

BUJİ İLE ATEŞLEMELİ DEĞİŞKEN SIKIŞTIRMA ORANLI MOTORLARIN EGZOZ EMİSYONLARI AÇISINDAN İNCELENMESİ**Perihan ERDURANLI****Yakup SEKMEN****Can ÇINAR****Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Bölümü Otomotiv Anabilim Dalı Beşevler 06500 Ankara****ÖZET**

Motorlu taşıtlarda petrol kökenli yakıt kullanımının bir sonucu olarak ortaya çıkan bir sorun da hava kirliliğidir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliği ve gürültü düzeyi özellikle büyük şehirlerimizde ciddi bir problem olarak insan sağlığını tehdit edecek boyutlara ulaşmıştır. Bilim ve teknolojideki gelişmelerle motorların tasarım ve işletme parametrelerinin iyileştirilmesine ve yakıtın en verimli şekilde yakılmasına çalışılmakta; gerek yanma esnasında gerekse yanmadan sonra alınan tedbirlerle egzoz emisyon seviyelerinin azaltılması sağlanmaktadır. Taşıt egzozundan çıkan kirleticilerin (CO, HC, NO_x, CO₂) hava kirliliğini önemli ölçüde artırdığı bilinmektedir. Bu çalışmada sıkıştırma oranı değişiminin buji ile ateşlemeli motorların egzoz emisyonlarına etkileri araştırılmıştır. Sıkıştırma oranı artışıyla NO_x ve CO emisyonlarında azalma gözlenirken, yüzey/hacim oranının artmasından dolayı HC emisyonlarında artış gözlenmiştir.

ABSTRACT

One of the problems that is caused by the usage of petrol based fuel in vehicles is air pollution. Air pollution and noise level caused by vehicles, especially in big cities has reached at levels that being a serious problem threatens human bodies. By improvements in science and technology, engine design and running condition parameters have been tried to be developed and fuel has been tried to be burned at the best efficient ways; by the cautions taken both during combustion and after combustion, exhaust emission levels are reduced. It is known that the pollutants (CO, HC, NO_x) that are released from vehicles' exhausts greatly raises the level of air pollution. In this study, the affects of the changing compression ratio on exhaust emissions of spark ignition engines have been investigated. It is observed that NO_x and CO emissions are decreased with increasing compression ratio, however HC emissions are increased due to increasing surface/volume ratio.

1.GİRİŞ

Motorlardan maksimum gücü, en ekonomik ve çevreyi kirletmeden alabilmek için yapılan çalışmalar günümüzde hız kazanmıştır. Motorun tüm çalışma şartlarında volümetrik ve termik veriminin artırılması, güç kayıplarının en aza indirilmesi ve egzoz emisyonlarının azaltılması araştırmaların temelini oluşturmaktadır.

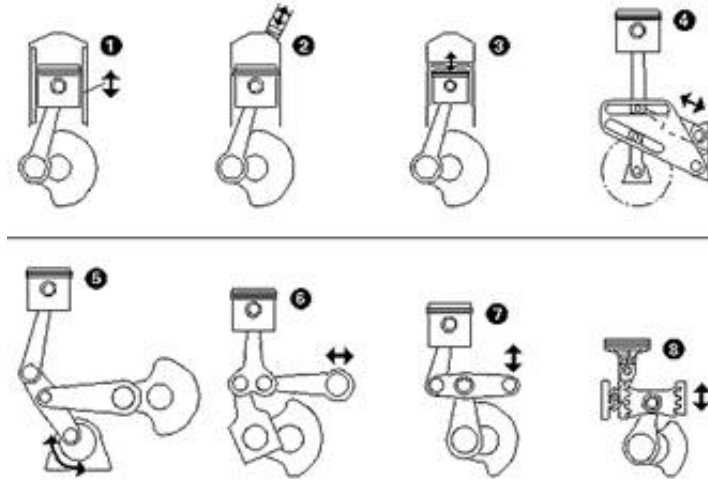
Otomotiv mühendisliğinin amacı, ilgili diğer bilim dallarındaki gelişmelerden de yararlanarak performans, güvenlik ve konforu iyileştirirken, yakıt tüketimi, egzoz emisyonları ve gürültü düzeyini azaltmak ve bunları olabildiğince taşıt maliyetine yansıtmadan başarmaktır. Egzoz emisyonları, güvenlik ve gürültü yalıtımının iyileştirilmesi, taşıt ağırlığının artmasına neden olmakta ve yakıt ekonomisini olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

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, supab açılıp kapanma zamanları, sıkıştırma oranı ve H/Y oranı gibi bazı işletme parametreleri motor hızına ve yüküne bağlı olarak değiştirilmektedir [1].

Motorlardan iyi bir performansın elde edilmesi, yakıtın verimli kullanılması ve emisyonların bütün çalışma şartlarında sürekli olarak kontrol edilmesiyle gerçekleşebilir. Fakir karışımla çalışmada, çalışma dengesizliği ve aşırı ısınmadan kaynaklanan problemler olmadan yanma düzeltilebilirse hem emisyonlar düşer hem de yakıt ekonomisi iyileştirilebilir. Ancak fakir yanma, alevin sönmeye ihtimaline kadar büyük problemlere de yol açabilir. Bu problemler, sıkıştırma oranının artırılmasıyla aşılabılır [2]. Sıkıştırma oranının artışıyla ateşleme öncesi dolgu sıcaklığının artması daha fakir karışımların ateşlenmesine imkan sağlamaktadır [3].

Değişik yük ve çalışma koşullarına göre sıkıştırma oranının değiştirilmesiyle daha iyi performansa ulaşmak mümkün görülmektedir. Kısmi yüklerde yanma verimini artırmak için karışımı zenginleştirmek yerine sıkıştırma oranının artırılmasıyla hem yakıt ekonomisi iyileşmekte hem de egzoz emisyonları düşmektedir [1,2,4-7].

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 [1,2].

