

**SABİT YÜK VE HIZ ŞARTLARINDA SIKIŞTIRMA ORANININ MOTOR  
KAREKTERİSTİKLERİNE ETKİSİ**

**M. Bahattin ÇELİK\***

**Mustafa BALCI\*\***

**\*Z. K. Ü. Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, 78200, Karabük, Türkiye**

**\*\* G. Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, 06500, Ankara, Türkiye**

**ÖZET**

İçten yanmalı motorlarda yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi ile ilgili araştırmalar günümüzde yoğunlaşmıştır. İşletme parametrelerinin motor performansı üzerindeki olumlu etkisini artırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada motor performansını etkileyen en önemli parametrelerden biri olan sıkıştırma oranının motor gücü, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler; buji ile ateşlemeli, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, sıkıştırma oranı 4/1 ile 10/1 arasında ayarlanabilen değişken sıkıştırma oranlı bir motorda yapılmıştır. Sabit kısmi yük ve hızda sıkıştırma oranının artması ile birlikte motor gücünde % 29 artma, özgül yakıt tüketiminde % 23 azalma elde edilmiştir. Ayrıca CO emisyonlarında % 20 düşme kaydedilirken HC emisyonlarının % 38 oranında arttığı gözlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Sıkıştırma oranı, motor performansı, yakıt ekonomisi

**THE EFFECT OF COMPRESSION RATIO IN CONSTANT LOAD AND SPEED CONDITIONS  
ON ENGINE CHARACTERISTICS**

**ABSTRACT**

Studies on improving fuel economy and exhaust emissions in the internal combustion engines have been gained more importance day by day. Currently, the improvements of the effects of operating variables on the engine performance have been researched. In this study, the important operating variable that is compression ratio affecting on engine power, fuel economy and exhaust emissions were investigated. For the experiments, spark ignited, single cylinder, air-cooled and four stroke variable compression ratio engine was used. This engine's compression ratio is variable between 4/1 and 10/1. The results show that the increment on compression ratio increases 29 % engine power and decreases 23 % specific fuel consumption in constant load and speed conditions. In addition, the increment on compression ratio was provided almost 20 % decreases at CO and 38 % increases at HC emissions.

**Key words:** Compression ratio, engine performance, fuel economy

**1.GİRİŞ**

Yakıt fiyatlarının sürekli artması ve artan taşıt sayıları ile birlikte çevre kirliliğinin insan sağlığını tehdit edecek seviyeye gelmesi, yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonları konusunda yapılan araştırmaların hızlanmasına neden olmuştur. İyi bir yakıt ekonomisi ve emisyon için, motor yanma veriminin, motorun bütün çalışma şartlarında maksimum seviyede tutulması gerekmektedir. Her bir işletme parametresinin yanma üzerindeki etkisi farklı olmaktadır. Dolayısıyla mümkün olan çok sayıda parametreden, yakıtın en

verimli biçimde enerjiye dönüşümünü sağlayacak şekilde yararlanılmalıdır.

Sıkıştırma oranı, motorun gücünü ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Benzinli motorlarda termik verim sıkıştırma oranının bir fonksiyonudur. Sıkıştırma oranının artmasıyla sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte, dolayısıyla ortalama efektif basınç ve verim artmaktadır. Sıkıştırma oranının vurutuya neden olmayacak kadar yükseltilmesiyle birlikte çıkış gücü artmakta ve yakıt tüketimi azalmaktadır [1,2].

Bir motorun sıkıştırma oranı; motorun tipi, kullanılan yakıtın cinsi ve motorun çalışma şartlarına göre belirlenmektedir. Motor standart sıkıştırma oranıyla vurutuya en yakın çalışma koşulunda (tam yük+düşük hız) dahi vurutu yapmadan çalışabilmektedir. Bir motorun standart sıkıştırma oranının üzerinde çalıştırılması için ya vurutuya dayanıklı yakıt kullanmak yada motorun tam yük+düşük hız bölgesi dışında çalıştırılması gerekmektedir. Aksi halde motorda vurutulu çalışma başlar.

