



**ÇİFT YAKITLI (BENZİN + SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI) BİR BENZİN
MOTORUNUN İDEAL EMİSYON ÜRÜNLERİNE BAĞLI OLARAK OPTİMAL
KARIŞIM ORANININ İNCELENMESİ**

***(INVESTIGATION OF OPTIMUM MIXTURE RATIO OF DUAL FUELS
ACCORDING TO IDEALIZED ENGINE EMISSIONS RESULTING FROM THE
COMBUSTION OF GASOLINE SUPPLEMENTED WITH LPG)***

Cenk SAYIN*, Mustafa ÇANAKÇI*, İbrahim KILIÇASLAN*, Necati ÖZSEZEN*

ÖZET/ABSTRACT

İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çabaları, çift yakıtlı çalışan motorlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, çift yakıt (benzin+SPG) kullanım oranına bağlı olarak yanma ürünlerinin değişimi, hazırlanan bir bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Bu çalışma, gelecekte yapılacak deneysel çalışmalar için teorik alt yapı oluşturacaktır.

To reduce brake specific fuel consumption and exhaust emissions in internal combustion engine is the start of the investigations on the engines that use dual fuels. This study discusses the results of dual fuel (gasoline+LPG) emissions calculated using a derived computer program. For future work, this theoretical study can be used as a guide for experimental study.

ANAHTAR KELİMELELER/KEY WORDS

Çift yakıt, Egzoz emisyonu, Benzin motoru
Dual fuel, Exhaust emission, Gasoline engine

1. GİRİŞ

Dünya nüfus artışına paralel olarak artan enerji tüketimi yüzünden bilinen rezervlerin ancak 21.yüzyılın ortalarına kadar ihtiyacı karşılayabileceği iddiası, bilim dünyasında derin endişelere neden olmaktadır. Mevcut enerji kaynaklarının hızla tükenmekte olması, taşıtlarda kullanılacak alternatif yakıt tipleri konusunda araştırmalar yapılmasını gerektirmektedir (Gümüş ve Tekin, 2001; Schoenmaker, 1996).

Diğer taraftan hava kirliliğine neden olan hidrokarbon esaslı yakıtların yanması neticesinde açığa çıkan CO, HC ve NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi sağlık problemleri oluşturmaktadırlar. Karbon ihtiva eden yakıtları yakan sabit, endüstriyel motorlar, enerji tesisleri ve evsel kazanlardan çıkan atık gazların hava kirliliği oluşumundaki katkıları her ne kadar büyükse de, yapılan istatistikler sonucunda büyük şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin toplam hava kirliliği içindeki payının %50' lere kadar ulaştığı bilinmektedir (Sharma ve Khara, 2001; Şen vd., 1996).

Son yıllarda artan çevre bilincine ve mevcut enerji kaynaklarının biteceği kuşkularına paralel olarak özellikle gelişmiş ülkelerde hükümetlerin yaptırımları, üniversitelerin yönlendirmeleri üretici firmaları çevreyi kirletmeyen, alternatif yakıtlı ve tahrikli ürünleri geliştirmeye sevk etmiştir. Bu nedenle otomotiv sektörü egzoz emisyonlarını aşağıya çekecek tedbirler almaya ve alternatif yakıtları kullanabilecek motorlar üretmeye başlamıştır (Gümüş ve Tekin, 2001; Nichols, 1982).

Motorlu taşıt yakıtları içinde; sıvılaştırılmış petrol gazı (SPG) benzin ve dizele göre daha temiz egzoz emisyonu verdiği için bir çok ülkede kullanılmakta ve kullanımı teşvik edilmektedir. Ayrıca SPG, bazı ülkelerde benzin ve dizel yakıt fiyatlarına göre daha ucuz olması nedeniyle, kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir (İçingür ve Haksever, 1998; Ergeneman ve Soruşbay, 1996).

SPG; Propan (C₃H₁₀) ve Bütan (C₄H₁₀)'ın belirli oranlardaki karışımından oluşup, sıvılaştırılmış petrol gazları kelimelerinin baş harflerini ifade eder. Dünyadaki SPG üretiminin %61' i doğal gaz, %39' u ise petrol rafinerilerinden gelmektedir (TMMOB, 1999).

SPG yakıtı bazı emisyonlar yönünden diğer yakıtlara göre daha temizdir. Özellikle CO emisyonları benzine göre daha düşük değerlere inerken HC ve NO_x miktarındaki düşüş daha az olmaktadır. Ayrıca SPG yakıtı içinde, benzin ve kurşunsuz benzine, oktan sayısını artırmak için katılan kurşun tetra etil bulunmamaktadır. Bu durum SPG yakıtının egzozdaki kirletici emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır. Yakıt içerisinde kükürt bulunmaması nedeniyle, kükürt oksit emisyonu da söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is ve partikül emisyonları da oluşmaz (İçingür ve Haksever, 1998).

Latusek ve Burrham (1993) yaptıkları çalışmada iki ve dört zamanlı motorlarda, benzin ve sıvılaştırılmış petrol gazı yakıtını deneyerek emisyon değerlerini karşılaştırmışlardır. HC+NO_x emisyonları %19,6 ve CO emisyonları %27,4 oranında azalmıştır. Propan ve bütanın kendiliğinden tutuşma sıcaklığı benzine göre yüksektir. Bu nedenden dolayı, SPG yakıtının uygun emisyon değerleri için daha fazla ateşleme avansı gerektirmiştir. Ateşleme zaman ayarı ile NO_x emisyonları artış eğilimi göstermiştir.

