

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ



**BİYOGAZ-HİDROJEN KARIŞIM GAZININ BUJİ ATEŞLEMELİ BİR MOTORUN
PERFORMANSI VE EMİSYONLAR ÜZERİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Proje No: FBA-10-3256

Proje Türü: NAP

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:

Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER
Mühendislik Fakültesi/Makine Müh.

Araştırmacı:

Prof. Dr. Nafiz KAHRAMAN
Mühendislik Fakültesi/Makine Müh.

Ocak 2013

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne FBA-10-3256 kodlu proje desteğinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Proje Yürütücüsü

Yrd. Doç. Dr. Bilge ALBAYRAK ÇEPER

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
1. GİRİŞ / AMAÇ VE KAPSAM	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Gaz Motorlarında Biyogaz Kullanımı	6
2.2. Benzin Motorlarında Biyogaz Kullanımı	6
2.3. Dizel Motorunda Biyogaz Kullanımı	6
2.3.1. Ateşleme Sistemi Eklenerek	6
2.3.2. Çift Yakıtlı Motora Çevrilerek	7
3. GEREÇ ve YÖNTEM	10
3.1. Deney Motorunun Ateşleme Avansının Değiştirilmesi	11
4. BULGULAR	14
4.1. Silindir Basınç Verileri	14
4.2. Emisyon ve Performans Parametreleri	16
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	20
KAYNAKLAR	21
EKLER	23

ÖZET:

Günümüzdeki enerji sorunu karşısında önem kazanan yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz, üretim koşulları elverişli bölgelerde lokal gereksinimlere cevap verebilecek nitelikte görünmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyogaz üretimi büyük bir potansiyele sahiptir. Organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozundurulması sonucu metan içeriği yüksek, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak, azot ve hidrojen karışımı olan gaz (biyogaz) açığa çıkmaktadır. Biyogaz yanıcı bir gazdır. Biyogaz teknolojisi özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürekli gündemde kalan ve önemini artıran alternatif enerji kaynaklarındandır. Özellikle biyogazın gaz motorlarında yakılması ve elektrik enerjisi üretilmesi biyogazı önemli hale getirmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyacının önemli bir kısmını fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Ülkemizin enerji verileri incelendiğinde enerji talebinde, üretimde ve dış alımında yıllara bağlı olarak bir artış görülmekte ve talebin yerli üretimle karşılanma oranında ise bir azalma görülmektedir. Ülkemizin sanayileşme ve geleceği açısından yaşamsal bir öneme sahip olan yeni ve yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalara son yıllarda hız verilmiştir. Bu alanda biyogazında ülkemiz için önemi artmıştır. Bu projede, standart bir taşıtta kullanılabilen, atmosferik hava beslemeli, 4 zamanlı, buji ateşlemeli benzinli motorda ateşleme avansı değiştirilerek biyogaz-hidrojen ($CH_4-CO_2-H_2$) karışım gazları farklı motor hızlarında ve hava fazlalık katsayısı değerlerinde test edilerek motor performans parametreleri ve emisyonları incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, Hidrojen, Metan, Emisyonlar, Silindir Basıncı.

ABSTRACT:

Biogas from renewable energy sources is gaining importance in the face of today's energy problem, seems to be able to respond to local needs in areas favorable production conditions. Biogas production has a great potential of renewable energy sources. The organic wastes in an anaerobic methane via biologically degrade high content of carbon dioxide, hydrogen sulfide, ammonia, nitrogen and hydrogen mixture gas (biogas) becomes clear. Biogas is a flammable gas. Biogas technology is constantly on the agenda, especially in developed and developing countries and increases the importance of the remaining sources of alternative energy. In particular the burning of biogas into the gas and electric power engines makes it important to produce biogas. Fossil fuels provide a significant portion of our country's energy needs. Analysis of energy data; energy demand of the country, there is an increase in production and external purchase, depending on the years and a reduction in the rate of demand is met by domestic production. Which is of vital importance for the future of our country's industrialization and new and renewable energy-related studies have been accelerated in recent years. Biogas has increased its importance for our country in this area. In this project study, used in a standard vehicle, the atmospheric air-powered, four-stroke, spark-ignition gasoline engine ignition timing by changing the biogas-hydrogen (CH_4 - CO_2 - H_2) gas mixture of air excess coefficient values of different engine speeds and engine performance parameters and emissions are tested and analyzed.

Keywords: Biogas, Hydrogen, Methane, Emissions, Cylinder Pressure.

1. GİRİŞ / AMAÇ VE KAPSAM

Günümüzdeki enerji sorunu karşısında önem kazanan yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogaz, üretim koşulları elverişli bölgelerde lokal gereksinimlere cevap verebilecek nitelikte görünmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında biyogaz üretimi büyük bir potansiyele sahiptir. Organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozundurulması sonucu metan içeriği yüksek, karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak, azot ve hidrojen karışımı olan gaz (biyogaz) açığa çıkmaktadır. Biyogaz yanıcı bir gazdır. Biyogaz teknolojisi özellikle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sürekli gündemde kalan ve önemini artıran alternatif enerji kaynaklarından. Özellikle biyogazın gaz motorlarında yakılması ve elektrik enerjisi üretilmesi biyogazı önemli hale getirmektedir. Ülkemiz enerji ihtiyacının önemli bir kısmını fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Ülkemizin enerji verileri incelendiğinde enerji talebinde, üretimde ve dış alımında yıllara bağlı olarak bir artış görülmekte ve talebin yerli üretimle karşılanma oranında ise bir azalma görülmektedir. Ülkemizin sanayileşme ve geleceği açısından yaşamsal bir öneme sahip olan yeni ve yenilenebilir enerji ile ilgili çalışmalara son yıllarda hız verilmiştir. Bu alanda biyogazında ülkemiz için önemi artmıştır.

Bu projenin ana amacı optimum ateşleme avanslarında biyogaz-hidrojen yakıtının motor performansı ve emisyonlar üzerine etkisinin incelenmesidir. Nihai amaç ise ülkemizde bol bulunan biyogazın değerlendirilerek hem çevre açısından hemde tarım açısından kullanılabilecek zararsız, aksine faydalı bir ürünü taşıt teknolojisinde de en iyi şekilde kullanabilmesi hedeflenmiştir. Böylece bu gaz sanayide kullanılabilecek, enerjide dışa bağımlılığımızı azaltacaktır. Araştırmanın içten yanmalı motor teknolojisinde bilinen teknikleri ileri götürmesi beklenmektedir.

- Motorda ateşleme avansının nasıl değiştirilebileceği detaylı biçimde ele alınmıştır. Ateşleme avans değişimi için krank mili pozisyon sensöründe yapılan değişiklikler ile deneyler yapılmıştır.
- Farklı devir ve hava fazlalık katsayısı değerleri için yapılan deneyler sonucunda optimum ateşleme avansı tespit edilmiştir.
- Biyogaz ve Biyogaz-hidrojen(metan-karbondioksit-hidrojen) karışım gazları detaylı olarak incelenmiş; biyogazın içeriğindeki karbondioksit nedeniyle stokiometrik oran diğer yakıtlara göre daha düşüktür (Metan – Benzin), bu sebeple günümüz taşıtları için

tasarlanmış CNG sistemleri uygun yakıt-hava karışımını sağlayamadıkları için yanma kötüleşmektedir. Bu kötüleşme CNG sisteminde ufak teknik değişiklikler yapılarak giderilmeye çalışılacak ve hidrojen ilavesi ile yanmanın iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir.

- Yukarıda bahsedilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler derlenerek biyogaz-hidrojen gazlarını yakabilecek benzinli bir motor için verilere ulaşılmış ve bunlar bilimsel yayınlar ile ortaya konulup, motor üreticisi firmalar ile de paylaşılacaktır.

2. GENEL BİLGİLER

Enerji tüketiminin çok büyük bölümünü oluşturan fosil yakıtlar, çevreyi ve insan sağlığını giderek daha fazla tehdit eder hale gelmiştir. Fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan karbondioksit, karbon monoksit ve kükürt dioksit ısının uzaya çıkışını yavaşlatarak sera gazının oluşumuna yol açmaktadır. Özellikle ormanların azalmasıyla bu süreç daha da hızlanmıştır. Sera gazı emisyonu, hava kirliliğine dolayısıyla iklim değişikliğine yol açmaktadır. İklim değişikliği ise su kaynaklarının azalmasına, tarımsal üretkenlikte değişikliğe, orman yangınlarına, kuraklığa, erozyon ve çölleşmeye, ekolojik bozulmalara, bulaşıcı hastalıkların artmasına ve sıcak hava dalgalarına bağlı ölümlere neden olmaktadır. Bu nedenle fosil yakıtlara alternatif olabilecek sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar ve çalışmalar hızla devam etmektedir. Ancak yaşamın sürdürülebilirliği için enerji kaynaklarının yalnızca sürdürülebilir olması yeterli değil, aynı zamanda ekolojik denge için yenilenebilir olması da gerekmektedir. Dolayısıyla bir yandan hızla artan enerji talebine, öte yandan fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkan sorunlara çözüm getirmek amacıyla biyogaz'a yönelik çalışmalar hız kazanmıştır.