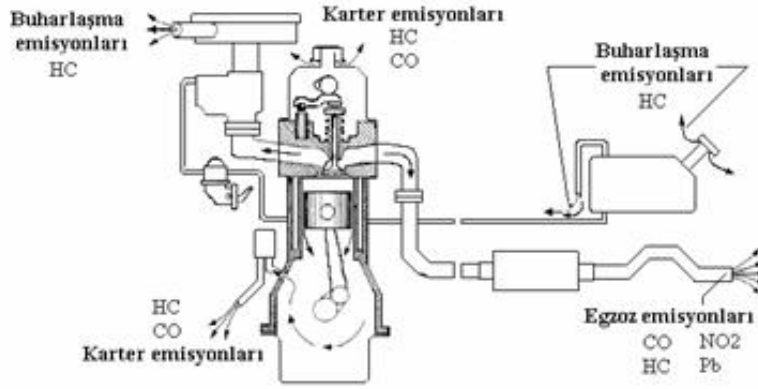


Şekil 1 Sıkıştırma oranı değiştirme metodları [8].

2.KİRLİTİCİ EMİSYONLAR ve ETKİLERİ

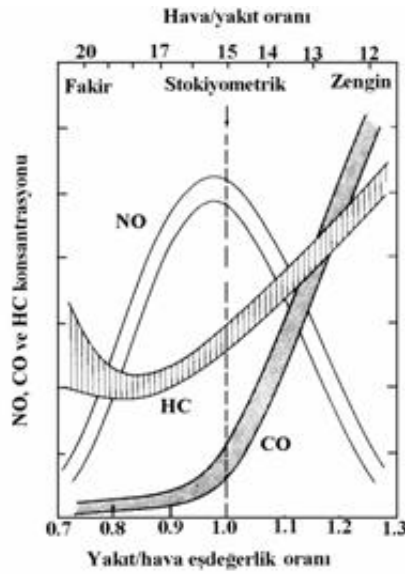
Hava kirliliğinin önemli nedenlerinden biri olan motorlu taşıtların egzoz emisyonları; ağırlıklı olarak, azot oksitler (NOx), karbon monoksit (CO) ve yanmamış hidrokarbonları (HC) içermektedir, Şekil 2. İçten yanmalı motorlar tarafından üretilen hava kirliliği yakıtın yanması veya buharlaşması sonucu ortaya çıkar [9]. Bu kirlitici emisyonlar insan sağlığı, hayvanlar ve çevre açısından zararlı ve tehlikeli etkilere sahiptirler.

Hava hacimsel olarak yaklaşık %21 O₂ ve % 78N₂, %1 Argon (Ar), karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve su buharı (H₂O) gibi çeşitli gazlardan oluşmaktadır. Atmosferin bileşimindeki küçük değişimlerin bile büyük iklimsel değişimlere yol açabileceği gerçeği hava kirliliğinin önemini ortaya koymaktadır. [10]. Atmosferdeki kirlitici emisyonlardan CO₂'nin %93, HC'nin %57'si NOx'in %39 u SO₂'(Dizel) nin %1'i motorlu taşıt kaynaklıdır. Taşıtlar yasal olarak tespit edilmiş emisyon seviyeleri içinde çalışmakla zorunlu tutulmuşlar ve çoğu zaman düşük emisyonlar ile yakıt ekonomisi arasında bir uyuma mevcut olmaktadır.



Şekil 2. Motorlu taşıttaki kirletici emisyon noktaları [10].

Farklı motorlar arasında CO, NO_x ve HC emisyonları ateşleme zamanı, yük, hız ve belirli hava/yakıt oranı gibi değişkenlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. Hava/yakıt oranına bağlı olarak meydana gelen tipik emisyon değişimleri Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3 Yakıt-hava oranına bağlı olarak egzoz emisyonlarının değişimi [15].

2.1. HC Emisyonları

Hidrokarbonlar, yakıtların eksik yanması veya tutuşamaması sonucu meydana gelirler ve yaklaşık olarak motora giren yakıt miktarının %1-1.5'ini oluştururlar. Yanma odasını çevreleyen dar boşlukların sıkıştırma esnasında yakıt-hava karışımı ile dolması, yakıtın yağ tabakaları içinde absorpsiyonu, kalıntıların yağ filmi etkisi göstermesi, silindir içinde sıvı yakıt kalması ve supap yatak boşluklarında karışım sızması şeklindeki mekanizmalar en önemli HC kaynaklarıdır.

Yanma odası içinde bulunan çok küçük hacimli bölgelere, hava ve atık gazlar girebilmekte iken bu küçük hacimler içinde alevin ilerlemesi mümkün olmadığı için, bu boşlukların yanmamış HC oluşumuna önemli katkısı vardır [12,13].

Değişken çalışma koşullarında hava/yakıt oranı, egzoz gazlarının tekrar çevrime gönderilme miktarı, ateşleme zamanlaması gibi faktörler tam olarak kontrol edilemediklerinden, yanma kalitesi düşer ve yakıtın bir kısmı hiç yanmayabilir veya kısmen yanabilir. Bu gibi durumlarda HC emisyonları otomobilden dışarı atılan yanmamış gazlardır ve;

- Supab bindirmesi esnasındaki gaz kaçakları,

- Silindir iç cidarları üzerinde kalan yanmamış gazın egzoz çevrimi esnasında dışarı atılması,
- Kötü yanma sonrasında yanmamış gazların mevcudiyeti,
- Tüm alev cephesinin yanma odasının duvarlarına ulaşmasından önce alevin sönmesi ve
- Yetersiz yanma zamanı veya hava-yakıt karışımının çok zengin veya çok fakir olması durumunda tamamlanamayan yanmanın oluşturduğu yanmamış gazlar vb sebeplerden kaynaklanır.
- Karışım zenginleştikçe tam yanmanın gerçekleşebilmesi için yeterli oksijen bulunmadığından HC emisyonları artacaktır. Karışım fakirleştikçe ise belirli noktadan sonra düşük alev yayılma hızından dolayı yakıtın tamamı yanmadan dışarı atılacak ve böylelikle de yine HC emisyonları artacaktır.

