



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Deri Endüstrisi Atık Yağlarından Üretilen Biyodizelin Dizel Motor Yanma Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi

 Oğulcan Mustafa İNAL ^{a,*},  Ahmet KESKİN ^b,  Alaattin Osman EMİROĞLU ^c,  Mehmet ŞEN ^b

^a Ankara Büyükşehir Belediyesi, ASKİ Genel Müdürlüğü, Ankara, TÜRKİYE

^b Otomotiv Teknolojisi, BTBMYO, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

^c Makine Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: muscaninal@gmail.com

DOI:10.29130/dubited.913736

Öz

Bu çalışmada öncelikle deri endüstri atık yağından biyodizel yakıtı üretilmiştir. Daha sonra elde edilen biyodizel, petrol kökenli dizel yakıtı (D100) ile %10 ve %30 oranlarında karıştırılarak sırasıyla elde edilen D90 ve D70 yakıt karışımlarının motor performans, egzoz emisyon ve yanma karakteristikleri analiz edilerek referans motorin yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Motor testlerinde, hava soğutmalı, tek silindirli, dört zamanlı ve direk püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneyler motor tam yükte iken farklı motor devirlerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, biyodizel karışımlarının yanma sürelerinin kısa olması sebebiyle maksimum ısı salınımı ile maksimum silindir basıncının motorine kıyasla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Biyodizel oranının artmasıyla ısıl verim ve moment değerlerinde azalma gözlenmiştir. Ayrıca, biyodizel karışımları, NO_x emisyonlarında önemli bir değişikliğe neden olmazken, is emisyonlarında ise azalmaya neden olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Deri endüstri atık yağı, Dizel motor

Investigation of the Effect of Biodiesel Produced from Leather Industry Waste Oils on Diesel Engine Combustion Performance and Emissions

ABSTRACT

In this study, firstly, biodiesel fuel was produced from leather industry waste oil. Then, the biodiesel obtained was blended with petroleum-based diesel fuel (D100) at 10% and 30% ratios, and the engine performance, exhaust emissions and combustion characteristics of the D90 and D70 fuel blends were analyzed and compared with the reference diesel fuel. In the engine tests, an air cooled, single cylinder, four stroke and direct injection diesel engine was used. The experiments were carried out at different engine speeds when the engine run at full load. Test results have shown that biodiesel blends have a higher maximum heat release and maximum cylinder pressure compared to that of the diesel fuel, due to the shorter combustion duration. Thermal efficiency and moment values decreased with the increase in biodiesel ratio. In addition, biodiesel blends did not cause a significant change in NO_x emissions, while reducing soot emissions.

Keywords: Biodiesel, Leather industry waste oil, Diesel engine

I. GİRİŞ

Dünya üzerinde fosil yakıt rezervlerinin tükenme tehlikesinin baş göstermesi ve oluşan yakıt emisyonlarının çevreye verdiği zarar, araştırmacıları alternatif enerji kaynakları üzerine çalışmalar yapmaya itmiştir. Daha önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar, bitkisel ve hayvansal kökenli yağlardan üretilen yağ asidi metil ve etil esterlerin motorine alternatif olacak bir yakıt olarak kullanılabilceğini göstermektedir [1].

Motorine alternatif olacak yakıt üzerine yapılan çalışmalar, ülkelerin gelecekte hangi yakıtı kullanacağını ve bu kullanacağı yakıtı ulaşabilmek için gerekli rezerv durumunu tespit zorunluluğunu açığa çıkarmıştır. Seçilecek olan yakıt türünün rezerv durumunun yanında, yakıtı elde etmenin ekonomik olması ile fiziksel ve kimyasal özelliklerinin dizel motora uygunluğu da göz önüne alınmalıdır. Bununla beraber, yanma reaksiyonunda açığa çıkan kirletici egzoz emisyonların insan sağlığı ve çevre kirliliği açısından olumsuz etkileri de kullanılacak yakıtın seçilmesinde önemli bir etkidir [2].

Biyodizel, dizel motor aksamında hiçbir değişiklik yapılmaya gerek duyulmadan kullanılabilir. Motorine kıyaslandığında ise daha temiz bir alternatif yakıt olduğu düşünülmektedir. Biyodizeli kütlece incelediğimizde, yaklaşık %10-15 oranında oksijen bulunmaktadır. Biyodizel, biyolojik olarak parçalanabilen, içerisinde toksik barındırmayan ve yenilenebilen bir yakıttır. Yanma reaksiyonlarında petrol kökenli dizel yakıt ile birbirlerine benzer davranış özelliği gösterirler. Bu sebeple biyodizel sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda direkt olarak veya motorin ile karıştırılarak kullanılabilir [3]. Biyodizel, kullanılmış kızartma yağından, atık yağdan, hayvansal yağ ile bitkisel kökenli yağlı tohumlardan, hayvansal yağlardan ve bütün biyolojik kökenli yağlardan uygun katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile kimyasal reaksiyon sonucunda oluşabilen ve motorlarda yakıt olarak kullanılabilen yağ asidi metil esterleridir [4]. Yüksek kalite rafine bitkisel yağın biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılması, motorine oranla maliyet açısından daha pahalı bir yakıt haline getirmiştir. Artan maliyeti dengelemek için daha ucuz fiyatlı hammaddeler tercih edilmelidir. Yenilebilen bitkisel yağların fiyatları, hayvansal kökenli yağlardan bir hayli fazladır. Bu nedenle atık hayvansal kökenli yağların biyodizel üretiminde kullanılması maliyet düşürecektir [2].

