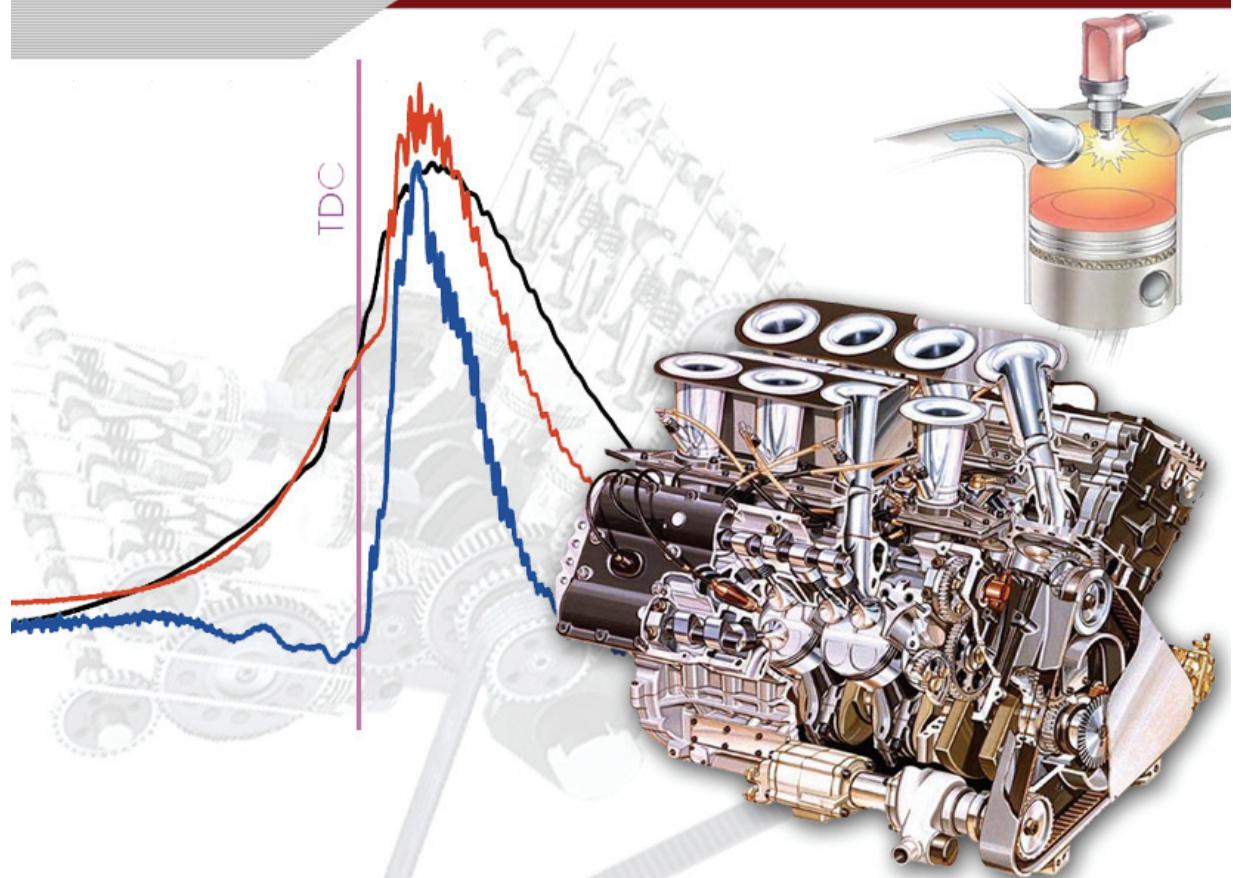




YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Makina Mühendisliği Bölümü

otomotiv anabilim dalı



İÇTEN YANMALI MOTORLAR

Ders Notları

PROF.DR.ORHAN DENİZ

Yıldız Technical University
Dep.Of Mechanical Eng.
Automotive Sciences Subdivision

Internal Combustion Engines, Lecture Notes

TURKEY- İstanbul,2008

GİRİŞ

Bir enerji türünü mekanik işe dönüştüren makinelere genel olarak motor denir. Dönüşürülen enerji türüne göre motorlar Isı (Termik), Elektrik, Nükleer veya Hidrolik olabilmektedirler,

Asıl konumuz olduğundan burada sadece Isı (Termik) motorlardan söz edeceğiz. Bu motorlarda yakıtların kimyasal enerjisi yanma veya oksidasyon sonucu önce ısı enerjisine dönüşür ve bunun sonucunda gazların basıncı ve sıcaklığı hızla yükselir ve bu gazların genişlemesi ile mekanik iş elde edilir. Göründüğü gibi yakıtın kimyasal enerjisi iki kademedede mekanik işe dönüşmektedir.

Yanma veya oksidasyon sonucu ısı enerjisi elde edilir ve ısı enerjisi mekanik işe dönüşür. Isı enerjisinin elde ediliş yerine Isı (Termik) motorlar iki ana gruba ayrırlar.

1. Dıştan Yanmalı Motorlar:

Bu tip motorlarda yakıt motorun dışında yakılmaktadır. Yani kimyasal enerjinin ısı enerjisine dönüştürüldüğü yer motorun dışındadır. Bu gruba örnek olarak Pistonlu buhar makinesi ile Buhar turbinini verebiliriz. Yakıt buhar kazanında yakılmakta ve ısı enerjisi su buharına geçmesi sonucunda su buharının basıncı ve sıcaklığı artmakta ve bir boru donanımı ile buhar makinesine veya buhar turbinine aktarılmaktadır. Su buharının burada genişlemesi ile iş elde edilir.

2. İçten Yanmalı Motorlar:

Bu tip motorlarda yakıtın kimyasal enerjisi motorun (silindirin) içinde ısı enerjisine dönüşür. Bu gruba örnek olarak Gaz turbinlerini, Jet, Otto, Diesel ve Wankel motorlarını gösterebiliriz. Bu motorlarda çalışma maddesi olarak direkt basıncı ve sıcaklığı yükselmiş olan yanma ürünleri kullanılmaktadır.

Gaz turbinlerinde yanma odasında (hücresinde) elde yüksek basınç ve sıcaklıktaki yanma ürünlerin potansiyel enerjisi bir meme (lüle) yardımı ile kinetik enerjiye dönüştürülür ve turbin kanatlarına gönderilir. Özel şekillendirilmiş olan bu kanatlar yardımı ile gazların kinetik enerjisi mekanik işe dönüşür. Gaz turbinlerinde rotorun hareketi dönme hareketi olduğundan, dengeleme problemi söz konusu değildir. Bu nedenle çok yüksek devirlerde çalışabilmektedirler. Bunun yanı sıra bu tip motorlarda gazların daha iyi genişlemesi ve iç enerjinin daha iyi kullanılması sonucu verim daha iyidir. Yukarıda söz edilen üstünlüklerinin yanında gaz turbinlerin önemli eksiklikleri de vardır. Örneğin, rotorun yüksek devrine ve gazların yüksek sıcaklığına dayanabilmek için rotor kanatlarının yüksek kaliteli çelikten imal edilmeleri gereklidir. Buna rağmen kısa sürede aşınır ve yenileri ile değiştirilme

zorunluluğu doğar. Jet (tepkili) motorlarında yanma odasında elde edilen yüksek basınç ve sıcaklığıtaki yanma ürünleri bir lüleden dışarıya akarken jet (tepki) kuvveti oluşur ve bu kuvvetin etkisi ile araç gazların akış yönünün tersine doğru hareket eder. Bu tip motorlarda çok büyük güçler elde edilebilmektedir. Ancak verimlerinin düşük olması da önemli bir dezavantajdır.

Günümüzde **pistonlu içten yanmalı motorlar** yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu motorlarda yanma sonucu elde edilmiş yüksek basınç ve sıcaklığıtaki gazlar piston yüzeyine etki eder ve onun harekete geçirir. Bu gruba dahil olan Otto ve Diesel motorlarında piston hareketi doğrusaldır ve kranc-biyel mekanizması yardımı ile dönme hareketi elde edilir. Wankel motorlarında ise piston (rotor) hareketi döneldir.

Yukarıda kısaca sözettiğimiz termik motorlar arasında en fazla uygulama alanı bulan içten yanmalı pistonlu motorlardır. Bunun nedeni ise;

- Bu motorların toplam verimi daha yüksektir. Örneğin;

Diesel motorunun toplam verimi: 0.40-0.50

Buhar makinesinin toplam verimi: 0.16

Buhar turbini toplam verimi: 0.28

Gaz turbini toplam verimi: 0.35

mertebelerindedir.

- İş çevrimi tek bir gövdede gerçekleştiğinden daha kompakt bir yapıya sahiptirler. Kazan, buhar boruları, ısıtıcılar gibi ilave düzenlere gereksinimleri yoktur.

- Birim güç başına harcanan yakıt daha azdır, yani daha ekonomiktirler.

- İlk harekete geçme ve yükleme süreleri diğer termik motorlara göre çok kısaltır.

Bu üstünlüklerinin yanında birçok dezavantajları da vardır:

- Konstrüktif ve teknolojik açıdan çok komplike makinelerdir.
- İmalat maliyetleri yüksektir.
- Yüksek kaliteli yakıtlara gereksinim duyarlar.

Fakat bilimin ve teknığın gelişmesine paralel olarak özellikle son yıllarda elektronığın gelişmesiyle de motorlar devamlı olarak gelişmişler ve halende gelişmektedirler.

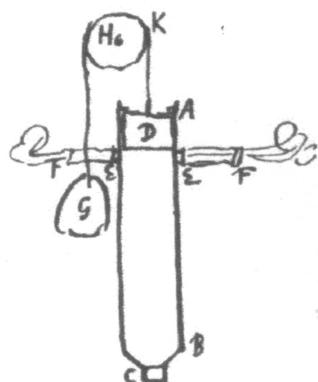
Bu motorlarla pratik olarak en yüksek verimlere ulaşılmıştır. Fakat bu motorun gelişimi için tüm olanaklar henüz bitmiş değildir. Daha iyi bir kanışım teşkili, daha mükemmel bir yanma ile çevrim parametrelerinin yükseltilmesi olasıdır. Bunun sonucunda daha az yakıt harcanımı ve yüksek güç elde edilecektir. Art gazların enerjisinden yararlanarak ekonomikliği artırmak, devir sayılarının yükseltilmesi sonucunda boyutların küçültülmesi, yeni ve daha hafif malzemeler ile yeni alternatif yakıtların kullanılması gibi problemler de hala çözüm beklemektedir

TARİHÇE

Diyebiliriz ki motorların gelişimi ateşli silahların özellikle topun icadı ile başlamıştır. 1600 'lü yılların sonlarına doğru yakıt olarak barutun kullanılmasına yönelik birçok ciddi çalışma yapılmıştır. İlk olarak yatay bir silindir (namlı) içinde barutun yakılması ile piston (mermi) yükselmekte ve daha sonra bu piston yer çekimi kuvveti ve atmosfer basıncının etkisi ile geri dönerken iş alılabileceği fikri ortaya atılmıştır.

1678 yılında Fransız Abbe Jean de HAUTEFEUILLE bu fikri ilk kez somut hale getirecek yöntemini açıklamıştır. Abbe Jean de HAUTEFEUILLE bir yanma odasında barutun yakılması ile oluşan basınçlı gazları oda dışına attıktan sonra geri kalan havanın (gazların) soğutulması sonucu oluşacak vakum kuvveti ile su pompalamayı önermiştir. Aslında vakum'un gücü daha önceden Evangelista TORICELLI, Blaise PASCAL ve Otto von GUERRICKE adındaki bilim adamları tarafından açıklanmıştır.

1673 yılında Christiaan HUYGENS barut ile yapmış olduğu deneysel çalışmalarını yayinallyaş ve 1 pound barutun yakılması ile 3000 pound'luk bir ağırlığın en az 10 metreye yükseltilibileceğini hesaplamalarla göstermiştir. Düşündüğü motorun şematik çizimi Şekil 1'de verilmiştir.



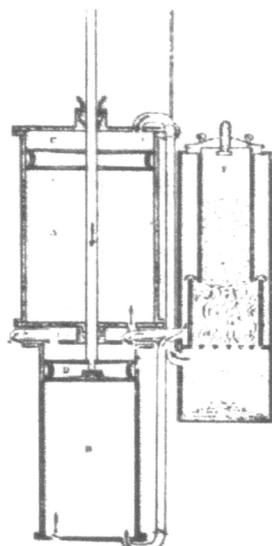
Şekil 1. Huygens'in barut motoru.

Burada piston (D), silindir (AB), pencereler (EE) ve pencerelere bağlanan esnek deriden imal edilmiş kısa hortumlar (FF) vardır. Barutun yakılması ile oluşan gazların genleşmesi sonucunda piston silindirin üst kısmına ulaşır ve pencerelerin açılması ile gazlar hortumlardan geçerek atmosfere atılırlar. Böylece silindir basıncı atmosfer basıncına düşer. Silindir içerisinde kalan gazların soğutulması ile vakum oluşturulur ve atmosfer basıncının etkisi ile de piston aşağıya doğru gelirken ağırlık (G) kaldırılarak iş yapılır. Fakat bir sonraki çevrim için gerekli olan taze hava ve barut temini önemli bir sorun olmaktadır. HUYGENS ve Denis PAPIN 1680 'de yukarıda açıklaması yapılan prensibe göre çalışan ve ilk kez piston-silindir içeren motoru

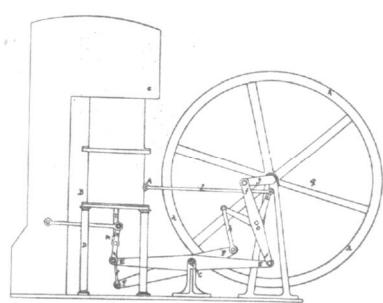
yapmışlar bu motora "**barut makine**" adını vermişlerdir. Fakat patlamanın kontrolünün zor olması ve her iş periyodundan sonra taze dolgunun (barut-hava) silindire doldurulmasındaki zorluklar bu motorun gelişimini engellemiştir. 1729 yılında John ALLEN "**barut makine**" kullanarak bir nozul den su püskürterek gemi tahrik etme fikrini ortaya atmış, yani jet prensibini kullanmayı düşünmüştür.

Bundan sonra yaklaşık 60 seneye yakın bir süre içinde içten yanmalı motorlarla ilgili kayda değer bir çalışma olmamış, bu senelerde daha çok dıştan yanma prensibine göre çalışan ve Thomas SAVERY, Denis PAPIN, Thomas NEWCOMEN ,John WILKINSON ve James WATT 'ın geliştirdikleri buhar makineleri daha çok kullanılmıştır.

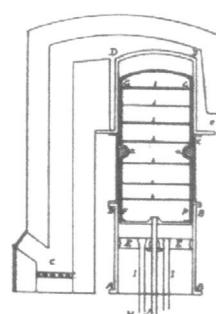
1759 yılında Henry WOOD aldığı patentinde çalışma akışkanı olarak su buhari yerine hava kullanmış ve bu şekilde "**sıcak hava motorları**" veya "**kalorik**" motorların gelişimi başlamıştır. WOOD prensibine göre çalışan ilk sıcak hava motoru 1807 yılında George CAYLEY yapmıştır. Şekil 2'de bu motorun prensip şeması görülmektedir.



Şekil 2. Gayle'in sıcak hava motoru (1807).

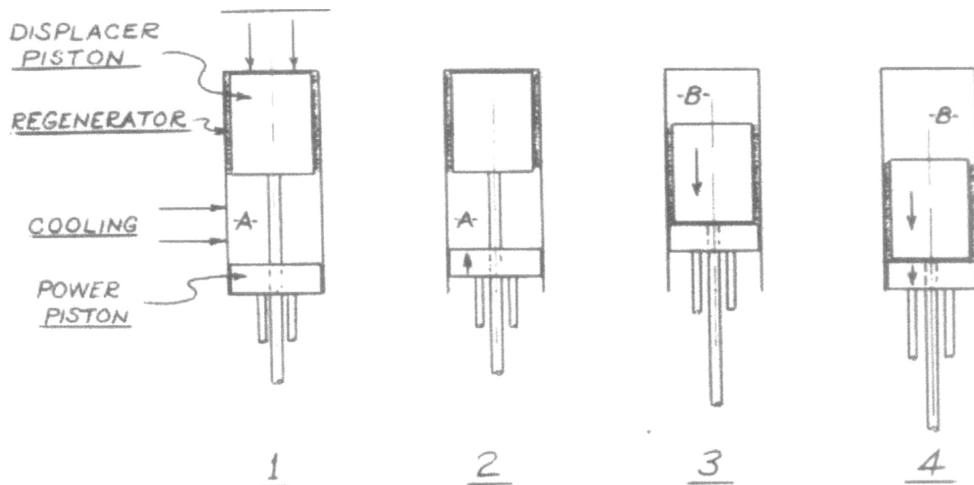


Şekil 3. Stirling'in 1816'da yaptığı motor. **Şekil 4.** Stirling'in 1816'daki motorunun silindiri.



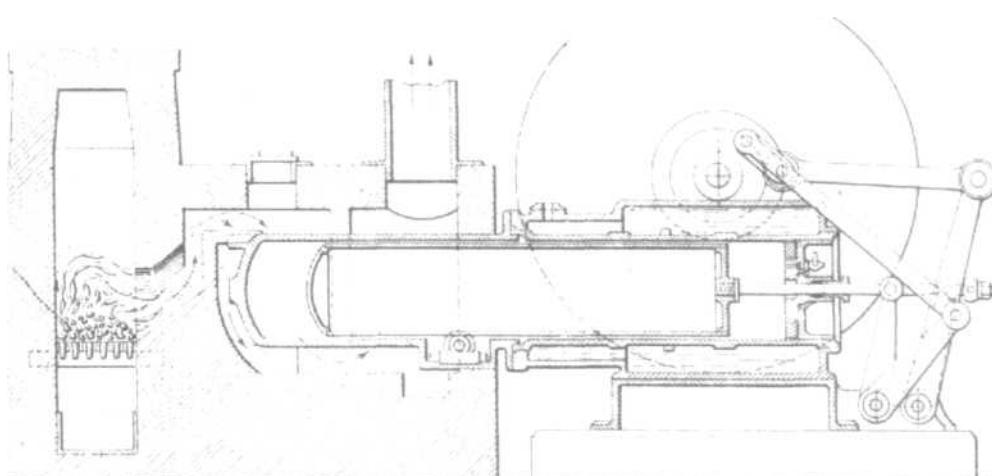
Şekil 3. ve Şekil 4.'de 1816 yılında Robert STIRLING' in yapmış olduğu sıcak hava motoru görülmektedir. Robert STIRLING 1827 ve 1840 yıllarında kardeşi James STIRLING ile

birlikte iki patent daha almıştır. Şekil 5.'de görülen ve adına "**Stirling motoru**" denilen bu motor ilk kez 1843 yılında imal edilmiş ve 30 d/d 'da 45 Hp güç üretmiştir.



Şekil 5. Stirling'in 1816 yılında yaptığı güç ve deplasör pistonlu motorun şematik şekli.

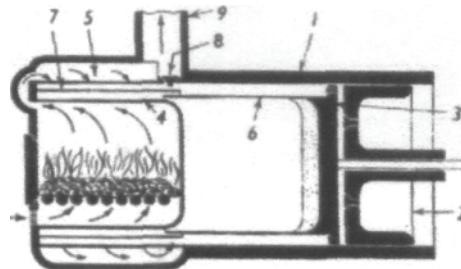
Stirling motoru Whilheim LEHNMAN tarafından modifiye edilmiş ve "**Lehman motoru**" ismi ile 1860 yılından Almanyada üretilmeye başlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Lehman'in sıcak hava motoru.

