



SIKIŞTIRMA ORANI DEĞİŞİMİNİN BUJİ İLE ATEŞLEMELİ MOTORLARDA YAKIT TÜKETİMİNE ETKİSİ

Yakup SEKMEN, Perihan ERDURANLI, Ali AKBAŞ, M. Sahir SALMAN
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Beşevler/Ankara

Geliş Tarihi : 02.11.2001

ÖZET

Günümüz ekonomik koşulları ve enerji kaynaklarının büyük bir hızla tükenmekte olması, mevcut enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle otomotiv endüstrisinde yakıt tüketimini azaltmak üzere değişik yük ve hız şartlarında motorlardan talep edilen gücün çevreyi en az kirleterek ve mümkün olan en ekonomik şekilde alınabilmesine yönelik yapılan çalışmalar artan hızla devam etmektedir. Teknolojinin gelişimine paralel olarak gerçekleştirilen bu çalışmalar sayesinde motorların tasarım ve işletme parametreleri değişik çalışma şartlarına göre optimize edilerek yakıtın en verimli şekilde kullanılmasına çalışılmaktadır. Motorun çalışma şartlarına göre sıkıştırma oranının değiştirilmesine yönelik yapılan çalışmalarla olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Kısmi yüklerde yanma veriminin, yakıt ekonomisinin ve emisyonların iyileştirilmesi için sıkıştırma oranının artırılması, motorun yüksek yük ve düşük hız koşullarında ise olası vuru ve sert çalışmayı önlemek için sıkıştırma oranının bir miktar azaltılması gerekmektedir. Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli değişken sıkıştırma oranlı motorlar konusunda yapılan araştırmalar, yakıt ekonomisi, motor çıkış gücü ve termik verim açısından incelenmiştir. Kısmi ve orta yük şartlarında değişken sıkıştırma oranlı motorlarla yapılan deney sonuçlarına göre motor gücünün arttığı, özgül yakıt tüketiminin azaldığı, yakıt ekonomisinde özellikle kısmi yüklerde %30'a varan iyileşmeler elde edildiği ve ayrıca bazı egzoz emisyon değerlerinde ciddi azalmalar sağlandığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Değişken sıkıştırma oranı, Sıkıştırma oranı, Yakıt ekonomisi, Buji ile ateşlemeli motor

THE EFFECT OF VARIABLE COMPRESSION RATIO ON FUEL CONSUMPTION IN SPARK IGNITION ENGINES

ABSTRACT

Due to lack of energy sources in the world, we are obliged to use our current energy sources in the most efficient way. Therefore, in the automotive industry, research works to manufacture more economic cars in terms of fuel-consumption and environmental friendly cars, at the same time satisfying the required performance have been intensively increasing. Some positive results have been obtained by the studies, aimed to change the compression ratio according to the operating conditions of engine. In spark ignition engines in order to improve the combustion efficiency, fuel economy and exhaust emission in the partial loads, the compression ratio must be increased; but, under the high load and low speed conditions to prevent probable knock and hard running compression ratio must be decreased slightly. In this paper, various research works on the variable compression ratio with spark ignition engines, the effects on fuel economy, power output and thermal efficiency have been investigated. According to the results of the experiments performed with engines having variable compression ratio under the partial and mid-load conditions, an increase in engine power, a decrease in fuel consumption, particularly in partial loads up to 30 percent of fuel economy, and also severe reductions of some exhaust emission values were determined.

Key Words: Variable compression ratio, Compression ratio, Fuel economy, Spark ignition engines

1. GİRİŞ

Günümüz ekonomik koşulları, gerek fertleri gerekse ülkeleri ihtiyaçlarını en ekonomik şekilde karşılamaya zorlamaktadır. Dolayısıyla günlük hayatımızda kullanılan motorlu taşıtların da daha tasarruflu çalışmaları ve çalıştırılmaları konusundaki araştırmalar giderek önem kazanmaktadır. Bu ise, taşıtların yapımında, servisinde ve kullanımında yakıt tasarrufunu etkileyen faktörlerin bilinmeleri ve tasarrufu olumsuz yönde etkileyenlerden kaçınılmasıyla gerçekleştirilmektedir (Bekcen, 1985).

Otomobillerin kullanım ömürlerinin büyük bir kısmı şehir içi trafiğinde geçtiğinden şehir içi çalışmalarında yakıt ekonomisini iyileştirme çalışmaları yoğunlaşmıştır. Şehir içi çevriminde, motor daha çok kısmi yüklerde çalışmakta ve kısmi yüklerde volümetrik verim düşük olduğundan, geometrik sıkıştırma oranı 8:1 olan bir motorda gerçek sıkıştırma oranı 3:1, 4:1 gibi değerlere düşmektedir. Bu da motor verimini azaltmakta ve yakıt sarfiyatını artırmaktadır. Motorun tam yük bölgesinde standart sıkıştırma oranı ile çalıştırılması ve yük azaldıkça sıkıştırma oranının artırılmasını sağlayacak şekilde sıkıştırma oranının değişken hale getirilmesi ile performansı artırılabilir (Çelik, 1999).

Buji ile ateşlemeli motorlarda çıkış gücü, gaz keleşi ve dolgu miktarı ile kontrol edilmektedir. Sadece stokiometrik orana yakın hava/yakıt karışımları kolaylıkla ateşlenebilmekte, özellikle kısmi yüklerde, sıkıştırma zamanı sonunda düşük karışım yoğunluğundan ve genişleme zamanı sırasında kayıplara neden olan art gazların mevcudiyetinden dolayı yanma işlemi yavaşlamaktadır. Bu yüzden karşılaşılan bu kayıpları önlemek için yanma odasının şeklinin optimizasyonu, karışım teşekkülü, ateşleme ve sürtünme kayıplarının minimize edilmesi ile motor verimini artırmak için yapılan çalışmalar hızla devam etmektedir. Bu amaçla;

- Emme zamanında harcanan işin azaltılması,
- Kısmi yüklerde sıkıştırma oranının artırılması,
- Art gaz miktarının azaltılmasına çalışılmaktadır.

Buji ile ateşlemeli motorlarda gelecekteki gelişmeler yukarıda bahsedilen konuları gerçekleştirmenin yeni yollarını bulmaya çalışmak olacaktır. Motor yükünü kontrol etmenin çeşitli metotları arasında en iyi sonuçlar değişken supap zamanlaması ve kısmi yüklerde değişken sıkıştırma oranı kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Walzer and Seiffert, 1991; Seiffert and Walzer, 1984).

Buji ile ateşlemeli motorlarda sıkıştırma oranı, motor performansını ve verimini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Artan sıkıştırma oranıyla sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkları yükselmekte, dolayısıyla yanma hızı artmaktadır. Yanma hızının artmasıyla birlikte motor performansı yükselmektedir. Sıkıştırma oranının yanma üzerindeki etkisi göz önüne alınırsa, bu parametrenin değişken hale getirilmesi ile değişik çalışma şartlarında önemli kazançlar elde edilebilmektedir (Stone, 1989; Çetinkaya, 1990).

