

İÇTEN YANMALI MOTORLAR DENEY FÖYÜ

1.GİRİŞ

***İçten Yanmalı Motor**, bir yakıtın kimyasal enerjisini krank mili çıkışında faydalı mekanik enerjiye dönüştüren bir ısı makinasıdır.

- Yakıtın kimyasal enerjisi önce motorun içinde yanma ya da yakıtın hava ile oksidasyonu yoluyla ısı enerjisine dönüştürülür.
- Bu ısı enerjisi motorun içindeki gazların sıcaklık ve basıncını artırır ve yüksek basınçlı gazlar daha sonra motorun mekanik mekanizmalarına karşı genişler.
- Bu genişleme, mekanik bağlantı elemanları vasıtasıyla krank milinde dönme hareketine dönüştürülür.
- İçten yanmalı motorların büyük bir kısmı, pistonların silindir içinde ileri-geri hareket ettiği pistonlu tip motorlardır.
- Pistonlu tip motorlar bir ya da daha çok sayıda (20 adet veya daha fazla) silindire sahip olabilir.

2. HAVA-YAKIT VE YAKIT -HAVA ORANLARI

- Bir motora enerji girişi Q_{in} , hidrokarbon esaslı yakıtların yanmasıyla elde edilir. Bu reaksiyon için gerekli olan oksijen hava tarafından sağlanır.
- Yanma reaksiyonunun oluşması için uygun miktarlarda hava (oksijen) ve yakıt hazır bulunmalıdır.

Hava/Yakıt oranı (H/Y) ve Yakıt/Hava oranı (Y/H) karışım oranını tanımlamaya yarayan parametrelerdir.

$$H/Y = m_a/m_f = \dot{m}_a/\dot{m}_f \quad (1)$$

$$Y/H = m_f/m_a = \dot{m}_f/\dot{m}_a = 1/HY \quad (2)$$

Burada;

$$m_a = \text{Havanın kütlesi,}$$

$$\dot{m}_a = \text{Havanın kütleli debisi,}$$

$$m_f = \text{Yakıtın kütlesi,}$$

$$\dot{m}_f = \text{Yakıtın kütleli debisi}$$

- İdeal olarak H/Y oranı birçok benzin tipi hidrokarbon yakıtlar için 15:1 oranında olmakla birlikte yanma reaksiyonu 6-19 aralığında mümkündür.

- Yanmayı devam ettirebilmek için H/Y oranının 6'dan küçük olması durumu oldukça zengin karışım, H/Y'nin 25'ten büyük olması ise oldukça fakir karışımdır.
- Motor ilk ve soğuk çalışma süresince genellikle zengin karışımla çalışır. Bunun nedeni zengin karışımlarda tutuşmanın daha kolay olmasıdır.
- Taşıtlar düşük yüklerde seyrederken yakıt ekonomisi sağlamak amacıyla fakir karışımla çalışırlar. Bu durumda tutuşmanın daha iyi bir şekilde gerçekleşmesi amacıyla buji civarında bir zengin karışım bölgesi oluşturulması genellikle zorunlu hale gelmektedir.
- Bir motorun yakıt giriş sistemi (yakıt enjektörleri, karbüratör), alınan hava için uygun miktarda yakıtın ayarlandığı bölümdür.
- Benzin yakıtlı motorların H/Y oranları, çalışma koşullarına (ivmelenme, sabit hız, ilk çalışma vb.) bağlı olarak genellikle 12-18 aralığındadır.
- Dizel motorların oranları 18-70 aralığındadır. Bu aralık, yanmanın mümkün olduğu aralığın dışında gibi görünebilir.
- Ancak yanma gerçekleşir çünkü dizel motorlar, silindirlerinde homojen olmayan hava-yakıt karışımına sahiptirler ve yanabilir karışım bölgelerinde reaksiyon gerçekleşir, diğer bölgeler zengin karışım veya karışım olarak bulunabilir.
- Denklik oranı (Equivalence ratio) ϕ , gerçek yakıt/hava oranının, ideal ya da stokiyometrik yakıt/hava karışımına oranı olarak tanımlanır.

$$\phi = (FA)_{act} / ((FA)_{stoich} = (AF)_{stoich} / ((AF)_{act} \quad (3)$$

- Bazı literatürde eşdeğerlik oranı yerine eşdeğerlik oranının tersi olan hava fazlalık katsayısı kullanılmaktadır.

$$\Lambda = 1/\Phi = (Y/H)_{st} / (Y/H)_{ger} = (H/Y)_{ger} / (H/Y)_s \quad (4)$$

3. ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ

Özgül yakıt tüketimi;

$$sfc = \dot{m}_f / \dot{W} \quad (5)$$

Burada;

\dot{m}_f : yakıtın kütleli debisi,

\dot{W} : Motor gücü

- ❖ Güç olarak, fren gücü kullanıldığında, fren özgül yakıt tüketimi;

$$bsfc = \dot{m}_f / \dot{W}_b \quad (6)$$

- ❖ Güç olarak, indike güç kullanıldığında, indike özgül yakıt tüketimi;

$$isfc = \dot{m}_f / \dot{W}_t \quad (7)$$

Diğer özgül yakıt tüketimi parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanır.

$Fsfc$ = sürtünme özgül yakıt tüketimi,

$Igsfc$ = toplam indike özgül yakıt tüketimi,

$Insfc$ = net indike özgül yakıt tüketimi,

$Psfc$ = pompa özgül yakıt tüketimi

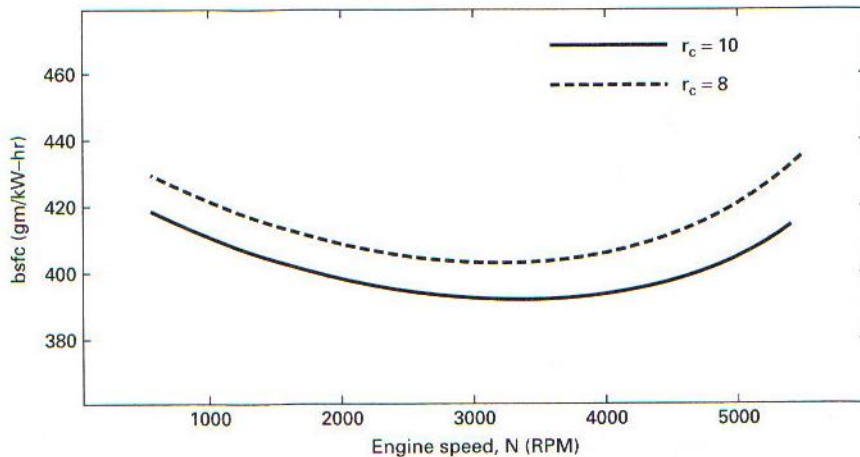
Aynı zamanda;

$$\eta_m = \frac{W_b}{W_t} = \frac{\frac{\dot{m}_f}{W_b}}{\frac{\dot{m}_f}{W_t}} = (isfc) / bsfc \quad (8)$$

