

BİYODİZEL İLE ÇALIŞAN BİR DİZEL MOTORDA YAKIT PÜSKÜRTME AVANSININ PERFORMANS VE EGZOZ EMİSYONLARINA ETKİSİ

Abdurrazzak AKTAŞ ve Yakup SEKMEN*

Makina Eğitimi Bölümü, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 78050, Karabük

*Teknik Programlar Bölümü, Karabük Meslek Yüksekokulu, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 78050, Karabük

[a aktasa@yahoo.com](mailto:aktasa@yahoo.com), ysekmen@yahoo.com

(Geliş/Received: 29.03.2007; Kabul/Accepted: 20.06.2007)

ÖZET

Biyodizel, yapısında oksijen bulunduran, sülfür içermeyen, zehirleyici etkisi olmayan, doğada bozunabilir ve yenilenebilir bir alternatif dizel motor yakıtıdır. Dizel yakıtı göre daha az karbon monoksit, hidrokarbon ve is emisyonu yaydıkları bilinmektedir. Dizel motorlarda herhangi bir ayar ve değişiklik yapılmadan kullanılabilir. Püskürtme zamanlaması motor performansı ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden birisidir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile hem yakıt ekonomisi sağlanırken hem de zararlı egzoz emisyonları azaltılabilmektedir. Bu çalışmada, biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı bir motorda püskürtme avansının motor performansı ve emisyonlarına etkileri dört zamanlı, tek silindri bir dizel motorda araştırılmıştır. Püskürtme zamanlaması 24,9, 26,6 ve 28,5°KMA için tam yükte motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO_x emisyonları ölçülmüştür. Biyodizel ile çalışmada püskürtme avansının 26,6°KMA'ya artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte yaklaşık %6'ya kadar artış ve özgül yakıt tüketiminde %8'e kadar iyileşme görülmüştür. Ayrıca, CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilirken, NO_x emisyonlarında %4-11 arasında değişen artışlar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dizel motor, biyodizel, püskürtme avansı, motor performansı, egzoz emisyonları.

THE EFFECTS OF ADVANCE FUEL INJECTION ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF A DIESEL ENGINE FUELLED WITH BIODIESEL

Biodiesel is an oxygenated, sulphur-free, non-toxic, biodegradable and renewable alternative diesel fuel. It is known that CO, HC and smoke emissions of biodiesel are lower than those of diesel fuel. It is used without any significant setting and modification in diesel engines. Fuel injection timing is one of the significant parameters affecting the performance and emissions in diesel engines. By optimising fuel injection parameters, improvement in fuel economy as well as reduction in harmful exhaust emissions can be effected. In this study, the effects of fuel injection advance on engine performance and exhaust emissions were investigated experimentally in a four-stroke single cylinder direct injection diesel engine fuelled with biodiesel. Engine torque, brake power, specific fuel consumption, exhaust gas temperatures, CO, HC and NO_x emissions were measured for injection timings of 24.9, 26.6 and 28.5°CA at full load. By increasing injection timing to 26.6°CA when running on biodiesel, engine torque and brake power increased by about 6%, and 8% improvement in specific fuel consumption were observed. In addition, it was also determined that CO and HC emissions decreased while NO_x emissions increased by between 4-11%.

Keywords: Diesel engine, biodiesel, injection advance, engine performance, exhaust emissions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması ve hava kirliliği sorununun artması nedeniyle içten yanmalı motorlar

için alternatif yakıt arayışları artmıştır. Araştırmaların bir kısmı bitkisel yağlarla ilgilidir. Bitkisel yağlar, kanola, kolza, soya, keten, ay çekirdeği, mısır gibi yenilenebilir bitkilerden elde edilmektedir. Bitkisel

yağların az oranda sülfür içermeleri, yapılarında oksijen bulunması, setan sayılarının yüksek olması ve yanmaları sonucunda daha az zararlı emisyon yaymaları, onların özellikle dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıt olabileceklerini göstermektedir [1-7]. Ayrıca, daha yüksek parlama noktasına ve daha iyi yağlama özelliğine sahip olmaları da olumlu özellikleridir [8]. Ancak, bitkisel yağların yüksek viskozite ve düşük uçuculuk özelliğine sahip olmaları yakıt olarak kullanılmasını zorlaştıran özelliklerdir. Yüksek viskozite motor yakıt sisteminin ve filtresinin tıkanmasına, enjektör açılma basıncının yükselmesine, kötü atomizasyona [9-14] ve yanma sürelerinin petrol kökenli yakıtlara göre daha uzun olmasına sebep olmaktadır [15, 16]. Bu yüzden, bir çok ülkede bitkisel yağlar saf olarak kullanılmamakta dizel yakıtına belli oranlarda katılarak, ısıtılarak veya esterleştirilerek (biyodizele dönüştürülerek) tüketilmektedir [17- 19]. Bitkisel yağ biyodizel haline getirildiğinde, bir çok özelliği dizel yakıt özelliklerine yaklaşmaktadır. Ancak yoğunluğu dizel yakıtından genellikle biraz daha yüksek kalmaktadır [1,2]. Bazı kaynaklarda biyodizelin motor moment ve gücünde hafif artışa sebebiyet verdiği ve bunun biyodizelin yapısında bulunan oksijenin zengin alev bölgesinde tam yanma sağlamasından kaynaklandığı belirtilmiştir [20-22]. Bazı kaynaklarda ise, yapısında kütleli olarak %10-12 oksijen bulunması ve daha düşük ısı değere sahip olması, nedeniyle motor moment ve gücünde bir miktar düşüşe sebep olduğu belirtilmiştir [23-25]. Biyodizel ile çalışmalarda HC ve CO emisyonunun azaldığı açıklanmıştır [22,26,27]. Ayrıca, yapısında düşük oranda kükürt bulunması nedeniyle oldukça düşük SO₂ emisyonları yaymaktadır [17]. NO_x emisyonları için ise farklı görüşler söz konusudur. Bir görüşe göre yüksek yanma ve egzoz sıcaklığı sebebiyle NO_x emisyonları yüksek olabilmektedir [20, 27-29]. Yine, biyodizelin dizel yakıttan daha yüksek sıkıştırma direnci nedeniyle yakıt püskürtme zamanlamasına istemeyerek avans verecek, bu avans yanmanın ön karışım fazı sırasında tüketilen yakıt miktarında artışa sebep olacağından NO_x emisyonlarını artıracaktır [30-33]. Diğer bir görüşe göre de yapısında bulunan oksijenin tutuşma gecikmesi süresini kısaltması ve biriken yakıtın az olması sebebiyle maksimum sıcaklığın düştüğü ve bu nedenle ortalama NO_x emisyonunun azaldığı ifade edilmektedir [22, 34-36]. Bütün bunlar birlikte değerlendirildiğinde bitkisel yağ esterlerinin rahatlıkla yakıt olarak kullanılabilceği görülmektedir.

