

BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA SIKIŞTIRMA ORANI DEĞİŞİMİNİN PERFORMANS PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Yakup SEKMEN*, **Perihan ERDURANLI****, **Mustafa GÖLCÜ*****, **M. Sahir SALMAN******

*Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Meslek Yüksekokulu, Beşbin Evler, Karabük

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Karabük

***Pamukkale Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Kınıklı, Kınıklı/Denizli

****Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Teknikokullar, Beşevler/Ankara

Geliş Tarihi: 16.03.2004

ÖZET

Buji ile ateşlemeli motorlarda, geometrik sıkıştırma oranının silindirdeki dolgu miktarına göre değiştirilmesi ile motor performansında artış sağlanabilir. Bu motorlarda, gerçek sıkıştırma oranı silindire alınan dolgu miktarına göre değişkenlik gösterdiğinden, geometrik olarak tasarlanan sıkıştırma oranı ancak tam gaz ve tam yük şartlarında gerçek sıkıştırma oranı olarak elde edilmektedir. Bu durum buji ile ateşlemeli motorlarda performansın ve yakıt ekonomisinin iyileştirilmesi için silindir dolgu miktarına göre değişken sıkıştırma oranını gerekli kılmaktadır. Kısmi yüklerde yanma veriminin, yakıt ekonomisinin ve emisyonların iyileştirilmesi için sıkıştırma oranının artırılması, motorun yüksek yük ve düşük hız koşullarında ise olası vuruntu ve sert çalışmayı önlemek için sıkıştırma oranının bir miktar azaltılması gerekmektedir. Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli motorlarda güç, moment, özgül yakıt tüketimi, silindir basıncı, egzoz gaz sıcaklığı, yanma odası yüzey hacim oranı, termal verim ve ateşleme avansı gibi motor performans parametrelerinin sıkıştırma oranı ile ilişkileri incelenmiş ve yakıt ekonomisi için değişken sıkıştırma oranlı motorların kullanılması önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Sıkıştırma oranı; Yakıt ekonomisi; Buji ile ateşlemeli motor; Motor performansı

THE EFFECT OF COMPRESSION RATIO VARIATIONS ON THE ENGINE PERFORMANCE PARAMETRES IN SPARK IGNITION ENGINES

ABSTRACT

Performance of the spark ignition engines may be increased by changing the geometrical compression ratio according to the amount of charging in cylinders. The designed geometrical compression ratio can be realized as an effective compression ratio under the full load and full open throttle conditions since the effective compression ratio changes with the amount of charging into the cylinder in spark ignition engines. So, this condition of the spark ignition engines forces designers to change their geometrical compression ratio according to the amount of charging into the cylinder for improvement of performance and fuel economy. In order to improve the combustion efficiency, fuel economy, power output, exhaust emissions at partial loads, compression ratio must be increased; but, under high load and low speed conditions to prevent probable knock and hard running the compression ratio must be decreased gradually. In this paper, relation of the performance parameters to compression ratio such as power, torque, specific fuel consumption, cylinder pressure, exhaust gas temperature, combustion chamber surface area/volume ratio, thermal efficiency, spark timing etc. in spark ignition engines have been investigated and using of engines with variable compression ratio is suggested to fuel economy and more clear environment.

Key Words : Compression ratio; Fuel economy; Spark ignition engine; Engine performance

1. GİRİŞ

Tasarruf amacıyla tüm enerji tüketim alanlarında uygulanan iki temel yöntem vardır. Birincisi, mevcut sistemin işletme koşullarının değiştirilmesi, ikincisi ise enerji tüketim sisteminin veriminin artırılmasıdır. Motorlu taşıtların yakıt tasarrufu bu açıdan düşünüldüğünde gerek taşıt yapımcısının; gerekse kullanıcının gayret göstermesi gerekmektedir (Meriçli, 1987).

Motordan maksimum gücü, en ekonomik ve çevreyi kirletmeden alabilmek için motorun tüm çalışma şartlarında volümetrik ve termik veriminin artırılması, güç kayıplarının en aza indirilmesi ve egzoz emisyonlarının azaltılması araştırmaların temelini oluşturmaktadır.

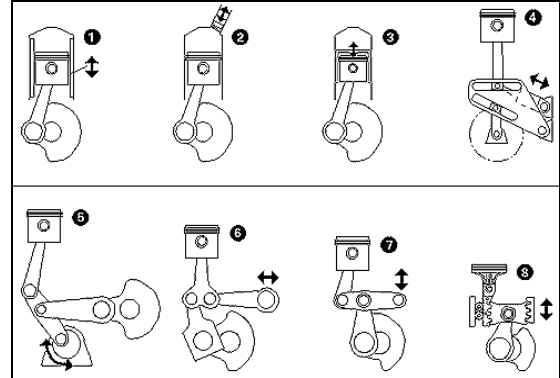
İçten yanmalı motorların tasarımı, kirletici emisyonlar ve yakıt ekonomisi olmak üzere iki konuda ciddi olarak etkilenmektedir. Birincisinde, fosil yakıtları yakan motorların çevre, insan sağlığı ve küresel iklim üzerinde zararlı potansiyel etkileri bulunan emisyonlar yaydığı bilinmektedir. İkinci olarak, dünyanın fosil yakıt kaynakları sınırlı olduğu ve her geçen gün bu konudaki talep arttığı için yakıt ekonomisi önemlidir. Ayrıca, ne kadar az yakıt yakılırsa, o kadar az kirletici emisyon üretileceğinden yakıt ekonomisinin iyileşmesi kirletici emisyonların azalmasını da sağlayacaktır (Anon., 2002).

