

Biyodizel/Hidrojen Çift Yakıtının Bir Dizel Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi

Ö. Şahin¹ ve A. Aktaş²

¹Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük /Türkiye, ozkan.shn@gmail.com

²Karabük Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük /Türkiye, aaktas@karabuk.edu.tr

The Effect of using Biodiesel/Hydrogen dual fuel on a single cylinder Diesel Engine Performance And Emission

Abstract—In this study, the effects of using different ratios of biodiesel-hydrogen as a fuel on the single-cylinder diesel engine performance and emissions were investigated experimentally. The experiments were conducted in various soy biodiesel/hydrogen ratios of the dual-fuel with different engine loads (25%, 50%, 75%, 100%) and constant speed (1800 rpm). In addition, pure biodiesel and diesel fuel were tested under the same conditions for comparison on. At the end of the experimental studies, as the increases proportion of the hydrogen, hydrocarbons, carbon monoxide, carbon dioxide, soot emissions are significantly reduced, while nitrogen oxide emissions increased. In addition specific fuel consumption were also dropped.

Keywords—Diesel engine; biodiesel; hydrogen; emission; performance

I. GİRİŞ

Artan hava kirliliği ve petrol esaslı yakıtların tükeneceği endişesi sebebiyle, içten yanmalı motorlarda kullanılan fosil esaslı yakıtlar yerine kullanılabilir daha temiz yanabilen, biyodizel, metil alkol, etil alkol, biyogaz, doğalgaz, LPG ve hidrojen gibi alternatif yakıt arayışları hız kazanmıştır. Bunlardan biyodizel ve hidrojen iki önemli alternatif yakıttır. Biyodizel; genellikle soya, kolza ve ayçekirdeği gibi bitkisel yağlar transesterifikasyon işlemine tabi tutularak elde edilmektedir. Ortalama biyodizel yakıt özellikleri aşağıda özet olarak verilmiştir [1]. Biyodizelin hidrojen içeriği dizel yakıtinkine benzer olmasına rağmen daha düşük oranda karbon (%77) ve önemli miktarda oksijen içermektedir [kütlesel olarak %11]. Bu yüzden Alt ısı değeri düşüktür (yaklaşık 37 MJ/kg). Biyodizel genellikle çok küçük miktarda fosfor ve kükürt içerir, bu nedenle SO_x emisyonları neredeyse yok denecek kadar azdır. Kansere sebebiyet veren aromatik bileşikler bulunmaz. Dizel yakıtı 2 ile karşılaştırıldığında, yoğunluğu ve setan sayısı dizel yakıtından daha yüksektir. Ayrıca daha yüksek parlama noktasına sahip olması taşıma ve depolama sırasında kolaylık sağlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda biyodizelin özellikleri dizel özelliklerinden daha kötüdür. Soğuk filtre tıkama noktası (CFPP) genel olarak dizelinkinden yüksektir bu da soğuk havalarda çeşitli sorunlara

neden olabilmektedir (filtre tıkanması vb). Oksidasyon problemleri bakımından dizel yakıtından daha endişe vericidir. Bu zamanla aromatik özelliklerinin değişmesine ve parlama noktasının düşmesine sebep olur. Biyodizel menşeli oksidasyonlar depolama ömrünü etkiler ve depo, yakıt sistemleri ve filtrelerde kalıntı oluşmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, yakıt çevreye döküldüğünde biyolojik olarak doğada bozunabiliyor olması önem arz etmektedir. Biyodizel çok az kükürt içermesi nedeni ile dizel yakıtına göre daha çok yağlayıcı özelliğe sahiptir. Bu da motor ve yakıt sisteminde daha az aşınma bakımından önemli bir özelliktir.

Biyodizelin dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde; farklı orjinal yakıtlar, farklı üretim teknikleri uygulanması, farklı deney koşulları ve farklı motorlarda denemeler yapılması nedeniyle zaman zaman zıt sonuçlar alınmış olsa da genel olarak; motor performansının bir miktar düştüğü, özgül yakıt sarfiyatının arttığı, CO ve HC emisyonlarının önemli miktarda düştüğü ancak NO_x emisyonlarının ise arttığının tesbit edildiği anlaşılmaktadır [2-6].

