

PAPER DETAILS

TITLE: MESE PALAMUDU YAGINDAN MOTORLU TASITLARDA KULLANIMA YÖNELİK
BIYODİZEL ÜRETİMİ

AUTHORS: Merve Gördesel Yıldız

PAGES: 1629-1635

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4239880>

MEŞE PALAMUDU YAĞINDAN MOTORLU TAŞITLARDA KULLANIMA YÖNELİK BİYODİZEL ÜRETİMİ

Merve GÖRDESEL YILDIZ^{1*}

¹ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Çankaya/Ankara

ORCID No: <http://orcid.org/0000-0003-4035-3540>

Anahtar Kelimeler	Öz
Biyodizel Bitkisel yağ Meşe palamudu Transesterifikasyon	<i>Biyodizel biyolojik kaynaklardan elde edilen ester tabanlı bir tür oksijenli yakıttır ve dizel motorlarda kullanılabilir. Petrol kökenli dizele göre daha yüksek tutuşma sıcaklığına sahip olduğundan taşıma ve depolama açısından avantajlı konumdadır. Çevre açısından değerlendirildiğinde toksik etkisi yoktur ve biyolojik olarak doğada bozunabilmektedir. Bu nedenle biyodizelin üretiminin ve kullanımının yaygınlaştırılması gerek tarım gerek otomotiv sektörümüzü ekonomik olarak güçlendirecektir. Ancak biyodizel üretim maliyeti yüksek olan bir yakıttır. Yağlı bitki tohumundan üretim yapan tesislerde biyodizel maliyetindeki en büyük pay tohumuna aittir. Bu nedenle çeşitli kaynaklardan verimli biyodizel üretimi araştırılmaktadır. Çalışma kapsamında meşe palamudundan elde edilen bitkisel yağdan transesterifikasyon yöntemiyle kaliteli ve ekonomik biyodizel üretimi amaçlanmıştır. Meşe palamudundan Soxlet ekstraksiyonu ile bitkisel yağ eldesi ve bitkisel yağdan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel eldesi gerçekleştirilmiştir. Meşe palamudunun yağ oranı %4,26 bulunmuştur. Bitkisel yağın ve biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi amacıyla çeşitli analizler uygulanmıştır. Yağın doymamışlığını belirlemek amacıyla iyot analizi yapılmıştır ve iyot sayısı 91,72 olarak belirlenmiştir. Biyodizelin viskozite değeri dizel motorun çalışmasını etkileyeceğinden üretilen biyodizelin viskozitesinin düşük olması istenmektedir. Elde ettiğimiz biyodizelin dinamik viskozitesi 20°C için 0,53 kg/m.s bulunmuştur. Çalışmada biyodizelin akma noktası tayini ve nötralleşme sayısı belirlenerek biyodizelin kalitesi ve motorlu araçlarda kullanımı değerlendirilmiştir. Bu değerler sırasıyla -12,6°C ve 0,092 bulunmuştur.</i>

BIODIESEL PRODUCTION FROM ACORN OIL FOR USE IN MOTOR VEHICLE

Keywords	Abstract
Biodiesel Vegetable oil Acorn Transesterification	<i>Biodiesel is an ester-based type of oxygenated fuel obtained from biological sources and can be used in diesel engines. Since it has a higher ignition temperature than petroleum-based diesel, it is advantageous in terms of transportation and storage. When evaluated from an environmental perspective, it has no toxic effects and is biodegradable in nature. Therefore, the widespread production and use of biodiesel will economically strengthen both our agricultural and automotive sectors. However, biodiesel is a fuel with a high production cost. In facilities producing from oilseed plants, the largest share in biodiesel costs belongs to the seed. Therefore, efficient biodiesel production from various sources is being investigated. Within the scope of the study, it is aimed to produce high-quality and economical biodiesel from vegetable oil obtained from acorns by transesterification method. Vegetable oil was obtained from acorns by Soxlet extraction and biodiesel was obtained from vegetable oil by transesterification method. The oil ratio of acorns was found to be 4.26%. Various analyzes were applied to examine the physical and chemical properties of vegetable oil and biodiesel. Iodine analysis was performed to determine the unsaturation of the oil and the iodine number was determined as 91.72. Since the viscosity value of biodiesel will affect the operation of the diesel engine, it is desired that the viscosity of the produced biodiesel be low. The dynamic viscosity of the biodiesel was found to be 0.53 kg/m.s for 20°C. In the study, the pour point and neutralization number of biodiesel were determined and the quality of biodiesel and its use in motor vehicles were evaluated. These values were found to be -12.6°C and 0.092, respectively.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 25.09.2024

