

ÇİFT YAKITLI (BENZİN + SIVILAŞTIRILMIŞ PETROLGAZI) BİR BENZİN MOTORUNUN İDEAL EMİSYON ÜRÜNLERİ

Cenk SAYIN, Mustafa ÇANAKÇI, İbrahim KILIÇASLAN, Necati ÖZSEZEN
Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, 41380-Umuttepe-İzmit

Geliş Tarihi : 17.02.2005

ÖZET

“İçten yanmalı motorlarda, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını en az düzeye indirme çalışmaları, çift yakıtlı çalışan motorlar üzerine yapılan çalışmaların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu çalışmada çift yakıt (benzin + SPG) kullanım oranına bağlı olarak yanma ürünlerinin değişimi, bir bilgisayar programı kullanarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler : Çift yakıt, Egzoz emisyonu, Benzin motoru

IDEALIZED ENGINE EMISSIONS RESULTING FROM THE COMBUSTION OF GASOLINE SUPPLEMENTED WITH LPG

ABSTRACT

In the internal combustion engines, the studies to reduce brake specific fuel consumption and exhaust emissions to the lowest level are the start of the investigations on the dual fuel engines. In this study, the changes in the exhaust emissions of the dual fuel (gasoline + LPG) at different ratios have been calculated using a computer program and the results are discussed.

Key Words : Dual fuel, Exhaust emission, Gasoline engine

1. GİRİŞ

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

Hava kirliliğine neden olan hidrokarbon esaslı yakıtların yanması neticesinde açığa çıkan; CO, HC ve NO_x ve partikül emisyonları atmosferi kirleterek ciddi bir sağlık problemi oluşturmaktadırlar. Karbon ihtiva eden yakıtları yakan sabit motorlar,

endüstriyel motorlar ve evsel kazanlar gibi kaynaklardan çıkan atık gazların hava kirliliği oluşturmadaki katkıları her ne kadar büyükse de yapılan istatistikler sonucunda büyük şehirlerde motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğinin toplam hava kirliliği içindeki payının % 50'lere ulaştığı bilinmektedir (Şahin, 1996 ve Sharma and Khara, 2001).

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 ürünlerin imalatına sevk etmiştir. Bu nedenle otomotiv sektörü egzoz emisyonlarını aşağıya çekecek tedbirler almaya ve alternatif yakıtları

kullanabilecek motorlar üretmeye başlamıştır (Nichols, 1982; Gümüş ve Tekin, 2001).

2. SIVILAŞTIRILMIŞ PETROL GAZI (SPG)'NİN ÖZELLİKLERİ VE KULLANIMI

Motorlu taşıt yakıtları içinde; sıvılaştırılmış petrol gazı (SPG) benzin ve dizele göre daha temiz egzoz emisyonu verdiği için birçok ülkede kullanılmakta ve kullanımı teşvik edilmektedir. Ayrıca SPG, bazı ülkelerde benzin ve dizel yakıt fiyatlarına göre daha ucuz olması nedeniyle, kullanıcılar tarafından tercih edilmektedir (Latusek and Burrham, 1993; İçingür ve Haksever, 1998).

SPG; Propan (C_3H_{10}) ve Bütan (C_4H_{10}) 'ın belirli oranlardaki karışımlarından oluşan, sıvılaştırılmış petrol gazı kelimelerinin baş harfleri ile ifade edilen bir fosil kaynak ürünüdür. Dünyadaki SPG üretiminin % 61'i doğal gaz, % 39'u ise rafineri üretiminden elde edilmektedir.

SPG, yanma sonu ürettiği emisyonlar açısından diğer yakıtlara göre çevreye daha az zarar vermektedir. Özellikle CO emisyonu benzine göre daha düşük değerlere inerken HC ve NO_x miktarındaki düşüş az olmaktadır. SPG içerisinde, normal benzin ve kurşunsuz benzinin oktan sayısını arttırmak için kullanılan kurşun tetra etil bulunmamaktadır. Bu durum yakıt olarak SPG kullanılan bir motorun egzozundaki kirletici emisyonların azalmasını sağlamaktadır. SPG'nin içeriğinde kükürt olmaması nedeniyle, kükürt oksit emisyonu da söz konusu değildir. Ayrıca dizel motorlarında görülen is ve partikül emisyonları da oluşmamaktadır (İçingür ve Haksever, 1998).