Hidrojen ise; kömür, doğalgaz gibi fosil esaslı yakıtlar ile güneş enerjisi, nükleer enerji ve su gibi sonsuz bir kaynağa sahip fosil esaslı olmayan kaynaklardan elde edilebildiği için ideal bir yakıttır. Yakıt olarak kullanıldığında yanma ürünü olarak sadece su açığa çıkarması nedeniyle çevreye hiçbir zararı yoktur. Geniş Hava/yakıt oranlarında ($\lambda=0,15-4,35$) tutuşabilir olması, ateşlenmesi için diğer yakıtlara göre daha az enerjiye ihtiyaç duyması, kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması (1 atm basınçta 574-591 °C), oktan sayısının yüksek olması (ROS=130), alev hızının yüksek olması, yüksek ısı değere sahip olması (119,99 MJ/kg), gibi bir çok olumlu özelliğe sahiptir [7]. Erken tutuşma, alevin geri tepmesi ve depolanmasının zor olması gibi bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır.

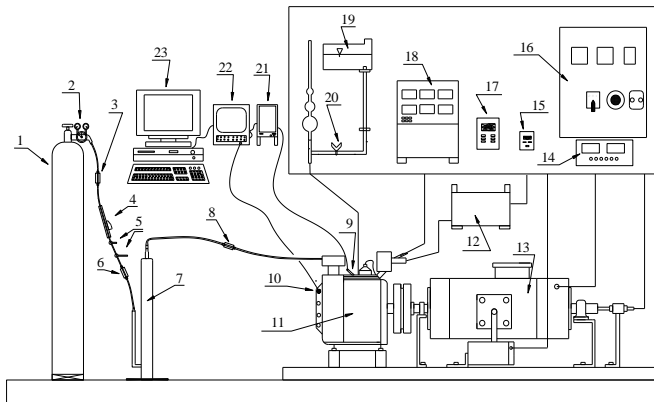
Hidrojen benzinli motorlarda karbüratör ile ya da doğrudan emme manifolduna püskürtülmek suretiyle tek başına kullanılabilir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda ise kendi kendine tutuşma sıcaklığının yüksek olması nedeniyle yanmayı başlatamadığı için tek başına kullanılamamakta ancak pilot dizel yakıtı ile birlikte kullanılabilir [8-9]. İkinci yakıt olarak belirli oranda hidrojenin kullanıldığı çift yakıtlı dizel motorlarda, termik verimin arttığı, emisyonların önemli miktarda azaldığı tespit edilmiştir [10-19].

Biyodizelin yakıt olarak kullanıldığı durumlarda da, karbon içermeyen ve yüksek yanma hızına sahip hidrojenin ikinci yakıt olarak kullanılmasının biyodizelin yüksek viskozite, düşük yanma hızı vb. özelliklerinden kaynaklanan olumsuzlukların etkisini azaltarak emisyonları daha da düşürülebileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada, kütleli olarak farklı oranlarda soya biyodizeli/Hidrojenden oluşan çift yakıtların tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda 1800 d/d sabit motor hızında, farklı yüklerde (%25, %50, %75, %100) kullanılmasının motor performans ve emisyonlarına etkisi deneysel olarak araştırılmıştır.

II. MATERYAL VE METOT

Deney düzeneği Şekil 1’de görüldüğü gibi, esas olarak elektrikli DC tip dinamometre, sıkıştırma ile ateşlemeli motor, egzoz gaz analizörü, duman ölçer, basınç ve sıcaklık ölçme düzenlerinden oluşmaktadır. Deneysel çalışmada teknik özellikleri Çizelge 1’de verilen, tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motor kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan motorun, ayarları üretici firma verilerine göre dizel yakıtı için yapılmış ve normal çalışma sıcaklığına ulaşır kararlı çalıştıktan sonra deneylere başlanmıştır. 1800 d/d sabit motor hızında saf soya biyodizeli ve kütleli olarak farklı oranlarda soyabiyodizeli/hidrojen çift yakıtları ile %25, %50, %75 ve %100 motor yükünde sıvı yakıt tüketimi, tork, CO, HC, NOx, egzoz gaz sıcaklığı ve silindir basıncı ölçülmüştür. Soya biyodizel yakıt tüketimi 10 ml’lik yakıtı tüketme süresi kronometre ile tespit edilerek ölçülmüştür. Hidrojen yakıt tüketimi kalibre edilmiş IFM gaz debimetresi ile ölçülmüştür. %99.9 saflıkta hidrojen yüksek basınçlı (150 bar) bir tüpten basınç regülatörü yardımı ile 1,5 bara düşürülerek ve sırası ile emniyet valfi, gaz debimetresi, ayarlanabilir hassas vana, sulu güvenlik ve ikinci bir emniyet valfinden geçirilerek motora emilen hava ile karıştırılmıştır.



