

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



**KAYSERİ BÖLGESİ ATIKLARINDAN KÜÇÜK ÖLÇEKLİ
BİYODİZEL ÜRETİM UYGULAMA PROJESİ**

Proje No: FOA-2015-5790

Proje Türü
Öncelikli Alan Araştırma Projesi (ÖNAP)

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Yrd.Doç.Dr. Abdulazız I.A. MOHAMED ATABANI
Mühendislik Fakültesi/Makine Mühendisliği Bölümü

Araştırmacılar:

Prof. Dr. Sebahattin ÜNALAN

(Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü)

Yrd. Doç. Dr. İlker ÖRS

(Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO Motorlu Araçlar ve Ulaş. Tekn. Bölümü)

Arş. Gör. Selçuk SARIKOÇ

(Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü)

Yrd. Doç. Dr. Şükran EFE

(Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü)

Prof. Dr. Sugeng Triwahyono

(Universiti Teknologi Malaysia Ibnu Sina Institute for Fundamental Science Studies 81310
UTM Johor Bahru, Johor, Malaysia)

Yrd. Doç. Dr. Hazır Farouk Abdelraheem Elhaj

(Sudan University of Science and Technology(SUST) Khartoum, Sudan)

Mart 2017

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından **FOA-2015-5790** kodlu proje ile desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	1
ABSTRACT	1
1. GİRİŞ	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. GEREÇ VE YÖNTEM	8
4. BULGULAR	22
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	39
6. KAYNAKLAR	41

ÖZET

Bu proje çalışmasında, ham yağın karakterizasyonu ve atık kızartma yağından biyodizel üretimi yapılmıştır. Üretilen biyodizelin akma, bulutlanma, soğuk filtre tıkanma noktası, parlama noktası, kinematik viskozite, yoğunluk, serbest yağ asit bileşenleri ve miktarı, asit değeri, setan sayısı, iyot sayısı, sabunlaşma sayısı gibi önemli termo-fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir.

Üretilen biyodizel, euro dizel ve dizel-biyodizel karışımı direk enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılmış, motor performans parametreleri olarak motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve termik verim, yanma analizi parametreleri olarak silindir basıncı ve ısı salımı hızı incelenmiştir. Ayrıca, yakıt olarak biyodizel kullanımının CO, CO₂, HC, NO ve duman koyuluğu emisyonları üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, biyodizel kullanımı, motor torku, motor gücü ve termik verim değerlerini azaltmış, özgül yakıt tüketimi ve ısı salımı hızı değerlerini artırmıştır. Egzoz emisyon testi sonuçlarına göre, biyodizel, CO, HC ve duman koyuluğu değerlerini azaltırken CO₂ ve NO değerlerini artırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, biyodizel üretimi, dizel motor, performans ve emisyon testi.

ABSTRACT

In this project work, the characterization of crude oil and production of biodiesel was made from waste cooking oil. The some important thermo-physical and chemical properties of the produced biodiesel were determined such as pour point, cloud point, cold filter plugging point, flash point, kinematic viscosity, density, the composition and quantity of free fatty acid, acid number, iodine number, saponification number. Produced biodiesel, Euro diesel and diesel-biodiesel blend were used in the single-cylinder direct-injection a diesel engine, and engine torque, engine power, specific fuel consumption and efficiency parameters were investigated as engine performance parameters, and cylinder pressure and heat release rate were investigated as combustion analyzes. Besides, the effects on CO, CO₂, HC, NO and smoke opacity emissions of the used biodiesel as fuel were revealed. According to obtained the results, the using of biodiesel decreased values of engine torque, engine power and thermal efficiency, and it increased values of specific fuel consumption and heat release rate. According to the results of exhaust emission tests, while biodiesel decreased the values of CO, HC and smoke opacity emissions, it increased the values of CO₂ and NO.

Key Words: Biodiesel, biodiesel production, diesel engine, test of performance and emission.

1. GİRİŞ

Günümüz toplumunda enerji talebi hızla artmaktadır. Daha gelişmiş bir dünya ekonomisi ve daha yüksek yaşam standartları için küresel enerji talebinin bu artışı her gün daha da büyümektedir. Mevcut enerji için en çok bağımlı olunan kaynak fosil yakıtlardır ve 2035 yılına kadar da birincil enerji talebinin %80'inin fosil yakıtlar ile tedarik edilmesi beklenmektedir [1],[2]. Enerji tüketimi ve talebi artmaya devam ederken, yenilenemeyen kaynakların tedariki konusunda endişeler vardır. En son tahminler, şu an ve tahmin edilen üretim oranları, tüketim ve keşif oranlarına göre; bu kaynaklar dünyadaki petrol arzının yaklaşık 2020 yılına kadar talebi karşılayamayacağını öngörmektedir. Diğer yandan, yenilenebilir enerji kaynakları için hidro, güneş, rüzgar ve biyokütle çok büyük enerji potansiyeline sahiptir [3].

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil kökenli enerji kaynaklarına olan bağımlılığı azaltmak için en büyük alternatiftir. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılabilirliği üzerine ilgi her geçen gün artmaya başlamıştır. Hemen hemen her gün fosil kökenli yakıtlara alternatif olabilecek yeni ve yenilenebilir bir enerji kaynağı fikri ortaya atılıyor. Birçok gelişmiş birinci dünya ülkesi de, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için vatandaşlarını teşvik ederek yenilenebilir enerjiye olan arz ve talebin artmasını sağlamayı hedeflemektedirler. Valente ve ark. [1], yenilenebilir kaynakların kullanımının hızla büyüyeceğini ve taleplerin 2035 yılına kadar 4 misli artacağını öngörmektedirler.

Enerji üretimi ve tüketiminin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini küresel enerji ve iklim değişikliği hedeflerine uygun olarak azaltmak için de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve yaygınlaştırılması kaçınılmaz olmuştur [4]. Artan hava kirliliği ve küresel ısınmanın en büyük etkisi iklim değişikliğidir. Dünyadaki hükümetlerin tamamına yakını iklim değişikliği ile mücadele etmek için karbon kirliliğini azaltmak, yenilenebilir enerji üretimini geliştirmek ve temiz enerji yenilik projelerine çok büyük destekler sağlamaktadırlar.

Fosil kökenli kaynaklardan elde edilen enerji ürünleri, ulaşım endüstrisinde, ısınmada ve sanayi endüstrisinde kullanılmaktadır. Taşımacılık sektörü dünyada en yaygın biçimde ve çok amaçlı kullanılan bir sektördür. Karayolu, havayolu, demiryolu ve denizyolu taşımacılığında kullanılan araçlar için ortak nokta motorlardır. Motorlar için günümüzde kullanılan en önemli

enerji kaynağı petroldür ve petrolün fosil kökenli bir enerji kaynağı olması ve yakın bir gelecekte tükenecek olması nedeni ile petrol yerine kullanılabilecek alternatiflerin araştırılması birçok araştırmacı için ilgi odağı olmuştur. Yalnızca petrol rezervlerinin azalması değil, küresel olarak artan çevresel endişeler ve enerji talepleri de taşımacılık sektörünün ana zorluklarıdır. Bu bağlamda incelendiğinde, taşımacılık sektörü için kullanılabilecek en önemli alternatif yakıtlar biyokütle metodu ile elde edilebilmektedir.

Biyokütle, milyonlarca yıl süren fosil yakıtların aksine, gerçekten yenilenebilir bir kaynaktır; çünkü bitki ömrü kendini her yıl yeniler. Bu nedenle, biyokütle enerjisinin sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak parlak bir geleceği vardır. Ayrıca ahşap, biyokütle ve biyogaz gibi kaynaklar ticari olmayan yakıtlar olarak sınıflandırılırlar. Biyokütle, yaşayan organizmaların bir parçası olan, örneğin yapraklar, mısır koçanı, bezelye kabuğu, yosun, bakteri, su yosunu ve gübrenin herhangi bir biçimi için kapsamlı bir terimdir [3]. Mevcut hammadde, termal, biyolojik ve fiziksel proseslerle hidrojen, etanol, metanol, biyodizel veya metan gibi çeşitli enerji kaynaklarına çok fraklı biyokütle teknolojisi teknikleri ile dönüştürülebilir [5].

Biyokütle teknolojisi ile elde edilebilen alternatif bir yakıt olarak biyodizel, kullanılmış veya kullanılmamış bitkisel veya hayvansal yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile üretilir. Yakıt özellikleri, dizel yakıtinkine çok benzediği için tek başına veya dizel yakıtı ile karıştırılarak dizel motorlarda kullanılabilir [6]. Dizel motorların hem karayolu hem demiryolu hem de deniz yolu taşımacılığında çok yaygın bir şekilde kullanıldığı düşünülürse biyodizelin kullanım alanının genişliği de ortaya konulmuş olur.

Bu projede, doğaya zararlı olan atık kızartma yağı, transesterifikasyon yöntemi ile biyodizele dönüştürülerek alternatif ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Üretilen biyodizelin yakıt özellikleri araştırılmış, tek silindirli bir dizel motorunda tek başına ve karışım yakıtı olarak kullanılarak tork, güç, yakıt tüketimi ve verim parametreleri ile yanma analizi incelenmiştir. Ayrıca, yakıt olarak biyodizel kullanımının CO, CO₂, HC, NO ve duman koyuluğu emisyonları üzerine etkileri ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, bu projeden üretilen biyodizel, dizel motorlarda belirli oranlarda karışım olarak kullanılabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Atıkların değerlendirilmesi ve geri dönüşümü günümüzde en önemli çalışma alanlarından birisidir. Atıklar, gıda atıkları, kimyasal atıklar, sanayi atıkları vb. gibi çeşitlendirilebilir. Her bir atığın geri dönüşüm ve yeniden değerlendirilme alanı ve yöntemi farklıdır. Bu çalışmada, bir gıda atığı olarak kızartma yağı, başta otomotiv sektörü olmak üzere, elektrik üretimi, ısınma ve ziraat sektörü gibi alanlarda kullanılabilen yenilenebilir bir yakıt olan biyodizele dönüştürülmüştür. Bu çalışma konusu için detaylı bir ön çalışma yapılmış ve elde edilen önemli çalışmaların bazıları aşağıda sunulmuştur.

Atabani ve ark.[7], yapmış oldukları çalışmada, biyodizelin, hammadde kaynağı, ekstraksiyonu, üretim metotları, özellikleri ve kalitesi, üretiminde bitkisel yağ kullanımının problemleri ve potansiyel çözümleri, avantaj ve dezavantajları, ekonomik uygulanabilirliği ve sürekliliği ile geleceğini detaylı bir şekilde incelemişlerdir. Biyodizel üretim sürecinin tamamında maliyetin % 75'ini hammadde oluşturmaktadır. Bu nedenle, en düşük üretim maliyeti için en iyi hammadde kaynağının seçiminin önemini ortaya koymuşlardır. Bu hammadde kaynakları *Jatropha curcas* ve *Calophyllum inophyllum* gibi yenilmeyen yağların yanı sıra son zamanlarda mikro alg gibi genetiği değiştirilmiş kavak ve çimenler, biyodizel üretiminde gelecek vaat eden hammadde kaynakları olarak ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda, diğer enerji kaynaklarının tamamlayıcısı olarak biyodizelin daha etkin olarak kullanıldığını göstermişlerdir.

Atabani ve ark. [8], yenilebilir ve yenilemez yağlardan sentezlenen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin biyodizel karışımları üzerine etkisinin karşılaştırmalı olarak değerlendirdikleri çalışmalarında, biyodizel karışımlarının kullanılan hammadde kaynağına bağlı olarak geliştirilebileceği ve bu biyodizel karışım özelliklerinin polinomik eğri uydurma yöntemi ile tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir.

Eryılmaz ve Yesilyurt [9], çalışmalarında, aspir yağ metil esteri-aspir yağı, aspir yağ metil esteri-dizel ve aspir yağ-dizel karışımlarının fiziko-kimyasal özellikleri üzerine karışım oranlarının etkilerini araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre, aspir yağı ve aspir biyodizeli sırası ile % 62.29 ve % 61.17 oranlarında yüksek linoleic asit içermektedir. Bu değerler bulutlanma noktası -5°C, akma noktası -14°C, donma noktası -16°C ve soğuk filtre

tıkanma noktası -9°C olacak şekilde daha düşük aspir yağı biyodizeli sıcaklık özellikleri sağlamaktadır. Aspir yağının biyodizel özellikleri, onun gelecekte biyodizel hammadde kaynağı olarak göz önünde bulundurulabileceğini ortaya koymuştur. Karışımın viskozite ve yoğunluk değerleri üzerine sıcaklık ve karışım oranının etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak karışım çeşidine bağlı olarak sabit korelasyonlarının değiştiği gözlenmiştir.