Latusek ve Burrham yaptıkları çalışmada iki ve dört zamanlı motorlarda, benzin ve sıvılaştırılmış petrol gazı yakıtını test ederek, emisyon değerlerini karşılaştırmışlardır. Yapılan bu testler sonucunda, $HC+NO_x$ emisyonunun % 19.6 ve CO emisyonunun % 27.4 oranında azaldığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada, propan ve bütanın kendiliğinden tutuşma sıcaklıkları benzine göre daha yüksek olduğundan, SPG yakıtının uygun emisyon değerleri için daha fazla ateşleme avansı gerektirdiğini, fakat ateşleme zamanının geciktirilmesi ile NO_x emisyonunda artış eğilimi meydana geldiğini ifade etmişlerdir (Latusek and Burrham, 1993).

İçingür ve Haksever yaptıkları bir çalışmada dört silindirli, dört zamanlı ve buji ile ateşlemeli benzinli

bir motorda SPG yakıt sistemi dönüşümü yapmış ve bu motorun emisyon karakteristiklerini incelemişlerdir. Yapılan bu çalışmada, CO ve HC emisyon değerleri açısından SPG yakıtlı çalışma şartlarının benzine göre daha iyi olduğu, fakat SPG dönüşüm sistemlerinin kendi aralarındaki farklılıklardan dolayı da emisyonlar arasında farklılıklar oluşabildiğini ifade etmişlerdir (İçingür ve Haksever, 1998).

Bayraktar ve Durgun yaptıkları çalışmada, buji ile ateşlemeli motorlarda yanma olayının motor performansı ve motor elemanları üzerine olası etkilerini teorik olarak incelemek için motor çevriminin, benzin ve SPG yakıtları için çeşitli çalışma koşullarında hesaplanabildiği bir termodinamik çevrim modeli geliştirmişlerdir. Çevrim modelindeki yanma işlemini; türbülanslı bir ortamdaki alev yayılımının matematiksel modeli kullanarak hesaplamışlardır. Modellenen motorda benzin ve SPG'nin aynı yakıt fazlalık katsayısı kullanılması durumunda, SPG ile elde edilen CO ve NO mol oranları benzin ile elde edilenlerden daha düşük çıkmıştır (Bayraktar ve Durgun, 1999).

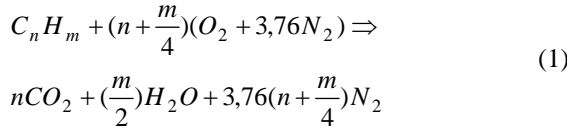
3. LPG KULLANIM ORANINA BAĞLI OLARAK YANMA ÜRÜNLERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde çift yakıt (benzin + SPG) ile çalışan bir motorun SPG kullanım oranına bağlı olarak yanma ürünlerindeki değişim Olikara ve Borman'nın hazırladığı kimyasal yanma programı kullanılarak hesaplanmıştır. Program Fortran programlama dilinde hazırlanmıştır. Bu bilgisayar programı, bir ya da daha fazla fazdan oluşan bir sistemin kimyasal denge denklemini hesaplamaktadır. Gaz fazı; ideal gazların bir karışımı, yoğunlaşma fazı ise ideal çözümler için ele alınmıştır. Program hakkında ayrıntılı bilgi, Olikara and Borman, (1975) SAE 750468' nolu makaleden elde edilebilir.

Kullanılan SPG oranına bağlı olarak oluşan karma yakıtın kapalı formülü, sıvı ve gaz yakıtın mol oranlarına bağlı olarak tespit edilmiş ve kapalı formüle göre yanma ürünleri hesaplanmıştır. Benzin ve SPG kullanılan dört yanma denklemi için, farklı sıcaklık (1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500 K) ve farklı yakıt fazlalık katsayıları (0.6, 0.7, 0.8, 0.9 ve 1) yanma ürünlerini hesaplamada kullanılmıştır. Aşağıda açıklanacağı gibi, ilk olarak 1 mol benzinin yanması incelenerek elde edilen sonuçlar referans olarak alınmıştır. Benzin miktarı her adım için %10 oranında azaltılarak yakıt enerjisini sabit bir değerde tutabilmek için SPG miktarı artırılmıştır.