Motor freni ve hız kesme (yavaşlama) esnasında gaz kelebeği tamamen kapalı konumdadır ve relanti kanalından silindir içine bir miktar yakıt emildiği halde bunu yakacak yeterli hava giremez. Böylelikle düşük kompresyon ve zengin bir karışım meydana gelir. Düşük sıkıştırma ve yetersiz oksijen, eksik yanmaya sonuç olarak da HC emisyonlarının artmasına neden olur [11].

2.2. CO Emisyonları

Karbon monoksit, yakıt içindeki karbon tamamen yanmadığında oluşan renksiz, kokusuz ve zehirli bir gaz olup ülke çapındaki bütün CO emisyonlarının yaklaşık % 60'ını, şehirlerde % 95 kadarına karayolu taşıtları sebebiyet vermektedir. Bu emisyonlar, özellikle trafik sıkışıklığının yoğun olduğu bölgelerde yüksek CO konsantrasyonları ile sonuçlanabilmektedir. CO emisyonlarının diğer kaynakları ise endüstri prosesleri ile kazan ve çöp yakma fırınlarında yakılan yakıtlar teşkil etmektedir [14].

CO emisyonları yük ve hız değişimlerine büyük oranda duyarlı olup hava/yakıt oranına karşı daha duyarlı davranmaktadır. CO oluşumunu etkileyen en önemli faktör hava fazlalık katsayısıdır. Karışım zenginleştikçe, yanma odasına alınan yakıtın içindeki karbonun tamamını CO₂ şeklinde yakacak oksijen bulunmadığından, CO oranı hızlı bir şekilde artmaktadır. Buji ile ateşlemeli motorlar, kısmi yüklerde yakıt ekonomisi açısından stokiyometrik orandan biraz fakir karışımlarla çalışmakla birlikte, tam yükte belirli bir kurs hacmi için emilen havadan tam olarak yararlanmak amacıyla zengin karışımla çalışırlar. Dolayısıyla buji ile ateşlemeli motorların CO emisyonunun kontrolü önemlidir.

Otomobillerden yayılan CO emisyonları soğuk havalarda dramatik olarak artmaktadır. Bu durum otomobillerin soğuk havalarda çalıştırılması için daha fazla yakıtı ihtiyaç duymasından ve O₂ sensörleri ile katalitik konvertörler gibi bazı emisyon kontrol aygıtlarının soğuk iken daha az etkin çalışmalarından kaynaklanmaktadır.

CO, kana geçerek vücudun organ ve dokularına O₂ dağıtımını azaltır. CO'ye maruz kalmak hasta bireylerin yanı sıra sağlıklı bireyleri de olumsuz yönde etkilemektedir. Yükseltmiş CO seviyelerindeki is, görüş bozukluğu, iş yapma kapasitesinde, el becerisi gerektiren işlerde ve öğrenme kabiliyetinde azalma gibi olumsuzlukları meydana getirmektedir. EPA'nın halk sağlığı standardına göre hava kalitesi, günün ikinci 8 saatlik zaman dilimi boyunca yapılan ölçümler için max ortalama CO konsantrasyonu milyonda 9'un üstüne çıkmamalıdır [14].

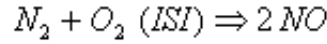
2.3. NO_x Emisyonları

NO_x, değişik miktarlarda azot ve oksijen içeren fazlaca reaktif bir gazdır. Hava yakıt karışımı içindeki NO_x, yanma odası sıcaklığı yaklaşık 1800 °C ye yükseldiğinde azot (N₂) ve oksijen (O₂) nin birleşmesiyle oluşur. Eğer sıcaklık 1800 °C'nin üstüne yükselmez ise, N₂ ve O₂, NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır. Azot ve oksijen gazlarının değişik moleküllerinin birleşmesi ile NO, NO₂, N₂O, N₂O₃ vb. gibi çeşitli gazlar ortaya çıkar ki bunların hepsine birden "Azot oksitler" denir ve NO_x olarak ifade edilir [11,14,15]. NO₂ renksiz ve kokusuz olmasına rağmen genel bir kirleticidir ve NO₂ partikülleri havada sık sık kırmızımsı kahverengi bir tabaka olarak kent alanlarının üzerinde görülebilir. Buji ile ateşlemeli motorlarda NO₂/NO oranı ihmal edilebilecek düzeydedir. Benzin gözardı edilebilecek seviyede azot içerdiğinden, NO oluşumunun asıl kaynağı atmosferik (moleküler) azot (N₂)'dir. NO'nun atmosferik azotu parçalamasından

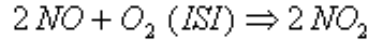




şeklinde denge reaksiyonları sonucu meydana geldiği varsayılmaktadır [15,16]. Egzoz gazları içindeki NO_x gazlarının % 95'i NO (azotoksit)'tir.



NO atmosferdeki oksijen ile birleşerek NO₂ meydana getirir.



NO_x emisyonlarını azaltmak için; hem yanma odası içindeki sıcaklığın 1800 °C'ye ulaşmasını önlemek ve yüksek sıcaklıklara ulaşılan süreleri kısa tutmak, hem de oksijen konsantrasyonunu düşürmek gerekmektedir. Hava-yakıt oranının stokiyometrik orandan daha zengin olmasıyla NO_x konsantrasyonunun düşmesinin nedeni oksijen miktarının azalması, oldukça fakir karışımlarda düşmesinin nedeni ise yanmanın yavaş olması ve maksimum sıcaklığın düşük olmasıdır. Ateşleme zamanına avans veya rötar verilmesi, yanma odası içinde oluşan maksimum sıcaklığı değiştirdiğinden NO_x konsantrasyonu da değişir. Teorik hava-yakıt oranı için NO_x konsantrasyonu ateşleme zamanına avans verdikçe yüksek yanma sıcaklığına bağlı olarak önemli derecede artmaya başlar [11,17].