Burada;

η_m = Motorun mekanik verimi

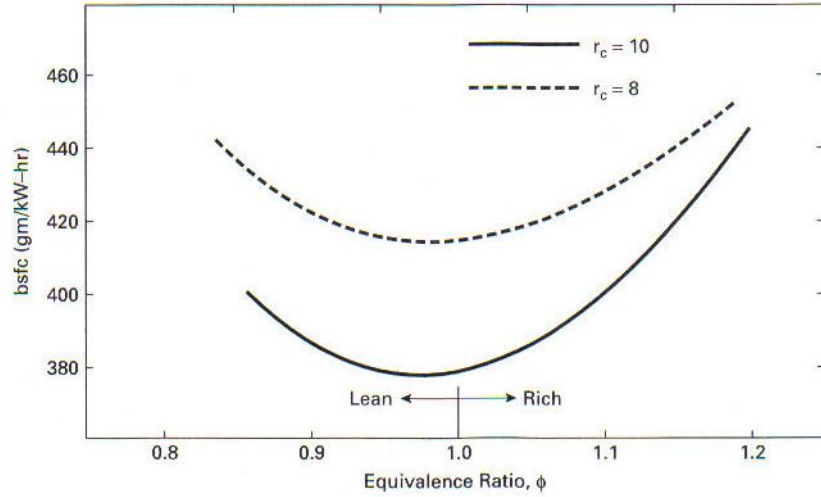
- ❖ Fren özgül yakıt tüketimi başlangıçta motor hızı arttıkça azalır, bir minimum değere ulaşır, daha sonra yüksek devirlerde artar (Şekil 1).



Şekil 1. Efektif özgül yakıt tüketiminin motor devri ile değişimi. Motor devrinin artması ile birlikte, çevrim esnasında ısı transferi için kısalan zaman nedeniyle yakıt tüketimi azalır. Çok yüksek devirlerde ise sürtünme kayıplarının artması nedeniyle yakıt tüketimi tekrar artar. Sıkıştırma oranının artması ise ısı verimi arttırmakta ve bunun sonucu olarak yakıt tüketimi azalmaktadır.

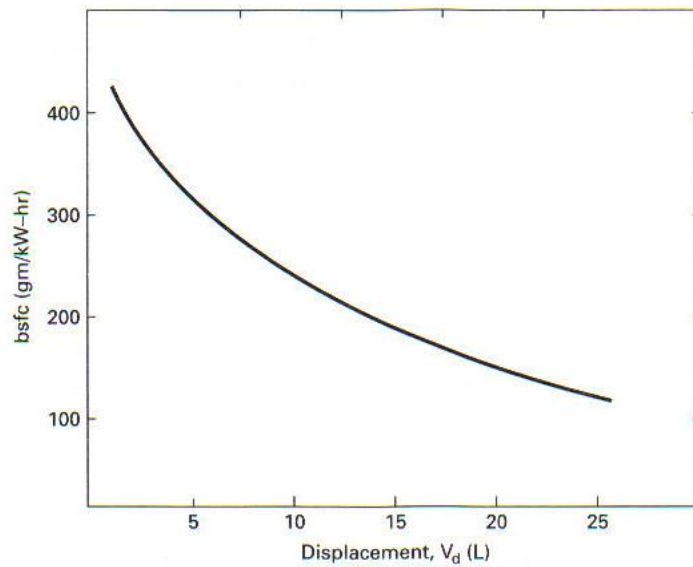
- ❖ Büyük sürtünme kayıpları nedeniyle, yüksek hızlarda yakıt tüketimi artar. Düşük hızlarda, her bir çevrim daha uzun zamanda gerçekleşeceğinden, daha fazla ısı kaybına neden olacak ve yakıt tüketimi yine yükselecektir.
- ❖ Şekil 2, efektif özgül yakıt tüketiminin aynı zamanda sıkıştırma oranı ve yakıt denklik oranı ile değişimini göstermektedir.
- ❖ Yüksek sıkıştırma oranlarında, yüksel termal verim nedeni ile $bsfc$ azalmaktadır.

- ❖ Yakıt tüketiminin, denklik oranının $\phi = 1$ olan karışımın yanması durumunda minimum değer aldığı görülmektedir.
- ❖ İdeal yanmadan uzaklaşıldıkça (zengin karışıma ve zayıf karışıma doğru) efektif özgül yakıt tüketimi yükselmektedir.



Şekil 2. Efektif özgül yakıt tüketiminin eşdeğerlik oranı ile değişimi. Yakıt tüketimi biraz fakir karışımda minimum olurken hem zengin hem de çok fakir karışımlarda yakıt tüketimi artmaktadır.

- ❖ Fren özgül yakıt tüketimi genellikle motor hacminin artması ile azalmaktadır ve çok büyük motorlarda en düşük değerdedir.
- ❖ Bunun nedeni, büyük motorların, yüksek hacim/yüzey alanına oranına sahip olmasından dolayı ısı kaybını az olması ve bu motorları düşük hızlarda çalışmalarını nedeni ile sürtünme kayıplarının azalmasıdır (Şekil 3).



Şekil 3. Efektif özgül yakıt tüketiminin strok hacmi ile değişimi.

- ❖ Özgül yakıt tüketimi genellikle gm/kw-hr veya lbm/hp-hr birimlerinde verilir. Transport taşıtlarında, yakıt ekonomisi; birim yakıt için alınan mesafe (bir galon yakıt ile alınan mil, mpg) yaygın olarak kullanılmaktadır. SI birim sisteminde bunun tersimin kullanımı yaygındır (L/100km).
- ❖ Hava kirliliğini azaltmak ve fosil yakıtların tükenmesi nedeniyle, daha iyi yakıt tüketimine sahip araçlar için çalışmalar yasalarla zorunlu hale getirilmiştir.
- ❖ Birçok benzinli motorun 15 mpg (15.7L/100 km) yakıt ekonomisine sahip olduğu 1970'den bu yana, bu alanda büyük adımlar atılmıştır.
- ❖ Günümüz modern otomobillerinin yakıt ekonomisi 30-40 mpg (7.8-5.9 L/100 km) arasındadır. Bazı küçük araçlarda bu değer 60mpg (3.9L/100 km) bile ulaşmıştır.