Kabul Tarihi : 03.03.2025

Research Article

Submission Date : 25.09.2024

Accepted Date : 03.03.2025

* Sorumlu yazar: mervegordesel@gazi.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1555844>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Fosil kaynaklı yakıtların sınırlı ve yakın gelecekte tükenecek seviyelere ulaşacak olması Dünya'da enerji krizlerine neden olmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların kullanımından kaynaklı sera gazı oluşumunun neden olduğu küresel ısınma ve çevre kirliliği kaçınılmazdır. Bu nedenle petrole alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu kapsamda enerji bağımsızlığının sağlanması ve temiz enerji eldesi amacıyla önümüzdeki yıllarda biyoyakıtlara eğilimin artacağı ön görülmektedir. Biyoyakıtların günümüzde en yaygın alt dalı olan biyodizel, dizel motorlarda kullanılabilen hayvansal ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen alternatif bir yakıttır. Biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik olmayan yenilenebilir bir yakıt türüdür. Oksijenli yakıtların egzoz emisyonlarını azaltmadaki başarısı ve artan çevre bilinci biyodizel olarak adlandırılan yağ asitlerinin dizel motorlarında kullanımını 1980'li yılların başında gündeme getirmiştir. O yıllarda biyodizelin yakıt olarak kullanılmasıyla petrole bağımlılığı azaltacağı ve tarımın gelişmesine de katkı sağlayacağı belirtilmiştir. Biyodizel çevre ile uyumlu ve kısa bir süre içerisinde %99,5 oranında doğada parçalanabilen bir yakıttır.

Biyodizel üretiminde; yağın temel katalizör eşliğinde transesterifikasyonu, direkt esterleşme reaksiyonu, yağın önce yağ asitlerine sonra biyodizele dönüştürülmesi olmak üzere üç temel yöntem bulunmaktadır. Günümüzde biyodizel üretiminde en fazla tercih edilen yöntem katalizör eşliğinde transesterifikasyon yöntemidir. Bu yöntemde düşük basınçta ve düşük sıcaklıkta çalışılıyor olması, minimum reaksiyon zamanında yüksek dönüşüm sağlanması, ara bileşenler olmadan direkt biyodizel üretilmesi yöntemin çok tercih edilme sebepleri arasındadır. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol) katalizör varlığında (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin oluşturarak esterleşir. Ayrıca esterleşme reaksiyonunda yan ürün olarak monogliseridler, reaktant fazlası ve serbest yağ asitleri oluşur. Biyodizel üretiminin esası bitkisel yağın içerisindeki ester ve gliserini ayırma işlemidir. Transesterifikasyon işlemi esnasında bitkisel yağdaki gliserin komponentleri, alkolle yer değiştirir (Çildir ve Çanakçı, 2006).

Biyodizel üretiminde metil alkol (metanol), daha dengeli bir reaksiyon sağladığı için etil alkolle (etanol) göre daha çok tercih edilmektedir. Ayrıca metil alkol, bitkisel yağ içerisindeki sudan, etil alkolle göre daha az etkilenir. Reaksiyonda kullanılacak etil alkol miktarı, aynı yağ miktarı için metil alkolden daha fazla olmaktadır. Polar olması, en kısa zincirli alkol olması, trigliseritlerle kolay reaksiyon vermesi sebebiyle metanol kullanımı daha

yaygındır (Shailendra, Agarwal ve Sanjeev, 2008). Transesterifikasyon reaksiyonunda trigliseridi parçalamak amacıyla katalizör kullanılmaktadır. Bazik katalizör kullanımında reaksiyonun daha hızlı gerçekleştiği ve bu sayede daha düşük reaksiyon süresine gereksinim duyulduğu bilinmektedir (Özdemir ve Mutlubaş, 2016). Ayrıca baz katalizli transesterifikasyonun gerçekleşmesiyle sabunlaşma riski azalmıştır. Bu nedenle katalizör olarak genellikle NaOH veya KOH kullanılmaktadır. Ancak H₂SO₄ gibi farklı asidik yapıların katalizör olarak kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur (Bague ve Franks, 2019). Reaksiyonda serbest kalan esterler alkolle birleşirken katalizör ise gliserinle birleşir (Graboski ve McCormick, 1998). Bitkisel yağ asit, alkol ve katalizör ise baz karakterlidir. Biyodizel reaksiyonunda kullanılan katalizörün miktarı, bitkisel yağın pH değerine bağlı olmaktadır.