Biyogazın taşıtlarda kullanılması için, biyogaz içindeki metanın karbondioksitten arıtılarak saflaştırılması gerekir. Biyogazda karbondioksitin detonasyonu önleyici etkisi ve metanın oktan numarasının (130) yüksek oluşu, biyogazın sıkıştırma oranı yüksek motorlarda kullanılmasını kolaylaştırır.

Porpatham ve ark.[1], sabit devir sayılı buji ateşlemeli bir motorda biyogazdaki CO_2 konsantrasyonunun azaltılmasının, performans, emisyonlar ve yanma üzerine etkisini deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışmada kireç sulu kap (A lime water scrubber) biyogazdaki CO_2 seviyesinin %41, %30 ve %20'si düşürülmesi için kullanılmıştır. Deneyler zengin karışımdan fakir karışıma doğru farklı eşdeğerlik oranlarında, sabit motor devrinde 1500 d/d ve sıkıştırma oranı 13:1 olan bir motorda deneyler gerçekleştirilmiştir. CO_2 seviyesindeki azalmanın performansta önemli artışa neden olduğunu ve fakir karışımlarda özellikle HC emisyonlarında azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. Yanmanın fakir yanma sınırının uzadığı görülmüştür. %10'a kadar CO_2 seviyesindeki azalmanın HC seviyelerinin azaltılması için yeterli iken NO seviyelerinin önemli olmayacak derecede arttığını tespit etmişlerdir.

Bade Shrestha ve Narayanan [2], çöplük gazlarının buji ateşlemeli motorlarda kullanılması üzerine bir araştırma yapmışlardır. Çöplük gazının performans ve yanma karakteristikleri metan ile karşılaştırıldığında kötüleştiğini, sıkıştırma oranının artırılması ve ateşleme zamanının ilerletilmesi ile çöplük gazının performansının iyileştiğini gözlemişlerdir. Ayrıca çöplük gazına %30 H_2 ilavesinin etkilerini incelemişlerdir. Küçük miktarlardaki hidrojen ilavesini örneğin %3–5 gibi, fakir ve zengin yanma şartlarında özellikle performansın geliştirilmesinde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Bunun yanında hidrojen ilavesi yanma karakteristiğini geliştirmiş ve çöplük gazının özellikle fakir ve zengin karışımlarda çevrimsel farklılıklarını azalttığını gözlemlemişlerdir.

Huang ve Crookes [3], tek silindirli bir SI motorda biyogazı deneysel olarak incelemişlerdir. Biyogazdaki CO_2 varlığının NO_x emisyonlarını azaltabileceğini fakat düşük silindir basınçları oluşacağını bulmuşlardır. Motor gücü ve fren ısı verimi diğer gaz yakıtlar ile karşılaştırıldığında azaldığı ve yanmamış HC emisyon seviyelerinde artış olmuştur.

Henham ve Makkar[4], çift yakıtlı dizel motorlarda biyogaz kullanımı ile ilgili araştırma yapmışlardır. Değişken metan ve karbondioksit oranları için motor performansını incelemişlerdir. Tüm program biyogaz özelliklerinin etkisini ve yükler ve hızların oranı üzerinde pilot yakıt enjeksiyonundan enerji oranını içermiş ve gaz karışımlarının oranının performans parametrelerini incelemişlerdir. Silindir basıncı ve krank açısı için elde edilen veri sistemi başarılı bir şekilde kullanılabilir ve bazı emisyon ölçümleri özellikle CO ve O_2 uygundur.

Forsich ve ark.[5], yakıtça zengin ve yakıtça fakir biyogaz hava karışımları 3 MPa'dan yüksek başlangıç basınçlarında Nd: YAG lazer ile ateşlenmiş ve metan hava karışımlarının ateşlemesi ile karşılaştırılmıştır. İncelemeler 473 K'ye kadar ısıtılabilen sabit hacim kabında yapılmıştır. İlave olarak ateşleme süresince alev emisyonları kaydedilmiş ve gaz homojenliği azalmıştır. Biyogazdaki CO_2 varlığı yanma hızını azaltmıştır.

Crookes[6], tarafından biyogaz kullanılarak yapılan deneylerde, sıkıştırma oran aralığı 11:1'den 13:1'e vuruntusuz çalışma için uygun olduğu bulunmuştur. Biyogazın yakıt olarak kullanıldığı durumlarda sıkıştırma oranları oldukça yüksek kullanılabilir. Yüksek sıkıştırma oranları HC ve NO_x seviyelerini artırdığı bulunmuştur.

Rakopoulos and Michos [7], bir SI motorda kapalı çevrimde biyogaz hidrojen karışımlarını farklı bileşimlerini ikinci yasa analizini kullanarak deneysel olarak çalıştılar. Farklı hidrojen oranlarının incelemesi için yanma işlemi boyunca yanmış gazların içerisindeki yanma düzensizliğinin uzaysal dağılımının gösterimi üzerine odaklandılar. Bu sanki boyutlu yanma modeli ile birleştirildiği çok bölgeli termodinamik modelin kullanımını ortaya çıkardı.

Taşıtlar için ticari anlamda yaygın olarak kullanılan bazı alternatif yakıtlara; biyodizel, etanol, hidrojen, doğalgaz, propan ve biyogaz örnek verilebilir. Biyogaz kıvılcım ateşlemeli(SI) motorlarda doğrudan kullanılabilir [8]. Biyogaz esas olarak CH_4 ve CO_2 içerir. Doğalgaz ile karşılaştırıldığında düşük ısı değere ve yavaş yanma hızına sahiptir. Buna rağmen biyogaz içindeki CH_4 hava ile kolayca karışabilir ve biyogaz kullanımı ile atıl kaynakların geri dönüşümü kolaylaşır, ayrıca biyogaz gazlı motorların yakıtı içinde uygundur [9]. İçten yanmalı motorlarda biyogaz kullanımına ilgi artmakta ve yanma sürecinin daha detaylı araştırılması gerektirmektedir.

1992 de, Calgary üniversitesinden Karim ve Wierzba, karbondioksit varlığında, metan-hava yanmasının termodinamik ve kinetik özellikleri hakkında önemli araştırmalar gerçekleştirmişlerdir [10]. Biyogaz yanma sınırlarını arttırmak için, düşük alev hızı ve alev alma limiti artırmak gerekir. Ek olarak hidrojen metan karışımı incelenmiştir [11].

Bade Shrestha ve Karim metan ve metan hidrojen karışımını kıvılcım ateşlemeli motorlar(SI) için incelemiştir [12,13]. İçten yanmalı motorlarda doğalgaza hidrojen ekleme yöntemi ilk olarak başarılı oldu. Leung and Wierzba [14], tipik biyogaz bileşimi olan CH_4 - CO_2 karışımına, hidrojen ilavesi etkisini, alev stabiliteelerini hava akımının içine deşarj edilen basit bir yakıt akış jeti ile inceledi. Ve biyogazın düşük stabilite derecesine sahip olduğu bulundu ve metana göre eş akışkan hızının çok dar bir aralıkta olduğu gözlemlendi. Hidrojen ilavesiyle, vurutu limitlerinde önemli artışlar görüldü ve alev dengelemek için gerekli olan birlikte akış hızı aralığının izin verilen değerlerinin büyük ölçüde uzadığı görüldü.

Birçok araştırma sonucunda, CO_2 verileri biyogazda mevcut ise biyogaz performansını geliştirmek için sıkıştırma oranını arttırmak çok etkili bir araçtır. Ayrıca ortalama fren efektif basıncı ve fren ısı verim değerleri 13:1 oranında ki sıkıştırma oranı ile istikrarlı artış gösterir. Ancak daha yüksek bir sıkıştırma oranı NO_x emisyonuna neden olur. Yüksek sıkıştırma oranı ile daha yüksek yanma oranı sağlanır. Toplam hidrokarbon emisyonunun sıkıştırma oranına

etkisi NO_x 'in yüksek sıkıştırma oranı ile ortaya çıkan yanmamış hidrokarbon ile aynıdır. Deneyisel sonuçlar, CO_2 varlığında NO_x oranının düştüğünü göstermektedir (biyogaz durumunda olduğu gibi). Ancak daha düşük silindir basınçlarında motor gücü ve termik verim azalır. Yanmamış hidrokarbon düzeyi artar. Birçok çalışma doğalgaz metan gibi gaz yakıtlara hidrojen eklendiğinde motor gücünün ve yanma emisyonlarının etkilendiğini doğrulamıştır. Bu çalışmaların çoğu otomotiv sektöründe uygulanmıştır.