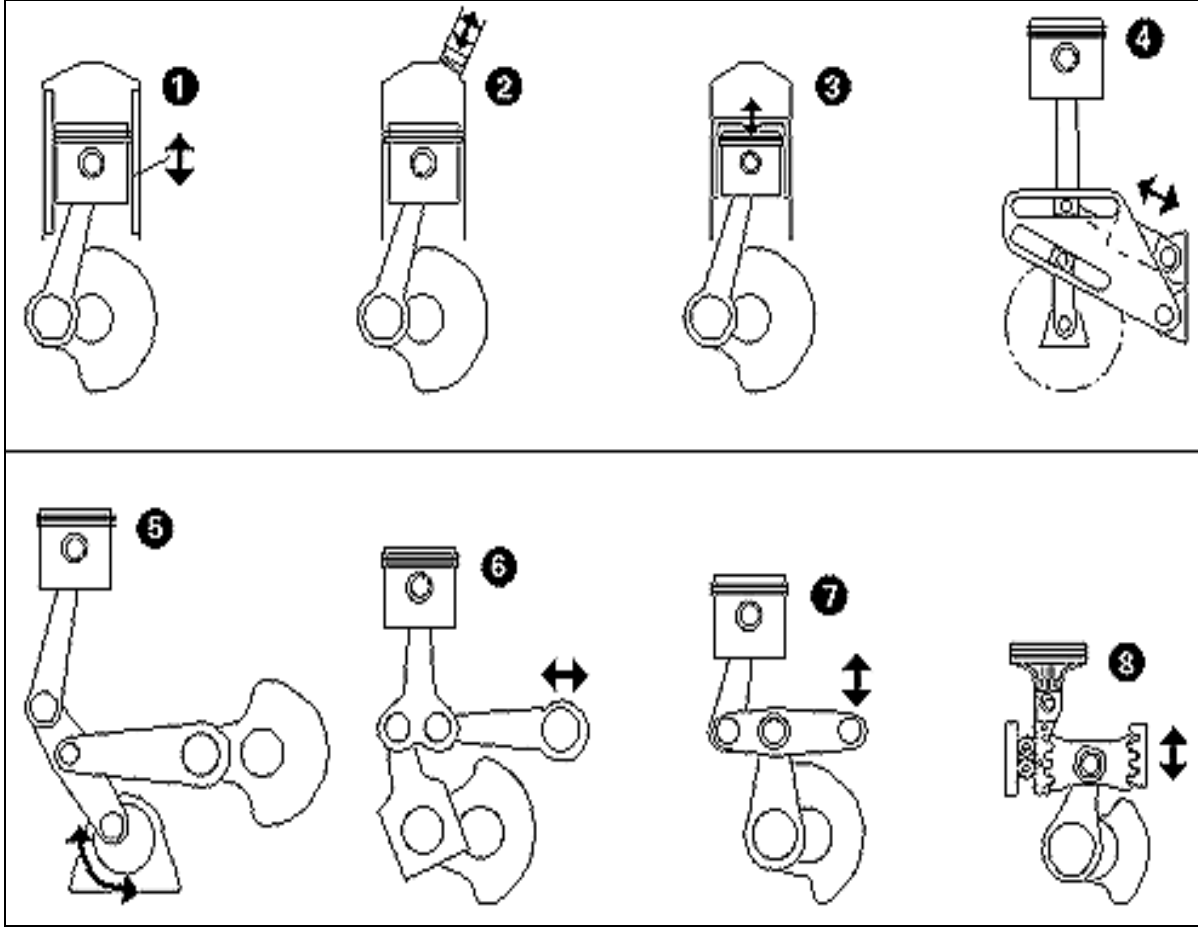
Değişik yük ve çalışma koşullarına göre sıkıştırma oranının değiştirilmesiyle daha iyi performansla ulaşmak mümkün görülmektedir. Kısmi yüklerde yanma verimini artırmak için karışımı zenginleştirmek yerine sıkıştırma oranının artırılmasıyla hem yakıt ekonomisi iyileşmekte hem de egzoz emisyonları düşmektedir (Harne and Marathe, 1987; Wirbeleit et al., 1990; Çelik, 1999).

Değişken sıkıştırma oranı aynı zamanda motora alternatif yakıtlarla çalışabilme esnekliğini de vermekte olup bu sayede sıkıştırma oranı yakıtın özelliklerine uygun olacak şekilde değiştirilebileceğinden motor daima yakıt için en uygun ayarlanmış sıkıştırma oranında çalışabilecektir (www.delphion.com; www.patent.com; www.fev.com; Çelik, 1999).

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 (Wirbeleit et al., 1990; Wardznski and Rychter, 1991).

İyi bir değişken sıkıştırma oranı mekanizmasının aşağıdaki özellikleri sağlaması gerekmektedir:

- Sistem basit, küçük boyutlu ve hafif olmalıdır,
- Ciddi bir tasarım problemi oluşturmamalıdır,
- Sıkıştırma oranının tüm aralıklarda değişimi mümkün olmalı ve pistonlu motorlarda kullanılabilirliği,
- Sıkıştırma oranı hassas olarak ayarlanabilmelidir.
- Diğer motor parametrelerinde istenmeyen değişikliklere neden olmamalıdır,
- Motorun dengesi klasik motora göre kötüleşmemeli ve motor ömrü kısalmamalıdır.



Şekil 1. Sıkıştırma oranını değişken hale getirmek üzere tasarlanmış çeşitli mekanizma örnekleri (www.mce-5.com)

Yukarıdaki mekanizmalardan;

- 1 ve 2'nolu mekanizmalarda yanma odası şekli ya da silindir kapağında değişiklik yapılmıştır.
- 3'nolu mekanizmanın; kontrol, iç kuvvetler ve güvenilirlik açısından ciddi problemler taşıdığı iddia edilmektedir.
- 4, 5, 6 ve 7'nolu mekanizmalarla iç kuvvetler ve toplam motor boyutu büyük oranda arttığı iddia edilmektedir.
- 8'nolu mekanizma ile de,

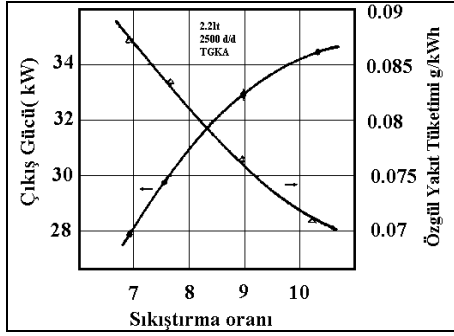
Piston üzerindeki radyal kuvvetin elimine edildiği, silindir üzerinde herhangi bir piston temasının bulunmadığı, piston eteğinin elimine edildiği, ovallık sayesinde aşınmanın ortadan kalktığı, daha ince piston segmanları kullanılabildiği, silindirin üst kısımlarının yağlanmasının iyileşmesine bağlı olarak sürtünme kuvvetinin azaltıldığı ve bundan dolayı da özellikle şehir içi sürüş şartlarında aynı motor kapasitesi için bu motorun hareketli parçalarının klasik motorunkilerden daha ağır olmasına karşın

toplam yakıt tüketiminde azalma sağladığı, iddia edilmektedir (www.mce-5.com).