Yanma esnasında alev cephesi silindir içerisinde ilerlerken NO'nun esas olarak alevin arkasında yüksek sıcaklıklı yanmış gaz bölgesinde meydana geldiği kabul edilmektedir. Yine genişleme kursu süresince yanmış gazlar soğurken, NO'nun ayrışma reaksiyonları sona erdiğinden, egzoz koşullarındaki denge durumunda olması gerekenden daha yüksek konsantrasyonda NO oluşumu söz konusudur.

EPA'ya göre hava kirliliğine sebep olan 6 temel kirleticiden (CO, Pb, NO_x, partikül madde, SO₂ ve kararsız organik bileşikler) NO_x hariç diğerleri 1970'deki Temiz Hava Yasası'ndan bu yana önemli derecede azalmıştır. NO_x'in bu periyottaki artış oranı % 10'dur.. NO_x ve NO_x den oluşan kirleticiler sadece yayıldığı alanla sınırlı kalmayıp rüzgarla uzun mesafelere taşınabilirler. Bundan dolayı NO_x'in kontrolü lokal alanlardaki kaynaklar üzerinde odaklanmaktan daha çok bölgesel olarak bir şeyler yapıldığında daha etkilidir. NO_x, ciddi solunum problemleri başlatabilmekte, yer seviyesindeki ozonun ve asit yağmurlarının oluşumuna, suyun bozulmasına, atmosferik partikülleri görülebilirliği azalması, toksit kimyasalların oluşumuna etkir ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır[14].

3. SIKIŞTIRMA ORANININ EGZoz EMİSYONLARINA ETKİSİ

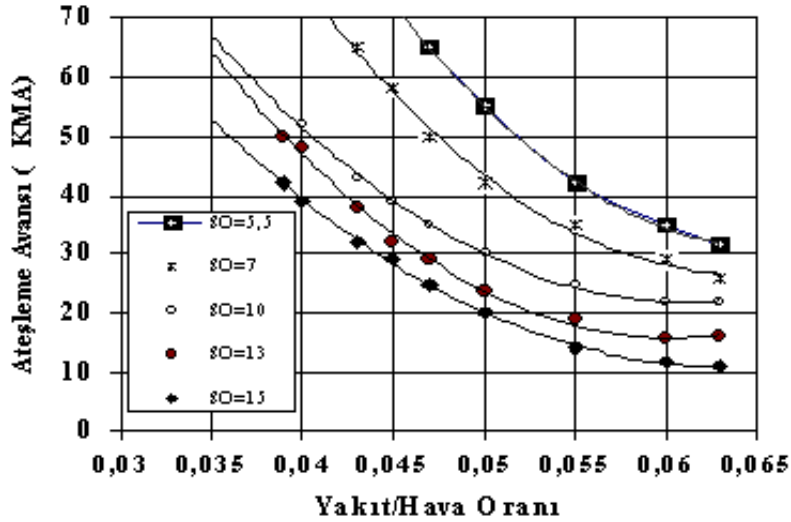
Sıkıştırma oranının yanmayı etkilemesiyle birlikte motorun emisyon seviyelerinde de değişiklikler olmaktadır. Sıkıştırma oranındaki artışlar HC emisyonlarını artırmaktadır. Yüksek sıkıştırma oranlarında genişleme zamanının sonlarında gaz sıcaklıklarının çok düşmesi sonucu silindirdeki HC oksitlenmesinin daha az gerçekleşmesi, daha düşük egzoz sıcaklıkları nedeniyle egzoz sisteminde daha az oksidasyon olmasıdır. Ayrıca, yanma odası yüzeylerindeki ve piston bölgelerindeki yarık ve oyuk kısımların hacmindeki artışlar da HC emisyonlarını artırmaktadır [15].

Yanma odası yüzey/hacim oranı HC emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biridir. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte artar ve HC emisyonlarının artmasına neden olur. Yanma odası içinde alev yüzeye yakın bölgelerde soğur ve söner. Bu yanmamış bir HC tabakası bırakır ve bu tabaka yanmış gazlarla birlikte egzozdan atılır.

Sıkıştırma oranının artırılması, ateşleme anındaki karışımın basınç ve sıcaklığını artırırken artık gaz yoğunluğunu da azaltır. Bununla birlikte hem karışımın ateşlenebilmesi için uygun koşullar oluşur hem de yanma olayının başlangıç fazının süresi kısalmış, ana fazdaki alevin yayılma hızı yükselir. Diğer taraftan sıkıştırma oranının artırılması, yanma odası yüzey/hacim oranının artırdığında karışımın büyük miktarı bağıl olarak yanma odası çeperleri yakınında toplanacağından son safhanın süresi artar. Optimum ateşleme avansı ile bu durum azaltılabilir [18].

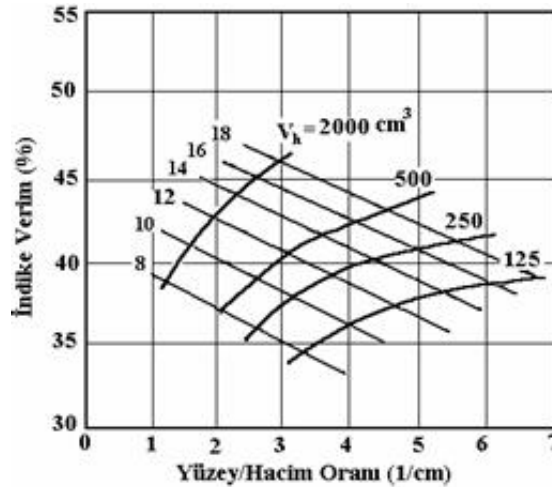
Yanma odası yüzey/hacim oranındaki artış motorda vuruntu oluşma olasılığını azaltırken HC emisyonlarını arttırdığından buji ile ateşlemeli motorlarda bu oran önemli bir parametredir. Sıkıştırma oranının artışı ile oluşacak vuruntu, belirli bir noktaya kadar ateşleme avansı değişimiyle kontrol edilebilir. Artan sıkıştırma oranlarında maksimum verimi elde etmek için ateşleme avansının bir miktar azaltılması gerekir Şekil 4 [19]. 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 [20].



