

# Buji ile Ateşlemeli Bir Motorda Çalışma Parametrelerinin Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Tolga TOPGÜL, Hüseyin Serdar YÜCESU, Melih OKUR  
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

## ÖZET

Günümüzde hava kirliliği, insan sağlığını tehdit eden en önemli problemlerden biridir. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan CO, HC ve NO<sub>x</sub> gibi egzoz emisyonları bu kirlilikte önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle ülkeler, belirledikleri emisyon sınır düzeyleri ile kirletici emisyonları kontrol altına almaya çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, dört zamanlı, tek silindri, değişken sıkıştırma oranlı, buji ile ateşlemeli ve enjeksiyonlu bir motorda hava/yakıt oranı, ateşleme zamanı, sıkıştırma oranı ve giriş havası sıcaklığı değiştirilerek, bu parametrelerin egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Hava/yakıt oranı, HC ve CO emisyonlarının değişiminde en etkili parametre olup, emisyonlarda elde edilen değişimler stokiyometrik orandan %10 daha fakir bölgeden sonra önemli bir azalma göstermemiştir. Sıkıştırma oranının artması, özellikle HC emisyonlarında artış göstermiştir. Ateşleme avansı artırıldığında CO emisyonlarında azalma, HC emisyonlarında ise 30° KMA'ya kadar artış daha yüksek ateşleme avanslarında ise azalma tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hava/yakıt oranı; Ateşleme zamanı; Sıkıştırma oranı; Giriş hava sıcaklığı; Egzoz emisyonları; Buji ile ateşlemeli motor

## The Experimental Investigation of the Effects of Operating Parameters on Exhaust Emissions on a Spark Ignition Engine

### ABSTRACT

Air pollution is one of the major problems threatening human health. Emissions, such as CO, HC and NO<sub>x</sub>, from the internal combustion engines have an important effect on air pollution. Emissions have been tried to be kept below the determined levels by the authorities. In this study, the effects of variation of air/fuel ratio, ignition timing, compression ratio and inlet air temperature on exhaust emissions were investigated experimentally on a four-stroke, single cylinder, spark ignition engine with variable compression ratio and fuel injection. The most effective parameter on the emissions is air/fuel ratio and can not be observed considerable decreasing after the more lean section than 10% on CO and HC. Increasing compression ratio HC emissions increase. With increasing ignition timing; CO emissions decrease and HC emissions increase up to 30° crank angle and then decrease.

**Key Words:** Air/fuel ratio, Ignition timing; Compression ratio; Inlet air temperature, Exhaust emissions; Spark ignition engine

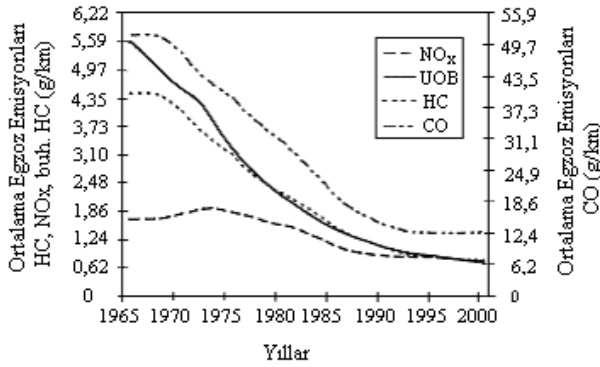
### 1. GİRİŞ

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin %30'u hidrolik ve nükleer enerjiden yanma olayı oluşmaksızın üretilmektedir. Geriye kalan enerjinin önemli bir kısmı kömür, petrol gibi fosil yakıtlarla sağlanmaktadır. Bu yakıtlar temelde hidrojen ve karbondan oluşmuştur. Yanma teorik tam yanma şeklinde gerçekleştirildiğinde yanma ürünleri olarak karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) ve su buharı (H<sub>2</sub>O) elde edilir. Ancak içten yanmalı motorlarda, yanma odasındaki sıcaklık, basınç, oksijen konsantrasyonu ve zaman, yanmayı ve yanma ürünlerini etkileyen önemli faktörlerdir (1). Bu nedenle yanma ürünleri içerisinde, yanma şartlarına bağlı olarak

yanmamış hidrokarbonlar (HC), karbon monoksit (CO) ve azot oksitler (NO<sub>x</sub>) gibi hava kirliliğine sebep olan bileşenler de bulunabilmektedir. Dolayısıyla hava kirliliğinin oluşmasındaki temel sebeplerin başında yanma olayları gelmektedir.