Şekil 1: Deney setinin şematik görünüşü

- 1) Hidrojen Tüpü, 2) Hidrojen Regülatörü, 3) AGTEV (Alev Geri Tepme Emniyet Valfi), 4) Hidrojen Debimetresi, 5) Vanalar, 6) AGTEV, 7) Sulu Güvenlik Tertibatı, 8) AGTEV, 9) Basınç Sensörü, 10) Konum Sensörü, 11) Dizel Motoru, 12) ısı ölçüm cihazı 13) Dinamometre, 14) Yük Hücresi İndikatörü, 15) Dijital Termometre, 16) Kontrol Panosu, 17) ısı Emisyon İndikatörü, 18) Emisyon Cihazı, 19) Yakıt Deposu, 20) Vana, 21) Amplifikatör, 22) Osiloskop, 23) Bilgisayar.

Çizelge 1. Deney motoruna ait teknik veriler [20].

Marka	Katana
Motor tipi	tek silindirli, 4 zamanlı
Çap/strok	70/55 mm
Hacim	211 cm^3
Yakıt cinsi	Dizel
Sıkıştırma oranı	18:1
Maksimum çıkış gücü	4,7 hp 3600d/d
Enjeksiyon zamanı	30 ÜÖN dan önce
Yakıt püskürtme basıncı	180 bar

Egzoz gaz sıcaklık ölçümleri K tipi termokupul ve TES 1320 model dijital termometre ile gerçekleştirilmiştir. Egzoz emisyonlarının ölçülmesinde MRU DELTA 1600L egzoz gaz analizörü ve MRU oprans 1600 duman ölçer kullanılmıştır. Silindir basıncını ölçmek için Kistler marka 601A model bujili piezoelektrik basınç sensörü, Kistler model 5011 şarj amplifikatörü, Hitachi dijital osiloskop (VC-5430), basınç verilerini kaydetmek için bilgisayar ve krank mili dönme açısı ile üst ölü nokta pozisyonunu tespit etmek için MEFA ME4-S12K-PA indüktif konum sensörü kullanılmıştır. Hidrojenin bazı özellikleri Tablo 2’de, ticari soya biyodizel ve dizel yakıt özellikleri ise Tablo 3’te verilmiştir.

Çizelge 2. Hidrojenin bazı özellikleri [21]

Özellikler	H ₂
Alt Isıl Değer 1 atm’de ve 15 °C’de (MJ/kg)	120
Yoğunluk 1 atm’de ve 15 °C’de (kg/m ³)	0.0838
Alev hızı (cm/s)	275
Stokiyometrik Hava/Yakıt oranı (kg/kg)	34.2
Alevlenebilme sınırı (hava içinde %’de hacim)	4-75
Araştırma Oktan sayısı	130
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	585

Çizelge 3. Kullanılan dizel ve biyodizel yakıt özellikleri.

Özellikler	Dizel ^a	Soya biyodizeli ^b
Ester içeriği, %(m/m)	-	96,7
Yoğunluk, kg/m ³ , at15°C	828	887
Kinematik viskozite, mm ² /s, at 40°C	2.6	4,2
Parlama noktası, °C	60	151
Sülfatlı kül içeriği, %(m/m)	-	-
Su, mg/kg	218.1	220
Bakır şerit korozyon, 3h at 50°C	-	1a
Asit değeri, mg KOH/g	-	0,64
İyot değeri, g iodine/100 g	-	115,4
CFPP, °C	-5	-9
Setan sayısı	55.6	50
Alt ısııl değer, (MJ/kg)	43.76	37,31

^a Dizel yakıt özellikleri Şeyhoğlu Tic. Ltd. Şti’den (Shell İst. Atatürk Bulvarı Karabük) alınmıştır.