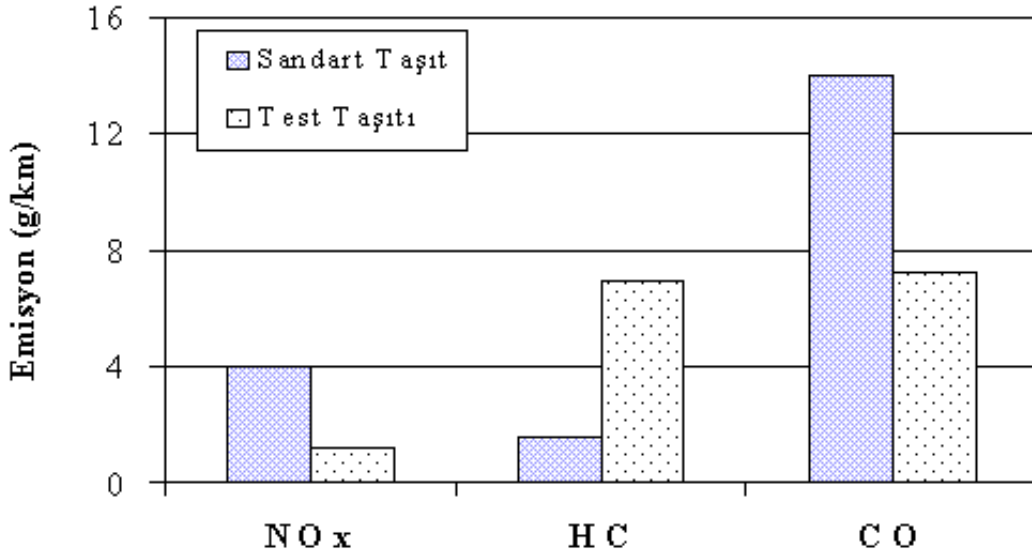
Şekil 4 Ateşleme avansının yakıt/hava oranına ve sıkıştırma oranına bağlı değişimi (CFR Motoru, Yakıt Propan, n=1200 d/d) [20]

Sabit sıkıştırma oranında indike verim yüzey/hacim oranındaki artışla lineer olarak azalmaktadır. Şayet, süpürme hacmi sabit tutulursa ve sıkıştırma oranı artırılırsa, daha küçük süpürme oranlarında, yüzey/hacim oranında daha büyük artış olur. Bu yüzden indike verimdeki iyileşme oranı küçük boyutlu motorlar için daha küçük olur (Şekil 5) [21].



Şekil 5 Yüzey/Hacim oranı ile indike verim arasındaki ilişki [21].

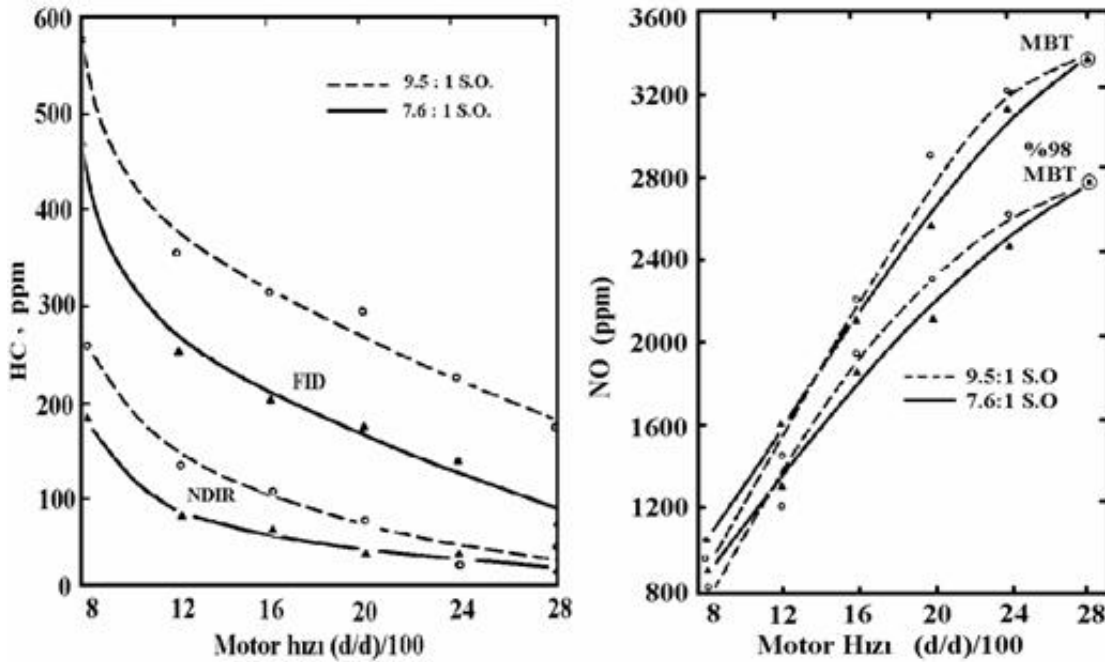
Adams, W.H., ve arkadaşları tarafından 4 silindirli, 4 zamanlı, kurs hacmi 1780 cm^3 benzin enjeksiyonlu bir motorun silindir kapağına yardımcı oda eklenmesiyle yapılan değişken sıkıştırma oranlı motora sahip taşıtta egzoz emisyon seviyeleri katalist kullanılmaksızın ölçülmüştür. NO_x ve CO emisyonlarında azalma gözlenirken, sıkıştırma oranıyla birlikte artan yüzey/hacim oranından dolayı HC emisyonlarında artış gözlenmiştir (Şekil 6) [22].