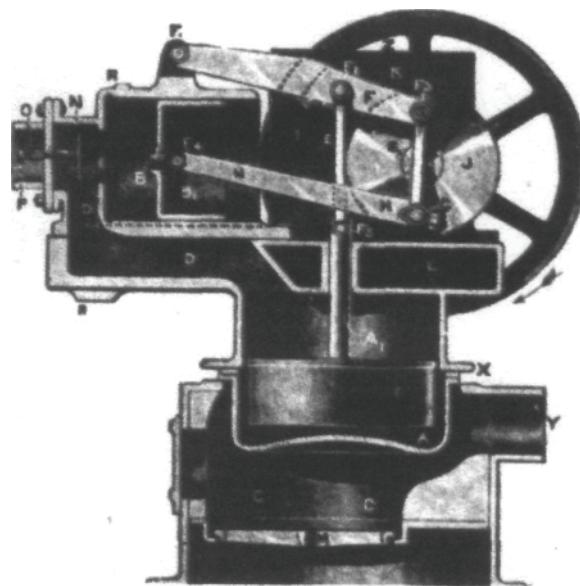
Amerikada ise Alexander K. RIDER ve Hayward TYLER'in 1876 yılında yeni bir sıcak hava motoru yapmışlardır. Ancak Amerika'da bu konuda en önemli çalışmalar İsveç asıllı John ERICSON tarafından gerçekleştirilmiştir. Sıcak hava motorlarına

karşı ERICSON'un ilgisi 1826 yılında İngiltere'den aldığı patentle ortaya çıkmış ve 1857 yılında kendi kurduğu Massachusetts Caloric Engine Co.firmasında üretime başlamıştır. ERICSON'un 1858 yılında aldığı yeni patentte göre imal etmiş olduğu yaklaşık 3000 adet motor 1860 yılına kadar Avrupa ve Amerikada satılmıştır. Şekil 7.' de Ericsson motorunun şékli verilmiştir.



Şekil 7. Ericsson'un 1858 yapımı motoru.

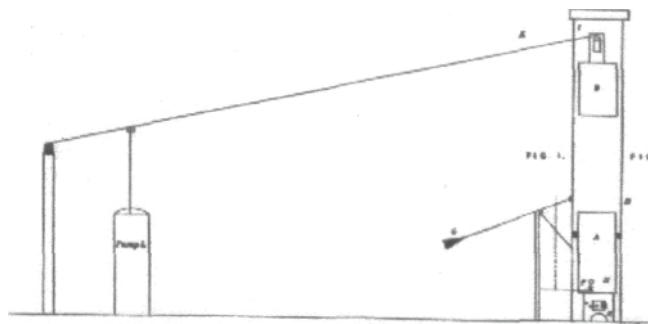
Bu konuda mucitler isimleri ile anılan bir çok motor yapılmıştır. Örneğin Robinson (Şekil 8), Buckett motoru, Roper motoru, Rider motoru ,Rivaz motoru gibi. 1900'lü yılların başlarına kadar "sıcak hava motorları" veya "kalorik" motorlardan gittikçe azalan oranda üretilmeye devam edilmiş ve günümüzde de sessiz çalışmaları, düşük emisyon seviyeleri nedeni ile "Stirling" motoru yeniden gündeme gelmiştir.



Şekil 8. Robinson (Gardner) sıcak hava motoru.

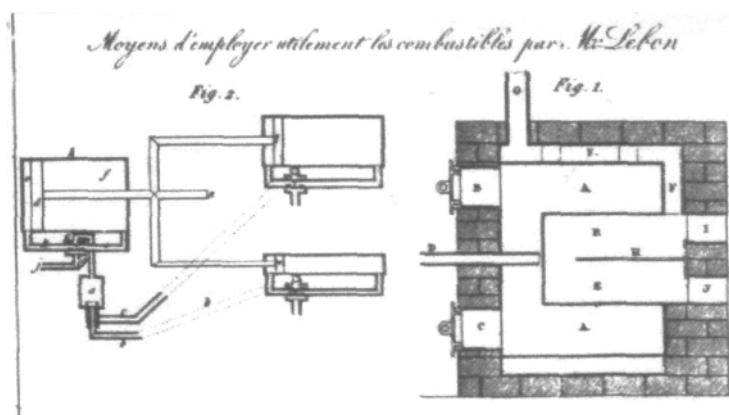
Sıcak hava motorun gelişmesi İçten yanmalı motorların geliştirilmesini engellemiştir

olmasına rağmen bazı araştırmacılar bu konudaki çalışmalarını devam ettirmiştir ve önemli gelişmeler kaydetmişlerdir. Örneğin 1791 yılında John BARBER gaz türbini'nin patentini almıştır. 1794 yılında Robert STREET ismindeki bir araştırmacı ilk kez hava-gaz yakıt karışımılarını kullanan pistonlu içten yanmalı bir motorun patentini almıştır (Şekil 9).

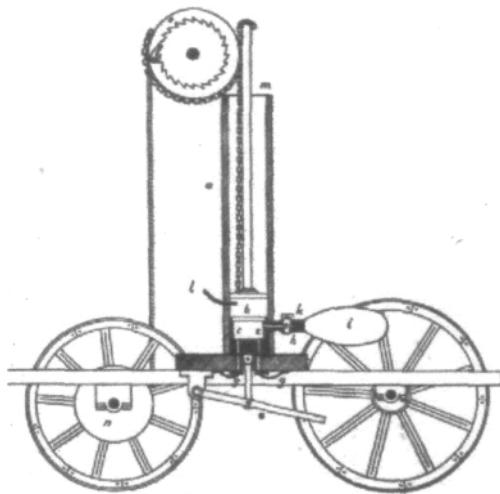


Şekil 9. Street'in 1794 yılı yapımı terebentin yakıtlı motoru.

Bu patentte yakıt olarak terebentin kullanılmıştır. Yakıtın motor dizaynında belirleyici olacağı bu patenten anlaşılmış ve değişik yakıtların kullanılabileceği farklı motor dizaynları ortaya çıkmaya başlamıştır. 1801 yılında Philippe LEBON kömürden elde edilen gaz yakıtlı (şehir gazı) çalışan motorun patentini almıştır (Şekil 10).



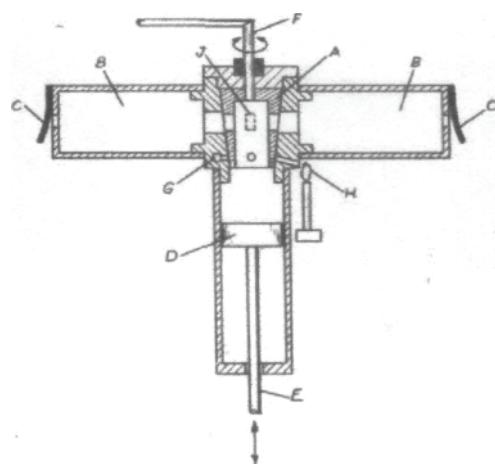
Şekil 10. Philippe Lebon'un şehir gazı üretim sistemi ile çift etkili motoru.



Şekil 11. Isaac de Rivaz'ın motoru.

180 İsviçreli mühendis Isaac de RIVAZ 1805-1813 yılları arasında içten yanmalı motorla tıkanık bir vagon yapmaya çalışmıştır (Şekil 11).

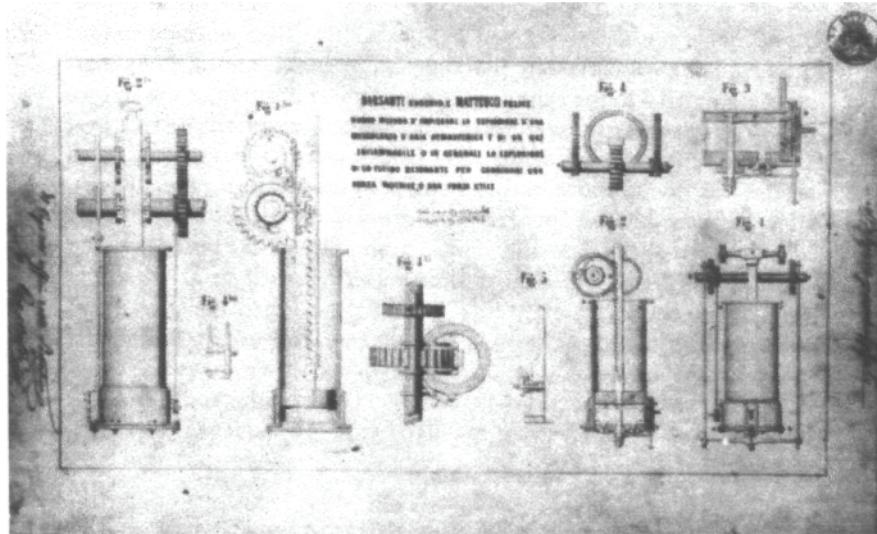
1806 yılında Claude ve Joseph -Nicephore NIEPCE kardeşler yakıt olarak toz kömür kullanan motor yapmışlardır. 1820 yılında William CECIL yakıt olarak hidrojeni kullanacak olan bir motor geliştirmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. William Gecil'in hidrojen yakıtlı motorunun kesit resmi.

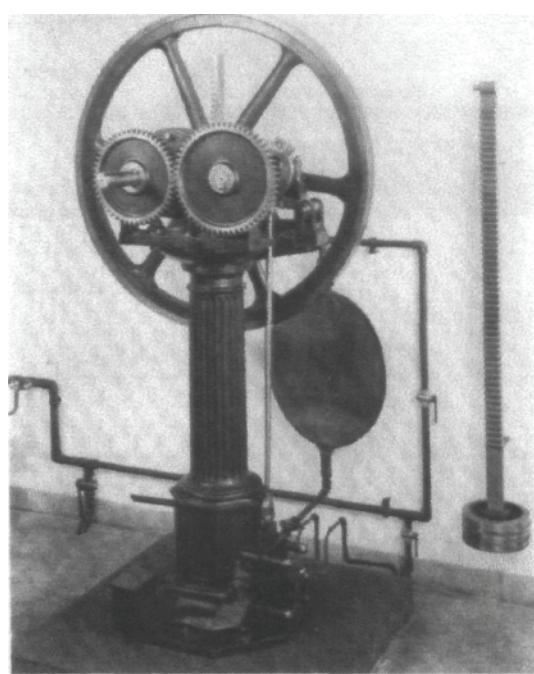
Daha sonraki yıllarda Samuel BROWN, Samuel MOREY, Lemuel W. WRIGHT, William BARNETT, Stuart PERRY, Alfred DRAKE gibi araştırmacılar değişik

dizaynları ile içten yanmalı motorun gelişimine önemli katkılarda bulunmuşlardır. Fakat gerçek anlamda içten yanmalı pistonlu motorun doğuşu Eugenio BARSANTI ve Felice MATTEUCCI 'nin 1854 yılında İtalyadan aldıkları patent ile olmuştur diyebiliriz (Şekil 13).



Şekil 13. Barsanti ve Matteucci'nin 1854 yılı patentlerindeki tek ve çift pistonlu motoru.

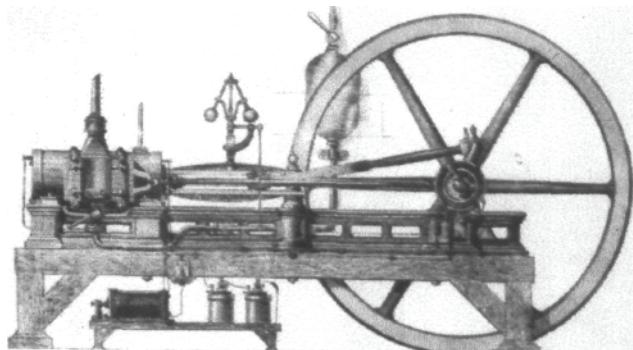
Bu patentten sonra Nicolaus August OTTO ve Eugen LANGEN 'de benzer tip bir motor için 1866 yılında patent almışlardır. Bu patente göre imal edilen motor Şekil 14' te verilmiştir. Bu motorlara herhangi bir krant-biyel mekanizmasına bağlı olmadıkları için "**uçan veya serbest pistonlu**" motor adı verilmiştir. OTTO ve LANGEN bu motorlardan yaklaşık olarak 5000 adet üretmişler ve 10 sene piyasanın hakimi olmuşlardır.



Şekil 14. Otto ve Langen'in uçan pistonlu motoru.

İtalya ve Almanya' da uçan pistonlu motorlar geliştirilip imal edilirken Paris' te yaşayan

aslen Luxemburg' lu olan Jean Joseph Etienne LENOIR 1860 yılında daha değişik bir prensibe göre çalışan motorun patentini almış ve bu motordan yaklaşık olarak 500 adet imal etmiş, İngiltere ve Fransa da bunları satmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Lenoir'in 1861 yılı yapımı sıkıştırmaz motoru.

Fakat bu motor veriminin düşük ve yakıt sarfiyatının yüksek olması nedeni ile fazla bir gelişme göstermemiştir. Bu motorda piston biyel yardımı ile kranc mekanizmasına bağlı olup, pistonun ileri geri hareketleri dönme hareketine dönüştürülmemekte olup günümüz motorlarına çalışma prensibi bakımından en yakın motordur. Bu motorda daha önce STREET'in geliştirdiği piston, LEBON'un geliştirdiği çift etki prensibi, RIVAZ'ın kullandığı elektrik ateşleme sistemi ve Samuel BROWN motorunda olduğu gibi silindirler su ile soğutulmuştur. Sıkıştırma prosesinin olmaması nedeni ile bu motorlara atmosferik motorda denir. Bu dönemde sıkıştırma prosesinin önemi çok fazla bilinmemekle beraber, bu yönde bazı çalışmalar yapılmıştır. Örneğin 1838' de BARNETT, karışımı bir pompa yardımı ile sıkıştırmayı düşünmüştür. Gustav SCHMIDT 1861 yılında Lenoir motorunda ateşlemeden önce sıkıştırma yapılmasını önermiştir. Ancak günümüz motorlarının temel çalışma prensiplerini veren Fransız Alphonse Beau de ROCHAS olmuştur. 16 Ocak 1862 yılında yayınlanmamış olan "**Demir yollarında ve havacılıkta ısının ana güç kaynağı olarak uygulanması için yeni araştırmalar**" adlı patentinde motorun temel çalışma prensiplerini vermiştir. Patentte herhangi bir çizim veya resim yoktur, fakat yazIDA yeni motorda yanma öncesi yakıt-hava karışımının sıkıştırılacağı ve çalışma çevriminin aynı silindir içerisinde dört piston strokunda tamamlanacağı belirtilmiştir. Çevrimi oluşturacak olan prosesler;

1. Emme gerçekleştirmeli (Birinci strok),
2. Dönüşte sıkıştırma (İkinci strok),
3. Ölü noktadan geçerken ateşleme ve bundan sonra genişleme (Üçüncü strok),
4. Yanmış gazların silindirlerden atılması (Dördüncü strok),

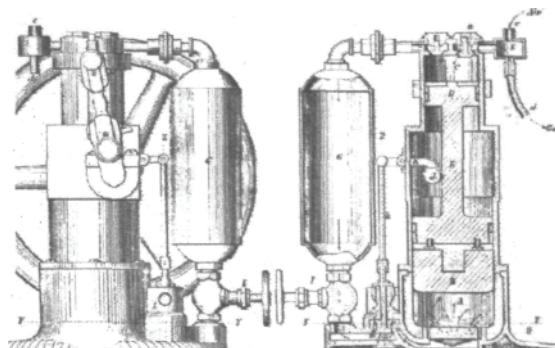
olarak dört strok şeklinde tanımlanmıştır.

Motordan daha yüksek performans elde etmek için ise;

1. Silindirin yüzey/hacim oranı mümkün olduğu kadar küçük olmalı,
2. Genişleme prosesi mümkün olduğu kadar şiddetli olmalı,
3. Mümkin olduğu kadar tam genişleme sağlanmalı,
4. Genişleme öncesi mümkün olan en yüksek basınç sağlanmalı,

Burada 1. madde ısısını azaltmayı, diğer maddeler ise gazın enerjisinden hangi koşullarda daha fazla yararlanılabileceğini açıklamaktadır. Bu makalesinden dolayı Alphonse Beau de ROCHAS 'in modern motorun mucidi olduğu düşünülebilir. Fakat Beau de ROCHAS sadece bir kağıt üzerinde motor önerisinde bulunmuştur. Bu prensipleri uygulamaya koyan ve ilk prototipimde gerçekleştirdiği için motorun mucidi olarak Alman Nicolaus August OTTO kabul edilir.

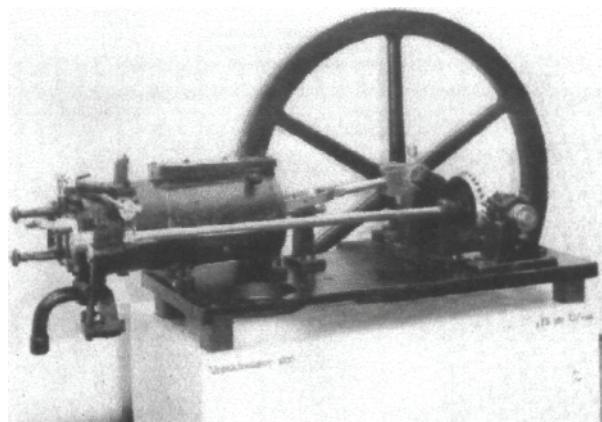
1872 yılında Amerikada George Bailey BRAYTON ilk kez ticari gaz motorunu dizayn etmiş ve motorun patentini hem Amerikadan hem de İngiltereden almıştır. Brayton' un motoru ön sıkıştırmalı, sabit basınçta yanmalı ve tam genişlemeli bir motordur (Şekil 16). Bu motorda kompresörün ve pistonlu motorun ortak çalışması söz konusudur. Bu motordan çok sayıda yapılmış fakat 1876 yılında Nicolaus August OTTO'nun geliştirdiği motorla rekabet edemeyerek piyasadan kaybolmuştur.



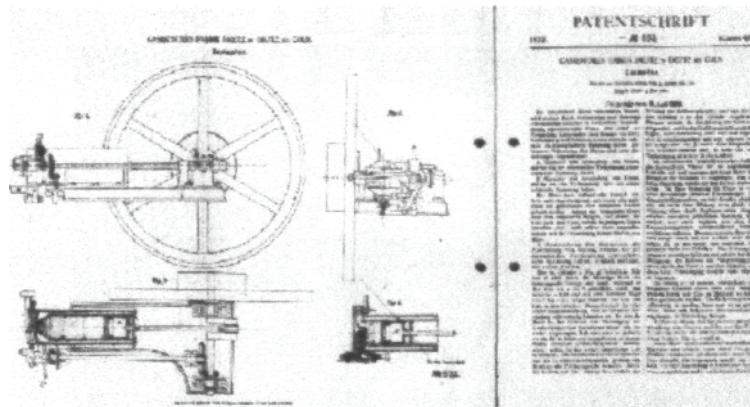
Şekil 16. Brayton'un 1872 yılı yapımı gaz motoru.

Nicolaus August OTTO Almanyada, Frankfurt yakınlarında bulunan Holzhausen köyünde doğmuş ve çok küçük yaşta babasının ölümünden sonra okulu bırakıp ticaretle uğraşmaya başlamıştır. Uzun seneler çay, şeker ve mutfak gereçleri taşımacılığını yapmıştır. 27 yaşına geldiğinde LENOIR motoru ile ilgili bir yazıyı okuması sayesinde bu motora karşı büyük ilgi duymuş ve geleceğin motorlarının büyük oranda yakıtla bağımlı olacaklarını anlamıştır. Kardeşi Wilhelm ile birlikte bu motorun mobil amaçlı olarak kullanılabilmesi için bir alkol-hava karbüratörü dizayn etmişler ve ocak 1861 'de patent başvurusunda bulunmuşlardır. Fakat parasızlıktan dolayı Lenoir motorunu iyileştirme çabaları bir sonuç vermemiştir. Bu süre içerisinde Michael ZONS isimli bir

teknisiyene yaptırdığı Lenoir motoru üzerindeki çalışmalarına devam etmiş, ZONS 1862 yılında OTTO'ya bir dört silindirli karşı pistonlu motor yapmıştır. Bu motorun çalışması daha sonra çıkacak olan dört stroklu motorların çalışmasına çok benzemektedir. Eugen LANGEN Almanyasının Köln şehrinde çok varlıklı bir ailenin çocuğu olarak dünyaya gelmiş, teknik eğitim almış ve bu bölgenin şeker üretimini aile olarak elde tutmuşlardır. Doyumsuz biri olarak LANGEN ailenin işi dışında başka işler yapmak istemiş ve Lenoir motoruna olan meraklı onu OTTO'nun yanına götürmüştür. 8 Şubat 1864'te ki buluşmadan sonra OTTO ve LANGEN'nin ortak olduğu dünyanın ilk motor imal eden şirketi kurulmuştur. Şirketin adı N. A. OTTO & Cie idi. Bu şirket günümüzde Klöckner-Humboldt-Deutz AG firması olarak varlığını devam ettirmektedir. LANGEN firmaya 10000 Taler (Dolar'ın türetildiği para birimi) para yatırılmıştır. Bu firmada uzun süre "**uçan pistonlu**" motorlar üretilmiş, firmaya Gottlieb DAİMLER ve Wilhelm MAYBACH gibi mühendislerin katılması ile bu motor en yüksek performansına ulaştırılmıştır. Fakat OTTO bu motorun fazla bir geleceği olamayacağı düşüncesi ile yeni bir motor üzerinde çalışmaya başlamış, bunun vakit kaybından başka bir şey olmadığını düşünen LANGEN ise OTTO ile olan anlaşmasını iptal etmiştir. OTTO MAYBACH'ı da yanına alarak çalışmalarını sürdürmüştür ve 1876'da ilk dört stroklu motorunu yapmış (Şekil 17) ve bu motorun patentini de 1877 yılında almıştır (Şekil 18).