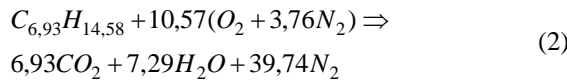
3. 1. Stokiyometrik Yanma

Bir yakıtın tam olarak yanması için gerekli en az hava miktarına stokiyometrik veya teorik hava adı verilir. Böylece bir yakıt teorik havayla tam olarak yandığı zaman; yanma sonu ürünleri arasında serbest oksijen bulunmaz. Teorik hava aynı zamanda kimyasal olarak gerekli hava miktarı veya % 100 teorik hava diye de adlandırılır. Teorik havadan daha az havayla gerçekleşen bir yanma işleminin tam olması mümkün değildir. Yakıtın teorik havayla tam olarak yandığı ideal bir yanma işlemi, yakıtın stokiyometrik veya tam yanması diye bilinir. Stokiyometrik yanmada, yakıt oksijen ile tam olarak yandığında su ve karbondioksit dönüşür. Kimyasal reaksiyonların çoğunda nitrojenin inert gaz olduğu düşünülür ve reaksiyona katılmaz. Denklem 1'e bakıldığında, yanma sonu ürünleri arasında yanmamış HC, C, CO, OH ve serbest O₂ yoktur (Canakci, 1996; Çengel ve Boles, 1996; Dülger, 1999).

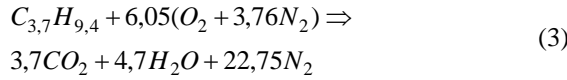


Bir hidrokarbon yakıtın tam yanması için gerekli hava miktarı, reaksiyona giren ve çıkan bileşiklerin mol dengesi kurularak hesaplanabilir. Benzinin kimyasal formülü C_{6,93}H_{14,58} olduğu kabul edilirse, benzinin hava ile stokiyometrik yanması için oluşturulan reaksiyon denklemi aşağıda gösterilmiştir.

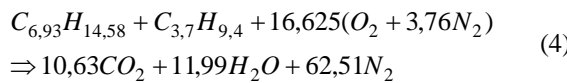
Benzinin tam yanması:



SPG (%30 C₃H₈ + %70 C₄H₁₀)'nin tam yanması:



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



3. 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).

1 mol benzinin yakıt enerjisini bulacak olursak,

Benzinin alt ısıl değeri ortalama olarak

$$Q_{LHV} = 44 \text{ MJ/kg} \quad (5)$$

alınırsa, (Heywood, 1988; Borat ve Balci, 1996a;b).

Benzinin mol ağırlığı M_f ;

$$C_{6,93}H_{14,58} = [(6,93 * 12) + 14,58] = 97,74 \text{ g/mol olarak bulunur.}$$

Sonuç olarak 1 mol benzinin yakıt enerjisi;

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

1mol SPG'nin yakıt enerjisi;

SPG'nin alt ısıl değeri,

$$Q_{LHV} = 45,84 \text{ MJ/kg (Borat ve Balci, 1996a;b)} \quad (7)$$

SPG'nin mol ağırlığı, M_f ;

$$C_{3,7}H_{9,4} = [(3,7 * 12) + 9,4] = 53,8 \text{ gr/mol (Heywood, 1988).} \quad (8)$$

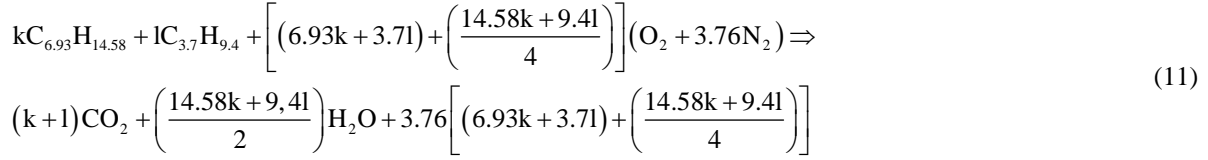
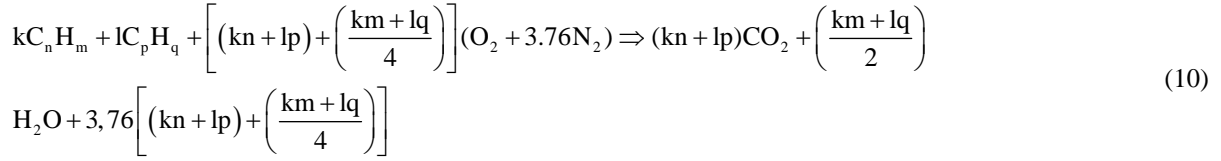
Sonuç olarak SPG'nin yakıt enerjisi;

$$0,0538 \text{ kg/mol} * 45,84 \text{ MJ/kg} = 2,46 \text{ MJ/mol} \quad (9)$$

olarak bulunur.