Mafijur ve ark.[10], Jatropha biyodizeli, B10 (%10 biyodizel katkı), B20 (%20 biyodizel katkı) ve dizel yakıtlarının fiziko-kimyasal özelliklerinin, motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. B10 ve B20 karışımlarının 20 saatlik oksidasyon stabilitesi değerlerinin Avrupa Standartlarına (EN 590) uygun olduğu için motor performans ve emisyon testlerinde bu karışımları kullanılmışlardır. Katkısız euro dizele kıyasla ortalama frenleme gücünde (BP) B10 için %4.67 ve B₂₀ için %8.86 oranlarında azalma ölçmüşlerdir. Özgül yakıt tüketiminin (BSFC) biyodizel oranının artması ile arttığını gözlemlemişlerdir. Katkısız euro dizele kıyasla B10 ve B20 karışımlarında sırası ile hidrokarbon emisyonlarında (HC) %3.84 ve % 10.25, karbonmonoksit (CO) emisyonlarında % 16 ve % 25 azalma olduğunu, bununla birlikte, azot oksit (NO_x) emisyonlarında %3 ve % 6 artış olduğunu ortaya koymuşlardır. Sonuç olarak, B10 ve B20 karışımlarının dizel motorda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Attia ve ark.[11], atık yağlardan üretilen biyodizel ile dizel yakıtı karışımlarının motor performansı üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında, biyodizel-dizel yakıt karışımlarındaki atık yağ biyodizeli oranının, viskozite ve is oluşturma eğilimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, maksimum silindir basıncının elde edildiği krank açısının ve basınç değerinin daha çok motor yüküne ve biyodizel karışım oranına bağlı olduğunu göstermişlerdir. En iyi özgül enerji tüketimi ve fren termal verimi, %20 atık yağ biyodizeli içeren (B20) karışım ile elde edilmiştir. En iyi çevresel hale B20-B50 karışım oranları arasında ulaşılmıştır. Sonuçlar, saf biyodizel (B100) kullanımının özgül yakıt tüketimini %8 ve motor duman koyuluğunu % 15 artırdığını, NO_x emisyonlarında %10, yanmamış hidrokarbonlarda % 15 ve CO emisyonlarında hafifçe bir azalma olduğunu göstermiştir. Daha iyi motor performansı ve emisyon karakteristiği için en iyi atık yağ biyodizel karışım oranının %30-50 aralığında olması tavsiye edilmiştir. Bu tavsiye edilen karışım oranlarında, motor performansı ile saf dizel yakıt değeri karşılaştırıldığında, özgül yakıt tüketiminin %10 daha yüksek, termal verimde önemsiz bir etki, özgül enerji tüketimi

yaklaşık %3 daha yüksek ve egzoz sıcaklığı %2 daha düşük olmakla beraber eş değer motor emisyonları bakımından %25 daha düşük CO, %20 daha düşük yanmamış hidrokarbon, %6 daha düşük NO_x ve %20 daha yüksek duman koyuluğu sonuçları sağlanmıştır.

Rao ve Mohan [12], çalışmalarında, pamuk yağı biyodizelinin bir dizel motorda farklı enjektör basıncı ve farklı turbo şarj basınçlarında kullanımını incelemişlerdir. Sonuç olarak, doğal emiş durumunda biyodizelin özgül yakıt tüketimi değerinin dizel yakıtından yüksek olduğunu, ancak turbo şarj kullanımı ile biyodizelin özgül yakıt tüketiminin dizel yakıtından daha düşük olduğunu, püskürtme basıncının artmasıyla özgül yakıt tüketimi değerinin çok az bir miktar arttığını, turbo şarj basıncının artması ile özgül yakıt tüketiminde doğal emişe göre %15'e kadar bir azalma olduğunu, turbo şarj basıncının artması ile egzoz gaz sıcaklığının doğal emişli duruma göre azaldığını, turbo şarj basıncının artmasıyla duman emisyonlarının azaldığını söylemişlerdir.

Özsezen [13], çalışmasında, atık kızartma yağından elde ettiği biyodizeli %5-20-50 oranlarında dizel ile karıştırarak performans, emisyon ve yanma karakteristikleri açısından dizel ve biyodizeli ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, yakıt karışımları içerisinde biyodizelin artan yüzdesi ile birlikte motor torkunda azalma olduğunu, yapılan tüm testlerde biyodizeli ve karışımların özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu, tam yük ve değişken hız şartlarında efektif gücün ve termik verimin karışımda artan biyodizel yüzdesi ile azaldığını belirtmiştir. Deneyler sonucunda, genelde biyodizel kullanımı ile silindir gaz basıncının dizel yakıtına göre daha yüksek olduğunu ve üst ölü noktaya biraz daha yaklaştığını ortaya koymuştur. Tüm yakıtlar için silindir gaz basıncının motor devrinin artması ile arttığını söylemiştir. Motor yükünün azalması ile yakıtların maksimum silindir gaz basınçları arasındaki farkların da azaldığını ayrıca, aynı yük ve devir için yakıtların maksimum silindir gaz basınçlarının elde edildiği noktaların birbirine çok benzediğini, tüm testlerde biyodizel kullanıldığı zaman ısı dağılımı başlangıcının dizel yakıtına göre daha erken açıda başladığını belirtmiştir. Tüm testlerde, biyodizel kullanımı ile püskürtme başlangıcının dizel yakıtına göre daha erken olduğunu, püskürtme süresinin devir arttıkça arttığını, püskürtme başlangıcının motor devrine bağlı olarak her yakıt için üst ölü noktadan uzaklaştığını göstermiştir. Tüm testlerde biyodizel kullanımının dizel yakıtına göre daha kısa bir tutuşma gecikmesine sahip olduğunu, motor devrinin artmasıyla tutuşma gecikmesi süresinin de arttığını tespit etmiştir. Biyodizeli kullanımıyla elde edilen CO, HC ve duman

emisyonlarında dizel yakıtına göre azalma olduğunu, NO_x emisyonlarında ise artış olduğunu belirtmiştir.

Utlu ve Koçak [14], çalışmalarında, atık kızartma yağından elde ettikleri biyodizeli direkt motor yakıtı olarak kullanmışlar, performans ve emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, biyodizelin motor torku ve motor gücü değerlerinin dizel yakıtından çok az bir miktar daha düşük olduğunu, özgül yakıt tüketiminin ise dizel yakıtına göre yaklaşık %14.34 daha yüksek olduğunu söylemişlerdir. Biyodizel ile elde edilen egzoz emisyonları incelendiğinde, dizel yakıtına göre; CO emisyonunun da %17.14, NO_x emisyonunda %1.4, duman emisyonunda %22.46, egzoz gazı sıcaklığında da %6.5 azalma olduğunu söylemişlerdir. Biyodizelin CO₂ emisyonlarında ise ortalama olarak %8.05 bir artış olduğunu söylemişlerdir.

Lin ve Li [15], çalışmalarında, deniz balığı artıklarından elde ettikleri balık yağı ile ürettikleri biyodizeli ticari amaçla atık kızartma yağından elde edilmiş biyodizel ile ayrı ayrı dizel motorunda kullanarak performans ve emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, balık yağı biyodizelden elde edilen egzoz gazı sıcaklığı, yakıt verimi, NO_x ve oksijen emisyonu değerlerinin atık yağ biyodizeline göre daha yüksek olduğunu, duman, özgül yakıt tüketimi ve CO emisyonu değerlerinin ise daha düşük olduğunu söylemişlerdir. Dizel yakıtına göre her iki biyodizeline özgül yakıt tüketimi, yakıt yanma oranı, NO_x ve oksijen emisyonu değerleri yüksek, CO, duman ve egzoz gazı sıcaklığı değerleri ise düşüktür.

Özsezen ve Çanakçı [16], çalışmalarında, atık palmye yağından elde ettikleri biyodizeli dizel yakıtına %5-20-50 oranlarında karıştırarak performans ve emisyon parametrelerini biyodizel ve dizel yakıtı değerleri ile karşılaştırmışlardır. Karışım içerisinde artan biyodizel yüzdesi ile ilişkili olarak, motor torkunda azalma olduğunu, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğunu tespit etmişlerdir. Yine karışımındaki biyodizelin yüzdesi ile ilişkili olarak CO, HC ve duman koyuluğu emisyonlarında, dizel yakıtı oranla azalma meydana geldiğini belirtmişlerdir.

Altun [17], çalışmasında, atık kızartma yağı ve yenmeyen hayvansal don yağından biyodizel üretmiş, yakıt olarak dört silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorunda kullanarak performans ve emisyon parametrelerini dizel yakıtı ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, her iki

biyodizelde tork değerlerinin dizel yakıtından daha düşük olduğunu, atık kızartma yağı biyodizelin tork değerinin hayvansal yağ biyodizelinin çok az daha yüksek olduğunu, her iki biyodizelin özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtından daha yüksek olduğunu söylemiştir. Biyodizel yakıtlarının CO değerlerinin dizel yakıtından düşük olduğunu, atık kızartma yağı biyodizelinin CO değerlerinin hayvansal yağ biyodizelinin genelde daha yüksek, atık kızartma yağı biyodizelin NO_x değerlerinin düşük motor devirlerinde dizel yakıtından daha yüksek, yüksek devirlerde ise neredeyse eşit olduğunu, hayvansal yağ biyodizelden elde edilen NO_x emisyonlarının ise hem diğer biyodizelden hem de dizel yakıtından daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Parekh ve Goswami [18], çalışmalarında, atık kızartma yağından elde edilmiş biyodizel yakıtlarının ve dizel yakıtına karıştırılarak dizel motorlarda kullanımının incelendiği çalışmalardan kritik yaparak motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerini sunmuşlardır. Sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, atık kızartma yağından elde edilen biyodizelin kullanımının özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonunu dizel yakıtına göre genelde bir miktar artırdığını, termal verim, HC ve CO emisyonlarını düşürdüğünü belirtmişlerdir.

3.GEREÇ VE YÖNTEM

MATERYALLER

Biyodizel Üretim ve Test Ekipmanları

Bu proje çalışmasında kullanılmış olan ve aşağıda listelenen makine ve teçhizatlar ERÜ BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklen FOA-2015-5790 ve FOA-2015-5817 proje kod numaralı ÖNAP projeleri ile teminin edilmiş ve bazı testler Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (TAUM) yapılmıştır.

Yakıt Test Cihazları

Üretilen biyodizel yakıtın kinematik viskozitesi, akma noktası, bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası, parlama noktası, yoğunluk ve ağırlık gibi termo-fiziksel özellikleri Tablo 1-6'da teknik özellikleri verilen test cihazları ile ölçülmüştür.

Tablo 1. Yarı otomatik kinematik viskozimetre test cihazı

Markası	PM Tamson Instruments
Tipi ve Modeli	Yarı otomatik-20 Litre TV 2000/AKV
Ölçüm Metodu	Cihaz ölçüm prensibi olarak Infra Red (IR) sistemdir.
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	Cihazın test sıcaklık aralığı ortam sıcaklığı +20°C ile +120°C arasında, 0.1 °C aralıklarla ayarlanabilir. Banyo Sıcaklığı Doğruluk [±] 0.01 ° K'dir.
Ölçüm Standartları	Cihaz ASTM D445 ve ASTM D446 standartlarına uygun kinematik viskozite değerlerini belirler.

Tablo 2. Tam otomatik akma ve bulutlanma noktası tayin cihazı

Markası	Normalab
Tipi ve Modeli	Tam otomatik NTE 450
Ölçüm Metodu	Akma noktası ultrasonik sensör ile algılama Bulutlanma noktası fiber optik algılama
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	Akma noktası için sıcaklık aralığı -75 °C ila 51 ° C'dir. Sıcaklık ölçüm çözünürlüğü: 1 °C'dir. Akma noktası için numune yan yatma aralığı: Her 3 °C veya 1 °C'de ayarlanabilir. Bulutlanma noktası için sıcaklık aralığı -75 °C ila 49 ° C'dir. Sıcaklık ölçümü 1 °C aralıklarla yapılabilir. Sıcaklık ölçüm çözünürlüğü: 0,1 ° C'dir.
Ölçüm Standartları	Cihaz ASTM D97, ASTM D2500, IP 15, IP 219, ISO 3015, ISO 3016 standartlarına uygun olarak tam otomatik akma ve bulutlanma noktası tayini yapmaktadır.

Tablo 3. Tam otomatik soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı

Markası	Normalab
Tipi ve Modeli	Tam otomatik NTE 450
Ölçüm Aralığı	5 l/ sa ile elektronik vakum regülasyonuna ve 45µ filtre halkası sahiptir. Cihaz -80°C ile +100°C ± 0.02 arasında sıcaklık sağlamaktadır.
Ölçüm Standartları	Cihaz ASTM D6371, IP 309, ISO 116 standartlarına uygun olarak soğuk filtre tıkanma noktası tayini yapmaktadır.

Tablo 4. Tam otomatik kapalı kap parlama noktası tayin cihazı

Markası	Normalab
Tipi ve Modeli	Tam otomatik NPM 450
Ölçüm Metodu	Termokupl ile parlama noktası tespiti Elektrik ve gaz ateşleme (kombine sistem)
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	Test sıcaklık aralığı: 0 - 410 ° C Manuel veya otomatik Pensky-Martens kapalı kap tertibatı ile 40-360 ° C sıcaklık aralığında petrol ürünlerinin, 60-190 ° C arasındaki biyodizelin parlama noktası belirlenmektedir.
Ölçüm Standartları	Cihaz ASTM D93, IP 34, NFM 07019, ISO 2719, DIN 51758, GBT 261, JIS K2265-3 standartlarına uygun olarak parlama noktası belirlenmektedir.