Sıkıştırma oranının performansa etkisini incelemek için birçok deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır. Buji ile ateşlemeli, 5.3 litrelik bir V-8 motoru, sıkıştırma oranı 9/1'den 20/1'e kadar artırılarak denenmiş, sıkıştırma oranının 9/1'den 17/1'e yükseltilmesi ile birlikte motor gücünde % 14 oranında artma elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı 17/1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır. Yüksek sıkıştırma oranlarında motorun vurutu yapmaması için yakıt içerisinde özel katkı maddeleri ilave edilmiştir [3]. Sıkıştırma oranının performansa etkisini incelemek için yapılan diğer bir çalışmada, buji ile ateşlemeli, 2,2 litrelik bir motor kısmi gaz ve sabit devirde (2500 d/d) sıkıştırma oranı değiştirilerek test edilmiştir. Deneyler sonucunda, sıkıştırma oranının 7,5/1'den 10/1'e yükseltilmesi ile motor gücünün % 19 civarında arttığı ve özgül yakıt tüketiminin % 18 oranında azaldığı tespit edilmiştir [4]. 4,7 Litrelik bir V-8 motoru üç değişik sıkıştırma oranında (8/1, 10/1, 12/1) test edilmiş. Artan sıkıştırma oranıyla motor gücünün % 20 arttığı ve özgül yakıt tüketiminin % 15 azaldığı belirlenmiştir [5]. Bir başka çalışmada değişik yanma odalarının ve değişik sıkıştırma oranlarının egzoz emisyonlarına ve yakıt ekonomisine etkileri incelenmiştir. Deneylerde dört değişik yanma odası ve üç değişik sıkıştırma oranı (8/1, 9/1, 10/1) kullanılmıştır. 4 silindri, 1.6 litrelik, karbüratörlü bir motor üzerinde yapılan testler sonucunda artan sıkıştırma oranıyla yakıt ekonomisinin iyileştiği tespit edilmiştir [6]. Sıkıştırma oranının yakıt ekonomisine katkısının araştırılması için iki taşıtın sıkıştırma oranları, emisyon seviyeleri ve performansı sabite yakın bir şekilde tutularak, bir birim artırılmıştır. Yapılan testler sonucunda sıkıştırma oranının bir birimlik artışıyla yakıt ekonomisinde % 4,2'lik bir artış elde edilmiştir [7].

İngiliz Teknik Konseyi tarafından yapılan bir çalışmada Araştırma Oktan Sayısı (AOS), sıkıştırma oranı ve yakıt ekonomisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Kurs hacimleri 1100 ile 4235 cm<sup>3</sup> aralığında bulunan 17 farklı motor, dinamometrede ve taşıt üzerinde denenmiş, 1300-1600 cm<sup>3</sup> lük motorlarda 7,6/1-8,0/1 sıkıştırma oranında AOS'nın 90 olması gerekirken 8,5/1-9,0/1 sıkıştırma oranında AOS'nın 97 olması gerektiği belirlenmiştir. Sıkıştırma oranında 0,9-1,0 birimlik artış, AOS'nda 7 birimlik artmayı gerektirmektedir. Bu durumda 1300-1600 cm<sup>3</sup> lük motorlarda birim sıkıştırma oranı başına % 4,4-13,3'lük, birim AOS başına da % 0,6-1,7'lik yakıt ekonomisi tespit edilmiştir. 17 adet motor için genel ortalama yapıldığında sıkıştırma oranındaki birim artış ile % 7,7 ve AOS'ndaki birim artış ile % 1,3'lük yakıt ekonomisi sağlandığı belirlenmiştir [8].

Kurs hacmi 650 cm<sup>3</sup>, sıkıştırma oranı 6,13/1 ile 9,61/1 arasında değiştirilebilen değişken sıkıştırma oranlı bir motorun performansı ölçülmüş, deneyler sonucunda motor gücünün % 30 ve termik verimin % 20 arttığı belirlenmiştir [9]. Sıkıştırma oranı 9,5/1-15,5/1 arasında kademeli olarak değiştirilebilen Otto-Atkinson (OA) çevrimine göre çalışan bir motor tasarlanmıştır. Sıkıştırma oranı tam yükte 9,5/1'e ayarlanmış, yük azaldıkça sıkıştırma oranı artırılmış ve kısmi yükte 15,5/1 değerine yükseltilerek performans ölçülmüştür. OA motoruyla yapılan testler sonucunda; OA motoru standart motora göre % 10 Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR) ile 1500d/d'de 2.62 bar'lık ortalama efektif basınçta özgül yakıt tüketiminde % 15 oranında iyileşme göstermiştir. Kısmi yüklerde OA motorunda standart motora göre; NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarında % 50 oranında azalma gözlenirken HC emisyonlarında % 60 oranında artış gözlenmiştir [10].