Et ve et ürünleri endüstrisinde kullanılmak üzere kesimhaneye alınan hayvanların yan ürünü olarak geçen deriler, deri endüstrisinde ham madde olarak kullanılmaktadır. Bu derilerin işleme sırasında önemli miktarda atıklar oluşmakta ve bu katı/sıvı atıkların yönetilmesi düzgün bir şekilde olmazsa büyük bir çevre problemine neden olacağı görülmektedir. Açığa çıkan bu atıklar yüksek oranda yağ ve protein içermektedir. İçeriğinde yağ bulunmasına rağmen bu atıkların geri kazanılması için az miktarda uygulama yöntemi vardır. Bunlardan biri, zengin yağ içermesinden dolayı biyodizel üretimine hammadde olmasıdır. Böylece deri endüstrisi atıklarından kaynaklanmış olan kirlilik azaltılabilir ve biyodizel dönüşürülerek değerli bir ürün elde edilebilir [5].

Rudolf Diesel mucidi olduğu dizel motorun tanıtımını yaparken yakıt olarak yer fıstığı yağından elde edilen biyodizeli kullanmıştır. Günümüzde enerji içeriği baz alınarak bir kıyaslama yapıldığında motorin daha yaygın kullanılmaktadır. İçerisinde oksijen bulunan yakıtların egzoz emisyonlarının daha az olması ve artan çevre bilinci sebebiyle 1980'li yıllarda dizel motorlarda yağ asidi kullanılması tekrar gündeme gelmiştir. Bununla beraber petrol krizinin olduğu yıllar bitkisel kökenli yağların dizel motorlarda kullanımını bir hayli artırmıştır. Ancak bu yağların özelliklerine bakacak olursak, viskozitelerinin ve moleküler ağırlıklarının motorine kıyaslandığında yüksek olması düşük yakıt atomizasyonuna; yapı içerisinde gliserin bulundurması silindirde oluşacak tortulara, karbon toplanmasına ve yapışan maddelere sebep olmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında bitkisel yağ kullanılan motorlarda bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Sonuç olarak bitkisel, hayvansal veya atık yağların dizel motorlarda bir değişiklik yapmaksızın kullanılması için motorinle benzer özellik taşıyan yakıtı dönüştürülmesi gerekmektedir [6].

Yapmış olduğumuz bu çalışma ile Bursa Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi'nden alınan hayvan derisinin altında oluşan atık yağlardan, motorine benzer, ekonomik ve daha temiz bir alternatif yakıt olan biyodizel üretmeyi, ilaveten deri işleme işleminden artan atık yağların değerlendirilerek çevreye ve ülke ekonomisine katkıda bulunmayı amaçlamaktayız. Çalışma sırasında elde edilen metil esterin yakıt özellikleri karakterize edilmiş ve biyodizel standartları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca, elde edilen biyodizelin motor performansı, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri analiz edilerek referans motorin yakıt ile karşılaştırılmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Biyodizel üretmek için gerekli olan deri endüstrisi atık yağı, Bursa Deri İhtisas Organize Sanayi Bölgesi'nde büyük baş hayvan derisi işleyen tesisten alınmıştır. Kullanılan yağda yüksek oranda bulunan serbest yağ asidi (SYA), transesterifikasyon için baz katalizör kullanılması halinde sabunlaşma oluşturabilmektedir. Bu nedenle baz katalizör kullanabilmek için biyodizel üretiminde kullanılacak hammaddenin SYA değerinin % 1'in altında olması önerilmektedir [7]. Temin edilen deri endüstrisi atık yağının asit değeri analiz neticesinde, 1,9 mgKOH/g olarak bulunmuştur. Bu değer yaklaşık %0,95 SYA' ya karşılık gelmektedir. Bu sebeple herhangi bir ön iyileştirmeye gerek duyulmamıştır.

Çalışma esnasında alkol-yağ molar oranı 6:1 olarak seçilmiştir. Katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) seçilmiş, katalizör miktarı ise deri endüstrisi yağının ağırlıkça %0,8'i olarak seçilmiştir. Bu çalışmada transesterifikasyon reaksiyonu için sıcaklık 63 °C, reaksiyonun süresi 1 saat, manyetik karıştırıcı devri 600 dev/dak olarak seçilmiştir. Reaksiyon için belirlenen sürenin sonuna gelindiğinde, oluşturulan karışım, reaksiyonun gerçekleştiği kaptan alınıp, dinlenme kabına konulmuştur. Ayrılma işleminin tamamlanması amacıyla bekleme işlemi 24 saat kadar sürmüştür. Kapta bekleyen karışımın altta kalan kısmı esterden ayrılmıştır. Daha sonra ester saf su ile yıkanmıştır. Yıkama işleminden sonra esterde bulunan fazla alkol ve fazla suyun alınması için 1 saat süreyle 110 °C sıcaklıkta kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir.

Motor deneylerinde Lombardini marka LD350 model hava soğutmalı, direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motor kullanılmıştır. Deney motorun teknik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri.