Çalışmada, ülkemizde popülasyonu yüksek ve meyvesi verimli şekilde kullanılmayan bir ağaç türü olan meşe ağacı ile çalışılmıştır. Meşe palamudunun ülke genelinde fazla bulunması ve kullanılmaması, kolay erişilebilirlik ve düşük maliyet sağlamaktadır. Çalışma kapsamında hem ürün değerlendirilmesi ve maliyet açısından ülke ekonomisine ve bilime katkı sağlanmış hem de çevresel ve ekonomik etkiler de göz önüne alındığında meşe palamudundan elde edilen bitkisel yağın kullanılmasıyla biyodizel üretimiyle alternatif yakıtlara dönüşüm sağlanmıştır. Çalışma kapsamında fosil kaynaklı yakıtların tüketiminin azaltılmasına katkı sağlanarak ülkemizde bol miktarda bulunan meşe palamudundan elde edilen yağdan biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde yeni bir hammadde kaynağının kullanımı, çalışmanın yenilikçi yanına dikkat çekmektedir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Biyodizel eldesinde bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, kullanılmış atık kızartma yağları ve algler kullanılmaktadır. Bu kaynaklar içerisinde en büyük paya sahip olan bitkisel yağlardır (Altınsoy, 2007). Biyodizel üretiminde kullanılan bitkisel yağ kaynakları başta kanola yağı olmak üzere (Boz ve Sunal 2009) aspir, pamuk, soya, palm, ayçiçek, zeytin, prina, hardal ve diğer yağlı tohumların yağları sıralanabilir (Çildir ve Çanakçı, 2006; Ögüt ve Oguz, 2005). Avrupa'da biyodizel üretimde kullanılan hammaddelerin kullanım oranları karşılaştırıldığında %42 ile kanola ilk sırada iken, Türkiye'de pamuk %32 oranla ilk sırada yer almaktadır (USDA Foreign Agricultural Service. Biofuels Annual, 2024). Biyodizelin özellikleri kullanılan yağ kaynağına ve alkol tipine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu durum her biyodizel için farklı tutuşma, yanma ve emisyon değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır (Asaumi, Shintani ve Watanabe, 1992). Bitkisel yağ eldesi amacıyla kullanılan yağlı tohumların çoğu, gıda sektörü başta olmak üzere pek çok alanda kullanılan

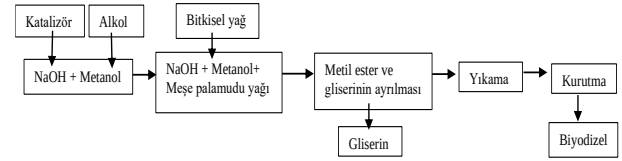
değerli bitkilerdir. Mevcut durumda bu hammaddelerin farklı sektörlerde zaten kullanılıyor olması hammadde eldesindeki zorluklara ve fiyat artışına neden olmaktadır. Bu nedenle biyodizel üretimi için bitkisel yağ eldesinde farklı hammadde arayışları mevcuttur.

Bu kapsamda biyodizel eldesinde kullanılacak bitkisel yağın üretimi için farklı sektörlerde kullanım alanı oldukça kısıtlı olan meşe palamudu dikkat çekmektedir. Meşe palamudu, Türkiye’de özellikle Trakya, Marmara ve İç Anadolu bölgesinde sıklıkla yetişen bir bitki türü olan meşe ağacının meyvesidir. Ancak meşe palamudu diğer ağaçların meyveleri gibi doğrudan tüketilmemektedir. Bu nedenle hammadde temini açısından oldukça bol ve kolay ulaşılabilir konumdadır. Meşe palamudunun diğer hammaddelerden farklı kılan özelliği E-vitamini, toplam fenol ve antioksidan içeriğinin yüksek olmasıdır. Ayrıca sterol (Beta-sitosterol vb.) ve yağ asitleri (omega-3, omega-6 ve toplam doymamışlık) bakımında önemli değerlere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bitkiden elde edilen yağın kalitesi için önemli olan bu değerler meşe palamudunun yağ üretiminde kullanımına elverişli olduğunu göstermektedir. Meşe palamudunun bazı fiziksel özellikleri ve içeriğindeki yağ miktarı meşe türüne göre çeşitlilik göstermektedir. Amerika’daki Tarım Bölümü Tarımsal Araştırma Hizmetleri (United States Department of Agriculture-USDA) verilerine göre meşe palamudunun yağ içeriği %24’tür. Bu değer bitkisel yağ üretiminde sıklıkla kullanılan mısır, soya, aspir vb. hammaddelerle yarışacak düzeydedir (Ertaş, 2024).

Meşe ağacının meyvesi olan meşe palamudundan elde edilen bitkisel yağ, biyodizel üretiminde alternatif kaynak olarak incelenmiştir. Yapılan literatür araştırmasında konuyla ilgili ayrıntılı bir deneysel çalışmaya rastlanmamıştır.

3. Yöntem

Çalışmada, gıda ve sağlık endüstrisi gibi çeşitli alanlarda kullanılan bitkisel yağların yerine meşe palamudu yağı kullanılarak biyodizel üretimi amaçlanmıştır. Bu amaçla hem ülkemizde bol miktarda yetişen meşe palamudu değerlendirilerek katma değeri yüksek ürün eldesi sağlanacak hem de biyodizel üretiminde kullanılan ayçiçek yağı, pamuk yağı gibi bitkisel yağların farklı alanlarda değerlendirilmesinin önü açılacaktır. Çalışma meşe palamuduna uygulanan ön işlem, meşe palamudu yağının eldesi, biyodizel üretimi, bitkisel yağa ve biyodizele uygulanan analizler olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır. Meşe palamudu yağı ve biyodizel eldesi aşamalarını özetleyen akım şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Meşe Palamudu Yağı ve Biyodizel Üretim Akım Şeması