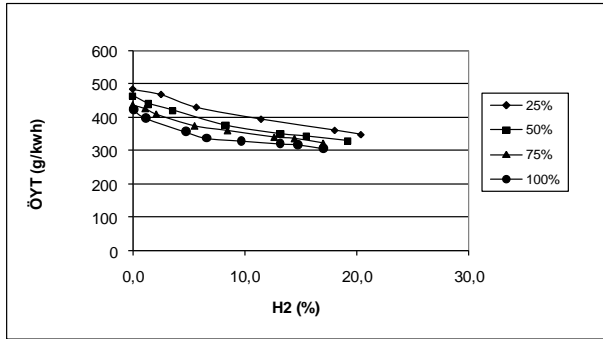
^b soya biyodizel özellikleri KOLZA Biyodizel Yakıt ve Petrol Ürünleri San ve Tic. A.Ş’den (Kimya Sanayicileri Organize San. Bölgesi B.20 Tuzla İSTANBUL) alınmıştır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

1. Hidrojen oranının motor performans ve emisyonlarına etkisi

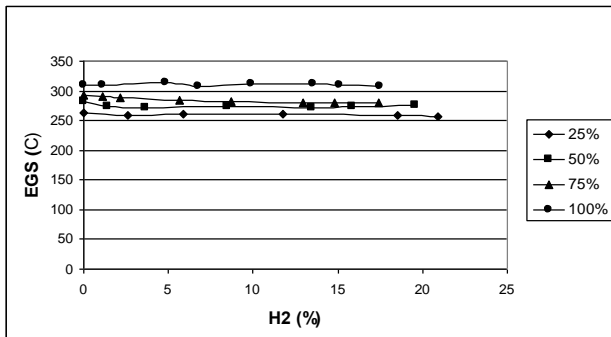
Motor performans göstergeleri olarak; özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gaz sıcaklıkları ve silindir iç basınçları ölçülerek değerlendirilmiştir.

Sabit motor hızında değişik yüklerde kütleli olarak toplam yakıt içerisindeki H₂ oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminin azaldığı ve tüm yüklerde eklenebilen maksimum hidrojen seviyelerinde genel olarak ÖYT'inin yaklaşık %29 kadar azaldığı Şekil 2'de görülmektedir. ÖYT'nin düşmesinin esas sebebi hidrojenin ısı değerinin yüksek olmasıdır. Diğer bir sebep de hidrojenin yanma hızının oldukça yüksek olması olabilir. Çünkü stokiyometrik karışım oranlarındaki hidrojen hava karışımlarında yanma hızının, benzin-hava karışımlarındakinin yaklaşık 7 - 8 katına ulaştığı ve bu durumun yanma sürecini kısalttığı ve ısı verimi arttırdığı belirtilmiştir [22-23].



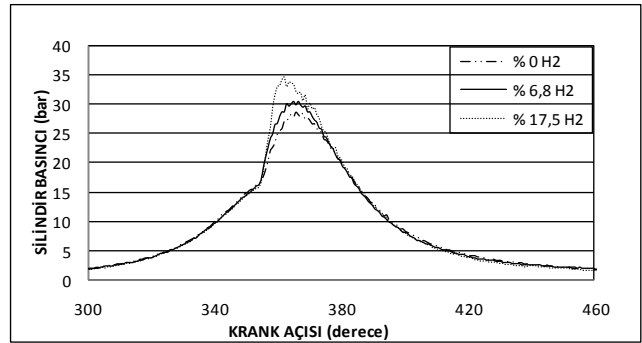
Şekil 2: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranının özgül yakıt tüketimine etkisi

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında hidrojen oranının artmasına bağlı olarak Egzoz Gaz Sıcaklıklarının 8-10 °C düştüğü Şekil 3'te görülmektedir. Gaz/dizel çift yakıtlı motorlarda gaz yakıt (metan, propan, LPG vb.) oranı arttıkça Egzoz gaz sıcaklıklarının (EGS) bir miktar arttığı tespit edildiği belirtilmiş olmasına rağmen [24] hidrojen/biyodizel çift yakıtlı çalışmada hidrojen oranı arttıkça EGS'nin bir miktar azalmasının sebebinin hidrojenin hızlı yanması ve yanmanın egzozda daha az sarkmasından olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranının egzoz gaz sıcaklıklarına etkisi.