3. 3. Benzin SPG Karışımının Kimyasal Enerjisi

Stokiyometrik karışımlar için (HFK=1) benzin+SPG karışımının genel denklemi Denklem 10'da gösterilmiştir. 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 denklemi Denklem 11'e dönüşür.



Karşının yakıt enerjisini sabit tutmak için denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$k \cdot 4.27 + l \cdot 2.89 = 4.27 \text{ MJ} \quad (12)$$

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 denklem kullanılır.

$$l = \frac{4.27 - (k \cdot 4.27)}{2.89} \quad (13)$$

Örneğin benzin miktarı % 10 oranında azaltılırsa, denklem 14'de hesaplandığı gibi 0.15 mol SPG eklenir.

$$l = \frac{4.27 - (0.9 \cdot 4.27)}{2.89} = 0.15 \text{ mol} \quad (14)$$

$$\frac{g}{kW-h} (x) = \frac{kg}{kmol} (x) \frac{M_{kar}}{M_{yak}} * \frac{1 + (M_{c_{3.7}H_{9.4}} / M_{c_{6.93}H_{14.58}})}{(\eta LHV_{c_{6.93}H_{14.58}}) [1 + (M_{c_{3.7}H_{9.4}} / M_{c_{6.93}H_{14.58}}) (LHV_{c_{3.7}H_{9.4}} / LHV_{c_{6.9}H_{14.6}})]} \text{ (dön.fak.)} \quad (15)$$

4. SONUÇLAR

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

I. durumda CO'nun miktarı YFK'nın azalması ile düşmekte fakat sıcaklığın artışı ile artmaktadır. Örnek olarak; 3000 K sıcaklıkta ve stokiyometrik yanma ($\Phi = 1$) şartlarında CO'nun değeri 30.185 g/kWh iken, aynı sıcaklıkta ve 0.6 YFK'da 24.276 g/kWh'a düşmektedir. 0.6 YFK'da ve 2000 K'de CO'nun değeri 0.215 g/kW-h'dir. Benzer şekilde; 0.6 YFK ve 3500 K sıcaklıktaki CO değeri 35.079 g/kWh olmaktadır. Aynı sıcaklıktaki CO değerleri, karışım fakirleştikçe azalmaktadır. Yukarıda belirtilen durumlar Şekil 1'de görülmektedir.

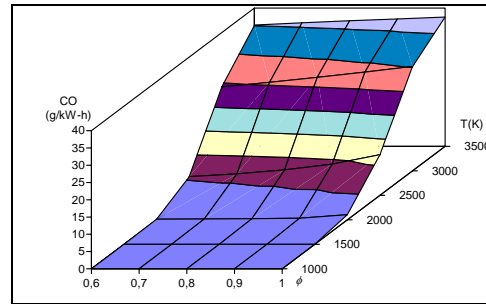
NO_x emisyonları sıcaklık artışı ve YFK'nın azalması ile artmaktadır. Örneğin; 3000 K sıcaklık ve

Olikara and Borman (1975), programında yanma ürünlerini hacimsel kesirler olarak vermektedir. Yanma ürünlerinin birimlerini g/kWh'e dönüştürmek için denklem 15 kullanılmıştır (Çanakçı, 1996).

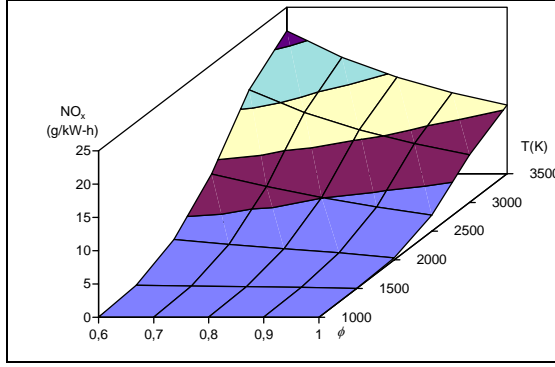
Denklem 15'de MJ'ü, kWh'e çevirmek için 3.6 sayısal değerine eşit olan dönüşüm faktörü kullanılmıştır. x emisyon ürününü, M verinin kütlesi ve η ortalama % 25 olarak kabul edilen motorun ısı verimidir. LHV(Lower Heating Value) ise yakıtın alt ısı değeridir.