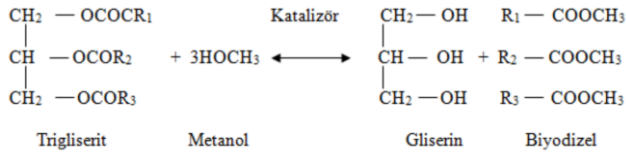
İlk olarak Türkiye’de İç Anadolu Bölgesi’nden temin ettiğimiz meşe palamudunun kabukları soyularak numune hazırlanmıştır. Yaprak ve sap gibi bileşenleri ayrılmıştır, ardından öğütme işlemi gerçekleştirilir. Biyodizel üretiminde düşük tanecik boyutuna sahip meşe palamudunun kullanılması yüksek yüzey alanı nedeniyle ekstraksiyon verimini olumlu etkilemektedir. Öğütülen meşe palamudu etüvde 100°C de 2 saat kurutulmuştur. Meşe palamudunun kurutulması içeriğindeki nemin uzaklaştırılması yağ eldesinde verimi olumlu etkilemektedir.

Ardından meşe palamudundan Soxhlet ekstraksiyonu yöntemiyle bitkisel yağ elde edilmiştir. Bu amaçla çözücü olarak seçilen petrol eteri Soxhlet cihazının altında yer alan balon jojeye doldurulmuştur. Öğütülmüş meşe palamudu numunesinden 10 gr tartılarak kartuş içine yerleştirilmiştir. Ardından kartuş Soxhlet cihazına yerleştirilerek Şekil 2.a’da verilen deney sistemi kurulmuştur. Soxhlet ekstraksiyon sisteminde yer alan geri soğutucu soğuk su girişi ve çıkışı bağlantıları yapılmıştır. Soxhlet ekstraksiyon balonu içinde bulunan petrol eteri ceketli ısıtıcı yardımıyla 50°C-60°C’de ısıtılarak buharlaştırılmıştır. Çözücünün sıcak buharı yoğunlaştırıcıya ilerleyerek ve yoğunlaşarak kartuş içindeki katı numunenin üzerine damlamaktadır. Meşe palamudu numunesini içeren kartuş çözücü ile tam dolduğunda, sistem üzerindeki bypass kolunun seviyesine ulaşır ve sifon oluşarak çözücü tekrar cam balona boşalmıştır. Bu döngü tekrarlanarak her döngü sırasında katının içerdiği bir miktar yağın çözücüde çözünmesi sağlanmıştır. 2 saat süreyle toplam 10 dakikada bir sifon yapacak şekilde ekstraksiyon gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonrası meşe palamudu yağı ve çözücü içeren karışım içinden petrol eteri damıtılarak geri kazanılmıştır. Damıtma işlemi için kurulan sistem Şekil 2.b’de verilmiştir. Balonda kalan yağ 105°C’deki etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Ardından desikatörde soğutulan bitkisel yağ miktarı kaydedilmiştir. Bu deneysel süreç tekrarlı şekilde gerçekleştirilerek hedeflenen yağ miktarına ulaşılmış ve bu miktar tartılarak kaydedilmiştir.



Şekil 2. a) Soxhlet Ekstraksiyonu Yöntemiyle Bitkisel Yağ Elde Edilen Deneysel Düzenek b) Damıtma Sistemi Düzeneği

Çalışmanın üçüncü aşamasında, meşe palamudu yağından transestrifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel üretiminde esterin verimini etkileyen en önemli değişkenlerden biri alkolün trigliserite molar oranıdır. Şekil 3'te verilen reaksiyon incelendiğinde, transesterifikasyon stokiometrik oranı 3 mol yağ asidi alkil esteri ve bir mol gliserol vermek üzere 3 mol alkol ve bir mol trigliserit gerektirir. Bununla beraber transestrifikasyon bir denge reaksiyonudur ve reaksiyonu ürünler yönüne ilerletmek için alkolün aşırısı gereklidir. Çalışmada estere maksimum dönüşüm için molar oran 6:1 olarak belirlenmiştir.

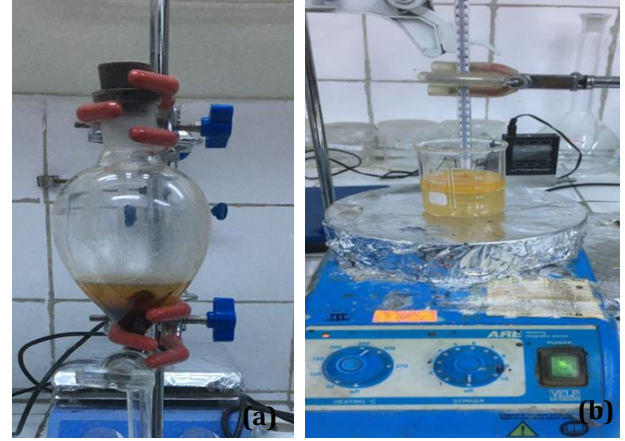


Şekil 3. Transesterifikasyon Reaksiyonu

İlk olarak çalışmada alkol olarak seçilen metanol ve katalizör olarak seçilen NaOH kapalı bir reaksiyon kabında birleştirilmiştir. Bu aşamada 0,9 g katı NaOH kullanılarak metanol içinde çözünmesi sağlanmıştır. Ardından manyetik karıştırıcı yardımıyla karıştırılarak ısıtılan meşe palamudu yağına yağ ve katalizör karışımı ilave edilmiştir. Bu aşamadan itibaren alkol kaybını önlemek amacıyla sistem atmosfere kapatılarak, deney kapalı sistemde devam etmiştir. Reaksiyon, 60°C ve 600 RPM de karıştırılıp ısıtılarak 2 saat boyunca reaksiyon gerçekleşmiştir. Bu aşamada alkolün kaynama noktası olan 64,7°C çalışma sıcaklığı açısından sınırlayıcı olmuştur.