2.1. Gaz Motorlarında Biyogaz Kullanımı

Gaz motorları hava ve gazın taze karışımları ile çalışmaktadır. Burada yakıtın havaya oranı, benzin motorlarında olduğu gibi teorik karışım oranına yakındır. Karbüratör biyogaz dışındaki bir gazla karıştırılacak şekilde dizayn edilmişse, motorun biyogazla çalışır hale getirilmesi için, karbüratör biyogazın ısı değeri dikkate alınarak yeniden dizayn edilmelidir[15].

2.2. Benzin Motorlarında Biyogaz Kullanımı

Benzin motorlarında sıkıştırma oranları genelde 8–12 dur. Bu sıkıştırma oranında değişiklik yapılmaksızın benzin motoru biyogazla çalışabilir. Motorun karbüratörü yerine, biyogaz-hava karışım karbüratörü kullanılır. Bu karbüratör benzin motoru karbüratöründen daha basittir. Çünkü hava ve biyogazın her ikisinde gaz olduğundan, iyi dizayn edilmiş ventüri ile biyogaz ve hava hacimsel olarak uygun şekilde karıştırılabilir. Biyogaz borusu ventürinin en dar kesitine bağlanır. Gaz akışı, sabit bir pozisyonda hava akışına bağlı olarak yönlendir.

2.3. Dizel Motorunda Biyogaz Kullanımı

Dizel motoru, termik veriminin yüksek oluşu ve ekonomik olması sebebiyle, diğer içten yanmalı motorlardan daha çok kullanım alanı bulmuştur. Bu yüzden dizel motoru, biyogazın kullanılması için ilk düşünülen motor olmaktadır. Bu motorların dizelden biyogaz kullanımına dönüştürülmesi iki şekilde yapılır.

2.3.1. Ateşleme Sistemi Eklenerek

Dizel motoruna otto çevriminde olduğu gibi bir ateşleme sistemi eklenerek, tamamen biyogazla çalışabilir bir duruma getirilebilir. Dizel motorlarında böyle ateşleme sistemi yerleştirecek bir yer olmadığından, bunu yapmak zordur. Yeterli biyogaz kaynağı bulunan yerlerde ve çok silindirli yüksek dolgulu motorlarda bu metodun kullanılması verimli olur.

Böyle bir değişiklik, benzin ve gaz motorlarındaki gibi düşük sıkıştırma oranı gerektirmez. Bu da motorun orijinal gücünü ve bütün ana parçalarını muhafaza eder. Fakat böyle bir motorda ilk hareket güçlükleri meydana gelir.

2.3.2. Çift Yakıtlı Motora Çevrilerek

Dizel motorunun çift yakıtlı motora çevrilmesinde, bir gaz karbüratörü, hava filtresi ile emme manifoldu arasına bağlanır. Bu karbüratör, dizel motorunun sıkıştırma oranına göre, yakıtın ateşleme özelliği dikkate alınarak, yani gerekli biyogaz ihtiyacı hesaplanarak yapılır. Eğer biyogaz çok fazla, hava-biyogaz karışımının ateşleme sıcaklığı, sıkıştırma sonu sıcaklığından çok düşük ise erken ateşleme meydana gelir. Erken ateşleme vuruntuya sebep olur.

Çift yakıtlı motora çevrilen dizel motorlarında, biyogaz hava karışımı, silindir içersine alındıktan sonra sıkıştırma oranına kadar sıkıştırılır. Sıkıştırma zamanının sonunda, dizel yakıtı enjekte edilerek yüksek sıcaklıktaki karışım ateşlenir. Çift yakıtlı bu motor, çeşitli oranlarda biyogaz ve dizel yakıtı ile çalışabilir. Dizel yakıtının minimum oranda (pilot yakıt olarak) kullanılması ekonomik olduğundan tercih edilir. Bu tip bir motorda ateşleme sıcaklığı, biyogazın içindeki metan bileşimine ve hava ile karışma oranına bağlıdır. Çok zayıf hava-biyogaz karışımı (biyogazın az olması) ateşleme sıcaklığını yükseltir.

Bir içten yanmalı motoru biyogaz kullanabilir hale getirmede, göz önünde bulundurulması gereken hususlar.

— Motorun Sıkıştırma Oranı, Tutuşma ve Yanma.

— Uygun Biyogaz-Hava Karışımının Sağlanması ve Silindirlere Sevki.

Motorun Sıkıştırma Oranı, Tutuşma ve Yanma

Sıkıştırma oranının yüksek olması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığını yükseltir. İş zamanının başlangıcında, yanma daha büyük bir basınç meydana getirir. Bu basıncın piston üzerine etkisi motor gücünü artırır. Genişleme strokunun daha büyük olması, yanmış gazların daha fazla genişletilmesine ve iç enerjisinden daha fazla yararlanılmasına sebep olur.

Tutuřma ve yanma, öncelikle karışım oranına, hava biyogaz karışımının sıcaklığına ve sıkıştırma oranına bağlıdır. Karışım oranı biyogaz içindeki metan yüzdesi ve bunun havayla karışmasıyla değişir. Hava içinde hacimsel olarak %5–15 metan bulunan hava metan karışımı, 814°C de tutuşmaktadır. Metanın tutuşma sıcaklığı ise 700°C dir. Dizel motorunda sıkıştırma sonu sıcaklığı 700° C geçmemektedir. Bu sıcaklık biyogaz karışımının kendi kendini ateşleme sıcaklığından çok dūřúktür. Bu da dizel motorlarında biyogazın kullanılması halinde erken ateşleme ihtimalini ortadan kaldırır. Bununla birlikte karışımın uygun zamanda, yani uygun ateşleme avans derecesinde tutuşmasını sağlamak için, pilot yakıt veya buji kıvılcımı gerekmektedir[15].

Bunlardan pilot yakıt ile ateşleme, dizel motorunda kullanılan bir enjektörle, motorun dizel yakıtı ile çalışması esnasında harcanan toplam yakıt enerjisinin % 5–15 ine denk bir dizel yakıtının karışım içerisine pūskürtölmesi ile sağlanır. Yanma odasına doğru uygun yönlendirilecek yakıt jetleri, birçok noktada birer yanma temin edecek ve bu noktalardan çeperele olan uzaklıklar azaldığı için de, büyük yanma hızlarına ihtiyaç olmayacaktır.

Kıvılcım ile ateşlemede belli konsantrasyon limitlerindeki karışım, yüksek kompresyonda sıkıştırılmıştır. Bu durumda, kıvılcımı bir uçtan diğerine atlatabilmek için, daha yüksek voltaja ihtiyaç vardır, fakat kıvılcım çok kuvvetli duruma da gelse, zayıf karışım pilot yakıt pūskürtölmesindeki yanma gibi ateşleme yapamaz. Kıvılcım ısı enerjisini sınırlı bir miktarda ve yalnız bir noktada meydana getirir. Yani karışım konsantrasyonu veya türbölansının artırılması gerekir. Her iki durumda da, yanma bir kere başladıktan sonra, zamanında tamamlanması gerekir. Bazen karışım tutuşunca, kalan kısmı sıkıştırarak ısıtır ve o bölgede zamanından önce tutuşma sınırına erişilerek yanma başlar. Bu ise vurutuya sebep olur. Bunu önlemek için, ortalama bir yanma oranı temin etmek gerekir.

Uygun Biyogaz-Hava Karışımının Sağlanması ve Silindire Sevki

Yanma için uygun biyogaz-hava karışımı, hava veya biyogazın miktarının değiştirilmesi ile sağlanır. Kıvılcımla ateşlemeli motorlarda, hava kısııcı kullanılarak karışım oranları ayarlanır. Bu karışım oranları çok silindirli motorlarda, mutlaka birbirine yakın sınırlar içinde tutulmalıdır. Bu tip motorlarda oranların ayarlanması daha zor olduğundan her silindire müstakil vanalar yerleştirilmelidir. Biyogaz ve hava karışımı ventüri tipi bir karıştırıcı ile sağlanmalı, gaz basıncı bir dūřük basınç regölâtörü ile kontrol edilmelidir.