4. MOTOR VERİMİ

- ✓ Bir motor çevriminin yanma prosesi için mevcut zaman oldukça kısadır ve bütün yakıt molekülleri reaksiyona gireceği oksijen molekülleri bulamayabilirler ya da lokal sıcaklık kimyasal reaksiyon için uygun olamayabilir.
- ✓ Sonuç olarak, yakıtın küçük bir bölümü reaksiyona giremez ve egzozla birlikte dışarı atılır. Yanma verimi, η_c , yanan yakıt oranını açıklamak için tanımlanır.
- ✓ Yanma verimi η_c , düzgün çalışan bir motor için 0.95-0.98 aralığındadır. Bir motorda tek bir silindire giren ısı enerjisi miktarı;

$$Q_{in} = m_f Q_{hv} \eta_c \quad (9)$$

Sürekli akış için;

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_f Q_{hv} \eta_c \quad (10)$$

ve termal verim;

$$\eta_t = \frac{W}{Q_{in}} = \dot{W} / \dot{Q}_{in} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f Q_{hv} \eta_c} = \frac{\eta_f}{\eta_c} \quad (11)$$

Burada;

W = bir çevrimde yapılan iş,

\dot{W} = Güç

m_f = bir çevrimde motora giren yakıtın kütlesi

\dot{m}_f = motora giren yakıtın kütleli debisi

Q_{HV} = Yakıtın ısı değeri

η_f = Yakıtın dönüşüm verimi

- ✓ Termal verim, Eşitlik 11’de indike veya fren gücünün kullanılmasına bağlı olarak indike veya fren termal verimleri olarak ifade edilebilir. Bu durumda motorun mekanik verimi;

$$\eta_t = (\eta_t)_b / (\eta_t)_i \quad (12)$$
- ✓ Motorlar genellikle %50-%60 indike termal verim aralığına ve %30 civarında fren termal verimine sahiptirler.
- ✓ Bazı büyük, düşük devirli CI motorları %50’den daha büyük fren termal verimine sahiptirler.

Yakıt dönüşüm verimi aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$\eta_f = \frac{W}{m_f Q_{hv}} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f Q_{hv}} \quad (13)$$

$$\eta_f = \frac{1}{sfc Q_{hv}} \quad (14)$$

- ✓ Bir silindirdeki çevrim için termal verim;

$$\eta_t = \frac{W}{m_f Q_{hv} \eta_c} \quad (15)$$

5. HACİMSEL(VOLÜMETRİK) VERİM

- ✓ Bir motordan ne kadar güç ve performans elde edilebileceğini belirleyen en önemli işlerden birisi her bir çevrim sırasında, silindire maksimum miktarda hava almaktır.
- ✓ Daha fazla hava alınması, daha fazla yakıtın yanması ve dolayısıyla daha fazla enerjinin efektif güce çevrilmesi anlamına gelmektedir.
- ✓ Nispeten küçük hacimdeki sıvı yakıtı silindire göndermek, yakıt ile reaksiyona girmek için gerekli büyük hacimdeki gaz havayı silindire göndermekten çok daha kolaydır.
- ✓ İdeal olarak her bir çevrimde, atmosferik havanın yoğunluğu ile silindir strok hacminin çarpımı kadar büyüklüğe sahip hava kütlesi silindire alınabilir.

Fakat gerçekte, çevrimin mevcut kısa süresi ve hava filtresindeki, karbüratördeki emme manifoldu ve emme valflerindeki akış engelleri yüzünden, ideal hava kütlesine göre daha küçük miktarda hava silindire alınmaktadır. Hacimsel verim aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\eta_v = \frac{m_a}{\rho_a V_d} \quad (16)$$

$$\eta_v = \frac{n \dot{m}_a}{\rho_a V_d N} \quad (17)$$

Burada;

m_a : Bir çevrimde motora (ya da silindire) alınan havanın kütlesi,

\dot{m}_a : Motora alınan sürekli akışlı havanın kütleli debisi,

ρ_a : Atmosferik koşullarda havanın yoğunluğu,

V_d : Toplam Strok hacmi

N : Motor devri

n : her bir çevrimin devir sayısı

- ✓ Çevre havasının basınç ve sıcaklığı yoğunluğu bulmak için kullanılabilir.

$$P_o(\text{standard}) = 101 \text{ kPa} = 14.7 \text{ psia}$$

$$T_o(\text{standard}) = 298 \text{ K} = 25^\circ\text{C} = 537^\circ\text{R} = 77^\circ\text{F}$$

$$\rho_a = P_o / RT_o$$

Burada;

