye olan olumsuz etkileri nedeniyle, araştırmalar yenilenebilir enerji

kaynaklarına yönelmiştir. Bu kaynaklar içerisinde önemli bir payı olan biyodizel, bir katalizör eşliğinde metil alkol veya etil alkol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel veya hayvansal yağların reaksiyonu sonucu üretilen yenilenebilir bir yakıttır (Alptekin ve Çanakçı, 2006). Biyodizel, biyolojik olarak

bozunabilir, toksik değildir, petrol içermez, fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Bir dizel motorunda, herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir. Alevlenme noktası ve setan sayısı dizele göre yüksektir. Tarımsal bitkilerden elde edildiği için fotosentez yoluyla CO<sub>2</sub>' i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırır ve bu nedenle sera etkisini artırıcı yönde etki göstermez. Hemen hemen sıfır kükürt içerdiği için, atmosfere zararlı olan SO<sub>2</sub> salınımı yapmaz. Tüm bu avantajlarına karşın biyodizelin en önemli dezavantajlarından birisi, maliyetinin yüksek olmasıdır (Ma ve Hanna, 1999). Gıda sektöründe kullanılmakta olan bitkisel yağların biyodizel hammaddesi olarak kullanılması ekonomik değildir. Bu nedenle biyodizel üretiminde ham bitkisel yağlar yerine atık kızartma yağlarının ve gıda sektöründe pek de tercih edilmeyen yağların kullanımı daha fazla önerilmektedir. Atık yağların hammadde maliyetleri ham bitkisel yağların yaklaşık üçte bir oranında olabilir (Phan ve Phan, 2008). Ayrıca, dünya genelinde yıllık olarak çok büyük miktarlarda atık yağ ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde atık yağ potansiyeli ile ilgili olarak yapılmış net bir çalışma olmamasına rağmen, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın resmi verilerine göre yılda 1.5 milyon ton bitkisel yağın gıda amaçlı kullanıldığı ve bu yağdan yaklaşık olarak 350 bin ton atık yağ oluştuğu tahmin edilmektedir (Behçet vd., 2012). Bu yağların uygun şekilde değerlendirilmesi ve doğaya olan zararlarının önlenmesi önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Evler, hastaneler, restoranlar, oteller ve hazır yemek sanayi gibi pek çok yerden atılan atık yağlar çevreye çok büyük zararlar vermektedirler. Bu yağlar, lavabolara döküldükleri zaman kanalizasyon borularında tıkanmaya sebep olurken, suya veya doğaya atıldıklarında başta insanlar olmak üzere her türlü canlı sağlığını tehdit etmektedirler. Bu atık yağların doğru yönetimi ile hem çevre

sorunlarıyla önemli bir mücadeleye yardım edilecek, hem de ekonomiye katkı sağlanmış olunacaktır. Aynı zamanda, bu atık yağlar biyodizel hammaddesi olarak kullanıldıkları zaman, biyodizelin en önemli dezavantajı olan yüksek maliyeti düşürülmüş olacaktır. Atık yağlardan biyodizel üretimi ile ilgili pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmında atık bitkisel yağlardan biyodizel üretimi için optimum şartlar belirlenmiş (Ramirez vd., 2016; Bobadilla vd., 2017), bir kısmında farklı katı katalizörlerin etkileri (Subbiah vd., 2014; Gupta vd., 2015) ya da farklı alkollerin etkileri (Malins vd., 2014; Atmanli, 2016) incelenmiştir. Bazı çalışmalarda ise ultrases destekli atık bitkisel yağın transesterifikasyonu (Grant ve Gude, 2013; Guerra ve Gude, 2014) incelenmiş ve bu çalışmalarda ultrases desteği olduğu zaman daha kısa sürede daha yüksek dönüşüme ulaşıldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmalarda genellikle atık bitkisel yağdan biyodizel üretimini etkileyen faktörler araştırılmış, bitkisel yağda kızartma sırasında meydana gelen değişikliklerin biyodizel ürününü nasıl etkilediği ile ilgili pek araştırma yapılmamıştır. Bu çalışmada; farklı bitkisel yağların kızartma prosesi sırasında değişiklik gösterecek bazı parametreleri değiştirilmiştir. Kızartma şartlarındaki değişikliğin, bu yağlardan üretilen biyodizelin ürün verimini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada, kızartma işlemlerinde çokça tercih edilen üç farklı bitkisel yağ (ayçiçeği, mısırözü ve kolza yağları), potasyum hidroksit katalizörü ve metil alkol kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bitkisel yağlar yerel bir marketten temin edilmiştir. Bilindiği gibi kızartma işlemi sırasında yıkanıp tuzlanan malzemelerdeki su ve tuz, kızartma yağına geçmektedir. Kızartma sırasında sıcaklık değişimleri olabilir ve ayrıca bazen bir bitkisel yağ defalarca kızartma işlemi için tekrar tekrar