Tablo 5. Yoğunluk ölçer

Markası	Krüss
Tipi ve Modeli	Tam otomatik DS7800
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	Cihaz 10–40 °C test sıcaklığı aralığında, 0–3 g/cm ³ ölçüm aralığında ± 0.0001 g/cm ³ hassasiyet ile ölçüm yapmaktadır.

Tablo 6. Hassas terazi cihazı

Markası	Bel Engineering
Tipi ve Modeli	Otomatik S1002
Sıcaklık Ölçüm Aralığı	Cihaz 1000 gr kapasiteli ve 0.01 gr aralıklar ile ölçüm yapabilmektedir.

Bu çalışmada, atık kızartma yağıın fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi yanı sıra atık kızartma yağından biyodizel üretimi, üretilen bu biyodizel ve dizel-biyodizel yakıt karışımının motor performans ve emisyon testleri yapılmıştır. Ham yağın karakterizasyonu, biyodizel üretimi, biyodizel ve karışımının termofiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve bunların motor test aşamaları aşağıdaki açıklanan şekilde yapılmıştır.

Biyodizel üretmek için kullanılan atık kızartma yağları farklı gıda işletmelerinden toplandı. Öncelikle atık kızartma yağı içindeki kalıntılardan arındırılmak için bezden geçirilerek filtre edildi.

Ham atık yağın asit değerine göre üretim süreci bir veya iki aşamadan gerçekleşir. Asit değeri-örnek ağırlığı Tablo 7'ye göre, eğer ham yağın asit değeri 4'den yüksek ise ham atık yağın asidik değerini düşürmek için önce esterifikasyon daha sonra transesterifikasyon olmak üzere süreç iki adımda gerçekleşir. Asit değeri 4'den küçük ise biyodizel üretim süreci doğrudan transesterifikasyon işlemi gerçekleştirilebilir.

Tablo 7. Asit değeri-örnek ağırlığı tablosu [19].

Asit Değeri	Örnek Ağırlığı (g)
0-1	20
1-4	10
4-15	2.5
15-74.9	0.5
≥ 75.0	0.1

Motor Test Ekipmanları

Test motoru

Bu çalışmada, Şekil 1'de gösterilen ANTOR marka, tek silindirli bir dizel motor kullanılmıştır. Motora ait teknik özellikler Tablo 8'de sunulmuştur.



Şekil 1. Test motoru.

Tablo 8. Test motorunun teknik özellikleri.

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm ³	510
Çap - Strok, mm - mm	85 - 90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Maksimum motor devri, rpm	3300
Maksimum motor torku, Nm	35
Maksimum motor gücü, kW	9
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Enjektör markası – püskürtme basıncı, bar	STANADYNE 41445190 – 190

Egzoz emisyon cihazı

Test sürecinde egzoz emisyonlarının ölçümü için Şekil 2’de gösterilen Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı ve duman emisyonu ölçümü için Bosch RTM 430 model duman ölçüm kiti kullanılmıştır. Cihaz, CO, CO₂, HC, NO emisyonlarını ve duman koyuluğunu, egzoz gazının hacimsel debisine oranını (%) olarak ölçebilmektedir. Cihaza ait teknik özellikler Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı ve teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçme Aralığı	Hassasiyet
CO ₂ , % v/v	0 – 18	0.01
CO, % v/v	0 – 10	0.001
HC, ppm	0 – 9999	1 ppm
NO, ppm	0 – 5000	1 ppm
Duman, %	0 – 100	0.1

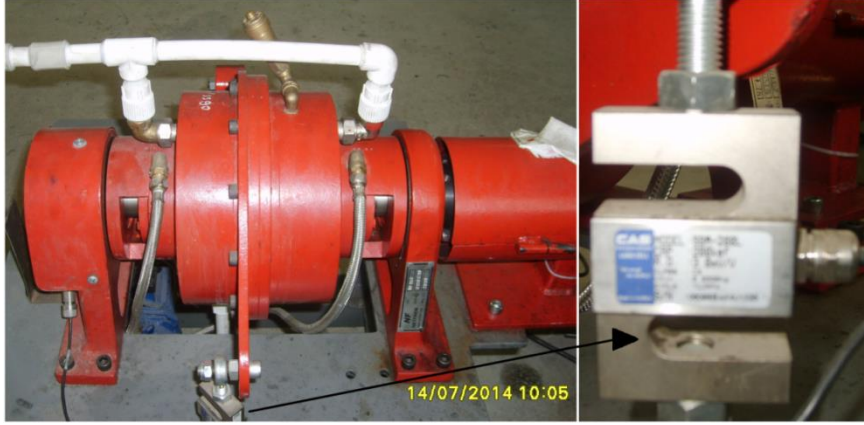


Şekil 2. Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı.

Motor test düzeneği ve dinamometre

Motorun yüklenmesi için Şekil 3.’te gösterilen Net Fren NF150 marka hidrolik dinamometre test sistemine monte edilmiştir. Motorun yüklenmesi anındaki değerler, 1 gr hassasiyetinde, 0–200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka SBA 200L model yük hücresi kullanılarak

okunmuştur. Dinamometrenin devir ölçüm aralığı 0-6500 rpm ve tork ölçüm aralığı 0 - 450 Nm'dir.



Şekil 3. NF 150 hidrolik dinamometre ve yük hücresi.

Yakıt tüketimi, Şekil 4'de gösterilen, 2.5 L kapasiteli bir yakıt deposunun altında bulunan Cas marka BCL-1L model, 0-3 kg ölçüm kapasiteli 0.01gr hassasiyetinde yük hücresi kullanılarak gr/s biriminden okunmuştur.



Şekil 4. Yakıt deposu.

Tablo 10. Hava debisi ölçüm cihazı

Markası	Airflow
Tipi ve Modeli	TA2 anemometer/thermometer
Ölçüm	Hava hızı, debi ve sıcaklık
Ölçüm Aralığı	Hız 0-30m/s, debi 0-2700 m ³ /s Hassasiyet Hız: okumanın hangisi büyükse ± 1 haneli $\pm 3\%$ veya ± 1 haneli ± 0.06 m /s; Debi: okumanın hangisi büyükse ± 1 haneli $\pm 3\%$ veya ± 1 haneli $\pm (0.06 * \text{giriş alanı}) \text{ m}^3 / \text{s}$

Silindir basıncı ölçüm sistemi

Silindir basıncı ölçüm sistemi, Şekil 5’de gösterildiği gibi, silindir basınç sensörü, amplifikatör, enkoder (manyetik devir algılayıcısı), veri toplama kartı ve sinyal koşullandırıcı ve filtresi elemanlarından oluşmaktadır. Silindir içi basıncın ölçülmesinde Kistler marka 6052C model piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Silindir içi basınç sensörü için motor silindir kapağına açılan yuva, üretici firmanın önerdiği şekilde, test motorunu üreten firma tarafından yapılmıştır. Basınç sensörü tarafından, silindir içi basıncına bağlı olarak üretilen voltajın basınç sinyaline dönüştürülmesini sağlayan ve hassas filtreleme özelliğine sahip olan, basınç sensoruna uyumlu Kistler marka 5018A model amplifikatör kullanılmıştır. Silindirde meydana gelen basıncın krank açısına bağlı değişiminin algılanabilmesi için Kübler marka ve Sendix 5000 model enkoder kullanılmıştır.



Şekil 5. Silindir basıncı ölçüm sistemi ekipmanları.

Tablo 11. Silindir basıncı ölçüm sistemi elemanlarının özellikleri.

Basıncı Sensörü	
Marka – Model	Kistler – 6052C
Tip	Piezoelektrik
Ölçüm aralığı, bar	0 – 250
Çalışma sıcaklığı, °C	-20 – 350
Amplifikatör	
Marka – Model	Kistler – 5018A
Kanal sayısı	1
Ölçüm aralığı, pC	2 – 2200000
Çıkış sinyali, volt	-10 – 10
Frekans, kHz	0 – 200
Çalışma sıcaklığı, °C	0 – 50
Enkoder	
Marka – Model	Kübler – Sendix 5000
Ölçüm aralığı, rpm	0 – 12000
Çalışma sıcaklığı, °C	-40 – 85

Tablo 11’de silindir basıncı ölçüm sistemi elemanlarının özellikleri sunulmuştur. Test süresince elde edilen silindir basıncı – krank açısı değerleri, National Instruments firmasına ait NI usb 6210 model data logger ile Nel Elektronik firması tarafından hazırlanan sinyal koşullandırıcı ve filtreleyici ile okunmuş ve depolanmıştır.

METODOLOJİ

Biyodizel Üretimi

Ham atık yağın asit değerinin belirlenmesi

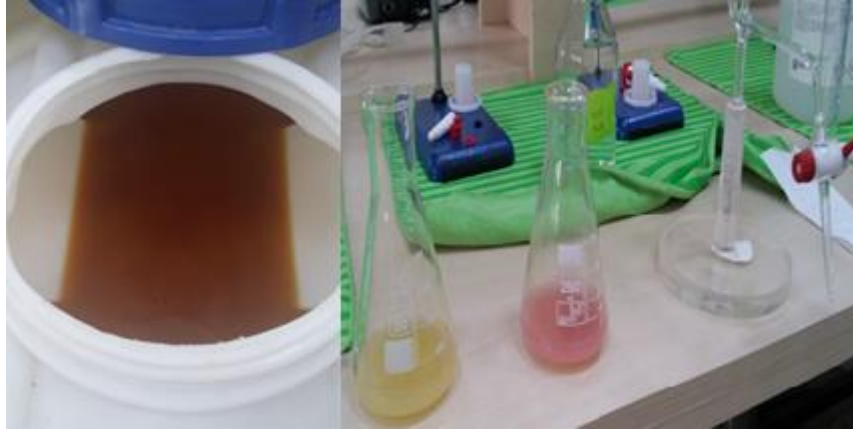
Asit değerini belirlemek için 1 L distile suya 40 gr Sodyum Hidroksit koyarak 1 molar (mol/L) NaOH çözeltisi elde edilir. Çalışmamızda, 4 gr NaOH koyarak 0.1 N (ε/L) NaOH çözeltisi elde ediyoruz.

Bürete ölçek noktası sıfır olacak şekilde 0.1 N NaOH konulur. Beher içine 3 g atık yağ, 50 ml Etanol ve 5 damla Phenolphthalein eklenerek iyice karıştırılır. Daha sonra karışım 55° C'ye kadar etüvde ısıtılır.

Etüvde ısıtılan karışım üzerine 0.1 N NaOH yavaşça damlatılır ve bir yandan da karışım elle çalkalanır. Çözeltinin her yeri pembe olana kadar sodyum hidroksit derişimi damlatılır. Çözeltinin her tarafı ilk kez pembe olduğunda kısılr ve büret ölçeğinden ne kadar NaOH kullanıldığı ölçülerek asit değeri aşağıdaki şu formülle hesaplanır.

AsitDeğeri:

$$= \frac{\text{NaOH Mol Kütlesi} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) \cdot \text{NaOH Normalitesi} \left(\frac{\text{mol}}{\text{L}} \right) \cdot \text{Brütte okunan değer (mL)}}{\text{Örnek ağırlığı (g)}}$$
$$= \frac{\text{mgNaOH}}{\text{g}}$$



Şekil 6. Ham atık yağ ve asit değerinin belirlenmesi.

Transesterifikasyon işlemi

Transesterifikasyon işlemi için 1000 ml atık yağ, yağ hacminin (volumetrik oranda) % 25'i kadar metanol (250 ml) ve yağ kütlesinin (kütlesel oranda) %1'i kadar katalizör NaOH (1000 ml atık yağ = 938 gr, %1 NaOH =9.38 gr) metanolde karıştırılarak çözelti hazırlanır.



Şekil 7. Metanol ve NaOH katalizörü ile çözelti hazırlanması.

Daha sonra metanol-NaOH derişimi 60 ° C'ye kadar ısıtılan reaktördeki yağa eklenerek 1.5 saat karıştırılır.



Şekil 8. Katalizör ve alkolün 60 ° C'de 1.5 saat biyodizel reaktöründe karıştırılması.

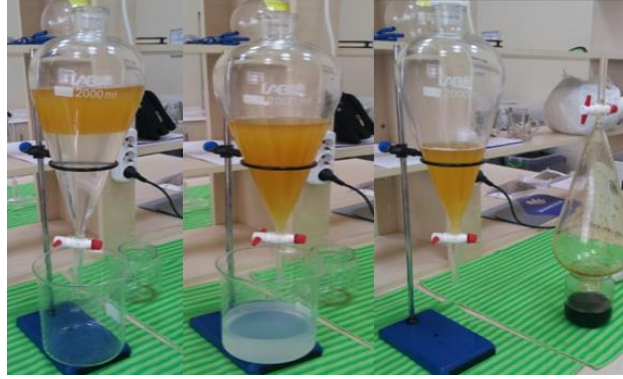
Biyodizeli ayırma, yıkama, kurutma ve filtrasyon işlemleri

- Ayırma hunisinde 1 gün dinlendirilen karışımda biyodizel üst tarafta birikir, gliserin alt tarafta olacak şekilde çöker ve böylece biyodizel gliserinden ayrılarak alınır.