2. SIKIŞTIRMA ORANI DEĞİŞİMİ VE PERFORMANS ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

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 iyileşmektedir (Kentfield and Fernandes, 1997; Çelik, 1999).

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

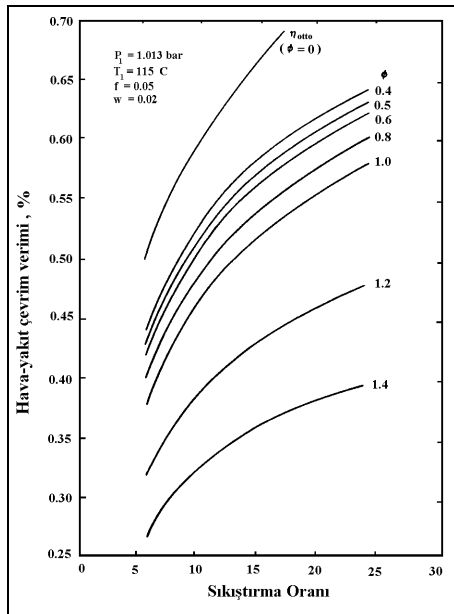


Şekil 2. Sıkıştırma oranına bağlı olarak motor gücü ve özgül yakıt tüketiminin değişimi (Stone, 1989)

Buji ile ateşlemeli motorlarda gerçekleşen işlemleri en iyi açıklayan model olan Otto çevrimi, sıkıştırma oranı ile termik verim arasındaki değişimin nasıl olduğunu göstermektedir. Otto çevrim verim ifadesi,

$$\eta = 1 - \frac{1}{\epsilon^{k-1}} \text{ 'dir.} \quad (1)$$

Stokiyometrik oran tam yanma için kimyasal olarak en uygun orandır. Eğer karışım zengin ise eşdeğerlik oranı birden büyük ($\rightarrow > 1$), karışım fakir ise eşdeğerlik oranı birden küçüktür ($\rightarrow < 1$). Yakıt-hava çevrimi Otto çevrimi esas alınarak geliştirilmiş bir çevrimdir. Ancak yakıt hava çevriminde gazlar gerçek termodinamik davranışlar göstermektedir. Şekil 3'de değişik sıkıştırma ve eşdeğerlik oranlarına bağlı olarak yakıt hava çevrim verimindeki değişim görülmektedir (Heywood, 1988).

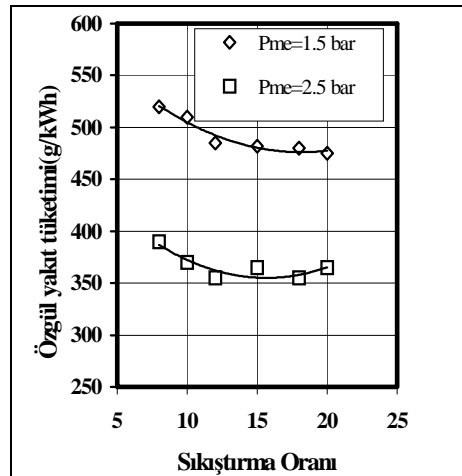


Şekil 3. Sabit hacim hava-yakıt çevrimi için farklı eşdeğerlik oranlarında sıkıştırma oranı ile verimin karşılaştırılması (Taylor, 1985; Heywood, 1988)

$$\text{Eşdeğerlik Oranı} (\Phi) = \frac{\text{Stokiyometrik hava/yakıt oranı}}{\text{Gerçek hava/yakıt oranı}} \quad (2)$$

Şekil 3'de görüldüğü gibi karışım fakirleştikçe ($\rightarrow > 1$), belirtilen sıkıştırma oranında verim artmakta başka bir ifadeyle, fakir karışımlardaki gazların özellikleri Otto çevrimi için kabul edilen ideal gazların özelliklerine yaklaşmaktadır. Bu sebeple motorun maksimum verimi fakir karışımlarda gerçekleşmektedir. Ancak, gerçekte termik verim Otto çevrimiyle belirlenen seviyede artırılmamaktadır. Bunun başlıca sebepleri, sıkıştırma ve genişleme zamanları esnasında mekanik sürtünme olayının ve ısı kaybının meydana gelmesi, yanma işleminin ani olarak olmaması, egzoz supabının genişleme zamanı tamamlanmadan önce açılması ve kullanılan yakıtın Otto çevrimi için öngörülen ideal gaz özelliklerini göstermemesidir (Radwan, 1992).

Buji ile ateşlemeli motorlarda kısmi yüklerde sıkıştırma sonu basınçları düşük olduğundan geometrik sıkıştırma oranı vuruntulu yanma tehlikesi olmadan artırılabilir. Teorik kabulleri doğrulamak için bir motorun geometrik sıkıştırma oranı yardımcı piston kullanarak 8 : 1 ile 20 : 1 arasında değiştirilmiştir.

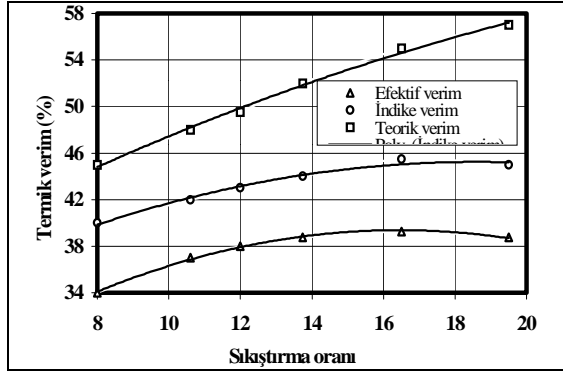


Şekil 4. Sıkıştırma oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değişimi (Walzer and Seiffert, 1991)

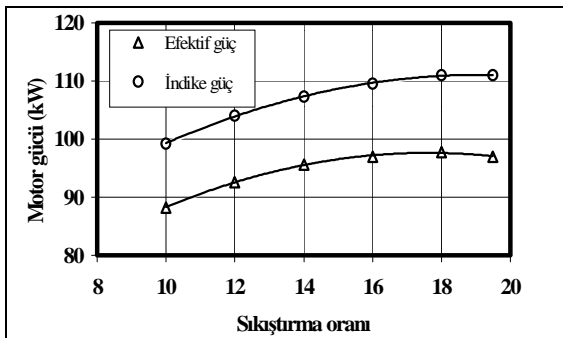
Şekil 4, sabit motor hızında iki kısmi yük noktasında sıkıştırma oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin değişimini göstermektedir. % 17 ve % 28'lik rölatif yüklerde, optimum olarak ayarlanmış standart motorla karşılaştırıldığında bu motorun yakıt tüketiminde % 8-9 oranında bir iyileşme sağlanmıştır. Teorik olarak düşük yük noktasında iyileşmenin daha büyük olması uygun bir sonuç olmakta ancak pratikte bu potansiyel iyileşmenin tamamının gerçekleştirilmesi mümkün olmamaktadır.