kullanılabilir. Kızartma prosesi sırasında yağın maruz kaldığı bu özellikler dikkate alınarak bu çalışmanın deneysel parametreleri belirlenmiştir. Belirlenen deneysel parametreler ve değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Her bir parametre için yapılan deneyler, farklı zamanlarda üç kez tekrar edilmiştir.

**Tablo 1.** Kızartma deneyleri için belirlenen deneysel parametreler.

<b>Kızartma Parametreleri</b>			
Tuz oranı (% kütlece)	Su oranı (% hacimce)	Kızartma süresi (saat)	Kızartma sıcaklığı (°C)
0.22	2*	5*	100*
0.44*	4	10	160
0.88	8	15	230

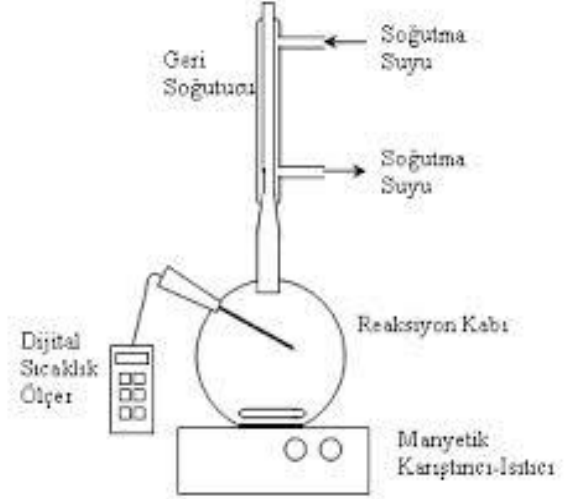
\* Her bir parametrenin etkisi incelenirken sabit tutulan parametreler

Deneysel kısım üç aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, ham bitkisel yağları atık hale getirebilmek için, bu yağlara ön işlem uygulanmış, ikinci aşamada bu atık yağlardan biyodizel üretimi yapılmış ve üçüncü aşamada ise üretilen biyodizel numunelerinin Gaz Kromatografi (GC) analizleri yapılmıştır.

### 2.1. Bitkisel Yağa Ön İşlem Uygulanması

Öncelikle ham bitkisel yağlar belirlenen kızartma şartlarına maruz bırakılarak atık hale getirilmiştir. Bunu yapmak için, seçilen ham bitkisel yağ, altı düz, boyunlu, 1000 mL’lik bir cam balon içerisine konularak, yağın içerisine belli miktarlarda su ve tuz konulmuştur. Cam balon içerisindeki yağ, belirlenen sıcaklıkta ve sürede karıştırıcı bir ısıtıcı üzerinde ısıtılarak atık hale getirilmiştir. Isınan yağdaki patlamaları engellemek için yağın içerisine magnet ve kaynama taşları atılmıştır. Kapalı bir kaptaki kızartma işlemi yapıldığı varsayılarak balona bir geri soğutucu takılmış ve bu şekilde yağın içerisine konulan suyun kaybı engellenmiştir. Sıcaklık kontrolü yapmak için balona bir

termometre takılmış, hangi kızartma şartı incelenecekse, o kızartma şartı için belirlenen değerler değiştirilirken diğer kızartma şartları sabit tutulmuştur. Kızartma prosesine ait deney düzeneği şekil 1’de verilmiştir.