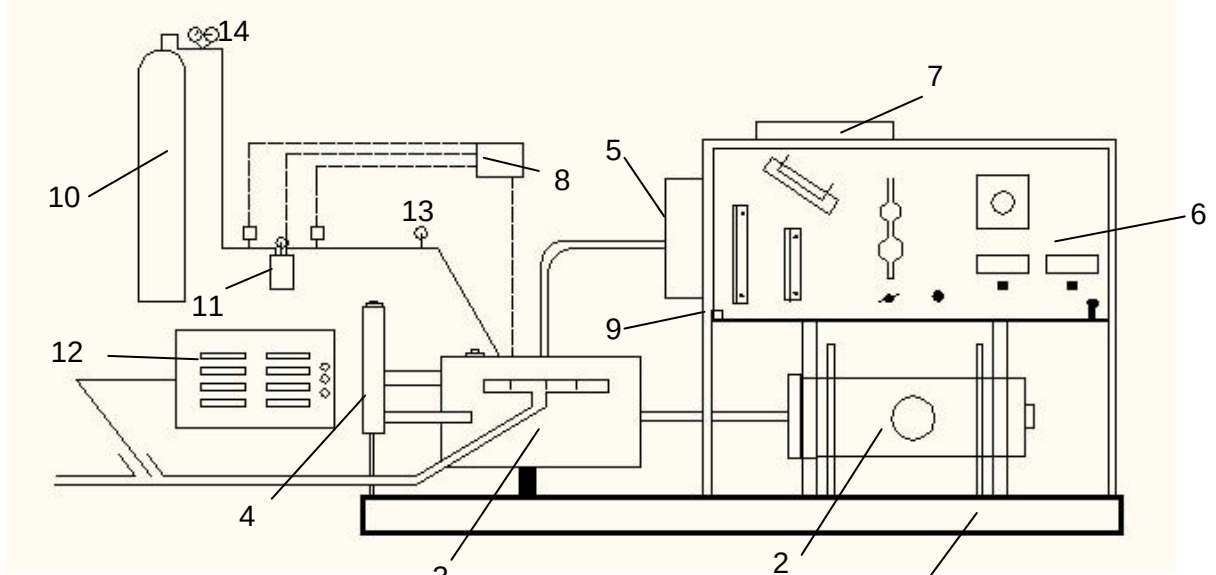
Pilot dizel yakıt ateşlemeli motorda; silindir içerisine her çevrimde, teorik olarak dolan hava miktarı sabittir. Bu durumda, biyogaz kontrolu ile hava-biyogaz karışımı istenilen oranlarda ayarlanabilir. Bu karışım için yine bir karbüratöre ihtiyaç vardır. Silindirdeki karışımın ateşlenmesi için, pompa kramiyer mili bir sınırlayıcı ile sınırlanarak, silindir içerisine sürekli olarak her çevrimde aynı miktarda dizel yakıtının püskürtülmesi sağlanır. Böylece biyogaz hava karışımının geniş bir alan içinde, pilot yakıt ile motorun çalışması sağlanır. Aynı zamanda istenildiğinde pompa pilot yakıt sınırlayıcısı serbest duruma getirilerek, biyogaz vanası kapatılıp, sadece dizel yakıtı ile çalışma sağlanır[15].

3. GEREÇ ve YÖNTEM

Bu projenin ana amacı ateşleme avansı değiştirilen bir motorda biyogaz hidrojen karışım gazlarının yanmasını incelemektir. Bu kapsamda deney motorunun ateşleme avansının ayarlanması ve motorun biyogaz ile çalışabilir konuma getirilmesi için motor üzerinde gerekli düzenlemelerin yapılması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümü Motorlar laboratuvarında mevcut bulunan Ford marka motorda gerçekleştirilmiş bu projede motora ait detaylar Tablo 3.1’de verilmiştir. Deney düzeneğinin görünüşü şekil 3.1’de sunulmuştur.

Tablo 3.1 Deney motorunun karakteristik özellikleri

Emisyon standardı	15.04
Motor Tanıma Kodu	RDA
Ateşleme Sırası	1-3-4-2
Bore (Silindir çapı)	80.6 mm
Stroke	88 mm
Motor Hacmi	1796 cc
Sıkıştırma Oranı	10:1
Maksimum Motor Devri	5950 dev/dk
Güç (DIN)	77 kw, 105 PS
Tork (DIN)	153 Nm, (4000 dev/dk)

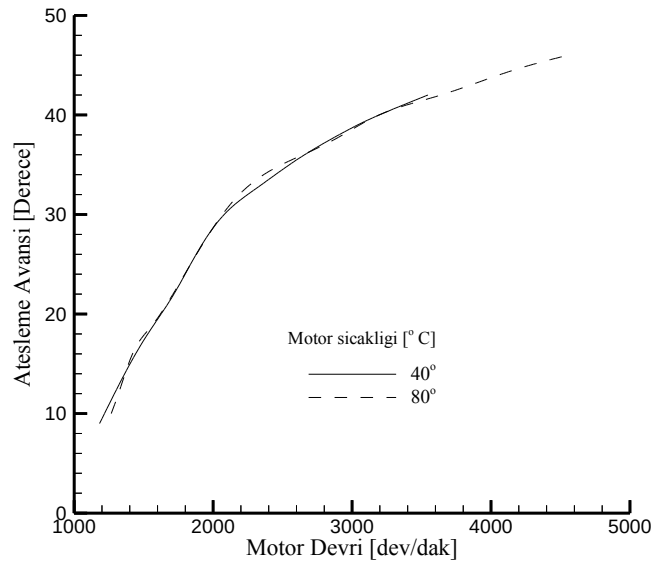


1-Motor Şasesi, 2- Hidrokinetik Dinamometre, 3- Motor, 4- Soğutma Ünitesi, 5-Hava Tankı, 6- Kontrol Paneli, 7- Ana Yakıt Tankı, 8-Gaz Sistemi ECU, 9- Yakıt Seçim Anahatarı, 10-Yakıt Tankı, 11- Gaz Isıtıcısı, 12- Egzos Gazı Analizörü, 13-Basınç Göstergesi, 14- Basınç Regülâtörü

Şekil 3.1. Deney Düzeneği ve Bölümleri

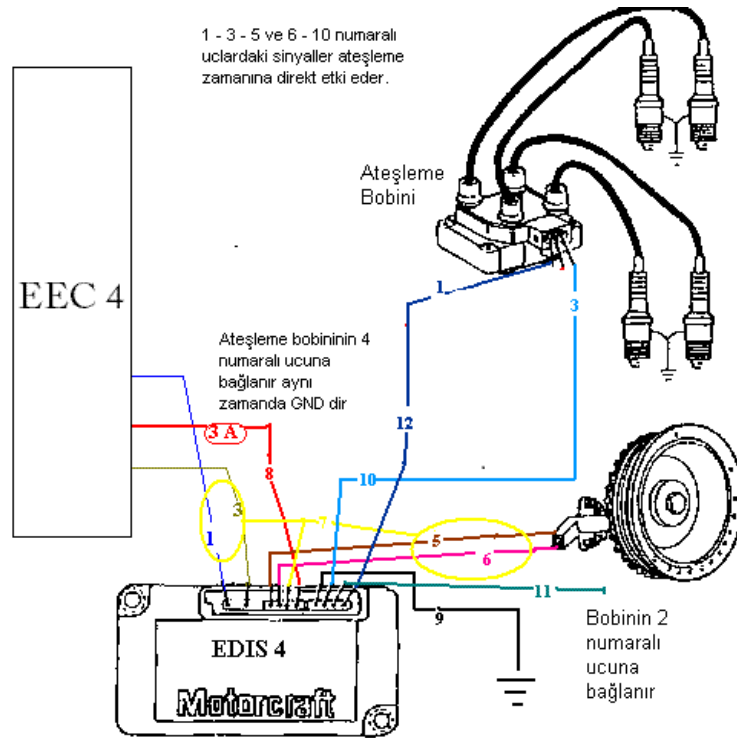
3.1. Deney Motorunun Ateşleme Avansının Değiştirilmesi

Laboratuarda deneylere başlamadan önce motorun orijinal ateşleme avansları her devir için motor sıcaklığına bağlı olarak tespit edilmiştir(Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Ateşleme Avans Eğrisi (Ford Motoru)

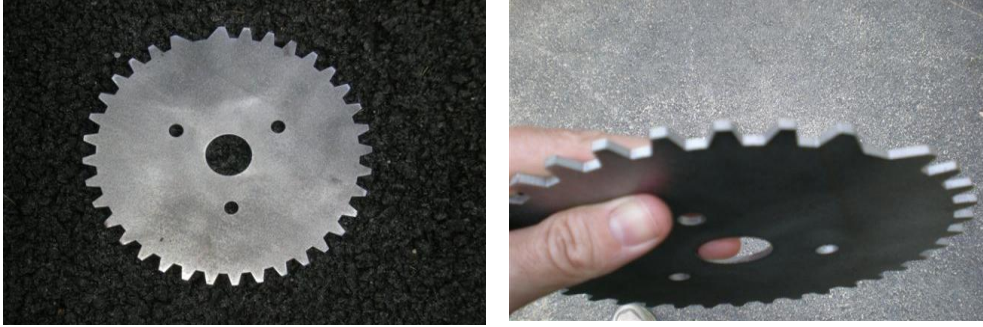
Avansta değişiklik yapılabilmesi için pek çok yöntem denenmiştir. Çoğu motorcunun aklına gelen yöntem olan motor kontrol sisteminde yapılacak yeni bir programlama yöntemi maalesef başarıya ulaşmamıştır. Kullandığımız Ford motorunda Ford firması tarafından tasarlanan EEC 4 tipi ateşleme kontrol sistemi kullanılmaktadır. Bu sisteme dışarıdan programlama yapma imkânı verilmemiştir. Ancak günümüzde süperchip uygulamaları ile bu müdahale mümkün olmaktadır. Ancak yurt dışından temin edilen ve firma tarafından programlanmış olarak gönderilen bu chipler, üretici firma tarafından performans modülü olarak tasarlandığından dolayı deneyde yapılmak istenilen değişiklikleri desteklememektedir. Bu nedenle motor kontrol sisteminin bir parçası olan ve motordaki üst ölü noktayı belirlemek için tasarlanmış CPS (Krank mili Pozisyon Sensörü) üzerinde yapılan değişikliklerle avans değişimi yapılmaya çalışılmıştır.