Yanma ürünleri farklı sıcaklıklarda g/kWh biriminde hesaplanırken, M_{kar}, M_{yak}, M_{c_{3.7}H_{9.4}} ve M_{c_{6.93}H_{14.58}}, yakıt fazlalık katsayısı ve benzin (M_{c_{6.93}H_{14.58}})'in yüzdesine bağlı olarak değişmektedir. Bu bilgisayar programı yukarıda belirtildiği gibi yanma sonu sıcaklık sınırları 1000-3500 K arasında çalıştırılmıştır.

stokiyometrik yanmada, NO_x emisyon değeri 7.152 g/kWh iken, aynı sıcaklık ve 0.6 YFK'da 16.932 g/kWh olmaktadır. 0.6 YFK ve 2000 K sıcaklıkta NO_x değeri 3.052 g/kWh iken aynı YFK ve 3500 K sıcaklıkta 21.454 g/kWh olmaktadır.



Şekil 1. CO miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (1 mol C_{6,93}H_{14,58}).

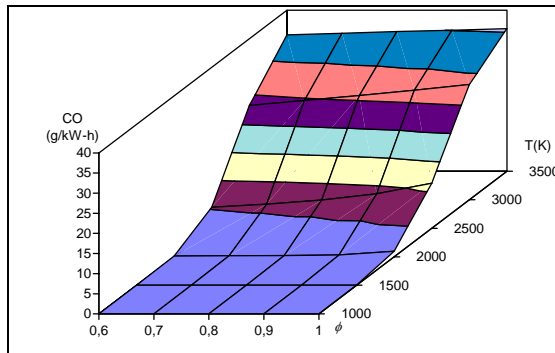


Şekil 2. NO_x miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (1 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$).

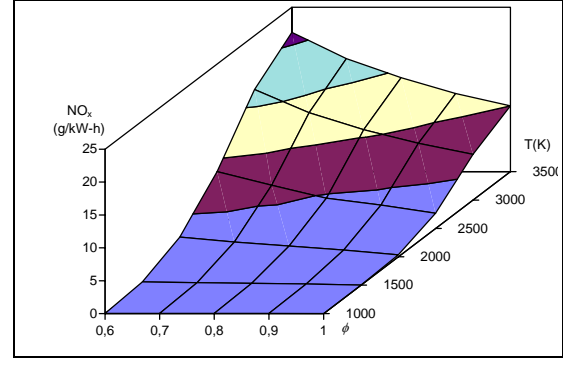
4. 2. II. Durum (0.9 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ + 0.148 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$)

Bu II. durumda 0.9 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ ve 0.148 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$ kullanılmıştır ve CO ve NO_x değerleri Şekil 3 ve 4'de görülmektedir. Yanma ürünleri içerisindeki CO miktarı bundan önceki duruma benzer davranışlar göstermektedir. YFK ve sıcaklık azaldığında CO miktarı da azalmaktadır. Stokiyometrik yanma şartlarında, 1500 K sıcaklıkta CO değeri 0.021 g/kWh iken 3000 K'de 28,638 g/kWh olmaktadır. 2500 K sabit sıcaklıkta, 0.6 ve 0.9 YFK'da CO miktarı sırasıyla 5.222 g/kWh ve 8.584 g/kWh dir.

Şekil 4 NO_x sonuçlarını göstermektedir. Yanma ürünlerindeki NO_x değerleri sıcaklığın artması ve YFK'nın düşmesi ile artmaktadır. Örnek olarak, stokiyometrik yanma şartlarında, 1500 ve 3000 K sıcaklıklarında NO_x değerleri sırasıyla 0.012 g/kWh ve 6.826 g/kWh'dir. 2000 K sabit sıcaklıkta, 0.6 ve 0.9 YFK'da NO_x değerleri sırasıyla 2.963 g/kWh ve 1.026 g/kWh'dir.



Şekil 3. CO miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (0.9 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ + 0.148 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$).

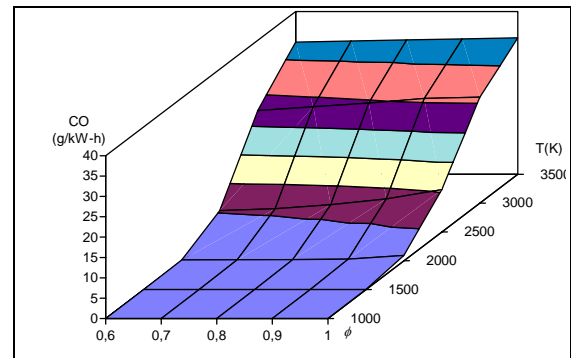


Şekil 4. NO_x miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (0,9 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ + 0.148 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$).