İçingür ve Haksever (1998), dört silindri, dört zamanlı, buji ile ateşlemeli benzinli bir motorda SPG yakıt sistemi dönüşümü yapmış ve emisyon karakteristikleri incelemiştir. Bu çalışmada, gerek CO ve gerekse HC değerlerine göre SPG yakıtlı çalışma şartlarının benzine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat SPG dönüşüm sistemlerinin kendi aralarındaki farklılıklardan dolayı emisyonlar arasında da farklılıklar oluşmuştur.

Bayraktar ve Durgun (1999), buji ile ateşlemeli motorlarda yanma olayının motor performansı ve motor elemanlarına olası etkilerini teorik olarak incelemiştir. Böylece motor çevriminin, benzin ve SPG yakıtları için çeşitli çalışma koşullarında hesaplanabildiği

bir termodinamik çevrim modeli geliştirilmiştir. Çevrim modelinde yanma işlemi; bir türbülanslı alev yayılması matematik modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Benzin ve SPG'nin aynı ekivalans oranında bir taşıt motorunda, çeşitli çalışma koşulları için yapılan hesaplar sonucu; SPG ile elde edilen CO ve NO mol oranları benzin ile elde edilenlerden daha düşük çıkmıştır.

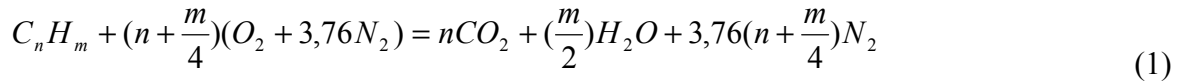
2. MALZEME VE METODLAR

Bu çalışmada çift yakıt (benzin+SPG) ile çalışan bir motorun SPG kullanım oranına bağlı olarak yanma ürünlerindeki değişim Olikara ve Borman'ın hazırladığı kimyasal yanma programı kullanılarak hesaplanmıştır (Olikara ve Borman, 1990). Program Fortran programlama dilinde hazırlanmıştır. Bu bilgisayar programı, bir ya da daha fazla fazdan oluşan bir sistemin denge denklemini hesaplamaktadır. Gaz fazı; ideal gazların bir karışımı şeklinde ele alınmıştır. Program hakkında ayrıntılı bilgi bahsi geçen kaynakta mevcuttur.

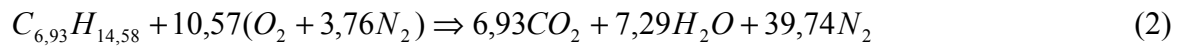
Kullanılan SPG oranına bağlı olarak oluşan karma yakıtın kapalı formülü, sıvı ve gaz yakıtın mol oranlarına bağlı olarak hesap edilmiş ve bu kapalı formüle göre yanma ürünleri hesaplanmıştır. Yakıt fazlalık katsayısı (YFK); emme zamanında bir çevrimde bir silindire giren yakıt miktarının, ideal durumda girebilecek yakıt miktarına oranı olarak tanımlanır. Benzin ve SPG kullanılarak, farklı sıcaklık (1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 K) ve YFK (0,6 0,7 0,8 0,9 ve 1)'da dört yanma denklemi yanma ürünlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Aşağıda açıklanacağı gibi, ilk olarak 1 mol benzinin yanması incelenerek elde edilen sonuçlar referans olarak alınmıştır. Benzinin miktarı her adım için %10 oranında azaltılarak yakıt enerjisini sabit bir değerde tutabilmek için SPG miktarı artırılmıştır.

2.1. Stokiyometrik Yanma

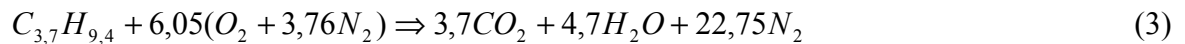
İlk olarak stokiyometrik yanma varsayılmıştır. Eşitlik 1 Çanakçı (1996)'ya göre teşkil edilmiş olup, yakıcı performansı ile ilgili olan yanma sonu ürünleri arasında yanmamış HC, C, CO, NO ve serbest O₂ yoktur (Çanakçı, 1996; Dülger, 1999; Çengel ve Boles, 1996).



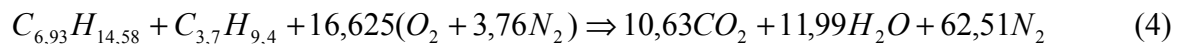
Böylece C_nH_m şeklindeki yakıtın tam yanması için gerekli hava miktarı, ürün ve reaktantlar (yakıt ve hava)'a ait farklı atomların dengesiyle hesaplanabilir. Örneğin benzinin kimyasal formülü C_{6,93}H_{14,58} olduğuna göre, benzinin hava ile stokiyometrik yanması için oluşturulan reaksiyon denklemi aşağıda gösterilmiştir.



SPG'nin tam yanması ise:



Benzin ve SPG'nin tam yanması (her bir yakıtında 1'er mol olduğu düşünülürse):



2.2. Bir Mol Yakıtın Açığa Çıkardığı Enerji Miktarı

Motora gönderilen 1 mol yakıtın enerjisi = $M_f * Q_{LHV}$ 'dir. Burada Q_{LHV} ; yakıtın alt ısıl değeri (MJ/kg), M_f ise yakıtın bir molünün ağırlığıdır (kg/mol). Buna göre 1 mol benzinin yakıt enerjisi aşağıdaki gibi bulunabilir (Borat ve Balcı, 1996; Heywood, 1998).

$$\text{Benzinin alt ısıl değeri, } Q_{LHV} = 44 \text{ MJ / kg} \quad (5)$$

$$\text{Benzinin mol ağırlığı, } M_f ; C_{6,93}H_{14,58} = [(6,93 * 12) + 14,58] = 97,74 \text{ g / mol}$$

Sonuç olarak 1 mol benzinin yakıt enerjisi;

$$0,097 \text{ kg / mol} * 44 \text{ MJ / kg} = 4,27 \text{ MJ / mol} \text{ 'dür.} \quad (6)$$