	Özellikler
Maksimum Güç	7,4 kW/3000 dev/dak
Maksimum Tork	16,6 Nm/2400 dev/dak
Sıkıştırma Oranı	20,3/1
Kurs Hacmi	349 cm ³
Enjektör Açılma Basıncı	207 bar

Motor yüklemelerinde, 15 kW gücünde Kemsan marka DC elektrikli dinamometre kullanılmıştır. Moment ölçümünde KiTorq rotor Tip 4550A ve KiTorq stator Tip 4541A sensörü kullanılmıştır. Silindir basıncı ölçümü için, Kistler 6052c sensörü kullanılmıştır. Kistler 4065B hat basınç sensörü kullanılarak püskürtme başlangıcı tespit edilmiştir. Kistler 2614B tipi 0,1 derece hassasiyetli enkoder kullanılarak krank açıları ve üst ölü nokta verileri hesaplanmıştır. Yakıt tüketimi ölçümünde, 0,01 gram hassasiyetli Ohaus PA4102 marka hassas terazi kullanılmıştır. Motor testleri, tam yükte 1600, 2000, 2400, 2800 ve 3200 dev/dakikada gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde toplanan verilerin değerlendirilmesinde Kistler KiBox veri toplama ve analiz cihazı kullanılmıştır. İS ve NO_x emisyonlarının ölçümünde Mobidick 5000 egzoz analiz cihazı kullanılmıştır. Her test işleminden önce motor 5 dakika kadar çalıştırılarak kararlı çalışma koşulları elde edilmiştir.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

Üretilen biyodizelin uluslararası standartlara uygun yakıt özellikleri TÜBİTAK MAM' da yapılan analizlerle belirlenmiştir. Deri endüstrisi atık yağından üretilen biyodizelin yakıt özellikleri Tablo 2' de gösterilmiştir.

Yapılan testler sonucunda deri endüstrisi atık yağı biyodizelinin (DEYB) yoğunluk değeri 15 °C' de 875,5 kg/cm³ ölçülmüştür. Yakıtın viskozitesi EN14214, ASTM D6751 standartlarına uygun olarak 4,636 mm²/s bulunmuştur. Parlama noktası, 173,5 °C olup belirlenen aralıkta çıkmıştır. Yakıt için bir diğer önemli parametre olan asit değeri de istenilen standartlara uygun olarak 0,42 mgKOH/g çıkmıştır. Bu değer belirlenen yüksek çıkması halinde, metal aksamalarda korozyon ve pompa tıkanması gibi istenmeyen durumlara yol açabilmektedir. Analiz sonuçlarına göre üretilen biyodizel, modern dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan sorunsuz bir şekilde kullanılabilir.

Tablo 2. Deri endüstri yağı biyodizelin temel yakıt özellikleri.

Özellikler	Birim	EN 14214: 2012+A1:2014	ASTMD6 751-15	Test Metodu	DEYB
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	860-900	-	EN ISO 12185	875,5
Net yanma ısı	MJ/kg	35 min.	-	ASTM D 240	39,7
Kinematik	mm ² /s	3,5-5,0	1,9-6,0	EN ISO 3104	4,636
Parlama noktası	°C	101 min.	130 min.	EN ISO 3679	173,5
Setan sayısı	-	51 min.	47 min.		58,8
Karbon kalıntısı	% (m/m)	0,3 mak.	-	EN ISO 10370	<0,1
Akma noktası	°C	-	-	ISO 3016	9
Su içeriği	mg/kg	500 mak.	-	EN ISO 12937	455
Asit sayısı	mgKOH/g	0,50 mak.	0,50 mak.	EN 14104	0,42

Yoğunluk, motor performansını direkt etkileyebilecek önemli bir yakıt özelliğidir. Motor performansını etkileyen yakıtın ısı değeri, setan sayısı ve atomizasyonu gibi karakteristik değerler yoğunlukla ilgilidir [8]. Yakıt enjeksiyon sistemleri yakıt miktarını hacimsel olarak ayarlamaktadır. Yakıt yoğunluğundaki değişim, silindir içerisine kütleli olarak aynı süre içerisinde farklı oranlarda yakıt enjekte edilmesine neden olmakta, bu ise motor çıkış gücünü etkilemektedir [9].

Biyodizel yakıtlarının fiziksel özellikleri dizel motorlarda kullanılmasını güçleştirmektedir. Bu özelliklerin başında viskozite gelmektedir. Viskozite, yakıt damlacık çapını, penetrasyonu, atomizasyon kalitesini ve sonuçta yanma kalitesini etkilemektedir [10]. Bitkisel ve hayvansal kökenli yağların viskozite değerlerini motorinle kıyasladığımızda oldukça yüksek çıkmaktadır.

Motorin ile biyodizelin kıyaslanmasıyla ortaya çıkan biyodizelin üstün özelliklerinden bir tanesi parlama noktasının motorine oranla yüksek olmasıdır. Genel olarak yakıtların parlama noktası yakıt güvenliği ve yakıtın depolanmasıyla ilgilidir. Bununla beraber motor performansında gözle görülür bir değişiklik yapmamaktadır. Ek olarak parlama noktasında oluşacak değişim yakıtın yanma karakteristiğini çok fazla etkilememektedir [11]. Biyodizel yakıt parlama noktası Avrupa ve Amerika standartlarında sırasıyla 101 °C ve 130 °C olarak gösterilmiştir.

Yakıt içerisinde bulunan asit değerleri, hem yakıt ömrü, hem de kalitesi ile alakalı bilgi edinmek için kullanılır. Biyodizel asit değerleri Amerika ve Avrupa standartlarında 0,5 mgKOH/g olarak belirtilmiştir. Üretilen biyodizelin asit değeri bu standardın üzerinde çıkarsa, yakıt sisteminde tortulara neden olacak ve en nihayetinde yakıt pompasının ve filtresinin ömrünü kısaltacaktır [12].