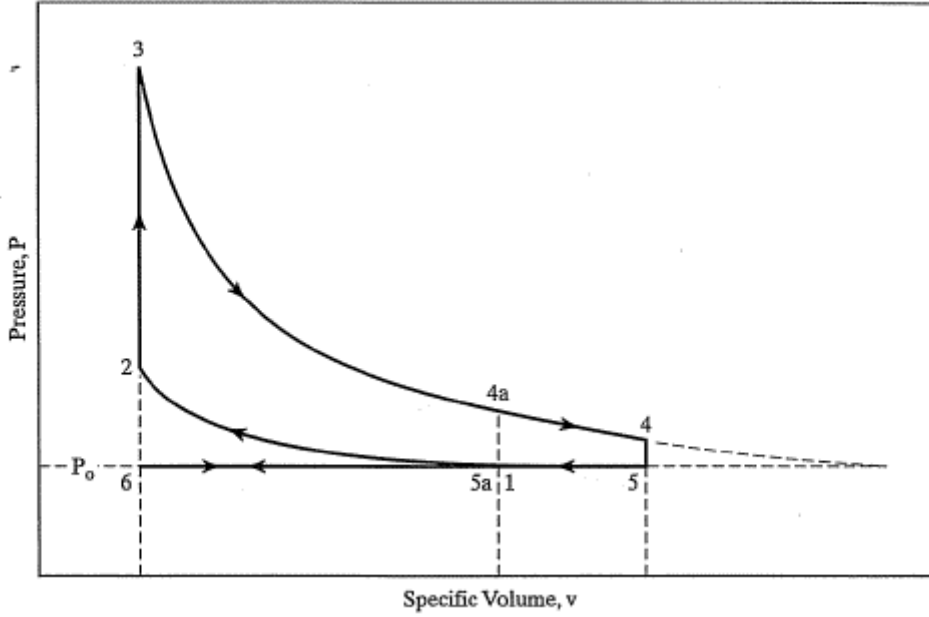
P_o = çevre havanın basıncı,

T_o = Çevre havanın sıcaklığı,

R = Havanın gaz sabiti = 0.287 kJ/kgK = 53.3 ft01bf/lbm-⁰R

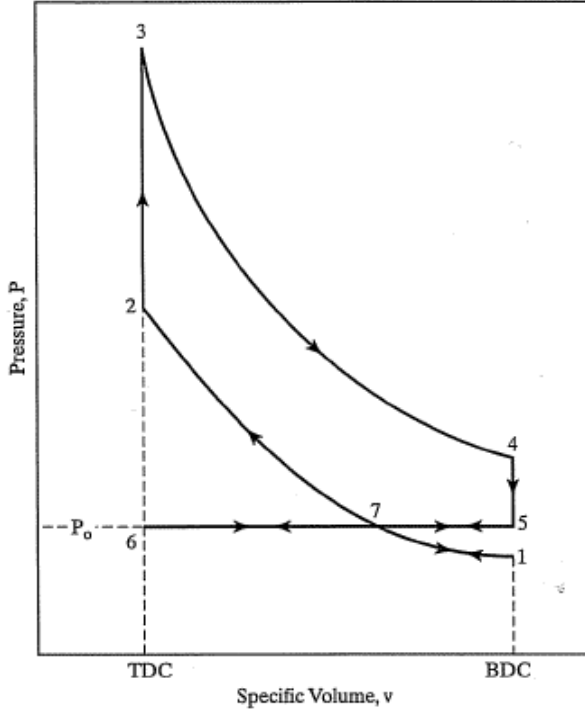
- ✓ Standart koşullarda, havanın yoğunluğu $\rho_a = 1.181 \text{ kg} / \text{m}^3 = 0.0739 \text{ lbm} / \text{ft}^3$.
- ✓ Hacimsel verim deneysel olarak ölçüldüğünde, standart koşulların dışındaki koşullar için, sıcaklık ve nem oranı kullanılarak düzeltme yapılabilir.
- ✓ Bazen Eşitlik 16 ve 17'deki havanın yoğunluğu silindire girmeden önceki emme manifoldu koşullarında hesaplanabilir. Bu bölge atmosferik koşullara göre daha sıcak ve daha düşük basınçlı bir bölgedir.
- ✓ Tam gaz konumunda bir motorda tipik volümetrik verim değerleri %70–90 aralığındadır. Gaz kelebeğinin kısılması ile birlikte volümetrik verim çok daha düşük değerler iner.
- ✓ Gaz kelebeğini kapatarak motora alınan hava akışının kısıtlanması, benzinli motorlar için gücü kontrol etmenin başlıca yoludur.

6. MILLER ÇEVİRİMİ



Şekil 4. Genişleme oranı, v_4/v_3 , sıkıştırma oranından büyük olan Atkinson çevrimi (6-1-2-3-4-5-6). Otto çevrimine göre çalışan aynı motor 6-1-2-3-4a-5a-6 çevrimini takip edecektir. Otto ve Dizel çevrimlerde genişleme zamanının sonuna doğru egzoz supabı açıldığında silindir içindeki basınç hala 3-5 atmosfer seviyelerindedir. Böylece egzoz supabının açılıp basınç atmosferik basınca düşürülürken genişleme zamanında ilave iş yapma potansiyeli kayıp olmaktadır. Eğer, silindir basıncının atmosferik basınca genişlemesine kadar egzoz supabı açılmazsa genişleme zamanında daha fazla miktarda iş üretilebilir ve ısı veriminde artış meydana gelir. Böyle bir ideal çevrim Atkinson çevrimi ya da Aşırı Genişlemeli Çevrim (veya Tam Genişlemeli Çevrim) olarak adlandırılır. Bu çevrim Şekil 4'te gösterildiği gibidir.

- R.H. Miller' den sonra kendi adını alan Miller çevrimi Atkinson çevriminin modern bir modifikasyonudur ve bu çevrim sıkıştırma oranından daha büyük bir genişleme oranına sahiptir.
- Bununla birlikte bu işlem Atkinson çevriminden daha farklı bir yolla başarılır. Atkinson çevrimine göre bir motor tasarlamak değişik karmaşık mekanik bağlantı sistemleri gerektirirken, Miller çevrimine göre çalışan motor istenen aynı sonuçları elde etmek üzere kendine has supap zamanlaması kullanır.
- Miller çevriminde hava emilişi kısılmazdır. Her bir silindire giren hava miktarı emme supabını AÖN' dan uzun bir süre önce (Şekil 5'te 7 noktası) uygun bir zamanda kapatmak suretiyle kontrol edilir.



Şekil 5. Kısılsız, doğal emişli dört zamanlı bir benzin motorunun Miller çevrimi. Eğer motor erken kapanan emme supabına sahipse çevrim 6-7-1-7-2-3-4-5-6 noktaları arasında, geç kapanan emme supabına sahipse çevrim 6-7-5-7-2-3-4-5-7-6 noktaları arasında gerçekleşecektir.

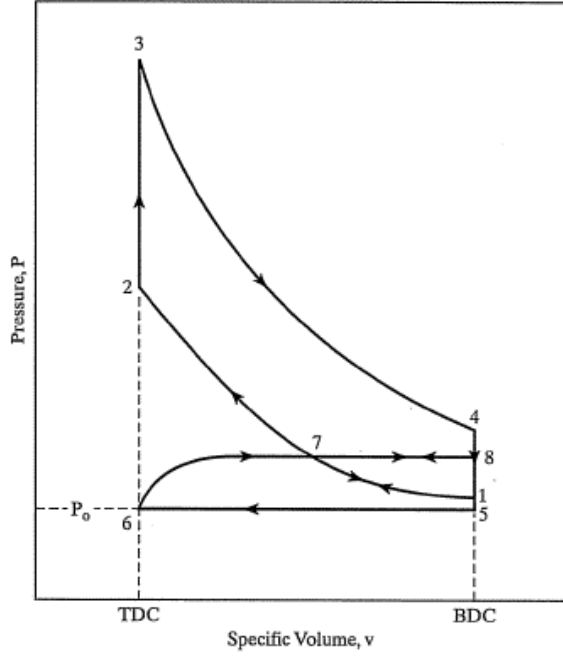
- Böylece piston emme zamanının sonlarında AÖN' ya doğru hareketine devam ederken 7-1 işlemi süresince basıncı azalır.
- Piston AÖN' ya ulaşıp geriye ÜÖN' ya doğru harekete başladığında 1-7 işlemi ile silindir basıncı tekrar yükselmeye başlar. Gerçekleşen çevrim 6-7-1-7-2-3-4-5-6 çevrimidir.
- Emme zamanının ilk kısmında 6-7 işlemi esnasında üretilen iş, 7-6 arasındaki egzoz işlemi tarafından , 7-1 işlemi ise 1-7 işlemi tarafından yok edilir ve net indike iş 7-2-3-4-5-7 noktalarının çevrelediği alana eşittir.
- Bu çevrimde gerçekte pompalama işi mevcut değildir. Sıkıştırma oranı

$$r_c = V_7 / V_2 \quad (18)$$
 olarak ifade edilir ve genişleme oranı ise;

$$r_e = V_4 / V_2 = V_4 / V_3 \quad (19)$$
- İş tüketen daha kısa sıkıştırma zamanı, iş üreten daha uzun genişleme zamanı ile birleştirilir ve böylece çevrim başına daha büyük net iş elde edilir.
- İlave olarak havanın emme sisteminde akışının kısılsız olması, benzin motorlarında ortaya çıkan önemli bir kaybı da ortadan kaldırmaktadır.
- Bu özellikle, Otto çevrimi ile çalışan motorlarda emme manifoldunda düşük basıncın bulunduğu ve bunun sonucu olarak yüksek negatif pompalama işinin ortaya çıktığı kısmi gaz şartları için doğrudur.