Dizel motorlarda silindire püskürtülen yakıt tanecikleri küçük moleküllere parçalanmakta, buharlaşmakta ve kimyasal reaksiyonlar başlamaktadır. Kimyasal reaksiyonların başlaması ile ilk alev çekirdeğinin oluşması arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılır. Tutuşma gecikmesi, püskürtme zamanlaması ve basıncından doğrudan etkilenmektedir. Bu bakımdan püskürtme

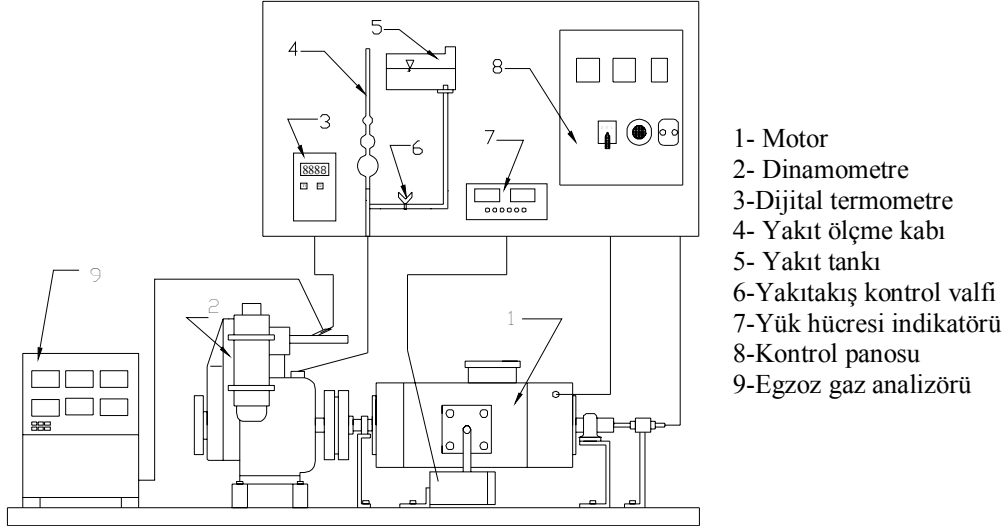
zamanlamasının farklı çalışma koşulları için belirlenmesi önemlidir. Sıkıştırma oranı, yanma odası tasarımı, silindire alınan havanın basınç ve sıcaklığı, yakıt kalitesi ve motor hızına göre optimum püskürtme avansı ve basıncı belirlenmelidir. Erken püskürtme motor vuruntusu bakımından olumsuz olan tutuşma gecikmesi süresine sebep olacağından, geç püskürtme ise yanma sonunu geciktirip fazla ısı kaybına ve düşük ortalama efektif basınca sebep olacağından istenmezler [37,38]. Optimum püskürtme avansı motordan maksimum ısı verim alınacak, fakat motorda mekanik ve ısı zorlanmalar olmayacak şekilde belirlenmelidir [32,39]. Motorun optimum değerden daha fazla avans ile çalıştırılması halinde silindir içindeki basınç ve sıcaklıklar düşük olduğundan yakıtın tutuşma gecikmesi süresi artar. Bu sırada silindirde biriken yakıtın ani yanmasıyla basınç artma oranı yükseleceğinden motor vuruntulu çalışacak, silindir içi sıcaklık artacağından NO_x emisyonları artacaktır. Püskürtme avansının optimum değerden daha az olması halinde silindir içi basınç ve sıcaklıklar daha yüksek olacağından tutuşma gecikmesi süresi azalır. Ancak, yakıtın büyük bir kısmı kontrollü yanma periyodunda yanacağından ve hacim genişlemesi nedeniyle yanma sonu maksimum ve ortalama efektif basınçlar düşecektir. Ayrıca, silindir içi sıcaklıklar düşük olacağından NO_x emisyonları azalacaktır [40].

Püskürtme zamanlaması veya püskürtmenin başlangıcı tüm motor karakteristiklerini büyük oranda etkileyen çok önemli bir parametredir. Püskürtme zamanlaması hava-yakıtın karışım kalitesini, dolayısıyla kirlenici emisyonları da kapsayan yanma olayını etkilemektedir. Gecikmiş püskürtmenin maksimum silindir basıncını azalttığı ve düşük ısı transfer hızı ve düşük yanma gürlütüsüne yol açtığı bilinmektedir. Ayrıca, gecikmiş püskürtme düşük silindir sıcaklıklarını doğuracağından NO_x emisyonlarını azaltacaktır. Ancak, gecikmiş püskürtme yakıt tüketiminin ve is emisyonlarının artışına neden olacaktır. [32,41].