1 mol SPG'nin yakıt enerjisini bulursak (Borat ve Balcı, 1997):

$$\text{SPG'nin alt ısıl değeri, } Q_{LHV} = 45,84 \text{ MJ / kg} \quad (7)$$

SPG'nin mol ağırlığı, M_f (Sharma ve Khara, 2001);

$$C_{3,7}H_{9,4} = [(3,7 + 12) + 9,4] = 53,8 \text{ g / mol} \quad (8)$$

Sonuç olarak SPG'nin yakıt enerjisi;

$$0,0538 \text{ kg / mol} * 45,84 \text{ MJ / kg} = 2,894 \text{ MJ / mol} \text{ 'dür.} \quad (9)$$

2.3. Benzin-SPG Karışımının Kimyasal Enerjisi

Stokiyometrik karışımlar için (HFK=1) benzin+SPG karışımının genel eşitliği:

$$kC_nH_m + lC_pH_q + \left[(kn + lp) + \left(\frac{km + lq}{4} \right) \right] (O_2 + 3,76N_2) =$$

$$(kn + lp)CO_2 + \left(\frac{km + lq}{2} \right) H_2O + 3,76 \left[(kn + lp) + \left(\frac{km + lq}{4} \right) \right] \quad (10)$$

Denklem 10, benzinin ($C_{6,93}H_{14,58}$) karbon atom sayısı $m=6,93$, hidrojen atom sayısı $n=14,58$ ve SPG'nin ($C_{3,7}H_{9,4}$) karbon atom sayısı $p=3,7$, hidrojen atom sayısı $q=9,4$ alınarak düzenlendiğinde stokiyometrik benzin SPG karışımının genel kimyasal eşitliği,

$$kC_{6,93}H_{14,58} + lC_{3,7}H_{9,4} + \left[(6,93k + 3,7l) + \left(\frac{14,58k + 9,4l}{4} \right) \right] (O_2 + 3,76N_2) =$$

$$(k + l)CO_2 + \left(\frac{14,58k + 9,4l}{2} \right) H_2O + 3,76 \left[(6,93k + 3,7l) + \left(\frac{14,58k + 9,4l}{4} \right) \right] \quad (11)$$

Karşının yakıt enerjisini sabit tutmak için denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k4,27 + l2,89 = 4,27MJ \quad (12)$$

Burada 4,27 ve 2,89 sırasıyla benzin ve SPG'nin her bir molünün yakıt enerjileri (molar alt ısı değerleri)'dir. SPG'nin mol sayısını hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$l = \frac{4,27 - (k4,27)}{2,89} \quad (13)$$

Örneğin benzin miktarı %10 oranında azaltılırsa, 0,15 mol SPG eklenir.

$$l = \frac{4,27 - (0,9 * 4,27)}{2,89} = 0,15 \text{ mol} \quad (14)$$

Olikara/Borman programı yanma ürünlerini hacimsel kesirler olarak vermektedir. Yanma ürünlerinin birimlerini g/kW-h'e dönüştürmek için denklem 15 kullanılmıştır (Çanakçı, 1996).

$$\frac{g}{kW-h}(x) = \frac{kg}{kmol}(x) \frac{M_{kar}}{M_{yak}} * \frac{1 + (Mc_{3,7H_{9,4}} / Mc_{6,93H_{14,58}})}{(hLHVC_{6,93H_{14,58}})[1 + (Mc_{3,7H_{9,4}} / Mc_{6,93H_{14,58}})(LHVC_{3,7H_{9,4}} / LHVC_{6,9H_{14,6}})]} \text{ (dön.fak.)} \quad (15)$$

