



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORDA ALTERNATİF GAZ YAKIT KULLANIMININ
AVL PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU

Raif KENANOĞLU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
ARALIK-2016



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİZEL MOTORDA ALTERNATİF GAZ YAKIT KULLANIMININ
AVL PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU**

Raif KENANOĞLU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HATAY
ARALIK-2016**

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİZEL MOTORDA ALTERNATİF GAZ YAKIT KULLANIMININ
AVL PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU

Raif KENANOĞLU
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU danışmanlığında hazırlanan bu tez
20/12/2016 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU

Başkan

Yrd. Doç. Dr. M. Kaan BALTACIOĞLU
Üye

Yrd. Doç. Dr. Tayfun ÖZGÜR
Üye

Kod No: 26

Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdür V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

20/12/2016

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Raif KENANOĞLU

ÖZET

DİZEL MOTORDA ALTERNATİF GAZ YAKIT KULLANIMININ AVL PROGRAMI İLE SİMÜLASYONU

Dünyada fosil yakıt kullanımı, çevresel faktörler, petrol rezervlerinin azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatlarının artmasıyla azalmış ve araştırmacılar alternatif yakıtlara yönelmiştir. Yapılan araştırmaların sonucunda üretilen prototiplerin daha az hata payıyla üretilebilmesi, deneme yanılma yöntemiyle oluşacak üretim maliyetlerini azaltmak, çevresel etkileri ve enerji tasarrufu sağlamak için gelişen teknoloji ile otomotiv sektöründe imalattan önce analiz ve hesaplamaları güvenilir simülasyon programları ile yapılmaya başlamıştır. Bu çalışmada standart dizel yakıtı, kısılmış dizel + sıkıştırılmış doğalgaz, kısılmış dizel + hidroksi gaz ve kısılmış dizel + hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgaz yakıt karışımları, herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan AVL Boost programı kullanılarak modellenen dizel motorda pilot püskürtme yöntemine benzer bir yöntemle yakıtların performans ve emisyon değerlerine olan etkilerini analiz etmektir. Simülasyon programında, 4.8 L, 6 silindir, 4 zamanlı, turbo beslemeli model dizel motoru üzerinde belirlenen noktalara ölçüm noktaları oluşturulmuş ve bu noktalar yardımı ile birlikte performans değerleri olarak tork, güç, özgül yakıt tüketimi, hacimsel verim ve indike ortalama efektif basınç; emisyon değerleri olarak ise CO, CO₂ ve NO_x analizleri elde edilmiştir. Sonuçlar grafik şeklinde standart dizel ve kısılmış dizel operasyonları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Analiz sonuçlarında; standart dizel yakıt ile gaz karışımı kısılmış dizel yakıtlı operasyonlar arasında performans sonuçlarına göre; kısılmış dizel + sıkıştırılmış doğalgaz karışımı diğer yakıtlardan daha iyi sonuçlar vermiştir. Emisyon analizlerinde de CO₂ hariç kısılmış dizel + hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgaz yakıt karışımı diğer yakıtlara nazaran emisyon salınımını düşürmüştür. Genel sonuç olarak alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahip olan hidroksi gaz ve sıkıştırılmış doğalgazın dizel motorlarda kullanımı; hem performans hem de emisyonlarda iyileştirme göstermiştir.

2016, 55 sayfa

Anahtar kelimeler: AVL Boost, hidroksi gaz, CNG, motor performansı, egzoz emisyonu

ABSTRACT

SIMULATION OF USAGE OF ALTERNATIVE GAS FUELS ON DIESEL ENGINE BY AVL PROGRAM

The using of fossil fuels in the world has decreased due to environmental factors, a declining oil reserves and increased oil prices, and researchers have turned to alternative fuels. As a result of the researches that have been done, the prototypes produced in the automotive sector have been analyzed and calculated with reliable simulation programs in the automotive sector with the help of the production of prototypes with fewer errors, the reduction of production costs by trial and error method, the development of technology for saving environmental effects and energy saving. In this study, standard diesel fuel, substituted diesel + compressed natural gas, substituted diesel + hydroxy gas and substituted diesel + hydroxy enriched natural gas mixtures were used to simulate the performance and emission analysis of the fuels by using pilot injection method similar to the diesel engine, which was modeled by using the AVL Boost program without any structural modification. In the simulation program, 4.8 L, 6 cylinder, 4 stroke, turbocharged model diesel engines have been constructed with measurement points which give performance values such as torque, power, specific fuel consumption, volumetric efficiency and indicated mean effective pressure; Emission values of CO, CO₂ and NO_x were obtained. The results are given in graphical form in comparison with standard diesel and reduced diesel operations. In the analysis results; According to the performance results between the standard diesel fuel and the gas-mixture diesel fueled operations; substituted diesel + natural gas mixture gave better results than other fuels. Compared to other fuels, the emissions of the substituted diesel + hydroxy enriched natural gas mixture, except CO₂, are also reduced in emissions analysis. As a general result, the use of hydroxy gas and compressed natural gas in diesel engines, which have a significant share among alternative fuels; Both in terms of performance and emissions.

2016, 55 pages

Keywords: AVL Boost, hydroxyl gas, CNG, Engine Performance, Exhaust Emissions

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında, büyük bir titizlik, sabır ve özveriyle bana destek olan ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen, yoğun akademik ve idari görevlerine rağmen tez çalışmamın temelini oluşturan simülasyon programının alınmasında önemli rolü olan değerli tez danışmanım Prof. Dr. Ertuğrul BALTACIOĞLU' na en derin saygılarımla teşekkür ederim.

Çalışmamda kullandığım programın elde edilmesinde etkin rol oynayan ve çalışmalarım boyunca beni yalnız bırakmayan, büyük bir sabır ve istekle bana çalışmalarımda yol gösteren ve yardımcı olan değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. M. Kaan BALTACIOĞLU ve Yrd. Doç. Dr. Tayfun ÖZGÜR' e ve bununla birlikte tez yazım ve kontrol aşamasında değerli zamanını ayırıp tecrübelerini benimle paylaşarak bu tezi oluşturmamda bana büyük katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. H. Turan ARAT' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması boyunca manevi destekleriyle beni çalışmalarımda motive eden, tecrübeleriyle ve verdiği fikirlerle yoluma ışık tutan, birlikte çalışmaktan büyük mutluluk duyduğum, kıymetli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Semir GÖKPINAR ve Yrd. Doç. Dr. Çağlar CONKER' e, ayrıca meslektaşım Arş. Gör. Bahattin TANÇ kardeşime sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmam boyunca doğrudan veya dolaylı olarak manevi destekleriyle beni yalnız bırakmayan meslektaşlarım Arş. Gör. Hasan Hüseyin BİLGİÇ, Arş. Gör. Hüseyin YAĞLI, Arş. Gör. Mehmet DEMİR ve Arş. Gör. Murat YILDIZ ve Arş. Gör. Şafak YILDIZHAN' a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışmasının ana ögesi olan AVL-BOOST programını Üniversite Ortaklığı Programı (UPP) kapsamında kullanma fırsatını sağladığı için AVL-AST Graz, Avusturya' ya teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak hayatımın her aşamasında bana destek olan, evlatları olmaktan gurur duyduğum kıymetli anne ve babam, Yasemin KENANOĞLU ve Mehmet R. KENANOĞLU' na, sevgili ablam Melike S. KÖSE' ye ve hayatımın her anında hem kardeş hem de dost olan Mustafa E. KENANOĞLU' na, ayrıca her sabah güler yüzüyle beni motive eden biricik yeğenim Defne' ye ve desteklerini esirgemeyen Selin AKIN' a; sonsuz teşekkürlerimi sunuyor ve bu çalışmamı kendilerine ithaf etmekten onur ve gurur duyduğumu belirtmek istiyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	V
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	9
2.1. Sıkıştırılmış Doğalgazın (CNG) Dizel Motorlarda Kullanımı	10
2.2. Hidrojenin (H ₂) Dizel Motorlarda Kullanımı	12
2.3. Hidrojen ile Zenginleştirilmiş Doğalgazın (HCNG) Dizel Motorlarda Kullanımı	15
2.4. Hidroksi (HHO) ve Hidrojenin (H ₂) içten yanmalı motorlarda kullanımı	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1. Dizel Motorun Modellenmesi.....	20
3.1.1. Çevrim Simülasyon Ayarları	22
3.1.2. Silindir	26
3.2. Matematiksel Yaklaşım	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	33
4.1. PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ.....	34
4.1.1 Kısılmış Dizel + CNG Performans Sonuçları.....	34
4.1.2 Kısılmış Dizel + HHO Performans Sonuçları	37
4.1.3 Kısılmış Dizel + 25HHOCNG Performans Sonuçları.....	40
4.2. EMİSYON DEĞERLENDİRMELERİ	43
4.2.1 Kısılmış Dizel + CNG Emisyon Sonuçları.....	43
4.2.2. Kısılmış Dizel + HHO Emisyon Sonuçları.....	45
4.2.3 Kısılmış Dizel + 25HHOCNG Emisyon Sonuçları	47
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ.....	55
EKLER	56

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1.	Simülasyon programının özellikleri (Klingstam&Gullander, 1999)2
Çizelge 1.2.	Otomobiller için Euro Emisyon Standartları (" <u>Regulation (EC) No 715/2007</u> ",2015)4
Çizelge 2.1.	Hidrojen ile çalışan arabaların tarihsel devinimi.....14
Çizelge 3.1.	AVL Boost programı ile oluşturulmuş motor modelinde bulunan kısaltmaların ve numaraların açıklamaları.21
Çizelge 3.2.	BOOST veri tabanında bulunan yakıt listesi.23
Çizelge 3.3.	Simülasyonda kullanılan yakıtlar ve karışımları.25

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Euro standartlarına bağlı NO _x ve PM azalımı (Dönmez, 2009).	5
Şekil 2.1.	HCNG yakıtının emisyon potansiyeli.....	16
Şekil 2.2.	Sıfır emisyonlu motor sistemi (Çeper,2009).....	17
Şekil 3.1.	AVL Boost sistem modellenmesi	21
Şekil 3.2.	AVL BOOST Simülasyon Kontrol Penceresi yakıt sekmesi.....	24
Şekil 3.3.	Silindir içi Enerji Dengesi.....	26
Şekil 3.4.	Silindir - Genel Özellikler penceresi	29
Şekil 3.5.	Silindir İçi Yanma Modeli - Vibe Fonksiyonu tablosu.....	30
Şekil 4.1.	Motor Devri - Tork grafiği.(CNG)	35
Şekil 4.2.	Motor Devri - Güç grafiği.(CNG).....	35
Şekil 4.3.	Motor Devri - ÖYT grafiği.(CNG).....	35
Şekil 4.4.	Motor Devri – Hacimsel Verim grafiği.(CNG)	36
Şekil 4.5.	Motor Devri - İOEB grafiği.(CNG).....	36
Şekil 4.6.	Motor Devri - Tork grafiği.(HHO)	38
Şekil 4.7.	Motor Devri - Güç grafiği.(HHO)	38
Şekil 4.8.	Motor Devri - ÖYT grafiği.(HHO).....	38
Şekil 4.9.	Motor Devri – Hacimsel Verim grafiği.(HHO)	39
Şekil 4.10.	Motor Devri - İOEB grafiği.(HHO).....	39
Şekil 4.11.	Motor Devri - Tork grafiği.(HHOCNG).....	41
Şekil 4.12.	Motor Devri - Güç grafiği.(HHOCNG).....	41
Şekil 4.13.	Motor Devri - ÖYT grafiği. (HHOCNG).....	41
Şekil 4.14.	Motor Devri – Hacimsel Verim grafiği.(HHOCNG).....	42
Şekil 4.15.	Motor Devri - İOEB grafiği.(HHOCNG)	42
Şekil 4.16.	Motor Devri - CO grafiği.(CNG).....	44
Şekil 4.17.	Motor Devri – CO ₂ grafiği.(CNG).....	44
Şekil 4.18.	Motor Devri - NO _x grafiği.(CNG)	44
Şekil 4.19.	Motor Devri - CO grafiği.(HHO)	46
Şekil 4.20.	Motor Devri – CO ₂ grafiği.(HHO).....	46
Şekil 4.21.	Motor Devri - NO _x grafiği.(HHO)	46
Şekil 4.22.	Motor Devri - CO grafiği.(HHOCNG)	48
Şekil 4.23.	Motor Devri – CO ₂ grafiği.(HHOCNG)	48
Şekil 4.24.	Motor Devri - NO _x grafiği.(HHOCNG).....	48

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$\frac{d(m_c \cdot u)}{d\alpha}$: Piston hareketi sırasında silindir içi iç enerji değişimi
$-p_c \cdot \frac{dV}{d\alpha}$: Piston işi
$\frac{dQ_F}{d\alpha}$: Yakıt ısı girişi
$\sum \frac{dQ_W}{d\alpha}$: Silindir duvarı ısı kayıpları
$h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha}$: Blow-by sırasında meydana gelen entalpi değişimi
m_c	: Silindirdeki kütle
u	: Özgül iç enerji
p_c	: Silindir basıncı
V	: Silindir hacmi
Q_F	: Yakıt enerjisi
Q_W	: Duvar ısı kaybı
α	: Krank açısı
h_{BB}	: Blow-by entalpisi
$\frac{dm_{BB}}{d\alpha}$: Blow-by sırasında kütle değişimi
dm_i	: Silindir girişi kütle akışı
dm_e	: Silindir çıkışı kütle akışı
h_i	: Silindire giren kütle entalpisi
h_e	: Silindirden çıkan kütle entalpisi
q_{ev}	: Yakıtın buharlaşma ısısı
f	: Silindirden çekilen buharlaşma ısısı oranı
m_{ev}	: Buharlaşan yakıt kütlesi
p_c	: Silindir Basıncı
V	: Silindirin sahip olduğu toplam yer değiştirme
V_D	: Yer değiştirme
CD	: Çevrim süresi
W	: Çevrim başına üretilen iş
A_p	: Piston alanı
U_p	: Ortalama piston hızı ($U_p = 2 \cdot S \cdot n$; S: strok, n: devir sayısı)

- m_f : Silindir içine gönderilen yakıt miktarı
 \dot{W} : Üretilen güç miktarı
 η_v : Hacimsel Verim
 m_g : Silindire giren hava miktarı
 m_o : Silindire girebilecek toplam hava miktarı

KISALTMALAR

CI	: Sıkıştırılmalı ateşleme
CNG	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
DEE	: Dietil ester
ECU	: Elektrik Kontrol Ünitesi
H ₂	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HCNG	: Hydrogenated Compressed Natural Gas
HHO	: Hidroksi Gaz, BrownGas,
HHOCNG	: Hidroksi gazı ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgaz
H/Y	: Hava yakıt oranı
İOEB	: İndike Ortalama Efektif Basınç
İYM	: İçten Yanmalı Motor
NO _x	: Azot Oksit
OEB	: Ortalama Efektif Basınç
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
PM	: Yanmamış karbon partikülleri

1. GİRİŞ

Hızlı gelişen teknolojiyle birlikte müşteri ve pazar taleplerini karşılamak üreticiler için oldukça maliyetli ve zahmetli olmaya başlamış, bu zorluklar karşısında üreticilerin ürün geliştirmede yeniden tasarım, uygulama ve operasyon basamakları büyük yatırım maliyetlerine sebep olmaktadır. Bu nedenle simülasyon programları, daha verimli bir şekilde zaman ve maliyeti düşürerek geliştirilen ürünleri bilgisayar ortamında modelleyerek, tasarım modellerini analiz ve test edebilmek için oldukça önemli hale gelmiştir. Simülasyon kelimesi birçok yolla açıklanabilir. Fakat üç ifade bu kelimeyi daha iyi açıklamaktadır:

“Simülasyon deney ve değerlendirme amacıyla bir süreç ya da sistemin bir temsilini yaratma sanatı ve bilimidir” (Klingstam & Gullander, 1999; Gogg & Mott, 1993).

“Simülasyon, sistemin davranışını anlamak ve sistemin işleyişi için çeşitli stratejiler hesaplanması amacı ile gerçek sistem modeli tasarımı ve bu modelin üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarının incelenmesi sürecidir”. (Klingstam & Gullander, 1999; Pegden ve ark., 1995)

“Simülasyon, gerçek bir sistemin modelini tasarlama süreci ve sistemin davranışını anlamak veya değişik stratejileri değerlendirmek amacı ile geliştirilen bu model üzerinde denemeler yapmaktır”. (Halaç, 1982)

Simülasyon; önerilen veya gerçek dinamik bir sistemin modellenmesi ve zaman içindeki davranışın gözlenmesi işlemidir. Bir simülasyon çalışması, herhangi bir sistemin davranışının incelenmesi ve farklı parametrelerin çalışma durumuna etkilerinin araştırılması amacı ile yapılır. Simülasyon çalışmalarında uygulanan iki adım; model tasarımı ve deneylerdir. Model tasarımı sistemin tüm önemli durumlarını temsil eden bir modelin kurulmasıdır. Geçerli bir model kurulduktan sonra deneyler kısmı başlar. Simülasyon genellikle mevcut olmayan veya pahalı ve zor gerçekleştirilebilecek sistemlerin denenmesine imkân sağlar.

Simülasyon, teorik ya da gerçek fiziksel bir sisteme ait neden-sonuç ilişkilerinin bir bilgisayar modeline yansıtılmasıyla, değişik koşullar altında gerçek sisteme ait davranışların bilgisayar modelinde izlenmesini sağlayan bir modelleme tekniğidir. Simülasyon, gerçek hayattaki olayların bilgisayar ortamına aktarılması işlemidir. Sanal ortamlar sağlayan yazılımlardır. Bir sistemin simülasyonu, bu sistemi temsil edebilecek bir model oluşturma işlemidir.

Simülasyon modellemesi 5 basamaktan oluşmaktadır.

1. Sistemi anlamak,
2. Kavramsal modelin geliştirilmesi,
3. Model geliştirmeli,
4. Modelin simülasyonda kullanılması,
5. Yapılan simülasyon sonuçlarının değerlendirilmesi,

Simülasyon programlarının birçok yararları olduğu gibi bazı kısıtlamaları da bulunmaktadır. Bunlar Çizelge 1.1’de belirtilmiştir.

Çizelge 1.1. Simülasyon programının özellikleri (Klingstam & Gullander, 1999)

Yararlar	Kısıtlamalar
Yüksek makine yatırımları yapmadan çeşitli sistem parametrelerinin alternatiflerini denememizi sağlar.	Simülasyon modelinin detaylandırma seviyesini belirlemek zordur (Law ve ark., 1993).
Daha akıllıca kararlar verebilmek için zemin hazırlar.	Sonuçların objektif veya gerçekçi olup olmadıklarını tespit etmek zordur.
Sürekli işlemler yapılırken herhangi bir kesintiye uğramaz.	Tasarlanan model gerçekliğin sadece soyut basitleştirilmiş bir gösterimidir (Robinson ve ark., 1995).
Deneyler belirli bir zaman veya belirli bir çevrim süresince yapılabilir	Halen günümüzde simülasyon modellemesi hakkında bilgi azdır.
Ürünler kullanılmaya başlamadan önce hataları tespit edilebilir	Bazen simülasyondan elde ettiğimiz sonuçları yorumlamak zordur.
Yeni durumlar tespit edilebilir	Modelleme zaman alır.
Sistem hakkında daha iyi bilgi sahibi olunabilir.	Pahalı yazılım ve donanımlar gerekli olabilir.

AVL simülasyon programının amacı kaliteli modellerin kullanımını sağlamak, bir bütün halinde açık ve tutarlı simülasyon yaklaşımı ile gelişimi desteklemektir. Günümüzde simülasyon konusunda bilgiye sahip olan ve onu zamanında ve etkili bir şekilde kullanımla stratejik hale getiren şirketler ve organizasyonlar, amaçlarına ulaşmada daha avantajlı konuma gelmektedir. AVL-AST simülasyon programı ürün geliştirmede geliştirilen ürünün sadece güvenli olması ile yetinmeyip aynı zamanda ürünlerin makul ve kabul edilebilir olmasını güvence altına almak için tasarım, test, analiz, doğrulama, geçerli kılma ve sertifikasyon konularında etkili prosesler ve araçların kullanımını sağlamaktadır. Hali hazırda dünya çapında araç üretimi gerçekleştiren hemen hemen tüm firmaların Ar-Ge Departmanlarının vazgeçilmez bir enstrümanı haline gelmiştir.

Günümüzde enerji sarfiyatı giderek artmakta ve tüketilen bu enerjinin büyük bir bölümü fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Kullanılan fosil yakıt rezervlerinin giderek azalması ve bu yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan sera gazlarının çevreye zarar vermesi ile egzoz emisyonlarını azaltılması konusunda yasal düzenlemelerin yürürlüğe girmesi araştırmacıların alternatif yakıt arayışı içine girmelerine neden olmuştur. Kullanılacak alternatif yakıtların veya katkı maddelerinin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmesi ve mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişikliğe sebep olmadan doğrudan kullanılabilmesi büyük önem taşımaktadır (Hazar ve ark.,2011).

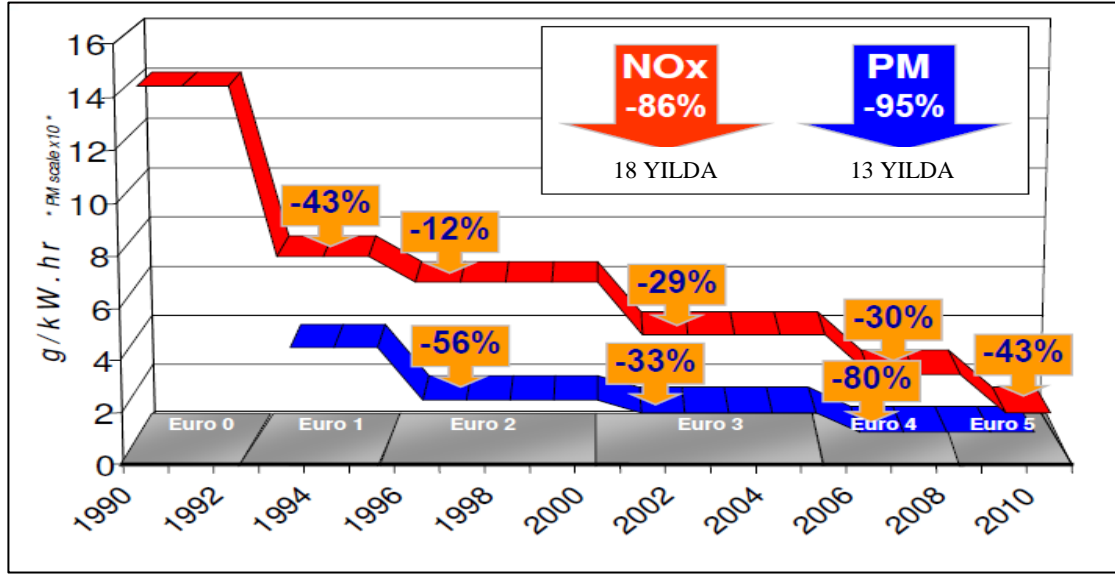
Çevre kirliliğine sebep olan sera gazı oluşumunda en önemli rolü içten yanmalı motorlar üstlenmektedir. Birçok ülke emisyon değerlerini azaltmayı amaçlayan Kyoto Protokolü'nü onayladığından beri, otomobil firmaları ve bilim adamları hava kirliliğinin azaltılması için çalışmalar yapmaktadır. Yapılan çalışmaların bir çoğunun alternatif enerji kaynaklarının otomobillerde bulunan yada diğer içten yanmalı motorlarda kullanımı ile ilgili olduğu görülmektedir. Hava kirliliğini önlemek amacıyla motorlu araçlara getirilen bu kısıtlama AB ülkelerinin ardından, 2009 yılından itibaren ülkemizde de zorunlu hale gelmiştir. Bir insanın günlük ihtiyacı olan 15 m³ temiz havayı bir tek taşıtın sadece 10 dakikalık bir süre içerisinde tehlikeli hale dönüştürdüğü görülmektedir. Egzozdan çıkan zararlı gaz ve partikülleri, kademeli olarak ve belirli bir takvim içerisinde azaltma programına Euro Emisyon Standartları deniyor. Bu gazların zamanla kademeli olarak azaltılması hedeflenmektedir.