Şekil 6 Standart bir taşıtla değişken sıkıştırma oranlı bir taşıtın egzoz emisyonları açısından karşılaştırılması [22]

Felt A.E. ve Krause S.R. tarafından 1969 model 383-CID V8 motorunda sıkıştırma oranı değişiminin egzoz emisyonlarına ve yakıt tüketimine etkileri dinamometre ve taşıt testleriyle incelenmiştir. Sıkıştırma oranı değişikliği sadece piston değişiklikleriyle sağlanmış ve gerekli ateşleme avansı değişiklikleri hariç motorda herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Kararlı durum dinamometre testleri 7.6/1 ve 9.5/1 şeklinde iki ayrı sıkıştırma oranında aynı güç için yapılmıştır. Her iki sıkıştırma oranında aynı güç için NO ve CO emisyonları değişmezken, HC emisyonları azalmıştır Şekil 6, 7- Modu Federal Test Prosedürüne göre yapılan Taşıt testlerinde ise NO ve CO emisyonları değişmemiş, HC emisyonlarında bir miktar artma meydana gelmiştir [23].

Şekil 7 motor hızına bağlı olarak NO konsantrasyonunu ppm olarak MBT(Maksimum Fren Torku) ve %98MBT ateşleme zamanında göstermektedir.Şekil 7'den NO'un her iki MBT yada %98MBT ateşleme zamanında eşit güç üretiminde sıkıştırma oranı ile temelde değişmediği tespit edilmiştir. Ateşleme zamanı MBT'den %98 MBT'ye geciktirildiğinde (yaklaşık 5° KMA) NO emisyonları her iki sıkıştırma oranı içinde % 20 civarında azaldığı görülmektedir.



Şekil 7 Sıkıştırma oranının HC ve NO emisyonlarına etkisi

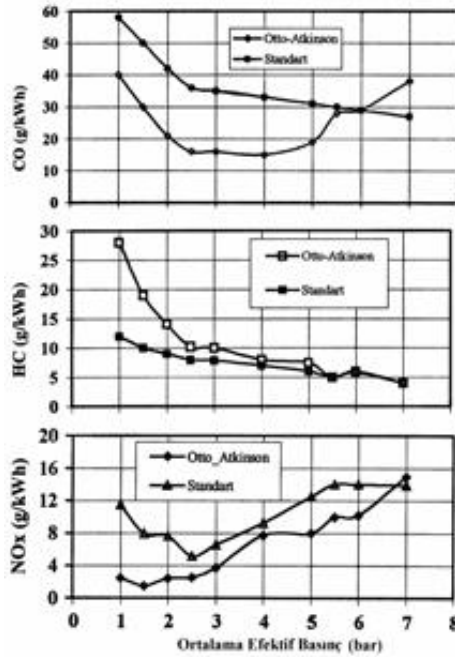
Aynı gücü düşük sıkıştırma oranında elde etmek için % 7 fazla yakıt ve havanın gerektiği görülmektedir. Hız aralığı

boyunca kütleli NO emisyonlarının, yüksek sıkıştırma oranında düşük sıkıştırma oranındakinden % 4 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Şekil 7'de sadece her iki sıkıştırma oranında MBT ateşleme zamanında motor hızına bağlı olarak yanmamış HC emisyonları değişimi görülmektedir. Düşük sıkıştırma oranındaki egzoz gazı içindeki HC'larda azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu azalmalar düşük sıkıştırma oranında artan egzoz hacminden dolayı kütleli olarak yaklaşık % 7 daha az bulunmuştur.

Hem dinamometre hem de taşıt testlerinde, NO emisyonları eşit güç üretimi için sıkıştırma oranıyla değişmemiştir. Dinamometre testlerinde HC emisyonları sıkıştırma oranı azalırken azalmaktadır. Taşıt testlerinde ise NO ve CO emisyonları sıkıştırma oranındaki azalmadan etkilenmezken HC emisyonları bir miktar artmıştır. Ayrıca, hem dinamometre hem de taşıt testlerinde sıkıştırma oranı azaltıldığında artan yakıt ve hava kütlesi kütle emisyonlarını artırmaktadır.

Boggs D.L. ve Hibert H.S. tarafından 1995 yılında 16 litrelik bir I-4 motoru Otto-Atkinson çevrimine göre çalışacak şekilde 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 kaymakta ve böylece sıkıştırma yüksekliği değişmektedir ve dış pistonun hareketi hidrolik sistem tarafından silindir basıncına göre kontrol edilmiştir. [24].

Standart motor ile Otto-Atkinson motorunun egzoz emisyon değişimleri Şekil 8'de görülmektedir. Kısmi yüklerde Otto-Atkinson motorunda standart motora göre NO_x ve CO emisyonlarında bir azalma gözlenirken HC emisyonlarında %6 oranında bir artış gözlenmiştir.

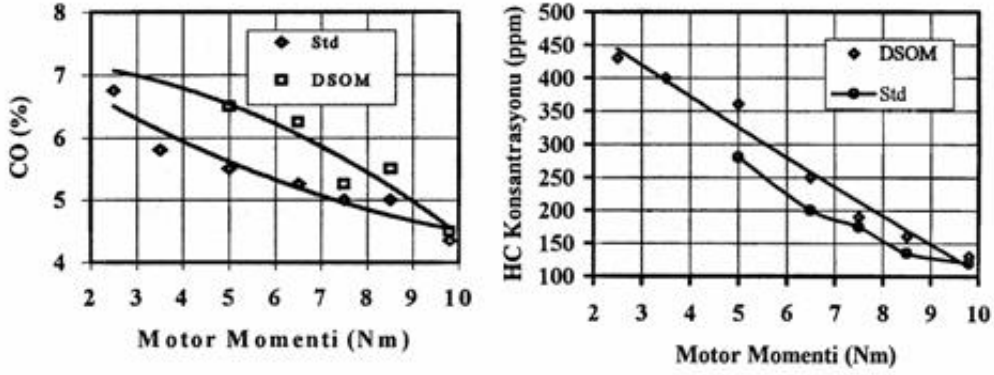


Şekil 8 Otto-Atkinson motoru ve standart motorun egzoz emisyon değerleri [25]

Çelik B. tarafından standart motor ile değişken sıkıştırma oranlı motorun stokiometrik ve zengin karışımla çalışmaları karşılaştırılmıştır. Stokiometrik karışımla çalışmada değişken sıkıştırma oranlı motorun CO emisyonu standart motora göre 5 Nm'lik yükte % 14 kadar azalma göstermiştir. Artan sıkıştırma oranı yanma verimini artırdığından CO emisyonlarında bir miktar azalma olmaktadır. Zengin karışımla çalışmada stokiometrik karışımla çalışmaya oranla CO seviyelerinde artma olmuştur. Değişken sıkıştırma oranlı motor 2.46 Nm'lik yükte standart motora göre yaklaşık % 6'lık daha az emisyon ölçülmüştür.