Performansın ve egzoz emisyonlarının iyileştirilmesi yanma olayının çok kısa bir zaman içinde verimli şekilde gerçekleşmesine bağlıdır. Yanma veriminin, motorun bütün çalışma şartlarında maksimum seviyede tutulması için mümkün olan çok sayıda parametrenin motorun çalışma şartlarına göre ayarlanması, yakıtın en verimli şekilde enerjiye dönüşümünü sağlayacaktır. Bu amaçla motorlarda ateşleme avansı, supap açılıp kapanma zamanları, sıkıştırma oranı ve hava-yakıt oranı gibi bazı işletme parametreleri motor hızı ve yüküne bağlı olarak değiştirilmektedir (Tuttle, 1982; Seiffert and Walzer, 1984; Çetinkaya, 1990; Sher and Kohany, 2002).

Fakir karışımla çalışmada, çalışma dengesizliği ve aşırı ısınmadan kaynaklanan problemler olmadan yanma düzeltilenirse hem emisyonlar düşer hem de yakıt ekonomisi iyileştirilebilir. Ancak fakir yanma, alevin sönmesi ihtimaline kadar büyük problemlere de yol açabilir. Bu problemler, sıkıştırma oranının artırılmasıyla aşılabılır. Sıkıştırma oranının artışıyla ateşleme öncesi dolgu sıcaklığının artması daha fakir karışımların ateşlenmesine imkan sağlamaktadır. Kısmi yüklerde yanma verimini artırmak için karışımı zenginleştirmek yerine sıkıştırma oranının

artırılmasıyla hem yakıt ekonomisi iyileşmekte hem de egzoz emisyonları azalmaktadır (Borat ve ark., 1987; Seiffert and Walzer, 1990; Pulkrabek and Willard, 1997; Çelik, 1999; Stone, 1999).

Motorun sıkıştırma oranını değişken hale getirmek için ya sabit sıkıştırma oranlı motor üzerinde bir takım değişiklikler gerçekleştirilmekte ya da motor ilk baştan değişken sıkıştırma oranlı olarak tasarlanmaktadır. Motorun kısmi yük performansını artırmak ve yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla sıkıştırma oranının değişken hale dönüştürülmesi çeşitli şekillerde yapılmaktadır. Bunlar, yanma odası hacmini büyütüp küçülterek, biyel boyunu değiştirerek, piston yüksekliğini değiştirerek, krank mili ana ve biyel muylu çapını değiştirerek, silindir kapağını hareket ettirerek veya başka şekillerde olabilmektedir, Şekil 1. Bu motorlarda sıkıştırma oranı, silindir basıncına veya motor yükü ile hızına bağlı olarak değiştirilmektedir (Muranaka et al., 1987; Çelik, 1999). Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli motorlarda güç, moment, özgül yakıt tüketimi, silindir basıncı, egzoz gaz sıcaklığı, yanma odası yüzey hacim oranı, termal verim ve ateşleme avansı gibi motor performans parametrelerinin sıkıştırma oranı ile ilişkileri araştırılmıştır.



Şekil 1. Sıkıştırma oranı değiştirme metotları (<http://www.mce-5.com>)

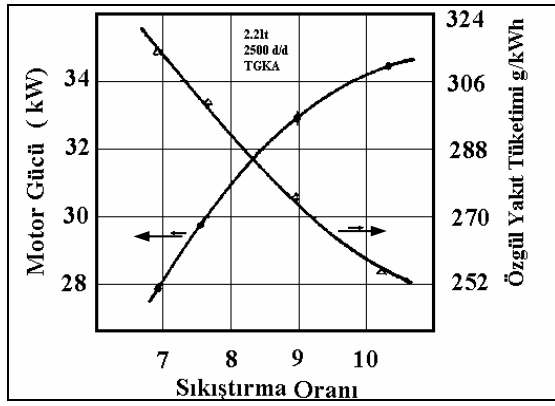
2. SIKIŞTIRMA ORANININ PERFORMANSA ETKİSİ

Sıkıştırma oranı, motorun gücünü ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Sıkıştırma oranının artmasıyla sıkıştırma ve yanma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte, dolayısıyla ortalama efektif basınç artmaktadır. Sıkıştırma oranının vuruntuya neden olmayacak kadar yükseltilmesiyle birlikte çıkış gücü artmakta ve yakıt ekonomisi sağlanmaktadır (Basiletti and Blackburne,

1966; Ganeshan, 1996; Mergen, 1998; Ferguson and Kirkpatrick, 2000; Birch, 2001; Sekmen ve ark., 2002; Sekmen, 2003).

Motor sıkıştırma oranının artırılması ateşleme noktasında hava-yakıt karışımının yoğunluğunu artırdığından açığa çıkacak enerji daha faydalı kullanılabilir dolayısı ile hem motor termal verimi hem de güç artışı sağlanabilecektir.