Yakıttan elde edilebilecek enerji miktarı ısı değeri ile ölçülmektedir. Isıl değer, direkt olarak yakıtın tüketimini etkilemektedir. Biyodizelin ısı değeri yakıtın kimyasal yapısına göre birbirlerinden farklılık

göstermektedir. Zincir uzunluğu ile doymuşluğun artması ısıl değeri daha da arttırmaktadır [13]. Elde edilen biyodizelin ısıl değeri, 39700 kJ/kg olarak belirlenmiştir.

Elde edilen deri endüstri yağı biyodizeli, referans olarak kullanılan ticari dizel yakıt (D100) ile hacimsel olarak %10 ve %30 oranlarında karıştırılarak D90 ve D70 yakıt karışımları elde edilmiştir. Test yakıtlarının başlıca özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Test yakıtlarının temel özellikleri.

Özellikler	D100	D90	D70
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,7	42,4	41,8
Yoğunluk (kg/m ³)	831,5	835,9	844,7
Setan Sayısı	58,8	58,8	58,8
Kinematik Viskosite (mm ² /s)	2,4	2,62	3,07

Yakıt karışımlarının motor devirlerine göre püskürtme ve yanma karakteristikleri Tablo 4'te gösterilmiştir. Tabloda görüldüğü gibi tüm şartlarda biyodizel karışımlarının püskürtme başlangıcı daha erken zamanda gerçekleşmiştir. Bunun nedeni biyodizel ve karışımlarının yoğunluk ve viskozitesinin motorından daha yüksek olmasıdır. Tablo 4'teki tutuşma gecikmesi sonuçları incelendiğinde motor devrindeki artışla beraber tutuşma gecikmesinde de artma olduğu görülmüştür. Bunun sebebi, yakıtlarda oluşan tutuşma gecikmesinin fiziksel ve kimyasal olarak hemen hemen aynı sürede olmasına rağmen, krank mili açısı olarak daha fazla yol kat etmiştir. Tutuşma gecikmesi en çok setan sayısı ile değişmekle birlikte yakıtın yoğunluğu, viskozitesi, oksijen içeriği, parlama noktası gibi yakıt özelliklerinden de etkilenmektedir. Yakıtların setan sayısı eşit olmasına rağmen biyodizel ilavesi ile artan oksijen içeriği özellikle deneyler tam yük durumunda yapıldığı için biyodizel karışımlarında tutuşma gecikmesinin kısa sürmesinin nedeni olarak düşünülmüştür.

Yanma sürelerinin motor devri arttıkça arttığı görülmüştür. Ayrıca biyodizel karışımlarının yanma süresinin dizel yakıtla kıyasla daha kısa olduğu görülmektedir. Biyodizel karışımlarında tutuşma gecikmesinin daha uzun sürmesi, dolayısıyla tutuşma gecikmesi sırasında silindirde biriken yakıtın hızla yanması nedeniyle yanma süresi dizel yakıtla göre daha kısa sürmüştür [14]. Ayrıca dizel yakıtın oksijen içeriğinin bulunmaması nedeniyle biyodizel karışımlarına göre art yanma periyodunu uzattığı böylece daha uzun yanma süresine neden olduğu düşünülmüştür.”

Tablo 4. Püskürtme ve yanma karakteristikleri.

Motor Devri (dev/dak)	Yakıt	Tutuşma Gecikmesi (°KMA)	Püskürtme Başlangıcı (°KMA)	Yanma Başlangıcı (°KMA)	Yanma Sonu (°KMA)	Yanma Süresi (°KMA)
1600	D70	7,73	-11,7	-3,97	28,14	32,11
	D90	7,71	-11,4	-3,69	28,04	31,72
	D100	7,85	-12,1	-4,25	30,74	34,98
2000	D70	8,47	-10,6	-2,13	30,51	32,64
	D90	8,5	-10,2	-1,7	30,59	32,28
	D100	8,79	-10,8	-2,01	32,25	34,25
2400	D70	9,43	-9,9	-0,47	32,66	33,13
	D90	9,32	-9,5	-0,18	32,76	32,94
	D100	9,53	-10	-0,47	34,98	35,45
2800	D70	10,14	-8,9	1,24	35,8	34,56
	D90	10,04	-8,5	1,54	35,82	34,28
	D100	10,36	-9,1	1,26	38,4	37,14

Tablo 4(devam). Püskürtme ve yanma karakteristikleri.

Motor Devri (dev/dak)	Yakıt	Tutuşma Gecikmesi (°KMA)	Püskürtme Başlangıcı (°KMA)	Yanma Başlangıcı (°KMA)	Yanma Sonu (°KMA)	Yanma Süresi (°KMA)
3200	D70	10,98	-7,8	3,18	37,99	34,81
	D90	10,85	-7,3	3,55	39,33	35,79
	D100	10,97	-7,8	3,17	40,06	36,89

Maksimum silindir basıncı, maksimum silindir basınç yeri ve maksimum ısı salınımı değerleri Tablo 5'te gösterilmiştir. Maksimum silindir basıncı incelendiğinde, tutuşma gecikmesi değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeniyle biyodizel karışımlarının motorine oranla bütün devirlerde hemen hemen aynı çıktığı görülmektedir.