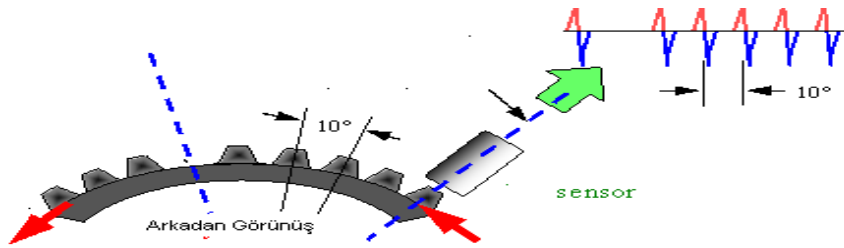
Şekil 3.3. Ford Motoru Ateşleme Sistemi

Şekilde motorun ateşleme sisteminin çalışması görülmektedir (Şekil 3.3). CPS sensörü veriyi volan üzerinde bulunan 35 adet tırnaktan ve 1 adet boşluktan almaktadır. Bu düzeneğin minyatür bir benzeri yapılarak motor miline eklenmiştir (Şekil 3.4). Motor ilk çalıştırıldığında standart değerlerle yani avans değişimi yapılmadan çalışmaktadır. Bunun nedeni ise rölanti devrinde motorun düzenli çalışmasını sağlamaktır. Motor bir süre çalıştıktan sonra CNG sistemi devreye giriyor 1500 devre çıkıldığında ise ayarlanmış olan düzenek verilmek istenen

avans kadar uygun noktaya ayarlanmaktadır (Şekil 3.5). Devir tekrar düşürüldüğünde ise eski avans konumuna çekilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4 Volan Yerine Tasarlanmış Olan Minyatür Parça



Şekil 3.5. Motorun Çalışması Sırasında CPS nin Çalışması

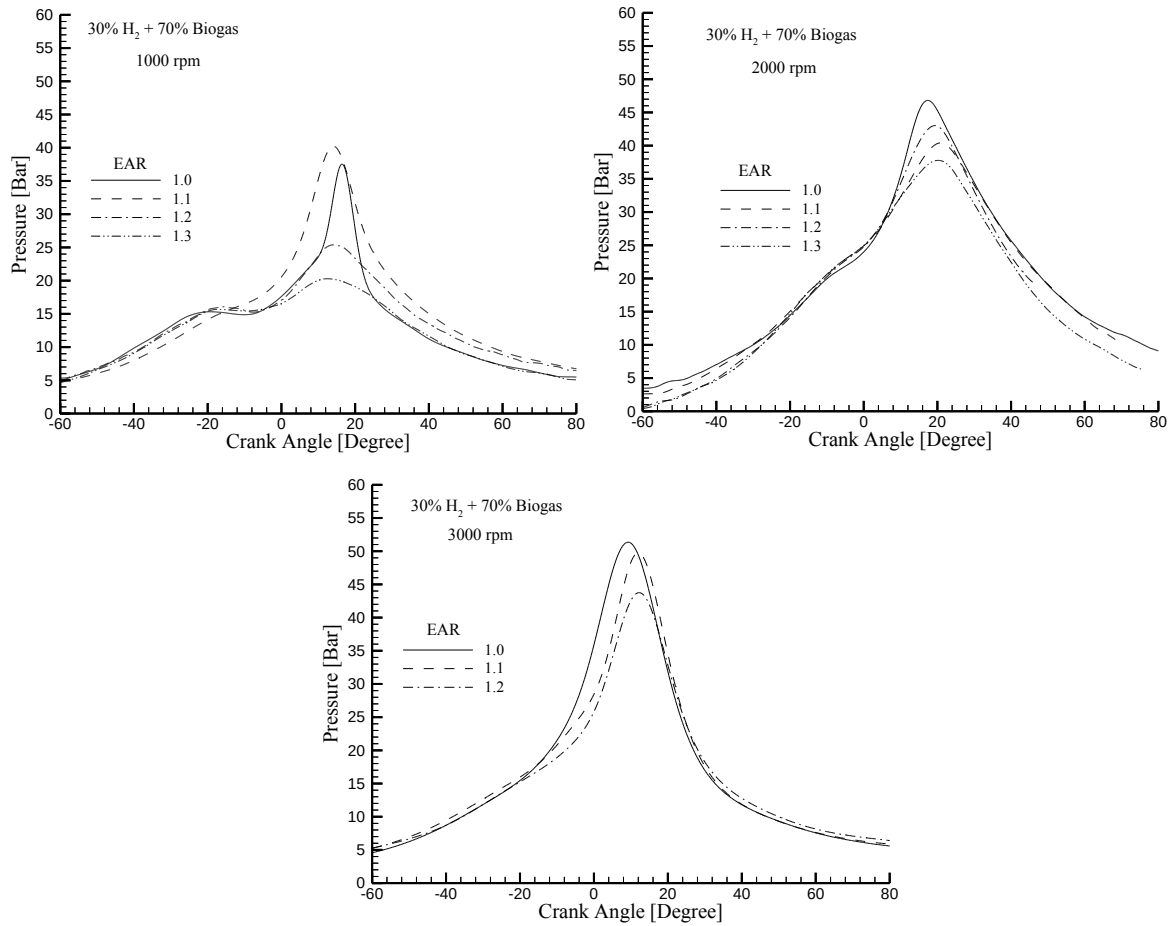
3.2. Deney Motorunun Biyogaz ile Çalışabilmesi için Modifikasyon Yapılması

Kullanılan deney sisteminde düşük basınçlı CNG dönüşüm kiti bulunmaktadır. Ancak bu dönüşüm kiti Metanın hava yakıt karışımına uygun olduğu için biyogaz ile yapılan deneylerde 2000 ve üstü devirlere çıkıldığında uygun yakıt hava karışımı sağlayamadığı için motor durmaktadır. Bu nedenle mevcut bulunan tartarini marka CNG dönüşüm sistemine ek olarak yüksek devirlerde kullanılmak üzere ek CNG sistemi paralel olarak sisteme bağlanmıştır. Deneylere bağlantılar tamamlandıktan sonra başlanmıştır.