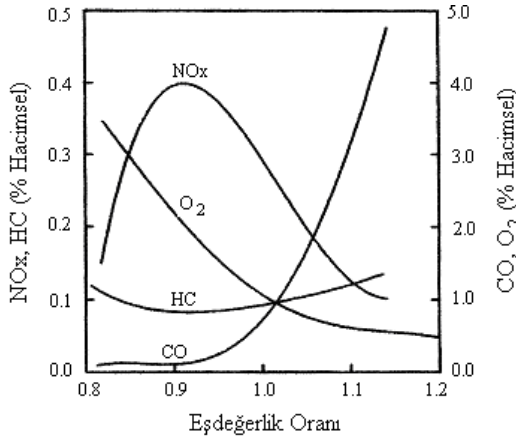
Uzun yıllar ihmal edilen emisyon kontrolü nedeniyle özellikle sanayileşmiş birçok ülkede hava kirliliğinin kontrol altına alınmaması sonucu, çevre sorunlarının yanı sıra insan sağlığının da olumsuz etkilendiği anlaşılmıştır. Bu sebeple birçok ülkede hava kirliliğini azaltıcı tedbirler yürürlüğe konulmuş, hava kirliliğinin azalmasını sağlayacak yakıtların kullanımı teşvik edilmiş ve özellikle motorlu taşıtların yaydıkları

emisyona seviyeleri çeşitli zamanlarda yapılan düzenlemelerle daha düşük seviyelere çekilmiştir. Bu uygulamaları yürürlüğe koyan ülkelerin başında Amerika Birleşik Devletleri gelmektedir. Birleşik Devletlerde kullanılan hafif hizmet tipi taşıtlar için, emisyonların değişimi her bir taşıt için kat edilen km başına gram olarak Şekil 1’de verilmiştir. Grafikte egzoz emisyonlarından HC, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları ile buharlaşma sonucu oluşan HC emisyonlarının (Uçucu Organik Bileşikler) değişimi yer almaktadır. Emisyon kontrollerinin ilk olarak uygulanmaya başladığı 1960’lı yılların sonlarından 2000 yılına kadar emisyonlarda önemli miktarda azalma sağlanmıştır. Günümüz taşıtlarından kaynaklanan HC ve CO emisyonları yirmi beş yıl öncesindeki taşıtların yaklaşık beşte biri, NO<sub>x</sub> emisyonları ise; yaklaşık üçte biri kadardır (1, 2).



Şekil 1. Emisyonların yıllara göre değişimi (2)

Yanma ürünleri arasında CO emisyonu bulunmasının temel sebebi oksijen yetersizliğidir. Oksijen yetersizliği yanma odasının bütününde olabileceği gibi karışımın homojenliğinin sağlanamaması nedeniyle bölgesel de olabilir. CO oluşumu büyük ölçüde hava/yakıt oranına bağlı olmakla birlikte sıcaklık faktörü de etkilidir. Düşük sıcaklıklarda reaksiyon hızlarının azalmasıyla birlikte fakir karışımlarda da CO'nun CO<sub>2</sub>'ye dönüşümü gerçekleşemez (1, 3-7).



Şekil 2. Eşdeğerlik oranına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi (8)

Yanma odasında tam yanma olayının gerçekleşmemesi egzoz gazları içerisinde yanmamış hidrokarbonların yer almasına sebep olmaktadır. Yanmamış hidrokarbonlar, sıcaklığın, oksijen konsantrasyonunun veya zamanın yetersiz olması sonucunda oluşmaktadır. Zengin karışımlarda oksijen yetersizliği, fakir karışımlarda ise; yanma odası sıcaklığının azalması HC emisyonunun artışına sebep olmaktadır. Ayrıca silindir cidarlarındaki ısı kayıpları nedeniyle oluşan ve alev sönme bölgesi olarak adlandırılan bölgeye ulaşan alevin sönmesi de HC emisyonu oluşumuna neden olmaktadır (1, 3-5, 9).