**Şekil 1.** Kızartma işlemlerinin gerçekleştirildiği deney düzeneği.

### 2.2. Biyodizel Üretimi

Belirlenen kızartma şartlarına maruz bırakılarak atık hale getirilmiş olan yağdan KOH katalizörlüğünde ve metil alkol ile temel transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretilmiştir. Atık yağ 1000 mL ceketli cam bir reaktörün içine konularak ve reaktöre bağlı olan bir sabit sıcaklık sirkülatörü yardımıyla 60°C’ye ısıtılmıştır. Reaktör içeriğinin karıştırılması bir mekanik karıştırıcı yardımıyla yapılmıştır. Reaktöre sıcaklık ölçümü yapmak için bir termometre, buharlaşmalarla oluşacak olan kayıpları önlemek için bir geri soğutucu takılmıştır. Katalizör olarak kullanılacak olan KOH (katalizör miktarı, kütlece % 1), metil alkol (yağ/alkol oranı kütlece 6:1) içerisinde çözülmüş ve bu karışım, karıştırılmakta olan reaktörün içine ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Reaksiyon 1 saat sonunda durdurulmuş ve reaktör içeriği, metil ester fazı (biyodizel) ile gliserin fazının birbirinden ayrılması için bir ayırma hunisine aktarılmıştır. 2 saat sonunda alt taraftan gliserin fazı alınmıştır. Ayırma hunisinde

kalan biyodizel fazı, 7' şer saat aralıklarla üç kez saf su ile yıkanmış ve saflaştırma işlemi için bir döner evaporatöre alınmıştır. Evaporatörde 2 saat boyunca tutularak biyodizelin içerisindeki atık metanol ve su uzaklaştırılmıştır. Bu şekilde B100 biyodizel üretilmiştir. Biyodizel üretim prosesine ait deney düzeneği Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Biyodizel üretimi için kullanılan deney düzeneği.

### 2.3. GC Analizleri

Üretilen her bir biyodizel numunesi içerisindeki yağ asiti metil ester (YAME) ürün yüzdeleri ya da verimleri, otomatik enjektörlü (Perkin Elmer Clarus 680, USA) bir Gaz Kromatografisi (GC) cihazı yardımıyla belirlenmiştir. YAME analizleri için BPX-70 kapiler kolon (SGE, Melbourne, Australia, 60m X 0.25mm i.d., 0.25) kullanılmıştır. Fırının ilk sıcaklığı 50°C' den, 230°C' ye yükseltilmiş (dakikada 4°C artırılarak) ve bu sıcaklıkta 10 dakika tutulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

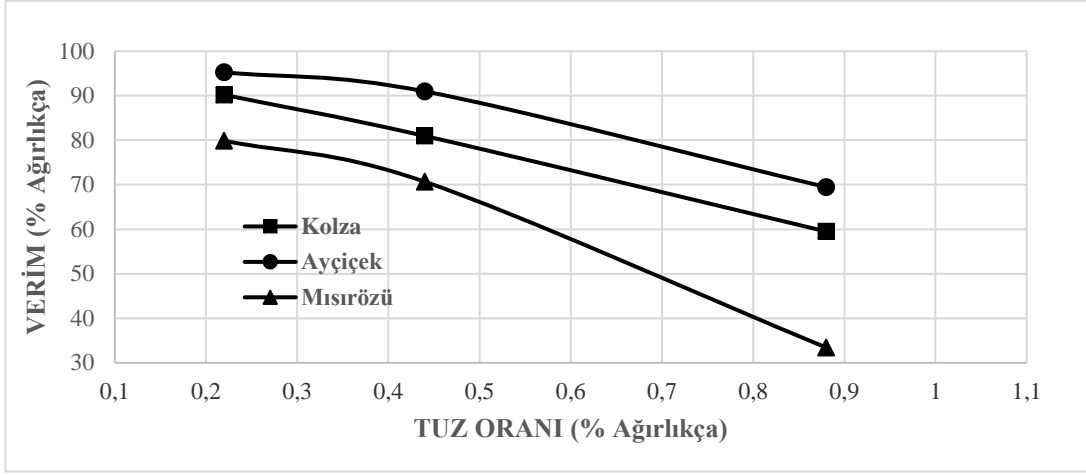
Genel olarak; kızartma işlemi sırasında yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir takım olumsuz değişiklikler olmaktadır. Kızartılacak gıdaların nemi ve yüksek