Dizel motorlarda püskürtme zamanlaması motor performans ve egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden birisidir. Yapılan literatür araştırmasında saf bitkisel yağların veya biyodizelin dizel yakıtı olarak kullanılması durumunda püskürtme basıncı ve zamanlamasının performans ve emisyonlara etkileri ile ilgili olarak az sayıda [26,27,31,32,42,] çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmada, biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı bir motorda püskürtme avansının motor performans ve emisyonuna etkileri araştırılmıştır.

2. DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEMİ (EXPERIMENTAL APPARATUS AND METHOD)

Deney düzeneği elektrikli DC tip dinamometre, sıkıştırma ile ateşlemeli motor, egzoz gaz analizörü ve Protech stroboflash avans ölçüm cihazından



Şekil 1. Deney düzeneğinin şematik görüntüsü (Schematic view of the engine test bed).

Tablo 1. Deney motorunun teknik özellikleri (The technical specifications of the test engine)

Motor tipi	Lombardini LD 400, dört zamanlı, direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir sayısı	1
Silindir çapı	86 mm
Strok	68 mm
Silindir hacmi	395 cm ³
Maksimum motor gücü	6,25kW (3600 d/d)
Maksimum motor momenti	19,6 Nm (2200 d/d)
Sıkıştırma oranı	18:1
Püskürtme basıncı	190 bar

oluşmaktadır. Deney sisteminin şematik görünüşü Şekil 1’de görülmektedir. Deneylerde tek silindirli, dört zamanlı sıkıştırma ile ateşlemeli motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. DC dinamometre 4000 d/d’de 10kW güç absorbe edebilmekte ve aynı zamanda deney motoruna ilk hareket vermek için de kullanılabilir. Dinamometre yükü yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür. Yakıt tüketimi, motorun 10ml’lik cam tüp içindeki yakıtı tüketme süresi belirlenerek ölçülmüştür. Yakıt tüketim süresinin belirlenmesinde 1 salise hassasiyetinde dijital ölçüm yapabilen Charles Sernard kronometre kullanılmıştır. Egzoz gaz sıcaklık ölçümleri K tipi termokupl ile yapılmıştır. Emisyon ölçümleri için Tablo 2’de ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri verilen MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. NO_x, HC, CO, CO₂, ve O₂ emisyonları ölçülebilmektedir.

Tablo 2. MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörünün özellikleri (The specifications of MRU Delta 1600L exhaust gas analyser)

Ölçüm	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (%hacimsel)	0-15,00	±0,06%
CO ₂ (%hacimsel)	0-20,00	±0,5%
NO _x (ppm)	0-2000	±5
HC (ppm)	0-20000 n-hexan	±12
O ₂ (%hacimsel)	0-25	±0,1
Sıcaklık (°C)	-40-(+650)	±1°

Deneyler motor çalışma sıcaklığına ulaştıktan sonra tam yükte (tam gaz kelebek açıklığı) yapılmıştır. Motor hızı 1400-3400 d/d aralığında 400 d/d aralıklarla değiştirilmiştir. Deney motoru dizel yakıtı ile çalışırken yapılan avans ölçümünde yakıtın Üst Ölü Noktadan (ÜÖN) 24,9° önce püskürtüldüğü ve bu avansın motor firması tarafından önerilen 24-26° lik değerler arasında olduğu tesbit edildikten sonra dizel ve biyodizel (soya yağı metil esteri) yakıtları için performans ve egzoz emisyon değerleri belirlenmiştir. Sonra yakıt pompası motordan sökülerek, pompa altında bulunan 0,33 mm’lik ayar şimi çıkarılıp motora takılarak biyodizel ile çalıştırıldığında ve avans kontrolü yapıldığında, avansın 26,6°’ye çıktığı ve toplam olarak artırılması düşünülen 3,5°’lik avansın yaklaşık yarısı kadar olduğu görüldükten sonra biyodizel ile ikinci çalışma yapılmıştır. İkinci defa pompa sökülerek 0,33 mm’lik ikinci şim de çıkarılmış ve pompa yerine takılıp biyodizel ile motor çalıştırılarak avans ölçüldüğünde avansın 28,5°’ye çıktığı bir öncekinin yaklaşık iki katı olduğu görülmüş ve biyodizel ile son çalışma gerçekleştirilmiştir. Aynı kalınlıktaki şimler ile sağlanan avanslar arasında 0,2 derecelik fark olduğu görülmektedir. Bu farkın şimlerin farklı ezilmiş olabileceğinden, civataların sıkılma durumu ve ölçme hatası gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. İlk ve şim değişimi sonrası avans değerleri motor çalışır durumda iken Protech marka avans cihazı ile ölçülmüştür. Cihaz motora bağlandıktan sonra çalıştırılıp avans işaretlerine doğru tutulduğunda, krank kasnağı üzerindeki avans işaretinin blokta bulunan ÜÖN işaretinden avans derecesi kadar uzakta olduğu ve yaklaşık olarak okunabildiği tesbit edilmiştir. Ancak daha net ölçüm için, krank kasnağı üzerindeki avans işareti blokta ÜÖN işareti ile karşılaşana kadar cihaz ile geciktirme yapılmış avans değeri doğrudan cihazın dijital ekranından okunmuştur. silindir gaz basınçları elde edilmediğinden yakıt özelliklerinin püskürtme başlangıcına etkisi ölçülememiştir. İlk referans yakıt olan dizel No 2 ile, 24,9°’lik avansta çalışma