Sekil 17. Otto'nun 1876 yılı yapımı dört stroklu deney motoru.

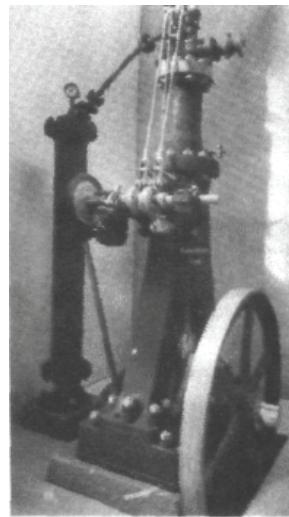


Sekil 18. Otto'nun patenti (1877 yılı).

Bu şekilde dört stroklu motor yaratılmış fakat dört stroklu motorun güç üretimi için tek çözüm olmadığını düşünenler ,krank milinin her dönüşünde iş alınmasını sağlayacak olan iki stroklu motor üzerinde çalışmaya başlamışlardır. 1879-1881 yılları arasında James ROBSON, Dugald CLERK, Wilhelm WITTING ve Wilhelm HEES bu konuda öncü çalışmalara başlamışlardır. Daha sonra çok önemli bir isim olacak olan Kari BENZ ilk iki stroklu motorunu 1879 'da yapmıştır. Wühelm von OECHELHAUSER ve Hugo JUNKERS 1890 yılında karşı pistonlu motoru yapmışlardır. Fakat bu motorlar sahip oldukları avantajlara rağmen 1900'lü yıllarda önce fazla geliştirilememiştir.

Rudolf Christian Karl DIESEL alman anne babadan Paris te dünyaya gelmiş. 12 yaşlarında Fransadan Almanya'nın Augsburg kentine taşınmış, fakat burada uzun süre kalmadan tekrar Paris'e dönmüştür. Parlak bir öğrenci olan DIESEL Paris ve Londra'da ki teknik müzelere sık sık yapmış olduğu ziyaretlerden sonra mühendis olmaya karar vermiştir. Bu kararınbabası tarafından pek onay görmemesine rağmen DIESEL Aigsburg'a bulunan teknik okula başlamış ve buradan üstün başarı derecesi ile mezun olmuştur. Bu başarısından dolayı Technische Hochschule München 'e kabul edilmiş ve burada da büyük başarı göstermiştir. Hocası olan Prof. LINDE' nin önerisi ile soğutma teknikleri üzerinde çalışmaya başlamış fakat okumuş olduğu CARNOT' un kitabı sonucunda motorlara karşı olan ilgisi artmış birkaç yıl amonyak ile çalışabilecek motor üzerinde başarısız çalışmalar yaptıktan sonra ve petrol motorları konusuna yönelik ilk patent başvurusunu 28 Şubat 1892 yılında gerçekleştirmiştir. Bu patentte motor çevriminin yanma prosesi (sabit basınçta, sabit hacimde ve sabit sıcaklıkta yanma) ile ilgili çok önemli bilgileri verilmiştir.

Bu patente karşı Maschinen Fabrik Augsburg-Nürnberg A.G. yani kısaca M. A.N. firmasının direktörü Heinrich BUZ'un büyük ilgi duyması ile DIESEL bu firmada çalışmaya başlamış ve 1893 yılında ilk dizel motorun prototipini imal edilmiştir (Şekil 19). Uzun süren denemelerden sonra bu motora ait patent 16 Temmuz 1895' de alınmış ve ilk ticari değeri olan motorda 1897 yılında imal edilmiştir.

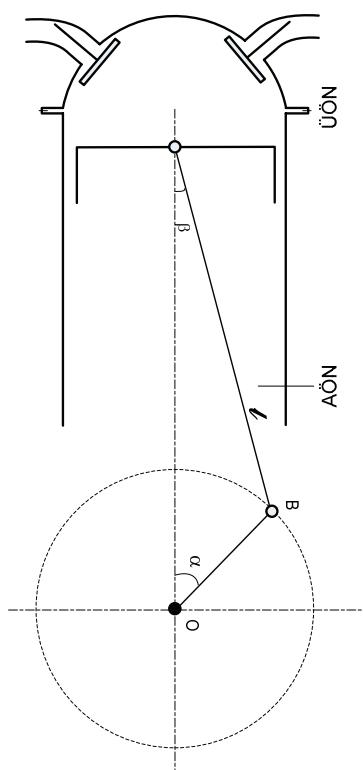


Şekil 19. DIESEL'in 1893 yılı yapımı motoru.

1893 yılında MAMIN ismindeki bir Rus benzer motorun çalışmalarına başlamış ve 1898 yılında yüksek sıkıştırmalı ve ağır yakıtı basınçlı hava ile püskürterek çalışan motoru üretmiştir. Fakat patent hakkı DIESEL'de olduğu için bu motorun ismi dizel motoru olarak kalmıştır. Daha sonraki yıllarda motor üzerindeki çalışmalar daha da hızlanarak devam etmiş ve bu motorlar gittikçe daha mükemmelleşerek günümüze kadar gelmiş ve hala en önemli güç üretim araçları olarak kullanılmaktadır.

BÖLÜM 1.

İÇTEN YANMALI MOTORLARDA TANIMLAR, KISALTMALAR VE SINIFLANDIRMA.



Şekil 20. Bir içten yanmalı pistonlu motorun şematik şekli.

Tanımlar ve Kısalmalar

Şekil 20' de şematik şekli verilen bir motora göre içten yanmalı motorlarda kullanılan tanımlar ve kısaltmalar şöyledir;

- **Üst Ölü Nokta (Ü.O.N.):** Piston üst yüzünün silindir içersinde kranc mili eksenine göre varabileceği en uzak konuma üst ölü nokta denir. Bu anda silindir içersinde oluşan hacim minimumdur.
- **Alt Ölü Nokta (A.O.N.):** Piston üst yüzünün silindir içersinde kranc mili

eksenine göre varabileceği en yakın konuma alt ölü nokta denir. Bu anda silindir içersinde oluşan hacim maksimumdur.

- **Piston Stroku (H):** Silindir içinde, üst ölü nokta ile alt ölü nokta arasındaki mesafedir.
- **Strok Hacmi (V_h):** Silindir içinde, üst ölü nokta ile alt ölü nokta arasında oluşan hacimdir.
- **Sıkıştırma Hacmi veya ölü hacim (V_o):** Silindir içinde, piston üst ölü noktada iken oluşan hacimdir.
- **Toplanı Hacim (V_t):** Silindir içinde, piston alt ölü noktada iken oluşan hacimdir.
- **Sıkıştırma oranı (ϵ):** Silindir toplam hacminin sıkıştırma hacmine oranıdır.
- **İş Çevrimi:** Bir işin elde edilebilmesi için tekrarlanmadan oluşan olaylar topluluğudur.

İçten Yanmalı Pistonlu Motorların Sınıflandırılması

İçten yanmalı pistonlu motorlar çeşitli faktörler göz önüne alınarak sınıflandırılırlar.

I. Strok sayısına göre sınıflandırma

a-Dört stroklu motorlar: Bu tip motorlarda bir iş çevrimi dört piston strokunda tamamlanır ve bu esnada kranc mili iki dönüş yapar.

b-İki stroklu motorlar: Bu tip motorlarda bir iş çevrimi iki piston strokunda tamamlanır ve bu esnada kranc mili bir dönüş yapar.

İlk motor geliştirilme çalışmaları yapılrken bazı mucitler **üç** ve **altı** stroklu çevrimleri denemişler.

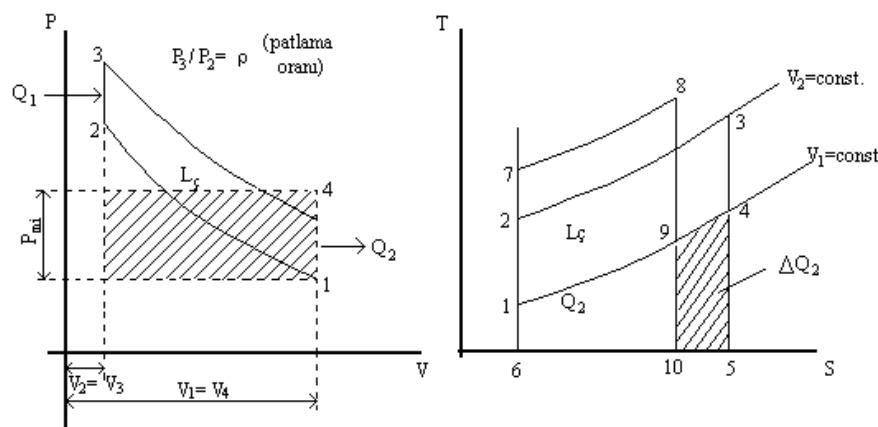
2.Karışım teşkiline göre sınıflandırma

a-Karbüratörlü motorlar: Bu motorlarda karbüratör yardımı ile hava-yakıt karışımı silindirin dışında oluşturulur. Bu gruba örnek olarak iki ve dört stroklu otto motorları verebiliriz.

b-Yakit püskürtmeli motorlar: Bu motorlarda emilmekte olan havanın veya silindir içersine emilmiş olan havanın içersine yakıt püskürterek hava-yakıt karışımı oluşturulur. Dizel ve püskürtmeli otto motorları bu gruba dahildirler.

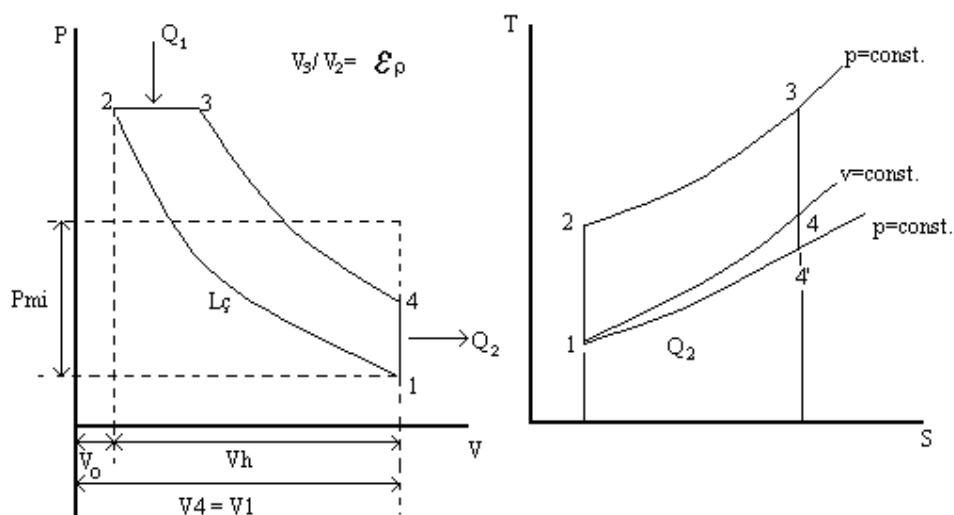
3. Çalışma çevrimin karakterine göre sınıflandırma

a-Yanmanın sabit hacimde gerçekleştiği motorlar: Şek.21' de bu motorların çalıştığı otto çevrimi görülmektedir.



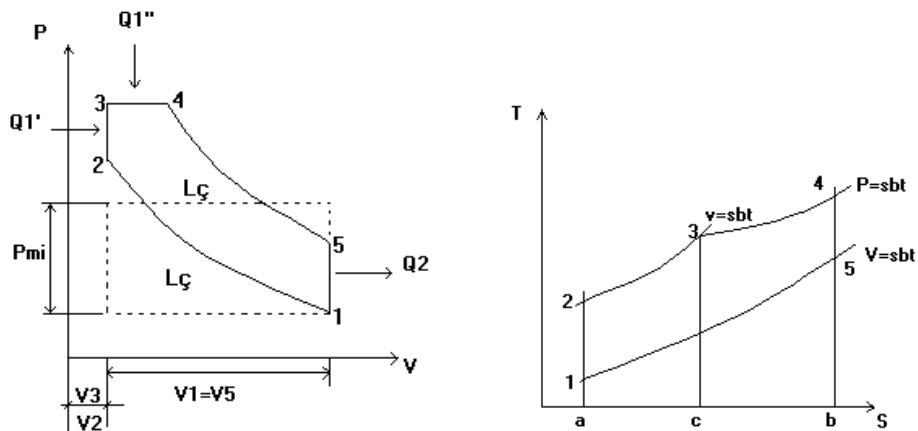
Şek.21. Oto çevrimi

b-Yanmanın sabit basınçta gerçekleştiği motorlar: Şekil 22' de bu motorların çalışma çevrimi olarak kullandıkları Dizel çevrimi verilmiştir.



Şek.22 Dizel çevrimi

c-Yanmanın kısmen sabit hacimde, kısmen sabit basınçta gerçekleştiği motorlar: Bu motorların çalışma çevrimi olarak Seilinger (kanışık) çevrimini kullanırlar (Şekil 23).



Şek.23. Seilinger çevrimi

4. Kullanılan yakıta göre sınıflandırılma:

a- Sıvı yakıtlı motorlar: Bu motorlarda yakıt olarak benzin, motorin, kerosen, alkol ve bitkisel yağlar kullanılır.

b- Gaz yakıtlı motorlar: Bu motorlarda doğal gaz ve LPG kullanılır.

c- **Katı yakıtlı motorlar:** Toz kömür kullanan motorlar.

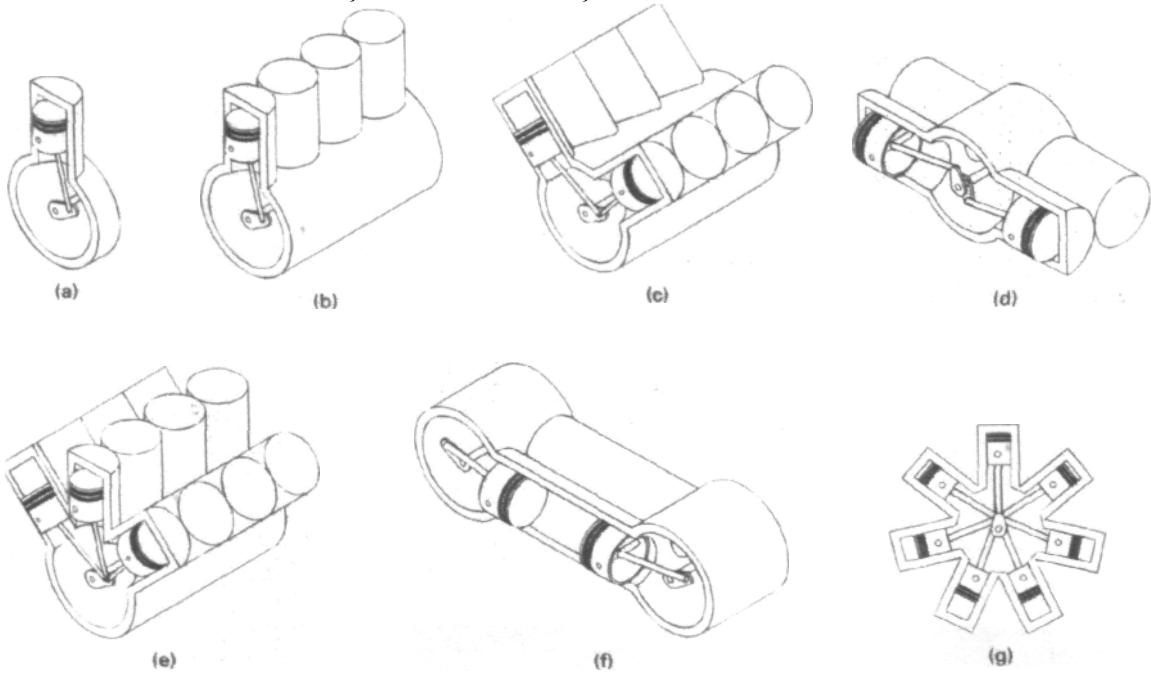
5.Taze dolguyu silindirlere doldurma şekline göre sınıflandırılma:

a- Doğal emişli motorlar.

b- Aşırı doldurmalı motorlar.

6.Silindirlerin yerleştirilme tarzına göre sınıflandırılma:

Bu tarz sınıflandırma Şekil 24' de verilmiştir.



Şekil 24. Silindirlerin yerleştirilme tarzına göre motorların sınıflandırılması.

a-Tek (bir) silindirli motorlar.

b-Sıra motorlar: Silindirler tek bir sıra halindedirler, 2-11 adet silindire kadar kullanılır. Otomobillerde en çok kullanılan 4 silindirli sıra motorlardır,

c- V motor: İki sıra motorun belirli bir açı ile tek bir kranc miline bağlanması durumunda oluşan motordur. Sıralar arasındaki açı 15 ile 120 derece arasında olabilir. En çok kullanılan açı ise 60 veya 90 derecedir. Silindir sayısı 2 ile 20 arasında değişir. Otomobillerde V6 ve V8 en çok kullanılır. V12 ve V16 daha önceleri bazı lüks yüksek performanslı otomobillerde kullanılmıştır,

d-Karşı silindirli motor: Bu motor aslında 180 derece açılı bir V motordur. Küçük uçaklarda ve bazı otomobillerde kullanılır. Bazı literatürlerde düz (flat) veya kutu (boxer) motor olarak isimlendirilmiştir,

e-W motor: Üç sıra motorun tek bir kranc miline bağlanmış halidir. Çok kullanılan bir motor olmamakla beraber geçmişte ve günümüzde yarış otomobilleri için geliştirilmiştir. Genellikle 12 silindirli olarak ve silindirler arası 60 derecelik açı vardır.

f-Karşı pistonlu motorlar: Bu motorlarda iki kranc mili ve iki piston arasında oluşan yanma odası vardır. Bunun avantajı ise tek bir yanma prosesi ile aynı anda iki iş stroku gerçekleştirmektir. Kranc mili çıkışları iki olarak bırakılır veya karmaşık bir mekanizma ile birleştirilir

g-Yıldız (radial) motor: Bu motorda genellikle tek sayıda olan (3 - 5 - 7 - 13) veya daha fazla silindirlerin kranc -biyelleri tek bir ana kranc miline bağlanır. Bu motorlar daha çok orta güçte olan ve pervaneli uçaklarda kullanılırlar. Sıra sayısı arttırlarak (54 silindire kadar yapılanlar olmuştur) güç gereksinimi karşılanabilir.

Bu motorların uçaklarda bazı ilginç uygulamaları olmuştur. Kranc mili sabit tutularak, silindir bloğu döndürülerek motor çalıştırılmıştır. Bu durumda oluşan jiroskopik kuvvetlerin yardımı ile diğer uçakların yapamadıkları manevraları yapılabilemiştir. Çok az bilinen ADAMS-FARWELL otomobillerinde 3 veya 5 silindirli, sabit krancılı, yatay yıldız motor kullanılmış ve yine jiroskopik etki ile otomobile önemli bir sürüş kolaylığı sağlanmıştır.

7.Soğutma şecline göre sınıflandırma:

a-Hava soğutmak motorlar.

b-Su soğutmalı motorlar.

8.Kullanma maksatlarına göre motorların sınıflandırması:

- a-Stasyoner motorlar.**
- b-Gemi motorları**
- c-Lokomotif motorları**
- d-Taşıt (otomobil, kamyon) motorları.**
- e-Traktör motorları.**
- f-Uçak motorları**
- g-Evsel (domestic) amaçlı motorlar.**

İÇTEN YANMALI MOTORUN ÇALIŞMA PRENSİBİ:

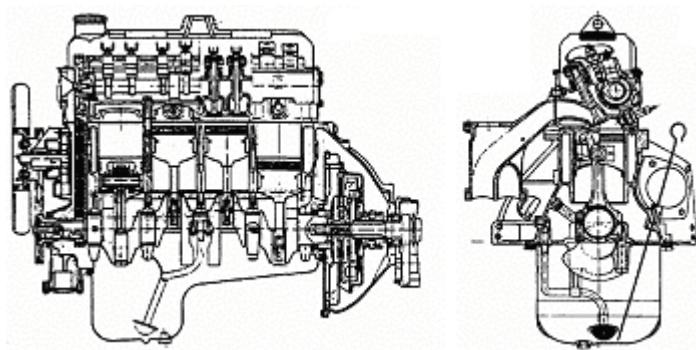
İçten yanmalı pistonlu motorlar, yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu sıcaklık ve basınçları yükselen yanma gazlarının genişlemesiyle yapılan işi piston, biyel ve krank mili mekanizmasıyla mekanik işe dönüştürmektedir.