sıcaklık nedeniyle yağda üç temel bozunma reaksiyonu meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar; suyun neden olduğu hidroliz reaksiyonu, oksijenin neden olduğu oksidasyon reaksiyonu ve ısının neden olduğu termal bozunma reaksiyonlarıdır (Choe ve Min, 2007). Kızartma prosesi sırasında yağda meydana gelen bu reaksiyonlar, yağın özelliklerini ve buna bağlı olarak da bu yağdan üretilen biyodizelin özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Doğan, 2016). Bu çalışmada, kızartma prosesi sırasında yağı etkileyen en önemli dört kızartma şartının, üretilen biyodizelin ürün verimini nasıl etkilediği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, kızartma şartı ile verim arasındaki ilişkiyi gösterecek şekilde grafik edilmiştir. Ayrıca kızartma prosesine maruz kalmamış ham bitkisel yağlardan üretilen biyodizel numunelerinin verimleri de GC yardımıyla analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Ham bitkisel yağlardan üretilen biyodizel numunelerinin ürün verimleri.

Ham Biyodizel	% Verim (Kütlece)
Kolza	94.10
Ayçiçeği	98.25
Mısırözü	85.3

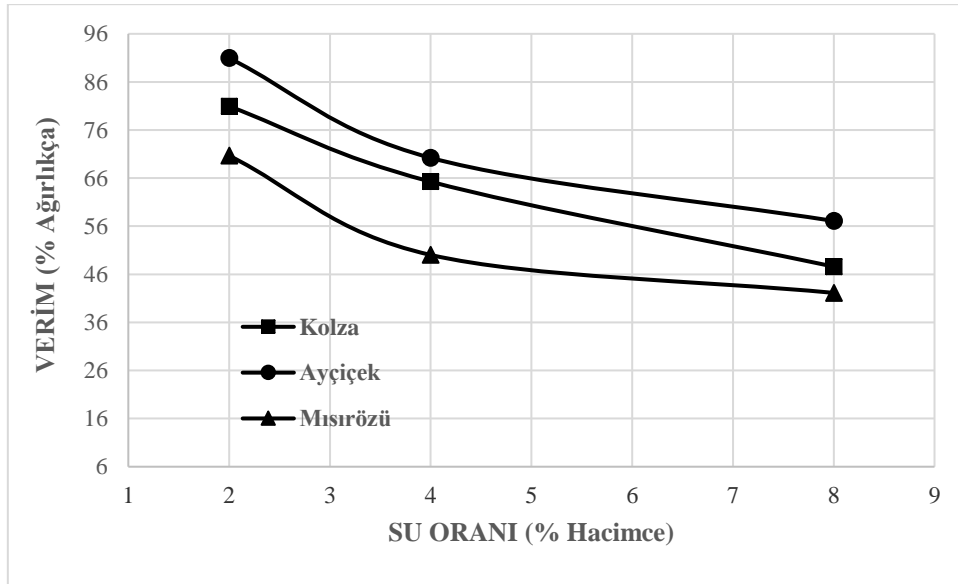
Yağın tuz oranının kolza, ayçiçeği ve mısırözü yağlarından üretilen biyodizel numunelerinin verimini nasıl etkilediği Şekil 3' de gösterilmektedir.



Şekil 3. Tuz oranı ile biyodizel verimi arasındaki ilişki.

Şekil 3 incelendiğinde, kızartma sırasında her üç yağın içindeki tuz miktarının artmasının da biyodizel verimini düşürdüğü görülmektedir. Bu daha tuzlu gıdaların kızartıldığı bitkisel yağların biyodizel verimi açısından uygun olmadığını göstermektedir. Yağdaki tuz miktarı % 0,22' den % 0,88' e artırıldığında, kolza biyodizelinin veriminde %30,67'lik, ayçiçek biyodizelinin veriminde % 25,78 lik düşüş olurken, verimdeki en fazla düşüş % 46,44'lük bir oranla mısırözü

yağında olmuştur. Yağın içerisindeki tuz miktarı arttıkça, ortamdaki suyun aktivitesi artar. Bu ise reaksiyon ortamındaki hidrolizin artmasına ve buna bağlı olarak serbest yağ asitlerinin artmasına neden olur. Serbest yağ asitlerindeki artış ise biyodizel veriminin düşmesine neden olur (Choe ve Min, 2007). Şekil 4, kolza, ayçiçeği ve mısırözü yağlarındaki su oranıyla, onlardan üretilen biyodizel numunelerinin verimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