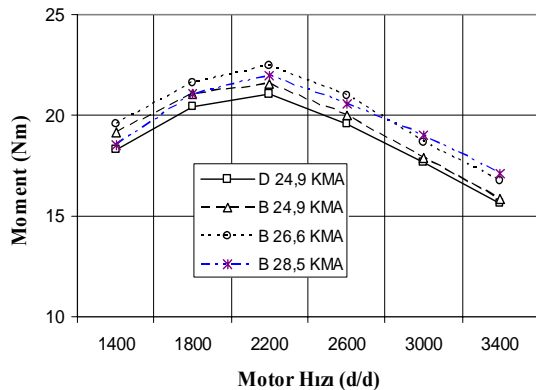
Tablo 3. Deneysel biyodizel yakıtının özellikleri (The properties of biodiesel used in the experiments)

Özellik	Ölçülen değer (TS 3082'ye göre)	Olması Gereken (TS EN 14214'e göre)
Özgül kütle (g/ml)	0,887	0,860-0,900
Alevlenme Noktası (°C)	58	120 (en az)
Destilasyon 250 °C de	Destile olmuyor	----
Destilasyon 350 °C de	% 68	----
Destilasyon 370 °C de	% 85	----
Su miktarı (mg/kg)	Ölçülemeyecek kadar az	500 (en çok)

tamamlanmıştır. Sonra karşılaştırma yapabilmek amacıyla, avansta herhangi bir değişiklik yapılmadan, biyodizel ile ilk çalışma gerçekleştirilmiştir. Dolayısı ile biyodizel ile ilk çalışmada biyodizel özelliklerinin avansa etkisi ihmal edilmiştir. Ancak, 26,6° ve 28,5°'lik avanslı çalışmalarda motor biyodizel ile çalışırken avans ölçüldüğü için biyodizelin avansa etkisi ölçülen avansa dahil olarak ölçülmüştür. Grafiklerde "D" dizel no.2 yakıtını, "B" biyodizel yakıtını ifade etmektedir. Bu harflerin önündeki sayılar ise püskürtme avans değerini göstermektedir. Her bir nokta için motor kararlı duruma ulaştıktan sonra ölçümler kaydedilmiştir. Bu çalışmada soya yağından elde edilen ticari bir biyodizel kullanılmıştır. Biyodizel yakıtının TS 3082'ye göre tesbit edilen özellikleri Tablo 3'te görülmektedir.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ (EXPERIMENTAL RESULTS AND EVALUATION)

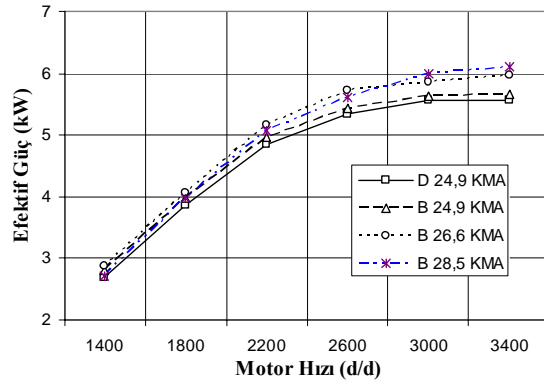
Dizel motorlarda yanma, yanma odası tasarımı, sıkıştırma oranı, yakıt kalitesi, püskürtme avansı ve basıncı gibi parametrelerden etkilenmektedir. Bu parametrelerin optimize edilmesi ile yakıt ekonomisi sağlanırken aynı zamanda egzoz emisyonları azaltılabilmektedir. Dizel motorlarda püskürtme avansı motor performans ve egzoz emisyonlarını

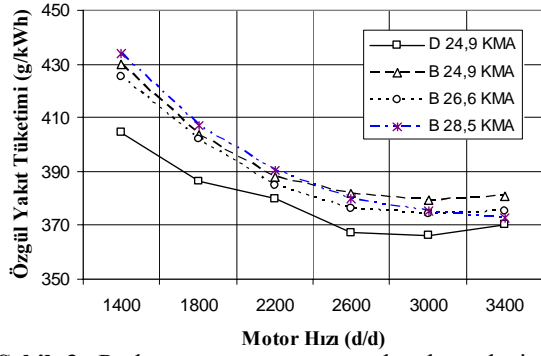
**Şekil 2.** Püskürtme avansının moment ve efektif güce etkisi (The effect of injection advance on torque and effective power)

etkileyen temel parametrelerden birisidir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç artma hızını dolayısıyla yanma periyodunu doğrudan etkilemektedir. Püskürtme avansının belirli noktaya kadar artması ile tutuşma gecikmesi kısılırken daha da artırılması tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına neden olmaktadır. Optimum püskürtme avansı ile motor performansı ve egzoz emisyonlarında iyileşme sağlanabilmektedir.