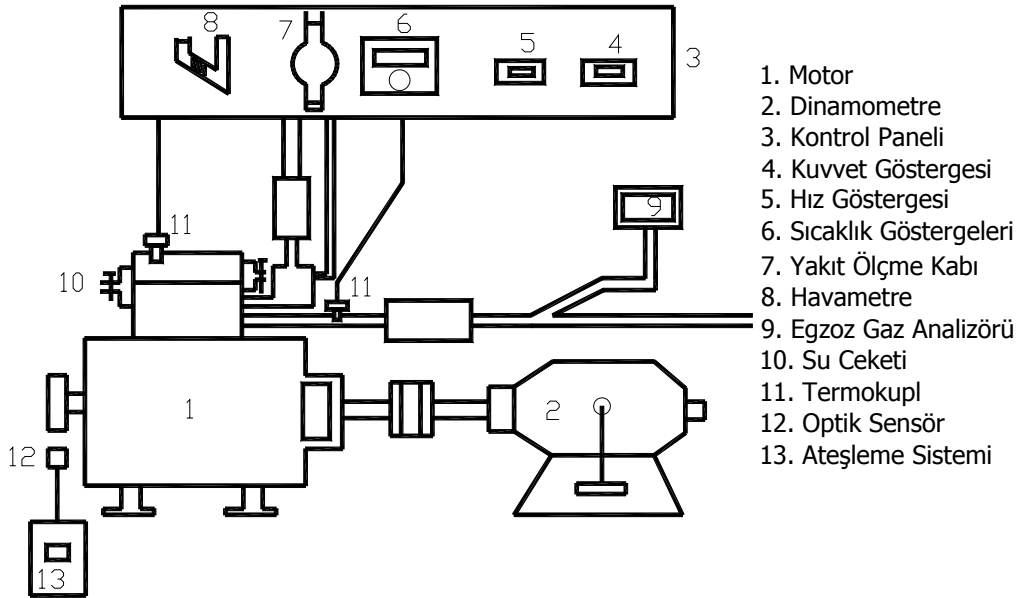
Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesi sonucu motorun emisyon düzeyi değişmektedir. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Bunun başlıca sebepleri; yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgesindeki yarık, oyuk kısımların hacmindeki artışlar HC emisyonunu artırmaktadır [11]. HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi de yanma

odası yüzey alanıdır. Yanma odası içindeki alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmış gazlarla karışarak egzozla atılır. Hacme oranlı yanma odası yüzey alanı sıkıştırma oranı ile birlikte artmaktadır. Dolayısıyla sıkıştırma oranının artması HC emisyonunu da artırmaktadır [1,12]. Artan sıkıştırma oranı yanma verimini artırdığından CO emisyonları düşmektedir.

4 zamanlı, tek silindirli, standart yakıt oktan sayısını tespit etmekte kullanılan, sıkıştırma oranı değişebilen, buji ile ateşlemeli bir motor üzerinde sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Sıkıştırma oranının etkisi başlıca dört değişik oranda (7/1, 8/1, 8.5/1, 9.5/1) araştırılmıştır. Sıkıştırma oranının artırılması ile toplam HC oranında bir artma, CO oranında çok azda olsa bir artış gözlenmiştir [13]. Diğer bir çalışmada, sıkıştırma oranının 6/1'den 9/1'e çıkarılması ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında % 54 civarında azalma tespit edilmiştir [9]. Değişken sıkıştırma oranlı motora sahip VW marka taşıtta yapılan testlerle taşıtın emisyon seviyesi araştırılmıştır. Testler sonucunda NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarında azalma gözlenirken, HC emisyonlarının arttığı belirlenmiştir [14].