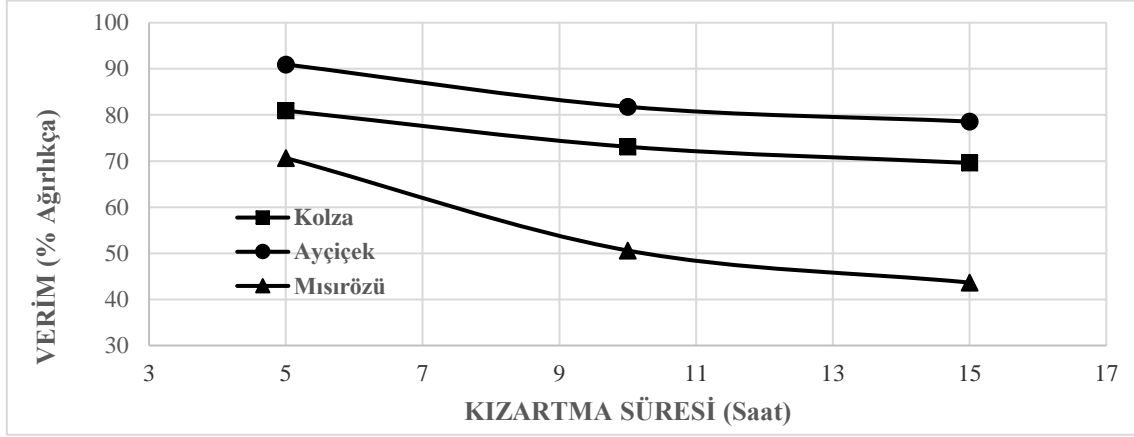
Şekil 4. Su oranı ile biyodizel verimi arasındaki ilişki.

Şekil 4' den görüldüğü gibi, kızartma yağının içindeki su miktarının artması, her üç yağdan üretilen biyodizelin ürün verimini düşürmektedir. En düşük miktar su ilavesi ile (hacimce %2), en yüksek verim Ayçiçek yağında (%90.95) elde edilirken, en düşük verim mısırözü yağında elde edilmiştir

(%70.66). Su oranındaki artış, kolza, ayçiçeği ve mısırözü biyodizellerinin her üçünün veriminde de yaklaşık % 30'luk bir düşüşe neden olmuştur. Bilindiği gibi kızartma işlemi bazen, kapağı kapalı bir kap içerisinde yapılmaktadır. Kapalı bir kaptaki kızartma işlemi sırasında gıdalardan yağ

geçen suyun bir kısmı ve gıdanın kendi nemi yağın içinde kalır. Yağdaki su miktarı arttıkça, yağın hidrolizi ve bununla birlikte serbest yağ asitleri artar. Artan serbest yağ asitleri ise transesterifikasyon prosesini olumsuz bir şekilde etkiler ve yağ asiti metil esterlerini azaltır (Çanakçı ve Özsezen, 2005). Çalışmanın sonuçları göstermektedir ki; kızartılacak gıdaların büyük ölçüde suyu

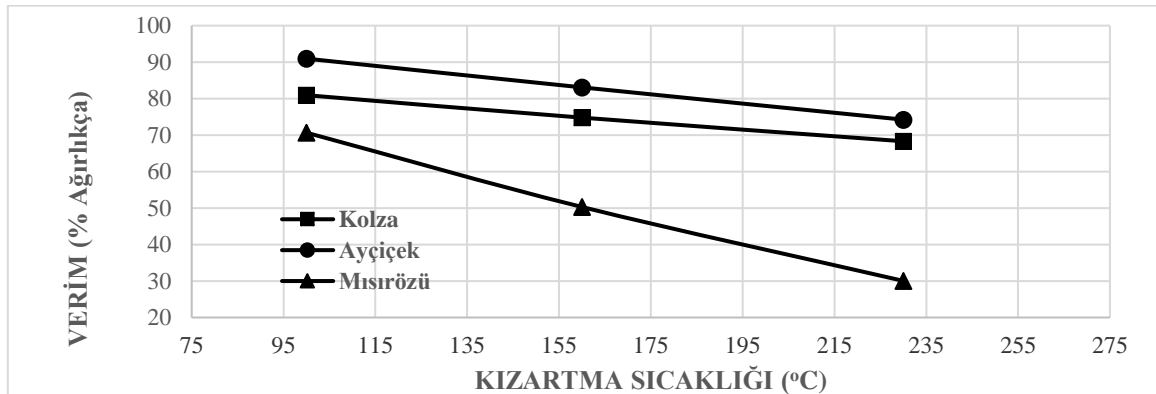
süzdürülmeden kızartılırsa bu durumda bu yağdan üretilen biyodizelin ürün verimi düşük olacağından yağın içindeki su miktarının mümkün olduğu kadar az olması uygun olacaktır. Yağın kızartma süresinin, kolza, ayçiçeği ve mısırözü yağlarından üretilen biyodizel numunelerinin verimini nasıl etkilediği Şekil 5’ de gösterilmektedir.