Buji ile ateşlemeli 2.2 litrelik bir motorda tam gaz keleşbeği açıklığında ve 2500 d/d sabit motor hızında sıkıştırma oranı artırılarak yapılan bir çalışmada, sıkıştırma oranının artışıyla birlikte motor çıkış gücünün arttığı, yakıt tüketiminin azaldığı belirlenmiştir, Şekil 2 (Stone, 1989).



Şekil 2. Sıkıştırma oranının motor gücü ve yakıt ekonomisine etkisi (Stone, 1989)

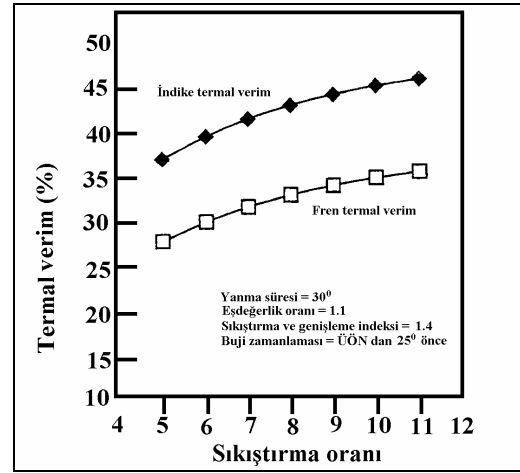
Otto çevrim verim ifadesi,

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \quad (1)$$

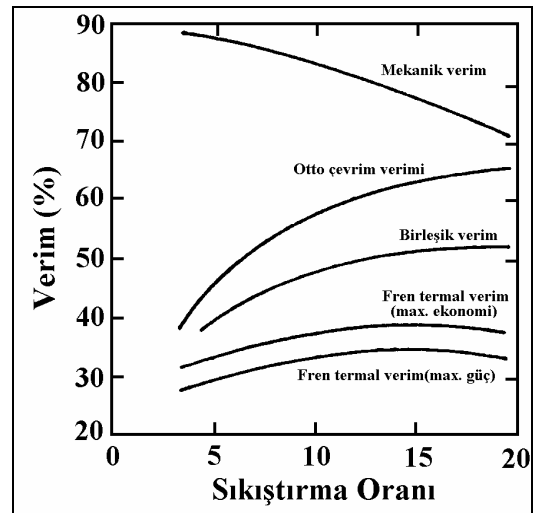
İdeal Otto çevriminde indike termal verim sıkıştırma oranının değişimi ile aynı oranda değişmektedir. Fakat, gerçek bir motor ideal Otto çevrimine göre çalışmamaktadır. Abd Alla tarafından gerçekleştirilen yanma fazlı simülasyon modelinde, sıkıştırma oranı 1'er birimlik adımlar halinde 5:1'den 11:1'e kadar değiştirilerek elde edilen indike ve fren termal verimleri Şekil 3'de gösterilmiştir. Sıkıştırma oranı ile indike ve fren termal verimlerin orantılı olarak arttığı görülmektedir.

Sıkıştırma oranı artışının istenmeyen yan etkilerinden biri silindir basıncında aynı şekilde artış sağlamasıdır. Yani, piston-seğman ile silindir duvarı arasındaki sürtünme ve sıkıştırma ve genişleme ısı kayıpları artmakta dolayısıyla mekanik verim azalmaktadır. Sonuç olarak, sıkıştırma oranı artışı termal verimi artırırken mekanik verimi azaltmaktadır, Şekil 4 Verimler eşdeğer bir verim

skalasında karşılaştırıldığında, mekanik verimdeki azalma ideal Otto çevrim verimindeki artışa göre daha fazladır. Bu yüzden birleştirilmiş verim eğrisi sıkıştırma oranı 12:1'in üzerine çıktığında verim artışında çok az bir avantaj sağladığını göstermektedir. Teorik maksimum fren termal verimi 16:1 sıkıştırma oranında oluşmakta, bu durum vurutuya dayanıklı yüksek oktanlı yakıt kullanımını gerektirmekte fakat, günümüzde bu yakıtın temini ve artırılması oldukça pahalı olmaktadır. Ayrıca, maksimum yakıt ekonomisi ve maksimum güç için fren termal verim eğrilerinin sıkıştırma oranı ile değişimi görülmektedir (Heisler, 1995; 1999).



Şekil 3. Sıkıştırma oranı ile indike ve fren termal verimlerinin değişimi (Abd Alla, 2002)



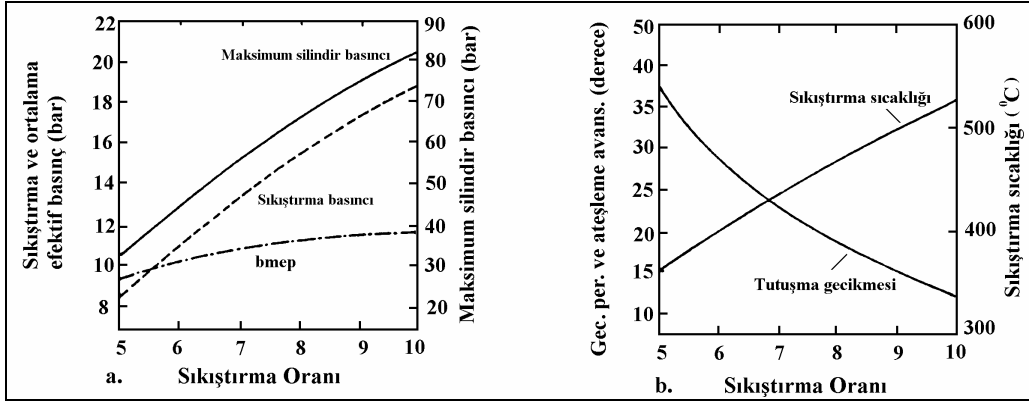
Şekil 4. Motorun termal ve mekanik verimi üzerinde sıkıştırma oranının etkisi (Heisler, 1995)