Şekil 9. Biyodizelin gliserinden ayırma işlemi

- Yıkama işleminde biyodizel 55 ° C’de ki distile su ile en az 3 kez çok yavaş şekilde karıştırılarak içindeki saf yapıyı bozan atıkların giderilmesi sağlanır. Eğer yıkama işleminde karıştırma ve çalkalama işlemi çok hızlı yapılırsa biyodizel içinde su kalabilir bu istenmeyen bir durumdur.



Şekil 10. Biyodizelin yıkanma işlemi.

- Yıkanan biyodizel, 95 °C 200 rpm’de 1 saat evaporatör ile fiziksel kurutma yapılarak biyodizel içindeki su buharlaştırılır.



Şekil 11. Biyodizeli fiziksel ve kimyasal kurutma işlemi.

- Filtrasyon işleminde önce biyodizele göz kararı Na_2SO_4 (Sodyum Sülfat) eklenir. İçindeki su zerrecikleri Na_2SO_4 ile absorbe edilerek çökmesi sağlanır böylece kimyasal kurutma işlemi ile biyodizel içerisindeki su uzaklaştırılmış olur.



Şekil 12. Filtrasyon işlemi ve son ürün.

- Filtrasyon işleminde orta incelikte veya en ince filtre kağıdı ile filtre edilerek biyodizel içerisindeki safsızlıklar tamamen giderilir.

Biyodizelin Kimyasal ve Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

0.3-0.5 g örnek hazırlanan 1 ml 0.2 N NaOH metanol çözeltisine ilave edilir. Daha sonra 10 ml n-heksan, 4000 rpm'de 30 dakika süreyle santrifüjlemek için çözeltiye eklenir. Tüm işlemler oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Çözeltinin üstünde biriken örnek, biyodizelin yağ asidi kompozisyonunu analiz etmek için GS-MS FLD detektörüne alınır.

Biyodizelin Gaz Kromatografisi (GC) Yöntemi

Atık kızartma yağı biyodizelinin yağ asidi bileşenleri (FAC) profili alev iyonizasyon detektörü ve RT2560 100 m x 0.25 μ m x 0.32 mm'lik kılcal sütun ile donatılmış gaz kromatografisi (GC) (Shimadzu, Japonya) kullanılarak test edilmiştir. Analizler çeşitli yağlar içerisindeki toplam yağ asidi bileşenlerini analizi için optimize edilmiş GS metodu ile yapılmıştır. 1 μ L biyodizel örneği gaz kromatografisine enjekte edilmiştir. Başlangıç sıcaklığı olarak 140 °C'de 2 dakika tutulmuş ve daha sonra 165 °C'ye kadar her dakikada 4 °C artırılmış, 192 °C'ye kadar ise her dakika 2 °C ve son olarak 240 °C'ye kadar her dakika 4 °C artırılarak kademeli olarak ısıtılmıştır. Sütun son sıcaklıkta bir 5 dakika daha tutulmuştur. Fırın enjektör ve detektör uçları sırası ile 140, 240 ve 260 °C'ye ayarlanmıştır. Taşıyıcı helyum gazı 50:1 bölünme oranında 0.0172 mL/s akış hızındadır. Tablo 13'de GC işletme koşullarının özetini göstermektedir.

MOTOR TESTLERİ

Testlerin yapılışı

Testlere başlamadan önce, kullanılan cihazların kalibrasyonları yapılmış, motorun rodaj süresi geçirilmiş ve ön testler yapılarak motorun çalışma şartları belirlenmiştir. Ön testler sonucunda, motorun kararlı hale gelme süresi tespit edilmiştir. Tüm test şartlarında tüm yakıtlar için testlerden önce motorun kararlı hala gelmesi sağlanmıştır. Ön testler sonucunda karşılaşılan tüm eksiklikler giderildikten sonra ana test sürecine geçilmiştir.

Tam gaz konumunda, 1000 rpm motor hızından başlayarak dinamometre yükü kontrolü ile 200 rpm aralıklarla motor hızları sabit tutularak 3000 rpm'ye kadar, motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri analizleri yapılmıştır. Testlere önce dizel yakıtı ile başlanmış, daha sonra diğer yakıtlar test edilmiştir.

Testlerde Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler

Testler süresince motor torku, yakıt tüketimi, hava debisi, egzoz gaz sıcaklığı, krank mili açısı ve silindir basıncı verileri ölçülerek diğer parametreler hesaplanmıştır.

Motor Gücü

$$P_e = \frac{M_e \cdot n}{9549.3}, (kW)$$

Bu eşitlikte P_e motor gücü (kW), M_e motor torku (Nm), n motor devri (rpm) göstermektedir.

Özgül Yakıt Tüketimi

$$b_e = \frac{\dot{m}_y \cdot 3600}{P_e}, (gr/kWh)$$

Bu eşitlikte b_e özgül yakıt tüketimi (g/kWh), $\dot{m}_y$ yakıt tüketimi (g/s), P_e motor gücü (kW) göstermektedir.

Termik verim

$$\eta_t = \frac{3600}{b_e H_u}, (\%)$$

Bu eşitlikte η_t termik verim (%), b_e özgül yakıt tüketimi (g/kWh), H_u yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg) göstermektedir.

Volumetrik verim

$$\eta_v = \frac{2\dot{m}_h}{\rho_h V_h n}, (\%)$$

Bu eşitlikte η_v volümetrik verim, $\dot{m}_h$ emilen havanın debisi (m³/min), ρ_h emilen havanın yoğunluğu (kg/m³), V_h silindir hacmi (m³), n motor devri (rpm) göstermektedir.

Net ısı salımı

$$\frac{dQ_{net}}{d\theta} = \frac{\gamma}{\gamma-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{\gamma}{\gamma-1} V \frac{dP}{d\theta}, (J)$$

Bu eşitlikte dQ_{net} (J) yanma sonunda silindir duvarı ve yanma odası duvarına geçen enerjiyi, γ özgül ısılar oranını, θ (°KMA) krank açısını, V (m³) silindir hacmini, P (bar) silindir basıncını göstermektedir.

Egzoz Emisyonu Ölçümü

Farklı yakıtlar kullanılarak yapılan testler sonucunda elde edilen karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO₂), yanmamış hidrokarbon (HC), azot monoksit (NO), duman koyuluğu ve egzoz gaz sıcaklığı (T_{eg}) değerleri karşılaştırılmıştır.

4. BULGULAR

Yakıt Özellikleri

Bu çalışma aşamasında ham atık yağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretim aşamaları gerçekleştirilmiştir.

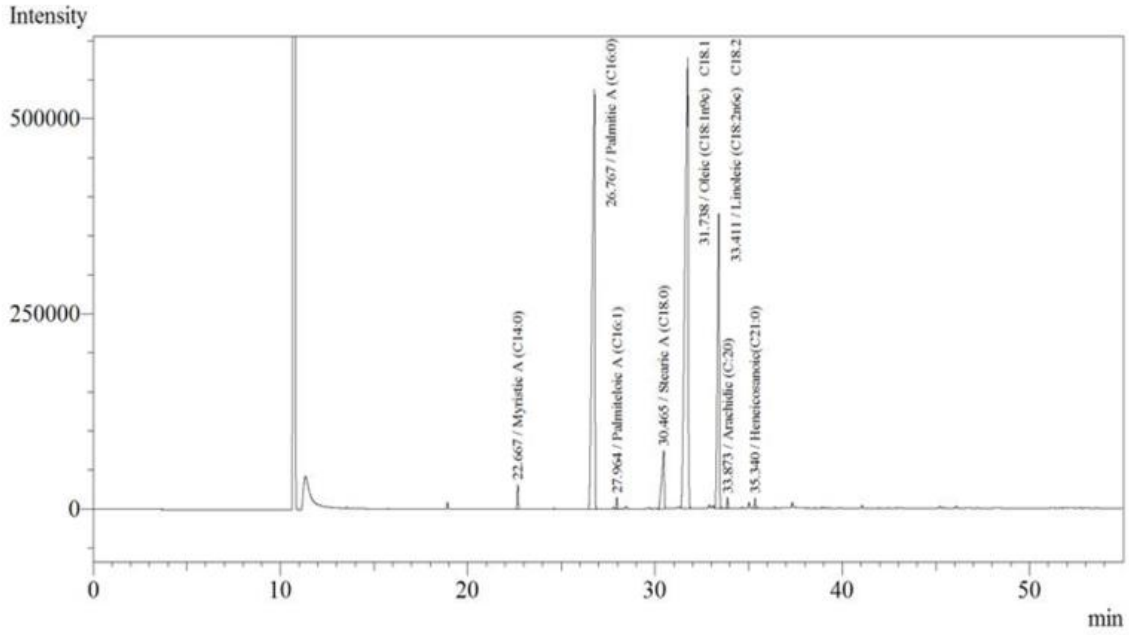
Piyasadan satın alınan Euro dizelin (D100), ham atık kızartma yağın, üretilen biyodizelin (B100) ve dizel-biyodizel (D80B20) yakıt karışımının yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, bulutlanma noktası, akma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası, asit değeri, setan sayısı, iyot sayısı ve sabunlaşma sayısı gibi önemli termo-fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenerek tablo haline getirilmiştir.

Tablo 12. Euro dizel, ham yağ, biyodizel ve yakıt karışımının özellikleri.

Özellik	Euro Dizel	Ham Yağ	Biyodizel	D80B20
Kinematik viskozite 40 °C’de (mm ² /s)	2.3255	44.1762	4.6557	2.9712
Bulutlanma noktası (°C)	-7	7	11	-7
Akma noktası (°C)	-26	5	10	-10
Soğuk filtre tıkanma noktası (°C)	-25	-	9.7	-15
Parlama noktası (°C)	65	>324	157	67
Yoğunluk 15 °C’de (g/cm ³)	0.8405	0.9205	0.885	0.8477
Yoğunluk 20 °C’de (g/cm ³)	0.8295	0.9171	0.8766	0.8463
Asit Değeri (mg NaOH/g yağ)	-	1.679	0.127	
Setan Sayısı	-	-	56.948	
İyot Değeri (g I/100 g)	-	-	70.549	
Sabunlanma Sayısı	-	-	205.795	

Tablo 13. GC çalışma şartları

Özellik	Tanımlayıcı Özellikler
Taşıyıcı gaz	Helyum
Doğrusal hız	19.10 cm/s
Akış hızı	1.03 mL/min (Kolon akışı)
Detektör sıcaklığı	250.0 °C
Kolon kafa basıncı	264.4 kPa (Akış kontrolü yapılır)
Sütun boyutu	RT2560, 100.0 m x 0.25 µm x 0.32 mm ID
Enjektör sütun fırını	240.0 °C
Sıcaklık rampası	140.0 °C (2 dk beklet)
	4 °C/min 165.0 °C
	2 °C/min 192.0 °C
	4 °C/min 240.0 °C (5 dk beklet)



Şekil 13. Yağ asidi bileşim difraksiyonu.

Tablo 14’de üretilen biyodizelin yağ asidi bileşenlerinin miktarı sırası ile % 39.44 doymamış yağlar, %43.09 tekli doymamış yağlar ve % 17.47 çoklu doymamış yağ asidi bileşenlerinden oluşmaktadır. Biyodizel daha çok sırası ile % 42.72 Oleic ve % 33.48 Palmitic yağ asitlerinden oluşmaktadır.

Oleic yağ asidi miktarı biyodizel üretim verimliliğinin bir göstergesidir. Yüksek miktarda Linoleic asit miktarı biyodizelin daha düşük sıcaklık özellikleri göstermesini sağlamaktadır. Bu yüzden, yağ asidi miktarı biyodizel üretim verimliliği ve soğuk akış özellikleri için önemlidir [9].