- Miller çevrimine göre çalışan motorda dizel motorda olduğu gibi gerçekte pompalama işi söz konusu değildir.Bu daha yüksek ısı verimin ortaya çıkmasına neden olur.
- Miller çevrimine göre çalışan bir motorun mekanik verimi,benzer mekanik bağlantı sistemine sahip Otto çevrimine göre çalışan bir motorun mekanik verimi ile yaklaşık olarak aynı olacaktır.
- Diğer yandan Atkinson çevrimli bir motor çok daha karmaşık mekanik bağlantı sistemi gerektirecek ve bunun sonucu olarak daha düşük mekanik verim ortaya çıkacaktır.
- Bu çevrimin diğer bir varyasyonu,emme havasının kısılmalı olarak emilmesi ve emme subapının AÖN'dan sonra kapatılması ile elde edilebilir.
- Bu yapıldığında,hava tüm emme zamanı boyunca silindire alınır,fakat daha sonra emme subapı kapanmadan önce havanın bir kısmı emme manifolduna geri gitmeye zorlanır.
- Bu,Şekil 5'teki 6-7-5-7-2-3-4-5-6- çevrimini ortaya çıkarır.Bu çevrimde net indike iş yine (18) ve (19) denklemleri ile verilen sıkıştırma ve genişleme oranlarına sahip çevrimde 7-2-3-4-5-7 noktaları ile çevrili alandır.
- Bu çevrimin her iki varyasyonunun verimli olarak çalışması için emme supabının çevrim esnasında tam doğru zamanda (7 noktası) kapatılması son derece önemlidir.
- Bununla birlikte emme supabının kapatılması gereken zaman,devir sayısı veya yükün değişmesi ile birlikte değişmektedir.
- Değişken supap zamanlaması sistemi ortaya çıkıncaya kadar bu kontrolü sağlamak mümkün değildi.
- Miller çevrimine göre çalışan otomobiller ilk olarak 1990'lı yılların son yarısında piyasaya çıktı.Bu motorlarda tipik sıkıştırma oranı 8:1,genişleme oranı 10:1 civarındaydı.
- Miller çevrimine göre çalışan ilk otomobil motorları,erken emme subapı kapama ve geç emme subapı kapama yöntemlerinin her ikisini de kullanıyordu.
- Eğer emme supabı AÖN 'den önce kapatılırsa,silindire hava girişi için strok hacminin tamamından daha az bir hacim mevcut olacaktır.
- Eğer emme supabı AÖN 'den daha sonra kapatılırsa,strok hacminin tamamı hava ile doldurulacak,fakat bu havanın bir kısmı emme supabı kapanmadan önce silindirden dışarı atılacaktır.(Şekil 5'deki 5-7 işlemi)
- Her iki durumda da sıkıştırma zamanının başında silindirde daha az hava ve yakıt bulunacak ve bu strok hacmi başına daha az güç ve düşük ortalama indike basınç elde edilmesi sonucunu doğuracaktır.

Bunu önlemek için, Miller çevrimine göre çalışan motorlar genellikle 150-200 kPa emme manifold basınçlarına sahip olacak şekilde aşırı doldurmalı olarak tasarlanırlar.



Şekil 6. Mekanik veya turbo aşırı doldurmalı bir benzin motorunun Miller çevrimi. Eğer motor erken kapanan emme supabına sahipse çevrim 6-7-1-7-2-3-4-5-6 noktaları arasında, geç kapanan emme supabına sahipse çevrim 6-7-8-7-2-3-4-5-7-6 noktaları arasında gerçekleşecektir.

6.1.MILLER VE OTTO ÇEVİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

- Örnek Problemlerdeki Otto çevrimleri ile Miller çevrimleri karşılaştırıldığında Miller çevriminin üstünlüğü görülebilir. Tablo 1’de bu iki çevrim karşılaştırılmaktadır.

Tablo 1. Otto ve Miller Çevrimlerinin karşılaştırılması

	Miller Çevrimi	Otto çevrimi
Yanma başlangıcındaki sıcaklık, T_2	689 K	707 K
Yanma başlangıcındaki basınç, P_2	2650 kPa	1826 kPa
Maksimum sıcaklık, T_3	3908 K	3915 K
Maksimum basınç, P_3	15,031 kPa	10,111 kPa
Egzoz gazı sıcaklığı	1066 K	1183 K
Aynı ısı girişi için çevrim başına her bir silindirin net indike işi	1.380 kJ	1.030 kJ
Isıl Verim	%56,6	%52,9
Ortalama Çevrim basıncı	2208 kPa	1649 kPa

- Her iki çevrimde de sıcaklıklar egzoz sıcaklığı hariç yaklaşık aynıdır. Yanma başlangıcındaki sıcaklığın bu iki çevrim için de kendiliğinden tutuşmaya ve vuruntuya neden olmayacak şekilde, yeteri kadar düşük olması önemlidir.

- Miller çevriminde ortaya çıkan daha düşük egzoz gazı sıcaklığı esasen aynı maksimum çevrim sıcaklığında meydana gelen daha büyük genişleme soğumasının bir sonucudur.
- Daha düşük egzoz gaz sıcaklığı, egzoz da daha az enerjinin kaybedildiği, bu enerjinin büyük bir kısmı ile daha uzun süren genişleme zamanında ilave iş üretildiği anlamına gelir.
- Miller çevrimindeki basınçlar esasen aşırı doldurmanın sonucu olarak Otto çevriminden daha yüksektir.
- Miller çevriminde elde edilen ortalama çevrim basıncı, ısı verim ve iş çıkış parametrelerinin tümü daha yüksektir ve bu durum Miller çevriminin teknik üstünlüğünü göstermektedir.
- Miller çevriminde indike iş ve ısı verimin bir kısmı mekanik doldurucunun tahrik edilmesi için gerekli güç ihtiyacı nedeniyle kaybedilmiş olacaktır.
- Bununla birlikte, bu kayıp dikkate alındığında bile Miller çevrimine göre çalışan motorun efektif iş ve efektif verimi Otto çevrimine göre çalışan motorlardan önemli ölçüde büyük olacaktır.
- Eğer motorda mekanik doldurucu yerine turbo doldurucu kullanılmış olsaydı efektif çıktı parametre değerleri daha yüksek bile olabilirdi.