Buji ile ateşlemeli 5.3 litrelik bir V8 motoru, sıkıştırma oranı 9:1'den 20:1'e kadar artırılmış ve artan sıkıştırma oranıyla birlikte motor gücünün de arttığı belirtilmiştir. Sıkıştırma oranının 17:1

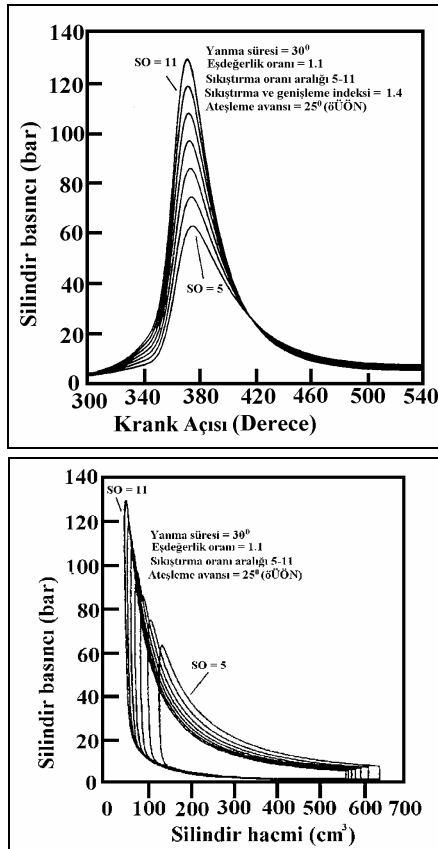
değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır. Motorun yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu yapmaması için yakıt içerisinde özel katkı maddeleri katılmıştır (Caris and Nelson, 1958).

Motor sıkıştırma oranının artışı sıkıştırma sonu basıncını ve maksimum silindir basıncını, bu da

ortalama efektif basıncı (bmep) artırmaktadır (Kodah and Soliman, 2000). Yine sıkıştırma oranının artışı silindir sıcaklığını artırırken çalışılan motor için tutuşma gecikmesini azaltmaktadır. Ayrıca, sıkıştırma oranının artışıyla birlikte ateşleme avansının azaltılması gerekmektedir, Şekil 5.



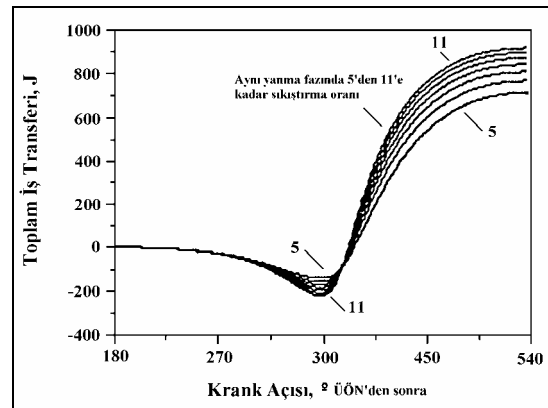
Şekil 5. (a) Sıkıştırma oranının maksimum ve ortalama efektif basınca ve (b) sıkıştırma sıcaklığı ile gecikme periyoduna etkisi (Heisler, 1995)



Şekil 6. Farklı sıkıştırma oranı değerleri için p-θ ve p-V diyagramları (Abd Alla, 2002)

Şekil 6'da yanma prosesinin yanma fazının modellenmesi ile tüm sıkıştırma oranı değerleri için