İçten yanmalı motorlardan en fazla kullanılan pistonlu motorlardır. Bu motorların maksimum güçleri 60,000 BG kadar, Dönme sayılan ise 90 - 7500 d/d arasında veya daha da fazla, silindir sayıları da tek silindirden 20 silindire kadar değişebilmektedir. Kullanma ve bakım kolaylığı, ucuzluğu ve çok güvenilir olma gibi özellikleri nedeniyle bu motorlar çok yaygın olarak ve çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Dolayısıyla, kullanılacağı yere ve kullanma amacına bağlı olarak çok değişik tipte imal edilmektedirler. Motorlar genellikle bir taşıtin tahrik mekanizması olarak kullanılırlar. Bunun dışında taşınabilir veya sabit jeneratörlerde ve pompalarda tahrik mekanizması olarak kullanılmaktadırlar.

Kıvılcım veya buji Ateşlemeli (KA) Motorlar (Otto çevrimine göre çalışan motor)

Kıvılcım ateşlemeli motorlar, 4-stroklu ve 2-stroklu olarak iki gruba ayrılabilirler. Aynı zamanda benzin motoru olarak da adlandırılmaktadır. Dört stroklu motorların kullanım alanı çok daha genişdir. Bu tip motorlar özellikle otomobillerde kullanılmaktadır. KA motorları daha az yaygın olarak, traktör, küçük kamyon, küçük otobüs, jeneratör ve bazı iş makinelerini tahrikte de kullanılır.

Dört stroklu KA motorunun ana elemanları Şekil 25'de görülmektedir. Ana yapıyı oluşturan motor gövdesi, silindirlerden ve krank milini taşıyan üst karterden oluşur ve döküm yolu ile imal edilir. Motor gövdesine motor bloku da denilmektedir. Piston genellikle hafif metal alaşımından yapılmış olup, silindir içinde öteleme hareketi yapmaktadır. Biyel kolumnun küçük başı piston pernosu ile pistona, büyük başı ise biyel yatağı ile krank muylusuna bağlıdır. Böylece bir piston - biyel mekanizması oluşmaktadır. Krank mili ise ana yataklar, muylu yatakları, krank kolları ve karşı ağırlıklardan oluşmaktadır. Silindir kafası motor bloğu üzerine kafa civataları veya saplamaları ile bağlanmaktadır.

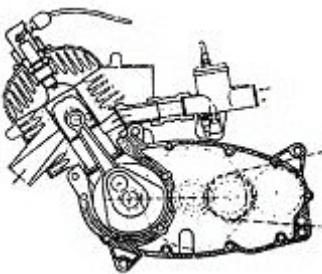


Şekil 25 Dört stroklu Kıvılcım ateşlemeli (KA) motorunun kesiti

Silindir kafasında buji yuvaları, emme ve egzoz kanalları bulunur. Emme ve egzoz sübapları ve bu sübapların yeterli sıkılıkta kapanmasını sağlayan sübap yayları da silindir kafasına yerleştirilmiştir. Kam milinin dönmesi ve külbütör mekanizması yardımıyla sübaplar açılmaktadır. Kam mili eski motorlarda motor gövdesinde, modern motorlarda ise silindir kafasında bulunmaktadır. Kam mili hareketini dişliler, dişli kayış veya bir zincir ile kranc milinden alır.

Emme havası, hava filtresinden geçerek karbüratöre gelmektedir. Karbüratörde benzin hava ile karıştırılır ve karmaşık olayı karbüratörden sonra emme kanallarında da devam eder. Karbüratörün çıkış tarafında bulunan gaz kelebeği kullanılarak motora daha az veya daha çok hava - yakıt karışımı girmesi ve motor yükünün değişmesi sağlanmaktadır. Bazı motorlarda karışım benzin püskürtme sistemi ile oluşturulmaktadır. Yanma sonucu oluşan yanma ürünleri egzoz sübabının açılmasıyla dışarı atılır. Yanma sonucunda ısınan silindir ve silindir kafası hava veya su ile soğutulmaktadır. Soğutma suyu silindir kafasından ısınmış olarak çıkar ve termostattan geçerek radyatörün üst kısmına girer. Radyatörde soğuyan su alt kısımdan dolaşım pompası ile emilmekte ve önce silindirler arasındaki soğutma kanallarına, oradan silindir kafasına basılmaktadır.

Motorda yanma, yakıt-hava karışımının, ateşleme sistemi tarafından tutturulmasıyla başlar. Ateşleme sisteminde her silindir için kısa süreli yüksek gerilim üretilmekte ve kam milinden hareketim alan bir dağıtım makarası ile veya elektronik olarak bu yüksek gerilim ateşleme sırası gelen silindirin bujisine gönderilmektedir. Motorun yağlanması kam milinden veya kranc milinden hareketini alan dişli yağ pompası ile sağlanmaktadır. Yağlama yağı alt karterde toplanmakta ve yağlama pompası tarafından buradan emilmektedir.

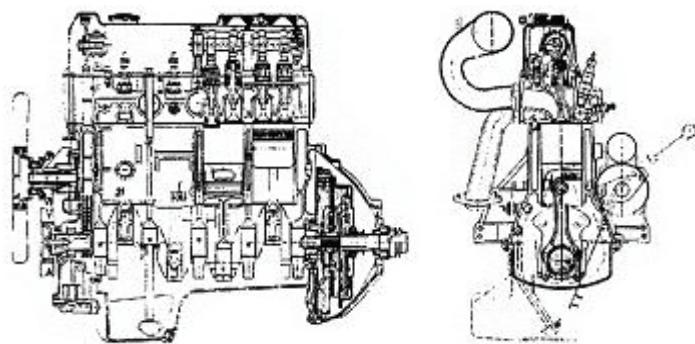


Şekil 26 İki stroklu KA motorun kesiti

KA motorlarının iki stroklu tipleri genellikle motosiklet ve deniz motorları, ender olarak da otomobil motoru olarak kullanılmaktadır. Küçük tip iki stroklu KA motorları genellikle tek silindirli, karterden süpürmeli ve hava soğutmalı yapılmaktadır (Şekil 26). Bunlarda sübap bulunmamakta ve hava girişi süpürme penceresinden yapılmaktadır. Motosiklet motorlarında genel olarak alt karter ve dişli kutusu tek parça olarak imal edilmektedir. Piston-biyel mekanizması ve krank mili 4-stroklu motordaki gibidir. Yakıt-hava karışımı da 4-stroklu motorda olduğu gibi karbüratörde hazırlanmaktadır. Ancak bu karışım önce pistonun alt yüzü tarafından kartere emilmekte ve süpürme sırasında yine pistonun alt yüzü tarafından süpürme penceresinden silindire basılmaktadır. Egzoz gazları genişleme strokunun sonunda açılan egzoz penceresi vasıtasiyla dışarı atılır.

Sıkıştırma Ateşlemeli (SA) Motorlar (Diesel çevrimine göre çalışan)

Sıkıştırma ateşlemeli motorlar da KA motorlar gibi 2 veya 4-stroklu olabilir. Bu motorlar aynı zamanda Diesel motorları olarak da bilinmektedir. Dört stroklu SA motorlar genellikle büyük, küçük ve orta güç isteyen ağır yük taşıtlarında, lokomotiflerde, küçük gemilerde ve jeneratör tahrikinde kullanılır. Bu motorlar, yapı olarak 4-stroklu KA motorlara benzer ve aynı elemanlardan oluşur. Ancak diesel motorlarında karbüratör ve buji yerine püskürtme pompası ve püskürtme enjektörleri bulunmaktadır. Hareketini bir dişli ile krank milinden alan püskürtme pompası, gerekli miktardaki yakıtı, püskürtme sırası gelen silindirin enjektörüne gönderir. Yakıt yüksek basınçla enjektör deliğinden silindir içine püskürtülür. Bazı tip motorlarda soğukta ilk tutuşma kolaylığım sağlamak amacıyla ısitma bujisi de bulunmaktadır. Motorun yağlanması ve soğutulması KA motorlarda olduğu gibidir (Şekil 27).



Şekil 27 SA (Diesel) motorunun kesiti

İki stroklu diesel motorları ise yüksek güçlü yapırlar ve gemileri tahrikte kullanılırlar. Bu tip motorlar 2-stroklu benzin motorlarından çok farklıdır. Bunlarda gövde, alt taşıyıcı gövde, üst taşıyıcı gövde ve silindir bloğu şeklinde üç ayrı kısımdan oluşur. Bunlar döküm veya kaynak yolu ile imal edilebilir. Silindirler ıslak gömlekli tip olup, piston da ayrıca özel bir donanım ile soğutulmaktadır. Stroku çok büyük olan bazı motorlarda biyel kolunu kısa tutmak amacıyla pistona bir ara mil bağlanmaktadır. Her bir silindirde süpürme ve egzoz pencereleri bulunmaktadır. Bazı tiplerde egzoz penceresi yerine silindir kafasında egzoz sübapları bulunabilir. Süpürme havası motor tarafından veya ayrıca tahrif edilen süpürme pompası ile silindirlere basılır. Krank mili alt taşıyıcı gövdeye yataklanmıştır. Yağlama ve soğutma 4-stroklu motorlarda olduğu gibi yapılır.

MOTOR PARAMETRELERİ

Motor çevrimlerinin analizine geçmeden önce çevrimlerde kullanılan iş, indike basınç, moment – güç ve volumetrik verim gibi kavramları açıklamak uygun olacaktır olacaktır.

İş:

İş, herhangi bir iş makinesinin ürünüdür. İçten yanmalı pistonlu motorlarda yanma odasında yanan gazların basıncının pistona etkimesiyle oluşur. İçten yanmalı pistonlu bir motorda hareket eden piston yüzeyinde etkiyen gaz basınç kuvveti işi oluşturur.

$$L = \int F \cdot dx = \int P \cdot A_p \cdot dx$$

Burada:

P : Yanma odasındaki gazların basıncı

A_p : Basıncın etkidiği alan (piston alanı)

x = Piston hareket mesafesi

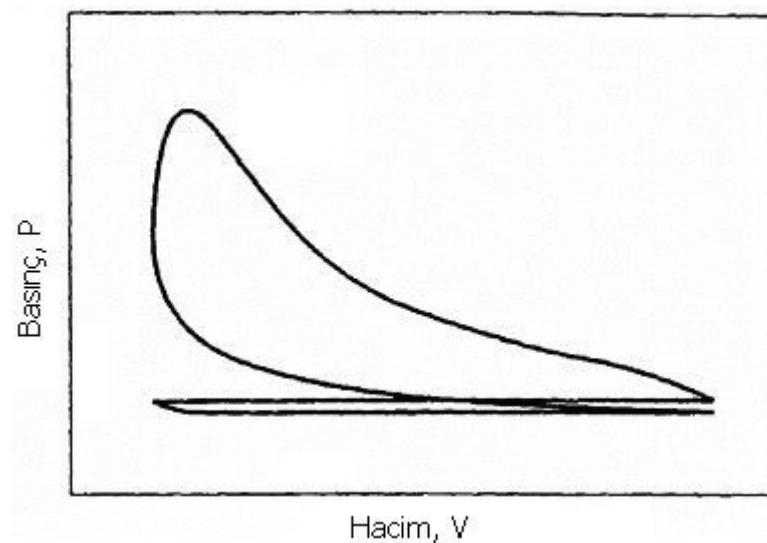
ve:

$$A_p \cdot dx = dV \text{ 'dir.}$$

Burada dV pistonun hareketi esnasında taradığı hacimdir. Buna göre:

$$L = \int P \cdot dV$$

Olarak iş, basınç ve hacme bağlı olarak yazılabilir.

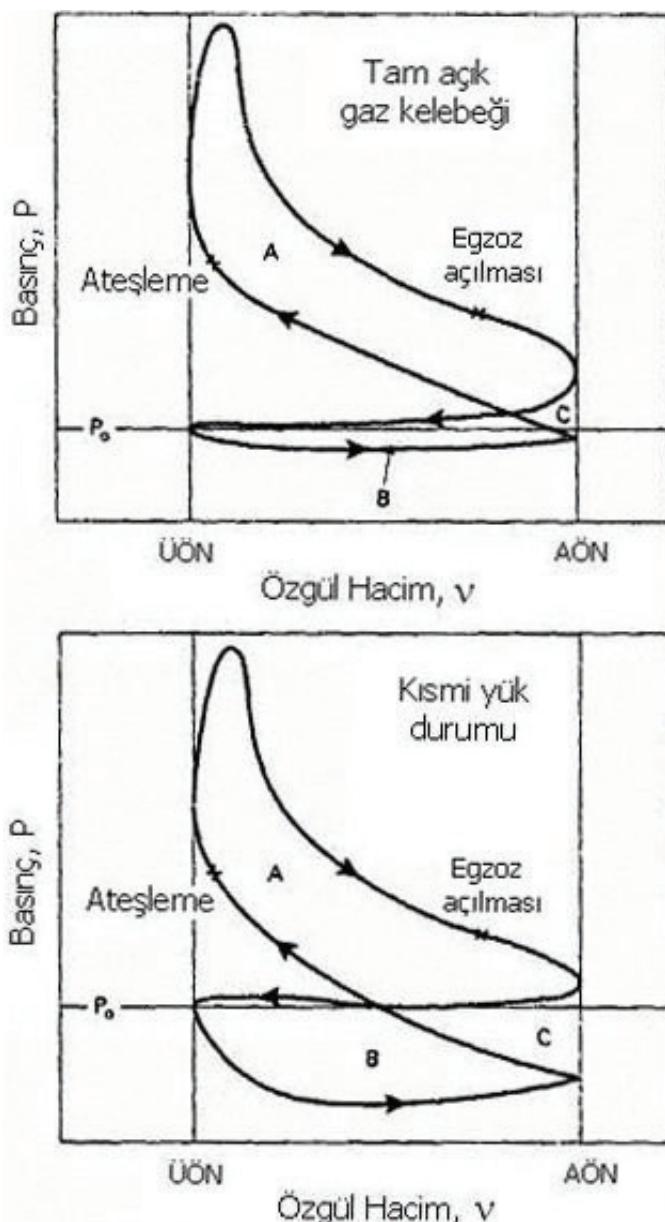


Şekil 28. 4 stroklu bir KA motorun indikatör (P-V) diyagramı. Bir indikatör diyagramında 720° KMA (krank mili açısı) için piston basıncının yanma odası hacmine göre dağılımı verilir..

Motorlar genellikle çok silindirli oldukları nedeniyle analizleri silindirdeki birim kütleye göre yapmak yerinde olacaktır. Böylece hacim V , özgül hacim v ve iş de özgül iş olarak alınır:

$$\omega = W / m \quad v = V / m \quad \text{ve} \quad \omega = \int P \cdot dv \text{ olur.}$$

Özgül iş ω , P-V diyagramında eğri altında kalan alandır (Şekil 28).



Şekil 29. 4 stroklu KA motor çevriminin P-V diyagramı.

Silindir içi basıncı P için şekil 29 'da gösterilen alanlar işi göstermektedir. Bu iş indike iş olarak adlandırılır. Indike iş, mekanik sürtünmeler ve ek donanımların tüketimlerinden dolayı tam olarak krank milinden alınamaz. Yakıt pompası, turboşarj, klima, alternatör gibi donanımlar motordan elde edilen işi kullanırlar. Motordan alınabilen gerçek iş fren veya efektif işdir.

$$\omega_e = \omega_i - \omega_f$$

Burada:

ω_b : Efektif iş

ω_i : Yanma odasında elde edilen indike özgül iş

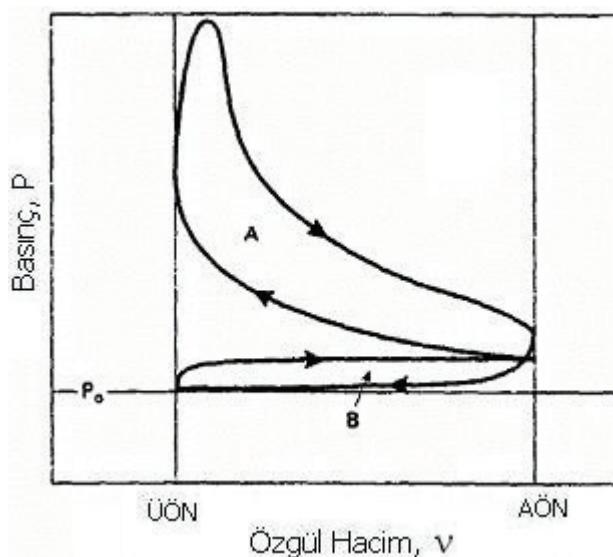
ω_k : sürtünme ve ek tüketimlerden dolayı kaybolan iş

Şekil 29 'da üst kapalı alan, sıkıştırma ve işin elde edildiği genişleme stroklarını içermektedir. Burada elde edilen iş, toplam indike iş 'tir (şekil 29 'da A ve C alanları). Alt kapalı alan ise, emme ve egzoz stroklarını içermektedir. B ve C alanları motordan emme strokunda oluşan kayıp iş alanlardır ve bu iş emme işi olarak adlandırılır. Bu durumda net indike iş:

$$\omega_{net} = \omega_{top} - \omega_{emme}$$

emme işi aşırı doldurma sistemine sahip olmayan motorlarda negatif değer alır:

$$\omega_{net} = (A \text{ alanı}) - (B \text{ alanı})$$



Şekil 30. Aşırı doldurmalı 4 stroklu bir SI motorun P-V diyagramı.

Aşırı doldurmalı motorlarda emme basıncı, egzoz basıncından daha büyük değerler alır bu da pozitif bir emme basıncının olmasını sağlar:

$$\omega_{net} = (A \text{ alanı}) + (B \text{ alanı})$$

aşırı doldurma sistemleri net işin artmasını sağlarken sürütmelerle oluşan kayıpların artmasına da neden olurlar.

Krank milinden alınabilen yararlı iş olan efektif işin, indike işe oranı mekanik verimdir.

$$\eta_m = \omega_e / \omega_i = W_e / W_i$$

Günümüz motorlarında mekanik verim η_m , %75 ile % 95 arasında değişmektedir. Motor hızının düşmesi ve krank milinden alınan işin azalmasıyla mekanik verim de azalmaktadır.

ORTALAMA İNDİKE BASINÇ:

Şekil 29 'da da görülebileceği gibi silindir içindeki basınç, çevrim boyunca değişik değerler almaktadır. Ortalama yada ortalama efektif basınç (P_{em}) :

$$\omega = P_{im} \cdot \Delta v \quad \text{ya da} \quad P_{im} = \omega / \Delta v = W / V_h$$

$$\Delta v = v_{AÖN} - v_{ÜÖN}$$

Burada:

W : Çevrim başına iş

ω : Bir çevrimdeki özgül hacim

V_h : Strok hacmi

Motor hızı ve büyüklüğünden bağımsız olmasından dolayı ortalama efektif basınç, motorların karşılaştırılmasında önemli bir parametredir. Eğer karşılaştırma için moment kullanılırsa büyük motorun momenti her zaman daha büyütür. Eğer güç kullanılırsa hız önemli bir parametre haline gelir.

Efektif işin strok hacmine oranı ortalama efektif basıncı verir:

$$P_{em} = \omega_e / V_H$$

Modern KA motorlarda $P_{em} = (850 \text{ ile } 1050) \text{ kPa}$ arasında; SA motorlarında ise, 700 kPa ile 900 kPa arasında değerler almaktadır. Aşırı doldurmali motorlarda bu değer 1000 kPa ile 1200 kPa arasında değişir.

MOMENT ve GÜÇ:

Moment, motorun iş yapabilme yeteneğinin önemli bir göstergesidir. Belirli bir moment kolu uzaklığından etkiyen kuvvetin etkisi olarak tarif edilebilir. Buna göre:

$$2. \pi. M = W_e = P_{em} \cdot V_H / i$$

Burada:

W_e : Efektif iş

V_h : Strok hacmi

i : bir çevriminin tamamlanması için gereken dönüş sayısı.