3. SIKIŞTIRMA ORANI VE YAKIT EKONOMİSİ

Caris and Nelson (1958) tarafından yapılan çalışmada, sıkıştırma oranı 9:1'den 20:1'e kadar değiştirilmiştir. Deneylerde 7 adet 5.3 litrelik V8 motoru kullanılmış ve yanma odaları düz silindir kapağı ve oyuk piston aracılığıyla elde edilmiştir. Tam yükte 2000 d/d'de avans ve hava-yakıt oranı maksimum ekonomiye göre ayarlanarak yapılan deneylerde, motorun maksimum termik verime 17:1'lik sıkıştırma oranında ulaştığı tespit edilmiş olup sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termik verim düşmeye başlamıştır (Şekil 5). Ayrıca yine 17:1 sıkıştırma oranı değerinden sonra motor gücü azalmaya başlamıştır (Şekil 6). Motorun yüksek sıkıştırma oranlarında vuruntu yapmaması için de yakıt içerisinde özel katkı maddeleri katılmıştır.



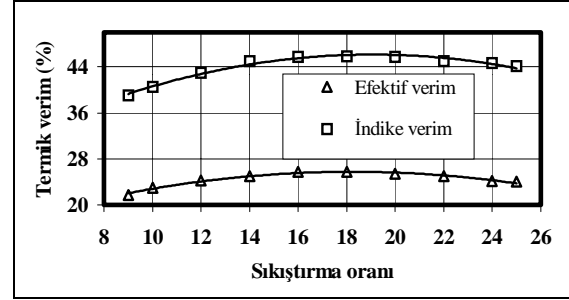
Şekil 5. Tam yükte sıkıştırma oranının termik verime etkisi (Caris and Nelson, 1958)



Şekil 6. Sıkıştırma oranının motor gücüne etkisi (Caris and Nelson, 1958)

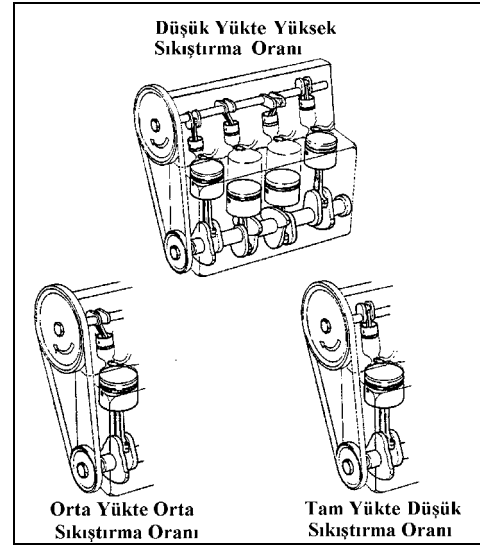
Aynı motorda 2000 d/d motor hızı ve kısmi yükte (0.58 bar manifold basıncında) yapılan deneylerde sıkıştırma oranı 17:1'e yükseltildiğinde termik verimin maksimuma ulaştığı, sıkıştırma oranının daha da artırılmasıyla termik verimin azaldığı görülmüştür, (Şekil 7). Burada yüksek sıkıştırma

oranlı motorlarda sürtünme kaybının termik verimin azalmasında temel sebep olmadığı görülmüştür (Caris and Nelson, 1958).



Şekil 7. Kısmi yükte sıkıştırma oranının termik verime etkisi (Caris and Nelson, 1958)

Wong et al., (1998), değişken hacimli ve değişken sıkıştırma oranlı Alvar çevrimli Volvo 850 motorunun silindir kapağının içine uygun ikinci bir oda tasarlayarak, sıkıştırma oranını bu yardımcı oda içerisinde bulunan hareketli ikinci bir piston aracılığı ile değiştirmişlerdir, (Şekil 8).

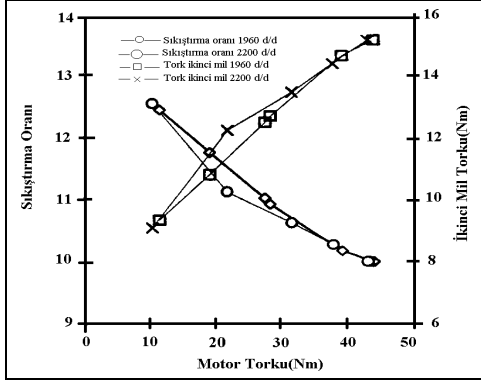


Şekil 8. Alvar çevrimli motor (Wong et al., 1998)

Bu tasarım sayesinde emme, sıkıştırma, genişleme ve egzoz karakteristikleri ana ve ikincil pistonlar arasındaki faz ayarlanarak kontrol edilmiştir. Ana ve ikincil pistonların toplam süpürme hacmi pistonların faz farkına bağlı olduğundan bu sayede toplam motor hacmi de değiştirilebilmiştir, (Şekil 9).

Kısmi yüklerde gerçekleştirilen yüksek sıkıştırma oranlarında yakıt tüketiminde % 6'ya yakın iyileşme kaydedilmiş olup, verilen çıkış gücü için azaltılan motor boyutu ve bundan dolayı da taşıt ağırlığından elde edilen yakıt ekonomisi faydaları önemli miktarlarda ilave kazançlara dönüşmektedir. Klasik

bir motorla karşılaştırıldığında Alvar motorunun vuruşta meydana gelmeden daha yüksek emme basınçlarında çalışma kabiliyetinin olmasının uygulamada büyük avantaj sağladığı ve verilen geometride çıkış gücünü artırdığı belirtilmiştir (Wong et al., 1998).