4. BULGULAR

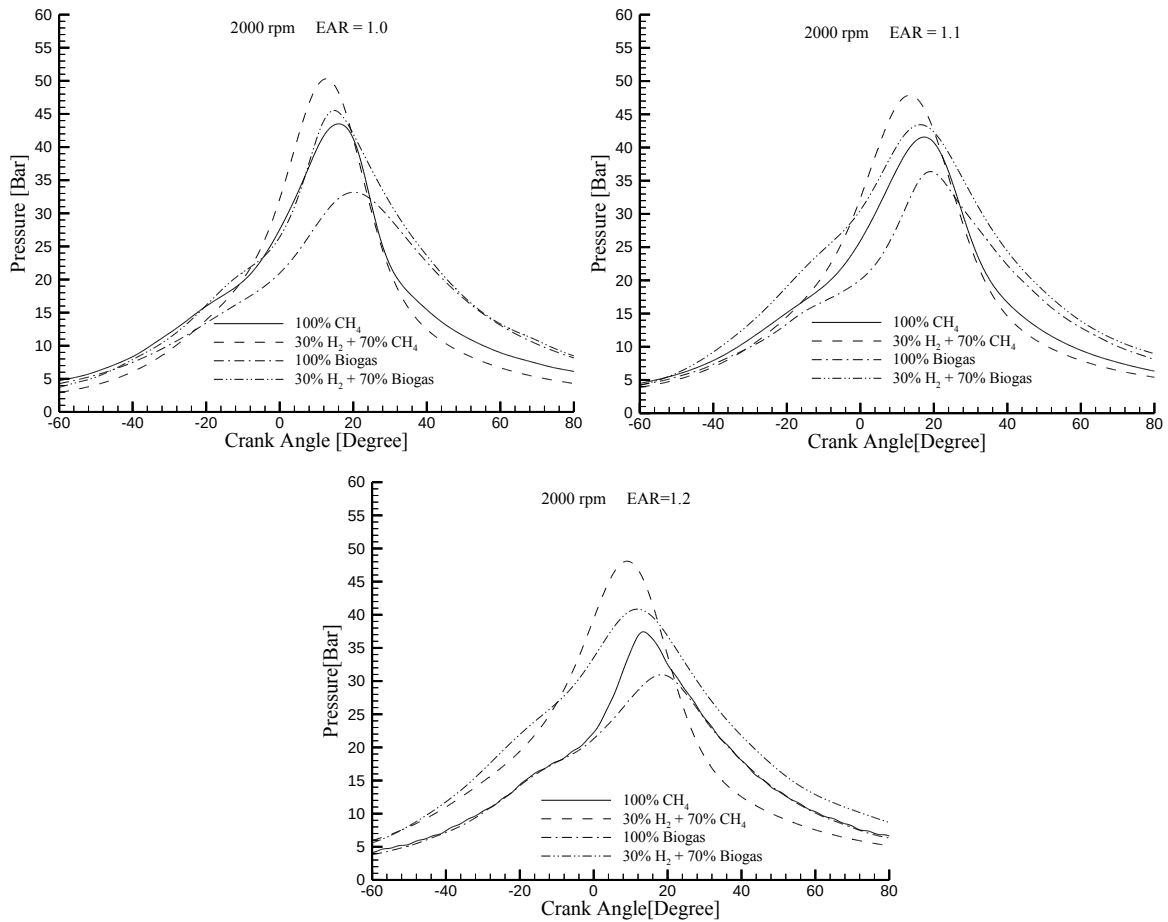
4.1. Silindir Basınç Verileri

Farklı hava fazlalık oranları (1.0, 1.1, 1.2, 1.3) ve 1000, 2000, 3000 D/dk 'de basınç değerlerine karşı biyogaz – hidrojen (%30 H_2 + %70 Biyogaz) için krank açısı değerleri Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Tüm testler tam WOT (geniş açıklıklı gaz kelebeği) da yapılmıştır. Bu şekillerde görüldüğü gibi biyogaz-hidrojen karışımları Pik basınç değerlerinin artırılmasına ama fazlalık oranının (EAR) azalmasına neden olur. Motor hızı artarken biyogaz hidrojen karışım operasyonunun Pik basınç değeri azalır. Pik basınç değeri her motor hızı ve EAR için yaklaşık olarak 9° ile 19° arasında elde edilir. Motor genel olarak en yüksek verime 10° - 15° ATDC'ye çıktığında ulaşabilir.



Şekil 4.1. 1000, 2000 ve 3000 D/dk 'deki Farklı Fazlalık Oranlarında (EAR) Basınç-Krank Açısı Değişimi (%30 H_2 + %70 Biogaz)

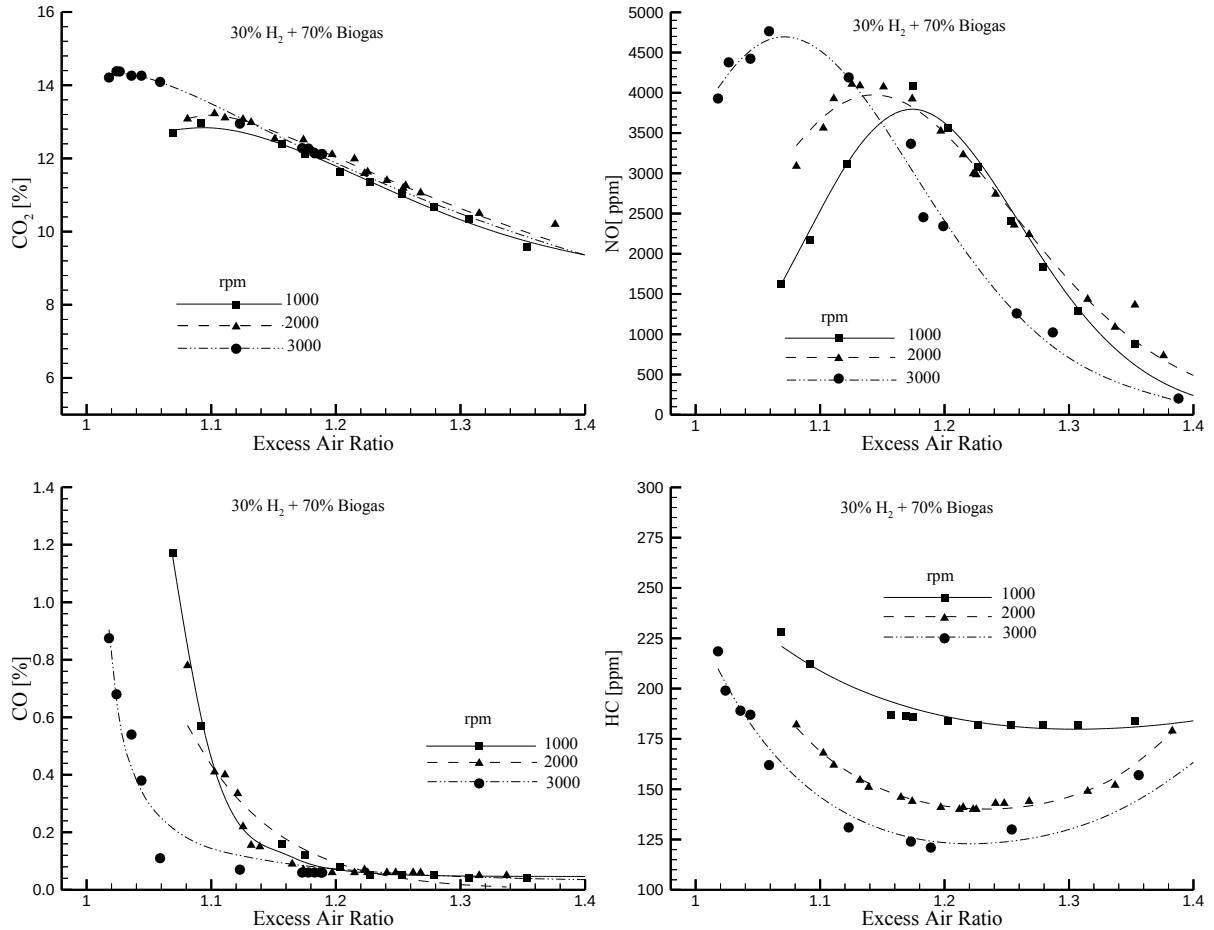
Şekil 4.2’de maksimum silindir basıncının hava fazlalık oranının bir fonksiyonu olarak %100 CH_4 , %30 H_2 + %70 CH_4 , %100 biyogaz ve %30 %100 H_2 + %70 biyogaz karışımları değişim oranları görülmektedir. Bu karşılaştırmalar 1.0, 1.1, 1.2 EAR değerleri ve 2000 d/dk şartlarında gerçekleşmiştir. Maksimum pik basınç değerleri yaklaşık 51.2 Bar 3000 d/dk ve $EAR = 1.0$ için elde edilir. Ama fazlalık oranı arttıkça maksimum basınç değeri de artar. Bu olmuştur. Çünkü: yanma yayılma hızı, fakir yanma hızı koşulları için nispeten yavaş ve çalışma başına daha az enerji ortaya çıkmıştır. %30 H_2 + %70 CH_4 karışımının basınç değeri diğer gazlardan daha yüksek çıkmıştır. %30 H_2 + %70 CH_4 karışımı ve $EAR=1.0$ için Maksimum basınç değeri 50 Bar olarak elde edilir. Bu durumda ise %30 H_2 + %70 CH_4 karışımı için en yüksek basınç değeri elde edilmiştir. %30 H_2 + %70 Biyogaz karışımının azami basınç değerleri $EAR=1.0$, 1.1, 1.2 için sırasıyla 46, 43.5 ve 40 bar olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.2. 2000 d/dk 'da Maksimum Silindir Basıncının Krank Açısı ile %100 CH_4 , %30 H_2 + %70 CH_4 , %100 Biyogaz ve %30 H_2 + %70 Biyogaz Karışımları İçin Değişimi