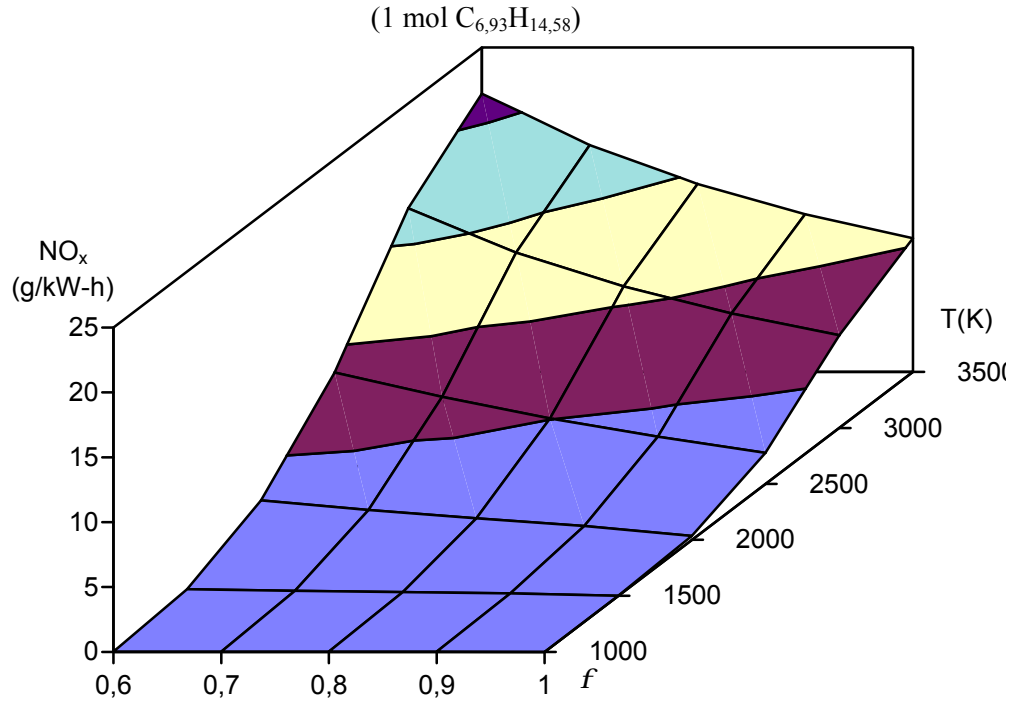
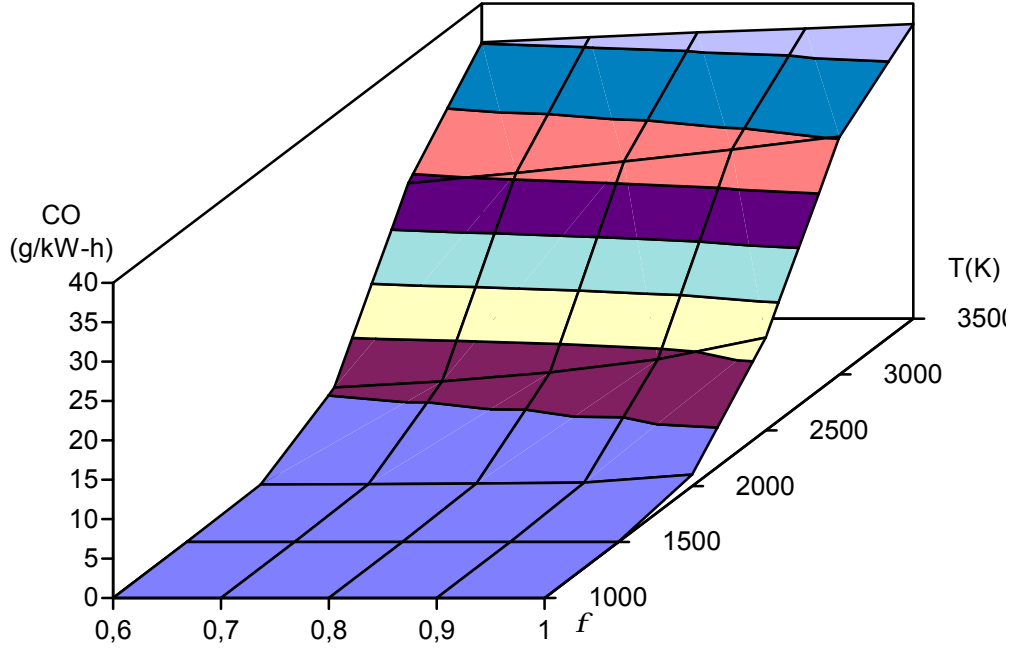
Eşitlik 15'de MJ'ü, kW-h'e çevirmek için 3,6 sayısal değerine eşit olan dönüşüm faktörü kullanılmıştır. x, emisyon ürününü ve M alt indisle gösterilen verinin kütleini ifade eder. η, ortalama %25 olarak kabul edilen motorun ısı verimidir. LHV ise alt indisle gösterilen yakıtın alt ısı değeridir.

Yanma ürünleri farklı sıcaklıklarda g/kW-h biriminde hesaplanırken, M_{kar} , M_{yak} , $Mc_{3,7H_{9,4}}$ ve $Mc_{6,93H_{14,58}}$, yakıt fazlalık katsayısı ve benzin ($Mc_{6,93H_{14,58}}$)'in yüzdesine bağlı olarak değişmektedir. Pentium III bilgisayar kullanarak Fortran programı çalıştırılmıştır. Sıcaklık ve YFK girilerek sonuçlar elde edilmiştir. Sıcaklıklar 1000-3500, YFK ise 0,6-1 arasında seçilmiştir.

3. BİLGİSAYAR SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Durum I (1 mol $C_{6,93H_{14,58}}$)

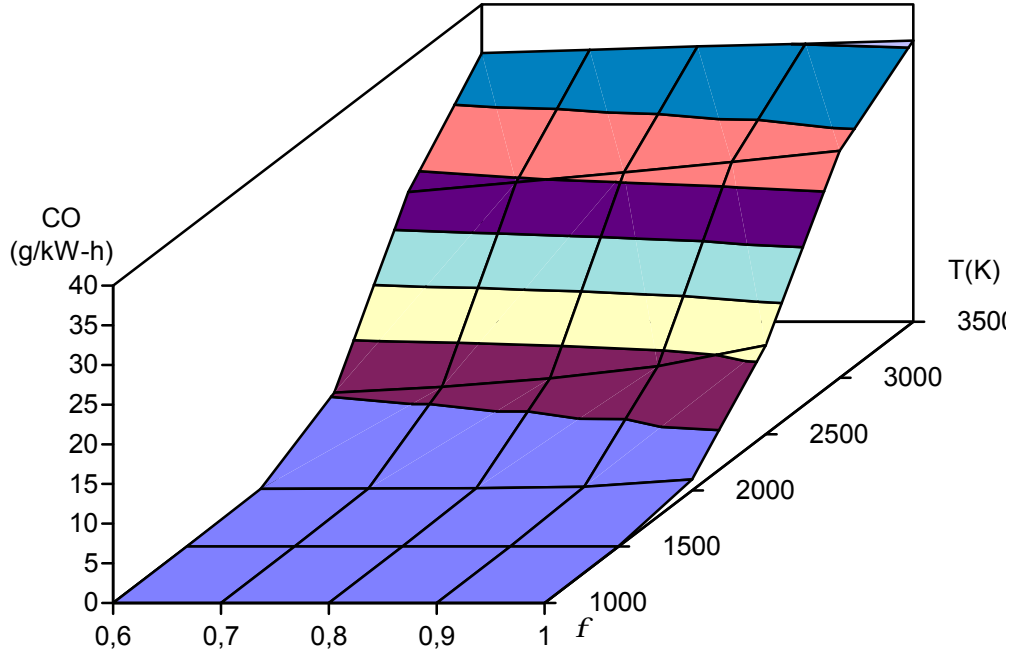
I. durumda CO'nun miktarı YFK'nın azalması ile düşmekte fakat, sıcaklığın artışı ile artmaktadır. Örnek olarak; 3000 K sıcaklıkta ve stokiometrik yanma (YFK=1) şartlarında CO'nun değeri 30,185 g/kW-h iken, aynı sıcaklıkta ve 0,6 YFK'da 24,276 g/kW-h'a düşmektedir. 0,6 YFK'da ve 2000 K' de CO'in değeri 0,215 g/kW-h'dir. Benzer şekilde; 0,6 YFK ve 3500 K sıcaklıktaki CO değeri 35,079 g/kW-h olmaktadır. Aynı sıcaklıktaki CO değerleri, karışım fakirleştikçe azalmaktadır. Bu durum için YFK ve sıcaklığa karşı hesaplanan kW-h başına CO miktarları Şekil 1'de görülmektedir.