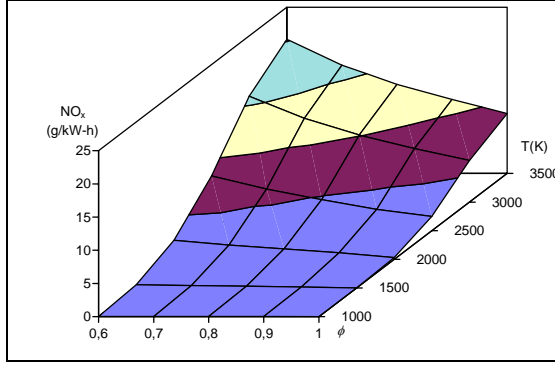
4. 3. III. Durum (0.8 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ + 0.296 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$)

Bu durumda, yanma sonunda oluşan enerjinin sabit kalması için 0.296 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$ 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/kWh ve 32.181 g/kWh'dir. 2500 K sabit sıcaklıkta 0.9 ve 0.6 YFK'da CO değeri sırasıyla 8.138 ve 0.202 g/kWh'dir.

NO_x emisyonları incelendiğinde benzer nitelikler göze çarpmaktadır. NO_x ' in miktarı sıcaklığın artışı ve YFK'nın düşmesi ile azalmaktadır. Örneğin stokiyometrik yanmada 1500 ve 3000 K'de emisyon değerleri sırasıyla 0.0112 g/kWh ve 2,149 g/kWh'dir. 2500 K sabit sıcaklıkta 0.9 ve 0,6 YFK'da NO_x miktarı sırasıyla 3.209 g/kWh ve 8.243 g/kWh olmaktadır. Sonuç olarak, emisyon değerlerinin önceki üç durumdan daha azdır.



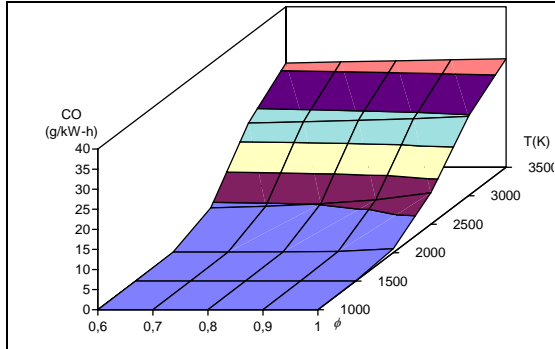
Şekil 5. CO miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (0.8 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ + 0.296 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$).



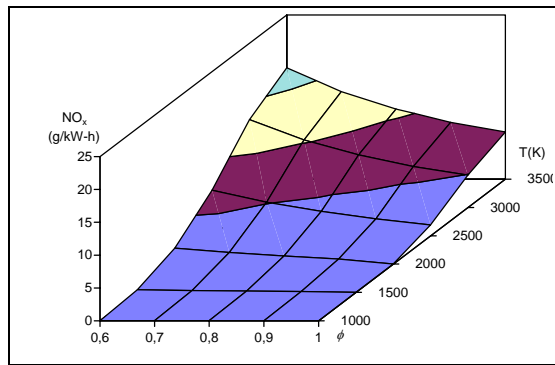
Şekil 6. NO_x miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (0.8 mol $\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$ + 0.296 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$).

4. 4. IV. Durum (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 8'de görülmektedir.



Şekil 7. CO miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (1.4755 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$).



Şekil 8. NO_x miktarının sıcaklık ve YFK'nın fonksiyonu olarak değişimi (1.4755 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$).

Sadece $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$ 'nin yanmasında sıcaklık ve YFK'nın artması ile CO miktarı da artmaktadır. Örneğin, stokiometrik yanma şartlarında 2000 ve 3500 K'de CO'nun miktarı sırasıyla 0.965 g/kWh ve 27.079 g/kWh'dir. 2500 K sabit sıcaklıkta 0.9 ve 0.6 YFK'da CO'nun değeri 6.605 g/kWh ve 4.035 g/kWh'dir.