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında sabit motor hızında ve tam yükte kütleli hidrojen oranına bağlı olarak krank mili açısına göre silindir iç basınçları değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Saf soya biyodizeli uygulamasında maksimum silindir iç basıncı 28,6 bar olarak belirlenmiştir. %6,8 hidrojen oranında, maksimum silindir iç basıncı 30,6 bar iken %17,5 hidrojen oranında yaklaşık 35 bar'a çıktığı görülmektedir. Dolayısı ile hidrojen oranı arttıkça basınçta bir miktar artış olmaktadır. Ancak, hidrojen oran artışı beraberinde vuruntu sorununu da getirmektedir. Bu çalışmada, %25-50 yükte %20 hidrojen oranı seviyelerinde, %75-100 yükte ise yaklaşık %17,5 hidrojen oranı seviyelerinde motorun düzensiz çalıştığı tespit edilmiştir. Ayrıca, basınç değişimi incelendiğinde biyodizel yerini alan H₂ oranı arttıkça maksimum basıncın üst ölü noktaya daha yakın meydana geldiği diğer bir ifade ile tutuşma gecikmesi süresinin kısaldığı anlaşılmaktadır. Dizel/hidrojen çift yakıtlı bir çalışmada da hidrojen oranı arttıkça tutuşma gecikmesi süresinin kısaldığı ifade edilmiştir [25].

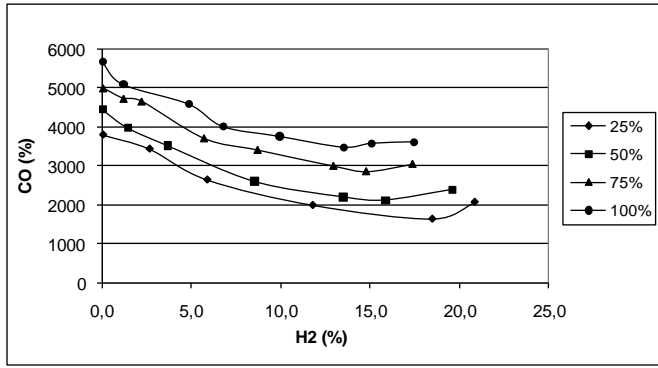


Şekil 4: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranının bağlı olarak silindir iç basınçları değişimi.

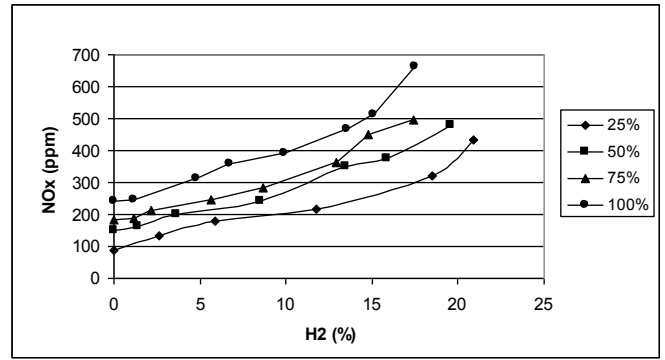
2. Egzoz emisyonları

Egzoz emisyonları olarak; karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), azot oksitler (NO_x) ve is incelenmiştir.