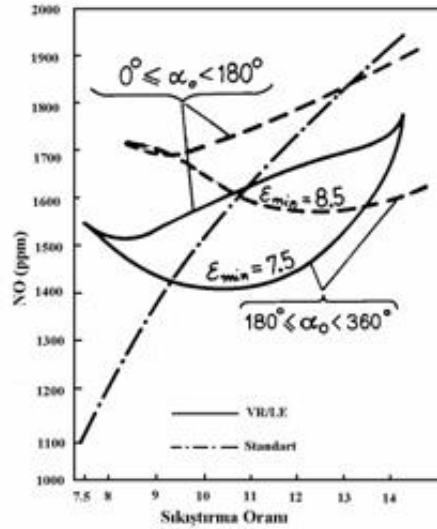
Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte HC emisyonlarının standart motorunkine göre arttığı tespit edilmiştir. Kısmi yüklerde bu artış % 27'ye kadar ulaşmıştır. HC emisyonlarının en önemli kaynaklarından birisi yanma odası duvar yüzey alanıdır. Alevin yüzeye yakın bölgelerde soğuyup sönmeye yanmamış HC tabakasına sebep olmakta ve bu tabaka yanmış gazlarla karışarak egzozdan atılmaktadır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte yüzey/hacim oranı arttığından HC emisyonları da artmaktadır. Zengin karışımla çalışmada ise stokiometrik karışımla çalışmaya oranla HC emisyonlarının her iki motor içinde arttığı tespit edilmiştir. Değişken sıkıştırma oranlı motor emisyonları standart

motora göre % 30 daha fazla olmuştur [1].



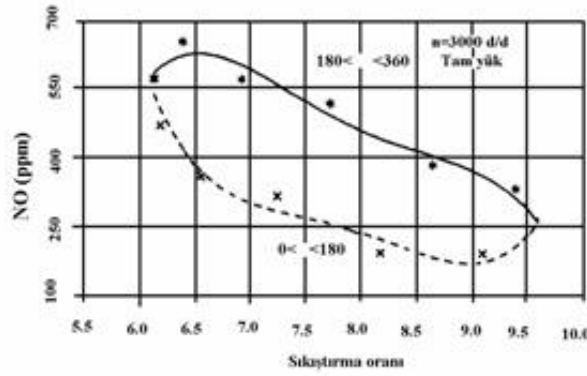
Şekil 9 Değişken sıkıştırma oranlı motor (DSOM) ile Standart motorun CO ve HC emisyonları değişimi [1].

Sıkıştırma oranı artışı motor verimini artırmaktadır. Ancak daha yüksek motor verimi NO emisyonlarını da artırmıştır. Düşük sıkıştırma oranlarında daha yüksek VR/LE motor verimleri ancak eş zamanlı olarak NO emisyon artışı ile elde edilebilmiştir. Bu durum daha yüksek pik basınç değerleri ve düşük artık gaz miktarlarından dolayı gerçekleşmektedir. Mekanizmanın yapısından dolayı iki farklı minimum sıkıştırma oranı vardır, $\epsilon_{\min} = 7.5$ ve $\epsilon_{\min} = 8.5$. VR/LE motoru ile klasik motor verimleri arasındaki fark; VR/LE motoru için makul NO konsantrasyonunda meydana gelen farklılıklardaki eş zamanlı azalmalar ile olan daha büyüktür. Bu yüzden ϵ_{\min} 'deki artış VR/LE motoru için termodinamik yeterlilik açısından daha avantajlıdır [26].



Şekil 10 İki minimum sıkıştırma oranı için NO emisyonları değişimi [26]

VR/LE motoru olarak bilinen motor, silindir çapı 77mm, krank yarıçapı 35.3 ve 650 cm³ yer değiştirme hacimli 2 silindirli bir motorun silindirlerinden sadece biri üzerinde eksantrik krank mekanizması uygulanarak sıkıştırma oranı 6.13 ile 9.61 arasında değiştirilmiştir. Egzoz gazları içerisindeki NO konsantrasyonu değişik sıkıştırma oranlarında ölçülmüştür, Şekil 11. NO konsantrasyonu sınırlı büyüklüktedir ve genelde sıkıştırma oranının artırılmasıyla NO konsantrasyonları düşüş eğilimindedir. Motorun stokiometrik karışım oranından biraz zengin bölgede çalıştırılması önerilmiştir. Bu sonuç aynı sıkıştırma oranında fakat iki farklı faz açısında (Birinci aralık $180^\circ < \mu_0 \leq 360^\circ$, ikinci aralık $0^\circ < \mu_0 \leq 360^\circ$) ölçülen NO konsantrasyonları arasındaki önemli farklar ile desteklenmiştir. Mekanizma, NO emisyonları ve verime göre avantaj sağlayan μ_0 faz açısının aralığını seçme olanağı sağlamaktadır. Sıkıştırma oranı değişimleri ile NO konsantrasyonundaki değişim klasik motorunkine göre VR/LE motorunda daha memnun edicidir [27]



Şekil 11. Sıkıştırma oranına bağlı olarak NO konsantrasyonunun değişimi [27]

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yakıtların iklim dengesini bozan etkileri yüzünden insan sağlığı tehdit altında bulunmaktadır. Günümüzde ve gelecekte enerjiyle ilgili tüm tercihlerde çevreyle ilgili endişeler önemle göz önünde bulundurulmalıdır. Bilim gelecekte bol, temiz ve ucuz yeni enerji kaynakları ile bu sorunun üstesinden gelmeyi amaçlarken mevcut enerji makinalarının verimini artırmayı ve kirlenici emisyonlarda azaltmayı ihmal etmemelidir.