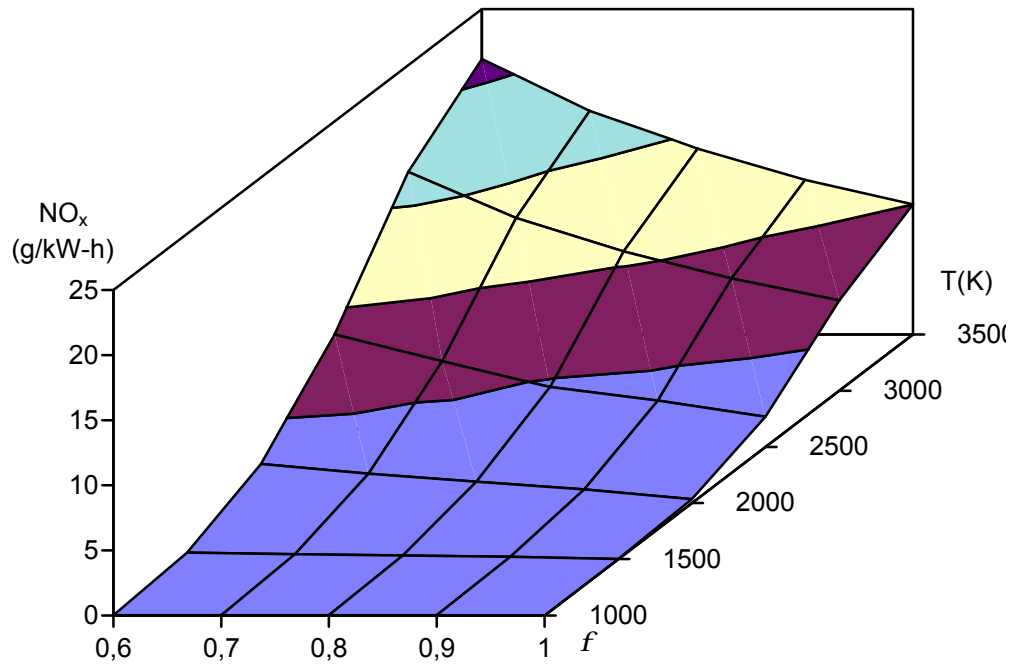
Benzer şekilde çizilen Şekil 2'de görülen NO_x emisyonları ise sıcaklık artışı ve YFK'nın azalması ile artmaktadır. Örneğin; 3000 K sıcaklık ve stokiometrik yanmada, NO_x emisyon değeri 7,152 g/kW-h iken, aynı sıcaklık ve 0,6 YFK'da 16,932 g/kW-h olmaktadır. 0,6 YFK ve 2000 K sıcaklıkta NO_x değeri 3,052 g/kW-h iken aynı YFK ve 3500 K sıcaklıkta 21,454 g/kW-h olmaktadır.

3.2. Durum II (0,9 mol $C_{6,93}H_{14,58}$ + 0,148 mol $C_{3,7}H_{9,4}$)

II. durumda 0,9 mol $C_{6,93}H_{14,58}$ ve 0,148 mol $C_{3,7}H_{9,4}$ kullanılmıştır. Buna göre sıcaklık ve YFK değerlerine karşılık hesaplanan CO ve NO_x değerleri Şekil 3 ve 4'te görülmektedir. Yanma ürünleri içerisindeki CO miktarı bundan önceki duruma benzer davranışlar göstermektedir. YFK ve sıcaklık azaldığında CO miktarı da azalmaktadır.



Şekil 3. CO miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi.
(0,9 mol $C_{6,93}H_{14,58}$ + 0,148 mol $C_{3,7}H_{9,4}$)