Şekil 2'de biyodizel ve dizel yakıtı için püskürtme avansının motor momentine ve efektif gücüne etkisi görülmektedir. Aynı püskürtme avansı ile biyodizel ile çalışmada motor momentinin %1,5 ile 4,5 arasında arttığı belirlenmiştir. Bu durum, biyodizelin ısı değerinin daha düşük olmasına rağmen, yüksek setan sayısı ve oksijen içeriği nedeniyle özellikle zengin karışım bölgelerinde daha iyi yanma sağlaması, yoğunluğunun yüksek olmasından aynı hacimde pompanın kütleli olarak daha fazla yakıt püskürtmesi, viskozitesinin yüksek olması nedeniyle pompa ve enjektör kaçaklarının az olması ile açıklanabilir [43]. Biyodizel ile püskürtme avansının 24,9°'den 26,6°KMA'ya artırılması ile motor moment ve efektif güce %2 ile 6 arasında değişen artış sağlanırken, 28,5°KMA'ya artırılması ile düşük motor hızlarında azalma yüksek hızlarda ise bir miktar artış görülmüştür. Biyodizelin yoğunluğunun ve viskozitesinin yüksek olması püskürtme sonrası zerrelere ayrılması, buharlaşması ve kimyasal olarak tutuşabilmesi için daha fazla zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Dizel yakıtı için tasarlanan püskürtme avansının biyodizel ile çalışmalarda bir miktar artırılması ile bu gecikme karşılanabilmektedir. Belirli bir noktadan sonra püskürtme avansının artırılması muhtemel vuruntulu çalışmadan dolayı yanma ve motor performansına olumsuz etki etmektedir.

Şekil 3'te dizel ve biyodizelin farklı püskürtme avansları için özgül yakıt tüketimi değişimi motor hızına bağlı olarak görülmektedir. Özgül yakıt tüketimi biyodizel ile çalışmada dizel yakıtı göre daha yüksektir [1, 18, 27, 44-46]. Püskürtülen yakıtın yoğunluğu, miktarı, viskozitesi ve ısı değeri özgül yakıt tüketimini etkilemektedir. Biyodizel yakıtının ısı değerinin dizel yakıtından düşük olması



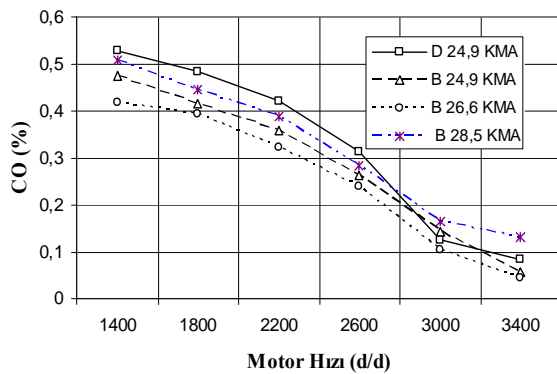


Şekil 3. Püskürtme avansının özgül yakıt tüketimine etkisi (The effect of injection advance on specific fuel consumption)

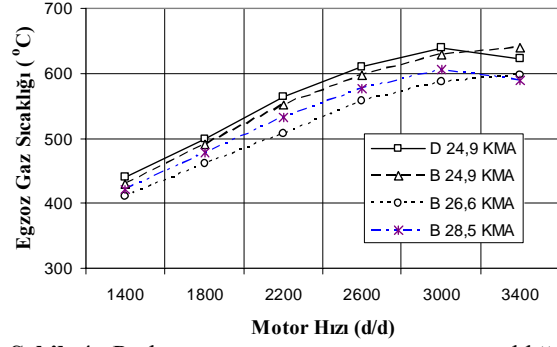
nedeniyle aynı miktarda enerji elde etmek için daha fazla yakıt kullanmak gerekmektedir. Bu durumda özgül yakıt tüketimlerinin dizel yakıtı göre daha yüksek olmasına neden olmaktadır. Biyodizel ile çalışmada püskürtme avansının 26,6°KMA'ya artırılmasıyla özgül yakıt tüketiminde yaklaşık %8'e kadar azalma elde edilmiştir. Püskürtme avansının daha da artırılmasıyla özellikle düşük motor hızlarında özgül yakıt tüketiminin arttığı tespit edilmiştir. Yüksek motor hızlarında püskürtme avansının derece olarak artmasına rağmen zaman olarak kısalmasından dolayı yakıt ekonomisi iyileşebilmektedir.

Dizel motorlarda, tutuşma gecikmesi süresinin kısa olması yanmanın genişleme periyoduna daha az sarkmasına ve egzoz gaz sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır. Şekil 4'te püskürtme avansının dizel ve biyodizel yakıtları için egzoz gaz sıcaklıklarına etkisi motor hızına bağlı olarak görülmektedir. En düşük egzoz gaz sıcaklığı püskürtme avansının 26,6°KMA olduğu denemelerde elde edilmiştir. Bunda biyodizelin oksijen içermesi, ve püskürtme başlangıcının öne alınmasının etkisi vardır. Biyodizel ile avanslı çalışmada dizel yakıtına göre egzoz gaz sıcaklıklarının düşük olması püskürtme avansının bir miktar artırılması gerektiğini göstermektedir.

Şekil 5'te püskürtme avansı ile CO ve HC emisyonlarının değişimi motor hızına göre verilmiştir. Tüm avans değerleri için biyodizel ile çalışmada CO emisyonları dizel yakıtı göre daha düşük olarak ölçülmüştür.