Çizelge 1.2. Otomobiller için Euro Emisyon Standartları ("Regulation (EC) No 715/2007",2015)

DİZEL	CO (g/km)	NO_x (g/km)	HC (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	2.72	-	0.8	0.14
Euro 2	1.0	-	0.7	0.08
Euro 3	0.64	0.50	0.56	0.05
Euro 4	0.50	0.25	0.30	0.025
Euro 5	0.50	0.180	0.230	0.005
Euro 6	0.50	0.080	0.170	0.005
BENZİN	CO (g/km)	NO_x (g/km)	HC (g/km)	PM (g/km)
Euro 1	2.72	-	0.8	-
Euro 2	2.2	-	0.5	-
Euro 3	2.3	0.15	-	-
Euro 4	1.0	0.08	-	-
Euro 5	1.0	0.060	-	0.005
Euro 6	1.0	0.060	-	0.005

Son yıllarda, küresel ısınmanın hızlanması ve buna bağlı olarak ozon tabakasının incilmesiyle birlikte, egzoz emisyonlarını düşürmek için birçok araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalar ve geliştirilen yeni teknoloji sayesinde içten yanmalı motorlarda NO_x ve partikül madde (PM) olarak adlandırılan yanmamış hidrokarbon miktarlarında önemli oranda düşüş yaşanmıştır. Şekil 1.1.'de son 20 yıl içerisinde elde edilen iyileştirme oranı grafik halinde verilmektedir. euro 4 ve Euro 5 araçlarda, düşük emisyon değerlerini sağlamak için genelde Adblue ve bazı markalarda EGR sistemi kullanılmıştır. Ancak bazı istisna markalar hariç Euro 6 motorlar için ön görülen bu 2 sistemin bir arada kullanılmasıdır. Temel olarak bu 2 sistemin farkından bahsetmek gerekirse 2 sistem de temel olarak NO_x emisyonlarını azaltmaya yöneliktir; ancak yöntemleri farklıdır. EGR sistemi yani egzoz gazı resirkülasyonu sistemi isminden de

anlaşılabacağı üzere, egzoz gazını tekrar motora göndererek, yanma odasındaki yanma sonucu sıcaklıklarını düşürerek NO_x emisyonlarının oluşumunu azaltır.



Şekil 1.1. Euro standartlarına bağlı NO_x ve PM azalımı (Dönmez, 2009).

Dizel motorlar sıkıştırılmalı-ateşlemeli motorlardır. Yanma için gerekli olan hava silindir içine alınarak sıkıştırılır. Sıkıştırılan hava dizel yakıtının verimli bir şekilde yanacağı sıcaklığa ulaştığında dizel yakıt enjeksiyon yöntemiyle silindir içerisine püskürtülerek dizel yakıtın kendi kendine tutuşması sağlanır ve yüksek ısı üretilir. Dizel motorlar yakıtın yanmasından kaynaklanan kimyasal enerji sonucu üretilen yüksek ısıyı mekanik enerjiye çevirir.

İçten yanmalı motorlarda, motor yönetimi ve alternatif yakıt kullanımı motordan salınan zararlı emisyon gazlarını azaltmak için olanak sağlar. Dizel motorların karakteristiği motor tipine göre değişir. Aynı zamanda, bilinen bir motor tipinin motor karakteristiği de motor yönetimi, egzoz gazı iyileştirmeleri ve alternatif yakıt kullanımına bağlı olarak farklılıklar gösterebilir. Bu çalışmada hidrojen (H) ve hidroksi (HHO) ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) alternatif yakıt olarak kullanılmıştır.

Doğalgaz, hem kullanım kolaylığı hem de mevcut petrol rezervleriyle aynı miktarda bulunması bakımından günümüzün en önemli enerji kaynaklarından biridir. Doğalgazın bileşenleri tipik olarak 97.2 % metan, 3.3 % etan, 2.2 % nitrojen, 0.5 % karbon dioksit, 0.7 % propan, 0.1 % izobütan, 0.2 % N-bütan, 0.1 % pentan ve 0.1 % hekzan'dır (Nwafor, 2000). Doğalgaz temiz yanma, yüksek kullanılabilirlik ve cazip fiyat gibi avantajlara sahiptir (Poompipatpong and Cheenkachorn, 2011). Ayrıca, diğer yakıtlarla

kıyaslandığında doğalgazın yüksek kendi kendine tutuşma sıcaklığı özelliğinden dolayı, bu yakıtın yüksek sıkıştırma oranlı motorlarda kullanımı daha uygundur (Selim, 2001). Düşük setan sayısı sebebiyle, sıkıştırılmalı motorlarda doğalgazı tutuşturmak için pilot enjeksiyon yöntemiyle dizel yakıt püskürtmek gerekmektedir. Bu tarz iki çeşit yakıtla çalışan motorlara çift yakıtlı motorlar denir (Kowalewicz and Wojtyniak, 2005). Daha önceki çalışmalarda hiçbir yapısal değişiklik yapılmadan yada az miktarda değişiklik yapılmış sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda çift yakıtlı operasyonların karakteristikleri incelenmiştir (Selim, 2001; Baltacıoğlu, 2015; Arat, 2015).

Doğalgaz ve dizel yakıtının sıkıştırılmalı ateşlemeli motorlarda birlikte kullanılması sonucu ısıl verimliliğin arttığı, toplam özgül yakıt tüketiminin, yanmamış hidrokarbon ve NO_x değerlerinin iyileştiği görülmüştür (Selim, 2001). Ancak raporlar, çift yakıtlı sistemlerin dizel yakıtının tek başına kullanıldığı sistemler kadar yüksek çalışma hızlarına çıkamadığını göstermiştir. Bu nedenle, bu tür olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için bazı modifikasyonların yapılması gerekmektedir (Kegl ve ark., 2013). Hidrojen bazlı gaz yakıtların doğalgaz ile karışımından elde edilen yakıtın mühendislik özellikleri, dizel motorlarda değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi ve egzoz emisyonlarını iyileştirmesi bakımından benzersizdir. Ma (2010), çalışmalarında bu karışımın öneminden bahsetmiş ve Hytane olarak adlandırılan HCNG yakıtının gelecekte kullanılacak hidrojen bazlı yakıtların temel altyapısı olarak nitelendirmiştir.

Doğalgazın bileşenleri çıkarıldığı rezerve doğrudan bağlı olduğu gibi içten yamalı motorlarda sıkıştırılmış halde CNG (Compressed Natural Gas) olarak veya sıvı halde LNG (Liquefied Natural Gas) olarak kullanılır. Doğalgaz benzin ve dizel yakıtına göre daha avantajlı ve daha çevrecidir. Sera gazı etkilerinde dizel yakıtına göre % 22, benzine göre %29 oranında azalmaya sebep olduğu görülmektedir. Doğalgazın diğer yakıtlara göre yüksek oranda hidrojen içermesi de egzoz emisyonlarının zararlı etkilerinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Dünya çapında, otuz beş ülkede yaklaşık bir milyon araç doğalgaz ile çalışır. Büyük miktarda doğalgaz rezervlerine sahip, Avustralya, Tayland, Malezya, Kanada, Arjantin, Yeni Zelanda, ABD, Hollanda, Belçika, Almanya, Avusturya ve İsviçre gibi ülkeler, çevreye verdikleri önemden dolayı temiz yanan bir yakıt olan doğalgazı tercih etmektedirler. Bu ülkelerde doğalgazın tercihinde en önemli etken ekonomik olmasıdır (Ayhan ve ark.,5). İtalya, Arjantin ve Pakistan'da yaklaşık 1.500.000 (Ayhan ve ark.; Bora, 2002) dünyada yaklaşık 2.347.796 adet CNG ile çalışan taşıt bulunmaktadır (Ayhan ve ark.; Hatipoğlu, 1996). Avrupa'da ise CNG otobüsleri

İsveç, Hollanda, İtalya, Almanya ve Türkiye’de bulunmaktadır (Ayhan ve ark.; Kroff, 1996).

Hidrojen gelecek yıllarda hem içten yanmalı motorlarda hem de diğer fosil yakıt kullanarak enerji ve güç üreten makinelerde kullanılacak en önemli yakıt olarak nitelendirilmektedir. Hidrojen yeryüzünde bulunan en yaygın element olmakla birlikte doğrudan kullanıma hazır olarak bulunmamaktadır. Hidrojen atomları genellikle başka bir element ile bileşik halinde bulunmaktadır ve bu bileşiklerden hidrojeni elde etmek için bir takım ayrıştırma yöntemi gerekmektedir. Bu yöntemlerden en yaygın olanı elektrolizdir. Sudan elde edilen hidrojen, içten yanmalı motorlarda yanma işlemi tamamlandıktan sonra tekrar su buharına dönüşmekte ve oluşan su buharından elektroliz işlemiyle yakıt olarak kullanmak için tekrar hidrojen elde edilebilmektedir. Bu özelliğinden dolayı hidrojen önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Hidrojenin en önemli avantajlarından biri de giderek artan ve günümüzün en önemli problemlerinden biri haline gelen hava kirliliğine olan etkisinin diğer yakıtlarla kıyaslandığında yok denecek kadar az olmasıdır. Hidrojenin yanması sonucunda diğer hidrokarbon yakıtların hava ile yanması sonucu görülen CO, CO₂, SO₂ gibi hava kirliliğine sebep olan gazlar ve yanmamış hidrokarbon partikülleri oluşmamaktadır. Bu sayede, asit yağmurları, ozon tabakasının inceltilmesi ve karbondioksit birikintileri gibi sorunlar azaltılabilmektedir. Hidrojen sıvı, gaz veya katı metallerle yapmış olduğu bileşikler sayesinde depolanabilmektedir. Basınca dayanıklı tanklarda sıkıştırılmış gaz halinde depolanabilmesine rağmen bu tankların araçlarda kaza durumunda güvenliği tehdit etmesi önemli bir dezavantaj olarak görülmektedir (Kaan hoca; Hordeski, 2008).

Elektroliz sonucu oluşan ürünlerden hidrojeni ayrıştırıp kullanmak yerine, 1977 yılında Yull Brown adlı bilim adamı tarafından “Brown’s Gas” adı verilen yeni bir yakıt geliştirmiştir (Al-Rousan, 2010). Hidroksi diye adlandırılan benzinden üç kat, dizelden sekiz kat daha yüksek kalorifik değere sahip bu yeni yakıt su moleküllerinin H-OH şeklinde ayrıştırılıp doğrudan yakıt olarak veya yakıt zenginleştirilmesi olarak kullanılmaktadır. HHO ile hidrojen arasındaki temel fark, bazı hidrojen ve oksijen atomlarının diatomik hale geçmemeleridir. Böylece serbest halde bulunan kararsız hidrojen ve oksijen gazları tepkimeyi kolaylaştırarak daha çok enerji açığa çıkmasına sebep olurlar.

Hidroksi gaz (HHO) dizel motorlarda tek başına kullanıldıklarında hidrojen gazının bazı dezavantajlarını ve bazı kararsız davranışlarını minimize etmemize yarar. Yapılan çalışmalar sonucu, hidroksi kullanımının fakir yanma koşullarında motor performansı, emisyon ve özgül yakıt tüketimi değerleri üzerinde özellikle yüksek devirlerde avantaj sağladığı gözlenmiştir. Orta ve düşük devirlerde bu avantajlar HHO yakıtının minimum tutuşma sıcaklığına bağlı olarak dezavantajlara dönüşmektedir. Bu yakıtların en önemli problemi, günümüzde kullanılan yakıtlarla kıyaslandığında hacimsel verimlilik değerlerinin çok düşük olmasıdır. Bunun sebebi gaz fazında bulunan hidrojen ve HHO silindir içine alındığında hacimsel olarak benzin ve dizel yakıtına kıyasla daha çok yer kaplayacağından silindir içerisine yeterli miktarda hava alınamamasıdır.

Bu çalışmada, 4.8 L 6 silindir bir dizel motorun farklı alternatif yakıtlarla simülasyonu AVL-AST simülasyon programıyla yapılmıştır. AVL simülasyon programının amacı kaliteli modellerin kullanımını sağlamak, bir bütün halinde açık ve tutarlı simülasyon yaklaşımı ile gelişimi desteklemektir. Günümüzde simülasyon konusunda bilgiye sahip olan, onu zamanında ve etkili bir şekilde kullanımla stratejik hale getire organizasyonlar, amaçlarına ulaşmada daha avantajlı konuma gelmektedir. AVL-AST simülasyon programı ürün geliştirmede, geliştirilen ürünün sadece güvenli olması ile yetinmeyip aynı zamanda ürünlerin makul ve kabul edilebilir olmasını güvence altına almak için tasarım, test, analiz, doğrulama, geçerli kılma ve sertifikasyon konularında etkili prosesler ve araçların kullanımını sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda silindir içine püskürtülen sıvı yakıt miktarı %50 azaltılmış ve gereksinim duyulan güç CNG, HHO ve bu yakıtların farklı oranlarda karışımları ile sağlanmış; aynı zamanda egzoz emisyon salınımlarındaki düşüşler Euro standartlarına uygun hale getirilmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünyada artan nüfus ve şehirleşme ile birlikte kişi başına düşen enerji tüketimi hızla artmaktadır. Bu ise enerji ihtiyacını büyük oranda fosil enerji kaynaklarından temin eden dünyanın başlıca iki sorununa neden olmaktadır. Bu sorunlardan birincisini, sınırlı olan petrol rezervleri ve bu rezervlerin dünyada dengeli dağılmamış olması oluşturmaktadır. Bu da, petrole aşırı bağımlı ülkelerle petrol üreticisi ülkeler arasında ekonomik ve siyasi çatışmalara ve hatta ülkelerin işgaline varan gelişmelere neden olmaktadır.

Dünya üzerinde ulaşımda kullanılan araçların büyük çoğunluğu (%90) içten yanmalı motor tekniği ile çalışmaktadır. İçten yanmalı motorlarda (İYM) kullanılan yakıtlar ise petrol türevi yakıtlar olan benzin ve motorinden oluşmaktadır. İYM'da kullanılan yakıtlar kolay buharlaşabilme, hava ile kolay karışabilme, birim hacminden yüksek enerji sağlayabilme ve kolay tutuşabilirlik ile kolay bulunabilirlik gibi özellikleri taşımaktadır.

Ancak hem benzin hem de dizel yakıtların yukarıda bahsedilen kullanım avantajlarına sahip olmalarına rağmen fosil yakıt ailesine mensup olan bu yakıtların neden olduğu emisyon kirliliği, küresel ısınma, sınırlı rezervler ve aşırı fiyat artışları alternatif yakıt arayışlarının hız kesmeden devam etmesine neden olmaktadır. Bu nedenle akla gelebilen her yakıt denenmekte ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltmasına çalışılmaktadır. Araştırmacılar çoğunlukla araştırmalarını fosil yakıtların yerine alternatif olarak doğalgaz ve hidrojen üzerine yoğunlaştırmaktadır. Doğalgaz, fosil yakıtlar gibi kükürt veya organik bileşikler içermediğinden, yanma sonrası sera gazları ve insan sağlığı için zararlı diğer gazları çok daha az miktarda oluşturmaktadır. Hidrojen ise içten yanmalı motorlarda tek başına yakıt olarak kullanılabilmesi dışında, yakıt zenginleştirilmesi olarak kullanılabilmekte ve emisyon değerlerini çok daha iyi seviyelere getirmektedir.

Literatürde bulunan ve konu ile ilgisi olan bu çalışmaların alt başlıklar altında izah edilmesi, konu bütünlüğü ve anlaşılabilirlik açısından önem arz etmektedir.

Literatür özeti bölümü 4 alt başlık altında incelenecektir. Birinci başlıkta dizel motorlarda yalnızca CNG kullanımı ile ilgili geçmiş çalışmalara değinilecek; ikinci bölümde dizel motorlarda yalnızca H₂ kullanımı ele alınacak; üçüncü bölümde HCNG yakıtının dizel motorlara olan etkileri önceki çalışmalardan analiz edilip aktarılacaktır.

Son bölümde ise Hidroksi (HHO) yakıtının dizel ve benzinli motorlara etkilerinden bahsedilecektir. Son alt başlığın sadece dizel motorlarla sınırlandırılmamasının nedeni literatürde dizel + HHO çalışmalarının çok az olduğundandır.

2.1. Sıkıştırılmış Doğalgazın (CNG) Dizel Motorlarda Kullanımı

Birçok batı ülkesinde doğal gazın araçlarda kullanımıyla ilgili çalışmalar ve araştırmalar büyük bir hızla devam etmektedir. Bu konuda, dünyada en fazla kara nakil aracı kullanılan ABD'yi incelemek gerekir. Dünyada mevcut 520 milyon otomobil ve kamyonun 190 milyonu bu ülkededir. Hava kirliliğinin ortalama %50'sinin bu araçların egzozlarından ortaya çıktığı ABD'de, CNG' li araçların üretildiği ve mevcut araçların bir kısmının da CNG' ye dönüştürüldüğü bilinmektedir. Ülkemizde de; İstanbul, Ankara, Adana, Sakarya, Bursa, Afyon, Bolu ve Eskişehir'de belediye otobüslerinin egzoz gazlarının neden olduğu hava kirliliğini azaltmak için birtakım projeler geliştirilmekte olup doğal gazla dönüşümleri tamamlanan otobüslerin kullanımına başlanmıştır. Yeni Zelanda'daki NGV Global firmasının 2013 yılı verilerine göre; dünyada doğal gazla çalışan araçların sayısı 17.730.844, dolum istasyonu sayısı 1382' dir. Literatürde, doğal gazın hem buji ile ateşlemeli hem de sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda önemli dönüşümleri gerektirmeksizin ve dikkate değer performans kaybına yol açmaksızın kullanılabilceği ifade edilmektedir (Tangöz, 2015). Ulusal ve uluslar arası kaynaklardan bazıları şu şekilde sıralanabilmektedir.

Goyal ve Sidhartha (2003) tarafından, Hindistan'ın başkenti ve hava kirliliği açısından dünyanın en önde gelen şehirlerinden Delhi'de yapılan bir çalışmada; 2001–2003 yılları arasında on binlerce motorlu taşıtın CNG' ye dönüştürülmesinin hava kalitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Delhi'de yapılan bu çalışmada, CNG' ye dönüşümün; CO, SO₂, PM ve NO_x emisyonlarında kayda değer bir düşüş sağladığı tespit edilmiştir.

Poompipatpong ve Cheenkachorn (2011) tarafından yapılan deneysel bir çalışmada; gaz yakıt kullanarak motor performansını optimize etmek için, bir dizel motor CNG'ye dönüştürülmüştür. Farklı sıkıştırma oranlarında ve farklı motor devir sayılarında; motor performans parametreleri ve emisyon değerleri ölçülerek, içten yanmalı motorların değerlendirilmesinde iki temel kriter olan performans ve emisyon arasında bir optimizasyon sağlanmaya çalışılmıştır.

Papagiannakis ve ark. (2010), tek silindir, direkt enjeksiyonlu dizel motorda belli modifikasyonlar yaparak çift yakıt sistemi (CNG+dizel) kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Güçte hafif bir azalma amma velakin emisyonlarda kayda değer düşüşler elde etmişlerdir.

Nwafor (2000), pilot püskürtme yönteminde seçilecek pilot yakıtı üzerinde araştırmalarını yoğunlaştırmıştır. Bu seçimde dikkat edilecek parametreleri özetleyen yazar, ana yakıt olarak dizel motorda CNG yakıtını optimum yakıt olarak belirlemiştir.

Sahoo ve ark (2009), sıkıştırılmış doğalgazın dizel motorlarda kullanımını yapısal değişiklik gerçekleştirmeden pilot püskürtme yöntemi ile denemiştir. Yine literatürle uyumlu olarak, emisyon değerlerinde önemli derecede düşüşler elde etmişlerdir.

Mbrawa ve ark (2001), yapmış oldukları deney ve modellemelerde; doğalgazın pilot püskürtme ile yanmasını çalışmalarıdır. Simülasyon ve deneysel çalışmalarının örtüşüğünü belirlemiş, 60 Mpa basınçta çoklu sayıda enjektör deliklerinin doğalgaz yanmasını iyileştirdiğini ve emisyonların azaltılmasında katkı sağladığını literatüre eklemiştir.

Korakianitis ve ark. (2011), doğal gazla çalışan buji ateşleme (SI) ve sıkıştırma ateşlemeli (CI) motor performansı ve emisyonu hakkında literatüre faydalı bir inceleme raporu eklemiştir. SI ve CI motorları için yapılan literatür karşılaştırmaları sonucunda, yanma odası içerisinde yeterli miktarda doğal gaz-hava karışımı bulunduğu kabul edilebilmesi koşuluyla, çift yakıtlı dizel motor ile geleneksel dizel motoru karşılaştırıldığında önemli bir güç kaybı söz konusu olmadığı görüldüğü ifade edilmektedir. Bazı literatürde, kullanılan induksiyon yöntemi, (doğal gaz tedarikini gelen havadan emme valfine çok yakın olana kadar koruyarak) emme manifoldunda önceden karıştırılmış doğal gaz-hava karışımının oluşmasını önler. Bu işlem hacimsel verimlilik kaybını minimum seviyeye indirir, ancak yüksek devirlerde her devirde silindirlere daha az doğalgaz gireceği için yüksek devirlerde güç kaybına neden olur.

Yukarıda verilen bazı kaynak çalışmalarının ışığında, genel kanı olarak CNG'nin emisyon azalmasında hayli etkili olduğu, motor performansı açısından ise hafif düşümlere neden olduğu ortaya konulmuştur. Ekonomik olarak dizel ile karşılaştırılmasında ise hem rezerv bakımından hem birim fiyat bakımından hayli avantajlı olduğu gözler önüne serilmiştir.

2.2. Hidrojenin (H₂) Dizel Motorlarda Kullanımı

Hidrojen temiz, verimli ve yenilenebilir olmasından dolayı gelişmiş teknoloji ile donatılmış içten yanmalı motorlar için, cazip bir alternatif yakıt olarak görülmektedir. Hidrokarbon yakıt fiyatlarının artması ve sıkı emisyon kuralları hidrojen üretimindeki ve hidrojenin endüstrideki kullanımı ile ilgili problemlerin çözümü için gerekli ilgiyi sağlayabilir. Literatür incelendiğinde, hidrojenin içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılmasına dair birçok farklı araştırma bulunmaktadır. Hidrojen içten yanmalı motorlarda saf olarak kullanıldığı gibi diğer yakıtlar ile birlikte de kullanılabilir (Demirci, 2010).