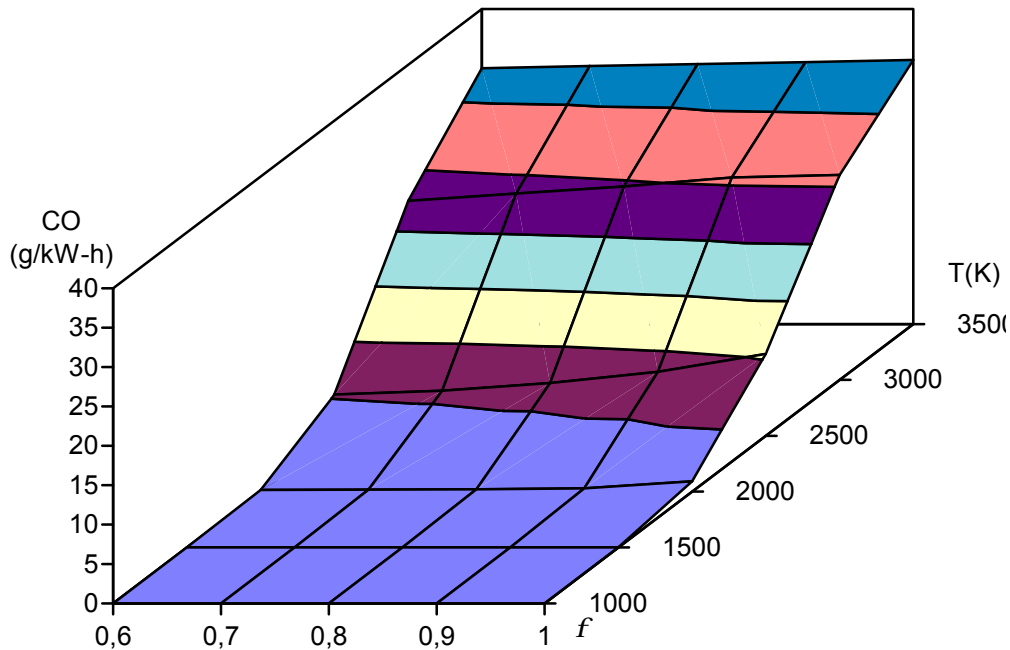
Şekil 4. NO_x miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi
(0,9 mol $C_{6,93}H_{14,58}$ + 0,148 mol $C_{3,7}H_{9,4}$)

Stokiyometrik yanma şartlarında, 1500 K sıcaklıkta CO değeri 0,021 g/kW-h iken 3000 K' de 28,638 g/kW-h olmaktadır. 2500 K sabit sıcaklıkta, 0,6 ve 0,9 YFK'da CO miktarı sırasıyla 5,222 g/kW-h ve 8,584 g/kW-h'dır. Şekil 4 NO_x sonuçlarını göstermektedir. NO_x değerleri sıcaklığın artması ve YFK'nın düşmesi ile artmaktadır. Örneğin; stokiyometrik yanma şartlarında, 1500 ve 3000 K sıcaklıklarında NO_x değerleri sırasıyla 0,012 g/kW-h ve 6,826 g/kW-h'dır. 2000 K sıcaklıkta, 0,6 ve 0,9 YFK'da NO_x değerleri sırasıyla 2,963 ve 1,026 g/kWh'dır. II. durum yanma ürünleri arasında daha az CO ve NO_x içermektedir.

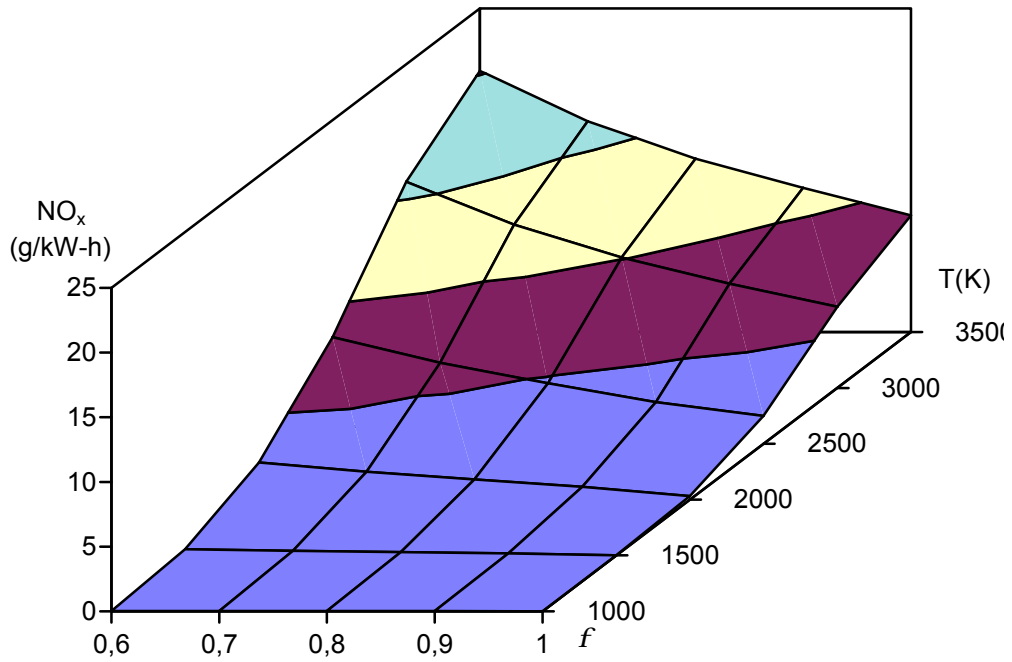
3.3. Durum III (0,8 mol C_{6,93}H_{14,58} + 0,296 mol C_{3,7}H_{9,4})

III. durumda, yanma sonunda oluşan enerjinin sabit kalması için 0,296 mol C_{3,7}H_{9,4} ilave edilmiştir. CO ve NO_x değerleri, farklı sıcaklık ve YFK'da hesaplanmıştır. Aynı şekilde, CO miktarı, YFK'nın düşmesiyle azalmakta, sıcaklığın artması ile artmaktadır. Örneğin, stokiyometrik yanma şartlarında 1500 ve 3500 K sıcaklıkta CO değeri sırasıyla 0,0193 g/kW-h ve 3,181 g/kW-h'dır. 2500 K sabit sıcaklıkta 0,9 ve 0,6 YFK'da CO değeri sırasıyla 8,138 ve 0,202 g/kW-h'dır.

Şekil 6'da verilen NO_x emisyonları incelendiğinde benzer durum göze çarpmaktadır. NO_x miktarı sıcaklığın artışı ve YFK'nın düşmesi ile azalmaktadır. Örneğin stokiyometrik yanmada 1500 ve 3000 K'de emisyon değerleri sırasıyla 0,0112 g/kW-h ve 2,149 g/kW-h'dır. 2500 K sabit sıcaklıkta 0,9 ve 0,6 YFK'da NO_x miktarı sırasıyla 3,209 g/kW-h ve 8,243 g/kW-h olmaktadır. Sonuç olarak, emisyon değerlerinin önceki üç durumdan daha azdır.