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneyler Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı Laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney tesisatının şematik görünüşü Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney tesisatının şematik görünüşü

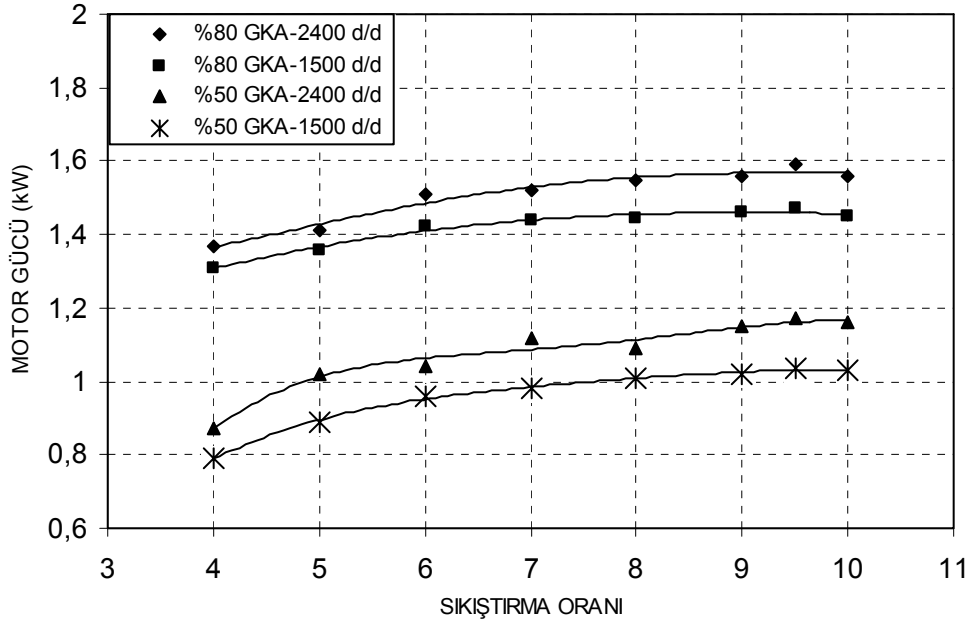
Deneylerde 6 HP (4.4 kW) gücünde, dört zamanlı, tek silindirli, Lombardini LA250 Marka sıkıştırma oranı 4/1 ile 10/1 arasında ayarlanabilen değişken sıkıştırma oranlı bir motor kullanılmıştır. Motorun silindir çapı 72 mm, kurs boyu 62 mm'dir. Deney motorunun standart sıkıştırma oranı 5/1 iken daha önce yapılan bir çalışmada sıkıştırma oranı değişken hale getirilmiştir [15]. Deneyde kullanılan motor sabit avans ile çalışmaktadır. Ateşleme avansı ile sıkıştırma oranı arasındaki ilişkiyi belirlemek ve maksimum motor torkunu elde edebilmek amacıyla optik kumandalı elektronik ateşleme sistemi geliştirilerek 1'er derecelik aralıklarla 50 dereceye kadar ateşleme avansının değiştirilebilmesi sağlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce motor ayarları kontrol edilmiş, ölçme işlemlerine motor normal çalışma sıcaklığına ulaştığı zaman başlanmıştır. Sıkıştırma oranının performansa etkisini tespit etmek amacıyla deneyler sabit yük ve sabit hızda yapılmıştır. Motor, 1500 d/d ve 2400 d/d sabit hızlarda ve % 50 ve % 80 sabit gaz keleşliği açıklıklarında (GKA) Hava/Yakıt (H/Y) oranı 14,5/1'de iken sıkıştırma oranı 4/1'den 10/1'e kadar değiştirilerek test edilmiştir. Ateşleme avansı her sıkıştırma oranı değeri için maksimum torku verecek şekilde ayarlanmıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Motor Gücü ve Özgül Yakıt Tüketimi