Hidrojenin tek başına dizel motorlarda kullanılması durumunda, silindir içine bir tutuşturma kaynağı yerleştirilir veya farklı teknikler kullanılarak (pilot püskürtme gibi) yakıtın tutuşması sağlanır. Hidrojenin dizel motorlarda kullanılmasına dair çok sayıda araştırma bulunmaktadır. Hidrojenin dizel motorlarda saf olarak kullanılmasıyla ilgili Antunes ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada, direkt püskürtmeli bir dizel motorda hidrojen direkt püskürtülerek tek yakıt olarak kullanılmıştır. Motora emilen hava ısıtılarak hidrojen yakıtlı motorda yanma için gerekli olan ısı bu yolla elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, geleneksel dizel yakıtı ve hidrojen karşılaştırılmış ve hidrojen kullanımında motor ağırlık oranına göre daha yüksek güç ürettiği belirlenmiştir. Dizel yakıtının aksine hidrojen kullanıldığında, önemli bir verim artışı bulunmuştur. Hidrojen yakıtlı motor ile 43% verim elde edilirken, bu değer dizel yakıtlı motor için 28% olarak bulunmaktadır. Bunun yanı sıra, hidrojen ile çalışma durumunda NO_x emisyonlarında 20% azalma görüldüğü belirtilmiştir (Demirci, 2010).

Hidrojenin dizel motorlarda kullanılmasına dair yapılan diğer bir çalışmada ise, direkt enjeksiyonlu çift yakıtlı bir dizel motorunda hidrojen ve dizel yakıt olarak birlikte kullanılmıştır. Hidrojen, emme manifolduna bir enjektör aracılığı ile püskürtülmüştür. Püskürtme zamanı ve püskürtme süresi, elektronik kontrol ünitesi (ECU) tarafından kontrol edilmiştir. Yapılan deneylerde, saf dizele nazaran hidrojen ile çalışma durumunda verim %15 artarken NO_x emisyonlarında da %3, is emisyonu %100 azalmış ve bunun yanı sıra karbon emisyonlarında da ciddi azalmalar görülmüştür (Demirci, 2010).

Yapılan diğer bir çalışmada ise, hidrojen ve dietil ester (DEE) birlikte çift yakıt olarak kullanılmıştır. Hidrojen emme manifolduna püskürtülürken, DEE direkt olarak silindir içine püskürtülerek tutuşturma kaynağı olarak kullanılmıştır. Hidrojen ve DEE

için püskürtme zamanı, performans, yanma ve emme karakteristiklerine göre ayarlanmıştır. Hidrojen için püskürtme zamanı emme supabının açılmasından 5° KA (krank açısı) önce ve DEE için emme supabının kapanmasından 40° KA sonra olarak ayarlanmıştır. Hidrojen-DEE birlikte kullanılması durumunda, dizel ile çalışma durumuna göre verimde %30 artış gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, NO_x emisyonlarında da ciddi azalmalar görülmüştür (Demirci, 2010).

Ciniviz ve Köse (2005) yapmış oldukları derleme çalışmalarında, hidrojenin önemli mühendislik özelliklerinden bahsetmişler ve kullanım açısından zorluklarına da değinmişlerdir.

Saravanan ve Nagarajan (2008) yapmış oldukları deneysel çalışmada, tek silindirli bir dizel motorda sabit 1500 dev/dak devirde hidrojen takviyesinin emme manifoldundan yapmışlardır. Pilot püskürtme deney aşamasını bu projede olduğu gibi, dizel yakıtını kısarak sağlamaya çalışmışlar ve %10-90 a kadar hacimsel dizel kısılmasını denemişlerdir. Hidrojence zenginleştirilmiş yakıt karışımının özellikle performansta etkili olduğu ve %25-30 arası hacimsel hidrojen karışımının sistemi olumlu etkilediğini belirtmişlerdir.

Maki ve Prabhakaran (2011), yapmış oldukları çalışmalarında; dört silindirli bir dizel motorda hidrojen zenginleştirmesinin performans ve emisyonlara olan etkilerini incelemişlerdir. Özellikle kesintisiz hidrojen akışında performans ve emisyonlarda iyileşme görüldüğünden bahsetmişlerdir. 7.5 litre/dak hacimsel debideki hidrojen akışında; özgül yakıt tüketiminin %20 azaldığı, fren ısı veriminin %8-9 arttığı; CO, CO₂ ve HC salınımında değişiklik görülmediği lakin NO_x seviyesinin arttığını bildirmişlerdir.

Verhelst ve Wallner (2009), içten yanmalı motorlarda hidrojen yakıtı isimli geniş kapsamlı bir derleme ortaya koymuşlardır. Temel bilgilerden, konu üzerindeki detay çalışmalara kadar ileriki çalışmalarda ısk tutabilecek bir konu yelpazesinde bir derleme sunmuşlardır. Genel literatürde olduğu gibi performans için kesinlikle seçilmesi uygun olan hidrojenin, yanma sırasındaki NO_x salınımı için önlem alınması gerektiğine dikkat çekmişlerdir. Çizelge 2.1'e hidrojen ile çalışan arabaların tarihsel devinimi verilmiştir.

Çizelge 2.1. Hidrojen ile çalışan arabaların tarihsel devinimi

Taşıt ve Motor	Üretim Yılı	Motor	Depolanma Şekli	Depo Kapasitesi	Alınabilecek Mesafe	Üretim Miktarı
Rivaz	1807	Tek Silindirli	Sıkıştırma ile	-	-	Prototip
Lenoir	1860	Tek Silindirli	Suyun Elektrolizi ile	-	-	Prototip
Norsk Hydro	1933	-	Amonyakın Kimyasal Tepkimesi ile	-	-	Prototip
Musashi2	1975	-	Soğutma ile	230L	-	Prototip
Musashi3	1977	2 Zamanlı	Soğutma ile	65L	-	Prototip
BMW	1979	3,5L	Soğutma ile	-	300km	-
Ford P2000	2001	2,0L I4	Sıkıştırma ile	1,5kg	100km	-
BMW hydrogen 7	2003	6,0L V12	Soğutma ile	8kg	200+480km	>100
Mazda RX-8 Hydrogen RE	2003	2x654cc	Sıkıştırma ile	2,4kg	100+550km	>30
Ford Shuttle Bus	2004	6,8L V10	Sıkıştırma ile	29,6kg	240-320km	-
ETC Silverado	2004	6,0L V8	Sıkıştırma ile	10,5kg	355km'ye kadar	>20
Quantum Prius	2005	1,5L I4	Sıkıştırma ile	1,6kg	100-130km	>30
Chevrolet Sierra 1500 HD	2007	6,0L V8	Sıkıştırma ile	450L	339km	-

2.3. Hidrojen ile Zenginleştirilmiş Doğalgazın (HCNG) Dizel Motorlarda Kullanımı

Doğalgazın dizel motorlarda kullanımındaki dezavantajlarının başında gelen performans düşümü, hidrojenin performans verilerindeki pozitif etkileri ile birleşince; bu gaz yakıtların birlikte kullanılmasından doğacak sonuçlar araştırmacıları bu konu üzerinde yoğunlaşmaya itmiştir.

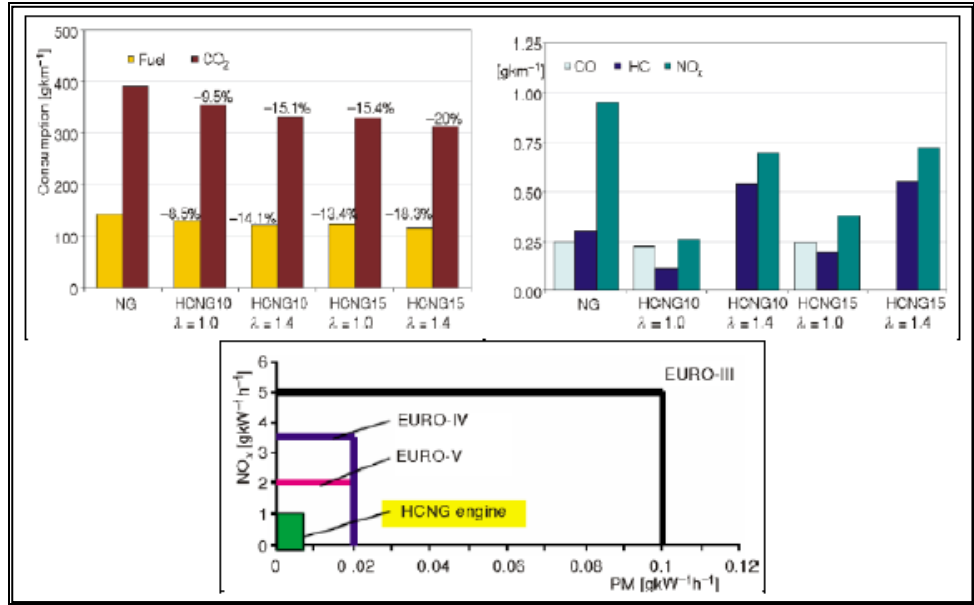
Diğer taraftan doğalgazın ve hidrojenin yanma sonucu ortaya çıkan emisyon salınımları dizel yanmasından daha düşük olduğundan ve doğalgazdaki CO artışını hidrojen engellediğinden; hidrojendeki NO_x salınımını doğalgaz indirgediğinden; bu yakıtların belli oranlarda karışımı HCNG yakıtının içten yanmalı motorlarda tercih edilmesini sağlamıştır.

Konu ile ilgili literatürde yoğun çalışmalar son on senelerde artmıştır. Gaz yakıtların dizel motorlarda yanma olgusu benzinli motorlara nazaran daha zor olduğundan bu çalışmaların büyük bir çoğunluğu benzinli motorlar üzerinde yoğunlaşmıştır. Literatürdeki bu boşluğu fark eden bazı araştırmacılar, elde ettikleri verileri kullanarak; “HCNG yakıtının dizel motorlarda kullanımı” isimli derlemelerini literatüre kazandırmışlardır.

Arat ve ark. (2015), bu konu üzerinde hazırladıkları derlemede şu ayrıntılara yer vermişlerdir. Hidrojen ile doğal gazın mühendislik özellikleri yanma süreçlerinde motor performansı ve emisyonlara etkileri açısından bu gaz yakıtların kullanımını yaygınlaştırmıştır. İçten yanmalı motorlarda hidrojenin ve doğal gazın birlikte yakıt karışımı olarak kullanılmaları araştırmacılar tarafından ilgi odağı olmuştur. Yazarlar, HCNG’ nin yakıt özellikleri, dizel motor performansı ve emisyonlara etkileri, kullanım aşamaları, avantaj ve zorlukları hakkında detaylı bilgiler vermişlerdir. Bazı araştırmacılar da; HCNG yakıtının içten yanmalı motorlarda kullanımı üzerinde çalışmalarını sunmuşlar; genel kanı olarak hidrojen ve doğalgazın tekli kullanımları halinde yanma işleminde gösterdikleri dezavantajları beraber kullanıldıklarında birbirlerinin avantajlarına dönüştürdükleri yönündedir. Özellikle hidrojenin kendi kendine tutuşma sıcaklığının ve yanma hızının yüksekliği, doğalgazın düşük yanma hızı ile optimize edilerek dizel motorlarda kullanılabilir hale gelmektedir. Diğer yandan tek başına kullanılan hidrojen de NO_x salınımı artımının önüne doğalgaz kullanılarak geçilebilmektedir. Bunlarla birlikte doğalgazın tek başına kullanılması motor performansında ciddi düşüslere sebebiyet verirken; bu gaz yakıtların birlikte kullanılması

bu durumu en aza indirecek şekilde lehimize döndürmektedir. Hal böyleyken HCNG yakıtının özellikle dizel motorlarda birlikte kullanımı hem performans hem de emisyon değerleri açısından daha iyi neticeler verdiği literatürde saptanmıştır.

Özellikle yeni emisyon normlarını karşılama konusunda oldukça iyi neticeler veren HCNG yakıtı, ileriki yıllarda bu alanda kullanılacak alternatif yakıtların başında gelmektedir. Şekil 2.1 'de HCNG yakıtının emisyon potansiyeli resmedilmiştir.



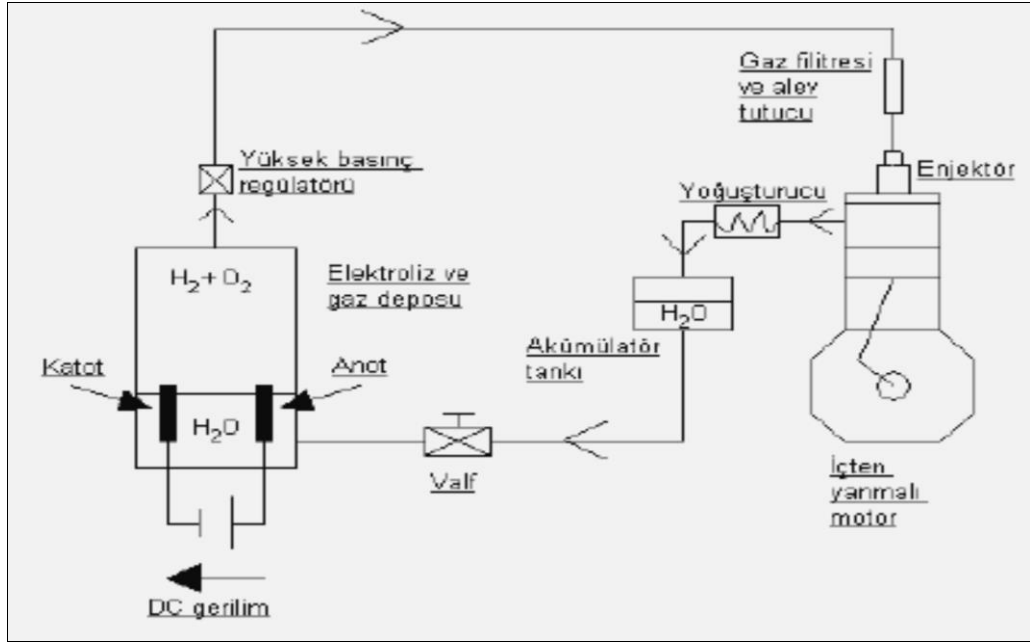
Şekil 2.1. HCNG yakıtının emisyon potansiyeli

2.4. Hidroksi (HHO) ve Hidrojenin (H₂) içten yanmalı motorlarda kullanımı

Suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi, tüm dünyadaki hidrojen üretim metotlarının %13'lük bölümünü oluşturmaktadır (Dinçer, 2011). Elektroliz yoluyla hidrojen ve oksijen atomlarına ayrılan su, bu elektroliz yöntemiyle elde edilen gaz karışımı ile motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Özellikle HHO veya Hidroksi gaz olarak tabir edilen ve bulunuşu 1910'lara dayansa da motorlarda kullanımı yeni olabilecek bir yakıt indikatörüdür.

Hidrojenin motorlarda kullanımında, yüksek yük altında, yanma odasındaki sıcak noktalar karışımın erken ateşlenmesine sebep olur. Hidrojen yakıtlı motorlarda hava-yakıt oranı 0,8 olduğunda egzoz gazları içindeki NO_x miktarı maksimum olur. NO_x oluşumunu azaltmak için hidrojene saf oksijen ilave edilmelidir. Bu durum ise sistemi daha karmaşık hale getirir ve taşıt ağırlığını arttırır. Bu sorunun çözümü için kullanılan yöntemlerden biri; taşıt üzerinde suyu elektroliz ederek, açığa çıkan hidrojen ve oksijenin basınç altında

depo edilmesidir. Buna örnek olarak Şekil 2.2’de sıfır emisyonlu motor sistemi gösterilebilir (Çeper, 2009).



Şekil 2.2. Sıfır emisyonlu motor sistemi (Çeper,2009).

Hidroksi gaz, mühendislik özellikler olarak hidrojene çok yakın parametrelere sahip olsa da; oluşumunda oksijen atomunun da bulunması bazı değerlerinin değişmesine neden olmaktadır. Fakat bu olgu bilimsel safhada hala tam olarak netlik kazanmış değildir. Öyle ki soğuk kaynak uygulamalarında (kernell gas), mücevherat uygulamalarında ve yeni alternatif yakıt olarak kullanımından ötürü, elektroliz yoluyla sudan elde edilen gazın daha çok çalışmayla özelliklerinin belirlenmesi ileriki yıllarda araştırmacıların ilgilenecekleri bir konu konumundadır.

Literatürde Brown gaz, hidroksi, HHO, oksijenleştirilmiş hidrojen, oxi-hidrojen, kernell gaz, aquagen gaz olarak değişik isimlere sahip olan bu gaz formu, motorlarda 1920’lerde prototip olarak kullanılmış, her nedense 2000’li yıllara kadar kullanımına pek nadir rastlanmıştır. Suyu yakıt olarak kullanmak algısının bu konuda ilerlemeyi etkilediği açıktır. Son on yıldır üzerine tekrar çalışılmaya başlanan bu olgu, araştırmacılar tarafından araçlarda kullanılmaya ve denemeye başlamıştır.

Özellikle tekil olarak kullanılacak hidrojen tüpünden daha ziyade daha rahat uygulama ve artı oksijen atomunun getireceği faydalar, suyun elektrolizi ile HHO eldesini ve kullanımını cazip hale getirmektedir. Özellikle ara etkileyici katalizör seçimi ile (KOH, NaOH, NaCl, vb.) araç aküsünden alınan elektrik enerjisi ile amper farklılıkları

ve değişik çalışma koşullarında bu gazın motorlarda ek yakıt olarak kullanımını artırmaktadır. Yüksek hacimlerde elde edilmediği (<10 litre/dak) ve uygun şartlarda ve sayıda plaka kullanıldığında hidroksi elde etmek için kullanılan enerji, araçtan elde edilen toplam enerjinin %1,5 i kadardır. Daha detaylı bilgi 3. bölümde verilecektir.

Yine uygulama kolaylığı bakımından hidroksi gaz daha çok benzinli motorlarda denenmiştir. Literatürde bulunan az sayıdaki dizel motor çalışmalarından bazıları şu şekilde sıralanabilir.

Yılmaz (2010) yapmış çalışmasında, bu çalışmada kullanılan motor modeline benzer motorda, kendi üretimini yaptığı hidroksi gaz jeneratöründen elde ettiği 5 litre/dak sabit HHO gazını emme manifoldundan motora vermiş ve zenginleştirme yapmıştır. Performans ve özgül yakıt tüketimi açısından olumlu bir yaklaşım sergileyen hidroksi gaz; emisyon bakımından normal dizele göre az da olsa artış göstermiştir.

Birtas ve Chiriac (2011) yapmış oldukları teorik çalışmalarını AVL programı ile uygulamışlardır. 3,8 litrelik, 4 silindirli bir dizel motora hidroksi gaz eklemesi yapmışlar ve fren ısıl verimde ve silindir içi basınçta yükselmelere; is yoğunluğu ve CO emisyonlarında iyileşmeye rastlamışlardır. Bununla birlikte, NO_x değerinde artış olduğunu saptamışlardır.

Bari ve Esmail (2010) yapmış oldukları çalışmada H₂ / O₂ eklemesini tek silindirli bir dizel motorun emme manifoldundan gerçekleştirmişlerdir. Farklı yüklerde yapmış oldukları çalışmalarda; ısıl verimin %1-4 arasında arttığı; özgül yakıt tüketiminin de %4-8 arasında azaldığını bildirmişlerdir.

Zamit ve ark (2012) iki faklı hacimsel debideki hidroksi gazı (0,3 ve 1,6 litre/dak) 1,8 L dizel motorda denemişlerdir. %75 yükten sonra hidroksi gazın kullanılmasında performans ve emisyon değerleri bakımından az bir değişikliğin olduğunu bildirmişlerdir.

Samuel ve McCournic (2010) tek silindirli bir dizel motorda, sabit 1500 dev/dak ve 5,3 bar yükte 2,8 litre/dak sabit hidroksi gaz zenginleştirmesini çalışmışlardır. Test motoru üzerindeki aküden alınan elektrik ile elektroliz yöntemi gerçekleştirilmiş; böylelikle motorda yapısal değişiklik yapılmadan HHO kullanılmıştır. % 5,5 yakıt ekonomisi ve yine bu düzeylerde CO₂ emisyon salınım azatlımı sağlanmış; ayrıca silindir içerisindeki yanma olgusunun iyileştiğinden bahsedilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmanın amacı, AVL şirketi tarafından üretilen ve geliştirilen BOOST programı içerisinde bulunan modellenmiş dizel motorda yeni nesil alternatif yakıtlar ve bu yakıtların belirli oranda karıştırılmasıyla oluşan yakıt karışımının motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan kullanılarak performans ve emisyon değerlerinin mühendislik parametrelerinin incelenmesidir. Günlük hayatımızın büyük bölümünde kullandığımız araç motorları ve bu motorların karakteristik özelliklerinin bilinmesi ve mühendisliğinin anlaşılması motor performans ve emisyonlarını etkilemektedir. Karakteristiği bilinen dizel motoru doğrudan birebir modellememizi sağlayan bu program, model üzerinde yapılan AR-GE sonucu elde edilen verilerle üretim gerektirmeksizin iyileştirme yapabilmemizi sağlamaktadır.

AVL tarafından geliştirilen, BOOST isimli tek boyutlu bilgisayar simülasyon programı, motorun kararlı ve değişken çalışma koşullarında mühendislik parametrelerinin incelenmesi ve motor performans analizi yapmak için kullanılan güçlü ve kullanıcı dostu bir araçtır. Ayrıca aşağıda belirtilen seçenekler için de kullanılabilir,

- Çeşitli motor kavramlarının karşılaştırılması,
- Bileşenlerin geometrisinin optimizasyonu, örneğin; güç, tork ve yakıt tüketimine göre, hava-yakıt giriş sistemleri, egzoz sistemleri, sübap boyutları optimize etme vb.
- Sübap zamanlaması ve kam profillerinin optimizasyonu,
- Superşarj sistemleri yerleşimi,
- Gürültü optimizasyonu,
- Tüm aktarma organları ve araç dinamikleri dikkate alınarak değişken motor performansının değerlendirilmesi (hızlanma/yük artışı, yavaşlama/yük azalımı).

AVL BOOST yazılımı gerçek zamanlı çalışabilen çok modüllü bir sistemdir. Modellenen motorun değişken koşullara göre analizini yapmak için tasarlanmıştır. Geçici ve kalıcı sıfır boyutlu ve yarı-boyutlu model bileşenlerini kullanarak, motor işlemlerinin simülasyonunu yapabilen bir yazılım paketine sahiptir.

AVL BOOST simülasyon programı, motor modellemesinde esneklik sağlamak amacıyla özel çekirdek motor bileşenleri içerir. Bu bileşenler kendi içerisinde 5 gruba ayrılmıştır:

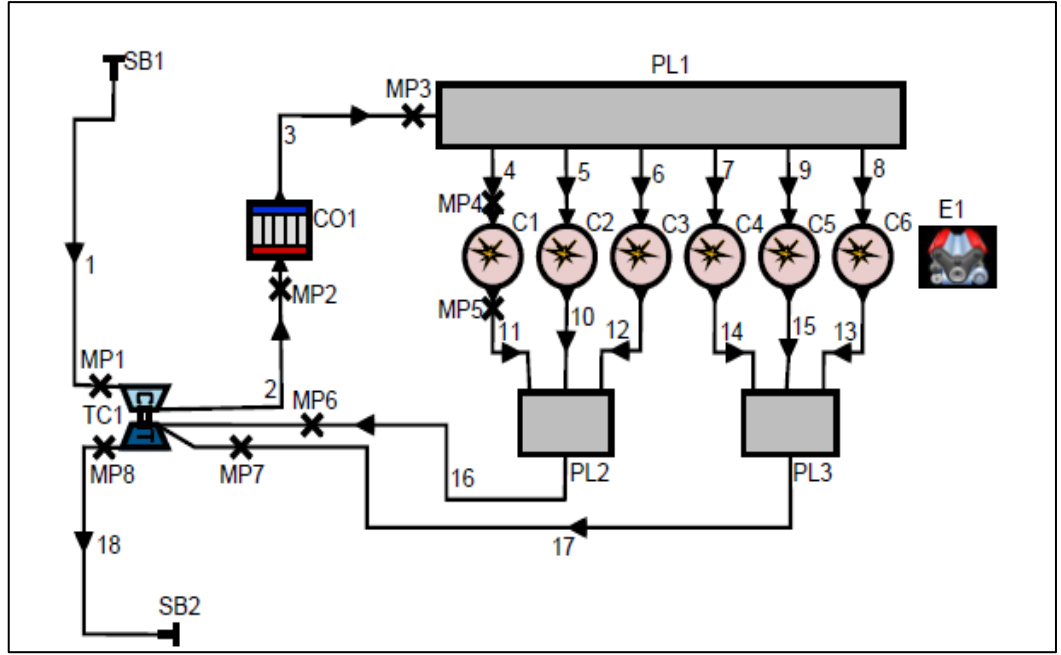
- Sıvı ve gaz özellikleri, giriş manifoldu, hava filtresi, silindir, kompresör, yakıt deposu, yakıt film sistemleri, türbin,
- Termal ortam : motorun çevreyle olan ısı transferi,
- Mekanik ortam : sürüş atalet sistemi, araç hareket direnci,
- Kontrol ortamı : enjeksiyon karakteristikleri, PID kontrolörü,
- Arayüzler : C-arayüzü, Matlab DLL, Matlab API.