NO_x emisyonlarındaki artış ise sıcaklığın artması ile doğru YFK'nın artması ile ters orantılı olarak değişmektedir. Örneğin stokiometrik yanma şartlarında 2500 ve 3500 K'de NO_x miktarı sırasıyla 4.937 g/kWh ve 7.176 g/kWh'dir. 3500 K sabit sıcaklıkta 0.7 ve 0.9 YFK'da NO_x değeri sırasıyla 13.334 g/kWh ve 8.649 g/kWh'dir.

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

Sonuç olarak günümüz araçlarında SPG ve benzin ($\text{C}_{6,93}\text{H}_{14,58}$) kullanımı emisyonlar açısından karşılaştırılacak olursa, SPG kullanımıyla emisyonlarda önemli iyileşmeler sağlanacağı kesindir.

Benzin ve SPG kullanılan 4 yanma denklemi, farklı sıcaklık ve YFK' da yanma ürünlerini hesaplamak için kullanılmıştır. Tüm durumlar Olikara and Borman (1975)'in bilgisayar programı ile hesaplanmıştır. İlk olarak stokiometrik yanma şartlarında ve altı farklı sıcaklıktaki 1 mol benzinin yanması incelenerek elde edilen sonuçlar referans olarak alınmıştır. Adım adım benzinin miktarı azaltılarak yakıt enerjisini sabit bir değerde tutabilmek için SPG miktarı artırılmıştır.

Sunulan bu çalışmada tüm durumlar ele alınırsa; SPG miktarının artırılmasıyla CO'nun azaldığı belirgin bir şekilde görülmektedir. CO değeri aynı zamanda sıcaklık ve YFK'da bağlıdır. Bu emisyonun en az miktarı 1.4755 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$ için hesaplanmıştır.

NO_x miktarı SPG ilavesiyle azalmaktadır. İkili yakıtları (benzin+SPG) kapsayan her durum için en iyi sonuçlar % 0 benzin + 1.4755 mol $\text{C}_{3,7}\text{H}_{9,4}$ şartlarında elde edilmektedir.

5. KAYNAKLAR

Bayraktar, H. ve Durgun, O. 1999. Buji İle Ateşlemeli Motorlarda Gaz Yakıtların Kullanımının Yanma ve Motor Performansı Üzerine Etkileri, **6**.

Uluslar Arası Yanma Sempozyumu, İstanbul, Türkiye, 273-280.

Borat, O. ve Balcı, M. 1996a. İçten Yanmalı Motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, Ankara.

Borat, O. ve Balcı, M. 1996b. Yanma Bilgisi, 92-94, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, Ankara.

Canakci, M. 1996. Idealized Engine Emissions Resulting from The Combustion of Isooctane Supplemented with Hydrogen, Ms Thesis, Vanderbilt University, Tennessee.

Çengel, Y. ve Boles, M. 1996. Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 661-665, McGraw-Hill, USA.

Dülger, Z. 1999. İçten Yanmalı Motorlar, 28-29, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Kocaeli.

Gümüş, M. ve Tekin, M. 2001. Çift Yakıtlı (Dizel+Doğal Gaz) Dizel Motorunun Yanma Ürünleri Analizi, **TMMOB Makine Mühendisleri Odası VII. Otomotiv ve Yan Sanayi Sempozyumu**, 26-27 Ekim 2001, Bursa, 96-101.

Heywood, J. B. 1988. Internal Combustion Engines, McGraw-Hill, International Editions, 452-653, USA.

İçingür, Y. ve Haksever, R. 1998. Benzinli Motorlarda Sıvılaştırılmış Petrol Gazının Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Analizi, *Politeknik Dergisi*, (3): 67-76.

Latusek, P. and Burrham, R. 1993. Key Success Factors for Automotive Use of LPG, **The 6th World LPG Conference**, Japan.

Nichols, R. 1982. Application of Alternative Fuels, SAE Paper 821573, USA.

Olikara, C. and Borman, G. 1975. 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, **1. Ulusal Ulaşım Sempozyumu**, 6-7 Mayıs 1996, İstanbul.

Sharma, P. and Khara, M. 2001. Modeling of Vehicular Exhaust-A Review, *Transportation Research*, 179-198.

Şen, Z. ve Şahin A. 1996. Future Prospects of Fossil and Alternative Energy Sources, **Proceedings of The First International Energy and Environment Symposium**, 29-31 July 1996, Trabzon.