Şekil 5. Kızartma Süresi ile Biyodizel Verimi Arasındaki İlişki.

Yemekhane, restoran, otel gibi pek çok yerde büyük ölçülerde kızartma işlemi yapılmaktadır. Bu gibi yerlerde ortalama bir kızartma işleminin 5 saat sürdüğü ve aynı yağın birden fazla sayıda kullanıldığı dikkate alınmıştır. Bu nedenle kızartma süresinin verim üzerine etkisi, 5 (bir kez kızartma yapıldığı durum), 10 (iki kez kızartma yapıldığı durum) ve 15 saatlik (üç kez kızartma yapıldığı durum) sürelerde incelenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde görülmektedir ki; üç bitkisel yağın da kızartma süresi arttıkça biyodizel ürünü azalmaktadır. Kızartma süresi 5 saatten 15 saate artırıldığında, ayçiçek biyodizelinin

ürün verimi %90.95’ den, %78.57’ye, kolza biyodizelinin verimi %80.94’ den %69.59’ a ve mısırözü biyodizelinin verimi ise %70.66’dan, %43.65’e düşmüştür. Kolza ve ayçiçek biyodizelinin verimi yaklaşık % 12 oranında azalırken, en fazla düşüş % 27’lik bir oranla mısırözü yağında olmuştur. Kızartma süresi arttıkça, yağdaki serbest yağ asitleri, polar ve polimer maddeler artar (Choe ve Min, 2007). Bu artış üretilen biyodizeldeki metil ester ürününü azaltır. Şekil 6, kolza, ayçiçeği ve mısırözü yağlarının kızartma sıcaklığı ile onlardan üretilen biyodizel numunelerinin verimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir.



Şekil 6. Kızartma sıcaklığı ile biyodizel verimi arasındaki ilişki.

Diğer kızartma şartlarına benzer olarak kızartma sıcaklığının artması da, her üç yağın biyodizel ürün verimini düşürmüştür (Şekil 6). Aynı kızartma sıcaklığında (160°C), en yüksek verim Ayçiçek biyodizelinde (%83.08), daha sonra kolza biyodizelinde (%74.78) ve en az verim ise mısırözü biyodizelinde (%50.30) elde edilmiştir. Kızartma sıcaklığındaki artış en fazla mısırözü biyodizelinin verimini düşürmüştür. Mısırözü biyodizelinin verimi % 70,66' dan, % 30,04' e düşerek yaklaşık % 40' lık bir düşüş yaşanmıştır. Buna göre denilebilir ki yüksek verimli biyodizel üretmek istiyorsak, kızartma işleminin çok yüksek sıcaklıklarda yapıldığı atık bitkisel yağı pek fazla tercih etmemeliyiz. Yüksek sıcaklıklarda yapılan kızartma işlemleri, yağdaki polimer maddelerin ve serbest yağ asitlerinin artmasına sebep olur (Choe ve Min, 2007). Bu istenmeyen artışlar metil ester ürününü dolayısıyla verimi düşürür. Ayrıca kızartma prosesine maruz kalmamış ham bitkisel yağlardan üretilen biyodizel numunelerinin ürün verimleri, kızartma işlemi yapılmış yağdan üretilen biyodizellerden daha yüksektir (Tablo 2). Bu da kızartma prosesi sırasında yağın tuz oranı, su oranı, kızartma sıcaklığı ve süresi gibi parametrelerin, üretilen biyodizel verimini düşürdüğünü açıkça göstermektedir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada; kızartma prosesi sırasında yağın en çok etkileyen tuz oranı, su oranı, kızartma süresi ve kızartma sıcaklığı gibi kızartma şartlarının, kolza, ayçiçeği ve mısırözü gibi atık kızartma yağlarından üretilen biyodizelin ürün verimi üzerine etkileri araştırılarak, elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir. 1. Tuz oranı, su oranı, kızartma sıcaklığı ve kızartma süresindeki artış, her üç yağdan üretilen biyodizelin de ürün verimini azaltmıştır. Bu sonuçtan hareketle denilebilir ki, fazla tuzlanmış ve suyu iyi süzdürülmemiş olan gıdalarla, yüksek sıcaklıkta ve tekrarlayan kızartmalardan elde

edilen atık bitkisel yağlar biyodizel üretimi için çok elverişli değildir.