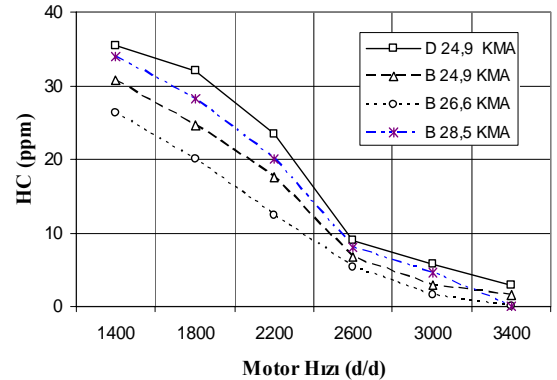
Şekil 5. Püskürtme avansının CO ve HC emisyonlarına etkisi (The effect of injection advance on CO and HC emissions)



Şekil 4. Püskürtme avansının egzoz gaz sıcaklığına etkisi (The effect of injection advance on exhaust gas temperature)

Biyodizel yakıtının oksijen içermesi bu azalmanın temel sebebidir. Dizel motorlar genellikle fakir karışımla çalıştığından CO emisyonları düşüktür [18,47]. Dizel motorlarda, hidro-karbon oluşumunun birçok sebebi vardır. Bu sebeplerin başında her püskürtmeden sonra, enjektörün iğne tarafından kapatılmayan uç hacminde kalan yakıt gelir. Bu hacimde kalan yakıt, genişleme strokunun sonlarına doğru genişleyerek silindire girer ve oksijen eksikliğinde yanarak HC ve CO emisyonuna sebep olur. Aynı şekilde sekman boşluklarında, yanma odasının köşelerinde biriken yakıt ve yağ, cidara çarpan yakıt zerrecikleri, tutuşması zor oldukça fakir karışımlar, HC emisyonlarının temel sebeplerindedir [38]. HC emisyonları biyodizel ile çalışmada tüm motor hızlarında daha az olmakla birlikte düşük motor hızlarında azalmanın oranı daha yüksektir. Türbülansın düşük olduğu düşük motor hızlarında, bir miktar avansın tutuşmadan önce yakıt ile havanın teması için daha uzun bir süre sağlaması ile HC emisyonunun olumlu yönde etkilendiği görülmektedir. En düşük HC emisyonu 26,6°KMA püskürtme avansında elde edilmiştir.

Bir çok yakıtın yanması sırasında azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) olarak bilinen emisyonlar NO_x olarak adlandırılmaktadır. NO_x emisyonları asit yağmurlarının oluşumuna etki eden insan sağlığı ve çevre açısından ciddi problemlere sebep olabilmektedir. Artan enerji talebini karşılamak için en uygun yöntem alternatif yakıtların kullanılmasıdır. Biyodizel bu talep için büyük bir potansiyele sahiptir. Ancak,



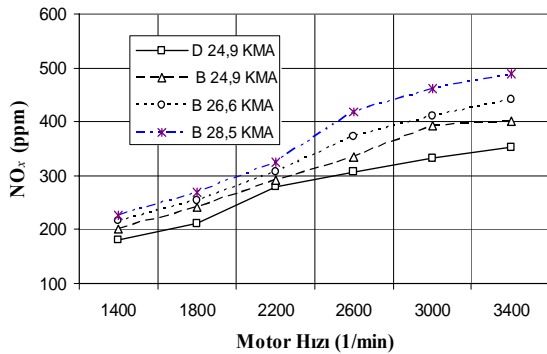
biyodizel kullanımı yüksek oranda NO_x emisyonu problemini de birlikte getirmektedir. Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri NO_x oluşumuyla yakından ilişkilidir. NO_x ; ısı, prompt ve yakıt NO_x gibi üç değişik yolla oluşumu olmakla birlikte en büyük faktör ısı NO_x oluşumudur. Bu yolla NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklıklara ve tutuşma gecikmesi süresine bağlıdır [28,30]. Püskürtme avansının artırılması silindir içi maksimum basınç ve sıcaklıkları artırdığından daha yüksek miktarda NO_x emisyonu oluşmasına neden olmaktadır [48]. Şekil 6'da püskürtme avansının NO_x emisyonlarına etkisi görülmektedir.

Tüm avanslar için biyodizel ile çalışmada NO_x emisyonları dizel yakıtından daha yüksektir [27,49]. Biyodizel ile standart püskürtme avansında dizel yakıtına göre ortalama %8,9 artış belirlenmiştir. Püskürtme avansının $28,5^\circ\text{KMA}$ artırılmasıyla tüm motor hızlarında NO_x emisyonunda yaklaşık %11 ile 22 arasında değişen artışlar belirlenmiştir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı dört zamanlı tek silindirli bir dizel motorda püskürtme zamanlaması $24,9$, $26,6$ ve $28,5^\circ\text{KMA}$ için tam yükte motor momenti, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklıkları ile CO, HC ve NO_x emisyonlarına etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, referans yakıt olarak dizel yakıt no. 2 ile standart püskürtme zamanlamasında elde edilen sonuçlar da grafiklere yansıtılmıştır.

- Biyodizel ile çalışmada motor momenti ve efektif güçte bir miktar artış olmasına rağmen ısı değerinin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketimi dizel yakıtından daha yüksektir. Püskürtme avansının $26,6^\circ$ 'ye artırılmasıyla motor momenti ve efektif güçte %6 kadar artış, özgül yakıt tüketiminde %8 iyileşme sağlanmıştır. Püskürtme avansının daha fazla artırılmasının motor performansı ve egzoz emisyonlarını olumsuz etkilediği görülmüştür.
- Biyodizel ile çalışmada egzoz gaz sıcaklıkları dizel yakıtına göre daha düşük olarak ölçülmüştür. Bunda



Şekil 6. Püskürtme avansının NO_x emisyonlarına etkisi (Fig. 6. The effect of injection advance on NO_x emissions)

biyodizelin oksijen içermesi, ve püskürtme başlangıcının öne alınmasının etkisi vardır. En düşük egzoz gaz sıcaklıkları püskürtme avansının $26,6^\circ\text{KMA}$ 'ya artırılmasıyla elde edilmiştir. Biyodizel ile avanslı çalışmada egzoz gaz sıcaklıklarının düşük olması püskürtme avansının dizel yakıtına göre bir miktar artırılması gerektiğini göstermektedir.