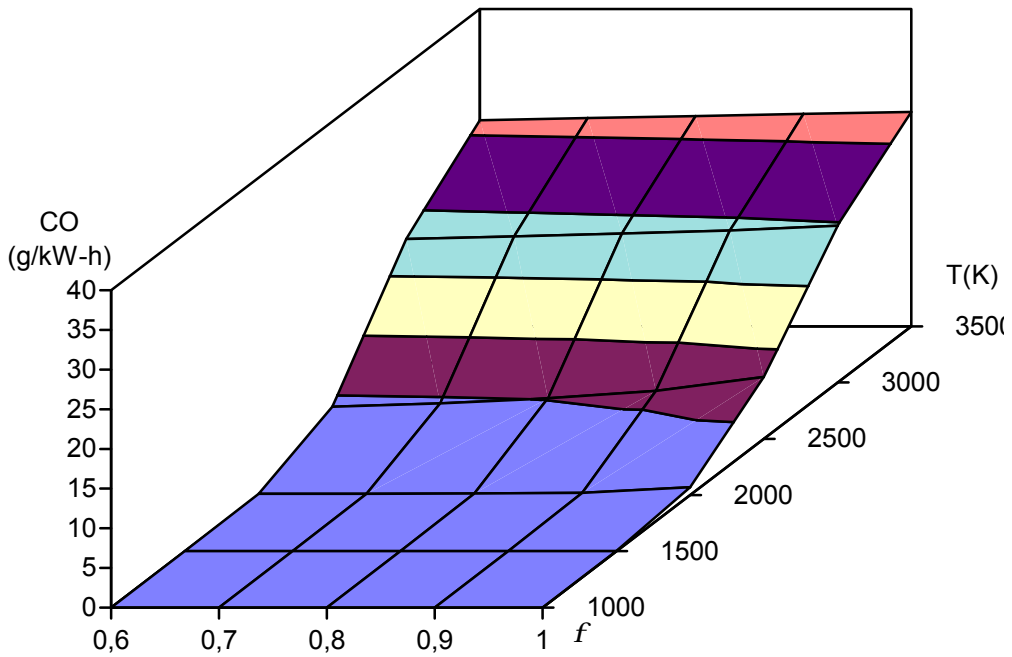


Şekil 5. CO miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi
(0,8 mol C_{6,93}H_{14,58} + 0,296 mol C_{3,7}H_{9,4})



3.4. Durum IV (1,4755 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$)

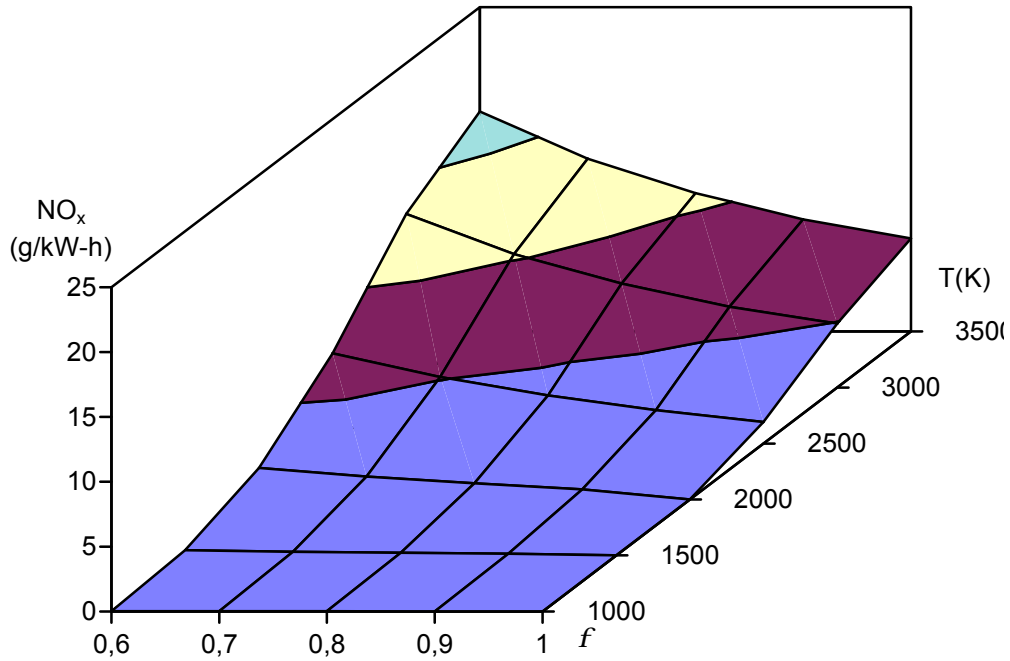
Daha önceki durumlardaki gibi açığa çıkan enerji miktarının sabit olması için bu durumda 1,4755 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$ kullanılmıştır. Bu yakıttaki (SPG) karbon ve hidrojen katsayıları önceki durumlara kıyasla çok daha az olduğu için emisyonlarda önemli azalmalar kaydedilmiştir. Bu sonuçlar Şekil 7 ve Şekil 8'de görülmektedir.



Sadece $C_{3,7}H_{9,4}$ 'nin yanmasında sıcaklık ve YFK'nın artması ile CO miktarı da artmaktadır. Örneğin, stokiyometrik yanma şartlarında 2000 ve 3500 K'de CO'in miktarı sırasıyla 0,965 g/kW-h ve 27,079 g/kW-h'dir. 2500 K sabit sıcaklıkta 0,9 ve 0,6 YFK'da CO'in değeri 6,605 g/kW-h ve 4,035 g/kW-h'dir.