2. Yağın içindeki su miktarı arttıkça, kolza, ayçiçeği ve mısırözü biyodizellerinin her üçünün de verimi yaklaşık aynı oranlarda (% 30) azalırken, tuz oranı, kızartma süresi ve kızartma sıcaklığındaki artışlar en fazla mısırözü yağının verimini düşürmüştür. Bu nedenle denilebilir ki; kızartma prosesi en fazla mısırözü yağını ve buna bağlı olarak mısırözü biyodizelini olumsuz yönde etkilemiştir. Bunun son zamanlarda, GDO' lu ve çeşitli kimyasallarla üretilen mısır yağlarının bir sonucu olduğu düşünülmektedir.

#### 5. Teşekkür

Bu çalışma Atatürk Üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2014/89). Bu destekten dolayı Atatürk Üniversitesine teşekkür ediyorum.

#### 6. Kaynaklar

- Alptekin, E., Çanakçı, M. 2006. Biyodizel ve Türkiye'nin Durumu. Mühendis ve Makine Dergisi, 47, 57-64.
- Atmanli, A. 2016. Comparative analyses of diesel-waste oil biodiesel and propanol, n-butanol or 1-pentanol blends in a diesel engine. Fuel, 176, 209-215.
- Behçet, R., Aydın, S., Çakmak, A. 2012. Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(4), 55-62.
- Bobadilla, M.C., Lorza, R.L., Garcia, R.E., Gomez, F.S., Gonzalez, E.P.V. 2017. An Improvement in Biodiesel Production from Waste Cooking Oil by Applying Thought Multi-Response Surface Methodology Using Desirability Functions. Energies, 10, 1-20.
- Choe, E., Min, D.B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. Journal Food Science, 72, 77-86.

- Çanakçı, M., Özsezen, A.N. 2005. Evaluating waste cooking oils as alternative diesel fuel, *Gazi University Journal of Science*, 18, 81-91.
- Doğan, T.H. 2016. The testing of the effects of cooking conditions on the quality of biodiesel produced from waste cooking oils. *Renewable Energy*, 94, 466-473.
- Grant, G.E., Gude, V.G. 2013. Kinetics of Ultrasonic Transesterification of waste cooking oil. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 00, 1-8.
- Guerra, E.M, Gude, V.G. 2014. Synergistic effect of simultaneous microwave and ultrasound irradiations on transesterification of waste vegetable oil. *Fuel*, 137, 100-108.
- Gupta, A.R., Yadav, S.V., Rathod, V.K. 2015. Enhancement in biodiesel production using waste cooking oil and calcium diglyceroxide as a heterogeneous catalyst in presence of ultrasound. *Fuel*, 158, 800-806.
- Ma, F., Hanna, M.A. 1999. Biodiesel production: a review. *Bioresource Technology*, 70, 1-15.
- Malins, K., Kampars, V., Kampare, R., Prilveka, J., Brinks, J., Murnieks, R. 2014. Properties of rapeseed oil fatty acid alkyl esters derived from different alcohols. *Fuel*, 137, 28-35.
- Phan, A.N, Phan, T.M. 2008. Biodiesel production from waste cooking oils. *Fuel*, 87, 3490-3496.
- Ramirez, I.M., Arteagal, A.F., Alameda, E.J., Roman, M.G. 2016. Waste Frying Oils as Substrate for Enzymatic Lipolysis: Optimization of Reaction Conditions in O/W Emulsion. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 93, 1487-1497.
- Subbiah, V., Zwol, P.V., Dimian, A.C., Gitis, V., Rothenberg, G. 2014. Glycerol Esters from Real Waste Cooking Oil Using a Robust Solid Acid Catalyst. *Topics in Catalysis*, 57,1545-1549.