AVL BOOST simülasyon programı, her bileşen ile ilgili hesaplama modelleri içerir. Gaz akışını, termal ve mekanik ortam olarak tanımlanan bileşenleri simüle edilecek modellere sahiptir:

- Gaz akış özellikleri ve buna karşılık gelen denge denklemleri,
- Yanma odası ve borulardaki ısı transferi,
- Yanma işlemi,
- Yakıt enjeksiyonu,
- Motordaki sürtünmeler,
- Yakıt filmi,
- Sübap hareketlerinin ve karakteristiğinin detaylı incelenmesi,
- Çeşitli geometrilere sahip türbinler,
- Mekanik kompresörler,
- Hava filtresi içindeki akış,
- Isı eşanjörleri (Szlachetka ve Bialy, 2011).

3.1. Dizel Motorun Modellenmesi

Bu çalışmada, turboşarjlı bir dizel motoru AVL simülasyon programının BOOST aracı kullanılarak modellenmiştir. Şekil 3.1 de motor simülasyon modeli verilmiştir. Modellenen dizel motor 6 (altı) silindire sahip, direk püskürtmeli ticari bir dizel motordan esinlenilerek modellenmiştir.



Şekil 3.1. AVL Boost sistem modellenmesi

Çalışmada kullanılan dizel motorun modellemesi yapılırken AVL BOOST araç kutusunda bulunan standart bileşenler kullanılmıştır. Kullanılan bileşenlerin Çizelge 3.1’de açıkça ifade edilmiştir.

Çizelge 3.1. AVL Boost programı ile oluşturulmuş motor modelinde bulunan kısaltmaların ve numaraların açıklamaları.

No	Kısaltmalar	Açıklama
1	SB1	Sistem giriş sınır şartı
2	E1	Motor (motorun devir, sürtünme, strok boyu gibi özelliklerinin tanımlanmasında kullanıldı.)
3	TC1	Turboşarj (sisteme giren havanın şartlandırılmasında kullanıldı.)
4	CO1	Radyatör (giren havayı yanma odasına alınmadan istenilen şartlara getirmek için kullanıldı.)
5	P1	Plenum 1 (bütün silindirler için şartlandırılmış havanın toplandığı yer)
6	C1,C2,...,C6	Silindirler
7	PL2, PL3	Plenum 2 ve 3 (yanma sonrası silindirden çıkan egzoz gazlarının toplandığı yer.)
8	MP1,MP2,...,MP8	Ölçüm noktaları (sistemin kararlılığını denetlemek için kullanıldı.)
9	1,2,...,18	Borular (sistemin tamamlanması için bağlantı elemanı olarak kullanıldı.)

3.1.1. Çevrim Simülasyon Ayarları

Gaz sabiti veya bir gazın ısı kapasitesi gibi gaz özellikleri, gazın sıcaklık basınç ve bileşenlerine bağlıdır. BOOST, her hücredeki gaz özelliklerini anlık gaz bileşenlerini hesaba katarak adım adım hesaplama yapabilen bir araçtır. Programda, kullanılan yakıtların analizini iki farklı yaklaşım ile gerçekleştirilmektedir. Bunlar; “Classic Species Transport” ve “General Species Transport” dir.

“Classic Species Transport” ile sadece performans analizleri elde edilebilirken; “General Species Transport” seçeneği tercih edildiğinde yanma sonunda elde edilen performans analizlerinin yanı sıra, isteğe bağlı 7 farklı emisyon parametreleri analizi elde edilebilir. Bunlar, HC, O₂, N₂, CO₂, H₂O, CO ve H₂ gibi çevreye önemli etkisi olan parametrelerdir ve bu parametreler, oluşturulan modelin ilgili her bir elemanında kütle korunumu yasası ve kütle fraksiyonları göz önünde bulundurularak analiz edilir. Bu çalışmada hem performans hem de egzoz emisyon parametreleri analizi yapabilmek amacıyla “General Species Transport” seçeneği tercih edilmiştir.

Tek tip yakıt kullanılması durumunda yakıtın standart termodinamik özellikleri (ideal gaz varsayımı yapılarak) sabit basınçta özgül ısılarla göre hesaplanır:

$$\frac{c_{pk}}{R} = \sum_{m=1}^M a_{mk} T^{(m-1)} \quad (3.1)$$

Standart hal entalpi denklemi:

$$H_k = \int_0^T c_{pk} dT \quad (3.2)$$

Dolayısıyla;

$$\frac{H_k}{RT} = \sum_{m=1}^M \frac{a_{mk} T^{(m-1)}}{m} + \frac{a_{M+1,k}}{T} \quad (3.3)$$

Standart hal entropi denklemi:

$$S_k = \int_0^T \frac{c_{pk}}{T} dT \quad (3.4)$$

Dolayısıyla;

$$\frac{S_k}{R} = a_{1k} \ln T + \sum_{m=2}^M \frac{a_{mk} T^{(m-1)}}{m-1} + a_{m+2,k} \quad (3.5)$$

Tek tip yakıt kullanılması durumunda kullanılacak denklemler yukarıda belirtilmiştir. Kullanılan yakıtın karışım halinde olduğu zamanlarda yakıt karışımının termodinamik özelliklerinin belirlenmesi için her yakıt tipi için denklem ayrıca çözülür ve karışıma olan etkileri karışımı oluşturan her bir yakıtın ağırlığının çarpılması ile hesaplanır.

Yukarıdaki denklemleri istenilen her bir analiz türünde aşağıda görüldüğü gibi hesaplayabilmek için yedi adet katsayıya ihtiyaç vardır:

$$\frac{c_{pk}}{R} = a_{1k} + a_{2k}T + a_{3k}T^2 + a_{4k}T^3 + a_{5k}T^4 \quad (3.6)$$

$$\frac{H_k}{RT} = a_{1k} + \frac{a_{2k}}{2}T + \frac{a_{3k}}{3}T^2 + \frac{a_{4k}}{4}T^3 + \frac{a_{5k}}{5}T^4 + \frac{a_{6k}}{T} \quad (3.7)$$

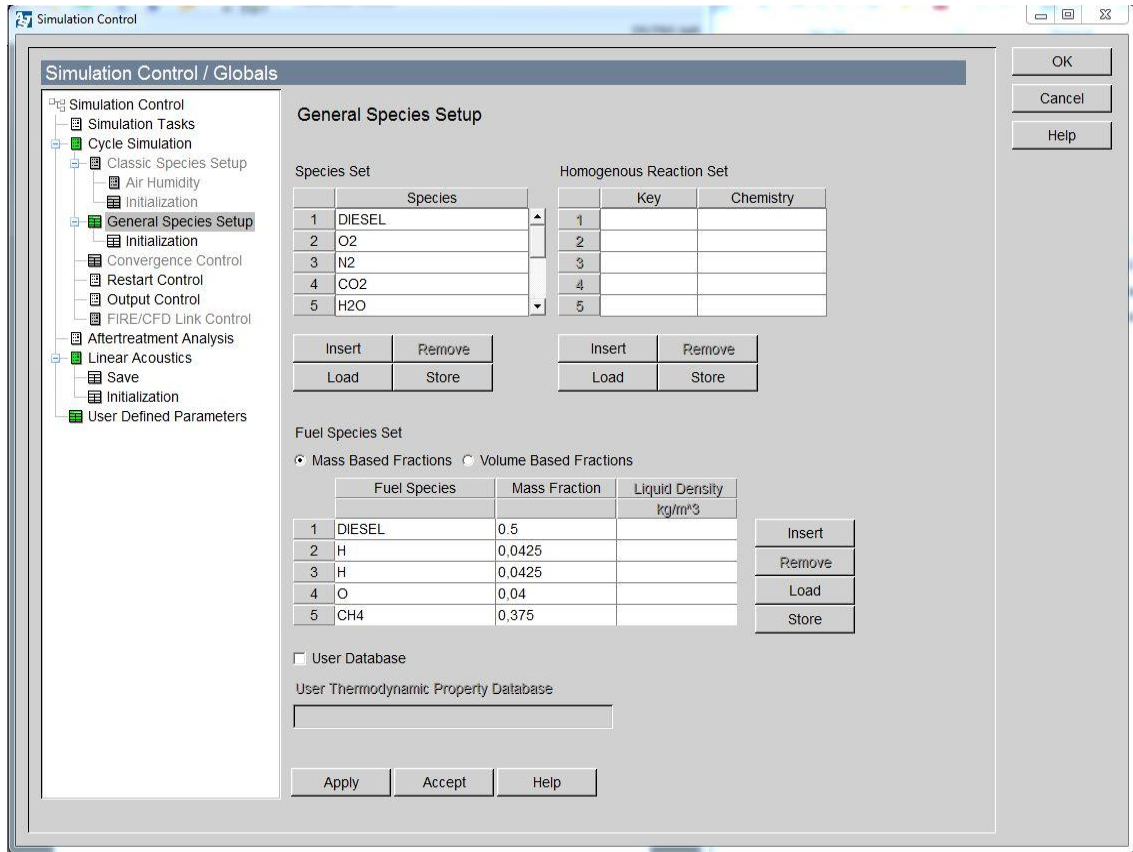
$$\frac{S_k}{R} = a_{1k} \ln T + a_{2k}T + \frac{a_{3k}}{2}T^2 + \frac{a_{4k}}{3}T^3 + \frac{a_{5k}}{4}T^4 + a_{7k} \quad (3.8)$$

İstenilen diğer termodinamik özelliklere c_p , H ve S değerleri kullanılarak ulaşılabilir. AVL BOOST programı yapılan simülasyonlarda kullanılmak üzere aşağıdaki tabloda verilen element ve bileşiklerin bütün termodinamik özelliklerini, kolaylık sağlamak amacıyla veri tabanında bulundurmaktadır.

Çizelge 3.2. BOOST veri tabanında bulunan yakıt listesi.

O	HCl
O ₂	HCNO
OH	BENZİN
CO	HİDROJEN
CO ₂	METAN
N	METANOL
N ₂	ETANOL
NO	DİZEL
NO ₂	BUTAN
NO ₃	PENTAN
N ₂ O	PROPAN
NH ₃	CH ₄
H	C ₂ H ₂
H ₂	C ₂ H ₄
H ₂ O	C ₂ H ₆
SO	C ₃ H ₄
SO ₂	C ₃ H ₆
SO ₃	C ₃ H ₈

“Classic Species Transport” seçeneğinde yalnız tek bileşenli yakıt hesaplamaları bulunmaktadır. Bununla birlikte, alt ısıl değer ve stokiyometrik hava yakıt oranı kullanılarak yakıt ile ilgili ana parametreleri kontrol edebilmekte ve analiz yapabilmektedir. “General Species Transport” hesaplamalarında yakıt için genelleme yapılarak analiz yapılmaktadır. Bunun anlamı, kullanılan yakıtın birkaç bileşenden oluşabilmesidir. Yakıt, prensip olarak programın veri tabanında bulunan ve yukarıdaki listede verilen bütün yakıtlardan oluşabilmekte, ayrıca Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yakıt karışımında kullanılan her yakıt için kullanıcı, yakıtın toplam kütleline veya hacmine göre bir oran belirleyerek(Mass Based Fraction/ Volume Based Fraction), istediği parametreler doğrultusunda analiz yapabilmektedir.



Şekil 3.2. AVL BOOST Simülasyon Kontrol Penceresi yakıt sekmesi

Bu çalışmada öncelikle dizel yakıt püskürtme oranı yarıya düşürülerek çevreye zararlı emisyon değerlerin azaltılması sağlanırken aynı zamanda performans değerlerinin oldukça azaldığı görülmüştür. Simülasyonda modellenen dizel motorda herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan hem sera gazı etkilerini minimum seviyede tutmak hem de performans değerlerini arttırmak amacıyla alternatif yakıt zenginleştirmeleri yapılmıştır. Yakıt karışımları silindire girmeden önce plenum olarak adlandırılan şartlandırılmış havanın toplandığı odada hazırlanmaktadır. Kullanılan yakıt karışımında yakıtlar ile ilgili bütün termodinamik özellikler AVL BOOST programının veri tabanından elde edilmiştir.

Deneylerde modellenen dizel motorunun standart dizel yakıt püskürtme oranının yarıya düşürülmesiyle yaşanan performans verilerindeki kayıp, kısılan dizel yakıt oranı kadar hidroksi (HHO) zenginleştirilmesi yapılarak telafi edilmeye çalışılmıştır. Kullanılan yakıt karışımı hacimsel olarak 50% dizel, %34 hidrojen (H) ve %16 oksijen (O) içermektedir. Belirtilen yakıt karışımıyla ilgili performans ve emisyon değerleri bir sonraki bölümde detaylıca incelenecektir.

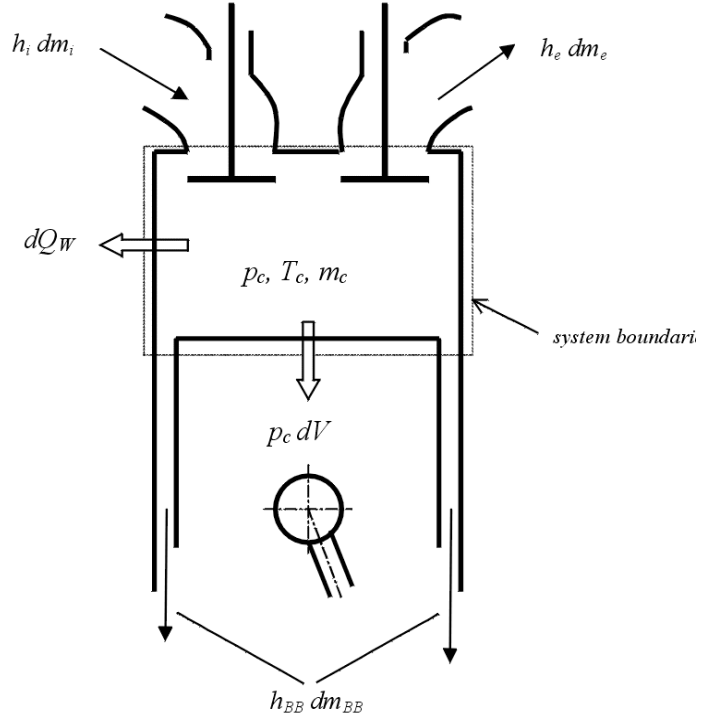
Bir başka kullanılan yakıt karışımı hidrojen ve sıkıştırılmış doğalgaz (CNG) zenginleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Modellenen dizel motorda yine yapısal hiçbir değişiklik yapılmadan kısılan dizel yakıt oranı kadar hidroksi ve CNG gazları hacimsel olarak belirli oranlarda karıştırılarak silindir içerisine hava ile birlikte alınması sağlanmıştır. Silindir içine alınan karışım hacimsel olarak 50% dizel, 37,5% CNG, 8,5% H ve 4% O içermektedir. Kısılan dizel yakıt yerine kullanılan bu yakıt karışımı, karışımı oluşturan gazların hacimsel oranlarından dolayı 25HHOCNG olarak adlandırılmıştır.

Daha açık bir şekilde anlaşılabilmesi için simülasyonda kullanılan yakıtlar ve yakıt karışımları Çizelge 3.3' te belirtilmektedir.

Çizelge 3.3. Simülasyonda kullanılan yakıtlar ve karışımları

	Dizel	CNG	HHO
Standart Dizel	100%	0%	0%
Kısılmış Dizel	50%	0%	0%
Kısılmış Dizel + CNG	50%	50%	0%
Kısılmış Dizel + HHO	50%	0%	50%
Kısılmış Dizel + HHOCNG	50%	37,50%	12,50%

3.1.2. Silindir



Şekil 3.3. Silindir içi Enerji Dengesi

Silindirin termodinamik durumunun hesabı termodinamiğin birinci yasasına dayanır:

$$\frac{d(m_c \cdot u)}{d\alpha} = -p_c \cdot \frac{dV}{d\alpha} + \frac{dQ_F}{d\alpha} - \sum \frac{dQ_W}{d\alpha} - h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha} + \sum \frac{dm_i}{d\alpha} \cdot h_i - \sum \frac{dm_e}{d\alpha} \cdot h_e - q_{ev} \cdot f \cdot \frac{dm_{ev}}{dt} \quad (3.9)$$

Silindirdeki kütlenin değişimi, giren ve çıkan kütlelerin toplamından hesaplanabilir:

$$\frac{dm_c}{d\alpha} = \sum \frac{dm_i}{d\alpha} - \sum \frac{dm_e}{d\alpha} - \frac{dm_{BB}}{d\alpha} + \frac{dm_{ev}}{dt} \quad (3.10)$$

burada;

$\frac{d(m_c \cdot u)}{d\alpha}$: piston hareketi sırasında silindir içi iç enerji değişimi
$-p_c \cdot \frac{dV}{d\alpha}$: piston işi
$\frac{dQ_F}{d\alpha}$: yakıt ısı girişi
$\sum \frac{dQ_W}{d\alpha}$: silindir duvarı ısı kayıpları
$h_{BB} \cdot \frac{dm_{BB}}{d\alpha}$: blow-by sırasında meydana gelen entalpi değişimi
m_c	: silindirdeki kütle
u	: özgül iç enerji
p_c	: silindir basıncı
V	: silindir hacmi
Q_F	: yakıt enerjisi
Q_W	: duvar ısı kaybı
α	: krank açısı
h_{BB}	: blow-by entalpisi
$\frac{dm_{BB}}{d\alpha}$: blow-by sırasında kütle değişimi
dm_i	: silindir girişi kütle akışı
dm_e	: silindir çıkışı kütle akışı
h_i	: silindire giren kütle entalpisi
h_e	: silindirden çıkan kütle entalpisi
q_{ev}	: yakıtın buharlaşma ısısı
f	: Silindirden çekilen buharlaşma ısısı oranı
m_{ev}	: buharlaşan yakıt kütlesi

Yüksek basınç çevrimi için termodinamiğin birinci kanunu, silindirdeki iç enerjinin değişiminin, piston çalışması, yakıt ısısı girişi, duvar ısı kayıpları ve üfleme nedeniyle entalpi akışı toplamına eşit olduğuna işaret eder.

Eşitlik (3.9), dahili ve harici karışım hazırlama özelliğine sahip motorlar için geçerlidir. Bununla birlikte, yanma nedeniyle gaz bileşiminin değişimini hesaba katan şartlar, iç ve dış karışım hazırlığı için farklı şekilde işlem görür.

Simülasyon programı yakıt karışımını silindir içine alırken aşağıdaki varsayımları göz önünde bulundurmaktadır:

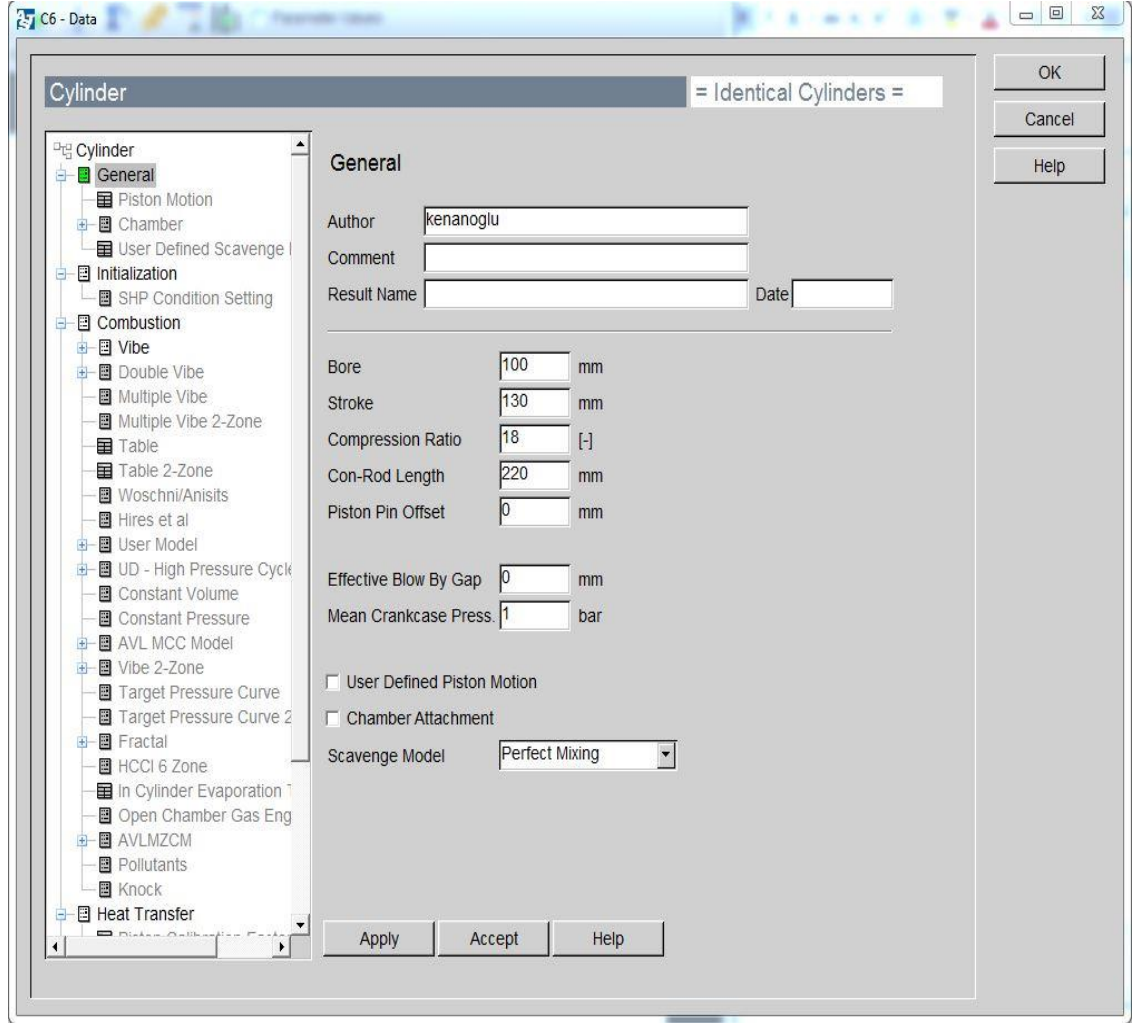
- Silindir içine alınan yakıt karışımı hemen yakılır,
- Yanma ürünleri geri kalan yanmamış karışım ile anında karışır ve homojen bir karışım oluşturur,
- Sonuç olarak, çevrimin H / Y oranı, yanmanın başlangıcında yüksek bir değerden yanmanın sonunda nihai değere kesintisiz olarak azalır.