Yanma odası tasarımı da egzoz emisyonları üzerinde etkilidir. Soğuk silindir cidarları alevin sönmesine neden olabilmektedir. Uygun yüzey/hacim oranıyla elde edilebilecek küçük yanma odası yüzeyi yanmamış hidrokarbonları azaltır. Maksimum yakıt ekonomisi için sıkıştırma oranının olabildiğince artırılması gerekir. Ancak sıkıştırma oranının artırılmasıyla yanma odasındaki maksimum sıcaklığın yükselmesi, NO<sub>x</sub> emisyonunun artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, azalan egzoz sıcaklığı yanmamış hidrokarbonların son (post) reaksiyonlarının bozulmasına neden olmaktadır (10-12).

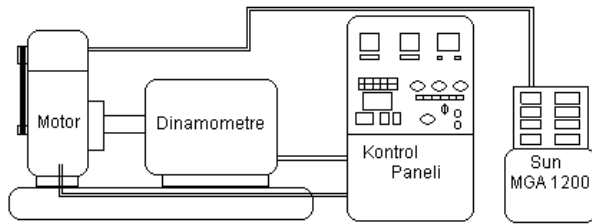
Bu çalışmada buji ile ateşlemeli enjeksiyonlu bir benzin motorunda hava/yakıt oranı, ateşleme zamanı, giriş hava sıcaklığı ve sıkıştırma oranı gibi motor çalışma parametreleri değiştirilerek, bu parametrelerin egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

Deneyler, teknik özellikleri Çizelge 1’de verilen tek silindri, buji ile ateşlemeli ve enjeksiyonlu Hydra marka motorda yapılmıştır. Çalışma parametrelerinden ateşleme avansı (AA), hava/yakıt oranı, giriş hava sıcaklığı ve sıkıştırma oranı parametreleri değiştirilerek, tam yükte, 3500 1/min sabit motor devrinde, bu parametrelerin egzoz emisyonlarına etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Motorun frenlenmesinde McClure marka elektrikli bir dinamometre kullanılmıştır. Bu dinamometre 6500 1/min motor devrine ve 30 kW güce kadar frenleme yapabilmektedir. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 3’te yer almaktadır. Hava tüketimi Go-Power M 5000 marka cihaz ile ölçülmüştür. Bu cihaz; motor gücüne uygun bir ventüri kullanılarak 1 mm su sütunu hassasiyetinde ölçüm imkanı sağlayabilmektedir. Deneyde 1,183 inç (30,0482 mm) ventüri kullanılmıştır. Yakıt tüketimi, 0,1 gram hassasiyetinde ve 8 kg’a kadar ölçüm yapabilen Ohaus GT 8000 marka dijital terazi ve 0,01 saniye hassasiyetinde Robic SC-700 marka kronometre kullanılarak ölçülmüştür. Hava/yakıt oranı ve egzoz emisyonları ölçümünde Sun MGA 1200 marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Bu cihazın ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri Çizelge 2’de yer almaktadır.

Çizelge 1. Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Hydra
Silindir sayısı	1
Çap X Kurs	80,26 x 88,9 mm
Maksimum devir	5400 1/min
Maksimum güç	15 kW
Sıkıştırma oranı	5:1 ile 13:1 (9 farklı oran)
Emme supap zamanlaması	Açılma 12° ÜÖN'den önce Kapanma 56° AÖN'den sonra
Egzoz supap zamanlaması	Açılma 56° AÖN'den önce Kapanma 12° ÜÖN'den sonra



Şekil 3. Deney düzeneğinin şematik resmi

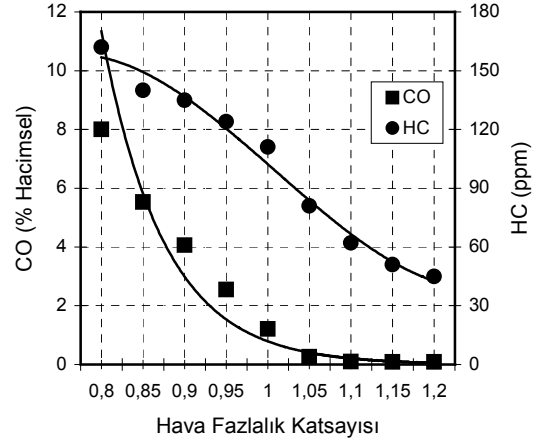
Çizelge 2. Sun MGA 1200 egzoz gaz analizörünün teknik özellikleri