Tablo 14. Üretilen biyodizelin yağ asidi bileşeni

No	Yağ asidi	Moleküler Ağırlık	Yapı	Sistematik İsmi	Formül	Biyodizel(Alan %)
1	Myristic	228	14:0	Tetradecanoic	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0.7839
2	Palmitic	256	16:00	Hexadecanoic	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	33.4768
3	Palmiteloic	254	16:1	Hexadec-9-enoic	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0.3684
4	Stearic	284	18:0	Octadecanoic	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	4.4319
5	Oleic	282	18:1	cis-9-Octadeceic	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	42.7246
6	Linoleic	280	18:2	cis-9-cis-12 Octadecadienoic	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	17.4713
7	Arachidic	312	20:0	Eicosanoic	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	0.3532
8	Heneicosaonic	327	21:0	Heneicosanoic acid	C ₂₁ H ₄₂ O ₂	0.3899
Doymuş yağlar						39.4357
Tekli doymamış yağlar						43.093
Çoklu doymamış yağlar						17.4713
Toplam						100

Biyodizelin Setan Sayısı, Sabunlaşma Sayısı ve İyot Değerinin Belirlenmesi

Üretilen biyodizelin setan sayısı (CN), iyot değeri (IV) ve sabunlaşma sayısı (SN) ampirik olarak aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlendi [20].

$$SN = SUM \left(\frac{560 \times A_i}{MW_i} \right)$$

$$IV = SUM \left(\frac{254 \times D \times A_i}{MW_i} \right)$$

$$CN = \left(46.3 + \left(\frac{5458}{SN} \right) - (0.225 \times IV) \right)$$

Burada A_i her bileşenin yüzdesi, D çift bağ sayısı ve MW_i her bileşenin molekül kütlesini ifade etmektedir. Deneysel formüllerden yola çıkarak yapılan hesaplamalarda sabunlaşma sayısı 205.795, iyot değeri 70.549 ve setan sayısı 56. 948 olarak bulunmuştur.

Bununla birlikte, üretilerek termo-fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenen yakıtların (D100, B100) ve hazırlanan yakıt karışımının (D80B20) motor performansı ve emisyon testleri yapılmıştır.

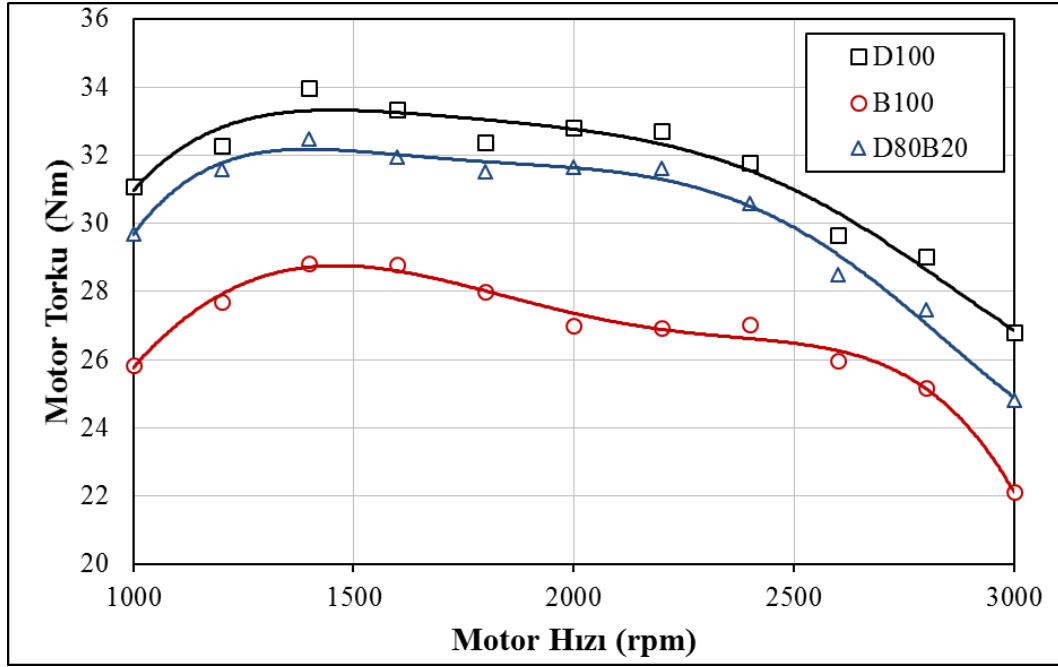
Motor Test Deneyleri

Test sonuçlarına göre biyodizelin etkileri, motor performansı, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyon parametreleri olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

Motor Performans Sonuçları

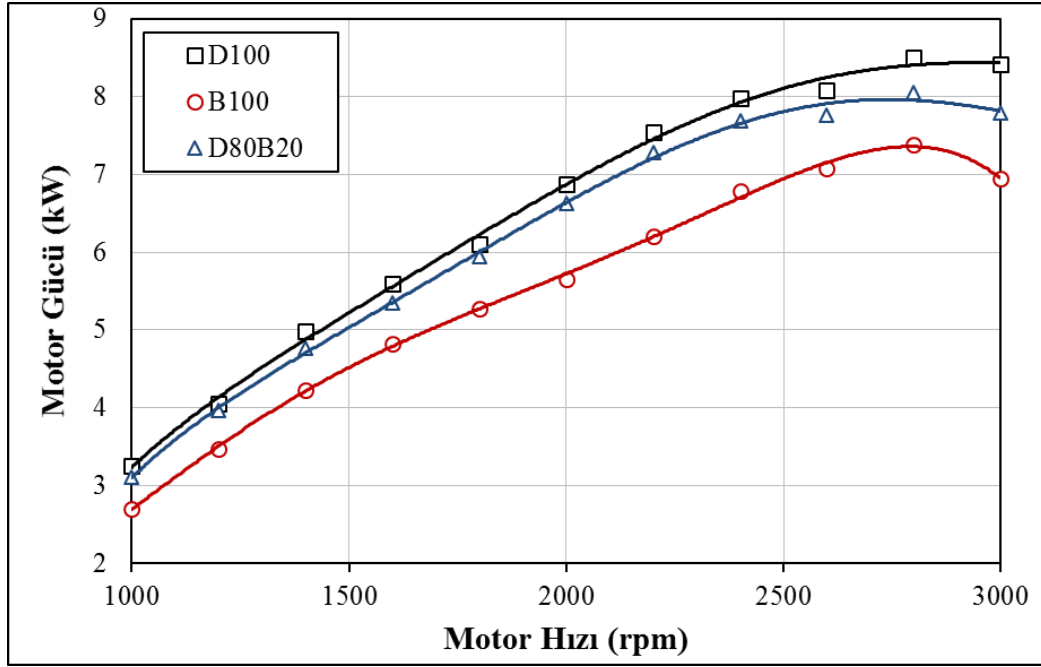
Farklı yakıtlar kullanarak elde edilen testler sonucunda elde edilen motor performans değerleri motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve termik verim parametreleri olarak karşılaştırılmıştır.

Biyodizelin motor torkuna etkileri Şekil 14’de gösterilmiştir. En yüksek tork değerlerinin D100 yakıtı ile elde edildiği, en düşük tork değerlerinin ise B100 yakıtı ile elde edildiği görülmektedir. Biyodizel kullanımı sonucunda, D80B20 yakıtı ile elde edilen tork değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %4.9, B100 yakıtı ile elde edilen tork değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %15.16 azalmıştır.



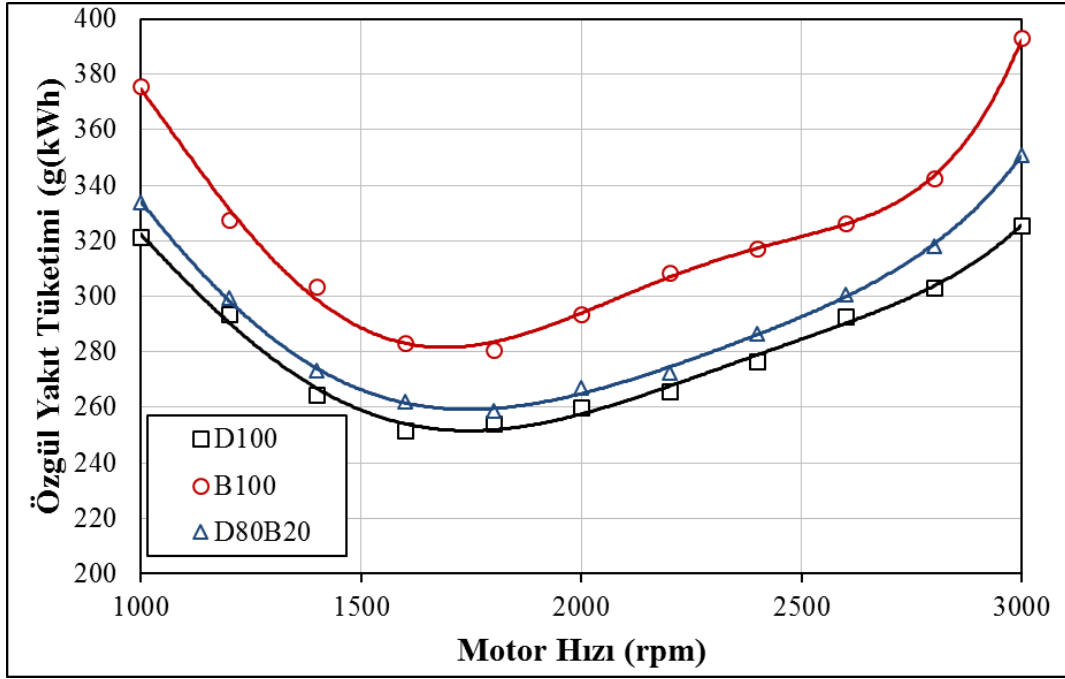
Şekil 14. Test yakıtlarının motor hızına bağlı tork değerleri.

Biyodizelin motor gücüne etkileri Şekil 15’de gösterilmiştir. En yüksek güç değeri D100 yakıtı ile 2800 rpm motor hızında yaklaşık olarak 8.51 kW elde edilmiştir. Biyodizel kullanıldığında ise, maksimum motor gücü değerleri B100 yakıtı ile yaklaşık olarak 7.38 kW, D80B20 yakıtı ile 8.05 kW elde edilmiştir.



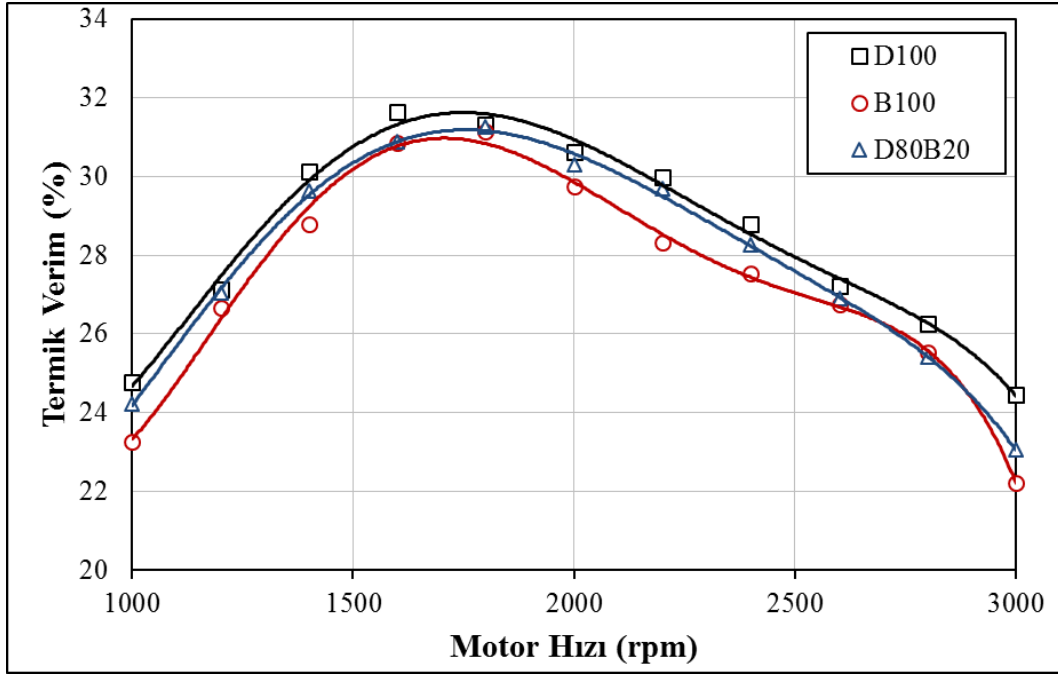
Şekil 15. Test yakıtlarının motor hızına bağlı güç değerleri.

Tüm yakıtlar için en düşük özgül yakıt tüketimi değerleri 1600 rpm motor hızında elde edilmiştir. Biyodizel kullanımı sonucunda, D80B20 yakıtı ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %3.56, B100 yakıtı ile elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %14.09 artmıştır. Test yakıtlarına ait özgül yakıt tüketiminin değişimleri Şekil 16’da gösterilmiştir.



Şekil 16. Test yakıtlarının motor hızına bağlı özgül yakıt tüketimi değerleri.

Şekil 17’ de biyodizel kullanımının termik verim değerleri üzerine etkisi görülmektedir. Şekilde, biyodizelin termik verim değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Yapılan testler sonucunda D80B20 yakıtı ile elde edilen termik verim değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %1.9, B100 yakıtı ile elde edilen termik verim değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %3.78 azalmıştır.