Şekil 9. Sabit devirde gerçekleştirilmiş motor sıkıştırma oranı test sonuçları (Wong et al., 1998)

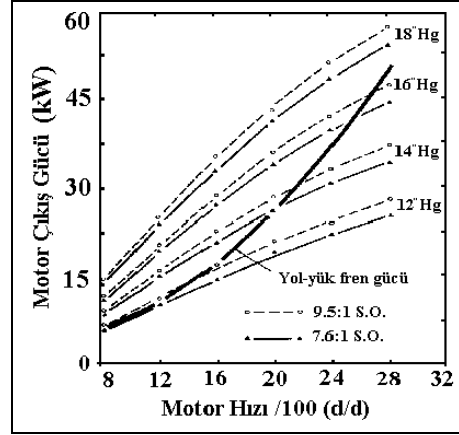
Ayrıca güvenilirlik ve süreklilik açısından bakım-onarımı yapılabilen ve sıkıştırma oranı değişken hale getirilen, türbo doldurmalı Alvar motoru aynı performansa sahip klasik motorların boyut ve ağırlıklarının yaklaşık olarak 1/2-1/3'ü kadardır. Mevcut yakıt kalitesi için sıkıştırma oranı otomatik olarak değiştirilebilmekte ve hem emisyon hem de yakıt tüketimi açısından düşük değerler elde edilebilmektedir (www.alvar-engine.se).

Felt and Krause (1971) tarafından 1969 model 383-CID V8 motorunda sıkıştırma oranı değişiminin egzoz emisyonlarına ve yakıt tüketimine etkileri aynı güç için 7.6 : 1 ve 9.5 : 1 şeklinde iki ayrı sıkıştırma oranında yapılan dinamometre ve taşıt testleriyle incelenmiştir. Sıkıştırma oranı değişikliği sadece piston değişiklikleriyle sağlanmış ve gerekli ateşleme avansı değişiklikleri hariç motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.

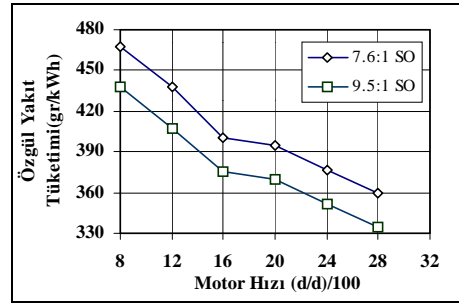
Şekil 10, 6 farklı motor hızı ve 4 farklı kuru mutlak manifold basıncında ve MBT ateşleme zamanında sıkıştırma oranı değişiminin motor çıkış gücüne etkisini göstermektedir. Sıkıştırma oranı 9.5:1'den 7.6:1'e azaltıldığı zaman motor çıkış gücünde % 5-7'lik bir kayıp meydana geldiği görülmektedir.

Şekil 11, 20-75 km/h taşıt hızlarında ve farklı iki sıkıştırma oranında elde edilen fren özgül yakıt tüketimini göstermektedir. Düşük sıkıştırma oranı için oldukça kararlı ve % 7 daha yüksek özgül yakıt tüketimi belirlenmiştir. Şekil 12'de görüldüğü gibi, taşıt testleri düşük sıkıştırma oranı için % 6 daha yüksek özgül yakıt tüketimi ve tam gaz kelebek

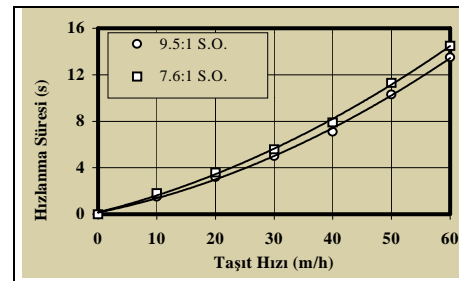
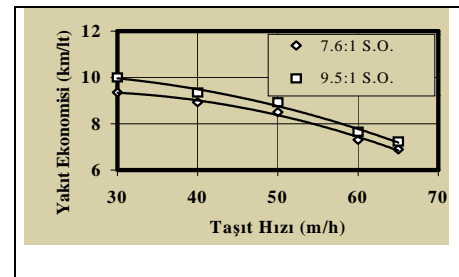
açıklığında ivmelenme zamanının % 6 daha uzun olduğunu göstermiştir.



Şekil 10. Sıkıştırma oranının motor çıkış gücüne etkisi (Felt and Krause, 1971)

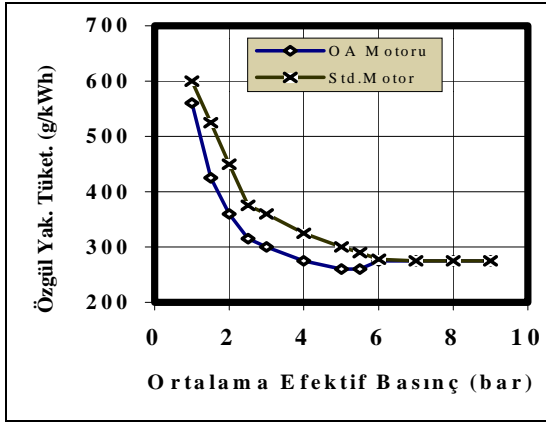


Şekil 11. Sıkıştırma oranının özgül yakıt tüketimine etkisi (Felt and Krause, 1971)



Şekil 12. Sıkıştırma oranının taşıt performansı (% 98 MBT) ve yakıt ekonomisine (MBT) etkisi (Felt and Krause, 1971)

Hibert and Boggs (1995) tarafından 1.6 litrelik bir I-4 motoru Otto-Atkinson (OA) çevrimine göre tasarlanmış ve sıkıştırma oranı 9.5:1-15.5:1 arasında kademeli olarak değiştirilmiştir. Emme supaplarının da sabit olarak geç kapanması sağlanmıştır. Otto-Atkinson motorunun sıkıştırma oranını değişken yapmak için sıkıştırma yüksekliği değişken piston kullanılmıştır. Sistem iç ve dış piston olmak üzere iki ana elemandan oluşmaktadır. Dış piston iç piston üzerinde aşağı yukarı kaydırılarak sıkıştırma yüksekliği değiştirilmekte ve dış pistonun hareketi hidrolik sistem tarafından silindir basıncına göre kontrol edilmektedir. Otto-Atkinson motoru standart motora göre % 10 EGR ile 1500 d/d motor hızı ve 2.62 bar'lık ortalama efektif basınç şartlarında özgül yakıt tüketiminde %15 oranında iyileşme göstermiştir (Şekil 13).