Reaksiyon sonunda ürün karışım dinlenme tankı görevi gören ayırma hunisine alınarak 2 gün bekletilmiştir. Şekil 4.a'da, 2 günün sonunda oluşan faz ayrımı ve alt fazda gliserin, üst fazda biyodizel birikimi görülmektedir. Gliserin fazı biyodizel fazından daha

yoğundur ve her ikisi faz da reaksiyonda kullanılan alkol fazlası içermektedir. Gliserin ve biyodizel ayırma işleminden sonra, fazla alkol buharlaştırılarak ortamdan uzaklaştırılmıştır. Elde edilen biyodizel kalan katalizör ve sabunların uzaklaştırılması için ılık su ile yıkanmıştır. Ayırma hunisi yardımıyla fazlar ayrıldıktan sonra yıkama işlemi tekrarlanmıştır. Şekil 4.b'de görüldüğü gibi yıkama işlemi bitikten sonra çözelti 100°C'de ısıtılarak biyodizel içerisindeki su buharlaştırılır. Bu işlem sonunda sarı görünümlü, viskozitesi petrole yakın biyodizel elde edilmiştir.



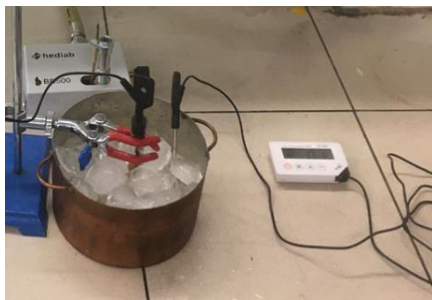
Şekil 4. a) Ürün Karışımın Faz Ayrımı b) Biyodizel Fazındaki Suyun Buharlaştırılması

Elde edilen meşe palamudu yağının ve biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi amacıyla çeşitli analizler uygulanmıştır. Bu amaçla ilk olarak bitkisel yağın iyot sayısı analizi gerçekleştirilecektir. İyot sayısı, yağların doymamışlık ölçüsü olup uygulamada ağırlık olarak yüz kısım yağın bağladığı iyodun ağırlığı olarak belirtilmektedir. Yüksek iyot sayılı yağ tortu oluşumuna, aşırı karbon kalıntısı oluşumuna ve depolama kararlılığının düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bu değer analiz edilerek belirlenmesi yağ kalitesi açısından önemlidir. Bu amaçla gerçekleştirilen iyot sayısı analizinde iyodometrik yöntem kullanılmıştır. İlk olarak palamut yağı kloroform ile çözülmüş, ardından Hanus çözeltisi ve KI çözeltisi ilave edilerek sodyum tiyosülfat çözeltisi ile titre edilmiştir. Analiz sırasında indikatör olarak nişasta kullanılmıştır. Ancak nişasta fazla iyot varlığında indikatör özelliğini gösteremediğinden indikatör eşdeğerlik noktasına yaklaşıldığında ilave edilmiştir. Aynı işlemler palamut yağı içermeyen tanık deney için de tekrarlanarak meşe palamudu yağındaki iyot sayısı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında üretilen biyodizelin viskozite tayini gerçekleştirilecektir. Bu amaçla numune cam bir silindire doldurularak ve 0,0032, 0,0021 ve 0,0016 m çaplara sahip çelik bilyelerin ($d' = 7800 \text{ kg/m}^3$) belirlenen h mesafesini aldığı sürelerin kaydedilmesiyle viskozite hesaplanır. Biyodizelin yüksek viskoziteye

sahip olması esterleşme reaksiyonunun tamamlanmadığını göstermektedir. Yüksek viskoziteye sahip biyodizel enjektörde tıkanmaya, püskürtme ve silindir içinde kurumlaşmaya neden olarak motora zarar vermektedir. Bu nedenle biyodizelin viskozitesinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Viskozitenin sıcaklığa bağlı olduğu bilinmektedir. Biyodizelin kinematik viskozite değeri 40 °C'de 3,5-6 mm²/s arasında değişmektedir (Akyarlı, 2004). Dinamik viskozite değeri ise yaklaşık 15 mPa.s'dir (Hartman, 2015). Çalışmada biyodizelin viskozite ölçümünün yanı sıra yoğunluğu da belirlenmiştir. Birçok standartta biyodizellerin yoğunluk değerleri 860-900 arasında değişir (Meher, Sagar ve Naik, 2006). Yoğunluğun yüksek olması ise proses sırasında gliserinin yeterine uzaklaştırılmadığının göstergesidir. Yoğunluk yakıt tüketimine ve yanma ısısına etki etmektedir. Literatürde biyodizelin yoğunluk ve viskozite değerlerini düşürmek için farklı oranlarda çeşitli biyodizel-dizel karışımları oluşturularak bunlara özel korelasyonlar geliştirmiş çalışmalar mevcuttur (Pham, Hoang, Le, Al-Tawaba, Dong ve Le, 2018; Hoang, 2021).