4 stroklu bir motorda bir çevrim için motor iki dönüş yapar ($i=2$):

$$2.2. \pi. M = W_e = P_{em} \cdot V_H$$

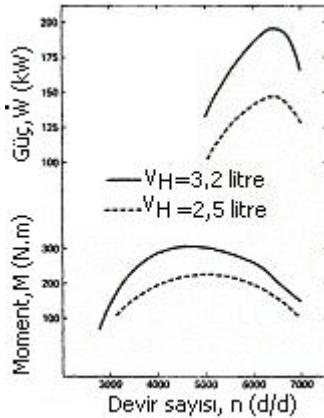
$$M = P_{em} \cdot V_H / 4. \pi$$

2 stroklu bir motorda her dönüş için bir çevrim tamamlanır ($i=1$):

$$2. \pi. M = W_e = P_{em} \cdot V_H$$

$$M = P_{em} \cdot V_H / 2 \cdot \pi$$

Modern otomobil motorlarında 4000 – 6000 d/d için maksimum 200 – 300 N.m arasında momentler oluşmaktadır.



Şekil 31. Tipik bir pistonlu motorda moment ve gücün devir sayısına göre değişimi.

Güç, birim zamanda motorun yaptığı iştir. Eğer $i =$ bir çevriminin tamamlanması için gereken dönüş sayısı ve $n =$ motor devir sayısı ise:

$$\dot{W} = W \cdot n / i$$

$$\dot{W} = 2 \cdot \pi \cdot M \cdot n / i$$

$$\dot{W} = (1/2 \cdot i) P_{im} \cdot A_p \cdot U_p$$

$$\dot{W} = P_{im} \cdot A_p \cdot U_p / 4 \quad \text{4-stroklu motor}$$

$$\dot{W} = P_{im} \cdot A_p \cdot U_p / 2 \quad \text{2-stroklu motor}$$

Burada:

W = çevrim başına iş

A_p = piston alanı

U_p = Ortalama piston hızı ($U_p = 2 \cdot S \cdot n$; S :strok, n :devir sayısı)

Güç için de; efektif güç, indike güç, emme gücü ve sürünenme gücü gibi tanımlamalar yapılabilir. Ayrıca:

$$\dot{W}_e = \eta_m \cdot \dot{W}_i$$

silindir başına motor gücü, birkaç Watt 'tan binlerce Watt 'a kadar değişebilmektedir. Modern otomobil motorlarında güç, genel olarak 40 – 220 kW (50 – 300 HP) arasında değişmektedir.

Moment ve hızın fonksiyonudur. Düşük hızlarda moment motor hızının artmasıyla yükselir. Motor hızının daha da yükselmesi durumunda moment bir maksimum noktaya ulaşır ve bu noktadan sonra Şekil 31' de görüldüğü gibi düşmeye başlar. İndike hızla birlikte sürekli olarak artar. Efektif güç ise belirli bir maksimum noktaya kadar yükselir ve

bu noktadan sonra düşmeye başlar. Bunun sebebi çok yüksek hızlarda sürtünme kayıplarının artması ve gücü belirlemede en önemli faktör haline gelmesidir. Çoğu otomobil motorunda maksimum efektif güç, 6000-7000 d/d arasında oluşur.

Motordan daha fazla güç elde edebilmek için strok, ortalama efektif basınç ve motor devri parametrelerinden birinin veya hepsinin arttırılması gereklidir. Strokun yükseltilmesi durumunda silindir içine girebilen yakıt miktarı artar. Ancak dizayn koşulları göz önünde bulundurularak strokun çok büyük olması istenmez. Bu yüzden modern otomobil motorlarının çoğu yüksek hızlarda çalışır ve küçük boyutludurlar. Bunun yanında ortalama efektif basıncı artırmak için genellikle aşırı doldurma uygulanır

BÖLÜM 2

MOTOR TERMODİNAMİĞİ

İÇTEN YANMALI MOTORLarda KULLANILAN ÇEVİRİMLER

Bilindiği gibi Otto motorunda ateşleme veya Diesel motorunda püskürtme olayları termodinamik bakımından en uygun noktada olması gereklidir. Ateşleme veya püskürtme sonucunda yakıt içinde gizlenmiş olan kimyasal enerji ısı enerjisi olarak çıkmaktadır. Meydana gelen bu ısı silindir içinde bazı gelişmelere neden olmaktadır, en azından silindir içinde bulunan iş gazının P, T gibi parametrelerin artmasına neden olur. Artmış olan basınç piston üzerine bir basınç kuvveti uygulamaktadır ve bunun sonucunda piston hareket eder ve bir iş almış oluruz. Ve yine daha önceki derslerimizden bildiğimiz gibi ısı ve iş arasındaki ilişkiyi inceleyen bilim dalına termodinamik denilmektedir. Madem ki bizim sistemde de ısı ve iş söz konusudur, motorlarda bir termodinamik sistemdir, ve bu yüzden bu sistemde de termodinamik biliminin tüm kanunları geçerlidir. Bunlar aslında doğanın iki temel kanunuudur.

- Termodinamiğin birinci kanuna göre enerji asla kaybolmaz, yalnız enerji bir şekilde başka bir şeyle dönüşmektedir. Bizim sistemde silindir içine yakıt olarak göndermiş olduğumuz kimyasal enerji mekanik enerjiye dönüşmüştür, ve kaybolmamıştır.
- Termodinamiğin ikinci kanununa göre, ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi için farklı sıcaklıklı iki ısı kaynağının gereksinim vardır. (Sıcak ve Soğuk) Çünkü bir enerji başka bir enerji türüne veya bir cisimden başka bir cisme geçebilmesi ancak bunlar arasında belirli bir potansiyel (seviye) olması halinde mümkündür. Bir termik makinenin çalışması için bu koşul gereklidir fakat yeter değildir. Çünkü farklı sıcaklıklı iki ısı kaynağının teması ile yüksek seviyeden düşük seviyeye doğru bir ısı akışı olur, fakat bir mekanik iş almak olası değildir. Isı enerjisinin bir kısmının mekanik işe dönüşmesi için iki ısı kaynağı arasında kapalı bir çevrim olması gereklidir. Bu kapalı çevrimi elde edebilmemiz için iki ısı kaynağı arasında bir iş maddesi veya iş gazı kullanılması ile mümkündür.

İçten yanmalı bir motordaki silindirin içinde gerçekleşen çevrim çok kompleks bir olaydır. Öncelikle, hava (SA motorda) veya hava-yakıt karışımı (KA motorda) silindire alınır ve az da olsa önceki çevrimde kalan egzoz gazları ile karışır. Bu karışım daha sonra sıkıştırılır ve yakılır; yanma sonundaki egzoz ürünleri büyük oranda CO_2 , H_2O , SO_2 ve N_2 ile diğer birçok düşük oranlı bileşikleri içerir. Genişleme strokun'dan sonra egzoz supabı açılarak karışım dışarı atılır. Gerçek çevrim bileşimlerin değiştiği için incelenmesi oldukça zordur. Motor

çevrimlerini daha başa çıkılabilir kılmak için gerçek motor çevrimi aşağıdaki kabullerle ideal bir standart-hava çevrimi haline basitleştirilir:

1. Silindire giren karışım çevrim boyunca ideal gaz gibi davranış ve özellikleri değişmez. Bu yaklaşım silindir içindeki karışımın tamamına yakınının hava olduğu (sadece %7'si yakıt.) çevrimin ilk yarısı için gayet uygundur. Hatta ikinci yarısında karışımın büyük çoğunlukla CO₂, H₂O ve N₂ gibi gazlardan oluşması durumunda bile büyük hatalar doğurmamaktadır çünkü hava sabit özgül ısiya sahip bir ideal gaz gibi davranmaktadır.
 - Gerçek açık çevrim, egzoz gazlarının tekrar sisteme alındığını kabul eden kapalı bir çevrim haline getirilmiştir, yani aynı miktardaki iş gazı sonsuz sayıda çevrimi gerçekleştirilebilir ve miktar olarak değişmez ($m=sabit$). Bu kabul giren ve çıkan gazların hava olduğu ideal standart-hava çevrimleriyle uygundur. Çevrimin kapalı hale getirilmesi çevrim analizini basitleştirmektedir
 - Yanma, Otto çevriminde sabit hacimde, Diesel çevriminde sabit basınçta ve karışık çevrimde hem sabit basınç hem sabit hacimde gerçekleşmektedir ve yanma prosesi yerine enerji olarak ısı sokumu Q_1 kullanılır.
 - Sistem dışına büyük bir entalpi'yi atan egzoz sürecinin kapalı çevrimde enerji karşılığı olan, sistemden bir ısı çıkışı Q_2 olarak gösterilmiştir.
 - Çevrimler tersinirdirler ve kullanılan sistemin cidarları ısı geçirmezdir (ısı transferine izin vermez) Bunun sonucunda sıkıştırma ve genişleme süreçleri izantropiktir. Bu süreçlerin其实 izantropik olabilmeleri için çevrimin tersinir ve adyabatik olması gerekmektedir. Piston ve silindirler arasında normal çalışmada sürtünmeler bulunmaktadır. Bu elemanların yüzeylerinin çok iyi işlenmesi ve yağlanması sayesinde sürtünmeler minimumda tutulmakta ve bu yüzden sürtünmesiz ve tersinir olarak kabul edilebilmektedir. Sürtünmeler daha yüksek olsaydı otomobil motorları günümüzde çalışabildikleri 400-1000 bin km den çok önce aşınırıdı. Ayrıca silindir içindeki gaz hareketlerinden doğan sürtünmeler çok küçütür. Her strok için geçen sürede oluşacak ısı transferini ihmal edilebilecek seviyede tutmaktadır. Böylece sıkıştırma ve genişleme süreçlerinin neredeyse adyabatik ve tersinir olarak kabul edilmesi oldukça doğru bir yaklaşımdır.
 - Sabite yakın basınçtaki emme stroku ve egzoz strokunun sabit basınçta olduğu kabul edilmiştir. Emme ve egzoz basıncının atmosfer basıncına eşit ($P_0 = 1 \text{ atm}$) olduğu ve gaz kelebeğinin kısık olması veya aşırı doldurma yapılması durumlarda P_0 dan farklı ve sabit bir değer olduğu kabul edilmiştir.

Standart hava çevrimlerinde hava aşağıdaki bağıntıların uygulanıldığı bir ideal gaz olarak kabul edilmiştir:

$$P.v = R.T$$

$$P.V = m.R.T$$

$$P = \rho.R.T$$

$$dh = c_p.dT$$

$$du = c_v.dT$$

$$P.v^k = \text{sabit} \quad \text{izantropik (adiabatik) süreç için}$$

$$T.v^{k-1} = \text{sabit} \quad \text{izantropik (adiabatik) süreç için}$$

$$T.P^{(k-1)/k} = \text{sabit} \quad (\text{izantropik süreç için})$$

$$\omega_{1-2} = (P_2.v_2 - P_1.v_1)/(k-1) = R.(T_2 - T_1)/(k-1) \quad (\text{kapalı çevrimde izantropik iş})$$

$$c = \sqrt{k.R.T} \quad (\text{ses hızı})$$

Burada:

P = silindir basıncı (kPa)

V = silindir hacmi (m^3)

v = özgül hacim (m^3/kg)

R = havanın gaz sabiti (kJ/kg.K)

T = sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$ veya K)

m = kütle (kg)

ρ = yoğunluk (kg/m^3)

h = özgül entalpi (kJ/kg)

u = özgül iç enerji (kJ/kg)

c_p, c_v = özgül ıslar (kJ/kg.K)

$k = c_p / c_v$

ω = özgül iş (kJ/kg)

c = ses hızı (m/s)

Ayrıca bunlara ek olarak termodinamik çevrim analizlerinde aşağıdaki semboller kullanılmıştır:

AF = hava-yakıt oranı

\dot{m} = kütle debisi (kg/s)

q = bir çevrimde kütle başına ısı transferi (kJ/kg)

\dot{q} = birim zamanda birim kütle için ısı transferi (kW/kg)

Q = bir çevrim için ısı transferi (kJ)

\dot{Q} = birim zamanda ısı transferi (kW)

Q_{HV} = yakıtın ısıl değeri (kJ/kg)

ϵ = sıkıştırma oranı

L = bir çevrim için toplam iş (kJ)

W = güç (kW)

η_y = yanma verimi

Ayrıca :

h = hava

y = yakıt

eg = egzoz

M = gazların karışımı ‘ ni temsil etmektedir.

Termodinamik analizlerde, havanın özgül ısları gerçekte oldukları gibi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ya da hesapları basitleştirmek için küçük hata oranlarıyla sabit olarak kullanılabilirler. Ayrıca adyabatik üs k da düşük sıcaklıklarla yüksek sıcaklıklar arasında farklılıklar göstermektedir. Emme strokundaki düşük sıcaklıkta adyabatik üssün değeri $k=1.4$ iken yüksek sıcaklıktaki yanmanın sonunda $k=1.3$ almak daha doğrudur. Analizde bu iki uç değerin ortalaması alınacaktır. Buna göre analiz sırasında:

$$c_p = 1.108 \text{ kJ/kg.K}$$

$$c_v = 0.821 \text{ kJ/kg.K}$$

$$k = c_p/c_v = 1.108 / 0.821 = 1.35$$

$$R = c_p - c_v = 0.287 \text{ kJ/kg.K}$$

Hava motora alınmadan önce genellikle standart sıcaklığa yakındır. Bu nedenle emme havası için adyabatik üs $k=1.4$ alınması uygundur. Havanın bu şartları için aşağıdaki özellikler kullanılmıştır:

$$c_p = 1.005 \text{ kJ/kg.K}$$

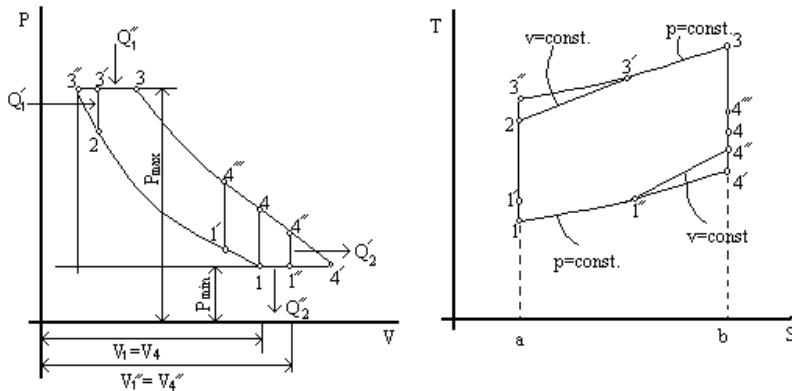
$$c_v = 0.718 \text{ kJ/kg.K}$$

$$k = c_p/c_v = 1.005 / 0.718 = 1.40$$

$$R = c_p - c_v = 0.287 \text{ kJ/kg.K}$$

3-İÇTEN YANMALI MOTORUN GENEL ÇEVİRİMİ

Kolaylık amacıyla önce genel çevrim analiz edilecektir daha sonra diğer çevrimlere geçilecektir, çünkü diğer çevrimler bu çevrimin özel halleri dirler.



Şekil 1

Farklı çevrimlerin, farklı boyutlardaki motorlarda karşılaştırılması için birim hacmin işine göre karşılaştırma yapmak alışagelmiştir.

$$V_H = V_{\max} - V_{\min}$$

V_{\max} - İş gazının alabildiği maksimum hacim (Piston AÖN'da)

V_{\min} - İş gazının alabildiği minimum hacim (Piston ÜÖN'da)

$$V_H - \text{Piston strok hacmi}$$

Çevrim işine (L_c) karşı gelen diagram alanı tabanı ($V_{\max} - V_{\min}$) olan bir dikdörtgen ile değiştirilebilir. Bu durumda dikdörtgenin yüksekliği ,

$$P_c = \frac{L_c}{V_{\max} - V_{\min}} \text{ (kg/m}^2\text{); (kN/m}^2\text{)}$$

P_c - özgül işi gösterir, yani birim hacim işidir.

Yukardaki denklemden görülmüyor ki özgül iş (P_c) birimi bir basınç eşittir, ki bu basınç silindir hacmi V_{\max} 'tan V_{\min} 'e kadar değişimi kadar bir süre için pistona etki etmektedir . Bu özgül işe çevrimin ortalama indirek basıncı denir ve P_{oi} ile gösterilir.

Bir çevrimin(ideal çevrim) ekonomikliği termik verimle tarif edilir.

$$\eta_t = \frac{L_{\text{ç}}}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad \eta_t = \text{Termik verim}$$

$L_{\text{ç}}$ = İşe dönüşmüş olan ısı

Q_1 = Çevrime sokulan ısı

Çoğu kez maksimum verim ve maksimum özgül iş aynı noktada buluşmaz.

Bu tanımlamalardan sonra artık karışık çevrimin termodinamik analizine geçebiliriz.

Şekil 1'de bu çevrimin P-V ve T-S diagramları görülmektedir.

Bu çevrimde ısı sokumu ardarda iki ayrı süreçte olmaktadır:

(1-2) - İzantropik (Adiyabatik) sıkıştırma

(2-3') - Sabit hacimde ısı sokumu (Q_1')

(3'-3) - Sabit basınçta ısı sokumu (Q_1'')

(3-4'') - İzantropik (Adiyabatik) genişleme

(4''-1'') - Sabit hacimde (Q_2') ısısı dışarıya alınıyor.

(1''-1) - Sabit basınçta (Q_2'') ısısı dışarıya alınıyor.

Daha önce de bahsettiğimiz gibi bir çevrimin verimliliğini artırmak için iş maddesinin durum değiştirme şartlarını arttırmamız gereklidir.(R,V,T)

Pratik olarak uygulanan çevrimlerin basınç , hacim ve sıcaklık değişimi aşağıdaki koşullara bağlıdır;

- En düşük basınç (P_{\min}) ancak ortam basıncı kadar olabilir ki silindir içindeki gazlar dış ortama atılabilisin.
- Maksimum basınç (P_{\max}) malzeme ve teknolojinin gelişmesine bağlıdır , malzemenin mukavemeti , özgül ağırlığı gibi.
- Minimum hacim (V_{\min}) ise sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkların artma hızı ile sınırlanmıştır.Aynı zamanda gerçek çevrimlerde yüksek sıkıştırma oranlarında kayıplar arttığından minimum hacmi ise sınırlanmış olmaktadır.
- Bunun dışında hava-yakit karışımı bir arada sıkıştırılan motorlarda çok küçük hacimleri istemeyiz , çünkü bu durumda yakıt kendi kendine tutuşma sıcaklığına erişir ve istenmeyen bir anda yanma olabilir.

Mümkün olan maksimum çalışma hacmi 4' noktasına kadardır, yani silindirdeki genişleme P_{\min} basıncına kadar gerçekleşir.Bu durumda çevrimin termik verimi artar, fakat hacmin

büyümesi ile çevrimin ortalama indike basıncı hızla düşer.

Pratik olarak gerçekleşen çevrimlerde gerçek süreçlerdeki sürtünme kayıpları V_{max} ile V_{min} arasındaki fark arttıkça artmaktadır ve hacim büyümesinden kazanılan iş bunu karşılayamamaktadır. Bu da silindir hacminin (strokun) büyümesinin gereksiz olduğunu gösterir.

İçten yanmalı pistonlu makinalarda çevrim 123'341 şeklinde gerçekleşir. Bu durumda genişleme 4 noktasında biter. Ortalama indike basıncı biraz daha arttırabilmek için genişleme strokunu 4''' noktasında bitirebiliriz, bu durumda sıkıştırma başlangıcı 1' noktasında olur, başka bir değişle sıkıştırma başlangıcı basıncı ortam basıncından daha yüksektir. Gerçek motorda ise bu daha önceden havayı sıkıştırarak silindire vermekle gerçekleşir.

Ortalama indike basıncı yükseltmek amacı ile V_{max} küçültmek sonucunda, çevrimin termik verimi (T-S) diagramından 144''1'' alanı ile orantılı olarak düşer. Bu aslında tam genişleme olmamasından kaynaklanıyor. Eksik genişlemeden dolayı meydana gelen ısı kaybını önleyebilmek için, bu ısıyı, başka bir makinada (gaz turbininde) tam genişleme yaparak geri kazanabiliriz ki bu tip makinada V_{max} artması ile kayıplar meydana gelmez, bu yüzden böyle bir sistemin termik verimi aynı V_{max} genişlemeli içten yanmalı pistonlu bir motordan daha yüksektir.

Yukarda bahsedilen nedenlerden dolayı motor çevrimi çok büyük hacim genişlemelerine kadar yapılmaz, belirli bir yerde kesilir ve çevrimden ısı sabit hacimde dışarıya alınır.