Yapılan testler sonucunda her dört çalışma durumunda da artan sıkıştırma oranıyla motor gücünün arttığı belirlenmiştir. Güç artışı sıkıştırma oranının 7/1 değerine kadar daha belirgin bir artış göstermiş 8/1'den sonra artış hızı azalmıştır. Sıkıştırma oranının 9,5/1 değerine kadar güçteki artış devam etmiştir. Sıkıştırma oranının 4/1'den 9,5/1'e yükselmesiyle 1500 d/d'da % 50 motor yükünde güçte % 29, % 80 motor yükünde % 12, 2400 d/d'da güçte % 11 ve % 14 oranlarında artışlar elde edilmiştir. Ancak 9,5/1 değerinden sonra her dört çalışma konumunda da güç değerlerinde azalma olmuştur, Şekil 2. Yüksek sıkıştırma oranlarında, yanma odasında ezilme bölgesindeki (quench) kütle yüzdesinin artmasıyla yanma süresi uzamakta, ayrıca yanma odası yüzey/hacim oranının artması da yanma süresini artırmaktadır. Yanma süresinin artmasıyla birlikte ısı alışverişi için geçen süre artmakta, ısı kayıpları nedeniyle motorun gücü ve verimi azalmaktadır [2,3]. Motorun her iki kısmi yük durumunda da sıkıştırma oranının 9,5/1 değerinden sonra düşmeye başlaması, güç düşmesinin vuruntudan kaynaklanmadığını göstermektedir.



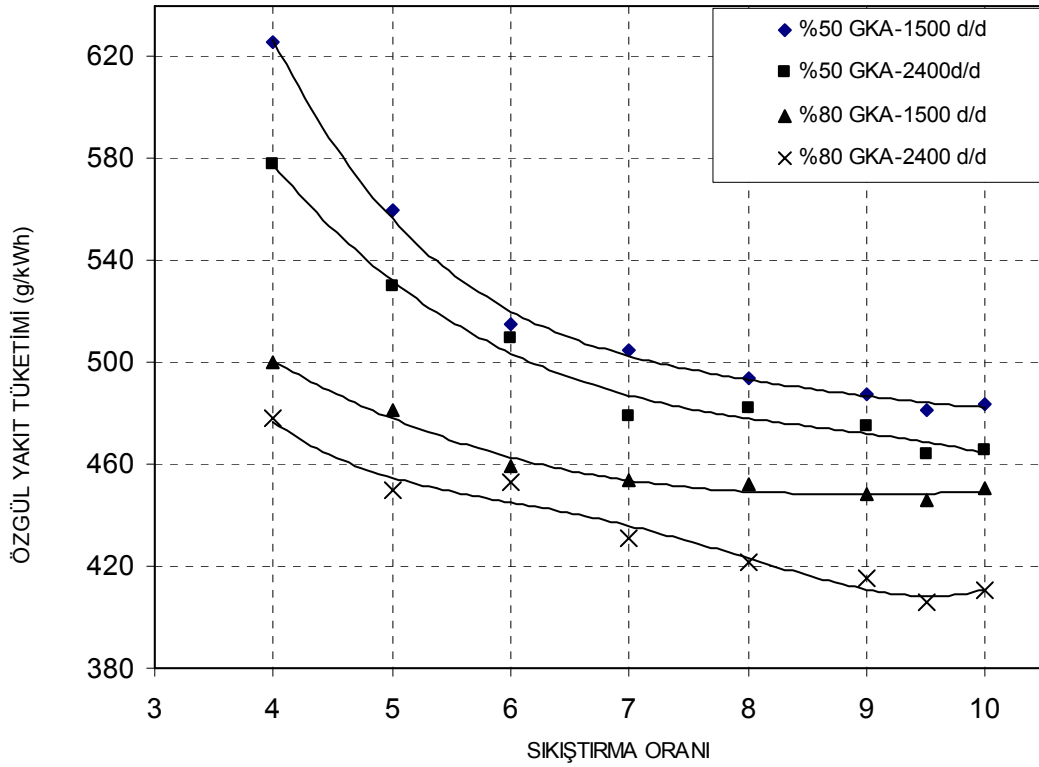
Şekil 2. Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi

Sıkıştırma oranının özgül yakıt tüketimine (ÖYT) etkisi Şekil 3'de görülmektedir. Artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücü arttığından özgül yakıt tüketimleri de azalmıştır. Minimum ve maksimum sıkıştırma oranları arasında, 1500 d/d'da ÖYT'deki azalma, % 50 motor yükünde % 23, % 80 motor yükünde % 11, 2400 d/d'da ise % 19 ve % 14 civarındadır. 9,5/1 sıkıştırma oranından sonra motor gücü de azalmaya başladığından özgül yakıt tüketimi de artmıştır.