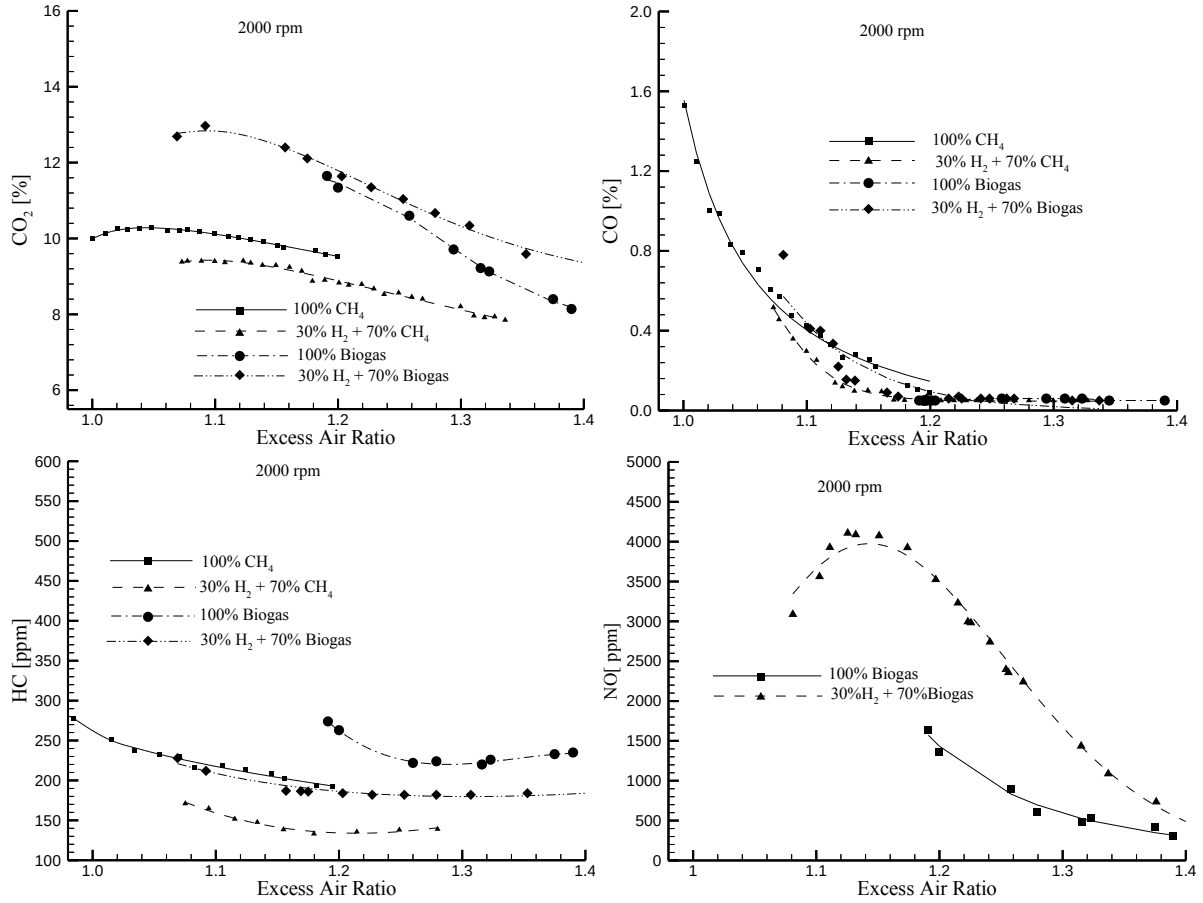
4.2. Emisyon ve Performans Parametreleri

Şekil 4.3'te 1000, 2000, 3000 d/dk'da %30 H_2 + %70 Biyogaz karışımının CO , CO_2 , HC ve NO emisyonları verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi EAR değerleri azalmışken CO değeri artmıştır. Benzer eğilimler CO_2 emisyon değerleri için gözlemlenmektedir. CO_2 değerinin fazla hava oranı ile ters düşmesinin sebebi fakir yanmadaki hava içindeki oksijen yanma için yeterlidir. CO değerleri eksik yanma nedeniyle 1.0, 1.2 hava fazlalık oranları ile yoğunlaşmıştır. CO değerleri $EAR = 1.2$ 'nin ardından önemli ölçüde azalır. Alt CO emisyon değerleri 3000 d/dk'de elde edilmiştir. Hava fazlalık oranı 1.0 ve 1.15 arasında olduğunda CO_2 değerleri maksimum seviyeye döner. EAR değerleri 1.15'ten daha yüksek olduğunda CO_2 değerleri azalmış olarak bulunur. Maksimum NO emisyon değerleri $EAR=1.05$ ve 3000 d/dk'da gözlemlenmektedir. 1000 ve 2000 d/dk'da maksimum NO değerleri 1000 ve 2000 d/dk'da $EAR=1.17$ ve 1.13'de elde edilir.



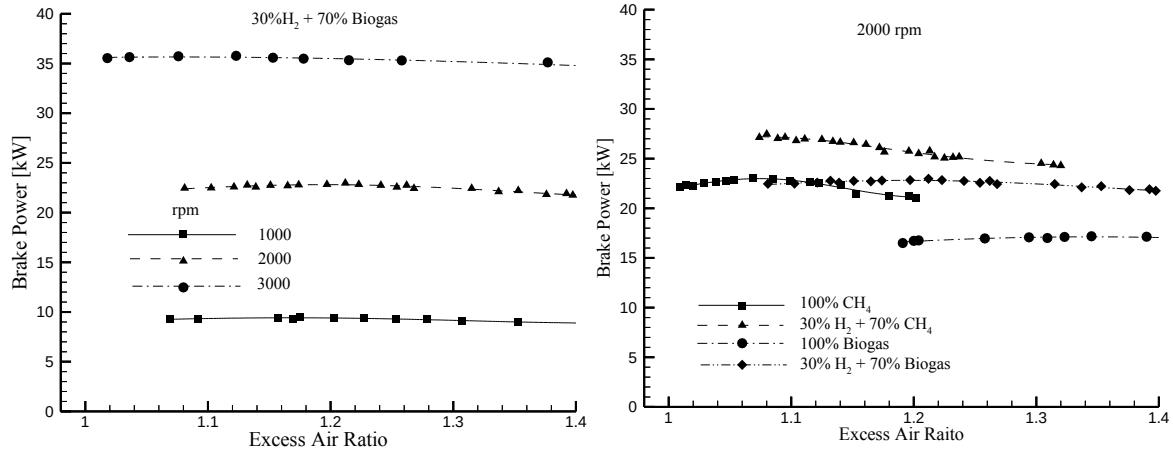
Şekil 4.3. 1000, 2000 ve 3000 d/dk'da %30 H_2 + %70 Karışımı için CO , CO_2 , HC ve NO Emisyonları

EAR artmasıyla NO emisyon değerleri azalmaktadır. HC değerleri her motor hızı için $EAR=1.2-1.3$ 'de en düşük değerine ulaşır. EAR 1.3'ten daha yüksek olduğunda HC konsantrasyonu artar. Hava fazlalık oranları 1.0 ile 1.2'ye yükseldiği zaman HC değerleri azalmıştır. Minimum HC değeri 3000 d/dk için 123 ppm olarak bulunmuştur. Şekil 4.4'te %100 CH_4 , %30 H_2 + %70 CH_4 , % 100 biyogaz ve % 30 H_2 + % 70 biyogaz karışımları için 2000 d/dk'daki CO , CO_2 , HC ve NO emisyonları gösterilmiştir. En fazla CO_2 değeri % 30 H_2 + % 70 biyogaz ve %100 biyogazda görülmüştür. CO emisyon değerleri her karışım için artan EAR ile azalmaktadır. Minimum HC değeri iyi bir yanmaya bağlı olarak %30 H_2 + %70 CH_4 için elde edilmiştir. Maksimum HC değeri ise yaklaşık 300 ppm' olarak $EAR=1.19$ 'da %100 biyogaz için gözlemlenmiştir. Biyogaz silindirlerde yeterli bir yanma temin edemez. Nitrik oksit (NO) azot dioksit (NO_2) genellikle (NO_x) emisyonu olarak gruplandırılmıştır. (NO) motor silindirleri içinde üretilen azotun baskın oksididir. (NO_x)'in kaynağı atmosferi (moleküler nitrojen) nitrojeni oksidasyonu ve yüksek yanma derecesidir. % 100 CH_4 ve %30 H_2 + %70 CH_4 için 5000 ppm'de emisyon değerinin gösterilmemesinin nedeni NO değerinin elde edilememesidir. Maksimum NO değeri 4100 ppm civarında EAR 1.15'te % 30 H_2 + % 70 CH_4 için elde edilmiştir.