	Ölçüm Aralığı	Hassasiyeti
Hava Fazlalık Katsayısı ( $\lambda$ )	0,80–2,00	0,001
CO (% hacimsel)	0-%10	%0,01
CO <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-%20	%0,01
HC (ppm)	0-20000	1
O <sub>2</sub> (% hacimsel)	0-%21	%0,1

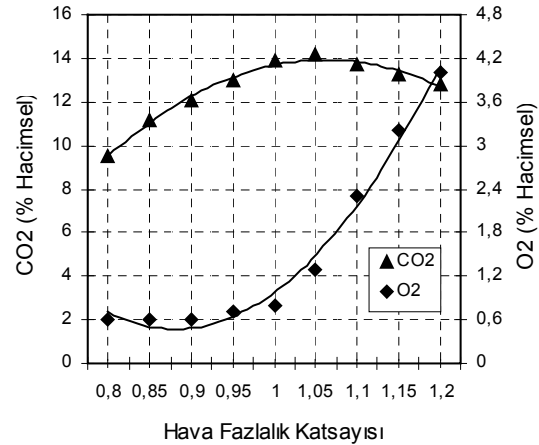
### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Egzoz emisyonlarını etkileyen temel parametrelerden biri hava fazlalık katsayısı (HFK)'dir. HFK'ya bağlı olarak CO ve HC emisyonlarının değişimi Şekil 4'te görülmektedir. Stokiyometrik hava/yakıt oranından daha zengin karışımlarda HC ve CO emisyonları karışımın zenginliğine bağlı olarak artış göstermektedir. Şekil 5'te görüldüğü gibi zengin karışımlarda egzoz gazı içerisindeki O<sub>2</sub> konsantrasyonu oldukça düşüktür. Yanmanın tamamlanamaması CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun da azalma eğilimi göstermesine sebep olmaktadır. Oksijen konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonu artış göstermektedir. Stokiyometrik orandan biraz fakir karışımda (HFK=1,05) CO<sub>2</sub> konsantrasyonu maksimum değerine ulaşmıştır. Bu noktadan itibaren oksijen konsantrasyonunun artmasına rağmen fakir karışımlarda yanma veriminin düşmesine bağlı olarak CO<sub>2</sub> konsantrasyonu azalma eğilimi göstermektedir. HFK'ye bağlı olarak egzoz sıcaklığının değişimi incelendiğinde stokiyometrik orandan biraz fakir karışımda (HFK=1,05) egzoz sıcaklığı maksimum değerine ulaşmakta ve bu noktadan itibaren karışım fakirleştikçe egzoz sıcaklığı azalmaktadır. Bu azalma son (post) reaksiyon olarak nitelendirilen kimyasal reaksiyonların ya-

laşmasına neden olmaktadır. Stokiyometrik hava/yakıt oranında HC 111 ppm ve CO %1,21 iken HFK=1,1'de HC 62 ppm ve CO %0,10 olarak elde edilmiştir. Bu HFK'de stokiyometrik orana göre HC %44,1 ve CO %91,7 azalmıştır. HFK=1,2'de ise; HC 45 ppm ve CO %0,09 elde edilmiştir. Bu HFK'de 1,1 HFK'ye göre HC %27,4 ve CO %10 azalmıştır.

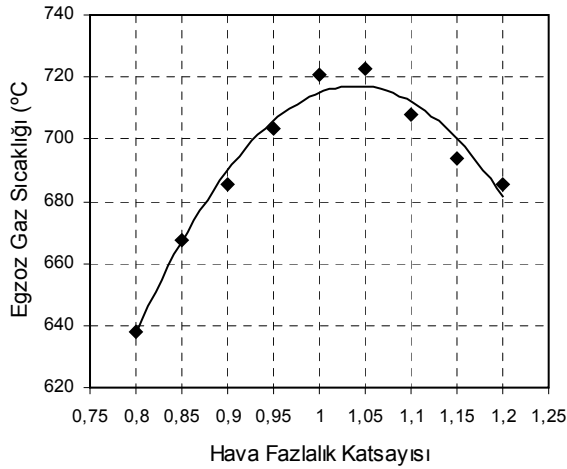


Şekil 4. Hava/yakıt oranına bağlı olarak CO ve HC emisyonlarının değişimi (SO=9:1, AA=26°KMA, Tam yük)