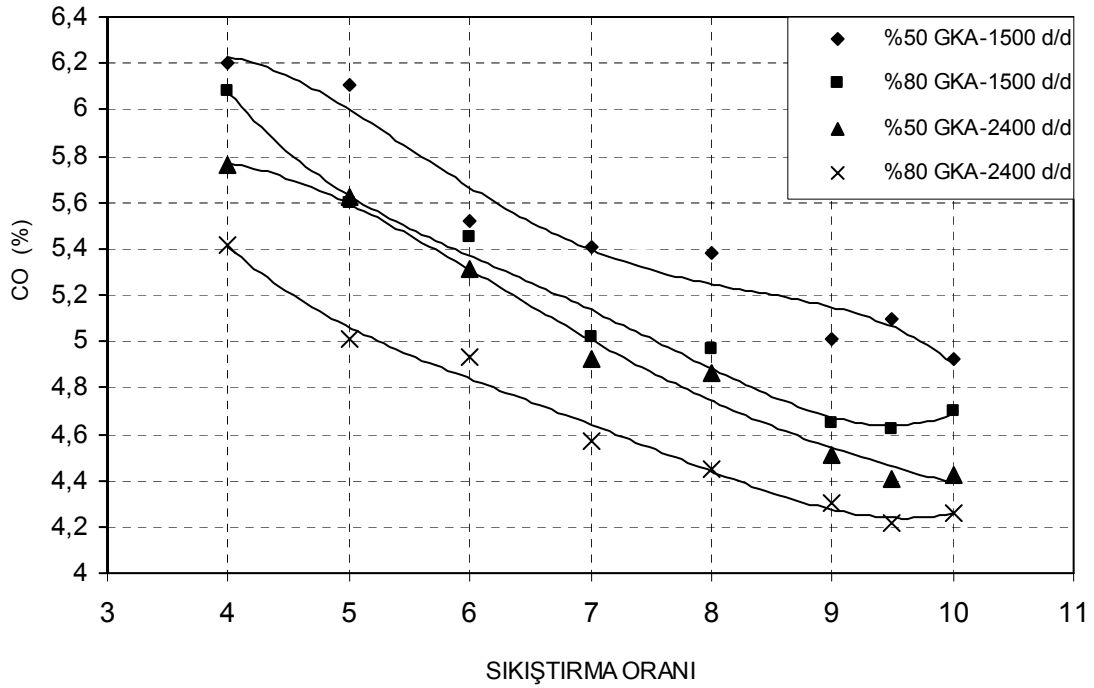
#### 3.2. Egzoz Emisyonları

Sıkıştırma oranının egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 4 ve 5'de verilmiştir. Artan sıkıştırma oranı ile CO emisyonlarında bir miktar azalma gözlenmiştir. Minimum ve maksimum sıkıştırma oranları arasında, her iki motor yükünde 1500 d/d'da CO emisyonlarında yaklaşık % 20, 2400 d/d'da % 50 motor yükünde % 23, % 80 motor yükünde % 21 azalma belirlenmiştir. Sıkıştırma oranının artması ile yanma verimi de arttığından CO emisyonları azalmaktadır. Sıkıştırma oranının artması HC emisyonlarını olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek sıkıştırma oranlarında yüzey/hacim oranının artmasıyla birlikte HC emisyonları da artmaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi minimum sıkıştırma oranı ile maksimum sıkıştırma oranı arasında HC emisyonları, 1500 d/d'da % 50 motor yükünde % 38, % 80 motor yükünde % 59, 2400d/d'da ise her iki