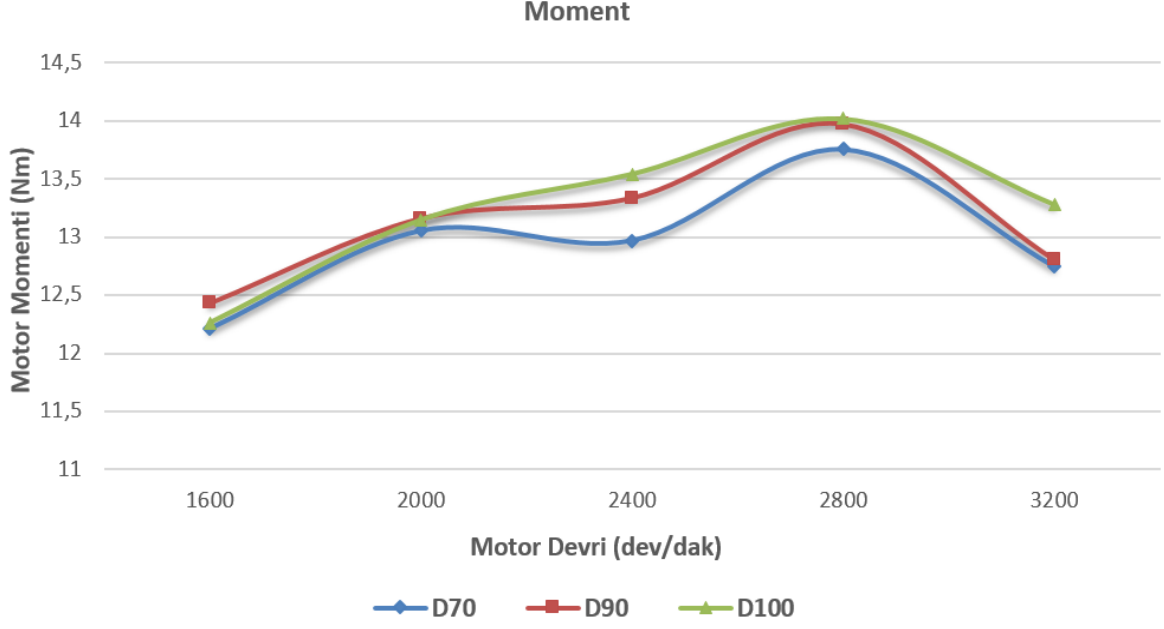
Ayrıca maksimum silindir basınçlarının motor devrinin artmasıyla düştüğü görülmüştür. Bu durum, devir arttıkça maksimum silindir basıncının elde edildiği krank açılarındaki görüleceği gibi üst ölü noktadan ileri doğru bir kayma göstermesiyle açıklanabilir. Biyodizel yakıt karışımları aynı devirde çalıştırıldığında ise karışımdaki biyodizel miktarının artmasıyla maksimum silindir basıncı da artmaktadır.

Maksimum ısı salınımı incelendiğinde, motor devrindeki artışla beraber maksimum ısı salınım değerlerinin azaldığı ve biyodizel karışımlarının motorine oranla daha düşük maksimum ısı salınım değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumu biyodizel karışımlarının tutuşma gecikmelerinin düşük olmasıyla açıklayabiliriz. Tutuşma gecikmesi esnasında silindirde biriken yakıt sebebiyle yanma işlemi aniden oluşmakta ve yanma reaksiyonu daha çok kontrolsüz yanma fazında oluşmaktadır.

Tablo 5. Isı salınımı ve maksimum silindir basıncı değerleri ve yeri.

Motor Devri (dev/dak)	Yakıt	Maksimum Silindir Basıncı Yeri (°KMA)	Maksimum Silindir Basıncı (bar)	Maksimum Isı Salınımı (J/°KMA)
1600	D70	6,60	79,55	26,72
	D90	7,11	79,25	26,52
	D100	6,40	80,28	27,14
2000	D70	7,49	77,15	24,78
	D90	7,75	76,31	24,67
	D100	7,24	77,36	25,08
2400	D70	8,16	74,02	25,07
	D90	8,59	73,37	23,99
	D100	7,91	74,49	25,01
2800	D70	9,63	70,25	24,73
	D90	10,28	69,26	23,90
	D100	9,98	70,59	24,28
3200	D70	8,80	65,09	24,12
	D90	9,38	64,11	23,70
	D100	9,04	65,35	24,07

Şekil 1'de deney yakıtlarının moment değerleri verilmiştir. Dizel yakıtın moment değerleri biyodizel yakıt karışımlarıyla kıyaslandığında genellikle daha yüksek olduğu görülmektedir. Deneylerde elde edilen maksimum moment 2800 dev/dak'ta dizel yakıt ile 14,01 Nm olarak bulunmuştur. Biyodizel yakıt karışımlarındaki en büyük moment ise yine 2800 dev/dak D90 karışımı ile 13,96 Nm olarak ölçülmüştür.



Şekil 1. Motor moment değişimi.

Yakıtların performans üzerindeki etkileri kıyaslarlarken incelenen önemli parametrelerden birisi de özgül yakıt tüketimidir. Özgül yakıt tüketimini etkileyen en önemli faktör yakıtın ısıl değeridir [13]. D100, D90 ve D70 yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Özgül yakıt tüketimi en az, maksimum momentin elde edildiği devir ve yakıt olan 2800 dev/dak’ta D100 yakıtı ile elde edilmiştir. Dizel yakıt bütün devirlerde biyodizel yakıt karışımlarından daha az özgül yakıt tüketim değerlerine sahiptir. Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$be = \frac{m_y}{p_e} \times 3600$$