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında genelde hidrojen eklenmesine bağlı olarak tüm yük koşulları için CO emisyonunda yaklaşık olarak %50 seviyelerinde düşüşler meydana geldiği Şekil 5'te görülmektedir. Soya biyodizeline hidrojen eklenmesiyle motorun volümetrik verimi düşmesine rağmen içeriye alınan toplam yakıtın karbon içeriğinin azalmasının CO miktarında düşmelere sebep olduğu açıktır. Ancak hidrojen oranı daha da artırıldığında daha önce de belirtildiği gibi motorun düzensiz (vuruntulu) çalışmaya başlaması nedeniyle CO emisyonu artmaya başlamaktadır. Burada dikkat çeken diğer bir durum da yük arttıkça CO emisyonunun artmasıdır. Yük arttıkça CO emisyonunun artması, yanmaya katılan çift yakıt miktarının artması sonucu hava fazlalığının azalması ve aynı zamanda hidrojen miktarının da artması nedeniyle volümetrik verimin düşmesi ve karışımın zenginleşmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

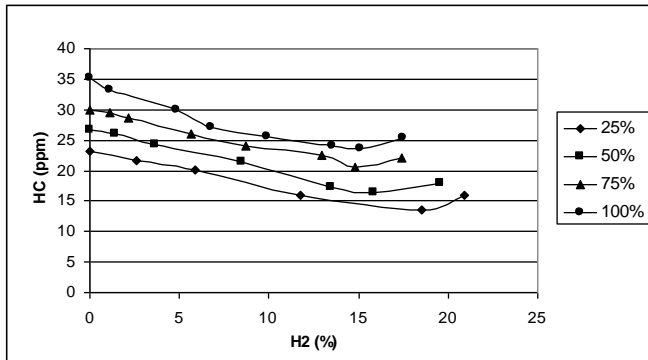


Şekil 5: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranının bağlı olarak karbon monoksit emisyonları.



Şekil 7: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranına bağlı olarak azot oksitlerin değişimi.

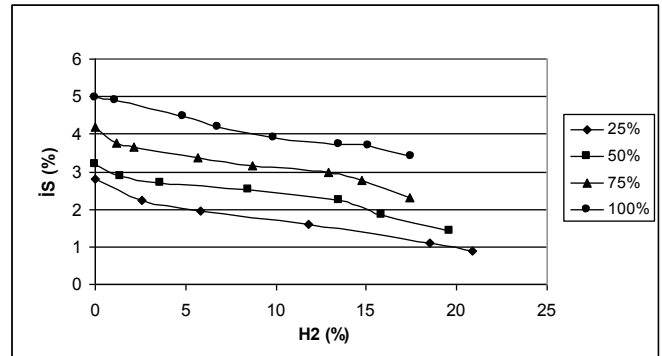
Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt içerisindeki kütleli hidrojen oranına bağlı hidrokarbon (HC) emisyonları Şekil 6'da görülmektedir. Deneyler sonunda karışımdaki hidrojen oranına bağlı olarak tüm yük koşulları için HC emisyonlarının yaklaşık %40 seviyesinde azalma gösterdiği belirlenmiştir. Dizel motorlarında HC emisyonlarının püskürtülen yakıtın enjektör iğnesi tarafından kapatılmayan uç hacminde, sekman boşluklarında ve yanma odası çevresinde biriken yakıt ve yağ kalıntılarının genişleme kursunda yanmaya katılmasının, tutuşma gecikmesi süresinin uzamasının etkisi olduğu belirtilmiştir [26]. Ayrıca, dizel motorlarda homojen olmayan karışımın da HC emisyonlarına sebep olabileceği ifade edilmiştir [27]. Ancak burada, herhangi bir yükte hidrojen oranı arttıkça HC emisyon azalmasına hidrojenin hızlı yanmasının etkisi olsa da hidrojenin karbon içermemesinin çok daha fazla etkisi olmaktadır.



Şekil 6: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranının bağlı olarak hidrokarbon emisyonları.

Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıtlı bu çalışmada, yük ve H₂ oranının artmasına bağlı olarak NO_x emisyonunun arttığı Şekil 7'de görülmektedir. Dizel motorlarda NO_x oluşumu büyük oranda silindir içi sıcaklıkların yüksek olmasından ve oksijen varlığından etkilenmektedir. Bu çalışmada da NO_x emisyonlarının artmasının, yanma hızı yüksek olan hidrojen oranına bağlı olarak açığa çıkan ısı miktarının ve dolayısı ile silindir iç sıcaklıklarının artmasının birinci derecede sebep olduğu düşünülmektedir. Soya biyodizeli/hidrojen çift yakıt uygulamasında kütleli hidrojen oranına bağlı olarak is emisyonları değişimi Şekil 8'de görülmektedir.