Aşağıda verilen gaz denklemi kullanılarak:

$$p_c = \frac{1}{V} \cdot m_c \cdot R_o \cdot T_c \quad (3.11)$$

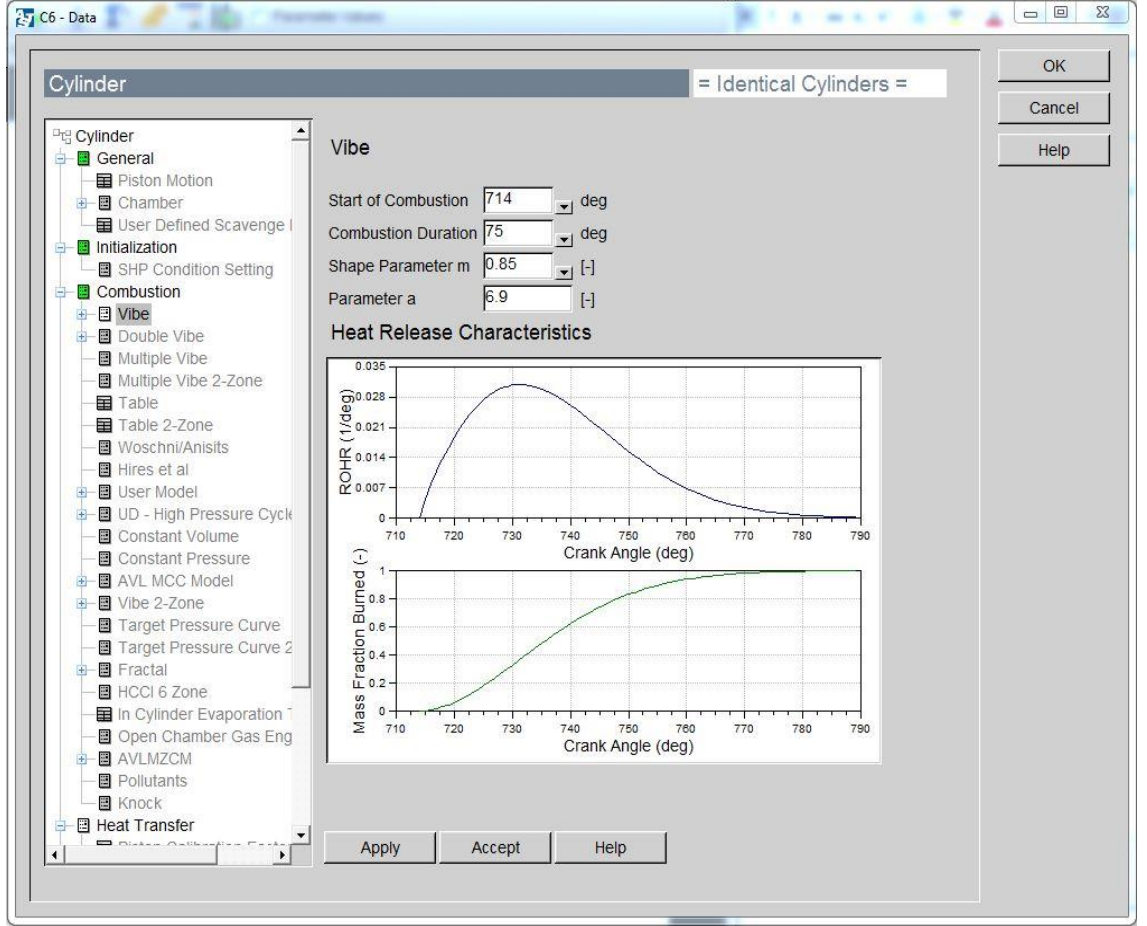
Basınç, sıcaklık ve yoğunluk arasında ilişki kurulabilir. Silindir içi sıcaklıkları denklem (3.9)'un Runge-Kutta metodu kullanılarak çözülmesiyle hesaplanabilmekte; bunun sonucunda silindir sıcaklığının bilinmesiyle, silindir basıncına gaz denklemi kullanılarak ulaşılabilmektedir (AVL BOOST Theory, 2011).

Modellenen dizel motorunun silindirleri bütün özellikleri tanımlanmış ve şekil 3.4'te gösterilmiştir. Silindirlerin özellikleri silindirin ve krank milinin temel boyutlarını (çap: 100 mm, strok: 130 mm, sıkıştırma oranı: 18, Biyel uzunluğu: 220 mm, piston pimi eksantriklik: 0) kapsar.



Şekil 3.4. Silindir - Genel Özellikler penceresi

Yanma özelliklerinin belirlenmesi için, simülasyon programı veri tabanına dayanan bir ısı yayılım yaklaşımı seçilmiştir. Bu çalışmada, Şekil 3.5.'te görüldüğü gibi yanma modeli olarak Vibe fonksiyonu seçilmiştir. Şekil parametresi (m), ısı yayılım hızı'nın şeklini, küçük "m" değeri başlangıçtaki majör yanmayı ifade ederken, büyük "m" seçildiğinde ilk duruma tam ters bir sonuç elde edilmektedir. Şekil 3.5.'te görülen "a" parametresi yanma yüzdesini ifade eder. Eğer "a" parametresi 6.9 olarak ayarlanırsa, yakıtın 99.9% yanma tepkimesine girdiği anlamına gelir.



Şekil 3.5. Silindir İçi Yanma Modeli - Vibe Fonksiyonu tablosu

Yanma hesaplamalarında kullanılan Vibe fonksiyonu aşağıda verilmiştir (AVL BOOST Theory, 2011);

$$\frac{dx}{d\alpha} = \frac{a}{\Delta\alpha_c} \cdot (m + 1) \cdot y^m \cdot e^{-a \cdot y^{(m+1)}} \quad (3.12)$$

$$dx = \frac{dQ}{Q} \quad (3.13)$$

$$y = \frac{\alpha - \alpha_o}{\Delta\alpha_c} \quad (3.14)$$

Q : Giren yakıtların

α : Krank açısı

α_o : Yanma başlangıç açısı

$\Delta\alpha_c$: Yanma zamanı

m : Şekil parametresi

a : Vibe parametresi (tam yanma için; $a = 6.9$)

3.2. Matematiksel Yaklaşım

Bu bölümde, elde edilen simülasyon sonuçlarının performans ve emisyon parametreleri olan tork, güç, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), indike ortalama efektif basınç (İOEB) ve hacimsel verim değerlerinin program tarafından hangi matematiksel işlem ve formülasyona ait olduğu açıkça anlatılmıştır. Dördüncü bölümde verilecek olan grafiklerin yorumlanmasında kolaylık sağlaması ve daha anlaşılır bir şekilde incelenmesi amacıyla belirtilen parametreler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Ortalama efektif basınç, efektif işin strok hacmine oranından elde edilen basınç değeridir. İOEB; motor ölçüleri ve hızından bağımsız olduğu için içten yanmalı motorlarda, motor dizaynı ve performans çıktıları açısından iyi bir kıyas parametresidir. Eğer motor karşılaştırması için tork değerleri kullanılırsa, daha büyük bir motor daima daha iyi moment üretecektir. Eğer karşılaştırma için güç değerleri kullanılırsa, motor hızının önemi artmaktadır. Performans değerlendirmeleri bölümünde incelenecek olan İOEB denklemi aşağıda verilmiştir (AVL BOOST Theory, 2011):

$$IOEB = \frac{1}{V_D} \cdot \int_{CD} p_c \cdot dV \quad (4.1)$$

p_c : Silindir Basıncı

V : Silindirin sahip olduğu toplam yer değiştirme

V_D : Yer değiştirme

CD : Çevrim süresi

Tork, bir motorun iş yapabilme kabiliyetinin önemli bir göstergesidir. Belirli bir mesafeden etki eden kuvvetin, bir nesne üzerindeki moment etkisi olarak tanımlanabilir.

Buna göre:

$$2. \pi. \tau = W_e = (OEB) \cdot \frac{V_H}{n} \quad (4.2)$$

W_e : Efektif iş

OEB : Ortalama Efektif Basınç

V_H : Strok hacmi

n : bir tam çevrimin dönüş sayısı (Willard,2004).

Güç, birim zamanda motorun yaptığı iş olarak tanımlanmaktadır. Eğer “ n ” bir çevrimin tamamlanması için gereken dönüş sayısı ve “ N ” motor devir sayısı ise;

$$\dot{W} = W \cdot \frac{N}{n} \quad (4.3)$$

$$\dot{W} = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot \frac{N}{n} \quad (4.4)$$

$$\dot{W} = \frac{1}{2 \cdot n} \cdot (IOEB) \cdot A_p \cdot U_p \quad (4.5)$$

W : Çevrim başına üretilen iş

A_p : piston alanı

U_p : Ortalama piston hızı ($U_p = 2 \cdot S \cdot n$; S: strok, n: devir sayısı)

Özgül yakıt tüketimi (ÖYT), birim kilowatt saat başına harcanan yakıt miktarı olarak tanımlanmaktadır. Motorun yük durumuna göre değişen özgül yakıt sarfıyatı, en doğru olarak fren denemelerinde saptanır. Örneğin, tam gazdaki özgül yakıt sarfıyatı yarım gazdakinden daha azdır. Özgül yakıt tüketimi (ÖYT) aşağıdaki formül göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır;

$$\text{ÖYT} = \frac{m_f}{\dot{W}} \left(\frac{kg}{kW.h} \right) \quad (4.6)$$

m_f : Silindir içine gönderilen yakıt miktarı

\dot{W} : Üretilen güç miktarı

Hacimsel verim (η_v), emme strokunda silindire giren gerçek taze hava veya yakıt-hava karışımı miktarının (m_g), ideal durumda (referans basınç ve sıcaklığında) girebilecek taze hava veya yakıt-hava karışımı miktarına (m_o), oranı olarak tanımlanmaktadır. İçten yanmalı motorlarda, emme sonunda silindir içinde taze hava veya yakıt-hava karışımı ile artık gazlar bulunmaktadır. Dolayısıyla silindire giren taze hava veya yakıt-hava karışımı, artık gazların miktarı kadar azalır. Ayrıca emme sonundaki silindir basıncı emme organlarındaki kayıplar nedeniyle ortam basıncının altındadır ve artık gazların ve çeper sıcaklığının etkisiyle, taze hava veya yakıt-hava karışımı ısınarak genişmekte ve dolayısıyla içeriye alınan hava genişleyen hacim kadar azalacaktır (Safgönül ve ark., 2013)

$$\eta_v = \frac{m_g}{m_o} \quad (4.7)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Alternatif yakıtlar, içten yanmalı motorlarda kullanılmasıyla birlikte hem motor performanslarını hem de egzoz emisyonlarını pozitif yönde etkilemeye başlamışlardır. Özellikle hidrojen ve doğalgazın içten yanmalı motorlarda kullanımını motorun daha verimli, daha sessiz, daha düşük egzoz emisyon salınımını sağlamış ve yeni teknolojik gelişmeler arasında yerini almıştır.

Hidrojen ve türevleri motorlarda etkin yanma verimini artırmada, tutuşma gecikmesini iyileştirmede, birim kütle başına düşen enerji verimini ve alev hızını artırmada, C (Carbon) ihtiva etmemesi bakımından zararlı emisyonu sağlamaması gibi üstün mühendislik özellikleri bakımından son dönemlerde içten yanmalı motorlarda aktif bir alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Doğalgaz ise yüksek metan ihtivasi ve sıkıştırılarak kullanılması ile hem ergonomik bir yakıt, hem de rezervleri ve kullanım amaçlarının genel sektörler bazında yüksek olmasından ötürü, maliyeti diğer yakıtlara göre daha ucuz olması ile alternatif yakıtlar arasında ilk tercih sebebi olmasını sağlamıştır (Mbarawa, 2001). Sıkıştırılmış doğalgazın temel kimyasal, fiziksel özellikleri ve yanma parametreleri; özellikle egzoz emisyonlarının düşürülmesinde aktif olarak kullanılmakta ve deneysel araştırmalar ile genel literatürde bu durumla aynı sonuçları vermektedir.

Mühendislik uygulamalarının en temel sac ayaklarından biri kuşkusuz modelleme ve prototip uygulamalarıdır. Gelişen teknoloji ile ileri seviyede çizim ve modelleme, uygun matematiksel varyasyonlar ile simülasyonlar haline getirilmektedir. Simülasyon alt yapısı ve denemeleri, ileri süreçte nihai ürünün üretiminden önce yapılması gereken önemli adımların başında gelmektedir.

Bu tezin amacı ise; bir dizel motorun her hangi bir modifikasyona maruz kalmadan alternatif gaz yakıtları ile zenginleştirilerek kullanılmasının simülasyonunu içermektedir. Bu tezde kullanılan gaz yakıtları; model motor üzerinde yapısal değişiklik yapılmadan; dizel püskürtmesinin belli oranda kısılarak; yerine hidroksi gaz (HHO) ve hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgaz (HHOCNG) karışımları olarak belirlenmiştir. Gaz karışımları emme manifoldundan gönderilmiş ve yapılan simülasyonel yaklaşım ile motor performans ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir.

4.1. PERFORMANS DEĞERLENDİRMELERİ

4.1.1 Kısılmış Dizel + CNG Performans Sonuçları

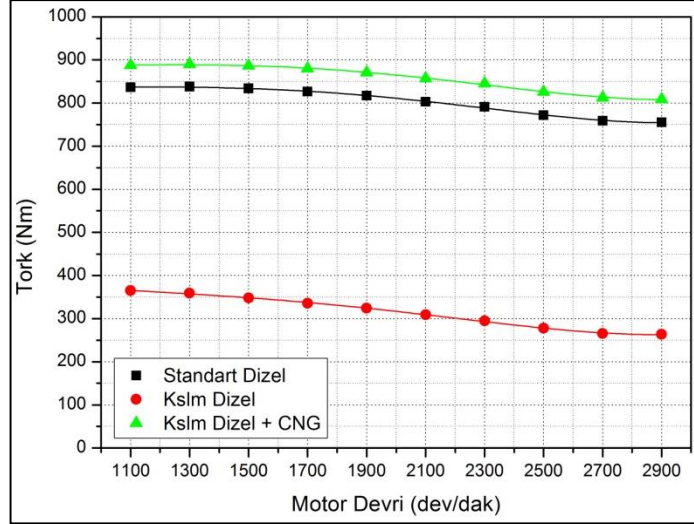
Motor performans verileri içerisinde motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, hacimsel verim ve indike ortalama efektif basınç değerlerinin motor devrine göre karşılaştırılmaları analiz edilmiştir. Şekil 4.1’de Motor Devri - Tork grafiği görülmektedir. Kısılmış dizel+doğalgaz (CNG), artan hava yakıt oranı fazlalığı, emme manifoldundan alınan doğalgaz ve hava karışımının kısılmış dizelle pilot püskürtülmesi ile birlikte normal dizel verilerine göre % 6.62 daha fazla tork ürettiği görülmüştür.

Şekil 4.2’ de Motor Devri - Güç görülmektedir. Tork-devir grafiğine benzer şekilde kısılmış dizel + CNG ‘nin hesaplamalarında; gaz yakıtlı seçeneğin normal dizelle karşılaştırıldığında iyileştirme oranı % 6,71 olarak hesaplanmıştır.

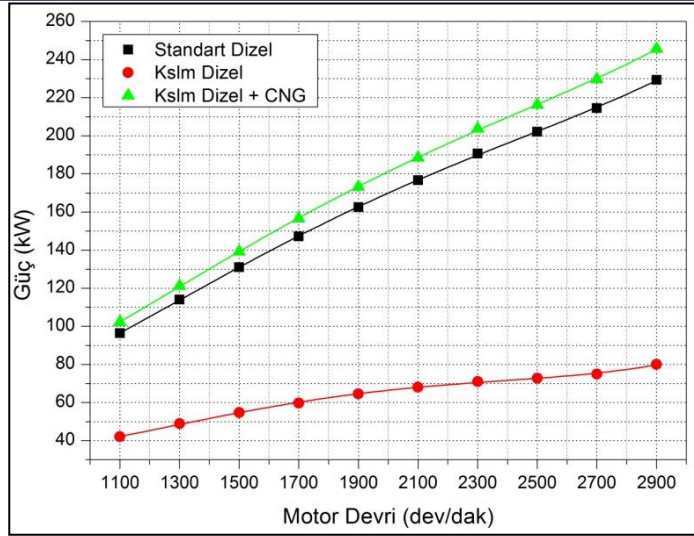
Motor Devri – Özgül Yakıt Tüketimi grafiği ise Şekil 4.3’te verilmiştir. Diğer grafiklerde de olduğu gibi, normal dizel yakıt kullanılan durumun özgül yakıt tüketimi, pilot püskürtmeli gaz yakıtlı koşulun özgül yakıt tüketimi ile karşılaştırılmıştır. Gaz yakıtın kullanımı kütleli olarak sistemde tüketilen yakıt miktarını değiştirmemiş ancak elde edilen daha verimli yanma koşulları sonrasında daha fazla enerji dolayısı ile daha fazla güç üretilmiş sonuç olarak özgül yakıt tüketimi genel ortalamada % 6,23 azaltılmıştır.

Motor Devri – Hacimsel verimlilik grafiği Şekil 4.4’te verilmektedir. Standart dizel çalışma koşulları için hava yakıt oranı simülasyon programında belirlenmiştir. Standart dizel belirli bir oranda kısıldığında, yerine kullanılan gaz yakıt (CNG) hacimsel olarak silindir içerisinde belirli bir yer kaplayacağı için içeriye alınan hava miktarı buna bağlı olarak düşmekte ve bunun sonucunda hacimsel verimin düştüğü gözlenmektedir. Kısılmış dizel tek başına kullanıldığında, emme zamanında içeriye alınan hava, artık gazların diğer gazlara oranla daha az olmasından dolayı hacimsel verim standart dizel ve kısılmış dizel + CNG yakıt karışımına göre % 0,001 azalmıştır.

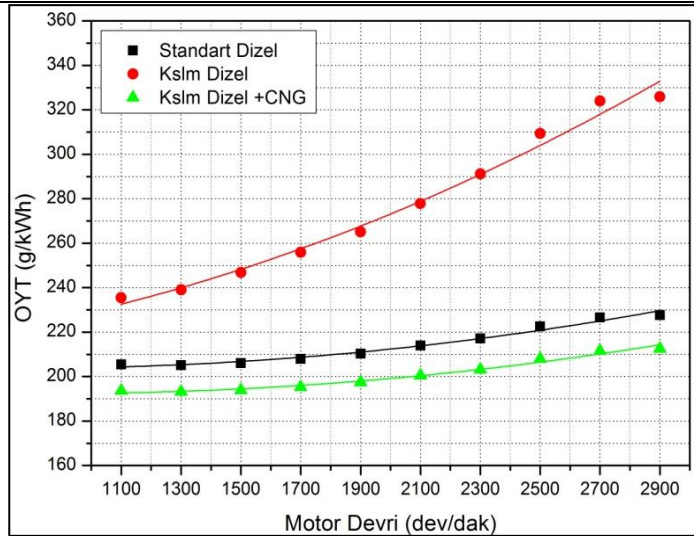
Şekil 4.5’ de Motor Devri – İndike Ortalama Efektif Basınç grafiği sunulmuştur. Simülasyon sonucu oluşturulan eğrilerin karakteristikleri tork ve güç çıktıları ile benzerlik göstermiştir. Standart dizele göre değişimleri; kısılmış dizel için azalma ve kısılmış dizelin CNG ile zenginleştirilmesi ile % 5,96 artış şeklinde gerçekleşmiştir.



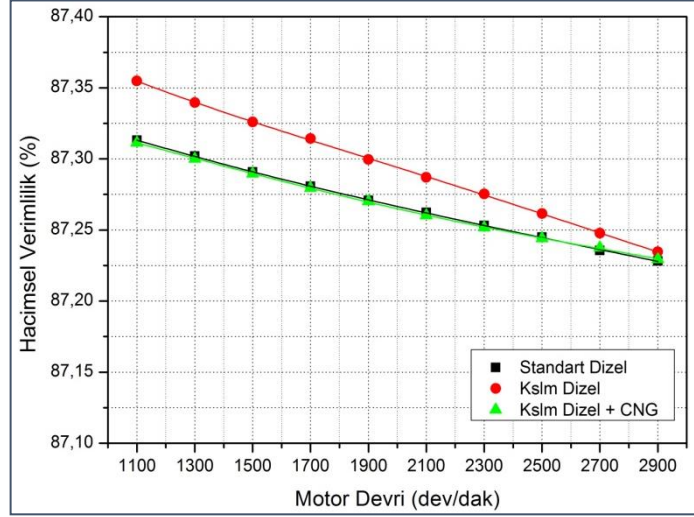
Şekil 4.1. Motor Devri - Tork grafiği.



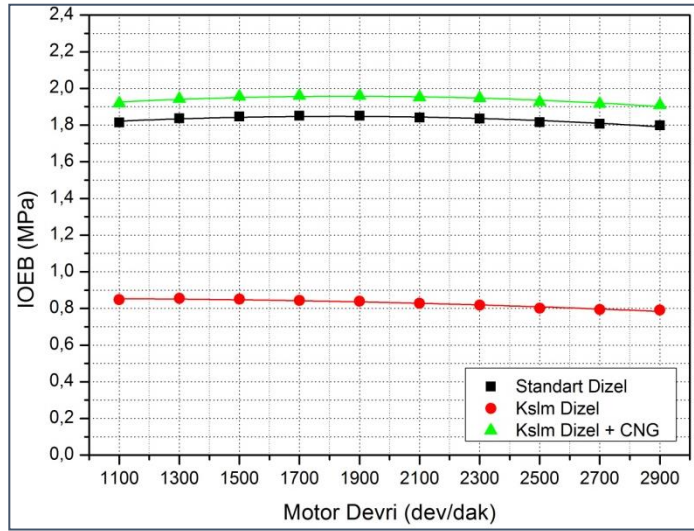
Şekil 4.2. Motor Devri - Güç grafiği.



Şekil 4.3. Motor Devri - ÖYT grafiği.



Şekil 4.4. Motor Devri – Hacimsel Verim grafiği.



Şekil 4.5. Motor Devri - İOEB grafiği.

4.1.2 Kısılmış Dizel + HHO Performans Sonuçları

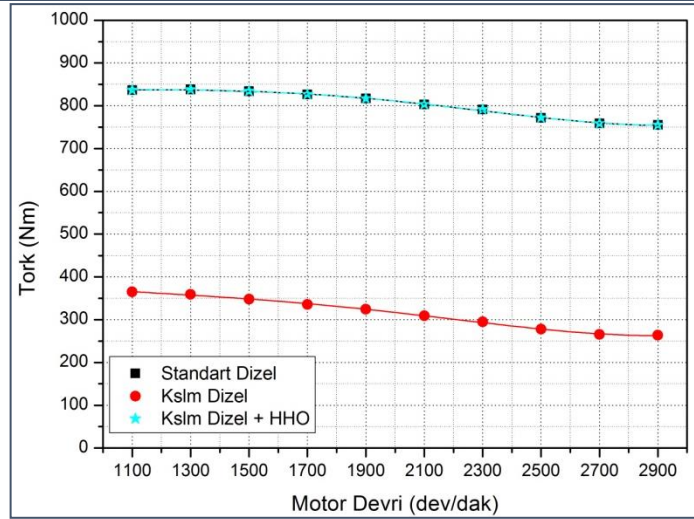
Kısılmış dizel+HHO performans verileri elde edilirken, motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, hacimsel verim ve indike ortalama efektif basınç değerlerinin motor devrine göre karşılaştırılmaları analiz edilmiştir. Motor devri – Tork grafiği Şekil 4,6’da görülmektedir. Kısılmış dizel + Hidroksi (HHO) yakıtı kullanımında, artan oksijen konsantrasyonu ve ilave hidrojen atomları ile normal dizel verilerine göre % 0,02 daha fazla tork ürettiği görülmüştür.