- Püskürtme avansının artırılmasıyla özellikle düşük motor hızlarında CO ve HC emisyonların daha çok azaldığı görülmüştür. Belirli bir motor hızında ve çalışma koşulunda biyodizel ile çalışmada dizel yakıtına göre daha çok yakıtın yakılması, daha çok enerjinin açığa çıkması ve silindir içi sıcaklıkların artması nedeniyle NO_x emisyonlarında artış belirlenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Rakopoulos CD., Antonopoulos KA., Rakopoulos DC., Hountalas DT., Giakoumis EG., "Comparative Performance and Emissions Study of A Direct Injection Diesel Engine using Blends of Diesel Fuel with Vegetable Oils or Bio-Diesels of Various Origins", **Energy Conversion and Management**, 47, 18-19, 3272-3287, 2006.
2. Huzayyin AS., Bawady AH., Rady MA., Dawood A., "Experimental Evaluation of Diesel Engine Performance and Emission using Blends of Jojoba Oil and Diesel Fuel", **Energy Conversion and Management**, 45, 13-14, 2093-2112, 2004.
3. Van Gerpen JH, Peterson CL., Goering CE., "Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines", **Agricultural Equipment Technology Conference**, Louisville, Kentucky, USA, 1-22, 11-14 February 2007.
4. Canakci M., and Van Gerpen JH., "Biodiesel Production Via Acid Catalysis", **Trans. ASAE**, 42, 5, 1203-1210, 1999.
5. Canakci M., and Van Gerpen JH., "Biodiesel Production from Oils and Fats with High Free Fatty Acids", **Trans. ASAE** 44, 6, 1429-1436, 2001.
6. Ramadhas AS., Jayaraj S., Muraleedharan C., "Use of Vegetable Oil as I.C. Engine Fuels - A Review", **Renewable Energy**, 29, 727-742, 2004.
7. He Y., Bao YD., "Study on Rapeseed Oil as Alternative Fuel for A Single-Cylinder Diesel Engine", **Renewable Energy**, 28, 1447-1453, 2003.
8. Yori JC., D'Ippolito SA., Pieck CL., and Vera CR., "Deglycerolization of Biodiesel Streams by Adsorption Over Silica Beds", **Energy & Fuels**, 21, 347-353, 2007.
9. Nwafor OMI., Rice G., "Performance of Rapeseed Oil Blends in Diesel Engines", **Applied Energy**, 54, 4, 345-354, 1996.
10. Karaosmanoğlu F., "Vegetable Oil Fuels: A Review", **Energy Sources**, 21, 221-231, 1999.
11. Demirbas A., "Biodiesel from Vegetable Oils via Catalytic and Non-Catalytic Supercritical Alcohol Transesterifications and Other Methods: A