 Şekil 5. Hava/yakıt oranının CO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> emisyonlarına etkisi (SO=9:1, AA=26°KMA, Tam yük)

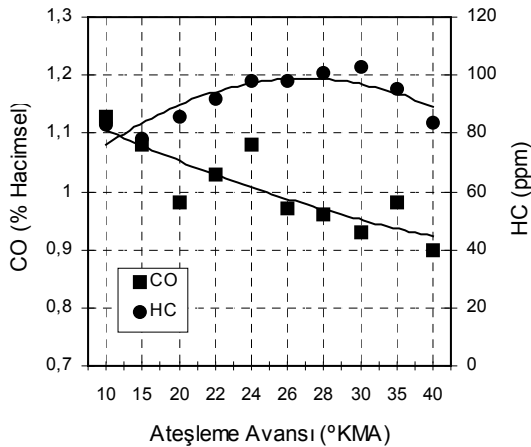
Hava fazlalık katsayısı değişimine bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığının değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Şekilde görüleceği gibi HFK'nın "1" civarında olduğu bölgede egzoz gaz sıcaklığı maksimum değerine ulaşmakta, HFK=1,05 iken 722,8°C olmakta, zengin ve fakir karışım bölgelerine gidildikçe egzoz gaz sıcaklığı azalmaktadır. Bu bölgelerde egzoz gaz sıcaklığı HFK=0,8 iken 638,1°C ve HFK=1,2 iken 685,6°C olmaktadır. Zengin karışım bölgesinde oksijen azlığından dolayı yanma tam olmamakta bu sebeple hem egzoz gaz sıcaklığı azalmakta, hem de CO ve HC emisyonlarında önemli artış görülmektedir. Fakir karışım bölgesinde ise; hem silindir içerisine giren yakıt miktarının

dolayısıyla enerji miktarının azalması, hem de sürüngen yanmadan dolayı egzoz gaz sıcaklığı azalmaktadır.

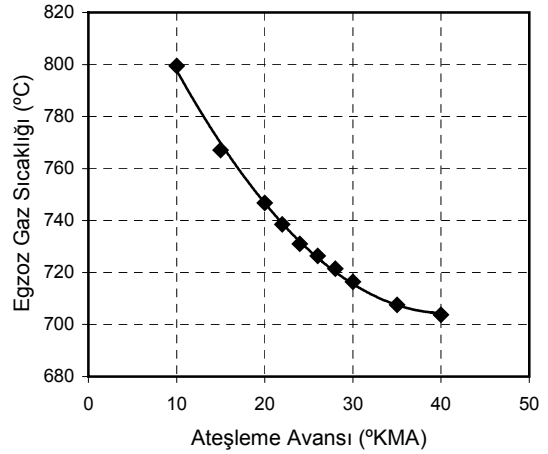


Şekil 6. Hava/yakıt oranının egzoz sıcaklığına etkisi (SO=9:1, AA=26°KMA, Tam yük)

Ateşleme avansına bağlı olarak CO ve HC emisyonlarının değişimi Şekil 7'de, egzoz gaz sıcaklığının ateşleme avansına bağlı olarak değişimi ise; Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi ateşleme avansının artması ile CO emisyonu sürekli olarak azalmakta, buna karşılık HC emisyonları ateşleme avansı 30° oluncaya kadar artmakta, bu noktadan sonra ise azalmaktadır. Ateşleme zamanının avansa alınması yanmanın daha erken gerçekleşmesine ve egzoz gaz sıcaklığının azalmasına sebep olmaktadır. Egzoz gaz sıcaklığının azalmasıyla birlikte reaksiyon hızlarının yavaşlaması HC emisyonu oluşumunu hızlandırma etkisi göstermektedir. Yanmanın optimum ateşleme zamanına göre rötara alınmasıyla yanma kötüleşmekte, buna bağlı olarak silindir içerisinde elde edilen fren ortalama efektif basıncı düşmekte, aynı zamanda yanma veriminin azalmasıyla CO emisyonu da artmaktadır.