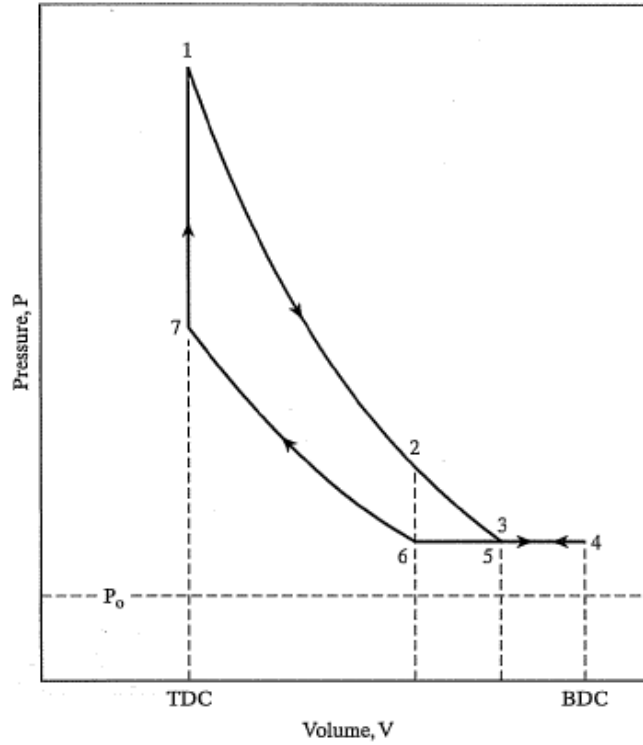
7. İKİ ZAMANLI ÇEVİRİMLER

- ✚ İki zamanlı çevrime göre çalışan ilk motorlar, 1887 yılında ortaya çıkmış ve o zamandan günümüze birçok iki zamanlı benzin ve dizel motorlar üretilmiştir.
- ✚ Çok küçük ve çok büyük tip motorların hemen hemen tamamı iki zamanlı çevrime göre çalışırlar.
- ✚ Küçük tip motorların (zincirli testere, yaprak üfleyici vb.) düşük ağırlıkta ve ucuz olmaları istenir. Bu istenilenlerin her ikisi de iki zamanlı çevrimle mümkün olan, motorun supap sisteminin ortadan kaldırılması yoluyla gerçekleştirilebilir.
- ✚ Çok büyük tip motorlar çok düşük devirlerde çalışırlar ve bu nedenle motorun düzgün çalışması iki zamanlı çevrimi gerekli hale getirir.
- ✚ İki zamanlı çevrime göre çalışan motorlar, otomobil tarihi boyunca taşıtlarda zaman zaman kullanılmışlardır.
- ✚ Otomobillerde iki zamanlı çevrime göre çalışan motor kullanımı, daha düşük özgül motor ağırlığı (motor ağırlığı/gücü) ve düzgün çalışma (her çevrimde güç üretilmesi) nedenleriyle oldukça cazip görünmektedir.
- ✚ Bununla birlikte emisyon normlarının karşılanması şimdiye kadar üstesinden gelinemeyen bir sorun olmuştur.

- ✚ İki zamanlı motorlarda ayrı egzoz zamanının olmayışı ve mükemmel olmayan süpürme nedeniyle, yeni çevrimin başlangıcında silindir içinde bir önceki çevrimden büyük miktarda egzoz gazı kalır.
- ✚ Bu olay silindirdeki H/Y karışımını seyreltir ve daha düşük yanma sıcaklığına neden olur.
- ✚ Bu ise NO_x emisyonlarının üretimini azaltmaktadır. Bununla birlikte, azalan egzoz gazı sıcaklığı katalizörde başka problemlerin ortaya çıkmasına neden olur.

7.1. İki- Zamanlı Benzin Motoru Çevrimi

Şekil 7'de tipik iki zamanlı ideal bir benzin motoruna ait çevrim gösterilmektedir



Şekil 7. İki zamanlı bir benzin motorunun ideal çevrimi (1-2-3-4-5-6-7-1)

1-2 işlemi -İzantropik genişleme zamanı

Bütün pencereler (veya supaplar) kapalı

$$T_2 = T_1(V_1/V_2)^{k-1}$$

$$P_2 = P_1(V_1/V_2)^k$$

$$q_{1-2} = 0$$

$$w_{1-2} = (P_2v_2 - P_1v_1)/(1 - k) = R(T_2 - T_1)/(1 - k)$$

2-3 işlemi-Egzoz blowdown olayı

Egzoz penceresi açık, emme penceresi kapalı

3-4-5 işlemi-Emme ve egzoz süpürme olayları

Emme ve egzoz pencereleri açık

- ✚ 140-180 kPa arasında mutlak basınçta emilen hava egzoz gazlarını dışarıya süpürerek silindiri doldurur.
- ✚ Egzoz gazlarının süpürülmesi, emilen havanın bir önceki çevrimden kalan egzoz gazlarının büyük bir kısmını açık olan egzoz penceresinden yaklaşık bir atmosfer basınçtaki egzoz sistemine doğru itildiği bir işlemdir.
- ✚ Piston emme penceresini 3 noktasında açar ve 4 noktasında ters yönde AÖN' ya ulaşır ve 5 noktasında tekrar emme penceresini kapatır.
- ✚ Bazı motorlarda yakıt emme havası ile karışmış olarak silindire girer. Bazı motorlarda ise yakıt egzoz penceresini kapatıldıktan sonra havanın içerisine püskürtülür.

5-6 işlemi-Egzoz gazlarının süpürülmesi olayı

Egzoz penceresi açık emme penceresi kapalı

- ✚ Egzoz gazlarının süpürülmesi işlemi, egzoz penceresi 6 noktasında kapatılıncaya kadar devam eder.

6-7 işlemi- İzentropik sıkıştırma

Bütün pencereler (veya supaplar) kapalı

$$\begin{aligned}
 T_7 &= T_6(V_6/V_7)^{k-1} \\
 P_7 &= P_6(V_6/V_7)^k \\
 q_{6-7} &= 0 \\
 w_{6-7} &= (P_7v_7 - P_6v_6)/(1 - k) = R(T_7 - T_6)/(1 - k)
 \end{aligned}$$

7-1 işlemi-Sabit hacimde ısı girişi(yanma)

Bütün pencereler kapalı

$$\begin{aligned}
 V_7 &= V_1 = V_{TDC} \\
 W_{7-1} &= 0 \\
 Q_{7-1} &= Q_{in} = m_f Q_{HV} \eta_c = m_m c_v (T_1 - T_7) \\
 T_1 &= T_{max} \\
 P_1 &= P_{max} = P_7(T_1/T_7)
 \end{aligned}$$

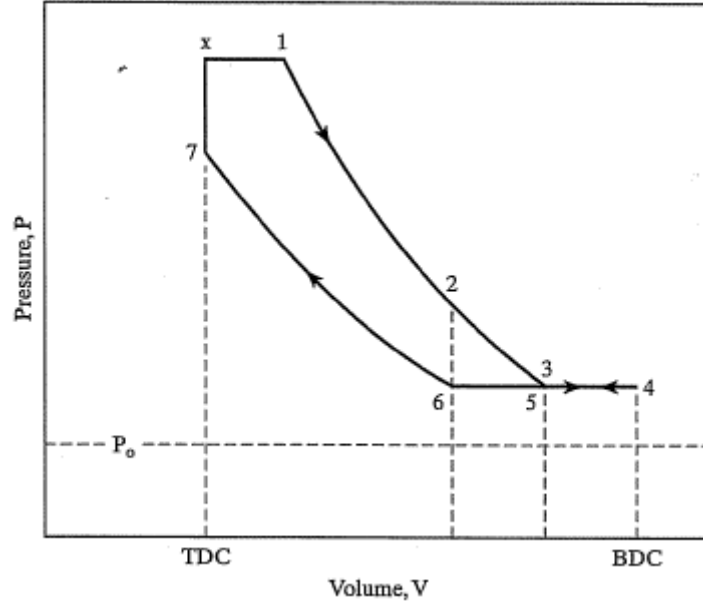
- ✚ Bazı motorlarda, yakıt sıkıştırma zamanının çok erken bir anında silindire gönderilir.6-7 işleminin sonlarına doğru buji ateşleme olayını gerçekleştirir.