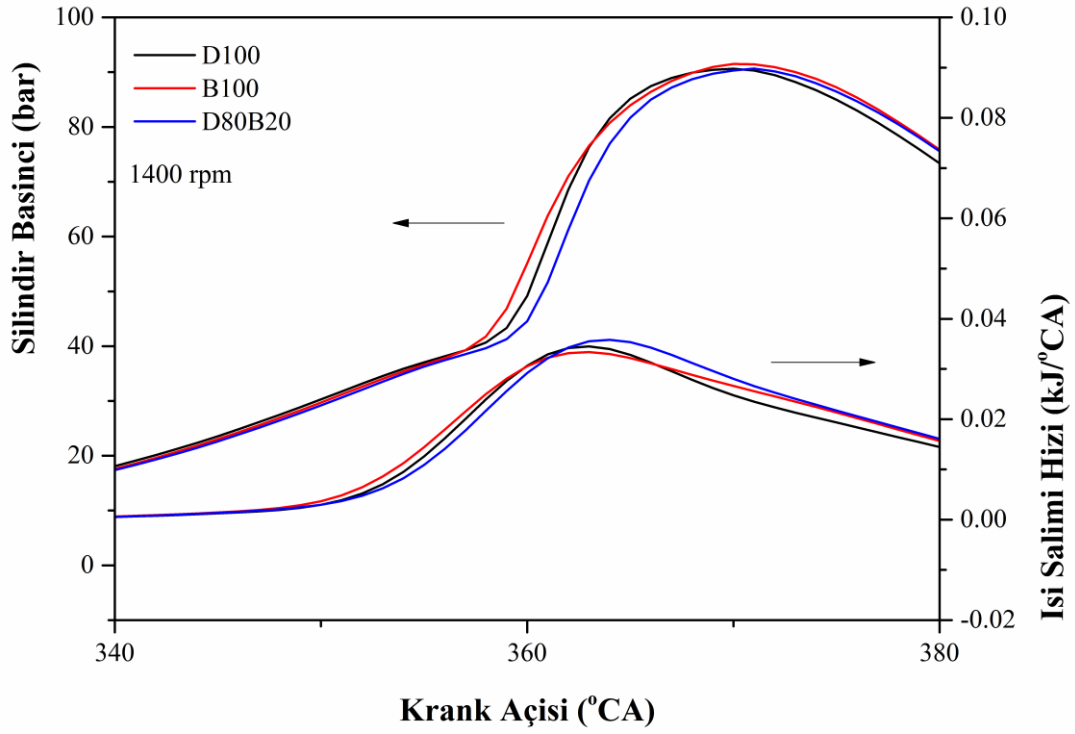
Şekil 17. Test yakıtlarının motor hızına bağlı termik verim değerleri.

Test sonuçlarına göre, biyodizelin ile motor performans parametrelerini genel olarak bir miktar olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Bu negatif etkinin nedeni, öncelikle biyodizel yakıtının dizel yakıtına göre daha düşük ısı değere sahip olmasıdır. Isıl değer düşmesi ile yanma sonu silindir içerisinde oluşan ısı enerjisi azaldığı için biyodizel kullanımı ile motor performans parametreleri dizel yakıtına göre bir miktar kötü çıkmıştır. Bununla birlikte, biyodizelin viskozitesinin yüksek olması, kötü püskürtme karakteristiklerine neden olmuştur. Püskürtülen D80B20 ve B100 yakıtlarının viskoziteleri yüksek olduğu için yakıt zerreciklerinin çapları D100 yakıtına göre daha iridir. Bu nedenle karışım biyodizel yakıtları püskürtüldüğünde iyi atomizasyon olamamakta, silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya iyi nüfuz edememektedir. Bu durumun yakıtın buharlaşma süresini uzattığı ve yakıtın daha uzun bir genişleme süresince yanmasına neden olduğu için biyodizel kullanımı motor performans parametrelerini negatif etkilemiştir. Ayrıca, biyodizel içerisinde ki oksijen, birim zamanda silindire alınan yakıt miktarının azalmasına sebep olduğu için biyodizel performans parametrelerini olumsuz etkilemiştir.

Yanma Analizi Sonuçları

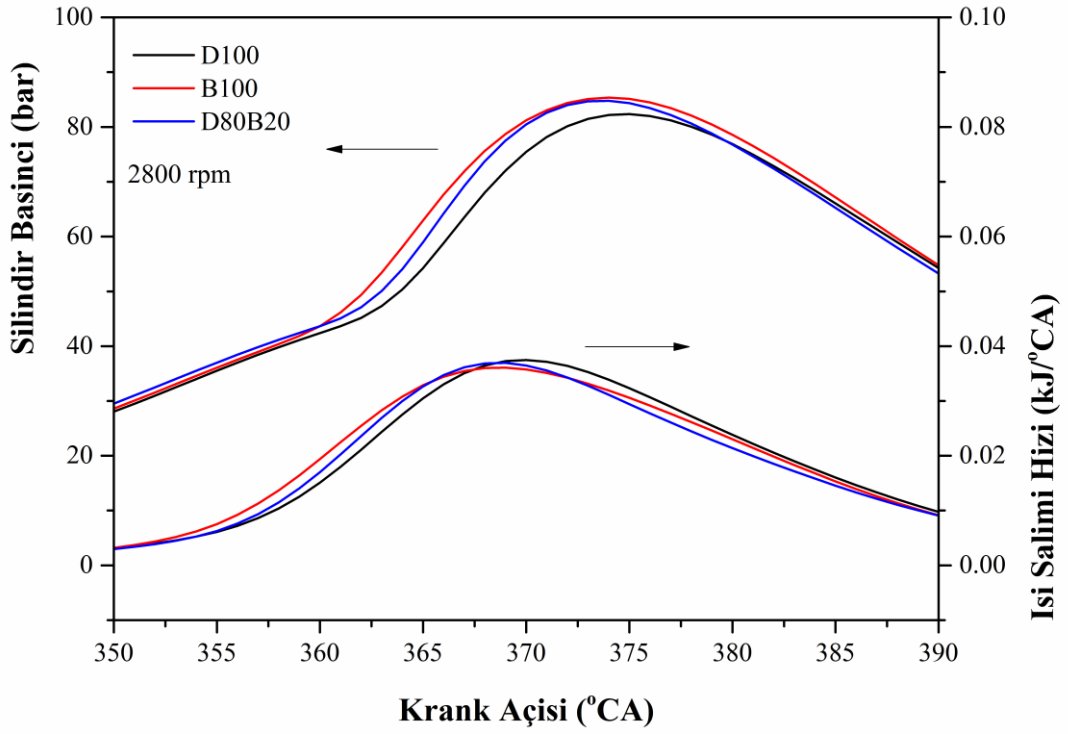
Yanma analizi her bir test yakıtı için maksimum motor torkunun ve maksimum motor gücünün elde edildiği devirlerde (1400 ve 2800 rpm), basınç ve ısı salımı karakteristiklerinin karşılaştırılması şeklinde incelenmiştir.

Yanma sonu açığa çıkan basınç, yanma süresi ve iş zamanı süresince elde edilen toplam basınçtır ve bu basınç sayesinde diğer zamanlar oluşur [21]. Yanma sonucu oluşan ısının silindir içerisinde krank mili açısına bağlı olarak değişimi ısı salımı parametresi olarak incelenmiştir. Isı salımı her bir krank mili açısında değişen hacim, basınç, ısı transferi ve yakıtın özgül ısıları oranına bağlıdır. Bu bölümde bir çevrim boyunca oluşan silindir içi basınç ve ısı salımı hızı parametreleri krank mili açısına (°CA) göre incelenmişlerdir. Biyodizel kullanımı ile 1400 rpm ve 2800 rpm motor hızlarında elde edilen silindir basıncı ve ısı salımı hızı değişimleri Şekil 18 ve 19’da gösterilmiştir. 1400 rpm motor hızında, en yüksek silindir basıncı değeri D100 ve B100 yakıtları için 370 °CA’da, D80B20 yakıtı için ise 371 °CA’da elde edilmiştir. 1400 rpm motor hızında, en yüksek ısı salımı hızı değeri ise D100 ve B100 yakıtları için 363 °CA ’da, D80B20 yakıtı için ise 364 °CA’da elde edilmiştir. 2800 rpm motor hızında, en yüksek silindir basıncı değeri D100 yakıtı için 375 °CA’da, D80B20 ve B100 yakıtları için ise 374 °CA’da elde edilmiştir. Aynı motor hızında, en yüksek ısı salımı hızı değeri ise D100 yakıtı için 370 °CA ’da, D80B20 ve B100 yakıtları için ise 369 °CA’da elde edilmiştir.



Şekil 18. 1400 rpm motor hızında, test yakıtlarının krank açısına bağlı basınç ve ısı salımı hızı değerleri.

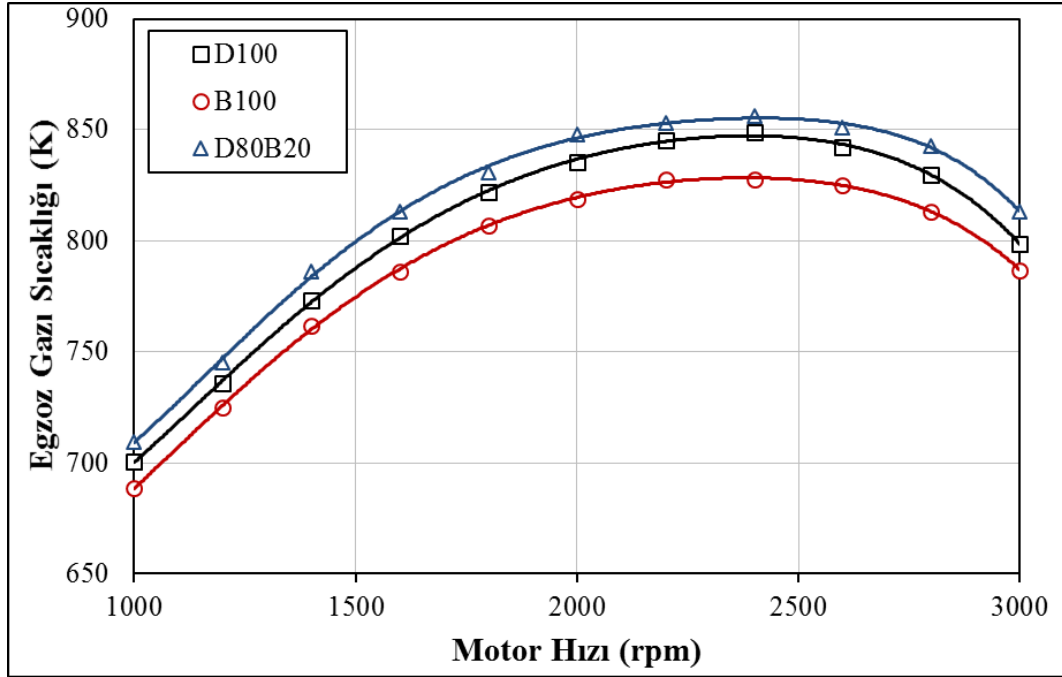
Biyodizel kullanımının maksimum silindir basıncı değerini artırması, içeriğinde bulunan oksijenin D100 yakıtına göre bir anlık yanma hızını artırması ile açıklanabilir. Bununla birlikte biyodizel karışımlarının tutuşma gecikmesi sürelerindeki bir miktar azalma da maksimum silindir basıncı değerlerindeki artışın bir nedeni olarak düşünülmektedir. Biyodizelin ısı salımı hızı değerlerinin arttığı görülmektedir. Biyodizelin viskozite ve yoğunluk değerleri D100 yakıtından daha yüksektir. Bu durum püskürtme karakteristiklerini kötüleştirir. Biyodizel buharlaştırma ısını artırdığı için yanmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yanma başlangıcına kadar geçen süre içerisinde silindirde daha fazla miktarda yakıt birikir ve oksijen içeriği nedeni ile bir anda yüksek hızda yanma başlar. Bu durum biyodizelin ısı salımı oranlarının artmasına neden olur. Biyodizelin yanma hızı ilk tutuşma periyodunda yüksek iken bu hız maksimum noktaya gelirken yavaşlamıştır. Daha sonra dizel yakıtının ısı salımı hızı biyodizele göre daha da düşmüştür.



Şekil 19. 2800 rpm motor hızında, test yakıtlarının krank açısına bağlı basınç ve ısı salımı hızı değerleri.