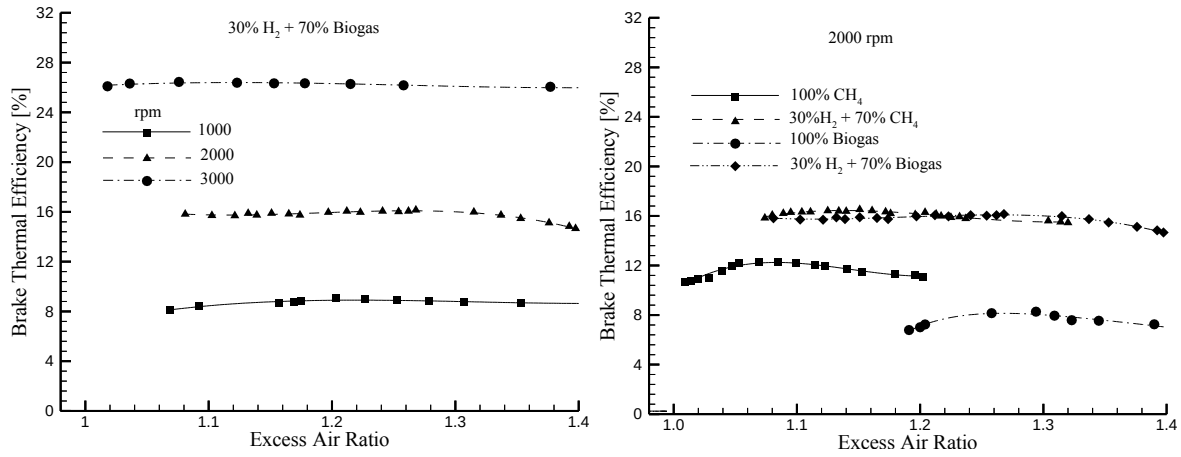
Şekil 4.4. %100 CH₄ , % 30 H₂ + % 70 CH₄ , % 100 biyogaz ve % 30 H₂ + % 70 biyogaz karışımları için 2000 d/dk'daki CO, CO₂, HC ve NO Emisyonları

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 farklı motor hızları ve hava fazlalık oranlarına göre fren gücü ve fren ısı verim değerlerini göstermektedir. Şekil 4.5'ta ve % 30 H₂ + % 70 Biyogaz için 3000 d/dk'da maksimum fren güç değeri 35.6kW olarak elde edilmiştir. 2000 d/dk için bütün karışımlar karşılaştırıldığında en yüksek fren güç değeri sırasıyla ve % 30 H₂ + % 70 CH₄ , % 30 H₂ + % 70 biyogaz , % 100 CH₄ ve % 100 biyogaz için gözlenmiştir. Biyogaza hidrojen ilavesi ile fren güç değeri artmıştır.



Şekil 4.5. Farklı Motor Hızları İçin Fren Gücünün Hava Fazlalık Katsayısı ile Değişimi

Şekil 4.6’da bütün karışımlar birbiriyle karşılaştırıldığında 2000 D/dk için maksimum fren ısı verimi sırasıyla % 30 H_2 + % 70 biyogaz için % 16 ve % 30 H_2 + % 70 CH_4 için % 16.5 oranında elde edilmiştir. Farklı motor hızları için biyogaz hidrojen karışımında çalışan motorun maksimum fren ısı verimi 3000 d/dk ’de yaklaşık % 26 oranında bulunmuştur. Biyogaza hidrojen ilavesi ile iyi yanma nedeniyle fren ısı verim değerinde artma olmuştur.



Şekil 4.6. Farklı Motor Hızları İçin Fren Isıl Veriminin Hava Fazlalık Katsayısı ile Değişimi

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Teknolojinin gelişmesi ile sağlanan rahatlıklar karşısında artan taşıt sayısı ile birlikte artan çevre kirliliği ve sağlık sorunları düşük emisyon miktarı sağlamaya yönelik çalışmalara hız kazandırmıştır. Alternatif yakıtlardan birisi olan biyogazın yerli imkanlarla kolay üretilebilir ve çevreye karşı duyarlı olması nedeniyle taşıtlarda kullanılması önem kazanmaktadır. Bakım masrafları az ve kullanımı kolay olan buji ateşlemeli motorlarda biyogaz kullanımı işletme maliyetlerini önemli ölçüde azaltacaktır.

Elde edilen deneysel veriler, bildiri ve makaleler şeklinde ulusal ve uluslar arası sempozyumlarda sunularak literatüre katkı sağlayacaktır. Ayrıca edinilen bu bilgilerin motor üreticisi firmalar ile paylaşımı gerçekleştirilecektir.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar:

% 100 CH_4 , % 30 H_2 + % 70 CH_4 , % 100 biyogaz ve % 30 H_2 + % 70 biyogaz karışımlarına ait deneysel çalışmanın sonuçları şu şekilde özetlenmiştir:

- EAR artışı ile birlikte her bir karışım için düşük basınç değerleri elde edildi.
- Biyogaz ve metan yakıtlarına hidrojen ilavesi ile % 100 CH_4 ve % 100 biyogaz için maksimum basınç değerleri artmıştır.
- % 30 H_2 + % 70 biyogaz için $EAR=1.0$ ve 3000 d/dk'da pik basınç değerleri elde edilmiştir.
- 2000 d/dk'da tüm karışımların basınç değeri karşılaştırıldığında % 30 H_2 + %70 biyogaz, % 30 H_2 + %70 CH_4 karışımından daha düşük, % 100 CH_4 ve % 65 CH_4 +% 35 CO_2 (Biyogaz) değerinden daha yüksektir.
- EAR artışı ile CO , CO_2 ve NO emisyon parametreleri düşer.
- % 30 H_2 + % 70 biyogaz için en iyi sonuç 3000 d/dk'daki yüksek basınç değerinde elde edildi. Biyogaz motorlarda kullanılabilir. Buna rağmen en iyi değerler biyogaza hidrojen eklenmesi ile elde edilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Porpatham E., Ramesh A., Nagalingam B., Investigation on the effect of concentration of methane in biogas when used as a fuel for a spark ignition engine, Fuel 87 (2008) 1651–1659
- [2] Bade Shrestha S.O., Narayanan G., Landfill gas with hydrogen addition – A fuel for SI engines, Fuel 87 (2008) 3616–3626
- [3] Huang JD, Crookes RJ. Assessment of simulated biogas as a fuel for the spark-ignition engine. Fuel 1998;77(15):1793–801.
- [4] Henham A., and Makkar M.K., Combustion of Simulated Biogas in a Dual-Fuel Diesel Engine, Energy Convers. Mgmt Vol. 39, No. 16±18, Pp. 2001±2009, 1998.
- [5] Forsich C., Lackner M., Winter F., Kopecek H., Wintner E., Characterization of laser-induced ignition of biogas–air mixtures, Biomass and Bioenergy 27 (2004) 299 – 312.
- [6] Crookes R.J., Comparative bio-fuel performance in internal combustion engines, Biomass and Bioenergy 30 (2006) 461–468.
- [7] Rakopoulos C.D., Michos C.N., Generation of combustion irreversibilities in a spark ignition engine under biogas–hydrogen mixtures fueling, Int. Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 4422 – 4437.
- [8] Tewari PG, Subrahmanyam JP, Gajendra Babu MK. Kıvılcım ateşlemeli motor yakıtı olarak gaz yakıtın performans özellikleri üzerine deneysel araştırmalar. SAE Paper No. 2001–01–1189.
- [9] Lee K, Kim T, Cha H, Song S, Min CK. Biyogaz hidrojen karışımı ile beslenen bir gaz motorunun verimliliği ve NO_x emisyonlarının bir egzoz gazı devir daim sistemi kullanılarak incelenmesi. Int J Hydrogen Energ 2010;35:5723–30.
- [10] Karim GA, Wierzbza I. Metan karbondioksit karışıklı yakıtlar. SAE Paper no 921557, 1992.
- [11] Tanoue K, Kido H, Hamatake T, Shimada F. Hidrojen ilavesi ile fakir metan karışımının türbilanslı yanma performansını artırma. FISITA World Automotive Congress, Seoul, 2000.
- [12] Bade Shrestha SO, Karim GA. Metan kullanılan içten yanmalı motor uygulamaları için katkı maddesi olarak hidrojen kullanma. Int J of Hydrogen Energ 1999;24:577–86.
- [13] Bade Shrestha SO, Karim GA. Kıvılcım ateşlemeli motor performansı üzerine metan incelticilerin varlığının etkisinin tahmin edilmesi. App Therm Eng 2001;21:331–42.
- [14] Leung T, Wierzbza I. Hidrojen ilaveli biyogazın bir jet alev stabilitesi üzerindeki etkisi. Int J Hydrogen Energ 2008;33:3856–62.

[15]. Uyarel A.Y., Erşan K., İçten Yanmalı Motorlarda Biyogaz Kullanımı ve Motor Performansına Etkisi, <http://w3.gazi.edu.tr/web/kersan/biyogazypdficin.pdf>

EKLER

Proje kapsamında gerçekleştirilen yayınlar:

Albayrak eper B., "Investigation of engine performances and emissions of an SI engine fueled by biogas-hydrogen blends", 12.International combustion symposium, Kocaeli, , 433-441, Mayıs, 2012.

Albayrak eper B., Ünalın S., Kahraman N. ve Akansu S.O., “Farklı Ateşleme Avanslarında %30 H₂-%70 Biyogaz Yakıtının Motor Performansı ve Emisyonlar Üzerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi”, 19. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi (ULİBTK’13), Samsun, 09-12 Eylül 2013 (Kabul edildi)