7.2.İki -Zamanlı Dizel Motoru Çevrimi

- ✚ Çoğu dizel motoru, özellikle büyük tip motorlar, iki zamanlı çevrimle çalışırlar. Bu motorların çalışması Şekil 8 'de gösterilen ideal çevrim ile temsil edilebilir.
- ✚ Bu çevrim yakıt girişi ve yanma hariç olmak üzere iki-zamanlı benzin motorunun çevrimi ile aynıdır.

- ✚ Bu motorlarda yakıt emme havası ile birlikte ya da sıkıştırma zamanının başlarında silindire gönderilmek yerine, dört zamanlı dizel motorlarda olduğu gibi sıkıştırma zamanının sonlarına doğru enjektörlerle silindire püskürtülür.

Bu motorlarda ısı girişi olayı iki aşamalı(karma) bir işlem olarak modellenir.



Şekil 8. Bir dizel motorun, iki zamanlı ideal çevrimi (1-2-3-4-5-6-7-x-1)

7-x işlemi-Sabit hacimde ısı girişi (Yanmanın ilk safhası)

Bütün pencereler kapalı

$$V_7 = V_x = V_{TDC}$$

$$W_{7-x} = 0$$

$$Q_{7-x} = m_m c_v (T_x - T_7)$$

$$P_x = P_{max} = P_7 (T_x / T_7)$$

x-1 işlemi- Sabit basınçta ısı girişi(Yanmanın ikinci safhası)

Bütün pencereler kapalı

$$P_1 = P_x = P_{max}$$

$$W_{x-1} = P_1 (V_1 - V_x)$$

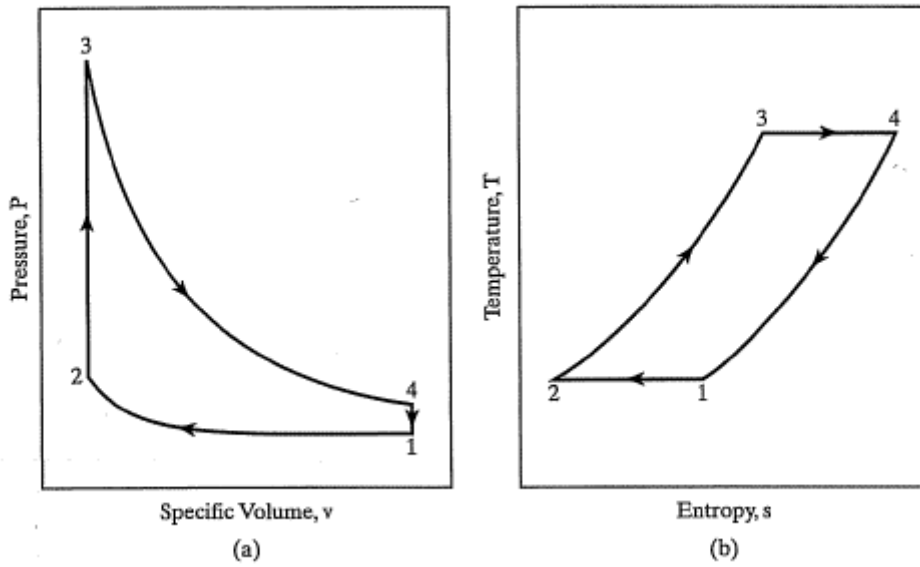
$$Q_{x-1} = m_m c_p (T_1 - T_x)$$

$$T_1 = T_{max}$$

8. STIRLING ÇEVİRİMİ

- Son yıllarda, Şekil 9 'da gösterilen Stirling çevrimine göre çalışan birkaç deney motoru test edilmiştir. Stirling motor konsepti 1860 yıllarına kadar uzanmaktadır.

- Stirling motoru içten yanmalı motor olmamakla birlikte, uygulamalarının birinde taşıtları tahrik etmek amacıyla kullanılan bir ısı manikasıdır.
- Basit bir Stirling motorunda, silindirin her iki ucunda bir gaz odası bulunan, çift-etkili, serbest hareketli bir piston kullanılır.
- Yanma olayı silindir içerisinde gerçekleşmez. İş akışkanı dıştan yanmalı bir işlemle ısıtılır.
- Motora olan ısı girişi aynı zamanda güneş enerjisi veya nükleer enerji kaynaklarından da sağlanabilir.
- Motordan elde edilen güç genellikle dönen bir milden alınır.



Şekil 9. Stirling çevriminin (1-2-3-4-1), (a) P-v diyagramı (b) T-s diyagramı

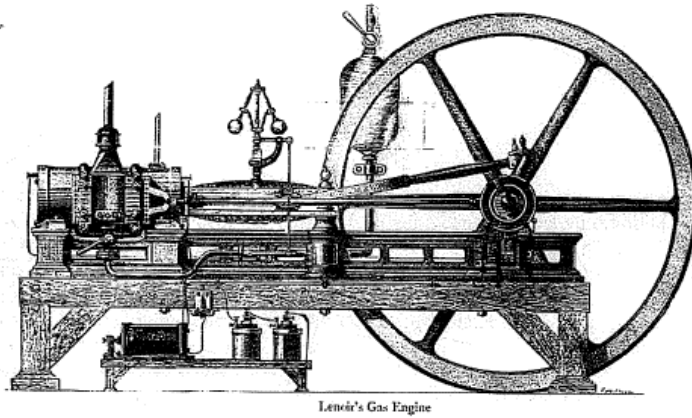
- Bir Stirling motorunda, bir ısı değiştiricisi kullanan içten rejenerasyon işlemi bulunmaktadır.
- Isı değiştirici ideal durumda 4-1 işlemi esnasında atılan ısı enerjisini, 2-3 işlemi esnasında ısı girişi sürecinde iş akışkanını ön ısıtmak amacıyla kullanılır.
- Çevre ile motor arasındaki ısı transferi olayları yalnızca 3-4 arasındaki sisteme ısı girişi sürecindeki maksimum sabit T_H sıcaklığında ve 1-2 arasındaki sistemden ısı atılışı sürecindeki minimum sabit T_L sıcaklığında gerçekleşir.
- Şekil 9 'daki hal değişimleri tersinir olarak dikkate alındığında çevrimin ısıl verimi;

$$(\eta_t)_{stirling} = 1 - (T_{low}/T_{high})$$

- Bu verim ifadesi Carnot çevriminin ısıl verim ifadesi ile aynıdır ve teorik olarak bir ısı makinasının verebileceği maksimum ısıl verim değerini göstermektedir.