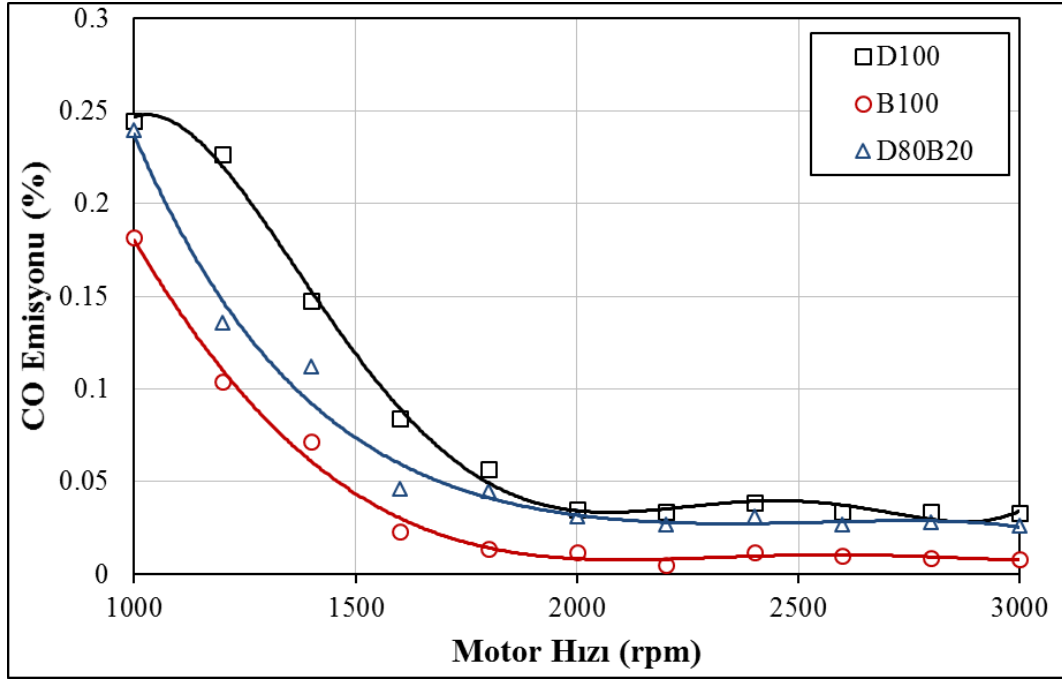
Egzoz Emisyon Sonuçları

Şekil 20’de biyodizelin egzoz gazı sıcaklığına etkisi gösterilmiştir. Tüm test yakıtlarının maksimum egzoz gazı sıcaklığı 2400 rpm motor hızında elde edilmiştir. Biyodizel kullanımı sonucunda, D80B20 yakıtı ile elde edilen egzoz gazı sıcaklığı değerleri D100 yakıtına göre ortalama olarak %1.31 artmıştır. Biyodizelin oksijen içeriği sayesinde dizel yakıtına göre daha yüksek oranda tam yanma durumu oraya koyar. Ayrıca biyodizel kullanımı ile tutuşma gecikmesinin bir miktar kısılması ve yanmanın daha erken başlaması yanma süresini de kısalttığından egzoz gaz sıcaklığı artmıştır. B100 yakıtının ise egzoz gazı sıcaklığı değeri D100 yakıtına göre %1.87 azalmıştır. Çünkü yakıt içeriğindeki oksijen miktarı artmış ve yakıtın yanma ısısı azalmıştır.



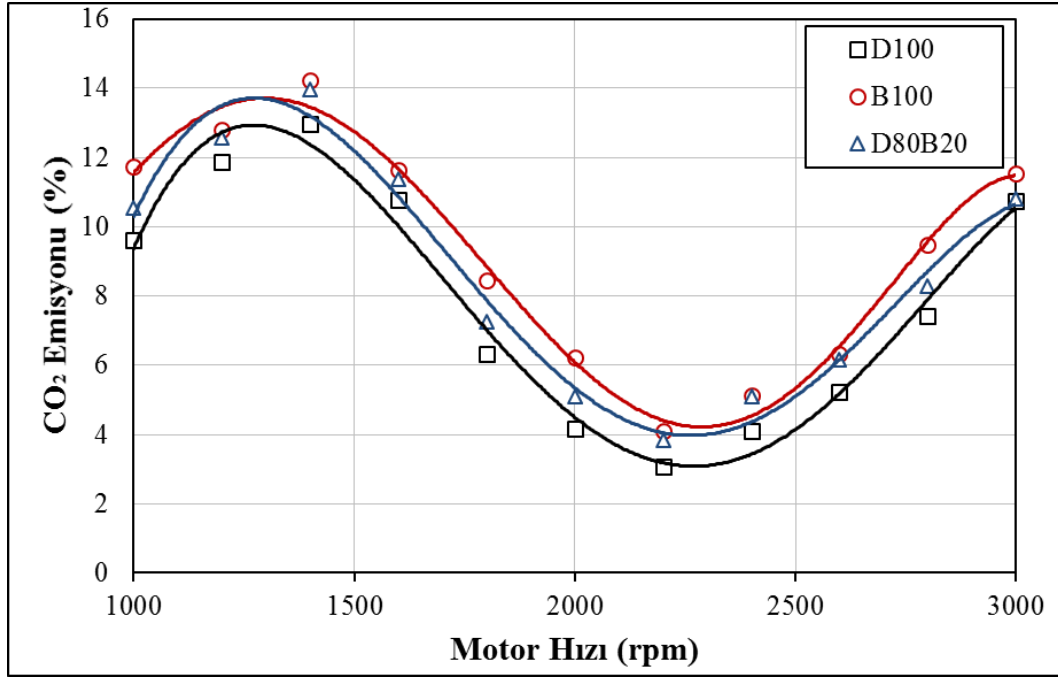
Şekil 20. Test yakıtlarının motor hızına bağlı egzoz gazı sıcaklığı değerleri.

Biyodizel kullanımının CO emisyonuna etkisi Şekil 21’de gösterilmiştir. En yüksek CO emisyonu değerleri 1000 rpm motor hızında D100 yakıtı ile elde edilirken, en düşük CO emisyonu değerleri 2200 rpm motor hızlarında B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizel kullanımının CO emisyonu değerlerini yaklaşık olarak ortalama %65.4 oranına kadar düşürdüğü görülmektedir. Bu durum, biyodizelin oksijen içermesi ile açıklanabilir. Yakıtların oksijen içermesi C atomlarının yeteri kadar O atomu bulmasına ve CO₂ gazına dönüşmesine neden olur.



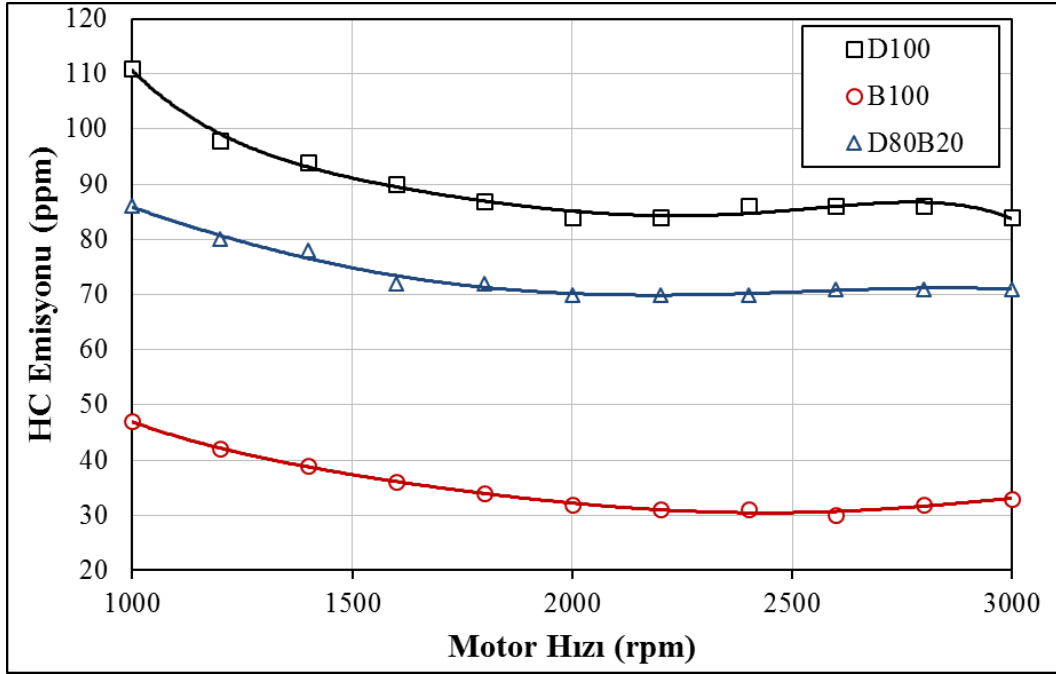
Şekil 21. Test yakıtlarının motor hızına bağlı CO emisyonu değerleri.

Tüm test yakıtları için CO₂ emisyonu değerleri düzgün bir salınım yapmış ve maksimum torkun oluştuğu 1400 rpm motor hızında maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 22 biyodizelin CO₂ emisyonu değerlerine etkisini göstermektedir. Biyodizel kullanımı ile elde edilen CO₂ emisyonu değerlerinin dizel yakıtından yaklaşık olarak ortalama %22.3 daha yüksek olduğu görülmektedir. En yüksek CO₂ emisyonu B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin CO₂ emisyonu değerlerini artırması, biyodizelin C atomu sayısının dizel yakıtına göre yüksek olması ile açıklanabilir.



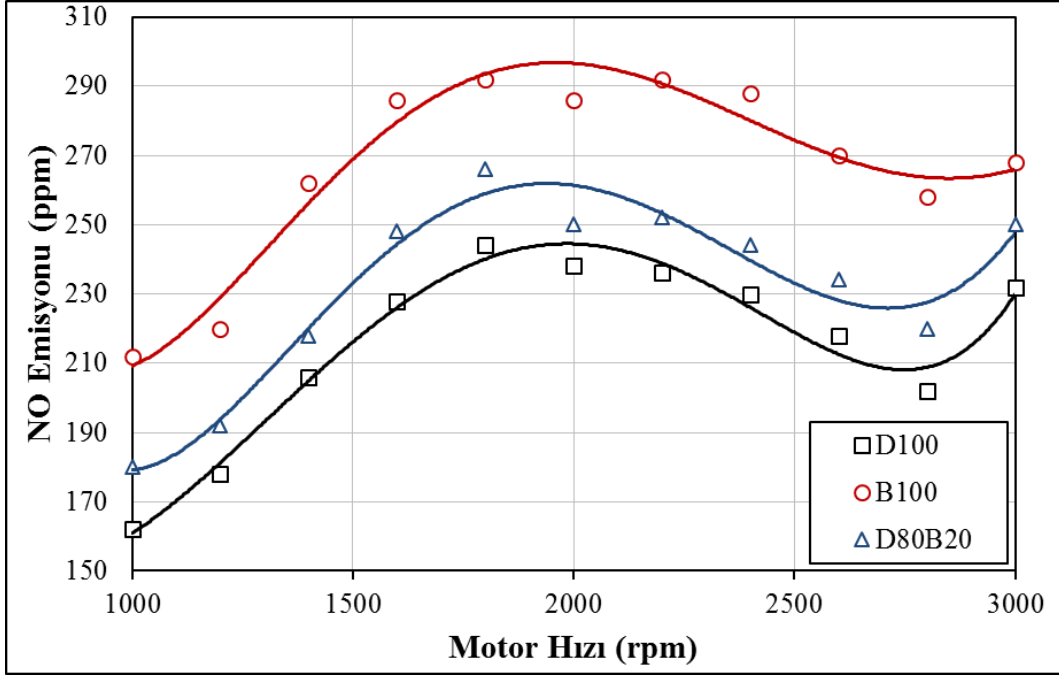
Şekil 22. Test yakıtlarının motor hızına bağlı CO₂ emisyonu değerleri.

Şekil 23’de biyodizel kullanımının HC emisyonlarına etkisi gösterilmiştir. Biyodizel kullanımı ile elde edilen HC emisyonu değerleri dizel yakıtına göre yaklaşık olarak ortalama %61.07’e kadar azalmıştır. En düşük HC emisyonu B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin HC emisyonu değerlerini düşürmesi, biyodizelin oksijen içeriğinin yanma verimini iyileştirerek egzoz gazı sıcaklığını artırması ile açıklanabilir. Biyodizelin dizel yakıtından daha erken yanmaya başlaması tam yanma için gerekli zamana da imkan sağlaması biyodizel kullanımının HC emisyonlarını azalttığı söylenebilir.



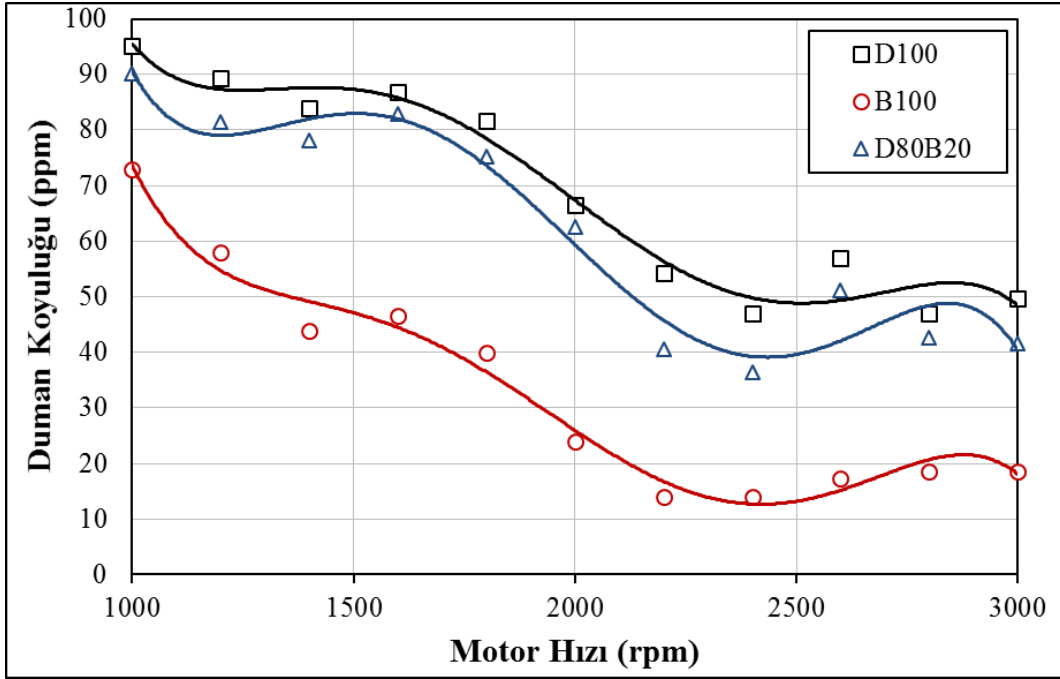
Şekil 23. Test yakıtlarının motor hızına bağlı HC emisyonu değerleri.