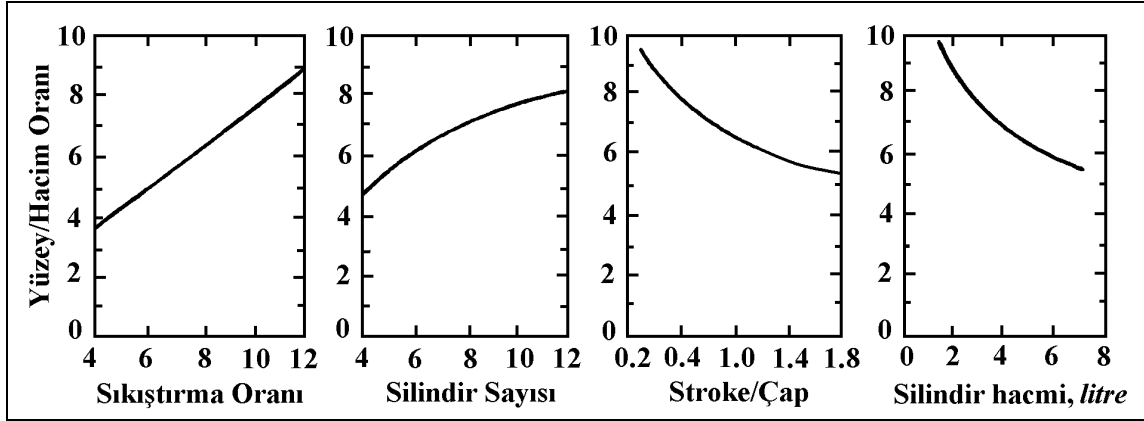
p-θ ve p-V diyagramları görülmektedir. Artan sıkıştırma oranı ile silindir basıncında artış meydana geldiği bu grafiklerden açık olarak görülebilmekte ve p-V diyagramında daha büyük kapalı alana sahip olmaktadır. Daha yüksek sıkıştırma oranı ÜÖN'de daha küçük bir hacme sıkıştırma anlamına gelmekte ve sıkıştırma sonunda basınç ve sıcaklıkta yükselme meydana gelmektedir. Sonuç olarak, sıkıştırma oranı 2 katına çıkarıldığında sıkıştırma basıncı yaklaşık olarak 3 katına çıkmaktadır. Ayrıca, sıkıştırma oranı artarken hem sıkıştırmaya harcanan işte hem de faydalı işte artış meydana gelmekte ve Şekil 7'den de görüleceği üzere faydalı işte sağlanan artış sıkıştırmaya harcanan ekstra işten daha fazla olduğundan sıkıştırma oranındaki artışla net işte de artış sağlanmaktadır.



Şekil 7. Sıkıştırma oranı ile toplam iş değişimi (Blair, 1999)

Belirli bir silindir hacmi için sıkıştırma oranındaki artış yanma odası yüzey/hacim oranını lineer olarak artırmaktadır. Belirli bir silindir hacmi için silindir sayısı ne kadar az ve boyutları ne kadar büyük olursa, yüzey/hacim oranı o kadar küçük olur. Silindir kapasitesi ne kadar büyük olursa, yanma

odası yüzey alanına göre yanma odası hacmi o kadar büyük olur. Öyle ki, yüzey alanı silindir çapının karesiyle artarken silindir hacmi silindir çapının küpü ile artmakta olup silindir kapasitesinin artması yüzey/hacim oranını hızla düşürür, Şekil 8.



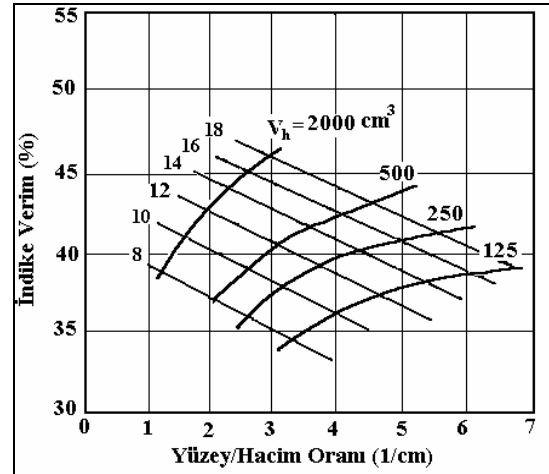
Şekil 8. Yüzey/hacim oranının sıkıştırma oranı, silindir sayısı, kurs/çap oranı ve silindir hacmine göre değişimi (Heisler, 1995)

Isı kayıplarını ve HC oluşumunu minimize etmek için yanma odalarının, yanma odası yüzey alanına göre maksimize edilmesi gerekmektedir. Yani yanma odasının yüzey alanı hacmine oranla mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Yüzey/hacim oranı ne kadar büyük olursa egzoz gazlarındaki HC konsantrasyonu o kadar yüksek olur (Erduranlı ve ark., 2001).

Yüksek sıkıştırma oranlarında silindir kapağı ile piston arasındaki ezilme bölgesindeki kütle yüzdesinin artması, yanma süresini uzatmaktadır. Yine yanma odası yüzey/hacim oranının sıkıştırma oranıyla birlikte artması, yanma süresinin uzamasına yardımcı olmaktadır. Sıkıştırma oranının artmasıyla birlikte yanma odası şekli değişmekte, bu da türbülansın azalmasına ve yanma süresinin uzamasına sebep olmaktadır. Yanma süresinin artması ile birlikte ısı transferi için geçen süre artmakta, piston ÜÖN'den bir hayli uzaklaştıktan sonra bile yanma devam etmektedir. Bu durum motorun termik verimini azaltmaktadır (Caris and Nelson, 1958; Taylor, 1985).