- Survey”, **Energy Conversion and Management**, 44, 2093-2109, 2003.
12. Demirbas A., “Biodiesel Production via Non-Catalytic SCF Method and Biodiesel Fuel Characteristics”, **Energy Conversion and Management**, 47, 2271-2282, 2006.
 13. Demirbas A., “Biodiesel from Sunflower Oil in Supercritical Methanol with Calcium Oxide”, **Energy Conversion and Management**, 48, 937-941, 2007.
 14. Canakci M., “Combustion Characteristics of A Turbocharged DI Compression Ignition Engine Fueled With Petroleum Diesel Fuels and Biodiesel”, **Bioresource Technology**, 98, 1167-1175, 2007.
 15. Varde KS., “Some Correlation of Diesel Engine Performance with Injection Characteristics using Vegetable Oil as Fuel”, **Vegetable Oil Fuels: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels**, ASAE Publication, Fargo, ND, 303-311, Aug. 1982.
 16. Baranescu RA., Lusco JJ., “Performance, Durability and Low Temperature Evaluation of Sunflower Oil as A Diesel Fuel Extender”, **Vegetable Oil Fuels: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels**, ASAE Publication, Fargo, ND, 312-328, Aug. 1982.
 17. Romano S., “Vegetable Oils - A New Alternative”, **Vegetable Oil Fuels: Proceedings of the International Conference on Plant and Vegetable Oils as Fuels**, ASAE Publication, Fargo, ND, 106-116 Aug. 1982.
 18. Nwafor OMI., “Emission Characteristics of Diesel Engine Operating on Rapeseed Methyl Ester”, **Renewable Energy**, 29(1), 119-129, 2004.
 19. D’Ippolito SA., Yori JC., Iturria ME., Pieck CL., and Vera CR., “Analysis of a Two-Step, Noncatalytic, Supercritical Biodiesel, Production Process with Heat Recovery”, **Energy & Fuels**, 21, 339-346, 2007.
 20. Gomez MEG., Howard-Hildige R., Leahy JJ., O’Reilly T., Supple B., Malone M., “Emission And Performance Characteristics of A 2 Litre Toyota Diesel Van Operating on Esterified Waste Cooking Oil and Mineral Diesel Fuel”, **Environmental Monitoring and Assessment**, 65, 13-20, 2000.
 21. Agarwal AK., Das LM., “Biodiesel development and characterization for use as a fuel in compression ignition engines”, **J. Eng Gas Turbines Power**, Trans ASME 123, 440-447, 2001.
 22. Kalam MA., Husnawan M., Masjuki HH., “Exhaust Emission and Combustion Evaluation of Coconut Oil Powered Indirect Injection Diesel Engine”, **Renewable Energy**, 28, 2405-2415, 2003.
 23. Dorado MP., Ballesteros E., Arnal JM., Gomez J., Lopez FJ., “Exhaust Emissions from A Diesel Engine Fuelled with Transesterified Waste Olive Oil”, **Fuel**, 82, 11, 1311-1315, 2003.
 24. Altin R, Cetinkaya S, Yucesu HS., “The Potential of using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines”, **Energy Conversion and Management**, 42, 5, 529-538, 2001.
 25. Nwafor OMI., “Emission Characteristics of Diesel Engine Running on Vegetable Oil with Elevated Fuel Inlet Temperature”, **Biomass and Bioenergy**, 27, 5, 507-511, 2004.
 26. Yahya A., and Marley SJ., “Performance and Exhaust Emissions of A Compression Ignition Engine Operating on Ester Fuels at Increased Injection Pressure and Advanced Timing”, **Biomass and Bioenergy**, 6, 4, 297-319, 1994.
 27. Monyem A., Van Gerpen JH., “The Effect of Biodiesel Oxidation on Engine Performance and Emissions”, **Biomass and Bioenergy**, 20, 317-325, 2001.
 28. Fernando S., Hall C., and Jha S., “NO_x Reduction from Biodiesel Fuels”, **Energy & Fuels**, 20, 376-382, 2006.
 29. Canakci M., “Combustion Characteristics of A Diesel Engine Fueled with Biodiesel from Soybean Oil”, **8th International Combustion Symposium**, September 8-9, Ankara, Turkey, 364-376, 2004.
 30. Tat ME., **Investigation of Oxides of Nitrogen Emissions from Biodiesel-Fueled Engines**, Ph.D. dissertation, Iowa State University, 2003.
 31. Boehman AL., Morris D., Szybist J., Esen E., “The Impact of The Bulk Modulus of Diesel Fuels on Fuel Injection Timing”, **Energy & Fuels**, 18, 1877-1882, 2004.
 32. Kegl B., “Experimental Investigation of Optimal Timing of The Diesel Engine Injection Pump using Biodiesel”, **Fuel, Energy & Fuels**, 20, 1460-1470, 2006.
 33. Szybist J.P., Boehman A.L., Taylor J.D., McCormic R.L. “Evaluation of Formulation Strategies to Eliminate The Biodiesel NO_x Effect” **Fuel Processing Technology** 86, 1109–1126, 2005.
 34. Dorado MP., Ballesteros E., Arnal JM., Gomez J., Lopez FJ., “Exhaust Emissions from A Diesel Engine Fuelled with Transesterified Waste Olive Oil” **Fuel**, 82(11):1311-5, 2003.
 35. Kalam MA., Masjuki HH., “Biodiesel from Palm Oil An Analysis of Its Properties and Potential”, **Biomass Bioenergy**, 23, 471-479, 2002.
 36. Lin CY., Huang JC., “An Oxygenating Additive for Improving The Performance and Emission Characteristics of Marine Diesel Engines”, **Ocean Engineering**, 30, 13, 1699-1715, 2003.
 37. Borat O., Balci M., Sürmen A., **İçten Yanmalı Motorlar**, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Cilt 1, Ankara, 1995.
 38. Öz İH., Borat O., Sürmen A., **İçten Yanmalı Motorlar**, Birsen Yayınevi, İstanbul, 262-269, 2003.

39. Safgönül B., Ergeneman M., Arslan HE., Soruşbay C., **İçten Yanmalı Motorlar**, Birsan Yayınevi, İstanbul, 196-204, 1999.
40. Topgül T., **Tek Silindirli Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansı ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Analizi**, Y.Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bil. Enst., 61-67, 2000.
41. Stone, R., **Introduction to Internal Combustion Engines**, Macmillan Press Ltd., Houndsmills, UK, 232-233, 1999.
42. Nwafor OMI, Rice G, Ogbonna AI., “Effect of Advanced Injection Timing on The Performance of Rapeseed Oil in Diesel Engines”, **Renewable Energy**, 21, 3-4, 433-44, 2000.
43. Usta N., “An Experimental Study on Performance and Exhaust Emissions of A Diesel Engine Fuelled with Tobacco Seed Oil Methyl Ester”, **Energy Conversion and Management**, 46, 15-16, 2373-2386, 2005.
44. Usta N., Öztürk E., Can Ö., Conkur ES., Nas S., Çon AH., Can AÇ. and Topcu M., “Combustion of Biodiesel Fuel Produced from Hazelnut Soapstock/Waste Sunflower Oil Mixture in A Diesel Engine”, **Energy Conversion and Management**, 46, 5, 741-755, 2005.
45. Usta N., Can Ö., Öztürk E., “An Experimental Study On Performance and Exhaust of A Diesel Engine Fuelled with Diesel Fuel No. 2/Waste Sunflower Oil Methyl Ester Blends”, **Uluslararası 9. yanma sempozyumu**, Kırıkkale, Turkey, 89-103, 16-17 Kasım, 2006.
46. Usta N., “Use of Tobacco Seed Oil Methyl Ester in A Turbocharged Indirect Injection Diesel Engine”, **Biomass and Bioenergy**, 28, 1, 77-86, 2005.
47. Abdel-Rahman AA., “On The Emissions from Internal-Combustion Engines: A Review”, **International Journal of Energy Research**, 22, 483-513, 1998.
48. Ergeneman M., Arslan HE., Mutlu M., Kutlar OA., **Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirlenmeler**, Birsan Yayınevi, İstanbul, 21-24, 1998.
49. Owen K., Coley T., **Automotive Fuels Reference Book**, 2nd edition, SAE, Warrendale, USA, 543-546, 1995.