Şekil 24 biyodizel karışımlarının NO emisyonlarına etkisini göstermektedir. Biyodizelin NO değerleri D100 yakıtından yaklaşık olarak ortalama %23.91 daha yüksektir. Biyodizel kullanımı ile elde edilen maksimum NO değeri B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin hava fazlalık katsayısı değerleri D100 yakıtına oldukça yakın değerlerdedir. Biyodizelin oksijen içeriği ile birlikte egzoz gaz sıcaklığının da D100 yakıtından yüksek olması ve silindir içerisinde bulunan N atomlarının yeteri kadar O atomu bularak tepkimeye girmesine neden olması biyodizelin NO emisyonunu artırdığı görülmüştür.



Şekil 24. Test yakıtlarının motor hızına bağlı NO emisyonu değerleri.

Şekil 25 biyodizel kullanımının duman koyuluğuna etkisini göstermektedir. Biyodizel kullanımı ile duman koyuluğu değerleri D100 yakıtına göre yaklaşık olarak ortalama %54.94 azalmıştır. Biyodizel kullanımı ile en düşük duman koyuluğu B100 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin duman koyuluğu değerlerinin D100 yakıtından düşük olması, biyodizelin oksijen içeriği sayesinde C atomlarının tepkimeye girebilmek için daha çok O atomu bulması ve böylece C atomlarının CO veya CO₂ olarak atılması ile açıklanabilir. Bununla birlikte biyodizelin D100 yakıtına göre yanmaya daha erken başlaması, C atomlarının O atomları ile tepkimeye girmesi için gerekli yanma zamanının sağlanması biyodizelin duman koyuluğunu düşürmesinin sebebi olarak söylenebilir.



Şekil 25. Test yakıtlarının motor hızına bağlı duman koyuluğu değerleri.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Projeye başlarken hedeflenen küçük ölçekli bir biyodizeli üretim tesisi ve yakıt analiz laboratuvarı proje sonunda kurulmuştur. Üretim tesisinde Kayseri bölgesinden toplanan atık yemek yağından biyodizel üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş, üretilen biyodizelin kimyasal ve termofiziksel özellikleri yine kurulan yakıt analiz laboratuvarında belirlenmiştir. Belirlenmesi gereken bazı fiziko-kimyasal özellikler (biyodizelin yağ asit bileşenleri) ise Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde (TAUM) belirlenmiştir. Projenin bir başka hedefi olarak belirlenen; üretilen biyodizelin bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılması, Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Otomotiv Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Testlerde hedeflenen motor performans ve egzoz emisyon parametreleri ile yanma analizi başarılı bir şekilde gerçekleştirilerek üretilen biyodizelin kullanılabilirliği uygulamalı ve gerçek zamanlı olarak ortaya konulmuştur. Sonuç olarak, projede hedeflenen amaçlara büyük ölçüde ulaşılmıştır.

Projenin sonunda elde edilen sonuçlar, biodizel üretimi, yakıt özellikleri, motor performansı ve yanma analizi ile egzoz emisyon sonuçları olarak incelenmiştir.

Biyodizel üretimi ve yakıt özellikleri

Atık kızartma yağı kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizel, özellikle hammadde maliyetinin olmaması nedeni ile dizel yakıtına oranla daha düşük bir maliyet ile üretilmiştir. Üretilen biyodizelin yakıt özellikleri incelendiğinde, 40°C’de 4.6557 mm²/s kinematik viskozite değeri, 15°C’de 0.885 g/cm³ yoğunluk değeri, 56.948 setan sayısı değeri hem EN14214 hem de ASTM 6751 standartlarına uygundur. Soğuk akış özelliklerini belirleyen bulutlanma noktası, akma noktası ve soğuk filtre tıkama noktası değerleri sırası ile 11°C, 10°C ve 9.7 °C’dir. Bu değerlerin yüksek olmasının en önemli nedeni bu çalışmada üretilen biyodizelin ham maddesi olan atık kızartma yağının Tablo 14’de verilen yağ asidi bileşenleridir.

Motor test sonuçları

Biyodizelin ısııl enerjisinin dizel yakıtinkinden düşük olması, yüksek yoğunluk ve viskozite değerlerinden dolayı püskürtme karakteristiklerinin kötü olması yanma karakteristiklerini olumsuz etkilediği için performans değerleri de negatif olarak etkilenmiştir. Shrivastava [22], Khalil ve ark. [23] ve Dey ve ark. [24] yapmış oldukları çalışmalarında benzer sebeplerden bahsederek biyodizelin ısııl değerinin düşük olması ve yoğunluğunun yüksek olması nedeni ile aynı miktarda enerjiyi üretmek için daha fazla yakıtın püskürtülmesi gerektiğini ve bu sebeple biyodizelin motor performans parametrelerini olumsuz etkilediğini belirtmişlerdir.

Biyodizelin yanma karakteristikleri dizel yakıtinkine oldukça yakın değerlerdedir. Biyodizel kullanımı ile oldukça küçük değişimler görülmektedir. Benzer sonuçlar, Gunasekaran ve ark. [25], Karikalan ve ark. [26] ve Srivastava ve ark. [27]’nin yapmış olduğu çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Bu çalışmalarda da ısııl değer, setan sayısı, püskürtme karakteristiklerine bağlı olarak biyodizelin dizel yakıtına göre biraz farklı yanma karakteristiğine sahip olduğunu ortaya koyulmuştur.

Biyodizel, CO, HC ve duman koyuluğu emisyonlarını düşürmüş, NO ve CO₂ emisyonlarını artırmıştır. Biyodizelin oksijen içeriği yanmayı olumlu etkilemiş ve oksijen CO, HC ve duman koyuluğu değerlerini dizel yakıtına göre azaltmıştır. Datta ve ark. [28] ve Devarajan ve ark. [29]’da çalışmalarında, biyodizelin oksijen içeriğinin CO, HC ve duman emisyonlarını

azalttığını, ancak oksijenin NO emisyonu oluşumunu artırdığını, biyodizelin karbon içeriğinin yüksek olmasından dolayı CO₂ emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir.

6. KAYNAKLAR

1. Valente, A., Iribarren, D., Dufour, J., 2016. "Life cycle assessment of hydrogen energy systems: a review of methodological choices", **The International Journal of Life Cycle Assessment**, **22** (3): 346-363.
2. Corona, B., Escudero, L., Quéméré, G., Luque-Heredia, I., San Miguel, G., 2016. "Energy and environmental life cycle assessment of a high concentration photovoltaic power plant in Morocco", **The International Journal of Life Cycle Assessment**, **22** (3): 364-373.
3. Mesarovic, M., 2001. "Sustainable energy from biomass", **Thermal Science**, **5** (2): 5-32.
4. Barbaric, M., Loncar, D., 2016. "Energy management strategies for combined heat and electric power micro-grid", **Thermal Science**, **20** (4): 1091-1103.
5. Üçgül, İ., Akgül, E., 2010. "Biyokütle teknolojisi", **Yekarum Dergi**, **1** (1): 3-11.
6. Kahraman, A., Ciniviz, M., Ors, I., Oguz, H., 2016. "The Effect on Performance and Exhaust Emissions of Adding Cotton Oil Methyl Ester to Diesel Fuel ", **International Journal of Automotive Engineering and Technologies**, **5** (4): 148-154.
7. Atabani, A.E., Silitonga, A.S., Badruddin, I.A., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Mekhilef, S., 2012. "A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics", **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, **16** (4): 2070-2093.
8. Atabani, A.E., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Badruddin, I.A., Yussof, H.W., Chong, W.T., Lee, K.T., 2013. "A comparative evaluation of physical and chemical properties of biodiesel synthesized from edible and non-edible oils and study on the effect of biodiesel blending", **Energy**, **58**: 296-304.
9. Eryilmaz, T., Yesilyurt, M.K., 2016. "Influence of blending ratio on the physicochemical properties of safflower oil methyl ester-safflower oil, safflower oil methyl ester-diesel and safflower oil-diesel", **Renewable Energy**, **95**: 233-247.
10. Mofijur, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Atabani, A.E., 2013. "Evaluation of biodiesel blending, engine performance and emissions characteristics of Jatropha curcas methyl ester: Malaysian perspective", **Energy**, **55**: 879-887.
11. Attia, A.M.A., Hassaneen, A.E., 2016. "Influence of diesel fuel blended with biodiesel produced from waste cooking oil on diesel engine performance", **Fuel**, **167**: 316-328.
12. Rao, G.A.P., Mohan, P.R., "Effect of supercharging on the performance of a DI Diesel engine with cotton seed oil", **Energy Conversion and Management**, **44** ((6)): 937-944.
13. Özsezen, A.N., 2007. Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin incelenmesi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Kocaeli, 64-145.
14. Utlu, Z., Koçak, M.S., 2008. "The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions", **Renewable Energy**, **33** (8): 1936-1941.

15. Lin, C., Li, R., 2009. "Engine performance and emission characteristics of marine fish-oil biodiesel produced from the discarded parts of marine fish", **Fuel Processing Technology**, **90** (7-8): 883-888.
16. Özsezen, A.N., Çanakçı, M., 2009. "Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi", **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **15** (2): 173-180.
17. Altun, Ş., 2011. "Performance and exhaust emissions of a DI diesel engine fueled with waste cooking oil and inedible animal tallow methyl esters", **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, **35** (2011): 107-114.
18. Parekh, P.R., Goswami, J., 2012. "Emission and performance of diesel engine using waste cooking oil bio diesel blends-review", **Journal of Engineering Research and Studies**, **3** (1): 34-39.
19. "Fats and Fixed oils Web site: <https://hmc.usp.org/sites/default/files/documents/HMC/GCs-Pdfs/c401.pdf>), (Access date: June 2016)".
20. Atabani, A.E., Badruddin, I.A., Masjuki, H.H., Chong, W.T., Lee, K.T., 2014. "Pangium edule Reinw: A Promising Non-edible Oil Feedstock for Biodiesel Production", **Arabian Journal for Science and Engineering**, **40** (2): 583-594.
21. Örs, İ., 2014. Biyoyakıt kullanan bir dizel motorunun performans, yanma ve emisyon analizi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 1-165.
22. Shrivastava, N., 2016. "Experimental investigation of performance, emission, and noise parameters of water-emulsified Karanja biodiesel: a prospective Indian fuel", **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, **39** (3): 1009-1017.
23. Khalil, I., Aziz, A.R.A., Yusup, S., Heikal, M., El-Adawy, M., 2016. "Response surface methodology for the optimization of the production of rubber seed/palm oil biodiesel, IDI diesel engine performance, and emissions", **Biomass Conversion and Biorefinery**, **7** (1): 37-49.
24. Dey, A.R., Misra, R.D., 2016. "Effect of infiltration of bio-lubricant on the performance of a compression ignition engine fuelled with biodiesel blends", **Clean Technologies and Environmental Policy**, **19** (2): 553-563.
25. Gunasekaran, A., Gobalakichenin, D., 2016. "Performance and combustion analysis of Mahua biodiesel on a single cylinder compression ignition engine using electronic fuel injection system", **Thermal Science**, **20** (suppl. 4): 1045-1052.
26. Karikalan, L., Chandrasekaran, M., 2016. "Performance and pollutants analysis on diesel engine using blends of Jatropha Biodiesel and Mineral Turpentine as fuel", **International Journal of Environmental Science and Technology**, **14** (2): 323-330.
27. Srivastava, A.K., Soni, S.L., Sharma, D., Sonar, D., Jain, N.L., 2017. "Effect of compression ratio on performance, emission and combustion characteristics of diesel-acetylene-fuelled single-cylinder stationary CI engine", **Clean Technologies and Environmental Policy**.
28. Devarajan, Y., Nagappan, B.K., Munuswamy, D.B., 2017. "Performance and emissions analysis on diesel engine fuelled with cashew nut shell biodiesel and pentanol blends", **Korean Journal of Chemical Engineering**.
29. Datta, A., Mandal, B.K., 2017. "An experimental investigation on the performance, combustion and emission characteristics of a variable compression ratio diesel engine using diesel and palm stearin methyl ester", **Clean Technologies and Environmental Policy**.