Sabit sıkıştırma oranında indike verim yüzey/hacim oranındaki artışla lineer olarak azalmaktadır. Şayet, silindir hacmi sabit tutularak sıkıştırma oranı artışı sağlarsa, daha küçük sıkıştırma oranlarında, yüzey/hacim oranından daha büyük artış olur. Bu yüzden indike verimdeki iyileşme oranı küçük

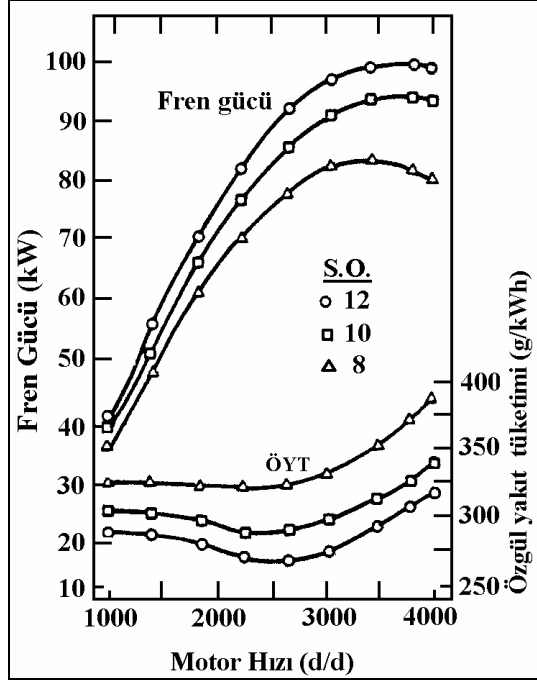
boyutlu motorlar için daha küçük olur, Şekil 9 (Muranaka et al., 1987).



Şekil 9. Yüzey/hacim oranı ile indike verim arasındaki ilişki (Muranaka et al., 1987)

Şekil 10'da 4.7 litrelik V8, buji ile ateşlemeli bir motorda tam yükte üç farklı sıkıştırma oranı için motor güç ve özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi görülmektedir. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte fren gücü artmakta, özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Sıkıştırma oranının artışı hem indike hem de fren özgül yakıt tüketimini azaltmaktadır. Genişleme kursunun son kısmındaki düşük sıcaklıklar sonucu soğutma kayıplarının

azalmasıyla artan termal verimden dolayı soğutucuya olan ısı kaybı sıkıştırma oranı artışı ile azalmaktadır. Ayrıca, soğutmaya olan ısı kaybı motor hızıyla azaldığı için indike özgül yakıt tüketimi motor hız artışı ile azalmakta ve daha sonra bir miktar artmaktadır.



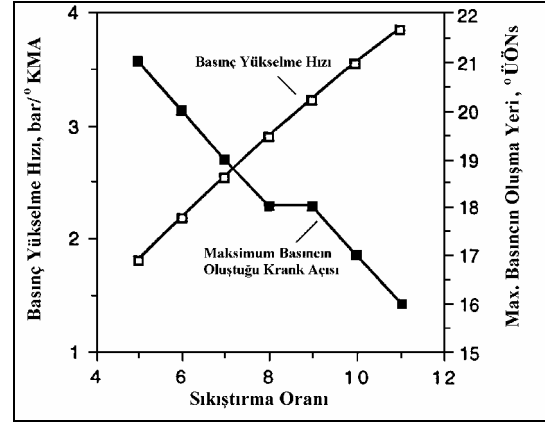
Şekil 10. Farklı sıkıştırma oranı için fren gücü ve özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) motor hızı ile ilişkisi (Ferguson, 1986)

Diğer taraftan fren özgül yakıt tüketimi düşük hızlarda daha düz olup yüksek hızlarda artmaktadır. Bu fark, motor hızıyla artan sürtünme ve pompalama kayıplarından kaynaklanmaktadır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte artan sürtünme ve ısı kayıplarından dolayı indike özgül yakıt tüketimi, fren özgül yakıt tüketiminden daha hızlı bir şekilde iyileşmektedir. Bu etkilerden dolayı her motor için optimum bir sıkıştırma oranı vardır.

Ayrıca sıkıştırma oranının artışı ile maksimum basıncının yeri ÜÖN'ye yaklaşmakta, basınç yükselme hızı ise aynı sıkıştırma oranı aralığı üzerinde artmaktadır. Fakat yanma ve basınç yükselme hızı, yanma odasında vuruntunun oluşması için belirleyici parametreler olup sıkıştırma oranının artışı sınırlamaktadır. Buna göre Şekil 11, sıkıştırma oranının 5'den 11'e kadar değişimi ile hava-yakıt çevrimi için basınç. yükselme hızı ve maksimum basıncın oluşma yerini göstermektedir.

Sıkıştırma oranının artırılması, ateşleme anındaki karışımın basınç ve sıcaklığını artırırken artık gaz yoğunluğunu azaltmaktadır. Bununla birlikte hem

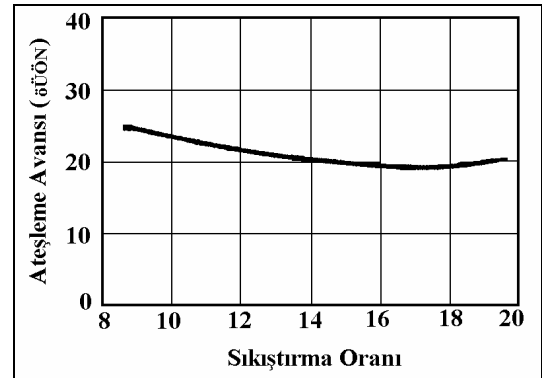
karışımın ateşlenebilmesi için uygun koşullar oluşmakta hem de yanma olayının başlangıç fazının süresi kısalmakta, ana fazdaki alevin yayılma hızı yükselmektedir.