Şekil 4.7’ de Motor Devri - Güç grafiği görülmektedir. Performans verileri içerisinde birbirleriyle doğru orantılı olan tork-devir grafiğine benzer şekilde kısılmış dizel + HHO ‘nin hesaplamalarında; gaz yakıtlı seçeneğin normal dizelle karşılaştırıldığında iyileştirme oranı % 0,021 olarak hesaplanmıştır. İyileşmenin daha fazla bir yüzdeye çıkmamasının nedeni; kısılmış dizelden kaynaklanan enerji kaybını da hidroksi gazın yanmaya etkisi ile iyileştirmeye çalışması olarak belirtebiliriz.

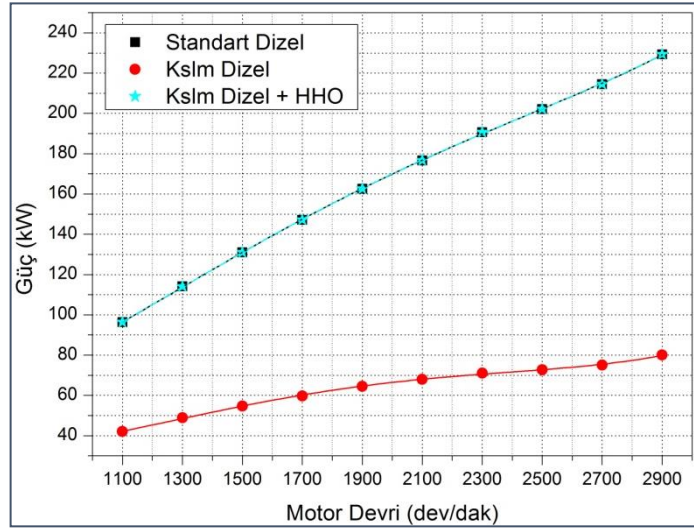
Motor Devri – Özgül Yakıt Tüketimi grafiği ise Şekil 4.8’te verilmiştir. Diğer grafiklerde de olduğu gibi, normal dizel yakıt kullanılan durumun özgül yakıt tüketimi, pilot püskürtmeli gaz yakıtlı koşulun özgül yakıt tüketimi ile karşılaştırılmıştır. Gaz yakıtın kullanımı kütleli olarak sistemde tüketilen yakıt miktarını değiştirmemiş, aynı zamanda elde edilen verimli yanma koşulları sonrasında standart dizel ile benzer veriler elde edilerek özgül yakıt tüketimi genel ortalamada % 0,02 azaltılmıştır.

Motor Devri – Hacimsel verimlilik grafiği Şekil 4.9’da verilmektedir. Standart dizel belirli bir oranda kısıldığında, yerine kullanılan gaz yakıt (HHO) hacimsel olarak silindir içerisinde belirli bir yer kaplayacağı için içeriye alınan hava miktarı buna bağlı olarak düşmekte ve bunun sonucunda hacimsel verimin % 0,15 düştüğü gözlenmektedir. Kısılmış dizel tek başına kullanıldığında, emme zamanında içeriye alınan hava, artık gazların diğer gazlara oranla daha az olmasından dolayı hacimsel verim standart dizel ve kısılmış dizel + HHO yakıt karışımına göre artış göstermektedir.

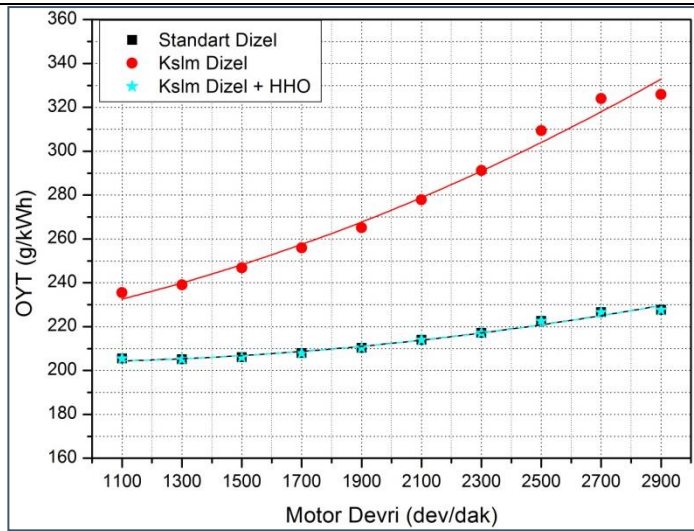
Şekil 4.10’ da Motor Devri – İOEB grafiği sunulmuştur. Similasyon sonucu oluşturulan eğrilerin karakteristikleri tork ve güç çıktıları ile benzerlik göstermiştir. Standart dizele göre; kısılmış dizelin HHO ile zenginleştirilmesi ile İOEB değerlerinde % 0,18 artış gerçekleşmiştir. İOEB’nin üretilen indike iş ile doğrudan alakalı olduğu göz önünde bulundurulduğunda; elde edilen sonuçlara göre kısılmış dizel + HHO’nun standart dizele göre daha fazla indike iş ürettiği görülmektedir.



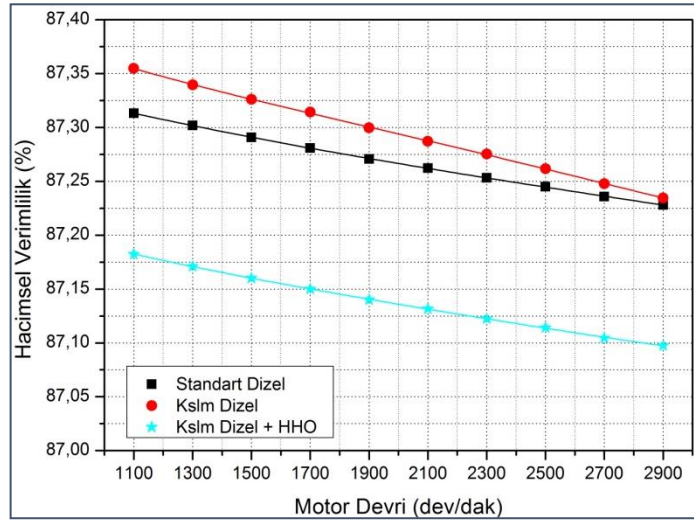
Şekil 4.6. Motor Devri - Tork grafiği.



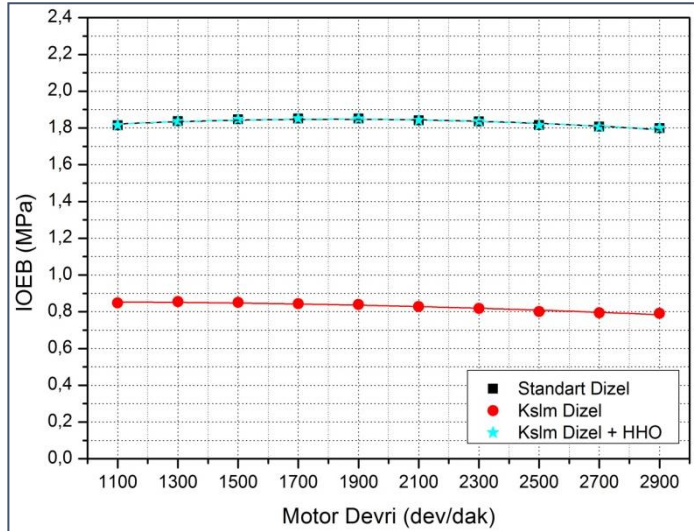
Şekil 4.7. Motor Devri - Güç grafiği.



Şekil 4.8. Motor Devri - ÖYT grafiği.



Şekil 4.9. Motor Devri – Hacimsel Verim grafiği.



Şekil 4.10. Motor Devri - İOEB grafiği.

4.1.3 Kısılmış Dizel + 25HHOCNG Performans Sonuçları

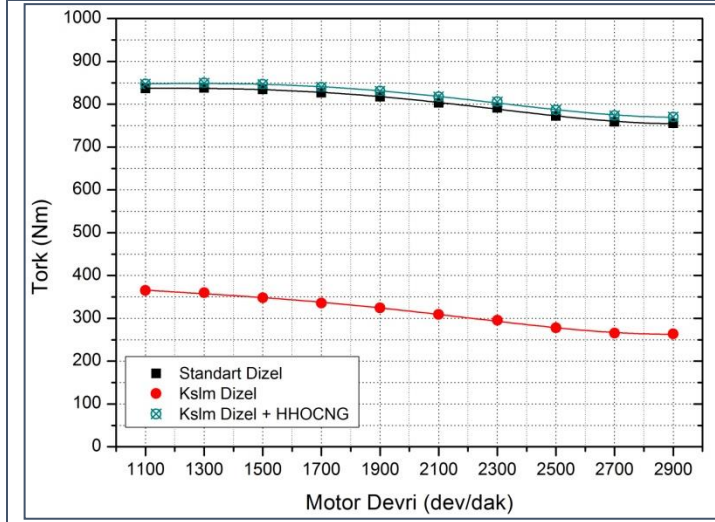
Kısılmış Dizel + 25HHOCNG performans verileri içerisinde motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, hacimsel verim ve indike ortalama efektif basınç değerlerinin motor devrine göre karşılaştırılmaları analiz edilmiştir. Şekil 4.11’de Motor Devri - Tork grafiği görülmektedir. Kısılmış dizel + 25HHOCNG’nin, emme manifoldundan alınan hidrojen ile zenginleştirilmiş doğalgaz ve hava karışımının, kısılmış dizel ile birlikte pilot püskürtme yöntemine benzer bir şekilde kullanılması sonucu, normal dizel verilerine göre 1,67 % daha fazla tork ürettiği görülmüştür.

Şekil 4.12’ de Motor Devri - Güç grafiği görülmektedir. Tork-devir grafiğine benzer şekilde kısılmış dizel + 25HHOCNG’nin hesaplamalarında; gaz yakıt zenginleştirmesinin güç verileri standart dizelle kıyaslandığında, iyileştirme oranı % 4,13 olarak hesaplanmıştır.

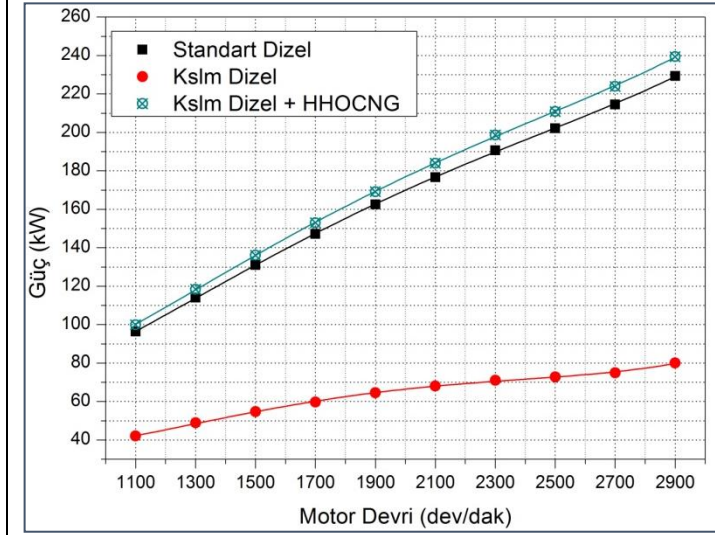
Motor Devri – Özgül Yakıt Tüketimi ise Şekil 4.13’te verilmiştir. Diğer grafiklerde de olduğu gibi, özgül yakıt tüketimi normal dizel yakıt kullanılan durum ile pilot püskürtmeli gaz yakıtlı koşulunun kıyası ile elde edilmiştir. Gaz yakıtın kullanımı kütleli olarak sistemde tüketilen yakıt miktarını değiştirmemiş ancak elde edilen daha verimli yanma koşulları sonrasında daha fazla enerji dolayısı ile daha fazla güç üretilmiş sonuç olarak özgül yakıt tüketimi standart dizel kullanımı ile karşılaştırıldığında ortalama % 3,92 düşürülmüştür.

Motor Devri – Hacimsel verimlilik grafiği Şekil 4.14’te verilmektedir. Standart dizel çalışma koşulları için hava yakıt oranı simülasyon programında belirlenmiştir. Standart dizel belirli bir oranda kısıldığında, yerine kullanılan gaz yakıt (HHOCNG) hacimsel olarak silindir içerisinde belirli bir yer kaplayacağı için içeriye alınan hava miktarı buna bağlı olarak düşmekte ve bunun sonucunda hacimsel verimin % 0,434 düştüğü gözlenmektedir. Kısılmış dizelin tekli yakıt olarak kullanılması sonucunda, diğer grafiklerde anlatılan sebeplere bağlı olarak bu grafikte de en yüksek hacimsel verimliliğe sahip olduğu görülmüştür.

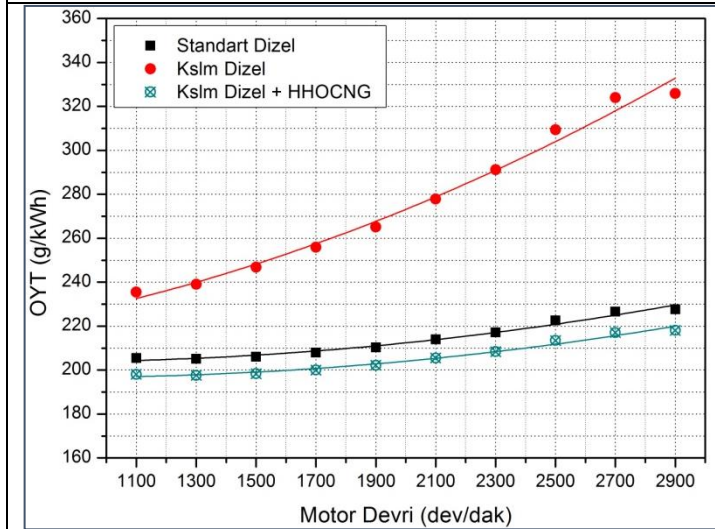
Şekil 4.15’ de Motor Devri - İOEB grafiği sunulmuştur. Similasyon sonucu oluşturulan eğrilerin karakteristikleri tork ve güç çıktıları ile benzerlik göstermiştir. Standart dizele göre değişimleri; kısılmış dizel için azalma ve kısılmış dizelin 25HHOCNG yakıt karışımı ile zenginleştirilmesi sonucu % 3,66 artış olarak görülmektedir.



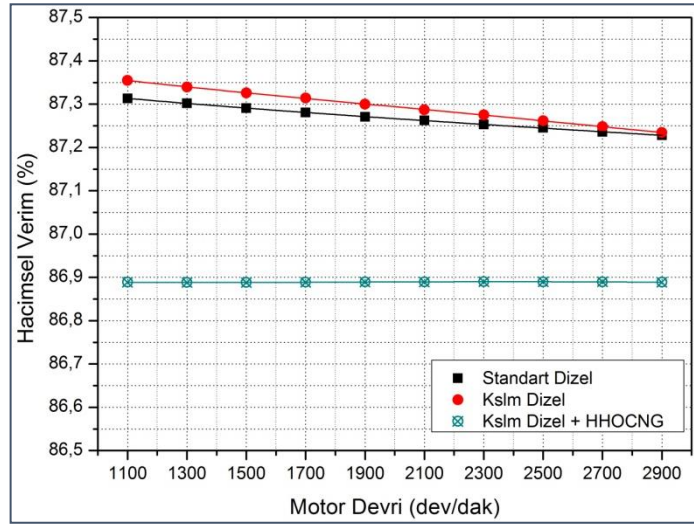
Şekil 4.11. Motor Devri - Tork grafiği.



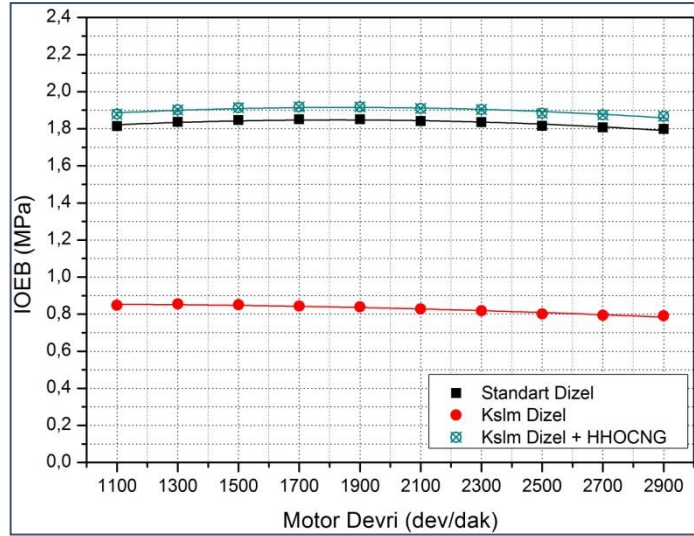
Şekil 4.12. Motor Devri - Güç grafiği.



Şekil 4.13. Motor Devri - ÖYT grafiği.



Şekil 4.14. Motor Devri – Hacimsel Verim grafiği.



Şekil 4.15. Motor Devri - İOEB grafiği.

4.2. EMİSYON DEĞERLENDİRMELERİ

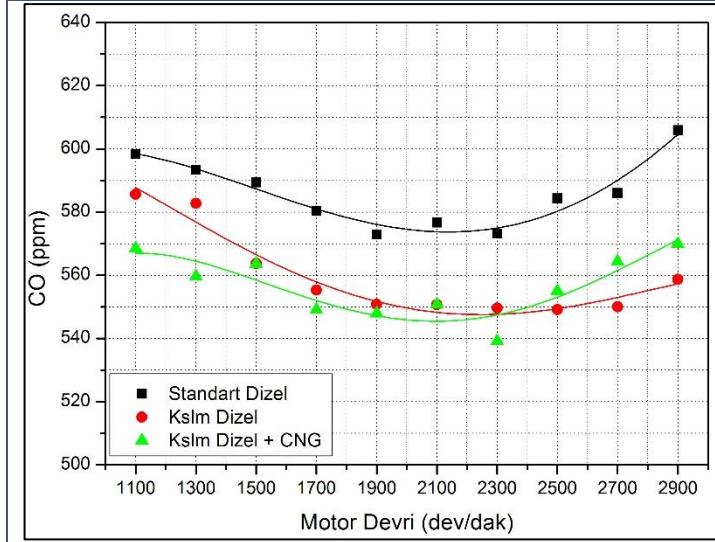
4.2.1 Kısılmış Dizel + CNG Emisyon Sonuçları

Son dönemlerde içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt kullanımının en önemli sebebi, fosil yakıt kullanımını azaltarak egzoz emisyonlarının çevreye olan etkilerinin azaltılmaya çalışılmasıdır. Bu bölümde, kullanılan alternatif yakıtların emisyonlara etkisi araştırılmış, silindirlere meydana gelen yanma sonucu ortaya çıkan emisyonlardan CO, CO₂ ve NO_x değişimi detaylı olarak incelenmiştir.

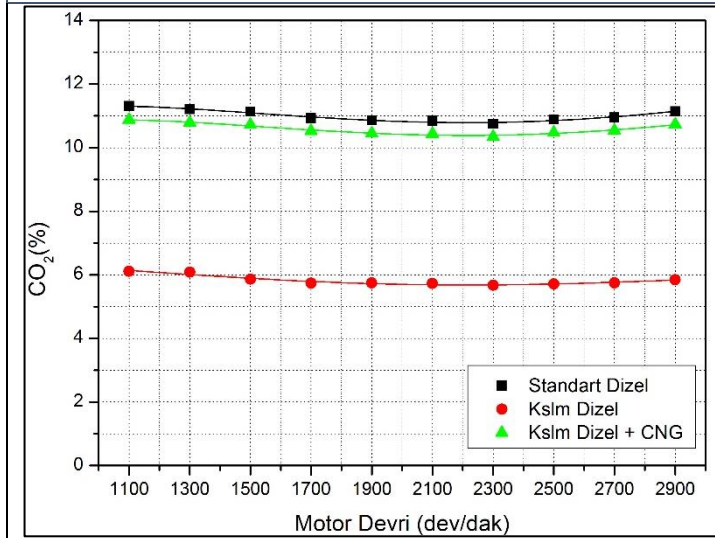
Yanma sırasında, yakıt ile silindire alınan bütün karbon (C) atomlarını karbondioksit (CO₂) dönüştürmeye yeterli oksijen (O₂) veya yeterli süre bulunmadığı zaman, silindir içine alınan yakıt tam olarak yanmaz ve bazı karbon (C) atomları karbonmonoksit (CO) olarak silindirlere atılır. Bu durum, sadece emisyon salınımını değil aynı zamanda kaybedilen kimyasal enerjiyi de temsil eder. Motor Devri - CO grafiği Şekil 4.16' da verilmektedir. Açıkça görüldüğü gibi özellikle düşük devirlerde kısılmış dizel + CNG yakıt karışımı, gaz yakıt zenginleşmesi sayesinde daha iyi bir yanma karakteristiği göstermiş ve genel ortalama % 5,0 daha az CO üretmiştir.

Şekil 4.17.' de Motor Devri - CO₂ grafiği verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi, CO₂ salınımı % 3,75 düşürülmüştür. Bu azalmanın temel sebebi, çoğunlukla silindirlere giren hidrokarbon yakıtının miktarıyla doğrudan alakalıdır. Sıvı yakıtın kısılması ve yerine gaz yakıt kullanılması, motora giren hidrokarbon miktarını doğrudan düşürür. Bu nedenle, kısılmış dizel + CNG zenginleşmesi, standart dizel motorunun çalışmasından daha düşük CO₂ seviyeleri ürettiği görülmektedir.

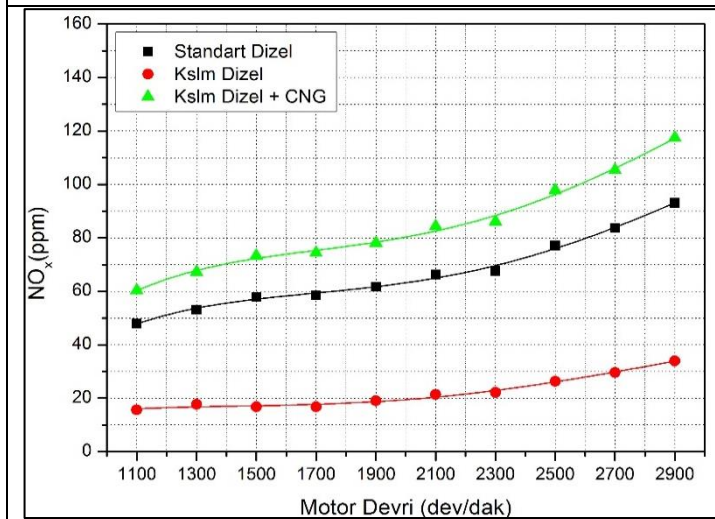
Önemli egzoz emisyon parametrelerinden biri olan NO_x salınımı, yapılan bir takım düzenlemelerle kısıtlanmakta ve bu kısıtlamalar gün geçtikçe daha katı bir hale gelmektedir. Diğer yandan dizel motorların en büyük problemlerinden olup salınım miktarı benzinli motorlara kıyasla çok daha yüksek seviyelerde olduğu bilinen bir gerçektir. Silindir içine alınan havanın içinde bulunan azot (N₂) molekülü NO_x oluşumunun temel sebebi olarak bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklarda bu azot molekülleri (N₂) ayrışarak azot atomuna (N) dönüşürler ve daha fazla NO_x oluşumuna sebep olurlar. Şekil 4.18'de Motor Devri - NO_x grafiği gösterilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, silindir içinde gerçekleşen yanma olayının iyileşmesi sonucu NO_x değerleri standart dizele göre % 26,6 artmıştır.