Yapılan çalışmalarda sıkıştırma oranı değişimi ile egzoz emisyonlarında iyileşmeler olmuştur. Ancak, bu çalışmalarda sıkıştırma oranı değişimi elle/dışarıdan kontrol edilmiştir. Elektronik veya hidrolik kontrollü, motor yükü ve hızına bağlı olarak sıkıştırma oranını kontrol eden bir yardımcı mekanizma tasarımı ile çevre kirliliği açısından daha olumlu sonuçlar elde edilebilir. Artan sıkıştırma oranıyla maksimum verimin elde edilebilmesi için ateşleme avansının azaltılması gerekmektedir.

Kısmi yüklerde artan sıkıştırma oranı ile yanma verimi arttığından CO emisyonları azalmaktadır. Sıkıştırma oranı değişiminin NO_x emisyonları üzerindeki etkisi ihmal edilecek kadar düşüktür. Bazı çalışmalarda artan sıkıştırma oranıyla NO_x emisyonlarının arttığı, diğer çalışmalarda ise azaldığı görülmüştür. Yüksek sıkıştırma oranı, yanma odası yüzey/hacim oranını artırması sebebiyle HC emisyonları da artmaktadır.

Şehir içi sürüş şartlarında yanma verimini artırmak için karışımı zenginleştirmek yerine sıkıştırma oranının artırılmasıyla kirlenici egzoz emisyon seviyelerinde önemli derecede azalmalar sağlanacağı düşünülmektedir. Yeni bir çalışma ile yeniden formüle edilmiş benzinlerin kullanımı ile daha temiz yanmanın sağlandığı motorlarda olumlu sonuçlar elde edilebilir.

Motorlu taşıtlarda, sıkıştırma ve yanma sırasında yanma odasında oluşan yüksek basınçlar nedeni ile segman boşluklarından kartere geçen gazların ve yağ buharından kaynaklanan emisyonlar tekrar emme sistemine gönderilmesiyle kontrol altına alınabilir. Yine yoğun trafikte relantide çalışma veya yoğun güneş ışığı altında park esnasında yakıt sistemlerinde oluşan fazla yakıt buharından kaynaklanan emisyonlar havalandırma kanalları üzerine yerleştirilen ve aktif karbon içeren haznelere tarafından önce emilip daha sonra emilen bu yakıt buharının normal çalışma koşullarında serbest bırakılarak yanma odasına gönderilmesi ile kontrol edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Çelik, M.B., Şubat 1999, Buji ile Ateşlemeli Bir Motor Sıkıştırma Oranının Değişken Hale Dönüştürülmesi ve Performansa Etkisinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Ankara.
2. Harne, V., Marathe, S.R., 1987, Variable Compression Ratio Two Stroke Engine, SAE Paper 891750.
3. Wallace, W.A., Lux, F.B., 1964, A Variable Compression Ratio Engine Development, SAE Paper 640060, pp.

680-707

4. Walzer, P., Seiffert, U., 1991. Automobile Technology of the Future, Wolfsburg, June 1990.
5. Seiffert, U, Walzer, P., The Future for Automotive Technology , Frances Pinter Pub., London 1984.
6. Stone, R.,1989. Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd.,Houndsmills.
7. Çetinkaya, S., 1990, Motorlu Taşıtların Yakıt Ekonomisini İyileştirme Çalışmaları, Gütef Dergisi, sayı 3.
8. <http://www.mce5.com>
9. Heisler,H., 1995, Advanced Engine Technology, Edward Arnold, London,
10. Sunay,Ç., "İnsanlık Geleceği ile mi Oynuyor? İklim Değişiyor"Bilim ve Teknik, sayı 392, Temmuz 2000.
11. Stone, R.,1989, Motor Vehicle Fuel Economy, Macmillan Educational Ltd.,Houndsmills.
12. SÜRME, A., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda HC emisyonlarının Oluşumu ve Alev Geçişi Sonrası Davranımının Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.]
13. YILDIRIM, M., GÜL, Z, Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Segman Boşluğu Hidrokarbonlarının Çok Boyutlu Matematik Modeli, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.
14. www.epa.gov
15. Heywood, John B., Jan. 1988, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Newyork.
16. Bilgin, A., Durgun, O., Taşıtların Kirletici Oluşum Mekanizmaları ve Önlenmesi, 5.Yanma Sempozyumu, 21-23 Temmuz 1997, Kirazlıyayla/Bursa-Türkiye.]

17. Benson,R.S., Whitehouse,N.D., 1979, Internal Combustion Engines, Volume 1, Pergamon Press, Newyork.
18. Safgönül, B., 1981, Pistonlu Motorlar, İTÜ Yayın No 124
19. Öz, İ.H., 1962, Motorlar ,Cilt 2, Birsen Yayınevi
20. Bolt, J.A., Holkeboer, D.H., 1962, Fuel-Air Mixtures Spark Ignited Engines, SAE Transaction Vol. 70.
21. 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.
22. 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.
23. Felt, A.E., Krause, S.R., 1971, Effects of Compression Ratio Changes on Exhaust Emissions. SAE Paper 710831.
24. Blakey, S.C., Saunders, R.J., 1991, A Design and Experimental Study of an Otto-Atkinson Cycle Engine Using Late Intake Valve Closing, SAE Paper 910451.
25. Boggs, D.L., Hilbert, H.S., 1995, The Otto-Atkinson Cycle Engine-Fuel Economy and Emissions Results and Hardware Design, SAE Paper 950089.
26. Rychter, T.J., Teodorczyk, A., 1985, Economy and NO Emission Potential of an Spark Ignition Variable R/L Engine, SAE Paper 850207.
27. Wardznski, W.F., Rychter, T.J., 1991, Variable R/L Research Engine–Design and Preliminary Investigation, SAE Paper 911773