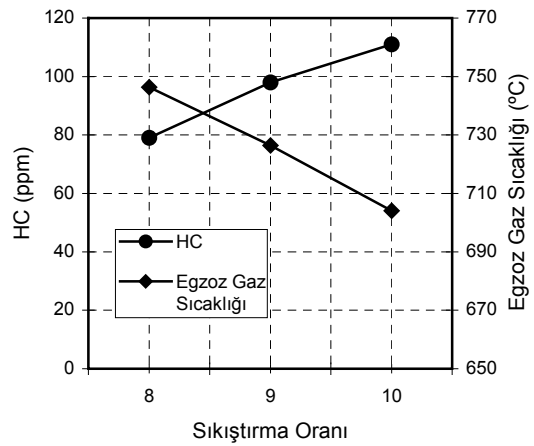


Şekil 7. Ateşleme avansının CO ve HC emisyonlarına etkisi (λ=1, SO=9:1, Tam yük)



Şekil 8. Ateşleme avansının egzoz gazı sıcaklığına etkisi (λ=1, SO=9:1, Tam yük)

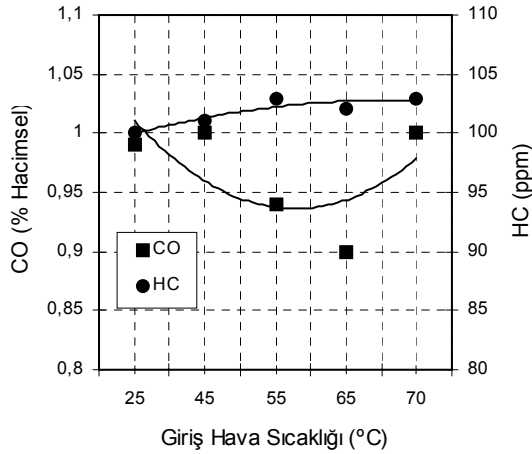
Sıkıştırma oranının HC emisyonu ve egzoz gaz sıcaklığına etkisi Şekil 9'da yer almaktadır. Sıkıştırma oranının artması, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığının artmasına ve ateşleme avansı ihtiyacının azalmasına sebep olmaktadır. Sıkıştırma oranının artması aynı zamanda egzoz gaz sıcaklığını da düşürmektedir. Yüzey/hacim oranı, sıkıştırma oranıyla ilişkili bir parametredir ve HC emisyonlarının oluşumunda etkilidir. Sıkıştırma oranının artırılmasıyla yüzey/hacim oranı da artmaktadır. Yüzey/hacim oranı arttıkça silindir cidarlarına ulaşan alevin sönmemesinin soğuma nedeniyle kolaylaşması HC emisyonlarının artmasında etkili olmaktadır.



Şekil 9. Sıkıştırma oranının HC emisyonuna ve egzoz gaz sıcaklığına etkisi (AA=26°KMA, λ=1, Tam yük)

Maksimum motor momentini veren ateşleme avansında ve stokiometrik hava/yakıt oranında giriş hava sıcaklığı değiştirilerek elde edilen CO ve HC emisyonlarının değişimi Şekil 10'da verilmiştir. Giriş hava sıcaklığı arttırıldıkça silindir içerisine alınan havanın kütlesine bağlı olarak stokiometrik hava/yakıt oranının sağlanabilmesi için enjektörden püskürtülen yakıt miktarı azalmaktadır. (25°C'de yakıtı debisi 3057 g/h iken, 70°C'de 2880 g/h olarak elde edilmiştir.) Yanma odasına sürülen enerjinin azalması motor gücünde düşmeye

neden olmaktadır. (25°C’de motor gücü 11,53 kW iken, 70°C’de 10,56 kW olarak elde edilmiştir.) Motor performansındaki bu değişime karşın egzoz emisyonlarında giriş hava sıcaklığıyla ilişkili ve belirgin bir değişim elde edilememiştir. 25°C giriş sıcaklığında HC emisyonu 100 ppm iken, 70°C’de 103 ppm olarak ölçülmüştür.