3.1-Çevrimin Termik Verim Hesabı

Sisteme sokulan ısı : $Q_1 \frac{kj}{kg}$ 1 kg. iş maddesinin yaptığı iş olarak ;

$$Q_1 = C_v \cdot (T_3' - T_2) + C_p \cdot (T_3 - T_3') \quad (\frac{kj}{kg})$$

T-S diagramında $Q_1 \Rightarrow a123'34''b$ alanıdır.

Sistemden mutlak miktarda çekilen ısı ;

$$|Q_2| = C_v (T_4'' - T_1'') + C_p (T_1'' - T_1) \left(\frac{kg}{kg}\right)$$

T-s diagramında $|Q_2| \Rightarrow a11''4''b$ alanıdır.

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Cv(T_4'' - T_2'') + Cp(T_1'' - T_1)}{Cv(T_3'' - T_2) + Cp(T_3 - T_3')}$$

T-S diagramından

$$\eta_t = 1 - \frac{a11''4''b(alan)}{a123'34''b(alan)} \text{ dir.}$$

$$\text{Burda } \varepsilon = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{sıkıştırma oranı}$$

$$\rho = \frac{P_3}{P_2} = \frac{P_3'}{P_2} \quad \text{basınç artma oranı veya patlama oranı}$$

$$\epsilon_g = \frac{V_3}{V_3'} = \frac{V_3}{V_2} \quad \text{ön genişleme oranı}$$

$$\delta = \frac{V_4''}{V_3} \quad \text{genişleme oranı}$$

$$\epsilon_n = \frac{V_4''}{V_1} = \frac{V_1''}{V_1} \quad \text{ön sıkıştırma oranı , p=sabit ve sistemden}$$

Q_2'' ısısı çekilmektedir.

Termik verimi veren ifadeyi çıkartabilmek için , formüldeki sıcaklıkları sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklığı (T_1) cinsinden yazalım.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$T_3' = T_2 \cdot \frac{P_3'}{P_2} = T_2 \cdot \rho = T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$T_3 = T_3' \cdot \frac{V_3}{V_{3'}} = T_3' \cdot \varepsilon_g = T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon_g \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$T_4'' = T_3 \left(\frac{V_3}{V_{4''}} \right)^{k-1} = T_3 \cdot \frac{1}{\delta^{(k-1)}} = \frac{T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon^{(k-1)} \cdot \varepsilon_g}{\delta^{(k-1)}}$$

$$T_4'' = T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon_g \left(\frac{\varepsilon}{\delta} \right)^{k-1}$$

$$\frac{\varepsilon}{\delta} = \frac{V_1}{V_2} \cdot \frac{V_3}{V_{4''}} = \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_n}$$

$$T_4'' = T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon_g \cdot \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_n} \right)^{k-1}$$

$$T_1'' = T_1 \cdot \frac{V_{1''}}{V_1} = T_1 \cdot \varepsilon_n$$

$$\frac{C_p}{C_v} = k$$

$$\eta_t = 1 - \frac{Cv[(T_{4''}-T_{1''})+k(T_{1''}-T_1)]}{Cv[(T_3-T_2)+k(T_3-T_{3'})]}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon_g \cdot \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_n} \right)^{k-1} - T_1 \cdot \varepsilon_n + k(T_1 \cdot \varepsilon_n - T_1)}{T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon^{k-1} - T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} + k(T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon_g \cdot \varepsilon^{k-1} - T_1 \cdot \rho \cdot \varepsilon^{k-1})}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_n (\rho \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_n} \right)^k - 1) + k(\varepsilon_n - 1)}{\rho - 1 + k\rho(\varepsilon_g - 1)}$$

Çevrimin özgül işi veya ortalama indike basıncı ise şu şekilde bulunabilir;

$$P_q = \frac{L_q}{V_{1'} - V_2}$$

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{L_q}{Q_1} \rightarrow L_q = \eta_t \cdot Q_1 = \eta_t \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot [\rho - 1 + k \cdot \rho(\varepsilon_g - 1)]$$

$$V_1' - V_2 = V_2 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) = V_2 (\varepsilon_n \cdot \varepsilon - 1) = \frac{V_1}{\varepsilon} \cdot (\varepsilon_n \cdot \varepsilon - 1)$$

$$L_g = C_v \cdot \frac{T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot \varepsilon}{V_1 (\varepsilon_n \cdot \varepsilon - 1)} \cdot \eta_t [\rho - 1 + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1)]$$

$$C_v = \frac{R}{k-1} \quad P_i = \frac{R \cdot T_1}{V_1}$$

$$P_c = P_{oi} = \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon_n \cdot \varepsilon - 1} \frac{P_1}{k-1} \eta_t (\rho - 1 + k \rho (\varepsilon_g - 1))$$

İçten yanmalı motorlarda kullanılan çevrimler, genelleştirilmiş çevrimin özel hali olarak düşünülebilir.

Onlar şu üç çevrim olmaktadır:

1-) Sabit hacimde ısı sokumu ve ısı alınması (Otto çevrimi)

$\varepsilon_g = 1$, $\varepsilon_n = 1$ olacaktır.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho' \left[\rho \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_n} \right)^k - 1 \right] + k(\rho' - 1)}{\rho - 1 + k \cdot \rho (\varepsilon_g - 1)} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$P_c = \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \cdot \eta_t \cdot (\rho - 1)$$

2-) Sabit basınçta ısı sokumu ve sabit hacimde ısı alınması halinde (Diesel çevrimi)

$\rho = 1$, $\varepsilon_n = 1$ olacaktır.

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)}$$

$$P_f = \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot \eta_t \cdot k(\varepsilon_g - 1)$$

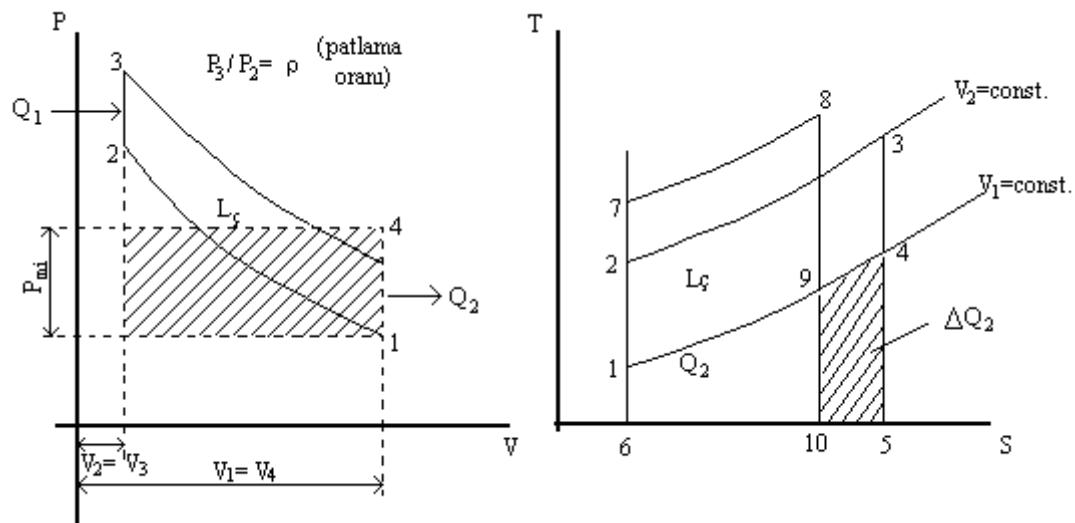
3-) kısmen sabit hacimde ve kısmen sabit basınçta ısı sokumu ve sabit hacimde ısı alınması halinde Seilinger çevrimi)

$$\varepsilon_n = 1$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \cdot \varepsilon_g^k - 1}{\rho - 1 + k \cdot \rho(\varepsilon_g - 1)}$$

$$P_f = \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot \eta_t \cdot [\rho - 1 + k \cdot \rho(\varepsilon_g - 1)]$$

4- OTTO ÇEVRİMİ (Sabit Hacimde Isı Sokumlu Çevrim)(1876)



Şekil 2

Otto çevrimi, çoğu otomobillerde ve diğer 4-stroklı kivılçım ateşlemeli (SI) pistonlu motorlarda kullanılan ideal çevrimidir. Fransız bilim adamı Beau de Rochas tarafından önerilen çevrimi kullanarak 1876 'da ilk dört stroklı motoru başarıyla gerçekleştiren Nikolaus A. Otto 'nun adını taşımaktadır.

Otto çevriminin emme stroku piston üst ölü noktada (ÜÖN) iken başlar ve emme basıncı P_0 'dır. Emme strokunda hava sıcak emme manifoldundan geçikçe sıcaklığı artmaktadır.¹ noktasındaki sıcaklık genellikle dış hava sıcaklığından 25-35 °C kadar yüksektir.

Çevrimin ikinci stroku alt ölü noktadan (AÖN) üst ölü noktaya (ÜÖN) kadar süren izantropik sıkıştırma strokudur. Sıkıştırma stroku sırasında basınçla birlikte sıcaklı da artmaktadır.

Sıkıştırma strokunu ÜÖN 'daki sabit hacimdeki ısı sokumu (2-3) takip etmektedir. Bu süreç gerçek çevrimdeki yanma olayını temsil etmektedir. Yanma ya da ısı sokumu süresince büyük miktarda enerji silindirdeki havaya geçmektedir. Bu enerji sıcaklığı çok yüksek değerlere çıkmakta ve böylece çevrimin sıcaklık tepe noktası 3 noktasında oluşmaktadır. Sabit hacimdeki sıcaklık artışıyla birlikte basınç da çok yükselmekte ve çevrimin basınç tepe noktası da 3 olmaktadır.

Sistemin ÜÖN 'daki yüksek basınç ve entalpi değerleri genişleme (veya güç stroku) strokunu oluşturmaktadır (3-4). Piston yüzeyindeki yüksek basınç burada kuvvet oluşturmakta ve pistonu AÖN 'ya doğru harekete zorlamaktadır. Pistonun bu hareketiyle motorun iş ve güç çıktısı üretilmektedir. Genişleme strokunda sıcaklık ve basınç düşmekte ve hacim ÜÖN 'dan AÖN 'ya yükselmektedir.

Gerçek çevrimde genişleme strokunun sonlarına doğru egzoz sübabı açılmakta ve büyük miktarda egzoz gazı silindirden atılmakta bununla birlikte silindir basıncı da egzoz manifoldu basıncına düşmektedir. Otto çevriminde bu durum sabit hacimdeki basınç düşüşü olarak kabul edilmiştir ve 4-1 arası sabit hacimde Q_2 ısısı sistem çekilir 1 noktasına gelinir. Bu sırada silindir basıncı yaklaşık olarak ortam basıncına (P_0) ve sıcaklık da genişlemedeki soğumayla büyük oranda düşmüştür.

4-stroklı çevrimin son stroku piston AÖN 'dan ÜÖN 'ya ilerlerken oluşur ve egzoz sübabinin açık olmasından dolayı egzoz stroku sabit basınçta gerçekleşir.

Egzost strokundan sonra piston tekrar ÜÖN dadır ve motor (krank mili) iki dönüş yapmıştır. Bu aşamadan sonra egzoz supabı kapanır, emme supabı açılır ve yeni çevrim başlar.

Otto çevriminin analizi sırasında işlemleri silindir içi birim kütle için yapmak daha doğru olacaktır. Şekil 2'de Otto çevriminin P - v ve T - s diyagramlarını göstermektedir. (Emme ve egzost süreçlerinin termodinamik analizlerde incelenmesine gerek yoktur.)

a) Çevrimin Termik Veriminin Hesaplanması

$$Q_1 = Q_{23} = c_v \cdot (T_3 - T_2) \cdot m \quad m = \text{iş gazı kütlesi}$$

$$Q_2 = Q_{41} = c_v \cdot (T_4 - T_1) \cdot m \quad m = \text{iş gazı kütlesi}$$

$$L_c = Q_1 - Q_2 \text{ (kJoule)}$$

$$\eta_t = \frac{L_c}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1) \cdot m}{c_v(T_3 - T_2) \cdot m} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4}{T_3} \cdot \frac{\left(1 - \frac{T_1}{T_4}\right)}{\left(1 - \frac{T_2}{T_3}\right)}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = ? \quad P_3 \cdot V_3^k = P_4 \cdot V_4^k \quad P_4 \cdot V_4 = m \cdot R \cdot T_4 \quad \text{ve} \quad P_3 \cdot V_3 = m \cdot R \cdot T_3 \quad \text{denklemleri}$$

taraf tarafa böllerek

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^k \quad \frac{P_4}{P_3} \cdot \frac{V_4}{V_3} = \frac{T_4}{T_3} \quad \left\} \quad \frac{V_4}{V_3} = \varepsilon$$

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k \quad \frac{T_4}{T_3} = \frac{P_4}{P_3} \cdot \varepsilon$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{1}{\varepsilon}\right)^k \cdot \varepsilon \Rightarrow \frac{1}{\varepsilon^k} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{-1}} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \frac{T_4}{T_3} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\frac{1 - \frac{T_1}{T_4}}{1 - \frac{T_2}{T_3}} = ? \quad T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}, \quad T_3 = T_4 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$\frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4} \cdot \frac{\varepsilon^{k-1}}{\varepsilon^{k-1}} = \frac{T_1}{T_4}$$

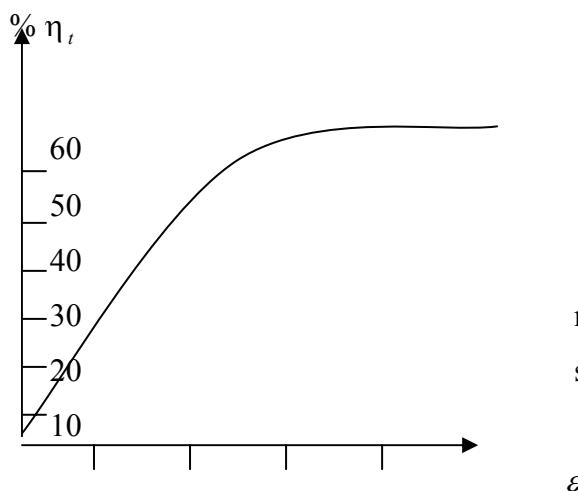
$$\frac{1 - \frac{T_1}{T_4}}{1 - \frac{T_2}{T_3}} = 1$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_4}{T_3} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \Rightarrow \quad \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

Formülden de kolayca görülebildiği gibi çevrimin termik verimi yalnız sıkıştırma oranının ve adiabatik üstün fonksiyonudur.

$$\eta_t = f(\varepsilon, k)$$

Eğer adiabatik üstü (k) sabit kabul edersek termik verim yalnız sıkıştırma oranının bir fonksiyonudur. Denklemden görüldüğü gibi sıkıştırma oranı arttıkça verim artmaktadır. Bununla birlikte çevrimin yaptığı faydalı işte artmaktadır. Bu özellikle $\varepsilon = 10 \div 12$ kadar çok hızlı artar, fakat bundan sonra yükselme hızı azalır ve yaklaşık olarak $\varepsilon = 10$ mertebesinde hemen hemen sabit kalmaktadır.



Bu şekilde termik veriminin sıkıştırma oranına bağımlılığını göstermektedir. Görüldüğü gibi $\varepsilon = 10 \div 12$ sıkıştırma oranlarından daha yüksek sıkıştırma oranlarının uygulanması, özellikle Otto motorlarında pek uygun değildir. Yüksek sıkıştırma oranlarınd

Şek.3

$P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^k$ formülüne uygun olarak sıkıştırma sonu basınçlar çok artacak bunun sonucunda sürtünen elemanlar üzerindeki maksimum basınç artar ve bunun sonucu olarak da sürtünen

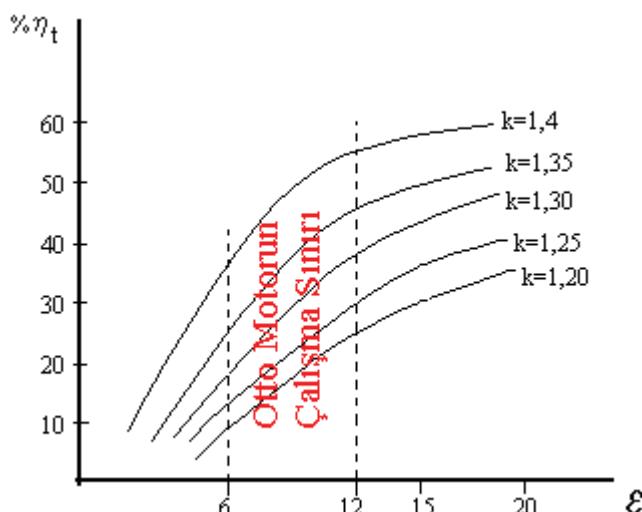
elemanlar üzerindeki kuvvetler artar ve bu sürtünmeyi yenmek için daha fazla iş harcanır. $\varepsilon > 10 \div 12$ için bu iş daha fazla olur, hatta sıkıştırma oranının artması sonucunda meydana gelen faydalı iş artması bu kayıp işi telafi edememektedir.

Bunun dışında Otto motorlarında emilen hava-yakıt karışımıdır. Eğer bu karışım yüksek sıkıştırma oranına maruz kalırsa $T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$ formülüne uygun olarak sıkıştırma sonu sıcaklığı çok hızlı artar ve karışım,piston henüz Ü.Ö.N. ya varmadan önce kendi kendine (buji çakmadan) tutuşabilir ve bunun sonucunda basınç hızla yükselir ve pistona ters darbe uygulanabilir.Daha önemli olan ise sıkıştırma oranının yüksek olması sonucunda vuruntu meydana gelebilir.Bunun sonucu motor güçten düşer , yakıt harcamı artar ve motor aşırı ısınır.Otto motorlarında sıkıştırma oranının sınırlı kalmasının en önemli etkisi bu olmaktadır.

Vuruntu dediğimiz olay kullanılan yakıtında fonksiyonudur , bu yüzden farklı yakıtlarda sınır sıkıştırma oranı farklı olabilir.

Formülden şu sonucu çıkarabiliriz , termik verim birim iş maddesine verilen ısının ve bu maddenin ilk temperatörünün fonksiyonu değildir.

Çevrimin T-s diagramını çizerek yüksek sıkıştırma oranlarının üstünlüklerini daha rahat görebiliyoruz.Sıkıştırma oranı daha yüksek olan ve yine Q_1 ısı sokumu olan başka bir çevrim aynı diagrama çizilmiş olsun.4,5,10,9 arasında kalan taramış alan ΔQ_2 gösterir.Bu da ikinci çevrimde ΔQ_2 kadar daha az ısı dışarıya atıldığını gösterir.Dolayısıyla çevrimde ΔQ_2 kadar daha fazla ısı mekanik işe dönüşüyor demektir , yani çevrimin termik verimi artmaktadır.



Şekil 4

k-Adiabat üstü de iş gazına bağlıdır. İki atomlu gazlar (oksijen , azot , CO gibi) üç atomlu gazlardan (su buharı , CO₂ gibi) daha yüksek adiabatik üste sahiptirler. Hava için k=1,4 tür. Bu yüzden yanın veya yanmış gazların çalışma esnasında değişmesi ile adiabat üstü de değişir , bunun sonucunda çevrimin termik verimi de değişir.

$\varepsilon \rightarrow$ Benzin motorunda 6,5 ÷ 11 alınır.

4.1-Otto Çevrimin Ortalama İndike Basıncı (P_{mi})

Çevrim işine (L_c) karşı gelen diagram alanı tabanı (V₁ – V₂ = V_H) olan bir dikörtgenle değiştirilebilir. Bu durumda dikörtgenin yüksekliği;

$$P_{mi} = \frac{L_c}{V_1 - V_2} \left(\frac{kN.m}{m^3} = k \sqrt[m]{m^2} \right) \text{ olur.}$$

P_{mi} = Özgül işi gösterir , yani birim hacmin yaptığı işi gösterir.