Biyodizelde gerçekleştirdiğimiz bir diğer analiz ise akma noktası tayinidir. Akma noktası tayini, numunenin soğuktaki akış özelliğini belirtir. Düşük sıcaklıkta yakıt uygun bir şekilde akamayarak yakıt yollarının ve enjektörlerin performansını etkileyebilir. Akma noktası, biyodizelin hareket edebildiği en düşük sıcaklıktır. Soğuk akış özelliği iyi olmayan yakıt kullanımı motorun yakıt besleme elemanlarına hasar verir bu nedenle üretilen biyodizelin motorlu taşıtlarda kullanımı açısından önemlidir. Bu nedenle elde ettiğimiz biyodizelin akma noktasını belirlemek amacıyla Şekil 5'teki düzenek kurulmuştur.



Şekil 5. Akma Noktası Deneyel Sistemi

Analiz için biyodizel numunesi bir cam tüpe konarak buz banyosu içine yerleştirilir. Numune ve banyo içine dijital termometreler yerleştirilerek eş zamanlı sıcaklık takibi yapılır. Numunedeki her 1°C'lik değişimde numunenin akış durumu kontrol edilir ve akmadığı sıcaklık belirlenir. Ayrıca çalışma kapsamında serbest yağ asitlerin veya biyodizel üretiminde kullanılan asitlerin varlığını belirlemek amacıyla biyodizelin nötralleşme sayısı belirlenmiştir. Bu analiz biyodizelin kalitesini

belirlemede yardımcı olmaktadır (Kaya, 2006). Bu işlem için biyodizel numunesi alkol-eter çözeltisinde çözünerek KOH ile titre edilmiştir. Aynı işlemler biyodizel içermeyen şahit numune ile tekrarlanarak işlem sonucunda biyodizelin nötralleşme sayısı belirlenmiştir. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Bulgular

Çalışmada elde edilen meşe palamudu yağının yağ oranı %4,26 bulunmuştur. Literatürdeki benzer bir çalışmada bu değer %3,38 olarak kaydedilmiştir (Karabas, 2013). Yağ oranı; meşe palamudu cinsine, gerçekleştirilen ön işleme ve ekstraksiyon verimi gibi çeşitli faktörlere göre çeşitlilik göstermektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda çalışılan meşe palamudu tipine en uygun ve araştırmaları yapılmış olan en yakın meşe türünün Mardin ince meşe palamudu olduğu belirlenmiştir. Mardin ince meşe türünün meyvesinin 100 gramındaki yağ oranının 4,95 olduğu tespit edilmiştir. Bu değer elde ettiğimiz sonuçla karşılaştırılabilir ve yakın bulunmuştur. Meşe palamudu yağının iyot sayısının belirlenmesi amacıyla Eşitlik 1 kullanılmıştır.

$$\text{İyot sayısı} = \frac{(V_2 - V_1) \cdot N}{m} \cdot 12,7 \quad (1)$$

Burada; V₂ tanık deneyi için harcanan sodyum tiyosülfat çözelti miktarı, V₁ örnek için harcanan sodyum tiyosülfat çözelti miktarı, N sodyum tiyosülfat çözeltisinin gerçek normalitesi ve m örneğin ağırlığını ifade etmektedir. Çalışmada Bölüm 2'de belirtilen prosedüre göre gerçekleştirilen analiz sonucundan meşe palamudu yağı iyot sayısı 91,72 olarak bulunmuştur. Literatürde yer alan Mardin ince meşe palamuduna yönelik çalışmada ise bu değer 88,30'dur. Literatürdeki bu değer baz alınarak yapılan karşılaştırmada hata oranı %3,87 olarak belirlenmiştir. Aradaki meşe palamudu türünün farklılığından kaynaklanmakta olup kabul edilebilir bir değerdir. Ayrıca iyot sayısı Avrupa Standardı EN 14214'e göre en fazla 120 olmalıdır. Elde edilen sonuç standart ile uyumlu olup standart isterlerini karşılamaktadır. Çalışmada elde edilen biyodizel numunesinin viskozitesinin belirlenmesi amacıyla Eşitlik 2 kullanılmıştır.