Şekil 10. Giriş havası sıcaklığının CO ve HC emisyonlarına etkisi (AA=26°KMA, SO=9:1,  $\lambda=1$ , Tam yük)

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Hava/yakıt oranına bağlı olarak maksimum egzoz gaz sıcaklığı 1,05 HFK’de elde edilmiştir. HFK 1’den 1,1’e artırıldığında CO %91,7 ve HC %44,1 azalmış, HFK’nin 1,1’den 1,2’ye artırılması durumunda CO %10 ve HC %27,4 azalmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi CO ve HC emisyon faktörü göz önüne alındığında motoru HFK=1,05-1,1 olduğu durumda çalıştırmak gerekmektedir.

Ateşleme avansının artması egzoz gaz sıcaklığının belirgin bir şekilde azalmasına sebep olmuştur. HC emisyonları genel olarak artan ateşleme avansı ile artış gösterirken, CO emisyonlarında azalma görülmüştür.

Maksimum motor momentini veren ateşleme avansında (26° KMA), stokiyometrik hava/yakıt oranında ( $\lambda=1$ ) ve tam yük şartlarında, sıkıştırma oranı 8/1’den 9/1’e yükseltildiğinde HC emisyonu %19,4 artmıştır. 9/1 sıkıştırma oranından 10/1 sıkıştırma oranına artış olduğunda HC emisyonu %11,7 artmıştır. Egzoz sıcaklığı 8/1 sıkıştırma oranında 746,4 °C iken 10/1 sıkıştırma oranında 704,1 °C’ye kadar azalmıştır.

Giriş havası sıcaklığının artışı HC emisyonlarında %3’lük küçük bir artışa neden olmuştur. CO emisyonunda etkin bir değişim görülmemiştir. Giriş havası

sıcaklığının artması emisyonlardan çok motor performansı üzerinde etkili olmaktadır.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O. A. ve Arslan, H., Taşıtlardan Kaynaklanan Egzoz Kirleticileri, Birsen Yayınevi, İstanbul, s. 1-14, 1998.
2. Sher, E., Handbook of Air Pollution from Internal Combustion Engines Pollutant Formation and Control, Academic Press, USA, pp. 4-9, 1998.
3. Soruşbay, C. ve Gökten, A. G., “Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Kontrolü”, İTÜ 1. Hava Kirlenmesi ve Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, s. 157-166, 15-16 Mart 1993.
4. Barlas, A., “Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri”, Egzoz Gazlarının Çevreye Etkileri Semineri, İstanbul, s. 8-24, 15 Nisan 1996.
5. Soruşbay, C., “Motorlu Taşıtlardan Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolünde Kullanılan Yöntemler”, 2. Motor ve Taşıt Tekniği Sempozyumu, İzmir, 14-15 Ekim 1993.
6. Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Ankara, s. 32-37, 1992.
7. Bilgin, A. ve Durgun, O., “Taşıt Motorlarında Kirlenici Emisyonların Oluşum Mekanizmaları ve Önlenmesi”, 5. Yanma Sempozyumu, Kirazlıyayla, Bursa, s. 196-208, 21-23 Temmuz 1997.
8. Abdel-Rahman, A. A., “On the Emissions from Internal-Combustion Engines: A Review”, International Journal of Energy Research, Vol.: 22, pp. 483-513, 1998.
9. Yıldırım, A. M. ve Sürmen, A., “Buji Ateşlemeli Motorlarda HC Emisyonlarının Oluşumu ve Alev Geçişi Sonrası Davranımının Matematik Modeli”, 5. Yanma Sempozyumu, Kirazlıyayla, Bursa, s. 176-188, 21-23 Temmuz 1997.
10. Schäfer F. and Basshuysen, R.v., Reduced Emissions and Fuel Consumption in Automobile Engines, Springer-Verlag Wien and Society of Automotive Engineers, Inc., Altenburg, pp. 21-22, 1995.
11. Russ, S. G., Kaiser, E. W. Siegi, W. O., Podsiadlik, D. H. and Barrett, K. M., “Compression Ratio and Coolant Temperature Effects on HC Emissions from a Spark-Ignition Engine”, SAE Paper, No: 950163, pp. 63-75, 1995.
12. Takagaki, S. S. and Raine R. R., “The Effects of Compression Ratio on Nitric Oxide and Hydrocarbon Emissions from a Spark-Ignition Natural Gas Fuelled Engine”, Spark-Ignition Engine Combustion and Emissions SP-1267 No: 970506, pp. 55-61, 1997.