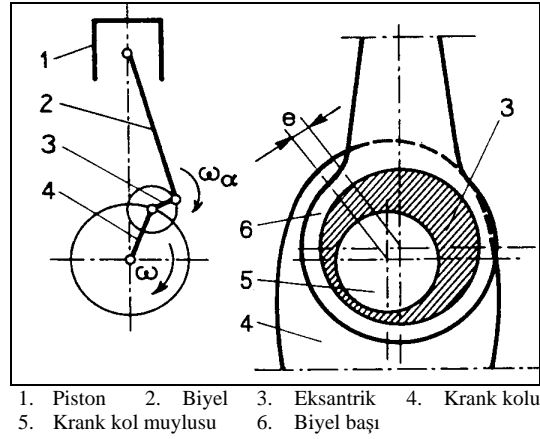


Şekil 13. Otto-Atkinson (OA) motoru ve standart motorun özgül yakıt tüketimlerinin ortalama efektif basınç değerlerine göre değişimleri (Hibert and Boggs, 1995)

Rychter and Teodorczyk (1985) tarafından yapılan çalışmada, buji ile ateşlemeli krank yarıçapının biyel kol uzunluğuna oranı (R/L) değiştirilebilen bir VR/LE motorunun teorik analizi yapılmıştır. Bu analiz sayesinde φ krank açısını göstermek üzere R/L oranı, φ krank açısına göre ($R/L = f(\varphi)$) dışarıdan ayarlanarak değiştirilmiş ve motor termodinamik çevriminin bir sonucu olarak termal verim, iş ve NO konsantrasyonu gibi bazı temel motor çıkış parametrelerindeki değişimler belirlenmiştir. Klasik motor ile VR/LE mekanizması karşılaştırılmış, NO emisyonunda azalma ve verimde kazanç sağlanan faz açısı aralıkları belirlenmiştir. Yapılan analiz sonucunda buji ile ateşlemeli motorlara VR/LE motor tasarımı uygulandığında önemli derecede yakıt ekonomisi sağlandığı tespit edilmiştir.

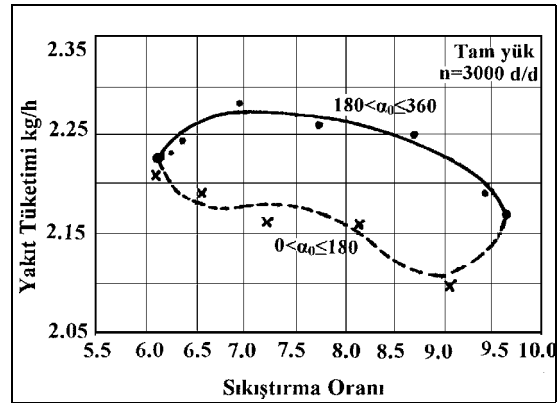
Wardznski and Rychter (1991) tarafından yapılan ve bu çalışmanın devamı niteliğindeki bir çalışmada ise

sıkıştırma oranı sürekli olarak (motorun çalışması esnasında da) değiştirilebilen tek silindri bir araştırma motoru tasarlanmıştır. Değişken R/L motoru olarak adlandırılan bu motorda krank kol muylusu ile biyel arasına eksantrik mekanizma yerleştirilmiş ve sıkıştırma oranı değişimi, krank kol muylusuna göre eksantriğin açılal pozisyonu değişimiyle kinematik krank yarıçapı uzatılıp kısaltılarak sağlanmıştır (Şekil 14).



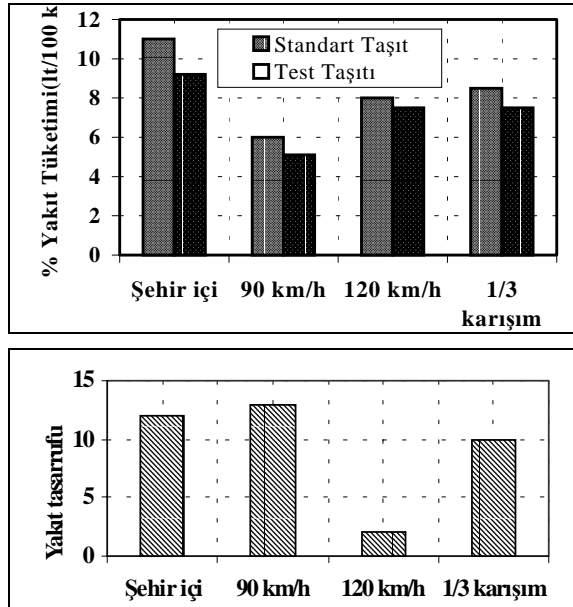
Şekil 14. VR/LE krank-mekanizmasının şematik gösterimi (Wardznski and Rychter, 1991)

Bu mekanizma tasarımına göre çalışan değişken sıkıştırma oranlı araştırma motoru yaklaşık olarak 150 saat süreyle herhangi bir mekanik arızaya maruz kalmadan çalıştırılmış ve çalışma esnasında sıkıştırma oranı el ile sürekli olarak değiştirilmiştir. Ayrıca, krank-mekanizmasının iç muayenesi için motor iki kez sökülmüş ve kontroller olumlu çıkmıştır. Bu mekanizma sayesinde motorun çalışması esnasında sürekli olarak sıkıştırma oranının değiştirilmesi sağlanmış, sıkıştırma oranının artırılmasıyla verimdeki beklenen iyileşme eğilimi motor verimindeki eş-zamanlı değişiklikler ile önemli derecede değişmemiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Sıkıştırma oranının yakıt tüketimine etkisi (Wardznski and Rychter, 1991)

Adams et al. (1987) tarafından optimum verim ve düşük emisyon seviyeleri elde etmek üzere, klasik motorun silindir kapağına ek bir yanma odası eklenmesiyle uygun bir aralıkta sıkıştırma oranının değişimi sağlanmıştır. Tasarımı yapılan değişken sıkıştırma oranlı VW Rabbit motorunda ECE ve FTP 72 seyir çevrimine göre taşıt testleri gerçekleştirilmiş ve standart taşıtlarla karşılaştırıldığında yakıt ekonomisinde % 12'ye varan iyileşmeler elde edilmiştir (Şekil 16). Ayrıca Volkswagen araştırmalarında ön yanma odalı benzin motorlarındaki denemeler yüksek performans kadar yanma odasının da geliştirilebileceğini göstermiştir. Sıkıştırma oranının artışıyla oluşan verim kayıplarındaki değişiklikler üzerine hava/yakıt oranının etkisinin olmadığı, fakir karışıma ayarlamayla ve daha yüksek sıkıştırma oranlarında motor vuruşu üzerine kötü etkileri tolere edilebilir ve fren veriminde daha büyük bir kazanç sağlanmış olduğu sonuçlarına varılmıştır. Bunlara ilaveten motor vuruşundan kaçınılmış olsa bile sıkıştırma oranının 15'in üzerindeki değerlere çıkarılması tavsiye edilmemektedir. Bu sebeple sıkıştırma oranıyla yanma odasının yüzey/hacim oranı arttığından adyabatik olmayan çevrim ile meydana gelen kayıplar birleşerek sürtünme ve pompalamadaki kayıpların artışı verimdeki artışlara sebep olmaktadır.