$$\eta = \frac{2 \cdot g \cdot r \cdot (d' - d)}{9 \cdot v} \quad (2)$$

Burada; r bilyenin yarıçapı, v limit hız, g yerçekimi ivmesi (9,8 m/s²), d sıvının yoğunluğu (860 kg/m³) d' bilye malzemesinin yoğunluğunu ifade etmektedir. Biyodizelin dinamik viskozitesi hesaplamalar sonucunda 20°C için 0,53 kg/m.s bulunmuştur. Biyodizelin nötralleşme sayısının belirlenmesi amacıyla

yürütülen deney sonucu elde edilen veriler Eşitlik 3'te kullanılmıştır.

$$A_x = \frac{V_1 - V_2}{w M_A N} \quad (3)$$

Burada; V_1 birinci deneyde harcanan KOH miktarı, V_2 şahit deneyde harcanan KOH miktarı, w numune ağırlığı, N KOH normalitesi, M_A KOH molekül ağırlığını (56,11 g/mol) ifade etmektedir. Analiz ve hesaplama sonrası biyodizelin nötralleşme sayısı 0,092 bulunmuştur. Bu sayede 1 gram numune içinde bulunana kuvvetli asitleri nötralize etmek için gerekli olan KOH miktarına eşdeğer alkali miktarı belirlendi. Son olarak Bölüm 2'de belirtilen prosedüre göre gerçekleştirilen analiz sonucu biyodizelin akma noktası -12,6°C bulunmuştur. Bu değer sırasıyla susam, yer fıstığı ve atık yağlardan elde edilen biyodizelde -14, -8 ve -9°C'dir (Kaya, 2006). Bu kapsamda elde edilen sonuç literatürle uyumlu ve karşılaştırılabilir düzeyde bulunmuştur. Biyodizel verimi hammadde kalitesi, katalizör türü ve miktarı, sıcaklık ve reaksiyon süresi gibi reaksiyon koşulları, kullanılan alkol türü ve oranı gibi pek çok parametreden etkilenmektedir. Çalışmada Eşitlik 4'te verilen ifade kullanılarak biyodizel verimi %62,4 bulunmuştur.

$$\text{Biyodizel verimi (\%)} = \frac{\text{Elde edilen biyodizel miktarı}}{\text{Kullanılan yağ miktarı}} \quad (4)$$

5. Sonuçlar

Biyodizel'in ülkemizde yaygın olarak üretilmesi ve kullanılmasıyla enerji tarımı ve yerli enerji üretimi gerçekleştirilerek temiz enerjiye katkı sağlanacaktır. Çalışmanın ilk aşamasında meşe palamudundan bitkisel yağ elde edilmiştir. Türkiye'de milyonlarca dönüm arazide bulunan meşe ağaçlarının bitkisinin kullanılmıyor olup bu şekilde değerlendirilmesi ülkemiz geleceği için çok büyük bir avantajdır. Çalışmanın ikinci aşamasında ise bitkisel yağdan transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel üretilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle katalizör varlığında yağ asidi esterleri, gliserin ve biyodizel vererek esterleşmektedir. Elde edilen meşe palamudu yağına ve biyodizele ait analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Analizler; Avrupa'da biyodizel yakıtın temel özelliklerini ve kalite kriterlerini belirleyen standart olan EN14214 Avrupa Birliği Standardı ve bu standart temel alınarak TSE tarafından hazırlanan biyodizel standardına uygun biçimde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Meşe Palamudu Yağı ve Biyodizele Ait Analiz Sonuçları

Meşe Palamudu Yağı		Biyodizel			
Yağ oranı	İyot sayısı	Yoğunluk (kg/m ³)	Dinamik Viskozite (kg/m.s)	Akma Noktası	Nötralleşme Sayısı
%4,260	91,720	860	0,530	-12,600	0,092

Bitkilerden ve yağlı tohumlardan elde edilen yağ oranı üretim verimini doğrudan etkilediği için önemli bir kriterdir. İyot sayısı, bitkisel yağların yağ asitlerinde daha fazla çift bağ olduğunu gösterdiğinden, yüksek iyot değerine sahip bir bitkisel yağ, düşük iyot değerine sahip bir yağdan oksidatif olarak daha az kararlı olacaktır.

EN14214 standardına göre biyodizelin yoğunluk değeri 15°C'de 860-900 kg/m³ aralığında olmalıdır. Biyodizelin yoğunluğu enerji içeriği, yanma ve akışkanlık durumlarını etkilemektedir. Standartta nötralleşme sayısı için belirtilen üst değer ile karşılaştırıldığında elde edilen biyodizelin nötralleşme sayısı standarda uyum göstermektedir. EN14214 standardı, biyodizelin temel özelliklerini ve kalite kriterlerini belirlerken, akma noktası gibi bazı özellikler üreticinin sorumluluğuna bırakılır. Farklı uygulamalar ve iklim koşulları için farklı özelliklere sahip olması istendiğinden standartta bu konu hakkında doğrudan bir değer mevcut değildir.