Şekil 11. Sıkıştırma oranının maksimum basıncın oluşma yeri ve basınç yükselme hızına etkisi (Blair, 1999)

Diğer taraftan sıkıştırma oranının artırılması, yanma odası yüzey/hacim oranının artırdığında karışımın büyük miktarı bağıl olarak yanma odası çeperleri yakınında toplanacağından son safhanın süresini artırmaktadır. Optimum ateşleme avansı ile bu durum azaltılabilir (Safgönül, 1981).

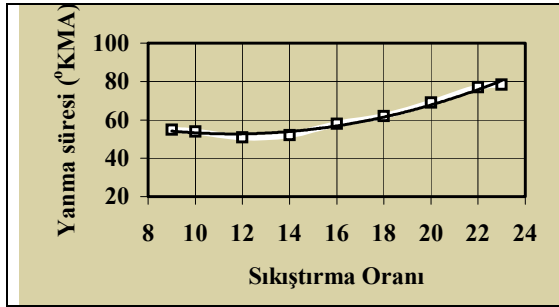
Ateşleme avansı vuruntu kontrolünde en çok kullanılan parametrelerden biridir. Buji ile ateşlemeli motorlarda ateşleme sistemi, değişik motor hızlarında aynı maksimum basınç-piston konumunu sağlayacak şekilde tasarlanmaktadır. Sıkıştırma oranının artışı ile oluşacak vuruntu, belirli bir noktaya kadar ateşleme avansı değişimiyle kontrol edilebilir. Artan sıkıştırma oranlarında maksimum verimi elde etmek için ateşleme avansının bir miktar azaltılması gerekir, Şekil 12 (Öz, 1962; Seiffert and Walzer, 1984; Taylor, 1985).



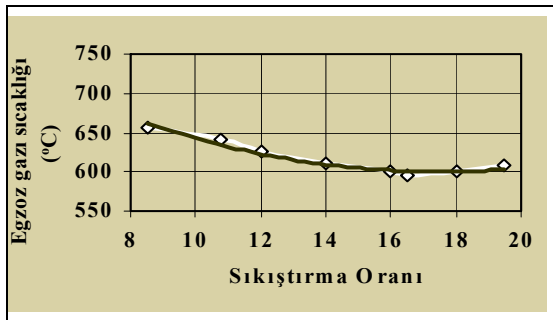
Şekil 12. Sıkıştırma oranı ile ateşleme avansının değişimi (Mogi et al., 1998; Yamin and Badran, 2002; Hailin and Karim, 2003)

Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranının ve hava giriş sıcaklığının artırılması daha fakir karışımların yakılmasını mümkün kılar. Fakir karışımlarda alevin yayılma hızının düşmesi ve gecikme periyodunun uzaması nedeniyle ateşleme avansının artırılması gereklidir (Bolt and Holkeboer, 1962).

Kısmi yükte 2000 d/d'de yapılan deneylerde sıkıştırma oranının 12:1'lik değerinden sonra yanma süresinin arttığı tespit edilmiştir, Şekil 13. Böylece yanma işleminin yüksek sıkıştırma oranlarında sabit hacimde olmayan yanmaya doğru kaydığı anlaşılmıştır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte yanma süresi kısalmakta egzoz gaz sıcaklığı azalmaktadır (Huang and Crookes, 1998). Ayrıca yüksek sıkıştırma oranlarında ise egzoz gazı sıcaklığındaki azalmanın devam etmemesi de motorda gecikmiş yanma eğilimlerini doğrulamaktadır, Şekil 14.



Şekil 13. Sıkıştırma oranının yanma süresine etkisi, kısmi yük, 2000 d/d, (Caris and Nelson, 1958)



Şekil 14. Sıkıştırma oranının egzoz gaz sıcaklığına etkisi, tam yük, 2000 d/d (Yamin and Badran, 2002)

3. SONUÇLAR

Buji ile ateşlemeli motorlarda özellikle kısmi ve orta yüklerde geometrik sıkıştırma oranı silindirlere alınan dolguyla birlikte standart sıkıştırma oranına göre çok çok azaldığından değişken sıkıştırma oranlı

motor tasarımıyla geometrik olarak sıkıştırma oranının artırılması gerekmektedir.

Kısmi ve orta yüklerde geometrik sıkıştırma oranının artışıyla yakıt ekonomisi iyileşmekte termal verim ve çıkış gücü artmakta, mekanik verim azalmaktadır. Silindir içi maksimum ve ortalama efektif basınçlar artmakta buna bağlı olarak da yakıtın tutuşma gecikmesi periyodu kısalmaktadır.

Sıkıştırma oranı artışı sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklarını artırdığından yanma süresi kısalmakta ve egzoz gaz sıcaklıkları düşmektedir. Yine, sıkıştırma oranı artışıyla birlikte ateşleme avansının azaltılması gerekmektedir.

Ancak, geometrik sıkıştırma oranının bir noktadan sonraki artışı yüzey/hacim oranını çok fazla artıracığından yanmayı ve bundan dolayı da motor verimini ve yakıt ekonomisini olumsuz etkilemekte ve hidrokarbon emisyon değerlerini artırmaktadır.

4. KAYNAKLAR

Abd Alla, G. H. 2002. Computer Simulation of a Four-Stroke Spark Ignition Engine, Energy Conversion and Management, Volume 43, Issue 8, pp 1027-1042.

Anonymous, 2002. Automotive Design, Extra Linkage Provides Dramatic Improvement in Engine Economy, European Design Engineer, April.