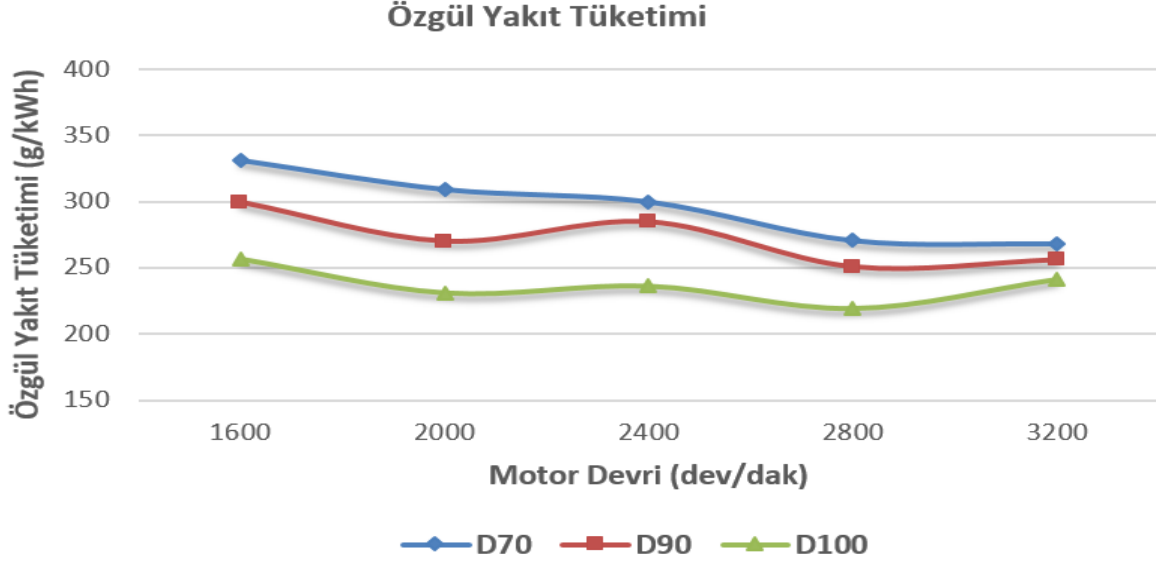
Bu formülde;

P_e = Efektif güç (kW),

m_y = Yakıt tüketimi (g/s),

be = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh),

olarak ifade edilir.



Şekil 2. Özgül yakıt tüketiminin tam yükte farklı devirlere göre değişimi.

Yakıtların motor performansına etkilerini karşılaştırırken belirleyici olan bir diğer parametre de ısı verimidir. Isıl verimi motordan alınan faydalı gücün motora sürülen enerji miktarına oranı olarak açıklanabilir. Şekil 3'te ısı verimi grafiği gösterilmiştir. Tüm yakıtlar için maksimum ısı verim maksimum momentin elde edildiği 2800 dev/dak'ta elde edilmiştir. Isıl verim hesabı aşağıdaki denklemlerle yapılmıştır.

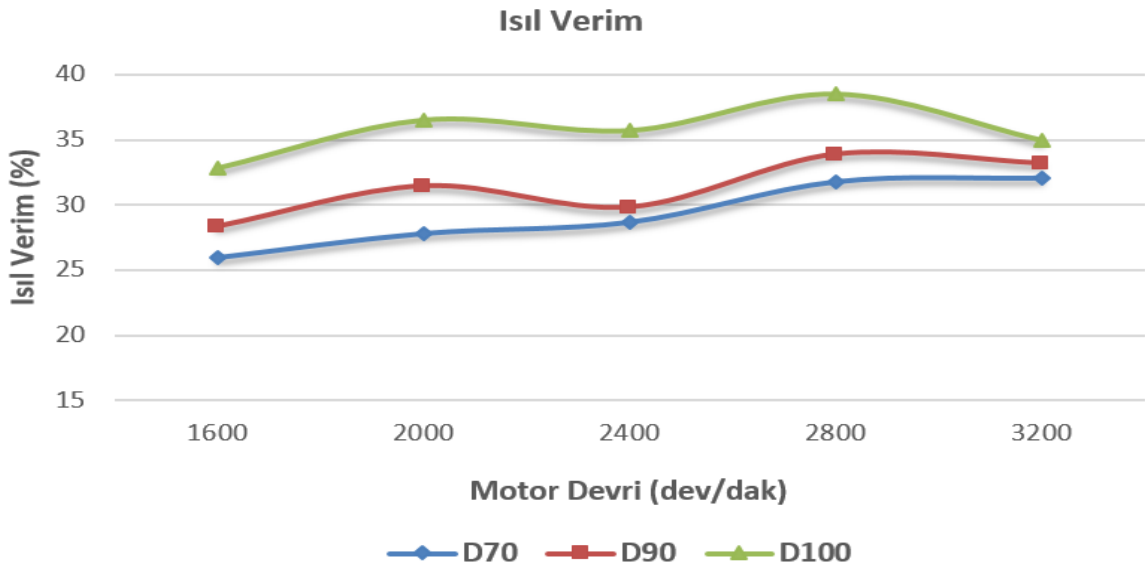
$$n_t = \frac{P_e}{Q_e} = \frac{P_e}{m_y \times H_u}$$

Bu formülde;