Yapılan deneylerde is miktarının ortalama olarak hidrojen miktarına bağlı olarak önemli ölçüde düşüşler gösterdiği tespit edilmiştir. Is miktarı, saf soya biyodizeline kütleli olarak %6,8 oranında hidrojen eklendiği %100 yük konumunda %4,98'den %4,2'ye gerileyerek yaklaşık olarak %15 civarında düşüş göstermiştir. Biyodizelde bulunan fazladan yaklaşık %11 civarındaki oksijen ve ayrıca hidrojen ilavesiyle karbon içeren biyodizel miktarındaki azalmadan dolayı is emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir.



Şekil 8: 1800 d/d sabit motor hızında değişik yüklerde H₂ oranına bağlı olarak is emisyonları değişimi.

IV. SONUÇLAR

1800 d/d sabit hızda, değişik yüklerde esas yakıt olarak soya biyodizelin kullanıldığı tek silindirli, direkt püskürtmeli, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda, soya biyodizel yerine belirli oranda hidrojen kullanılmasının performans ve emisyonlara etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

Soya biyodizeli yerine kullanılan hidrojen miktarı arttıkça ÖYT'inin azaldığı ve yaklaşık %20 oranında hidrojen kullanıldığında ÖYT'inin yaklaşık %30 kadar düştüğü görülmüştür. Hidrojen oranı arttıkça ÖYT azalmasına rağmen kullanılabilen hidrojen oranının yüke göre değiştiği ve bu oranın yaklaşık %17-22 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

CO ve HC emisyonlarında hidrojen oranına bağlı olarak büyük oranda azalma gözlenmiştir.

Is emisyonlarında, hidrojen oranına bağlı olarak %50'lere varan ölçüde düşüşler meydana gelmiştir. Her yük durumunda

soya biyodizel yerini alan hidrojen oranı arttıkça NO_x emisyonlarında artış görülmüştür. Maksimum silindir basıncı hidrojen oranının artmasıyla artmıştır. Egzoz gaz sıcaklığı ise az oranda azalmıştır.

Bu çalışma sonunda, sabit motor hızında belirli bir yükte soya biyodizeli yerini alan hidrojen oranı arttıkça NO_x hariç diğer emisyonların ve ÖYT'inin azaldığı ancak kullanılabilen kütleli hidrojen oranının sınırlı olduğu görülmüştür (%17-22).