Şekil 4.16. Motor Devri - CO grafiği.



Şekil 4.17. Motor Devri – CO₂ grafiği.



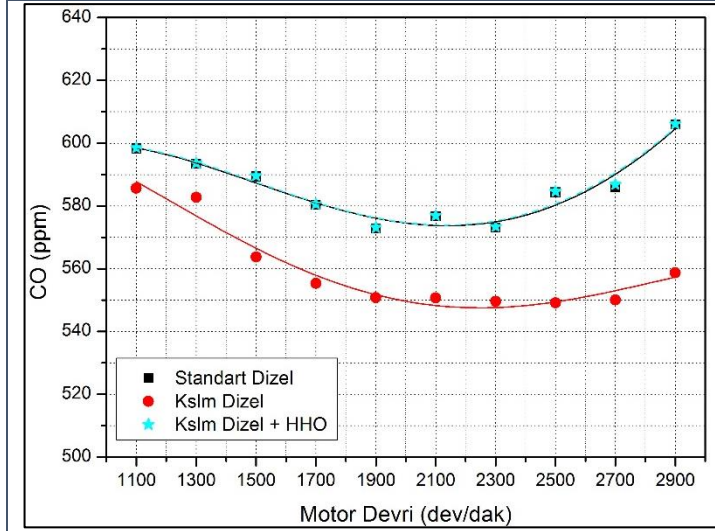
Şekil 4.18. Motor Devri - NO_x grafiği.

4.2.2. Kısılmış Dizel + HHO Emisyon Sonuçları

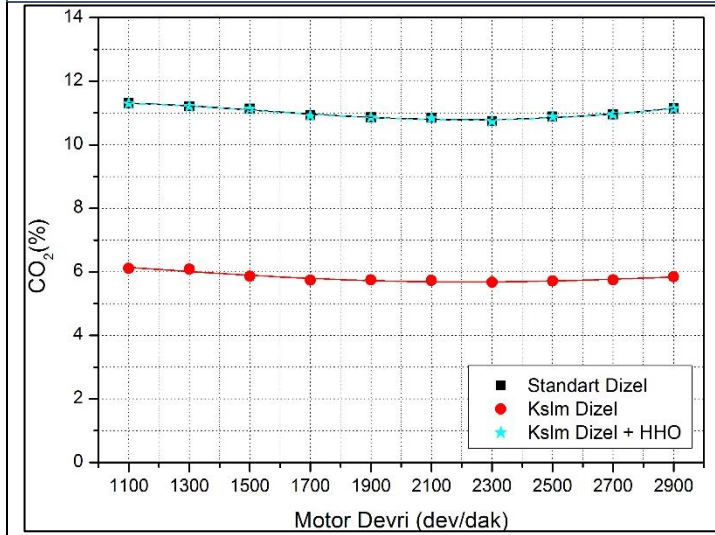
Artan oksijen konsantrasyonuna rağmen hidrojenin yanma olayını hızlandırması ve ısıl verimliliği yükselterek yanmamış karbon oranının düşürülmesini sağlarken karbonmonoksit üretimini arttırmıştır. Motor Devri - CO grafiği Şekil 4.19.' da verilmektedir. Açıkça görüldüğü gibi kısılmış dizel + HHO yakıt karışımı, hidrojenin hızlı yanması sonucunda genel ortalama % 0,05 daha fazla CO üretmiştir.

Şekil 4.20.'de Motor Devri - CO₂ grafiği verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi, CO₂ salınımı % 0,07 düşürülmüştür. Bu azalmanın temel sebebi, çoğunlukla silindirlere giren hidrokarbon yakıtının miktarıyla doğrudan alakalıdır. Hidrojen zenginleştirilmesi sonucu, yanma işleminin hızlanması ve püskürtülen yakıtın kısılmasından dolayı, kısılmış dizel + HHO zenginleştirilmesi, standart dizel motorunun çalışmasından daha düşük CO₂ seviyeleri ürettiği görülmektedir.

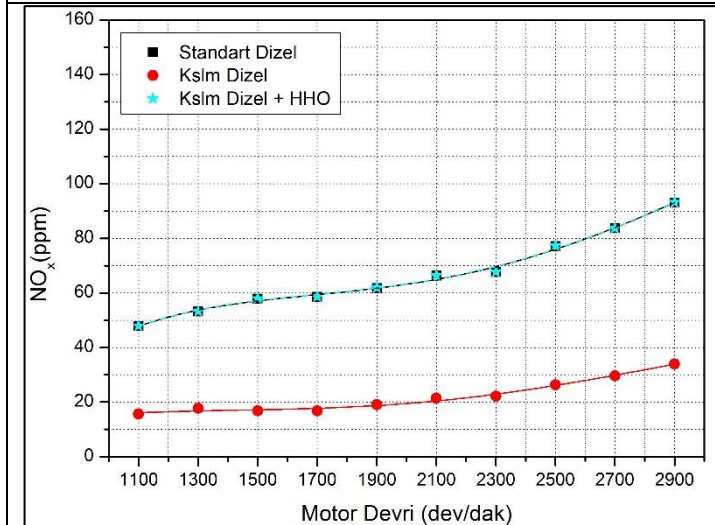
Şekil 4.21'de Motor Devri - NO_x grafiği gösterilmiştir. Silindir içine alınan havanın içinde bulunan azot (N₂) molekülü NO_x oluşumunun temel sebebi olarak bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklarda bu azot molekülleri (N₂) ayrışarak azot atomuna (N) dönüşürler ve daha fazla NO_x oluşumuna sebep olurlar. Şekilden de anlaşılacağı gibi, silindir içinde gerçekleşen yanma olayını iyileştirmiş olsa da silindir içine alınan hava, hidroksi gazının kapladığı hacim nedeniyle düşmüş ve bu sebeple NO_x değerleri standart dizel ile aynı seviyelerde kalmış ve genel ortalama % 0,12 artmıştır.



Şekil 4.19. Motor Devri - CO grafiği.



4.20. Motor Devri – CO₂ grafiği.



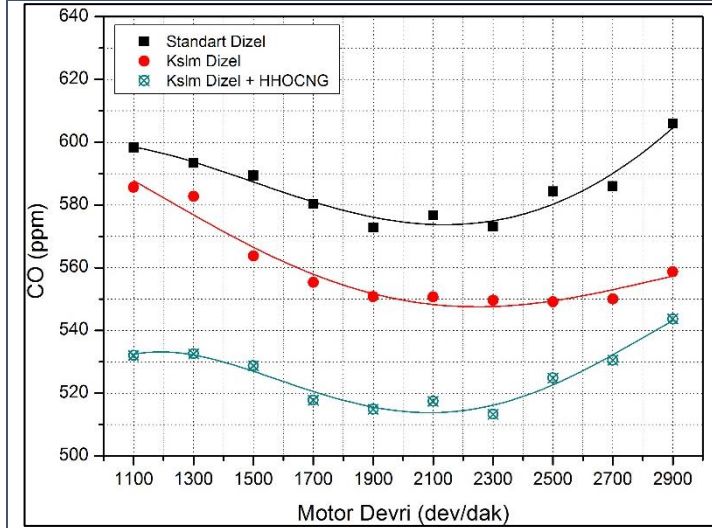
4.21. Motor Devri - NO_x grafiği

4.2.3 Kısılmış Dizel + 25HHOCNG Emisyon Sonuçları

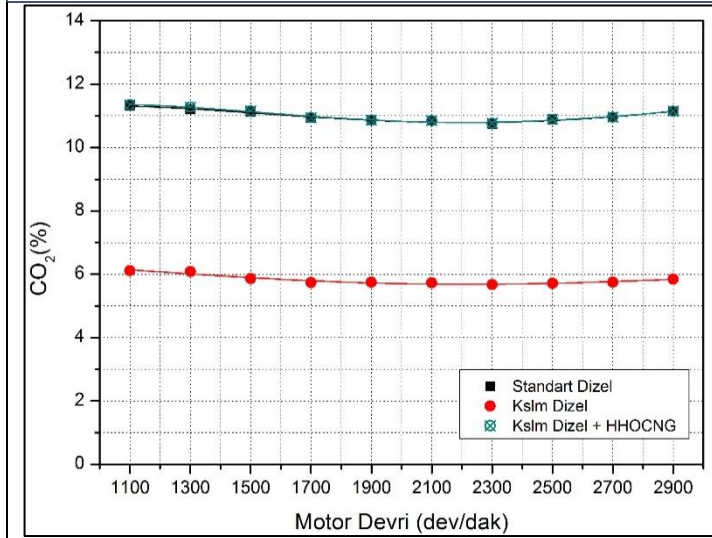
Yanma sırasında, yakıt ile silindire alınan bütün karbon (C) atomlarını karbondioksite (CO₂) dönüştürmeye yeterli oksijen (O₂) veya zaman bulunmadığı zaman, silindir içine alınan yakıt tam olarak yanmaz ve bazı karbon (C) atomları karbonmonoksit (CO) olarak silindirlerden atılır. Bu durum, sadece emisyon salınımını değil aynı zamanda kaybedilen kimyasal enerjiyi de temsil eder. Motor Devri - CO grafiği Şekil 4.22' de verilmektedir. Açıkça görüldüğü gibi özellikle düşük devirlerde kısılmış dizel + HHOCNG yakıt karışımı, gaz yakıt zenginleştirilmesi sayesinde daha iyi bir yanma karakteristiği göstermiş ve genel ortalama % 10,31 daha az CO üretmiştir.

Şekil 4.23' de Motor Devri - CO₂ grafiği verilmiştir. Grafikten anlaşılacağı gibi, CO₂ salınımının % 0,15 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın temel sebebi, çoğunlukla silindirlere giren hidrokarbon yakıtının miktarıyla doğrudan alakalıdır. Sıvı yakıtın kısılması ve yerine gaz yakıt kullanılması, motora giren hidrokarbon miktarını doğrudan düşürür. Bu nedenle, kısılmış dizel + HHOCNG zenginleştirilmesi, standart dizel motorunun çalışmasından daha düşük CO₂ seviyeleri ürettiği görülmektedir.

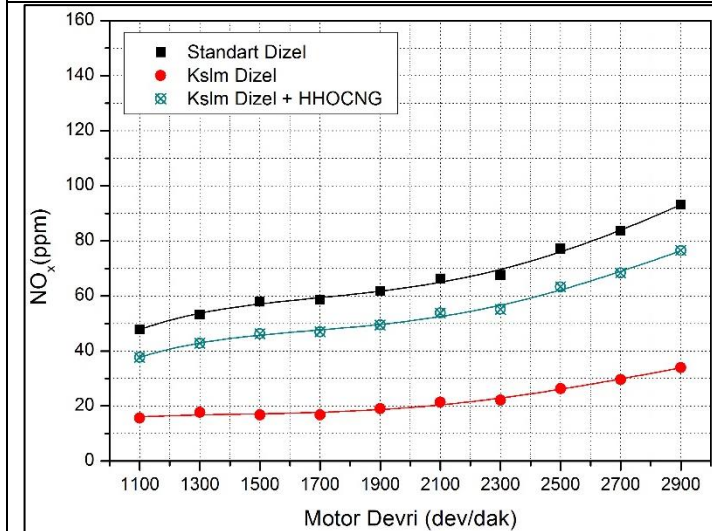
Şekil 4.24' de Motor Devri - NO_x grafiği gösterilmiştir. Daha önceki bölüm yüksek sıcaklıklarda azot molekülleri (N₂) ayrışarak azot atomuna (N) dönüşürler ve daha fazla NO_x oluşumuna sebep olurlar Şekilden de anlaşılacağı gibi, kısılmış dizel + HHOCNG yakıt karışımı silindir içine alınan hava miktarının diğer yakıtlara göre düşük olması sebebiyle en düşük NO_x formasyonuna sahip olmuş ve standart dizele göre NO_x değerlerini % 19,03 oranında azaltmıştır.



Şekil 4.22. Motor Devri - CO grafiği.



Şekil 4.23. Motor Devri – CO₂ grafiği.



Şekil 4.24. Motor Devri - NO_x grafiği.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; standart dizel, kısılmış dizel + sıkıştırılmış doğalgaz, kısılmış dizel + hidroksi gaz ve kısılmış dizel + hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgaz yakıt karışımları, AVL şirketi tarafından geliştirilen AVL Boost simülasyon programı kullanılarak modellenmiş ve yakıtlar emme manifoldu üzerinden silindirlere gönderilmiştir. Çalışmada, herhangi bir yapısal değişiklik yapılmadan modellenen dizel motorda pilot püskürtme yöntemine benzer bir şekilde silindirlere püskürtülen dizel yakıt miktarı düşürülmüştür. Kullanılan alternatif yakıtların performans ve emisyon değerlerine olan etkilerini analiz etmek için “General Species Transport” seçeneği kullanılarak simülasyon yapılmıştır. Simülasyon programında, 4.8 L, 6 silindir, 4 zamanlı, turbo beslemeli model dizel motoru üzerinde belirlenen noktalara ölçüm noktaları oluşturulmuş ve bu noktalar yardımı ile birlikte performans değerleri olarak tork, güç, özgül yakıt tüketimi, hacimsel verim ve indike ortalama efektif basınç; emisyon değerleri olarak ise CO, CO₂ ve NO_x analizleri elde edilmiştir. Sonuçlar grafik şeklinde standart dizel ve kısılmış dizel operasyonları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Kullanılan simülasyon programı hesaplamalarda simülasyon sonuçlarını en doğru şekilde verebilmek için özel ve temel matematiksel yaklaşımlar içermektedir. Bu çalışmanın üçüncü bölümünde bu matematiksel yaklaşımlar formül ve şekillerle halinde verilmiştir.

Motor modellenmesi sırasında; sınır şartları ile birlikte programın ana detayları oluşturulmuştur. Alternatif veya zenginleştirmede kullanılan yakıtlar ve özellikleri ile pilot püskürtme benzeri oluşturulan dizel kısılma işlemleri programa ayrıca tanıtılmış ve analizler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara en az hata payı ile yaklaşabilmek için; her bir simülasyon 5000 defa tekrar edilmiş ve deney döngüsünün ortalamaları bilgisayar tarafından hesaplanarak elde edilmiştir.

Yer yüzünde bol miktarda elde edilebilme potansiyeline sahip olan hidrojenin, diğer yakıtlarla kıyaslandığında daha verimli yanma özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Yakıt olarak kullanıldığında, karbon ve sülfür içermediği için yanma ürünleri arasında CO, CO₂ ve yanmamış karbon partikülleri yoktur. Teorik olarak hidrojen yandığı zaman sadece su oluşmaktadır. Ayrıca hidrojen diğer fosil yakıtlarla birlikte kullanılabilme özelliğine sahip olması sebebiyle, birlikte kullanıldığı yakıt ile birlikte silindir içine alınan hava miktarını düşürerek NO_x oluşumunun düşürülmesini sağlamaktadır.

Doğalgazın motorlarda yakıt olarak kullanılması ise sıkıştırılmış doğalgazın depolama ve elde edilebilme kolaylıklarına göre diğer yakıtlardan daha ucuz hale gelmesini sağlamıştır.

Performans değerleri bakımından da karışımını oluşturan gazların yüzdesine göre değişmekle birlikte, sıvı yakıtlara kıyaslandığında gaz yakıtların ısı değerleri (kalorifik değer) daha yüksektir. Özellikle emisyon salınımı konusunda NO_x düşürücü görevi gören bu alternatif gaz yakıt, içten yanmalı motorlarda son 20 yıldır sıklıkla kullanılmaktadır.

Hidroksi ve sıkıştırılmış doğalgaz kullanılan ve simülasyonu yapılan yakıtlardan elde edilen sonuçlar ilgili literatür taramasıyla da benzerlik göstermektedir.

Motor performans verileri açısından yapılan simülasyon sonuçları detaylı bir şekilde özetlenecek olursa; Kısılmış dizel + sıkıştırılmış doğalgazın (CNG) normal dizel verilerine göre kıyaslamasında; % 6,62 daha fazla tork ürettiği, güçteki iyileşme oranının % 6,71 olduğu, özgül yakıt tüketimi seviyelerini % 6.23 oranında düşürdüğü, hacimsel verimliliği % 0,001 düşürdüğü ve indike ortalama efektif basıncı % 5,96 yükselttiği görülmüştür.

Kısılmış dizel + hidroksi gaz (HHO) karışımının normal dizel verilerine göre kıyaslamasında; % 0,02 daha fazla tork ürettiği; güçteki iyileşme oranının % 0,021 olduğu; özgül yakıt tüketimi seviyelerini % 0,02 oranında düşürdüğü; hacimsel verimliliği % 0,15 azalmış; indike ortalama efektif basıncı ise % 0,18 yükselttiği belirtilmiştir.

Kısılmış dizel + hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgazın (HHOCNG) normal dizel verilerine göre karşılaştırılmasında; %, 1,67 daha fazla tork ürettiği; güçteki iyileşme oranının % 4,13 olduğu; özgül yakıt tüketimi seviyelerini % 3,92 oranında düşürdüğü; hacimsel verimliliği % 0,434 azalmış; indike ortalama efektif basıncı ise % 3,66 yükselttiği analiz edilmiştir.

Egzoz emisyonları otomobillerde ve içten yanmalı motorlarda yanma sonrası açığa çıkan ve egzoz yardımıyla silindirlere atılan yanma sonrası ürünler olarak tanımlanmaktadır. Bu emisyonlar, hidrokarbon(HC), karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), sülfür ve yanmamış karbon partikülleridir. Bunlar çevre kirliliğine sebep olurken, aynı zamanda küresel ısınmaya, asit yağmurlarına, solunum ve diğer hastalıklara katkıda bulunurlar. Bu sebeplerden dolayı, son zamanlarda araştırmacılar emisyon salınımlarını düşürmek ve bu konu ile ilgili yeni teknolojiler üretmek çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır.

Egzoz emisyon salınımları açısından yapılan detaylı simülasyon sonuçları özetlenecek olursa; Kısılmış dizel + sıkıştırılmış doğalgazın elde edilen verilerin ortalamaları sonucu normal dizel verilerine göre kıyaslamasında, % 5,0 daha az CO ürettiği, CO₂ değerlerinde iyileşme oranının % 3,75 olduğu ve NO_x salınımını % 26,6 oranında düşürdüğü görülmüştür.

Kısılmış dizel + hidroksi gaz karışımının normal dizel verilerine göre kıyaslamasında; % 0,05 daha az CO ürettiği, CO₂ değerlerinde iyileşme oranının % 0,07 olduğu ve NO_x salınımını % 0,12 oranında arttırdığı analizler sonucu elde edilen verilerin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Kısılmış dizel + hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgazın normal dizel verilerine göre karşılaştırılmasında; CO üretimini % 10,31 oranında düşürdüğü, CO₂ değerlerinde % 0,15 iyileşme olduğu ve NO_x salınımını % 19,03 oranında azalttığı analizler sonucu elde edilen verilerin ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Analiz sonuçlarında; standart dizel yakıt ile gaz karışımı kısılmış dizel yakıtlı operasyonlar arasında performans sonuçlarına göre; kısılmış dizel + sıkıştırılmış doğalgaz karışımı diğer yakıtlardan daha iyi sonuçlar vermiştir. Emisyon analizlerinde de CO₂ hariç yine kısılmış dizel + hidroksi gaz ile zenginleştirilmiş sıkıştırılmış doğalgaz karışımı diğer yakıtlara nazaran emisyon salınımını düşürmüştür.

Genel sonuç olarak alternatif yakıtlar arasında önemli bir yere sahip olan hidroksi gaz ve sıkıştırılmış doğalgazın dizel motorlarda kullanımı; hem performans hem de emisyonlarda iyileştirme göstermiştir.

Ayrıca AVL Boost programı ile yapılan simülasyonlar sonucu elde edilen verilerin güvenilirliği, otomotiv teknolojileri ile ilgili konularda simülasyon programlarının detaylı bilgi ve çözümlerinin, araştırmacılara kolaylık sağladığı gözlemlenmiştir.

İlerideki çalışmalarda araştırmacılara hidroksi gazın mühendislik özelliklerinin daha net ortaya konabilmesi için yapılacak çalışmalar ve alternatif yakıtların çeşitlendirilmesinde simülasyon programlarının yerinin artırılması konuları önerilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Al-Rousan, A. A. 2010. Reduction Of Fuel Consumption In Gasoline Engines By Introducing HHO Gas Into Intake Manifold, **Internal Journal Of Hydrogen Energy**, 35: 12930-35.
- Arat, H.T., Baltacioğlu, M.K., Özcanli, M., Aydin, K.,2015. “Effect of using hydroxy-cng fuel mixtures in a non-modified diesel engine by substitution of diesel fuel”. **6th International Conference on Hydrogen Production**, 1: 423–430.
- AVL BOOST v2011 Theory, 2011.
- AVL BOOST v2013.2 Theory, 2013.
- Ayhan, M., & Sekmen, P. Buji Ateşlemeli Tek Silindirli Bir Motorda Doğalgazın Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması Using Natural Gas As An Alternative Fuel In A Single Cylinder Spark Ignition Engine.
- Bari, S., Esmail, M.M., 2010. “Effect Of H₂/O₂ Addition In Increasing The Thermal Efficiency Of A Diesel Engine”. **Fuel**; 89: 378–383
- Baltacioğlu, M.K., Arat, H.T., Özcanli, M., Aydin, K., 2015. Experimental comparison of pure hydrogen and HHO (hydroxy) enriched biodiesel (B10) fuel in a commercial diesel engine. **6th International Conference on Hydrogen Production**, 1: 431–438.
- Birtas A., Chiriac, R., 2011. “A Study Of Injection Timing For A Diesel Engine Operating With Gasoil And HRG Gas”, **U.P.B. Sci. Bull., Series D**; 73/4: 65-78.
- Bora, HY., (2002). **LPG ve CNG Uygulamaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı**, Ankara, s.15-23.
- Borat, O., Balci, M. ve Sürmen, A. 1994. “İçten yanmalı motorlar”. **In Cilt 1, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları**, Ankara: Matbaa Eğitimi Bölümü.
- Çeper, B. A., Akansu, S. O., & Kahraman, N. (2009). Investigation of cylinder pressure for H₂/CH₄ mixtures at different loads. **International journal of hydrogen energy**, 34(11), 4855-4861.
- Ciniviz, M., Köse, H., 2012. “Hydrogen Use in Internal Combustion Engine: A Review”, **International Journal of Automotive Engineering and Technologies** 1, (1): 1 – 15.
- Demirci, A. 2010. “Elektroliz Yöntemi İle Elde Edilen Hidrojenin Dizel Motor Dolgusuna İlavesinin Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, **Yüksek Lisans Tezi**, Marmara Üniversitesi
- Dönmez, D., Semercioğlu H., Cömert Ö. M., Üzmez G., 2009. Dizel motor ile çalışan belediye otobüslerinin incelenmesi ve emisyon envanterlenmesi. **Mühendislik fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi**, Sakarya Üniversitesi.