Denklemden görüyoruz ki özgül iş birimi bir basınç birimine eşittir ki bu basınç silindir hacmi V₁ den V₂ değişimi kadar bir süre için pistona etki etmektedir. Bu özgül işe çevrimin ortalama indike basıncı denilmesi alışagelmiştir.

$$P_{mi} = \frac{L_c}{V_1 - V_2} \quad Q_1 - Q_2 = L_c$$

$$\eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{L_c}{Q_1} \Rightarrow L_c = \eta_t \cdot Q_1$$

$$Q_1 = m.c_v.(T_3 - T_2) = m.c_v.T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) = m.c_v.T_2.(\rho - 1)$$

$$P_{mi} = \frac{L_c}{V_1 - V_2} = \eta_t \cdot \frac{m.c_v.T_2.(\rho - 1)}{V_2 \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right)} = \eta_t \cdot \frac{c_v.m.T_2.\varepsilon^{k-1}.(\rho - 1)}{V_2 \sqrt[k]{\varepsilon} \cdot (\varepsilon - 1)}$$

$$m.T_1.R = P_1.V_1 \Rightarrow \frac{m.T_1}{V_1} = \frac{P_1}{R}$$

$$c_v = \frac{R}{k-1} \quad \left\{ \begin{array}{l} c_p - c_v = R \\ c_p = R + c_v \end{array} \right\} \quad \frac{c_p}{c_v} = k = \frac{R + c_v}{c_v} \quad k.c_v - c_v = R \quad c_v = \frac{R}{k-1}$$

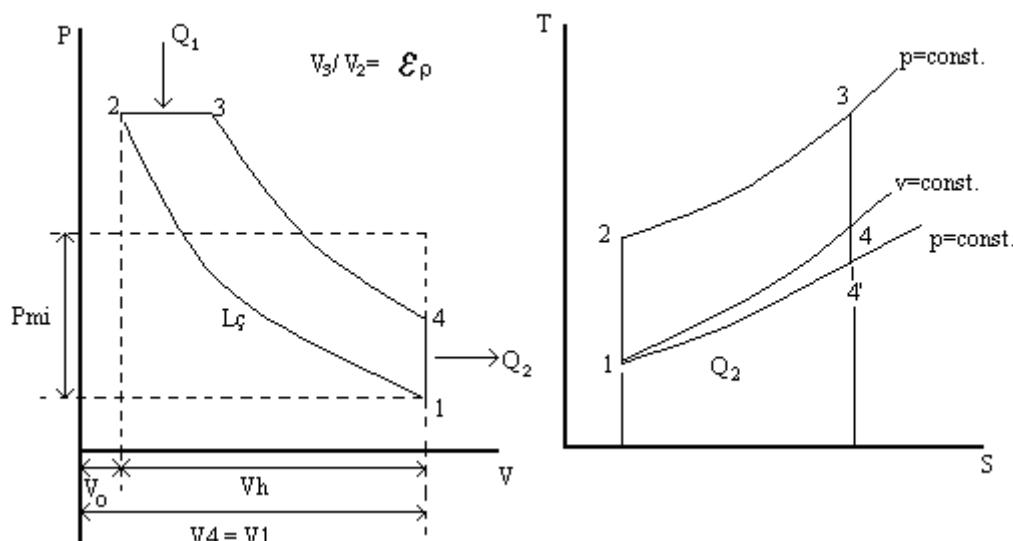
$$P_{mi} = \eta_t \cdot \frac{R}{k-1} \cdot \frac{P_1}{R} \cdot \frac{\varepsilon^{k-1}}{\frac{1}{\varepsilon} \cdot (\varepsilon - 1)} \cdot (\rho - 1)$$

$$P_{mi} = \eta_t \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \cdot (\rho - 1)$$

$$P_1 = \text{N/m}^2, \text{ kN/m}^2, \text{ MN/m}^2$$

ρ = (2÷4) arasındadır.

5. DIESEL ÇEVİRİMİ (Sabit Basıncıta Isı Sokumlu Çevrim)(1893)



Şekil 7

Diesel çevrimi sıkıştırma ateşlemeli motorlar için ideal çevirimdir. 1890 'lı yıllarda Rudolph Diesel tarafından geliştirilen sıkıştırma ateşlemeli motor, daha önce incelenen kivircim ateşlemeli motora çok benzerdir, sadece yanmanın başlatılması farklı bir yolla gerçekleşir. Kivircim ateşlemeli motorlarda, diğer adıyla bezin motorlarında yakıt-hava karışımı, yakıtın tutuşma sıcaklığının altında bir sıcaklığa kadar sıkıştırılır ve yanma işlemi bujide oluşturulan bir kivircimla başlanır. Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda, diğer adıyla diesel motorlarında hava, yakıtın tutuşma sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar sıkıştırılır ve püskürtülen yakıtın sıcak havayla teması sonucu yanma başlar.

Sabit hacimde ısı sokumlu ideal çevrimde sıkıştırma oranı belirli bir değerin üstüne vurunu olayından dolayı çıkamamaktadır .Bu yüzden bu motorun termik verimi çok yüksek değildir.Verimi yükseltebilmek için hava-yakıt karışımı sıkıştırmaktan vazgeçilmiş ve yalnız

hava sıkıştırma ile daha yüksek sıkıştırma oranlarına ve daha yüksek termik verimlere ulaşılmıştır. Bu çevrimlerde ısı sabit basınçta sokulur. Isı sokumu yani silindire yakıtın gönderilmesi daha önceden sıkıştırılmış olan hava yardımı ile enjektörden olur. Yakıt sıkıştırılmış havanın yüksek sıcaklığı sonucu kendi kendine tutuşur.

SI motorlarında sıkıştırma strokunda yakıt-hava karışımı sıkıştırılır ve sıkıştırma oranı, kendiliğinde tutuşma ve vuruntunun başlamasıyla sınırlıdır. Diesel motorlarında sıkıştırma işlemi sırasında sadece hava bulunduğuundan yakıtın kendiliğinden tutuşması söz konusu değildir. Bu nedenle diesel motorlarında çok daha yüksek sıkıştırma oranlarıyla (genellikle 12 ile 24 arasında) çalışabilirler. Yüksek sıkıştırma orANIyla çalışabilmenin yanında başka yararları da vardır. Çevresel açıdan benzine getirilen kısıtlamalar bu motorlarda söz konusu değildir çünkü bu motorlarda daha az damıtılmış (ve daha ucuz) yakıtlar kullanılabilir.

Sıkıştırma ateşlemeli motorlarda yakıt silindire sıkıştırma strokunun sonunda püskürtmekte Diesel motorlarında yakıt püskürtmesi, piston ÜÖN 'ya yaklaşırken başlar ve genişleme strokunun ilk kısmında devam eder. Bu nedenle yanma daha uzun sürede gerçekleşir. Yanmanın uzun sürmesinden dolayı diesel çevrimindeki yanma işlemi, sisteme sabit basınçta ısı sokumu olarak düşünülür. (Şekil 7) Bu süreç Otto ve Diesel çevrimleri arasındaki en önemli faktır.

Çevrim şu şekilde oluşur ;

1 noktasında atmosfer koşullardaki iş gazı sırası ile :

1-2 adiabatik sıkıştırma

2-3 Q₁ ıSıSı sabit basınçta sokulur

3-4 adiabatik genişleme

4-1 Q₂ ıSıSı sabit hacimde dışarı alınır.

1,2,3,4 noktaların durum parametreleri verilmiş olsun.

$$1 \text{ nokta } P_1, V_1, T_1 \quad P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_1^k$$

$$2 \text{ nokta } P_2, V_2, T_2 \quad P_3 \cdot V_3^k = P_4 \cdot V_4^k$$

$$3 \text{ nokta } P_3, V_3, T_3$$

$$4 \text{ nokta } P_4, V_4, T_4$$

$$L_{\mathfrak{q}} = Q_1 - Q_2 ; \quad \eta_{\mathfrak{t}} = \frac{L_q}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$Q_1 = c_p \cdot (T_3 - T_2) \quad \frac{c_v}{c_p} = \frac{1}{k}$$

$$Q_2 = c_v \cdot (T_4 - T_1)$$

$$\eta_{\mathfrak{t}} = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{\left(\frac{T_4}{T_2} - \frac{T_1}{T_2}\right)}{k\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

$$\varepsilon = \frac{V_1}{V_2} , \quad \varepsilon_g = \frac{V_3}{V_2} \text{ (ön genişleme oranı)}$$

$$\frac{T_4}{T_2} = ? \quad \frac{P_4 \cdot V_4 = m \cdot R \cdot T_4}{P_1 \cdot V_1 = m \cdot R \cdot T_1} \rightarrow \frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} , \quad T_1 \frac{T_2}{\varepsilon^{k-1}} , \quad \frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_2 \cancel{\varepsilon}^{k-1}}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{P_4}{P_1} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\cancel{\frac{P_4 \cdot V_4^k}{P_1 \cdot V_1^k} = P_3 \cdot V_3^k} \rightarrow \frac{P_4}{P_1} = \left(\frac{V_3}{V_2}\right)^k = \varepsilon_g^k$$

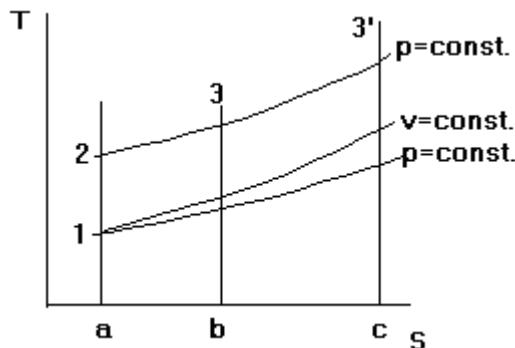
$$\text{yerine koyarsak } \frac{T_4}{T_2} = \varepsilon_g^k \cdot \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \Rightarrow \frac{T_4}{T_2} = \frac{\varepsilon_g^k}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = ? \quad / \quad \frac{P_3 V_3 = R.M.T_3}{P_2 V_2 = R.M.T_2} \quad \frac{T_3}{T_2} = \varepsilon_g$$

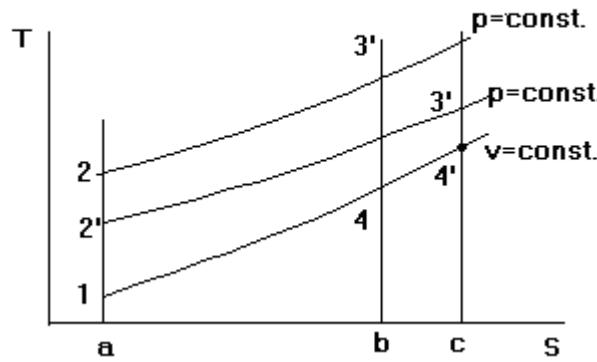
$$\eta_t = 1 - \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)} \quad \Rightarrow \quad \eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)}$$

Çıkarılan denklemden görülmektedir ki verim sıkıştırma oranının ve ön genişleme oranının fonksiyonudur. Sıkıştırma oranının artması ile artar, ön genişleme oranının artması ile azalır, başka bir değişle enerji sokma süresi (motorun yüklemesi) arttıkça verim düşer. Aşağıdaki T-s diagramından da bunu kolaylıkla görebiliriz.



Şekil 5

Şekil 5 de ön genişleme oranının verime etkisi görülmektedir. Sabit hacim eğrisi basınç eğrisinden daha dik olduğundan ısı sokumu süresi arttıkça sistemden götürülen Q_2 ısısı da artar ve verim düşer.



Sekil 6

Bu şekilde de sıkıştırma oranının çevrim verimine etkisi gözüktür. Eşit Q_1 ısı sokumu için ($a, 2, 3, b, a$)_{alanı} = ($a, 2', 3', c, a$)_{alanı}

Sistemden atılan ısı Q_2

ε -yüksekte ($a, 1, 4, b$)_{alanı}

ε -düşük ($a, 1, 4', c, a$)_{alanı}

ve ($a, 1, 4, b$)_{alanı} < ($a, 1, 4', c, a$)_{alanı} bu yüzden verim daha yüksektir.

İki çevrimin yani Otto ve Diesel çevrimlerin termik verimlerini karşılaştırırsak görüyoruz ki aralarındaki tek fark $\frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)}$ terimindedir ki bu terim daima 1'den büyüktür. Bu yüzden aynı motor boyutlarında Diesel çevriminin verimi Otto'dan daha azdır. Bunu aşağıdaki tablodan kolaylıkla görebiliriz.

$\varepsilon_g = 1 (1,2)$	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0
$\eta_t = 60,2$	57	55,3	51,9	49,7	45,9	42,7

UYGULAMADA : Diesel motorunun ε 'nu Otto'dan daha yüksek olduğundan $\eta_{tdiesel} > \eta_{totto}$

5.1-Diesel Çevriminin Ortalama İndirek Basıncının Hesaplanması

$$P_{mi} = \frac{L_c}{V_H} \quad L_c = Q_1 - Q_2 \quad \eta_t = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta_t = \frac{L_c}{Q_1}$$

$$L_{\varsigma} = \eta_t \cdot Q_1 = \eta_t \cdot c_p \cdot (T_3 - T_2) = \eta_t \cdot c_p \cdot T_2 \cdot \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)$$

$$c_p - c_v = R \quad c_p \cdot (1 - c_v/c_p) = R \quad c_p = \frac{R}{1 - \frac{1}{k}} = \frac{k \cdot R}{k - 1}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \quad \frac{T_3}{T_2} = \varepsilon_g$$

$$L_{\varsigma} = \eta_t \cdot \frac{k \cdot R}{k - 1} \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \cdot (\varepsilon_g - 1)$$

$$V_H = V_1 - V_2 = V_2 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) = \frac{V_1}{\varepsilon} \cdot (\varepsilon - 1) = \frac{\varepsilon}{V_1 \cdot (\varepsilon - 1)}$$

$$P_{mi} = \eta_t \cdot \frac{k \cdot R}{k - 1} \cdot \frac{T_1}{V_1} \cdot \frac{\varepsilon^{k-1} \cdot \varepsilon \cdot (\varepsilon_g - 1)}{\varepsilon - 1}$$

$$\frac{T_1}{V_1} = \frac{P_1}{R}$$

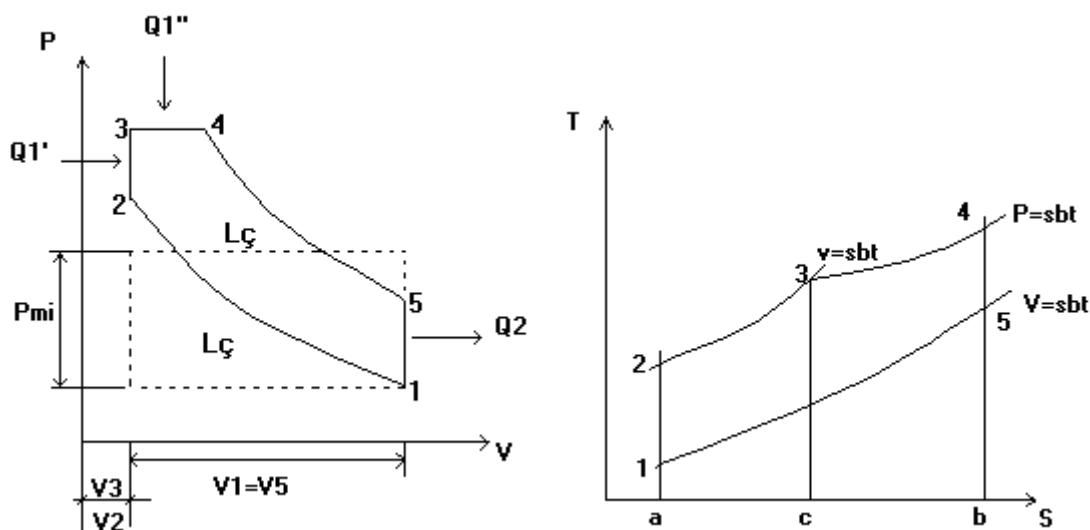
$$P_{mi} = \eta_t \cdot \frac{k}{k - 1} \cdot \frac{P_1 \cdot \varepsilon^{k-1} (\varepsilon_g - 1)}{\varepsilon - 1}$$

6. SEİLINGER ÇEVİRİMİ (KISMEN SABİT HACİMDE KISMEN SABİT BASINÇTA ISI SOKUMU OLAN ÇEVİRİM ,Karışık Çevrim)

Teknik literatürde bu çevrim Sabathe , Seilinger veya Trinclir adı altında da rastlanabilir.Aynı ısı sokumu için görmüşük ki sabit hacim çevrimi daha uygundur.Fakat bu tip motorun sıkıştırma oranı sınırlı olduğundan , verim ise düşük kalmakta idi.Bu eksikliğini gidermek için karışık çevrime gidilmiş ki bu çevrimde ısı sokumu kısmen sabit hacimde kısmen sabit basınçta olmaktadır.Bu çevrim Otto ve Diesel çevrimlerin kombinezonudur , ve şu andaki tüm Diesel motorlar bu çevrime göre çalışırlar. Günümüzdeki iki ve dört stroklu motorlarda kullanılan çevrimidir. Otto ve Diesel çevrimlerinin termik verim bağıntıları gözden geçirilirse ideal bir motorun sıkıştırma ateşlemeli, ancak Otto çevrimiyle çalışmasının en uygun olduğu görülebilir. Diesel çevrimindeki sıkıştırmayla ateşleme, daha yüksek sıkıştırma oranlarıyla çalışmayı olanaklı kıldığından verimin daha yüksek olmasını

sağlamakta ve belirli bir sıkıştırma oranı için sabit basınçtaki yanma da termik verimi yükseltir.

Modern CI motorlarda, yakıt püskürtme ÜÖN ‘dan 20° krank mili açısı önce yapılır. İlk tutuşma sıkıştırma strokunun sonlarına doğru, yanma da Otto çevriminde olduğu gibi ÜÖN ‘da ve kısmen sabit hacimde gerçekleşir. Yakıt püskürtme genişleme sırasında da devam ettiğinden maksimum basınç genleşmeye rağmen neredeyse sabit kalmakta ve bu da şekil 8‘de görüldüğü gibi çevrimi gerçeklemektedir. Bu çevrime ayrıca üst basıncın sınırlandırıldığı bir Otto çevrimi olarak da düşünülebilir.



Şekil 8

Bu çevrim :

- (0-1) sabit basınçta emme
- (1-2) adiabatik sıkıştırma
- (2-3) Q_1' ısısı sabit hacimde sokuluyor
- (3-4) Q_1'' ısısı sabit basınçta sokulur.
- (4-5) adiabatik genişleme
- (5-1) Q_2 ısısı sabit hacimde dışarıya alınır.