NO_x emisyonlarındaki artış ise sıcaklığın artması ile doğru YFK'nın artması ile ters orantılı olarak değişmektedir. Örneğin stokiyometrik yanma şartlarında 2500 ve 3500 K'de NO_x miktarı sırasıyla 4,937 g/kW-h ve 7,176 g/kW-h'dir. 3500 K sabit sıcaklıkta 0,7 ve 0,9 YFK'da NO_x değeri sırasıyla 13,334 g/kW-h ve 8,649 g/kW-h'dir.

Sadece SPG ($C_{3,7}H_{9,4}$) kullanımındaki CO ve NO_x emisyonları, farklı oranlardaki iki yakıt ($C_{6,93}H_{14,58}$ ve $C_{3,7}H_{9,4}$) karışımının emisyonlarından her durumda daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 8. NO_x miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (1,4755 mol $C_{3,7}H_{9,4}$)

4. SONUÇ

Benzin ve SPG kullanılan 4 yanma denklemi, farklı sıcaklık ve YFK'da yanma ürünlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Tüm durumlar Olikara/Borman bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. İlk olarak stokiyometrik yanma şartlarında ve altı farklı sıcaklıktaki 1 mol benzinin yanması incelenerek elde edilen sonuçlar referans olarak alınmıştır. Adım adım benzin miktarı azaltılarak yakıt enerjisini sabit bir değerde tutabilmek için SPG miktarı artırılmıştır.

SPG içindeki karbon oranı benzin yakıtındaki karbon oranından daha düşüktür. Bu temel sebepten dolayı sunulan tüm durumlar için; SPG miktarının artırılmasıyla CO'in azaldığı belirgin bir şekilde görülmektedir. CO değeri aynı zamanda sıcaklık ve YFK'da bağlıdır. Bu emisyonun en az miktarı 1,4755 mol $C_{3,7}H_{9,4}$ için hesaplanmıştır.

NO_x miktarı SPG ilavesiyle azalmaktadır. İkili yakıtları (benzin+SPG) kapsayan her durum için en iyi sonuçlar %0 benzin +1,4755 mol $C_{3,7}H_{9,4}$ şartlarında elde edilmektedir.

Sunulan bu çalışmada günümüz araçlarında SPG ve benzin ($C_{6,93}H_{14,58}$) kullanımı emisyonlar açısından karşılaştırılacak olursa, SPG kullanımıyla emisyonlarda önemli iyileşmeler sağlanacağı kesindir.

İçten yanmalı motorların neden olduğu egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çabaları, çift yakıtlı motor düşüncesinin başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Günümüzde dizel motorlarında, çift yakıtlı motor (dizel+doğal gaz) üretimi ile egzoz emisyonlarında önemli iyileşmeler sağlanmıştır.

Bu çalışma, benzin yakıtı kullanılan taşıtlarda henüz araştırma aşamasında olan çift yakıtlı (benzin+LPG) motor tasarımı ile egzoz emisyonlarının önemli ölçüde azaltılacağı sonucunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

- Bayraktar H., Durgun O. (1999): “Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Gaz Yakıtların Kullanımının Yanma ve Motor Performansı Üzerine Etkileri”, İstanbul, 6. Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, s. 273-280.
- Borat O., Balcı M. (1996): “Yanma Bilgisi”, Ankara, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, s. 92-94.
- Borat O., Balcı M. (1997): “İçten Yanmalı Motorlar”, Ankara, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, s. 18-19.
- Çanakçı M. (1996): “Idealized Engine Emissions Resulting from The Combustion of Isooctane Supplemented with Hydrogen”, Tennessee, Ms Thesis, Vanderbilt University.
- Çengel Y., Boles M (1996): “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, USA, McGraw-Hill, s. 661-665.
- Dülger Z. (1999): “İçten Yanmalı Motorlar”, İzmit, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No. 11, s. 28-29.
- Ergeneman M., Soruşbay C. (1996): “Benzin Motorlu Taşıtların LPG Kullanımına Dönüşümü”, Ankara, Mühendis Makine, Cilt. 37, Sayı. 441, s. 25-36.
- Gümüş M., Tekin M. (2001): “Çift Yakıtlı (Dizel+Doğal Gaz) Dizel Motorunun Yanma Ürünleri Analizi”, Bursa, TMMOB Makine Mühendisleri Odası VII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu”, s. 96-101.
- Heywood J. B. (1998): “Internal Combustion Engines”, USA, McGraw-Hill, International Editions, p. 452-653.
- İçingür Y., Haksever R. (1998): “Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi”, Ankara, Politeknik Dergisi, Sayı. 3, s. 67-76.
- Latussek P., ve Burrham R. (1993): “Key Success Factors for Automotive Use of LPG”, Japan, The 6th World LPG Conference, p. 244-260.
- Nichols R. (1982): “Application of Alternative Fuels”, SAE Paper 821573.
- Olikara C., Borman G. (1990): “A Computer Program for Calculating Properties of Equilibrium Combustion Products with Some Applications to the Engines”, SAE Paper 750468.
- Schoenmaker P. (1996): “LPG: Alternative to Urban Public Transportation in The Future”, İstanbul, 1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu, s. 344-400.
- Sharma P., Khara M. (2001): “Modeling of Vehicular Exhaust-A Review”, Transportation Research Part, p. 179-198.
- Şen Z., Şahin A. (1996): “Future Prospects of Fossil and Alternative Energy Sources”, Trabzon, Proceedings of the 1st Int. Energy and Environment Symposium, p.37-43.
- TMMOB (1999): “Araçlarda LPG Dönüşümü”, Ankara, s. 24.