Basiletti, J. C., Blackburne, E. F. 1996. Recent Developments in Variable Compression Ratio Engines, SAE Paper, No: 660344.

Birch, S. 2001. Variations on a Theme by Saab, Automotive Engineering International, Volume 109, Number 4, SAE Press, Brimfield, OH, April.

Blair, P. G. 1999. Design and Simulation Four-Stroke Engines, SAE Inc., Warrendale, Pa., USA.

Bolt, J. A., Holkeboer, D. H. 1962. Fuel-Air Mixtures Spark Ignited Engines, SAE Transaction Vol. 70.

Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A. 1987. Benzin Motorlarında Yakıt Ekonomisi, Gütef Dergisi, Cilt 1, 2, 1987.

Caris, D. F., Nelson, E. E. 1958. A New Look at High Compression Engines, SAE Paper 590015.

Çelik, M. B. 1999. Buji ile Ateşlemeli Bir Motor Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi

ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniv., Fen Bil. Enstitüsü.

Çetinkaya, S. 1990. Motorlu Taşıtların Yakıt Ekonomisini İyileştirme Çalışmaları, Gütef Dergisi, Sayı 3, 1990.

Erduranlı, P., Sekmen, Y., Çınar, C. 2001. Buji İle Ateşlemeli Değişken Sıkıştırma Oranlı Motorların Egzoz Emisyonları Açısından İncelenmesi, Selçuk Teknik Online Dergisi, Volume 2, Number 1.

Ferguson, C. R. 1986. Internal Combustion Engines, John Willey&Sons Inc.

Ferguson, C. R., Kirkpatrick, A. T. 2000. Internal Combustion Engines, John Willey&Sons Inc.

Ganeshan, V. 1996. Internal Combustion Engines, McGraw-Hill Com., USA.

Hailin, L., Karim, A. G. 2003. Knock in Spark Ignition Hydrojen Engines, International Journal of Hidrojen Energy, Accepted 25 Sept.

Heisler, H. 1995. Advanced Engine Technology, Edward Arnold, A Member of Hodder Headline Group, London.

Heisler, H. 1999. Vehicle and Engine Technology, Second Edition, Edward Arnold Press, London, UK.

Huang, J., Crookes, R. J. 1998. Assesment of Simulated Biogas as A fuel for the Spark Ignition Engine, Fuel, Vol. 77, No 15, pp 1793-1801, 1998.

Kodah, Z. H, Soliman, H. S. 2000. Abu Qudais M. and Jahmany, Z. A. 2000. Combustion in a Spark-Ignition Engine, Applied Energy, Volume 66, Issue 3, July 2000, Pages 237-250.

Mergen, H. A. 1998. The Theory of Extra-Expansion Engines, Ph.D. Thesis, University of California, UMI Number 9920269.

Meriçli, B. 1987. Motorlu Araçlarda Yakıt Ekonomisinin Simülasyon Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Mogi, K., Hashizume K., Arisawa, K., Kobayashi, H. 1998. Analysis of Pre-ignition in SI Gasoline Engines, JSAE Review 19, 9-14.

Muranaka, S., Takagi, Y., Ishida, T. 1987. Factors Limiting The Improvement in Thermal Efficiency of

Spark Ignition Engine at Higher Compression Ratio, SAE Paper 870548.

Öz, İ. H. 1962. Motorlar, Cilt 2, Birsen Yayınevi.

Pulkrabek, Willard, W. 1997. Engineering Fundemantel of the Internal Combustion Engine, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

Safgönül, B. 1981. Pistonlu Motorlar, İTÜ Yayın No 124.

Seiffert, U., Walzer, P. 1990. Automobile Technology of The Future, SAE Press.

Seiffert, U., Walzer, P. 1984. The Future for Automobile Technology, SAE Press., USA.

Sekmen, Y. 2003. Buji İle Ateşlemeli Bir Motorda Sıkıştırma Oranının Değiştirilebilir Hale Getirilmesi ve Performansa Etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniv., Fen Bil. Enstitüsü.

Sekmen, Y., Erduranlı, P., Akbaş, A. 2002. Sıkıştırma Oranı Değişiminin Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Yakıt Tüketimine Etkisi, Mühendislik Bilimleri, Cilt 8, Sayı 2, Sayfa 139-148.

Sher, E. and Bar-Kohany, T. 2002. Optimization of Variable Valve Timing for Maximizing Performance of an Unthrottled SI Engine-a Theoretical Study, Energy, Volume 27, Issue 8, Pages 757-775, August.

Stone, R. 1999. Introduction to Internal Combustion Engine, Macmillan Press Ltd., Third Edition, London.

Stone, R. 1989. Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd., Houndsmills.

Taylor, C. F. 1985. The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, Vol 2, M.I.T Press, UK.

<http://www.mce-5.com/>. A Major Devolepment of The Spark Ignition Engine.

Tuttle, J. H. 1982. Controlling Engine Load by Means of Early Intake Valve Closing, SAE Paper, No: 820408.

Yamin, J. A., Badran O. O. 2002. Analytical Study to Minimise The Heat Losses From A Propane Powered 4-Stroke Spark Ignition Engine, Renewable Energy, Volume 27, Issue 3, November 2002, Pages 463-478.