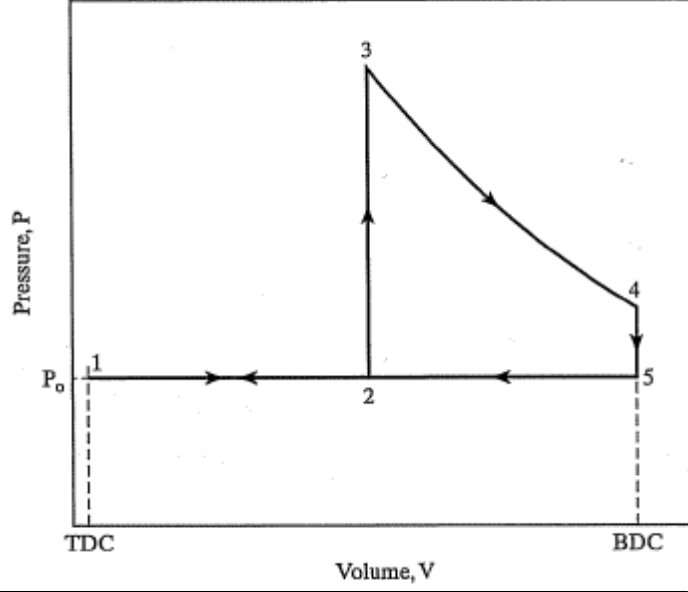
- Gerçek bir motorun tersinir olarak çalışması mümkün olmamakla birlikte, iyi tasarlanmış bir Stirling motoru, çok yüksek bir ısıl verim değerine sahip olabilir.
- Bu durum, bu motorları cazip haline getiren etkenlerden biridir. Diğer etkenler ise; katalitik konverter olmaksızın düşük emisyon ve farklı yakıt kullanabilme esnekliğidir.
- Bunun nedeni motora olan ısı girişinin nispeten düşük sıcaklıkta (1000 K civarında), harici bir yanma odasında sürekli bir yanma işlemi ile sağlanmasıdır.
- Burada kullanılan yakıtlar; benzin, motorin, jet yakıtı, alkol ve doğal gazdır. Bazı motorlarda, hiçbir düzenlemeye gerek kalmaksızın kullanılan yakıt değiştirilebilir.
- Stirling motorları ile ilgili problemler; motor ısınma süreçlerinin uzunluğu ve yüksek maliyettir.
- Bu motorların diğer muhtemel uygulama alanları; soğutma, sabit güç üretim sistemleri ve binaların ısıtılmasıdır.

9. LENOIR ÇEVİRİMİ



Şekil 10. 1861 yılında geliştirilen sıkıştırmasız Lenoir motoru

- Lenoir çevrimi Şekil 11 'de gösterilen ideal çevrim ile temsil edilmektedir. Çevrimin ilk zamanının ilk yarısı, hava-yakıt karışımının atmosferik basınçta silindire girdiği emme zamanıdır (Şekil 11 'deki 1-2 işlemi).



Şekil 11. Tarihi bir Lenoir motorunun ideal çevrimi

- İlk zamanın yaklaşık olarak ortasında emme supabı kapatılarak, sıkıştırma olmaksızın hava yakıt karışımı tutuşturulur.
- Yavaş hareketli motorda yaklaşık olarak sabit hacimdeki yanama esnasında sıcaklık ve basınç yükselir (2-3 işlemi).
- Böylece ilk zamanın ikinci yarısı (3-4 işlemi) genişleme veya güç üretimi gerçekleşir. AÖN 'ya yakın egzoz supabı açılır ve egzoz gazları dışarı süpürülür (4-5 işlemi).
- Bunu, 5-1 arasındaki egzoz zamanı takip eder. Bu motorlarda ölü hacim bulunmamaktaydı.

Lenoir Çevriminin Termodinamik Analizi

- ❖ 1-2 arasındaki emme işlemi ve 2-1 arasındaki egzoz zamanının son yarısı P-v diyagramında birbirini yok eder ve bu nedenle Lenoir çevriminin analizinin dışında tutulurlar. Böylece çevrim 2-3-4-5-2 hainini alır.

2-3 işlemi-Sabit hacimde ısı girişi(yanma)

Bütün supaplar kapalı

$$P_2 = P_1 = P_o$$

$$v_3 = v_2$$

$$w_{2-3} = 0$$

$$q_{2-3} = q_{in} = c_v(T_3 - T_2) = (u_3 - u_2)$$

3-4 işlemi-İzantropik genişleme ya da güç zamanı

Bütün supaplar kapalı

$$\begin{aligned}
q_{3-4} &= 0 \\
T_4 &= T_3(v_3/v_4)^{k-1} \\
P_4 &= P_3(v_3/v_4)^k \\
w_{3-4} &= (P_4v_4 - P_3v_3)/(1 - k) = R(T_4 - T_3)/(1 - k) \\
&= (u_3 - u_4) = c_v(T_3 - T_4)
\end{aligned}$$

4-5 işlemleri-Sabit hacimde ısı atılışı (egroz blowdown)

Egzoz supabı açık, emme supabı kapalı

$$\begin{aligned}
v_5 &= v_4 = v_{\text{BDC}} \\
w_{4-5} &= 0 \\
q_{4-5} &= q_{\text{out}} = c_v(T_5 - T_4) = (u_5 - u_4)
\end{aligned}$$

5-2 işlemleri- P_0 sabit basıncında egzoz zamanı (egroz blowdown)

Egzoz supabı açık, emme supabı kapalı

$$\begin{aligned}
P_5 &= P_2 = P_1 = P_0 \\
w_{5-2} &= P_0(v_2 - v_5) \\
q_{5-2} &= q_{\text{out}} = (h_2 - h_5) = c_p(T_2 - T_5)
\end{aligned}$$

Lenoir çevriminin ısı verimi

$$\begin{aligned}
(\eta_t)_{\text{LENOIR}} &= |w_{\text{net}}|/|q_{\text{in}}| = 1 - (|q_{\text{out}}|/|q_{\text{in}}|) \\
&= 1 - [c_v(T_4 - T_5) + c_p(T_5 - T_2)]/[c_v(T_3 - T_2)] \\
&= 1 - [(T_4 - T_5) + k(T_5 - T_2)]/(T_3 - T_2)
\end{aligned}$$