- Gogg, T. J., & Mott, J. R. (1993, December). Introduction to simulation. **In Proceedings of the 25th conference on Winter simulation** (pp. 9-17). ACM.
- Goyal, P. and Siddhartha, (2003). “Present Scenario Of Air Quality In Delhi: A Case Study Of CNG İmplementation”. **Atmospheric Environment**, 37 5423–5431.
- Hazar, H., Temizer, Ğ., & Gür, F. (2011). Bir Dizel Motorunun Motor Performansı ve Motor Parçaları Üzerinde Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi. **In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11)** (pp. 77-83).
- Hatipoglu, İ.,(1996). İçten Yanmalı Motorlarda Doğal Gaz Kullanımı, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Y. Lisans Tezi**, İstanbul.
- Hordeski, M. F. (2008). Alternative Fuels: The Future of Hydrogen. **The Fairmont Press, Inc.**
- İçingür, Y., & Yamık, H. (2003). Metil Ve Etil Esterin Dizel Yakıtı Olarak Kullanılma İmkanlarının Deneysel Olarak Araştırılması. **Politeknik Dergisi**, 6(2).
- Kegl, B., Kegl, M. & Pehan, S., (2013). Green Diesel Engines, **Biodiesel Usage in Diesel Engines**,© Springer-Verlag London.
- Klingstam, P., & Gullander, P. (1999). Overview of simulation tools for computer-aided production engineering. **Computers in industry**, 38(2), 173-186.
- Kowalewicz, A., & Wojtyniak, M. (2005). Alternative fuels and their application to combustion engines. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, 219, 103–125.
- Kroff, PV., (1996). Doğalgaz Yeni Bir Motor Yakıtı mı?, **MAN Nutzfahrzeuge**.
- Law, A. M., Carson, J. S., Fox, J. G., Halladin, S. K., Musselman, K. J., & Ulgen, O. M. (1993, December). A forum on crucial issues in the simulation of manufacturing systems. **In Proceedings of the 25th conference on Winter simulation** (pp. 916-922). ACM.
- Ma, F., Naeve, N., Wang, M., Jiang, L., Chen, R., Zhao S., (2010). Hydrogen-Enriched Compressed Natural Gas as a Fuel for Engines. Natural Gas, (Ed.), ISBN: 978-953-307-112-1, **InTech.Open Access Publisher**
- Maki, D. F., Prabhakaran, P., 2001. “An Experimental Investigation On Performance And Emissions Of A Multi Cylinder Diesel Engine Fueled With Hydrogen-Diesel Blends. **World Renewable Energy Congress**”, 3557-3564.
- Mbarawa, M., Milton, B.E., CASEY, R.T., 2001. “Experiments And Modeling Of Natural Gas Combustion Ignited By A Pilot Diesel Fuel Spray”. **International Journal of Thermal Science**, 40: 927–936.
- Nwafor, O.M.I., 2000. “Effect Of Choice Of Pilot Fuel On The Performance Of Natural Gas In Diesel Engines”. **Renewable Energy** 21:495-504.

- Papagiannakis, R.G., Rakopoulos, C.D., Hountalas D.T., Rakopoulos D.C., (2010). "Emission Characteristics Of High Speed, Dual Fuel, Compression Ignition Engine Operating In A Wide Range Of Natural Gas/Diesel Fuel Proportions". **Fuel** 89 1397–1406.
- Pegden D., Shannon R., Sadowski R. (1995). Introduction to Simulation using SIMAN. **McGraw-Hill, Blacklick, USA.**
- Poompipatpong, C., Cheenkachorn, K. (2011). A modified diesel engine for natural gas operation: Performance and emission tests. **Energy**, 36(12), 6862–6866.
- Robinson, S., & Bhatia, V. (1995, December). Secrets of successful simulation projects. **In Proceedings of the 27th conference on Winter simulation** (pp. 61-67). IEEE Computer Society.
- "Regulation (EC) No 715/2007". **The European Parliament and the Council of the European Union.** 2007-06-20. pp. 5–9. Retrieved 2015-10-29.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E., & Soruşbay, C. (2013). İçten yanmalı motorlar. **Birsen Yayınevi.**
- Sahoo, B.B., Sahoo, N., Saha, U.K., 2009. "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** 13:1151–1184.
- Samuel, S., McCormick, G., 2010. "Hydrogen Enriched Diesel Combustion". **SAE Technical Paper, 2010-01-2190**, doi:10.4271/2010-01-2190.
- Saravanan, N., Nagarajan, G., 2008. "An Experimental Investigation Of Hydrogen-Enriched Air Induction In A Diesel Engine System". **International Journal of Hydrogen Energy** 33: 1769 – 1775.
- Selim, M. Y. E. 2001. Pressure–time characteristics in diesel engine fueled with natural gas. **Renewable Energy**, 22, 473–489.
- Tangöz S., 2015. "Farklı Sıkıştırma Oranlarındaki Buji Ateşlemeli Bir Motorda Doğalgaz Ve Doğalgaz – Hidrojen Karışımlarının Yakıt Olarak Kullanılmasının Araştırılması" **Doktora Tezi**, Erciyes Üniversitesi.
- Verhelst, S., Wallner, T., 2009. "Hydrogen-Fueled Internal Combustion Engines". **Progress in Energy and Combustion Science** 35:490–527.
- Willard, W. P. (2004). Engineering fundamentals of the internal combustion engine. **Editorial Prentice Hall. New Jersey.**
- Yılmaz, A.C., 2010. "Design And Applications Of Hydroxy (HHO) System". Çukurova University, **MSc. Thesis**, 76 p.
- Zammit, G., Farrugia, M., Ghirlando, R., 2012. "Experimental Investigation Of The Effects Of Hydrogen Enhanced Combustion In SI And CI Engines On Performance And Emissions". **HEFAT 2012**; 641–650

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Hatay ilinin İskenderun ilçesinde doğdum. İlk ve orta öğrenimimi Mithat Paşa İlköğretim okulunda tamamladıktan sonra 2004 yılında İstiklal Makzume Anadolu Lisesi'nde öğrenime devam ettim. Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünden 2013 yılında “Makine Mühendisi” ünvanı ile mezun oldum. Mezun olduktan sonra kısa bir süre özel sektör deneyiminden sonra askere gitmeye karar verdim ve 2014 yılının Kasım ayında askerlik görevimi tamamlamak için Türk Silahlı Kuvvetlerine katıldım. Askerlik görevimi Ankara'da MEBS Okulu Komutanlığında tamamladıktan sonra Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek lisans öğrenimine başladım. Aynı dönem Mustafa Kemal Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı'na araştırma görevlisi olarak atandım. Şu anda İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde görevime devam etmekteyim.

Bu bölümde yapılan yayın çalışmaları sunulmaktadır.

Advanced Engineering Forum
ISSN: 2234-991X, Vol. 18, pp 58-65
doi:10.4028/www.scientific.net/AEF.18.58
© 2016 Trans Tech Publications, Switzerland

Submitted: 2016-06-23
Revised: 2016-08-08
Accepted: 2016-08-11
Online: 2016-09-27

Numerical Comparison of HHO and HHOCNG Fuel Performance Analysis with Pilot Diesel Injection

Raif KENANOĞLU^{1,a}, M. Kaan BALTACIOĞLU^{1,b}, Ertuğrul BALTACIOĞLU^{1,c}

¹Iskenderun Technical University, Faculty of Mechanical Engineering, 31200, Hatay, TURKEY

^araif.kenanoglu@iste.edu.tr, ^bmkaan.baltacioglu@iste.edu.tr, ^certugrul.baltacioglu@iste.edu.tr

Keywords: CI Engine, AVL BOOST, HHO, HHOCNG, Performance.

Abstract. Nowadays, alternative fuels usage is increasing due to limited oil reserves and increasing petrol demands. There are many advantages and disadvantages of alternative fuels when used alone. In this study, alternative fuels with various specifications are mixed in different proportions to tolerate these disadvantages. Hydroxy (HHO) and hydroxy enriched compressed natural gas (HHOCNG) fuel mixtures with pilot diesel injection was used as dual-fuels on a non-modified diesel engine and investigated their performance parameters such as torque (T), power (P), brake specific fuel consumption (BSFC), indicated mean effective pressure (IMEP) and volumetric efficiency (η_v). This study conducted with AVL Boost simulation program and all graphs are plotted to compare HHO and HHOCNG fuel mixtures performance outputs, additionally all results are compared with neat diesel performance values. The general results show that, HHOCNG enrichment has the best improvement values with respect to single HHO enrichment. Overall improvements for BSFC, torque, power and IMEP values of 25 HHOCNG are 4,086%, 1.67%, 4.13% and 3.67%, respectively.

Introduction

Fuel is an important investigation subject for researchers because fuels currently used such as diesel and gasoline have harmful environmental effects and their reserves are limited. These harmful effects are eliminated by using alternative fuels. Alternative fuels such as hydrogen, biodiesel, natural gas, hydroxy etc. reduce harmful engine emissions but at the same time these fuels performance outputs decrease with emissions. Some fuels are used in admixture as a single fuel to prevent decreasing of performance outputs. In this study, we investigated this subject by using HHO and HHOCNG fuel mixtures.

Early studies were initiated by Yull Brown in 1977 via equipment generally referred to as electrolyzers and the resulting gas is known as "brown's gas" or HHO [1]. (In literature, scientists can be named of this gas differently- Aquygen (registered trademark owned by HTA inc.[2]), HHO, hydroxy, oxyhydrogen, hydroxygen, knallgas,etc.). Hydroxy gas is in brown color and the form of unseparated hydrogen and oxygen generated by the electrolysis process of water (NaOH, KOH or NaCl additives for more HHO production and optimum molality to keep electrical resistance-conductivity balance) by a unique electrode design.[3,4]

HHO is a trademark and comes from the separation of water molecules H-OH that contains (theoretically) 66% H₂ and 33% O₂. Hydrogen and oxygen did not form into O₂ and H₂ molecules. They were in their monoatomic state (a single atom per molecule). Water was split by electricity to form its various elements, oxygen and hydrogen. It has high calorific value and 1 kg of HHO is three times as potent as gasoline [1] and eight times as potent as diesel [2]. Also achieving of HHO gas under water electrolysis, several item affected the end product. This affected the efficiency of the HHO generators [5]. When HHO mixture was ignited, both explosion and implosion occurred to form water, releasing the energy that was found in the bonds of the two elements in the form of heat [3,4].

Hydroxy gas was generated and used as a sole fuel in diesel engine to benefit from peculiar features and minimize disadvantages of hydrogen. It was observed that hydroxy system provided advantages in engine performance, emissions and specific fuel consumption at high engine speeds

COMPARISON OF HCNG AND HHOCNG DUAL FUELS USAGE WITH PILOT INJECTION IN A NON-MODIFIED DIESEL ENGINE

RAİF KENANOĞLU³, BAHATTİN TANÇ³, MUSTAFA KAAAN BALTACIOĞLU¹, HÜSEYİN TURAN ARAT¹, MUSTAFA ÖZCANLI², KADİR AYDIN² AND ERTUĞRUL BALTACIOĞLU³

¹Dept. of Petroleum and Naturalgas Eng., Faculty of Engineering, Iskenderun Technical University, HATAY/TURKEY

²Dept. of Automotive Eng., Faculty of Engineering and Architecture, Çukurova University, ADANA/TURKEY

³Dept. of Mechanical Eng., Faculty of Engineering, Iskenderun Technical, HATAY/TURKEY

rkenanoglu@mku.edu.tr, btanc@mku.edu.tr, kaanbalta@mku.edu.tr, htarat@mku.edu.tr, ozcanli@cu.edu.tr,

kdraydin@cu.edu.tr, baltaci@mku.edu.tr

Abstract

Today one of the major environmental problems is internal combustion engine exhaust emission gases on the world. Due to these harmful effects of emissions such as carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO₂) and nitrogen oxides (NO_x) some associations take a number of decisions about strictly restricted of releasing these gases such as Euro 5 and Euro 6 standards. In this experimental study, in order to decrease of emission gases, Compressed Natural Gas (CNG) Fuel was partially used in 3.6 L pilot injection non-modified diesel engine. And then CNG fuel has enriched with Hydrogen (H) and/or Hydroxy (HHO) gases to tolerate disadvantages of CNG fuel about performance and emissions. In this paper, it is also given comparison of usage CNG, HCNG and HHOCNG relatively to neat diesel performance and emissions values. HHOCNG fuel has the best overall mean values about performance parameters, Brake Torque and Brake Power values are increased %8.42 and %16.9, respectively. Meanwhile BSFC value is decreased %15.72. On the other hand, alternative gaseous fuels have playing an important role on reducing the exhaust emission gases output parameters. Maximum reduction of CO₂ and NO_x emissions are obtained with CNG as %41.31 and %47.16, respectively. However, CO values increased relatively to neat diesel.

Keywords: HCNG, Hydroxy, pilot injection, performance, emission

INTRODUCTION

In recent years, an emphasis on reducing pollutant emissions from petroleum-based engines has motivated the development and testing of several alternative fuels. Alternative fuels are one option for reducing these harmful pollutants; they should also not emit other pollutants like aldehydes, ketones and SO_x. (Saravanan and Nagarajan,2008). According to Papagiannakis, et al. (2007), one of the main objectives for improving the combustion process of conventional internal combustion engines is to find effective ways to reduce exhaust emissions, without making serious modifications on their mechanical structure.

Çeper, (2012) suggested that, alternative fuels such as CNG, HCNG, LPG, LNG, bio-diesel, biogas, hydrogen, ethanol, methanol, di-methyl ether, producer gas, and P-series have been tried worldwide. The use of hydrogen as a future fuel for internal combustion (IC) engines is also being considered. However, several obstacles have to be overcome before the commercialization of hydrogen as an IC engine fuel for the automotive sector. Hydrogen and CNG blends (HCNG) may be considered as an automotive fuel without requiring any major modification in the existing CNG engine and infrastructure. Park, et al. (2013) mentioned that, hydrogen-natural gas blends (HCNG) have the advantage of lower emission levels, because of their lean combustion characteristics, compared to a direct injection diesel engine equipped with a high-cost fuel supply system and an after treatment system for heavy-duty vehicles. Carlucci, et al. (2011) stated that The self-ignition temperature of hydrogen is 858 K, so hydrogen cannot be used directly in a CI engine without a spark plug or glow plug. This makes hydrogen unsuitable as a sole fuel for diesel engines. Saravanan and Nagarajan,(2008, pp.1770) reported that, one alternative method is to use hydrogen in enrichment or induction, in which diesel is used as a pilot fuel for ignition. With a lesser pilot quantity of diesel, hydrogen-enriched engines give higher brake thermal efficiency with smoother combustion than a diesel engine. Increasing hydrogen beyond a certain quantity results in knocking; at the highest diesel flow rate, thermal efficiency is found to be the same as that of diesel engines. As an important point has to be referred by Jing (2014, pp.155)that, pilot injection combined with higher injection pressure could reduce NO_x by 35% and smoke by 60-80% without increasing the fuel consumption compared to single injection. Hydrogen and CNG have critical combustion properties when used in internal combustion engine (ICE) as a fuel and /or additive. Papagiannakis, et al. (2010, pp.1130) reported that, due to its relatively high auto-ignition temperature natural gas is suitable for engines with relatively high compression ratio (i.e., compression ignition engines (CI)). Thus, many conventional compression ignition engines can also operate on dual fuel principle (i.e., natural gas and diesel fuel). For the majority of the compression ignition engines, natural gas is most usually inducted with the air during the induction stroke. Literature suggested that the main drawback of pilot ignited natural gas/diesel engine operation in contrast with conventional diesel operation is the negative effect on engine efficiency, carbon monoxide (CO) and unburned hydrocarbon (HC) emissions, especially at low and intermediate load operating points.

Numerical Investigation of a Hydroxy Enriched Compressed Natural Gas (HHOCNG) usage with Pilot Diesel Injection

Raif KENANOĞLU

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Bahattin TANÇ

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Ertuğrul BALTACIOĞLU

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Hüseyin Turan ARAT*

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Mustafa Kaan BALTACIOĞLU

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Corresponding Author e-mail: kaanbaltacioğlu@gmail.com

ABSTRACT

Performance analysis of a non-modified diesel engine is numerical investigated in this present work. Comparisons between standard diesel fuel, substituted diesel fuel and dual fuel usage are obtained by AVL BOOST simulation program. 50% of diesel fuel amount is replaced with HHOCNG (hydroxyl enriched compressed natural gas) fuel blend. The objective of the study is to examine engine performance parameters affected by the use of HHOCNG fuel blend with pilot injection method. As a general result showed that, HHOCNG fuel will be taken into consideration on behalf of the performance outputs. System modeling and results are discussed and presented with figures.

Keywords: Performance, AVL Boost, HHOCNG, Diesel Substitution

1 INTRODUCTION

In recent years, dependence on petroleum based fuels were tried to reduce. Because, oil reserves are decreasing and its emissions values are highly damaging to the environment. Although harmful effects to the environment of diesel fuels are known, their performance parameters provide widely using area. In order to tolerate performance parameters of diesel fuel, researchers have tried to use alternative fuels after reduction of diesel fuel.

Most of the initial interest in alternative fuels started after the oil crisis in the 1970s. It has been grown more recently by concerns about supply interruptions, high prices, air quality and greenhouse gases. The concern of the air quality in many areas around the world makes finding solutions more urgent. As the price of oil rises, alternate fuels become more competitive. Major questions remain to be answered on which fuel or fuels will emerge and to what extent alternative sources will replace gasoline as the main product of crude oil [1].

Engine management and alternative fuels usage offer a possibility to reduce the formation of harmful emissions. Diesel engine characteristics depend significantly on the engine type. But, even for a

Numerical Emission Analyses of a Diesel Engine Fuelled with HHOCNG

Bahattin TANÇ

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Raif KENANOĞLU

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Ertuğrul BALTACIOĞLU

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Mustafa Kaan BALTACIOĞLU*

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Hüseyin Turan ARAT

Faculty of Mechanical Engineering, Iskenderun Technical University

Corresponding Author e-mail: kaanbaltacioğlu@gmail.com

ABSTRACT

In this numerical study, a 6L, six cylinder, turbocharged, air cooled diesel engine was run under three different cases with AVL-Boost v2013 for simulated the exhaust emission parameters. In numerical analyses; first case is considered as neat diesel fuel and second one is substituted diesel fuel and the third one is substituted diesel fuel + HHOCNG (Hydroxy-Compressed Natural Gas) fuel mixture. Both cases have playing an important role for dual fuelled diesel engines. Substitution of diesel quantity is used as similar to pilot diesel injection phenomenon. Model engine was operated between 1000-3000 rpms and emission parameters were listed as; NO_x, CO, CO₂ and EGT. As a general result, HHOCNG+ substituted diesel fuel mixture was environmental emission outputs.

Keywords: Exhaust Emissions, AVL Boost, HHOCNG, Diesel Substitution

1 INTRODUCTION

Diesel engines provide important fuel economy and durability advantages for large heavy-duty trucks, buses, non-road equipment and passenger cars. They are often the power plant of choice for heavy and light-duty applications. While they have many advantages, they also have the disadvantage of emitting significant amounts of particulate matter (PM), NO_x, hydrocarbon (HC), carbon monoxide (CO), and toxic air pollutants [1]. In order to reduce toxic emissions as well as GHG (greenhouse gas), natural gas are widely used on taxis, buses and light-duty trucks as an additive or main fuel. With the development of natural gas combustion technology, utilization of natural gas engines has also been extended to heavy-duty trucks and marine main impellers, where good power performance is in great demand. The methods of improving combustion and emission characteristics of engines fuelled with natural gas and pilot diesel have been extensively studied in recent years, however, most of them are focused on pilot-ignited premixed natural gas engines.[2,-10]. Beside, author's previous works could be useful for more understandable knowledge.

PİLOT PÜSKÜRTME YÖNTEMİYLE MODİFİYE EDİLMEMİŞ DİZEL MOTORDA 20HCNG GAZ YAKITININ PERFORMANS VE EMİSYONLARA ETKİSİ

Raif KENANOĞLU^{1*}, Bahattin TANÇI¹, Şafak YILDIZHAN², M. Kaan
BALTACIOĞLU³, H.Turan ARAT³, Hasan SERİN², Mustafa ÖZCANLI², Kadir AYDIN⁴

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Müh. Böl., 31200/İskenderun

²Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Otomotiv Müh. Böl. 01300/Adana

³İskenderun Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Petrol ve Doğalgaz Müh. Böl. 31200/İskenderun

⁴Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fak., Makine Müh. Böl. 01300/Adana

S. Yazar e-mail: rkenanoglu@imku.edu.tr

ÖZET

Dünyada fosil yakıt kullanımı çevresel faktörler, petrol rezervlerinin azalması ve buna bağlı olarak petrol fiyatlarının artmasıyla birlikte önemli bir sorun haline almaktadır. Bu sorun araştırmacıları alternatif yakıtlar üzerinde çalışmaya itmektedir. Bu çalışmada %20 Hidrojen + %80 sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) yakıt karışımı, emme manifoldu üzerinde oluşturulan karışım odası vasıtasıyla motora enjekte edilmektedir. Yapısal değişiklik yapılmayan dizel motorda pilot püskürtme yöntemi ile yapılan deneylerde yakıtların performans ve emisyon değerlerine olan etkileri araştırılmıştır. Deneylerde, yakıt pompası plancur üzerinde akuple edilen step motor yardımıyla dizel yakıt püskürtmesi %20 düşürülerek pilot püskürtme gerçekleştirilmiştir. 3.6 L, 4 silindirik, 4 zamanlı, hava soğutmalı test dizel motoruna bağlı dinamometre ile testler 1300- 2600 dev/dak aralığında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde; normal dizel yakıt ile 20HCNG gaz yakıt ile zenginleştirilmiş yakıt karşılaştırılmasında, performans bakımından sırayla tork, güç ve özgül yakıt tüketiminde; %5; %2,2 %17; düşüş gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonlarında ise CO için %7,5 artış, CO₂ ve NO_x değerleri içinse %4 ile %21 azalış elde edilmiştir. Pilot püskürtme yöntemiyle emisyonlarda ciddi düşüşler elde edilmiş ve diğer çift-yakıt sistemlerine nazaran performansta da çok küçük düşüşler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojen, CNG, Pilot Dizel Püskürtme, Performans, Emisyon

EFFECTS OF ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS OF 20 HCNG GAS MIXTURE USING ON A NON-MODIFIED DIESEL ENGINE WITH PILOT DIESEL INJECTION TECHNIQUE

ABSTRACT

Using of fossil fuel is a major problem in the world cause of environmental factors, depending on the reduction of oil reserves and the increasing of oil prices. These problems are encouraged to researchers for working on alternative fuels. In this study, 20% hydrogen and 80% compressed natural gas (CNG) fuel mixture is injected by mixture chamber which is placed on the intake manifold. Beside, engine performance and emission were investigated of fuels on a non modified diesel engine with pilot injection technique. In the experiments, substituted diesel fuel injection occurred with the helped of stepping motor which stated on to the fuel pump plunger with 20%. 3.6 L, 4-cylinder, 4-stroke, air-cooled test diesel engine connected to a dynamometer that operated the tests in range of 1300- 2600 rev / min. In comparison with 20HCNG enriched gas fuel between regular diesel fuel, in order in terms of performance, torque, power and specific fuel consumption; 5%; 2.2% to 17%; decrease was observed. For emissions, 7.5% increase for CO while CO₂, NO_x values were obtained 4% and 21% reduction respectively. Both serious reductions of emissions obtained from using pilot diesel injection technique and moreover other dual fuel systems; pilot injection observed less reduction in performance scale.

Keywords: Hydrogen, CNG, Pilot Diesel Injection, Performance, Emissions