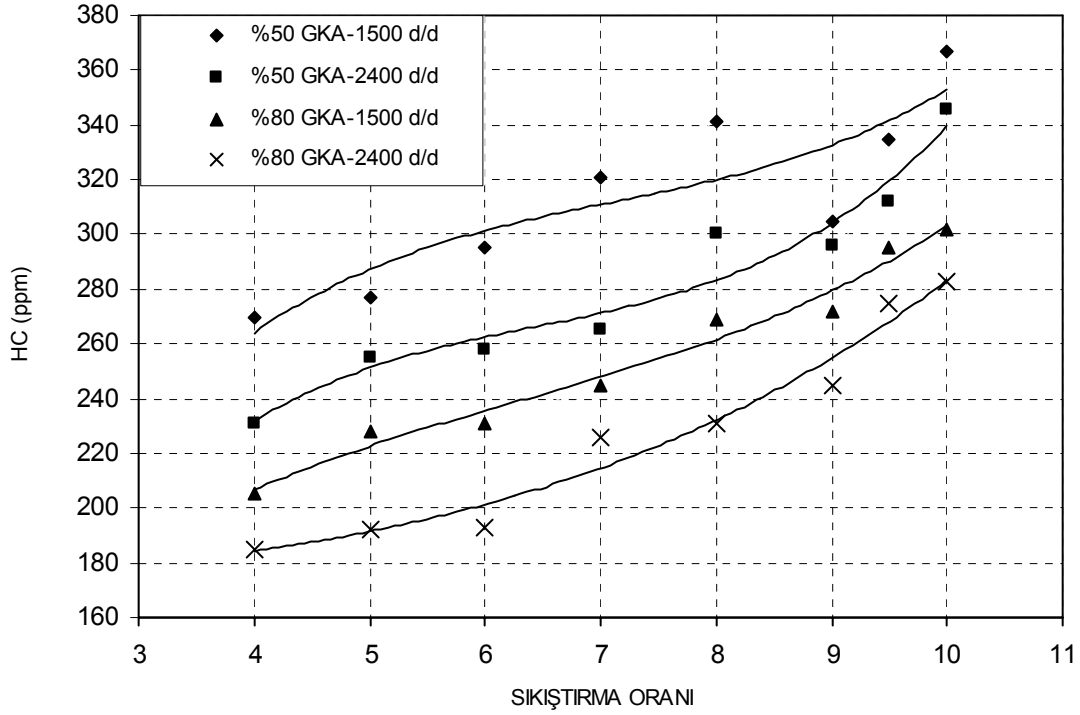
yükte de % 51 oranında artmıştır. Egzoz emisyon sonuçları Kaynak (10,14) ile de uyumluluk göstermektedir.



Şekil 3. Sıkıştırma oranının özgül yakıt tüketimine etkisi



Şekil 4. Sıkıştırma oranının CO emisyonuna etkisi



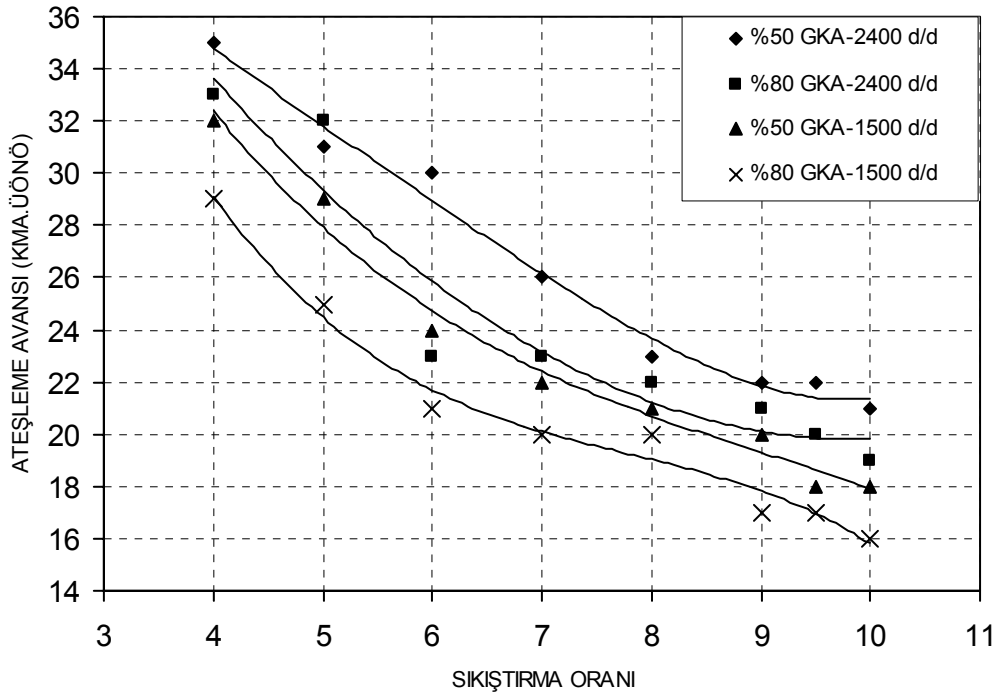
Şekil 5. Sıkıştırma oranının HC emisyonuna etkisi

### 3.3. Ateşleme Avansı

Şekil 6'da sıkıştırma oranı ile ateşleme avansı arasındaki ilişki görülmektedir. Her iki yük konumunda da artan sıkıştırma oranıyla birlikte ateşleme avansı azalmaktadır. Sabit motor hızı ve yükünde sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkları yükseleceğinden yanma hızı artmaktadır. Maksimum gücü elde etmek için artan sıkıştırma oranıyla birlikte avansın azaltılması gerekir. Motor yükünün artışıyla birlikte yanma hızı artarak avansın azalması gerekirken diğer taraftan hız arttıkça motorun avans ihtiyacı da artmaktadır.