KAYNAKLAR

- [1] C. Carraretto, A. Macor, A. Mirandola, A. Stoppato and S. Tonon, "Biodiesel as alternative fuel: Experimental analysis and energetic evaluations," *Energy*, 29, 2195–2211, 2004.
- [2] M. Lapuerta, O. Armas and J. Rodríguez-Fernández, "Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions," *Progress in Energy and Combustion Science* 34, 198–223, 2008.
- [3] A. Demirbas, "Biodiesel from sunflower oil in supercritical methanol with calcium oxide," *Energy Conversion and Management*, 48: 937-941, 2007.
- [4] K. Bozbas, "Biodiesel as an alternative motor fuel: Production and policies in the European Union," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 542–552, 2008.
- [5] JH. Van Gerpen, CL. Peterson and CE. Goering, "Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines," Agricultural Equipment Technology Conference", Louisville, Kentucky, USA, 1-22, 11-14, February 2007.
- [6] CD. Rakopoulos, KA. Antonopoulos, DC. Rakopoulos, DT. Hountalas and EG. Giakoumis, "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.
- [7] A. Sürmen, M.İ. Karamangil ve R. Arslan, "Motor Termodinamiği," 1. Baskı, Aktüel Yayınları Alfa Akademi Ltd. Şti. S: 177-178.
- [8] Das, LM. (2002a) "Near-term introduction of hydrogen engines for automotive and agricultural application," *Int J Hydrogen energy*; 27, 479–87, 2004.
- [9] LM. Das, "Hydrogen engine: research and development (R&D) programmes in Indian Institute of Technology (IIT)," *Delhi. Int J Hydrogen Energy*, 27, 953–65, 2002b.
- [10] JW. Buckel and S. Chandra, "Hot wire ignition of hydrogen—oxygen mixture," *Int J Hydrogen Energy*; 21(1):39–44, 1996.
- [11] B. Haragopala Rao, KN. Shrivastava and HN. Bhakta, "Hydrogen for dual fuel engine operation," *Int J Hydrogen Energy*, 8(5):381–4, 1983.
- [12] M. Senthil Kumar A. Ramesh ve B. Nagalingam, "Use of hydrogen and methanol as primary fuels in a dual fuel engine. XVII National Conference on I.C. Engines and Combustion," *India, December*, 2001.
- [13] M. Senthil Kumar, A. Ramesh ve B. Nagalingam, "Hydrogen Induction for improving the performance of a vegetable oil fueled CI Engine. Proceedings of the International Conference on Waste to Energy," *Jaipur, India*, 2002.
- [14] M. Masood, MM. Ishrat and AS. Reddy. "Computational combustion and emission analysis of hydrogen-diesel blends with experimental verification," *Int J Hydrogen Energy*, 3, 2539–47, 2007.
- [15] N. Saravanan, G. Nagarajan, C. Dhanasekaran and K.M. Kalaiselvan, "Experimental investigation of hydrogen port fuel injection in DI diesel engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 4071 – 4080, 2007.
- [16] Saravanan, N., Nagarajan, G., Sanjay, G., Dhanasekaran, C., Kalaiselvan, K.M. "Combustion analysis on a DI diesel engine with hydrogen in dual fuel mode," *Fuel*, 87, 3591–3599, 2008.
- [17] A. Aktaş ve Ö. Şahin, "Dizel/Biyodizel Karışımı İle Çalışan Bir Motorun Performans Ve Emisyonlarını İyileştirmek İçin Hidrojen Kullanılması", *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14 (1), 87-97, 2009.
- [18] C. Liew, H. Li, J. Nuszowski, S. Liu, T. Gatts, R. Atkinson ve N. Clark, "An experimental investigation of the combustion process of a heavy-duty diesel engine enriched with H₂," *international journal of hydrogen energy* 35, 11357-11365, 2010.
- [19] M.M. Roy, E. Tomita, N. Kawahara, Y. Harada and A. Sakane, "An experimental investigation on engine performance and emissions of a supercharged H₂ -diesel dual-fuel engine," *international journal of hydrogen energy* 35, 844-853, 2010.
- [20] Anonim, "Motor Bakım Onarım Kataloğu," *Organize Sanayi Bölgesi 4.C. NO:9 Ümraniye-İstanbul*, 2007.
- [21] E. Porpatham, A. Ramesh, B. Nagalingam, "Effect of hydrogen addition on the performance of a biogas fuelled spark ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, 32, 2057–2065, 2007.
- [22] M. Senthil Kumar, A. Ramesh and B. Nagalingam, "Use of hydrogen to enhance the performance of a vegetable oil fuelled compression ignition engine," *International Journal of Hydrogen Energy*, 28, 1143 – 1154, 2003.
- [23] K.E. Gül, "Hidrojenin içten Yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması ve performans etkileri," *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*, 2006.
- [24] B.B. Sahoo, N. Sahoo, and U.K. Saha, "Effect of engine parameters and type of gaseous fuel on the performance of dual-fuel gas diesel engines—A critical review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 13, Issues 6-7, Pages 1151-1184, 2009.
- [25] AK. Ghazi, *The Dual Fuel Engine*, In: Evens RL. Editor. A Chapter in automotive engine alternatives, Canada: Bleham Press, 1987.
- [26] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine Fundamentals*. I. Title, II. Series, TJ755.H45 621.43 87-15251, McGRAW-HILL, 567-667, 1988.
- [27] Abdel-Rahman, AA. "On the emissions from internal-combustion engines: a review," *International Journal Of Energy Research*; 22,:483-513, 1998.