Mevcutta kullanılan dizele alternatif olarak üretilen biyodizelin basit bir teknoloji ile düşük maliyetle üretilmesi beklenmektedir. Düşük viskozite, düşük akma noktası değeri de değerlendirildiğinde meşe palamudu yağından elde edilen biyodizel basit bir teknoloji ve düşük maliyetle üretilebilmektedir. Bu bağlamda küçük işletmelerde kolaylıkla üretimi mümkündür. Ayrıca petrol dizeli ile her oranda karıştırılarak veya saf halde kullanılabilir. Biyodizel kullanımı CO₂, yanmamış hidrokarbon, CO emisyonları açısından önemli azalma sağlaması nedeniyle çevre açısından pek çok avantaja sahiptir. Bunun yanı sıra atık konumundaki meşe palamudunun kullanılmasıyla atık yönetimi ve enerji verimliliği açısından faydalı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında meşe palamudu potansiyel bir biyodizel kaynağı olarak sunulmuştur.

Teşekkür

Yazar, çalışmanın yürütülmesinde katkı ve desteğinden dolayı Prof. Dr. Özkan Murat Doğan'a ve deneylerin yürütülmesindeki yardımlarından dolayı Fatih Can Cantürk'e teşekkür etmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Merve GÖRDESEL YILDIZ, metodolojinin oluşturulması, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, makalenin sonuçlarının hazırlanması konusunda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Akyarlı, A. (2004). *Biyodizelin yakıtın uluslararası standartlarda üretimi*, Biyoenerji Sempozyumunda Sunulmuş Bildiri, İzmir.

Altınsoy, A. S. (2007). *Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi* (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Asaumi Y., Shintani M. & Watanabe Y. (1992). Effects of fuel properties on diesel engine exhaust emission characteristics. *SAE Tech. Paper*, 922214. doi: <https://doi.org/10.4271/922214>

Bague D. A. & Franks, R. J. (2019). Synthesis and characterization of fatty acid methyl ester mixtures derived from acorn kernel oil. *Texas Journal of Science*, 71(1), 8. doi: <https://doi.org/10.32011/tjxsci.71.1.Article8>

Çildir O. & Çanakçı M. (2006). An Investigation of the effects of catalyst and alcohol amounts on the fuel properties of biodiesel from various vegetable oils. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 21(2), 367-372.

Ertaş E. (2012). Yöresel Ürünlerin Değerlendirilmesi ve Katma Değerli Ürünler Haline Getirilmesi Projesi TÜBİTAK-MAM Sonuç Raporu. Erişim adresi: <https://www.dika.org.tr/assets/upload/dosyalar/yoresel-urunlerin-degerlendirilmesi-ve-katma-degerli-urunler-haline-getirilmesi-projesi-sonuc-raporu.pdf> Erişim tarihi: 23 Mayıs 2024.

Graboski, M.S. & McCormick, R.L. (1998). Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Prog. Energy Combust. Sci.* (24), 125-164. doi: [https://doi.org/10.1016/S0360-1285\(97\)00034-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1285(97)00034-8)

Hartman, J. (2015). Kinematic and Dynamic Viscosity of Diesel, Biodiesel, and JP-900 Compared to Other Non-Standard Fluids with a Demonstration of Viscosity Changes at Varying Temperatures (Undergraduate Report). Pennsylvania Devlet Üniversitesi, Philadelphia. Erişim Adresi: <https://bpb-us->

e1.wpmucdn.com/sites.psu.edu/dist/a/11907/files/2015/06/jzh5270_viscosity.pdf Erişim tarihi: 18 Mart 2024.

Hoang, A. T. (2021). Prediction of the density and viscosity of biodiesel and the influence of biodiesel properties on a diesel engine fuel supply system. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 20(5), 299-311. doi: <https://doi.org/10.1080/20464177.2018.1532734>

Karabas, H. (2013). Biodiesel production from crude acorn (*Quercus frainetto* L.) kernel oil: An optimisation process using the Taguchi method. *Renewable Energy*, 53, 384-388. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.12.002>

Kaya, C. (2006). *Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretimi*, (Yüksek Lisans Tezi). Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Meher, L. C., Sagar D. V. & Naik S. N. (2006). Technical aspects of biodiesel production by transesterification-A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 10, 248-268. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.002>

Öğüt, H. ve Oguz, H. (2005). *Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel*, 2. Baskı, Ankara: Nobel Yayınevi.

Özdemir Z. Ö. ve Mutlubaş H. (2016). Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri. *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 129-143. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/klujes/issue/27696/406935>

Pham M. T., Hoang A. T., Le A. T., Al-Tawaha A. R. M. S., Dong V. H. & Le V. V. (2018). Measurement and prediction of the density and viscosity of biodiesel blends. *Int. J. Technol.* 9(5), 1015-1026. doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i5.1950>

Shailendra S., Agarwal A.K. & Sanjeev G. (2008). Biodiesel development from rice bran oil: Transesterification process optimization and fuel characterization, *Energy Conversion and Management*, 49, 1248-1257. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2007.08.010>

USDA Foreign Agricultural Service. Biofuels Annual. Erişim adresi: <https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/report/downloadreportbyfilename?filename=Biofuels%20Annual%20Hague%20EU-28%207-3-2018.pdf> Erişim tarihi: 18 Temmuz 2024.