P_e = Efektif güç (kW),

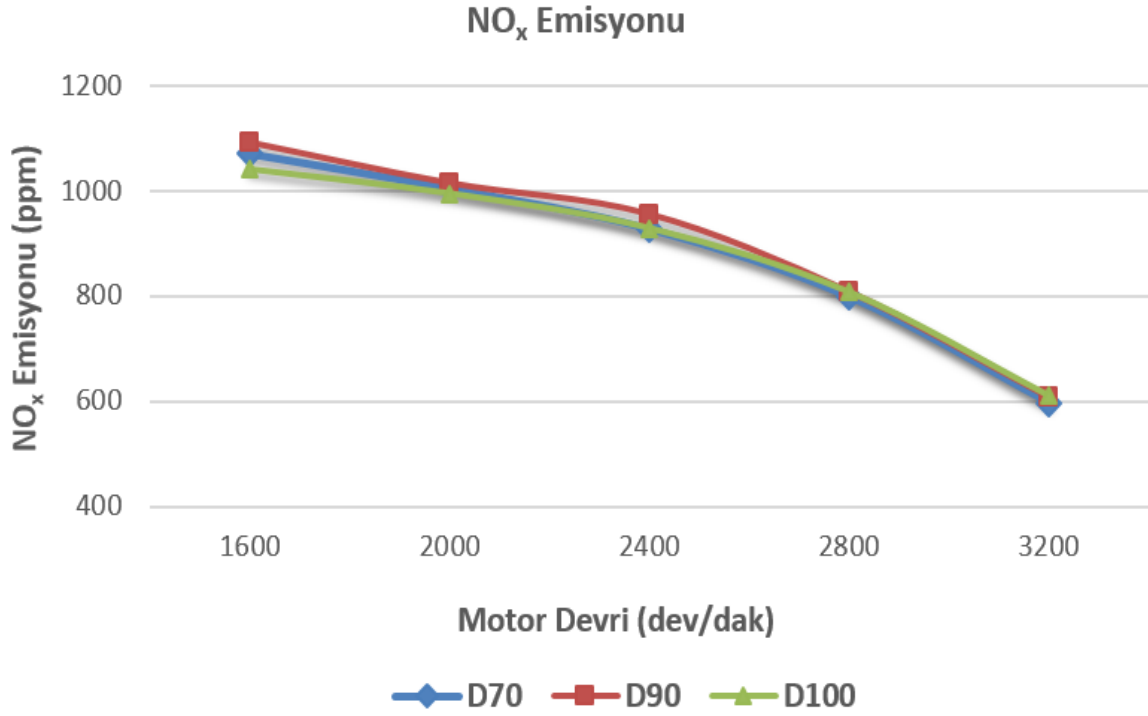
m_y = Yakıt tüketimi (g/s),

H_u = Yakıt alt ısı değeri (MJ/kg), olarak ifade edilir.



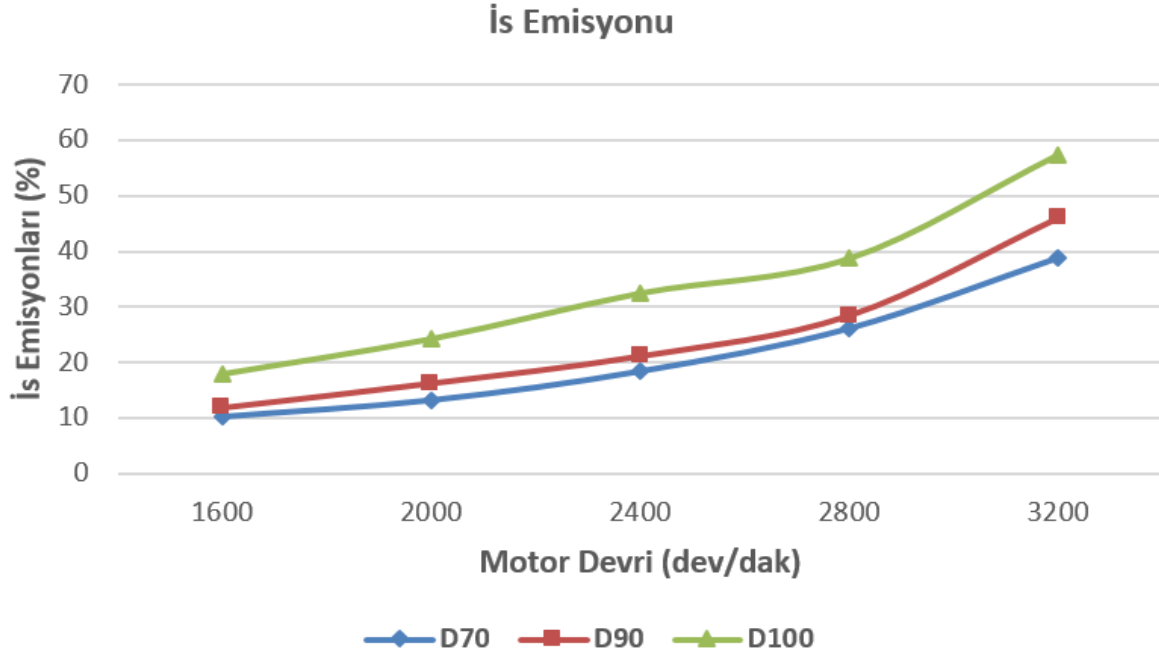
Şekil 3. Isıl verimlerin değişimi.

Deney yakıtlarının NO_x değerleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde NO_x değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte özellikle alt devirlerde biyodizel içeriğindeki oksijen içeriğinin NO_x emisyonunu bir miktar arttırdığı görülmektedir. NO_x emisyonları oluşumu en çok silindir içi sıcaklığına dolayısıyla silindir içi basınçlarına bağlı olmakla birlikte bu sıcaklığı ve basıncı etkileyen püskürtme zamanı, yanma süresi, türbülans, yakıt özellikleri ve silindir içindeki oksijenin yerel konsantrasyonuna bağlıdır. Grafik incelendiğinde NO_x değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Devir arttıkça yanma süreleri krank açısı olarak hemen hemen aynı kalırken süre olarak azalmaktadır. Ayrıca maksimum silindir basıncının azalması ve maksimum silindir basıncının elde edildiği krank açısının üst ölü noktadan uzaklaşması silindir içi sıcaklığını dolayısıyla NO_x oluşumunu azaltmıştır.