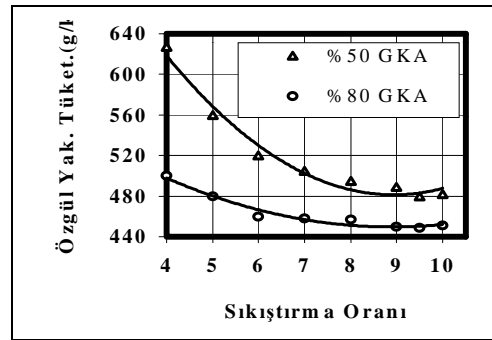
Şekil 16. Standart motor ile değişken sıkıştırma oranlı motorun sabit seyir hızında ECE-15'e göre ölçülmüş yakıt tüketiminin karşılaştırılması (Adams et al., 1987)

Şekil 16'da standart motor ile değişken sıkıştırma oranlı motorun sabit seyir hızında ECE-15'e göre yakıt tüketimi değişimi gösterilmektedir. Yakıt tüketimindeki potansiyel tasarruf ECE şehir içi

çevriminde (daha düşük kısmi yük aralıklarında) % 13'tür. Daha yüksek yüklerde standart taşıt ile test taşıtı arasında 120 km/h'te yaklaşık olarak % 2.6 gibi daha az fark meydana gelmiştir (Adams et al., 1987).

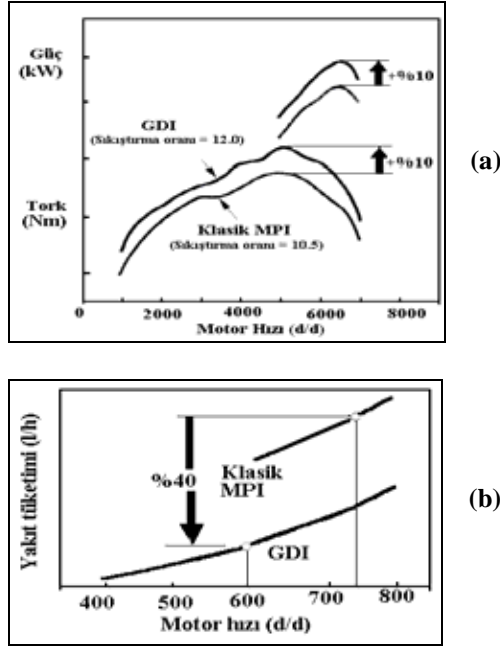
Çelik, (1999) tarafından yapılan bir çalışmada tek silindri, silindir çapı 72 mm, kursu 62 mm, L-tipi supap mekanizmasına sahip bir motora yardımcı yanma odası eklenmesiyle sıkıştırma oranı 5:1 ile 10:1 arasında değişebilen bir motor tasarlanmıştır. Sıkıştırma oranının değişimi, yardımcı oda içerisindeki pistonun bir mekanizma ile aşağı-yukarı hareket ettirilmesiyle sağlanmıştır ve buji yardımcı piston üzerine yerleştirilmiştir. Ana yanma odası hacmi, supapların müsaade ettiği kadar küçük tutulmuş, artan hacim yardımcı yanma odasına aktarılmıştır.

Standart motor ile değişken sıkıştırma oranlı motor aynı koşullarda test edilmiştir. Değişken sıkıştırma oranlı motorla kısmi yüklerde standart motora göre özgül yakıt tüketiminde 1500 d/d-% 40 yük şartlarında % 16, 2400 d/d-%30 yük şartlarında % 20 ve 3300 d/d-% 20 yük şartlarında % 29 iyileşme sağlanmıştır, (Şekil 17). Ayrıca sıkıştırma oranı değişiminin motor volümetrik verimine bir etkisinin olmadığı ve artan sıkıştırma oranına bağlı olarak egzoz gaz sıcaklığında düşme sağlandığı tespit edilmiştir (Çelik 1999).



Şekil 17. Kısmi yüklerde sıkıştırma oranına göre özgül yakıt tüketiminin değişimi (Çelik, 1999)

Direkt püskürtmeli benzin motoru (GDI) 12:1 gibi yüksek sıkıştırma oranının elde edilmesini sağlarken yanma verimini de artırmakta hatta düşük relanti hızlarında bile kararlılığını korumaktadır. Klasik çok noktadan enjeksiyonlu (MPI), sıkıştırma oranı 10.5:1 olan motorlarla karşılaştırıldığında relanti çalışmasında % 40 daha az yakıt tüketimi ve tüm hızlarda hemen hemen % 10 daha büyük çıkış gücü ve tork sağlamaktadır, (Şekil 18). Çalışma esnasında yakıtın buharlaşması ile silindir içindeki havanın soğuması sağlanmakta ve böylelikle de motor vuruşu minimize edilmiş olmaktadır (Denton, 2000).



Şekil 18. a) GDI ve Klasik MPI yakıt sistemlerinin motor hızına bağlı olarak güç ve tork değişimleri. b) GDI ve Klasik MPI yakıt sistemlerinin relanti devrindeki yakıt tüketimi (Denton, 2000)

Muranaka et al., (1987) tarafından yapılan çalışmada yüksek sıkıştırma oranlarında termik verimde meydana gelen iyileşmeyi sınırlayan faktörlerin analizleri hem termodinamik hesap yolu ile hem de deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak bu sınırlamanın nedeni soğutma kaybı ve yanmamış yakıt miktarı ile açıklanmıştır. Bu iki faktörün her ikisinin de küçük süpürme hacmi, büyük yüzey/hacim oranlı yanma odası ve düşük motor hızı ve yükü ile arttığı genel bir sonuç olarak değerlendirilmiştir.

Matsumoto et al., (1977) tarafından yapılan çalışmada 1.6 L'lik 4-silindirli (96.9 CID) bir motorda 4 yanma odası tasarımı ve üç sıkıştırma oranını (8:1, 9:1 ve 10:1) kullanarak bu tasarımlar için yakıt ekonomisi, emisyonlar ve oktan sayısı gereksinimlerini araştırmıştır. Araştırmanın sonucunda yüksek türbilanslı tipli yanma odasının 9:1 sıkıştırma oranında optimum yakıt ekonomisine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Currie et al., (1979) tarafından yapılan bir başka çalışmada ise iki ayrı taşıtta 91 Araştırma Oktan Sayılı kurşunsuz yakıt kullanılarak sıkıştırma oranı değiştirilmiştir. Birinci taşıt, kapalı devre vuruğu kontrolü ve oksitleyici konvertör-EGR (egzoz gazı resirkülasyonu) emisyon kontrol sistemi ile donatılmış ve sıkıştırma oranı 8.3:1'den 9.2:1'e yükseltildiğinde yakıt ekonomisinde % 6'lık iyileşme sağlanmıştır. İkinci taşıt kapalı devre

vuruğu kontrolü, kapalı devre karbüratörü ve üç-yollu emisyon kontrol sistemi ile donatılmış ve aynı şekilde sıkıştırma oranı 8.3:1'den 9.2:1 değerine artırıldığında ise yakıt ekonomisinde % 4.3'lük iyileşme sağlanmıştır.