## 4. SONUÇLAR

Deney sonuçları; sıkıştırma oranının motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli bir parametre olduğunu göstermiştir. Sıkıştırma oranının 4/1'den 9.5/1'e artırılmasıyla motor gücünde artış, özgül yakıt tüketiminde önemli düşmeler elde edilmiştir. Motorun vuruntu meyli olmayan kısmi yüklerde yüksek sıkıştırma oranlarında çalıştırılmasıyla yakıt ekonomisinde önemli iyileşmeler elde edilebilir. Deney sonuçları, sıkıştırma oranının belirli bir değerden daha fazla artırılmasının vuruntu olmasa dahi motor gücünde azalmaya neden olduğunu göstermiştir. Bunun sebeplerinden birisi, yüksek sıkıştırma oranlarında yanma odası yüzey/hacim oranının artması ile ısı kayıplarının artmasıdır. Bu çalışmada kullanılan hava soğutmalı motorda sıkıştırma oranının 9,5/1 değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamaktadır. Ayrıca sıkıştırma oranının artışı; yanma verimini artırdığından CO emisyonlarını düşürmüştür, ancak yüzey/hacim oranını artırdığından HC emisyonlarının artmasına sebep olmuştur.



Şekil 6. Sıkıştırma oranı ateşleme avansı ilişkisi

## 5. KAYNAKLAR

1. Junior, H. G., "Obtainment of same thermal efficiency in spark engines with different compression ratio", **SAE paper**, 921523, 1992.
2. Muranaka, S., Takagi, Y., Ishida, T., "Factors limiting the improvement in thermal efficiency of S.I. engine at higher compression ratio", **SAE Paper**, 870548, 1987.
3. Caris, D.F., Nelson, E.E., "A new look at high compression engines", **SAE Transaction**, Vol.67, 1958.
4. Stone, R., **Motor vehicle fuel economy**, Macmillan Educational Ltd., Houndmills, 1989.
5. Ferguson, C.R., **Internal combustion engines**, John Wiley Sons Inc., 1986.
6. Matsumoto, K., Inoue, T., Nakanishi, T., "The effects of combustion chamber design and compression ratio on emissions, fuel economy", **SAE Transaction**, 770193, 1977.
7. Marsee, F.J., Olree, R.M., Adams, W.E., "Compression ratio effects with lean mixtures", **SAE Transaction**, 770640, 1977.
8. Dartnell, P.L., "Future fuels and engines", **Yugoslav Petroleum Institute Symposium 77**, The Associated Octel Company Ltd., January, 1978.
9. Wardznski, W.F., Rychter, T.J., Variable R/L Research engine-design and preliminary investigations, **SAE Transaction**, 911773, 1991.
10. Boggs, D.L., Hilbert, H.S., The Otto-Atkinson cycle engine-fuel economy and emissions results and hardware design, **SAE Paper**, 950089, 1995.
11. Heywood, J.B., **Internal combustion engine fundamentals**, Mc Graw-Hill Book Company, 1988.
12. Scheffler, E.C., "Combustion chamber surface area, a key to exhaust hydrocarbons", **SAE Paper**, 660111, 1966.
13. Civil T., "Effects of compression ratio and the ratio of methanol to gasoline in blend on the exhaust emissions of spark ignition engine", M.E.T.U. **Master Thesis**, 1987.
14. Adams, W.H., Hinrichs, H.G., Adams, P., Analysis of the combustion process of a spark ignition engine with a variable compression ratio, **SAE Transaction**, 870610, 1987.
15. Çelik, M., B., "Buji İle Ateşlemeli Bir Motorun Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması", G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, **Doktora Tezi**, 1999.