Şekil 4. NO_x emisyon değişimi.

Motor devrine bağlı olarak is emisyon değerlerindeki değişim Şekil 5'te gösterilmiştir. Maksimum is emisyon değeri en yüksek devirde dizel yakıt ile elde edilmiştir. Yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça biyodizel yakıt karışımındaki oksijen miktarının yüksek olmasına bağlı olarak is emisyon değerlerinin de düştüğü görülmektedir. Ek olarak motor devri arttıkça yanmaya süresi zamane cinsinden azaldığından is emisyonları da artış göstermiştir.



Şekil 5. İs emisyon değişimi.

IV. SONUC

Yapılan çalışmanın sonucunda deri endüstrisi atık yağından biyodizel yakıt elde edilmiştir. Üretilen biyodizel yakıt, motorin ile hacimsel olarak (%10 ve %30) karıştırılarak yakıt karışımları elde edilmiş ve referans yakıt olarak motorin ile karşılaştırılmıştır. Yapılan testler hava soğutmalı, tek silindirli ve dört zamanlı dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Motor farklı motor devirlerinde (1600, 2000, 2400, 2800, 3200 dev/dak) ve tam yükte çalıştırılmıştır. Test esnasında motorun performans değerleri, egzoz emisyon değerleri ve yanma karakteristiği tespit edilmiştir. Çalışma sonunda çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Deri işleme endüstrisinde açığa çıkan atık yağın gelişigüzel bertarafı yüzünden ortaya çıkacak çevre kirliliğini ve ayrıca yine bu atıkların bertarafı için harcanan maliyeti azaltma potansiyeli bulunmaktadır.
- Biyodizel ısıl değerinin motorine kıyasla düşük çıkması, moment ile ısıl verim değerlerindeki düşüşü ve özgül yakıt tüketimindeki artışı açıklamaktadır.
- Biyodizel karışımları oksijen içeriğine bağlı olarak daha az is emisyonuna neden olurken NO_x emisyon değerleri ise dizel yakıtı oldukça yakın olduğu görülmüştür.
- Deri endüstrisi atık yağından üretilen biyodizelin motorin ile benzeyen özellik göstermesi ve motor aksamı üzerinde herhangi bir tadilat yapılmadan çalışabilmesi ve is emisyonu değerlerinde iyileştirmeye neden olması, dizel motorlar için alternatif bir yakıt olabileceğini göstermektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] J. V. Gerpen, "Biodiesel Processing and Production," *Fuel Processing Technology*, vol. 86, no.10, pp. 1097-1107, 2005.
- [2] E. Alptekin ve M. Canakci, "Optimization of transesterification for methyl ester production from chicken fat," *Fuel*, vol. 90, no.8, pp. 2630-2638, 2011.
- [3] A.O. Emiroğlu, A. Keskin, M. Şen, "Experimental investigation of the effects of turkey rendering fat biodiesel on combustion, performance and exhaust emissions of a diesel engine," *Fuel*, vol. 216, pp. 266-273, 2018.
- [4] A. S. Altınsoy, "Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye'deki kaynakların incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2007.
- [5] Ő. Altun, M. Lapuerta, "Properties and emission indicators of biodiesel fuels obtained from waste oils from the Turkish industry," *Fuel*, vol. 128, pp. 288-295, 2014.
- [6] A. N. Özsezen, M. Eyidođan, A. Türkcan, E. Alptekin, A. Őanlı, M. Çanakcı ve İ. Kılıçaslan, "Binek tipi bir taşıtta katalitik konvertör veriminin deneysel olarak incelenmesi," *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c.1, s. 1, ss. 1-7, 2009.
- [7] B. Freedman, E. H. Pryde ve T. L. Mounts, "Variables affecting the yields offatty ester from transesterified vegetable oils," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 61, no.10, pp. 1638-1643, 1984.
- [8] T. W. Ryan, L. G. Dodge ve T. J. Callahan, "The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in two different diesel engines," *J. Am.Oil Chem. Soc.*, vol. 61, no.10, pp. 1610-1619, 1984.
- [9] N. P. Bahadur, D. G. B. Boocock ve S. K. Konar, "Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge lipid and canola oil: evaluation of fuel properties," *Energ. Fuel*, vol. 9, no.2, pp. 248-256, 1995.
- [10] R. E. Tate, K. C. Watts, C. A. W. Allen ve K. I. Wilkie, "The viscosities of three biodiesel fuels at temperatures up to 300°C," *Fuel*, vol. 85, no. 7-8, pp. 1010-1015, 2006.
- [11] P. S. Caro, Z. Mouloungui, G. Vaitilingom ve J. C. Berge, "Interest of combining an additive with diesel-ethanol blends for use in diesel engines," *Fuel*, vol. 80, no.4, ss. 565-574, 2001.
- [12] S. K. Tyson, "Biodiesel handling and use guidelines," National Renewable Energy Laboratory, Report NREL/TP-580-30004, ss. 1-17, 2001.
- [13] M. S. Graboski ve R. L. Mc Cormik, "Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines," *Prog. Energ. Combust*, vol. 24, no. 2, pp. 125-164, 1998.
- [14] M. Şen, A.O. Emiroğlu ve A. Keskin, "Production of biodiesel from broiler chicken rendering fat and investigation of its effects on combustion, performance and emissions of a diesel engine," *Energy Fuels*, vol. 32, no. 4, pp. 5209-5217, 2018.