Gumbleton et al., (1976) tarafından yapılan çalışmada 1977 Federal emisyon standartlarının kısıtlamalarına bağlı olarak yakıt enerjisi korunumu ile sıkıştırma oranı ilişkisinin bir değerlendirmesi yapılmıştır. Buna göre biri katalitik konvertör-EGR sistemi diğeri manifold reaktör-EGR sistemi olmak üzere iki farklı emisyon kontrol sistemi, altı farklı taşıt üzerinde sıkıştırma oranları 7.4:1, 8.3:1 ve 9.2:1 olarak değiştirilerek bir değerlendirme yapılmıştır. Toplam enerji korunumu kanununa bağlı olarak 1977 Federal emisyon standartlarında konvertör-EGR ya da reaktör-EGR kontrol sistemleri ile yüksek sıkıştırma oranlarının kullanımına izin vermek için kurşunlu ya da kurşunsuz yakıt oktan seviyelerinin artırılması konusunda teşvik edici sonuçlar elde edilememiştir.

4. SONUÇLAR

Sıkıştırma oranının değişken hale getirilmesi ile vuruğu problemi olmadan kısmi ve orta yüklerde önemli sayılabilecek oranda yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir. Motorlu taşıtlarda yakıt temini için yapılan harcamalar dikkate alındığında ortalama %20'lik yakıt tasarrufunun ekonomiye önemli katkılarda bulunacağı düşünülmektedir.

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

Kısmi ve orta yüklerde (şehir içi çalışmalarında) geometrik sıkıştırma oranı artırılarak motor termik verimi artmakta dolayısı ile de yakıt ekonomisi sağlanmaktadır.

Değişken sıkıştırma oranlı motorlar, vuruğuya dayanıklı alternatif yakıtlarla ilgili araştırmalar yapılabilmesine olanak sağlamakta ve ayrıca farklı oktan sayılı yakıtlar ile de çalışabilmektedir.

Farklı mekanizmalar ile sıkıştırma oranı değişken hale getirilerek klasik krank-biyel mekanizmasına alternatif bir mekanizma ile güç üretimi sağlanabilmekte ve motorun yüksekliği, sürtünme kayıpları ve iç kuvvetlerle beraber gürültü seviyeleri azaltılabilmekte, radyal gerilmeler ortadan

kaldırılmakta, uzun ömür ve düşük emisyon seviyeleri sağlanabilmekte, daha az güç kaybıyla tüm yük şartlarında maksimum verim ve düşük yakıt sarfiyatı gibi önemli kazançlar elde edilebilmektedir.

Sıkıştırma oranının değiştirilmesi metodunun yanı sıra yakıt ekonomisinin ve kirletici emisyonların azaltılması taşıtların uygun hızlarda kullanılmasına ve periyodik bakımlarının zamanında yapılması ile; ayrıca trafik sisteminde sağlanacak gelişmeler, yolların iyileştirilmesi ve sürücülerin daha bilinçli olarak hareket etmeleri, düşük hava kirliliği ve yakıt tüketimine dolayısı ile de yakıt ekonomisinin iyileşmesine katkıda bulunacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Adams, W. H., Hinrichs, H. G., Adamis, P. 1987. Analysis of The Combustion Process of A Spark Ignition Engine with A Variable Compression Ratio, SAE Paper 870610.
- Bekcen, A. B. 1985. Motorlu Taşıtlarda Motor ve Seyir Şartına Bağlı Olarak Yakıt Tasarrufu Yönünden Optimizasyon. Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Caris, D. F., Nelson, E. E. Aug 1958. A New Look at High Compression Engines, SAE Paper 590015.
- Currie, J. M, Grossman, D. S. and Gumbleton, J. J. 1979. Energy Conservation With Increased Compression Ratio and Electronic Knock Control, SAE Paper 790173.
- Çelik, M. B. 1999. Buji ile Ateşlemeli Bir Motor Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Şubat, Ankara.
- Çetinkaya, S. 1990. Motorlu Taşıtların Yakıt Ekonomisini İyileştirme Çalışmaları, Gütef Dergisi, Sayı 3.
- Denton, T. 2000. Automobile Electrical and Electronic Systems, London, Great Britain.
- Felt, A. E. and Krause, S. R. 1971. Effects of Compression Ratio Changes on Exhaust Emissions, SAE Paper 710831.
- Gumbleton, J. J., Niepoth, G., W., Currie, J., H. 1976. Effect of Energy and Emission Constraints on Compression Ratio, SAE Paper 760826.
- Harne, V., Marathe, S. R. 1987. Variable Compression Ratio Two Stroke Engine, SAE Paper 891750.
- Heywood, J. B. Jan. 1988. Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Co.
- Hibert, H. S., Boggs, D. L. 1995. The Otto-Atkinson Cycle Engine Fuel Economy and Emission Result and Hardware Design, SAE Paper 950089.
- <http://www.alvar-engine.se>
- <http://www.delphion.com>.
- <http://www.fev.com>
- <http://www.mce-5.com>
- <http://www.patent.com>
- Kentfield, J. A. C., Fernandes, L. C. V. 1997. Friction Losses of a Novel Prototype Variable Expansion-Ratio, Spark Ignition, Four Stroke Engine, SAE Paper 972659.
- Matsumoto, K., Inoue, T., Nakanishni, K. and Okumura, T. 1977. The Effects of Combustion Chamber Design and Compression Ratio on Emissions, Fuel Economy and Octain Number Requirement, SAE Paper 770193.
- Muranaka, S., Takagi, Y. and Ishida, T. 1987. Factors Limiting the Improvement in Thermal Efficiency of S.I. Engine at Higher Compression Ratio, SAE paper 870548.
- Radwan, M. S. 1992. A Study of Knock in Lean Burn Spark Ignition Engines, SAE Paper 921668.
- Rychter, T.J., Teodorczyk, A. 1985. Economy and NO Emission Potential of an Spark Ignition Variable R/L Engine, SAE Paper 850207.
- Seiffert, U, Walzer, P. 1984. The Future for Automotive Technology, Frances Pinter Pub., London.
- Stone, R. 1989. Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd.,Houndsmills.
- Taylor, C. F. 1985. The Internal Combustion Engine in Theory and Practise, Vol 2, M.I.T Press.
- Walzer, P., Seiffert, U. 1991. Automobile Technology of the Future, Wolfsburg, June 1990.
- Wardznski, W. F., Rychter, T. J. 1991. Variable R/L Research Engine-Design and Preliminary Investigation, SAE Paper 911773.
- Wirbeleit, F. G., Binder K.G., Winner, D. 1990. Development of Pistons With Variable Compression Height for Increased Efficiency and Specific Power Output of Combustion Engines, SAE Paper 900229.
- Wong, V. W. and Stewart, M., Lundholm, G., Hoglund, A. 1998. Increased Power Density via Variable Compression Displacement and Turbocharging Using The Alvar-Cycle Engine, SAE Paper 981027.