1 noktası P_1, V_1, T_1

2 noktası P_2, V_2, T_2

3 noktası $P_3, V_3, T_3, \frac{P_4}{P_2} = \frac{P_3}{P_2} = \rho$ (patlama oranı)

$$\frac{V_4}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = \varepsilon_g \text{ (ön genişleme oranı)}$$

4 nokta P₄, V₄, T₄

5 nokta P₅, V₅, T₅

$$P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k, \quad P_4 \cdot V_4^k = P_5 \cdot V_5^k$$

$$Q_1' = c_v \cdot (T_3 - T_2) \cdot m$$

$$Q_1'' = c_p \cdot (T_4 - T_3) \cdot m$$

$$Q_2 = c_v \cdot (T_5 - T_1) \cdot m$$

$$\eta_t = \frac{(Q_1' + Q_1'')}{Q_1' + Q_2''} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1' + Q_2''}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{c_v \cdot (T_5 - T_1) \cdot m}{c_v \cdot (T_3 - T_2) \cdot m + c_p \cdot (T_4 - T_3) \cdot m} = 1 - \frac{c_v \cdot (T_5 - T_1)}{c_v \left[(T_3 - T_2) + \frac{c_p}{c_v} \cdot (T_4 - T_3) \right]}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{T_5 - T_1}{(T_3 - T_2) + k \cdot (T_4 - T_3)} = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_5}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left[\frac{T_3}{T_2} - 1 + k \cdot \left(\frac{T_4}{T_2} - \frac{T_3}{T_2} \right) \right]}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = ? \quad P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \quad \frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{R.M.T_1}{R.M.T_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^k$$

$$\frac{P_1}{P_2} \cdot \varepsilon = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{\varepsilon^k}$$

$$\frac{1}{\varepsilon^k} \cdot \frac{1}{\varepsilon^{-1}} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \quad \text{olar}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = ? \quad \frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{R.M.T_3}{R.M.T_2} \quad \frac{T_3}{T_2} = \rho$$

$$\frac{T_4}{T_2} = ? \quad \frac{P_4.V_4}{P_3.V_3} = \frac{R.M.T_4}{R.M.T_3} \quad \frac{T_4}{T_3} = \varepsilon_g \quad T_4 = \varepsilon_g \cdot T_3$$

$$\frac{T_4}{T_2} = \varepsilon_g \cdot \frac{T_3}{T_2} = \varepsilon_g \cdot \rho \quad \frac{T_4}{T_2} = \varepsilon_g \cdot \rho \quad \text{olar}$$

$$\frac{T_5}{T_1} = ? \quad \frac{T_2}{T_1} = \varepsilon^{k-1} \Rightarrow T_1 = \frac{T_2}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{P_4.V_4}{P_5.V_5} = \frac{R.M.T_4}{R.M.T_5} \\ \\ \frac{P_4.\varepsilon_g.V_3}{P_5.V_5} = \frac{T_4}{T_5} \\ \\ \frac{P_4}{P_5} \cdot \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon} = \frac{T_4}{T_5} \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} P_4.V_4^k = P_5.V_5^k \\ \\ \frac{P_4}{P_5} = \left(\frac{V_5}{\varepsilon_g.V_3} \right)^k \\ \\ \frac{P_4}{P_5} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_g} \right)^k \end{array}$$

$$\frac{T_4}{T_5} = \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon_g^k} \cdot \frac{\varepsilon_g}{\varepsilon} = \frac{\varepsilon^{k-1}}{\varepsilon_g^{k-1}} \quad T_5 = \frac{T_4}{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_g} \right)^{k-1}}$$

$$\frac{T_5}{T_1} = \frac{T_4}{T_2} \cdot \frac{\left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon} \right)^{k-1}}{\cancel{1/\varepsilon^{k-1}}} = \varepsilon_g \cdot \rho \cdot \varepsilon_g^{k-1} \quad \frac{T_5}{T_1} = \rho \cdot \varepsilon_g^k$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \cdot \varepsilon_g^k - 1}{\rho - 1 + k \cdot (\varepsilon_g \cdot \rho - \rho)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \cdot \varepsilon_g^k - 1}{(\rho - 1) + k \cdot \rho (\varepsilon_g - 1)} \quad \text{olar.}$$

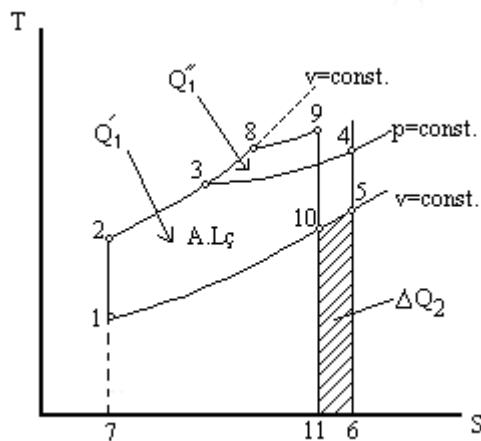
Denklemden görüldüğü gibi sıkıştırma oranı ve basınç artma oranı arttıkça ve ön genişleme oranı azaldıkça termik verim artar.

Eğer, $\varepsilon_g = 1$ ise Seilinger çevrimi Otto çevrimine dönüşür.

$\rho = 1$ ise Seilinger çevrimi Diesel çevrimine dönüşür.

Bu çevrimde sokulan ısının paylaştırılması önemlidir.(2) noktasındaki temperatür sıkıştırma oranının ve başlangıç sıcaklığı (T_1) in fonksiyonudur.Aynı T_2 ve Q_1 için farklı basınç artma oranları ve ön genişleme oranları elde edilebilir. ρ 'nun artması ile verim arttığına göre , onu artırrarak ve ε_g küçülterek η_t de iyileşme sağlamamız mümkündür.Fakat bunun sonucunda (P_3) çok yüksek olacak ve bunun sonucu motor elemanları fazla yüklenmiş olurlar , bunun için daha kaliteli malzeme veya daha kalın ve kaba konstrüksiyon yapmamız gereklidir.Genellikle;

$$Q_1' = \frac{1}{3} Q_1 \quad \text{veya} \quad Q_1'' = \frac{2}{3} Q_1 \quad \text{alınır}$$



Şekil 9

T-s diagramında ε_g ve ρ nun etkisi açıkça görülmektedir.Farklı Q_1' ısı sokumu durumlarında ρ nun artması ile η_t artmaktadır, çünkü dışarıya atılan ısı ΔQ_2 kadar azalmaktadır.

6.1 Seilinger Çevriminin Ortalama İndike Basıncının Hesaplanması

$$P_{mi} = \frac{L_c}{V_H} \left(\frac{N}{m^2} \right)$$

$$L_\zeta = \eta_t \cdot Q_1$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= m \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2) + m \cdot c_p \cdot (T_4 - T_3) \\ &= m \cdot c_v \cdot \left[T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) + \frac{c_p}{c_v} \cdot T_3 \cdot \left(\frac{T_4}{T_3} - 1 \right) \right] \\ &= m \cdot c_v \cdot T_2 \left[\rho - 1 + k \cdot \frac{T_3}{T_2} (\varepsilon_g - 1) \right] \\ &= m \cdot \frac{R}{k-1} \cdot T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \left[\rho - 1 + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1) \right] \end{aligned}$$

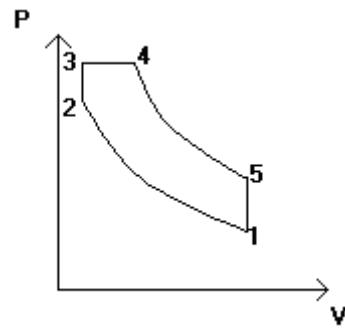
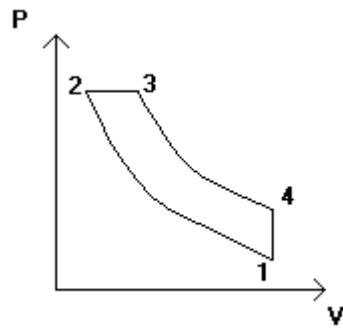
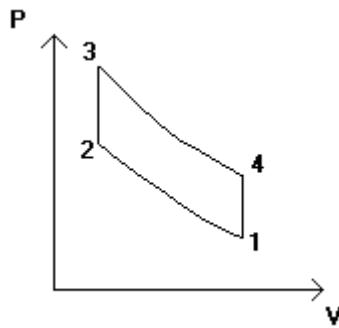
$$V_H = V_1 - V_2 \Rightarrow V_2 \cdot \left(\frac{V_1}{V_2} - 1 \right) = \frac{V_1}{\varepsilon} (\varepsilon - 1) \Rightarrow \frac{\varepsilon}{V_1 (\varepsilon - 1)}$$

$$P_{mi} = \frac{L_c}{V_H} = \eta_t \cdot \frac{m \cdot R}{k-1} \cdot \frac{T_1}{V_1} \cdot \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon^{k-1}}{\varepsilon - 1} \left[\rho - 1 + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1) \right]$$

$$\frac{m \cdot T_1}{V_1} = \frac{P_1}{R} \quad \Rightarrow \quad P_{mi} = \eta_t \frac{R}{k-1} \cdot \frac{P_1}{R} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \left[\rho - 1 + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1) \right]$$

$$P_{mi} = \eta_t \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon - 1} \cdot (\rho - 1 + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1))$$

Örnek: İdeal Otto , Diesel ve Seilinger çevrimlerine çalışan üç motorda sıkıştırma oranları $\varepsilon = 6 \div 21$ arasında değişmektedir. $\rho = 3$, $\varepsilon_g = 1,9$, $k=1,41$ olduğuna göre termik verim değişimini veren diagramları çiziniz.



$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \cdot \varepsilon_g^k - 1}{(\rho - 1) + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1)}$$

$\varepsilon / \varepsilon^{k-1}$	η_{otto}	$\frac{\varepsilon_g^k - 1}{k(\varepsilon_g - 1)}$	η_{diesel}	$\frac{\rho \cdot \varepsilon_g^k - 1}{(\rho - 1) + k \cdot \rho \cdot (\varepsilon_g - 1)}$	$\eta_{\text{seilinger}}$
-----------------------------------	----------------------	--	------------------------	--	---------------------------

60,479	0,5203	1,1599400	0,4435	1,1048561	0,4707
--------	--------	-----------	--------	-----------	--------

70,450	0,5496	"	0,4776	"	0,5028
--------	--------	---	--------	---	--------

80,426	0,5736	"	0,5054	"	0,5293
--------	--------	---	--------	---	--------

90,406	0,5937	"	0,5286	"	0,5514
--------	--------	---	--------	---	--------

10	0,389	0,6109	"	0,5487	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,5702

11	0,374	0,6259	"	0,5660	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,5867

12	0,361	0,6389	"	0,5812	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,6011

13	0,349	0,6506	"	0,5947	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,6144

14	0,339	0,6610	"	0,6068	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,6254

15	0,329	0,6705	"	0,6178	"
----	-------	--------	---	--------	---

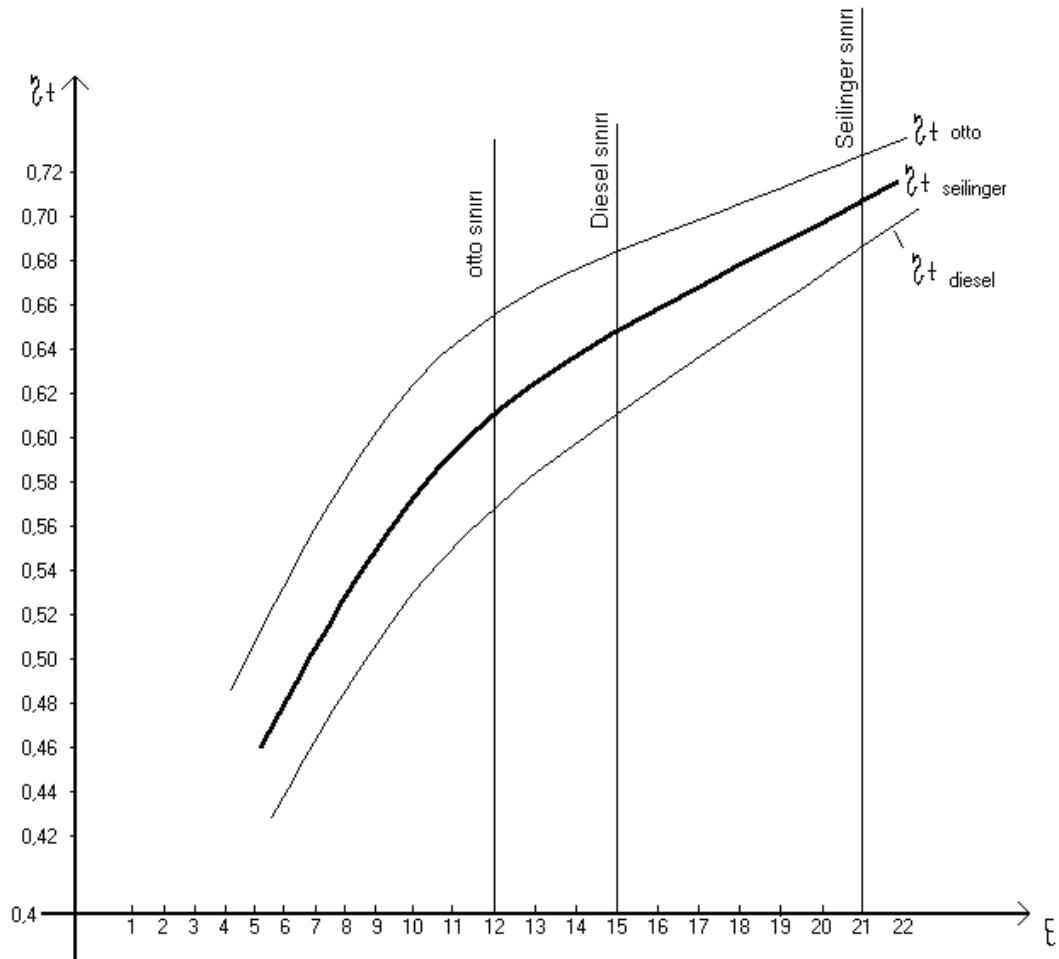
0,6365

16	0,320	0,6791	"	0,6278	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,6464

17	0,312	0,6870	"	0,6369	"
----	-------	--------	---	--------	---

0,6552	18	0,305	0,6942	"	0,6453	"
0,6630	19	0,299	0,7009	"	0,6531	"
0,6696	20	0,292	0,7072	"	0,6604	"
0,6773						
21		0,287	0,7130	"	0,6671	"
0,6829						



Sekil 10

Bu diagramdan da kolaylıkla görülmektedir ki aynı (ϵ) sıkıştırma oranları için Otto çevriminin verimi en yüksektir , fakat uygulamada Seilinger çevrimine göre çalışan diesel motorların sıkıştırma oranları yüksek olduğundan $\eta_{tseilinger} > \eta_{otto}$

NOT: Çıkarılmış olan verim ifadeleri takribidir.Cünkü;

- Dissoasion , yani yüksek sıcaklıklarda CO_2 'nin parçalanıp $CO + 1/2O_2$ oluşturduğu göz önüne alınmamaktadır.
- Cv ve Cp sabit kabul edilmiştir. Gerçekte ise sıcaklıkların artması sonucunda (Cv) artar ve $k=Cp/Cv$ ifadesinde k küçülür , yani adiabatik üstü de sabit değildir.

$k=1,41$ ideal

$k=1,33$ sıkıştırma

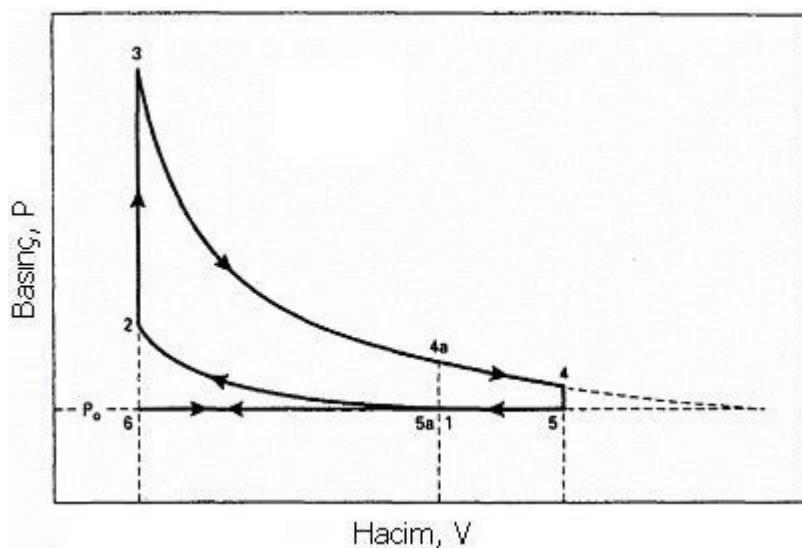
$k=1,20$ genişleme

- Motorlarda bu çevrimlerin meydana gelmesi için yakıtın yakılması gereklidir.

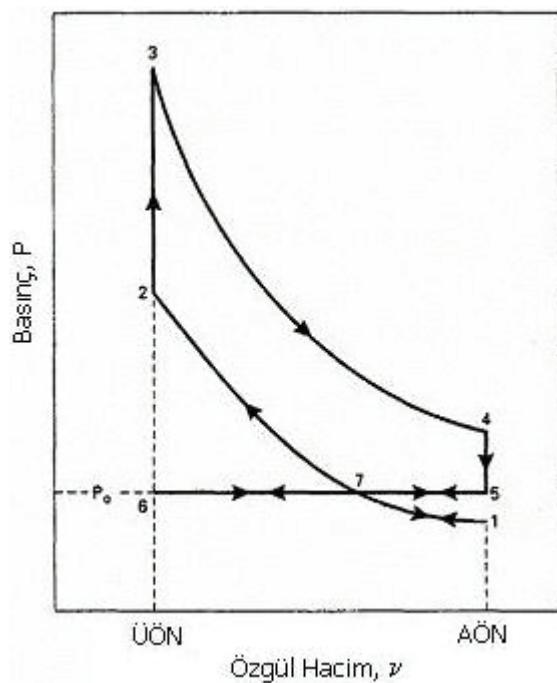
1.1. MİLLER ÇEVİRİMİ

Otto ve Diesel çevrimlerinde genişleme strokunun sonlarına doğru egzoz sübabı açıldığında dahi silindir içindeki basınç $3 - 5$ atm civarındadır. Basınç bu seviyede iken egzoz sübabının açılması genişleme strokunda yapılabilecek ek işi engellemektedir. Eğer egzoz sübabı silindir içi basınç atmosfer basıncına düşene kadar açılması engellenirse genişleme strokunda termik verimi de artıracak daha büyük iş yapılabılır. Bu durumu gerçekleştiren çevrim şekil 3-16 'te gösterilmiştir ve Atkinson yada aşırı genişlemiş çevrim (yada tam genişleme çevrimi) adı verilmiştir.

1885 'ten itibaren genişleme stroku sıkıştırma strokundan daha uzun olan ve bu çevrimi gerçekleştiren değişik krank ve sübap mekanizmaları denenmiştir. ancak bu motorlardan hiçbirinin satılmaması başarızlığının bir işaretidir.



Şekil 3-16. İdeal Atkinson çevrimi, 6-1-2-3-4-5-6. Sıkıştırma oranı V_4/V_3 , genişleme oranından V_1/V_3 oranından küçüktür.



Şekil 3-17. KA motorlarda kullanılan ideal Miller çevrimi. Eğer sübap erken kapatılırsa çevirim, 6-7-1-7-2-3-4-5-6 şeklinde; sübaplar geç kapanırsa 6-7-5-7-2-3-4-5-6 şeklinde olur.

Miller çevrimi, R.H. Miller (1890– 1967) tarafından gerçekleştirilmiştir. Genişleme oranı sıkıştırma oranından daha büyük olan bu çevrim Atkinson çevriminin modern bir uygulamasıdır. Miller çevriminde bu durum farklı bir yolla başarılmıştır. Atkinson çevrimi ile çalışabilecek bir motorun karmaşık bir mekanik bağlantı tipine ihtiyacı vardır. Miller çevrimi ile çalışan motor, istenen koşulları gerçekleştirebilmek için birleşik bir sübap zamanlama yöntemi kullanmaktadır.

Miller çevriminde hava girişi kısıtlanmaz. Silindire giren hava miktarı AÖN ‘dan çok önce öngörülmüş bir zamanda emme sübabinin kapanmasıyla kontrol edilir. (Şekil 3-17 ‘te 7 no ’lu nokta.) Bu aşamadan sonra emme stroku süresince piston AÖN ‘ya doğru hareketine devam ederken silindir basıncı 7-1 eğrisiyle gösterildiği gibi düşürülmektedir. Piston AÖN ‘ya vardiktan sonra tekrar ÜÖN ‘ya doğru hareketine başlar ve basınç 1-7 eğrisiyle yükselir. Böylece sübabin erken kapanmasından dolayı çevrim 6-7-1-7-2-3-4-5-6 şeklinde olur. 6-7 sürecinde üretilen iş, 7-6 egzoz strokuyla ve 7-1 sürecindeki iş de 1-7 süreciyle karşılanır. Bunun sonucunda net indike iş 7-2-3-4-5-7 düşümüdür. Çevrimde emme işi yoktur. Sıkıştırma oranı :

$$\varepsilon = V_7 / V_2 \text{ dir.}$$

Ve daha yüksek olan sıkıştırma oranı ise:

$$\varepsilon_{gen} = V_4 / V_2 = V_4 / V_3 \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

İş kaybına neden olan kısa bir sıkıştırma oranı ve bununla birlikte iş üreten daha uzun bir genişleme oranı çevrim başına net indike işin artmasını sağlar. Buna ek olarak emme havasının sınırlanmadan silindire alınması SI motorların önemli kayıplarından biri ortadan kalkar. Bu durum özellikle kısmi yük durumunda geçerlidir. Çünkü Otto çevrimiyle çalışan motorlarda kısmi yük durumunda emme manifoldu basıncı düşüktür ve buna bağlı olarak negatif emme işi yüksektir. Miller çevrimiyle çalışan bir motorda, CI motorlarında olduğu gibi emme işi söz konusu değildir(teorik olarak). Bunun sonucu olarak termik verim de artmaktadır.

Miller çevrimi motorunun mekanik verimi, benzer mekanik iletim sistemine sahip olan Otto çevrimi motorunun mekanik verimiyle yaklaşık olarak aynıdır. Öte yandan Atkinson çevriminde mekanik verimin düşmesine sebep olan çok daha karmaşık bir mekanik iletim sistemine gerek duyulur.

Miller çevriminde diğer bir durum emme sübabinin AÖN 'dan sonra kapatılmasıyla elde edilir. Bu durumda hava sınırlanmadan emme stroku boyunca silindire alınır ancak bu havanın bir kısmı sübap kapanmadan manifolda geri atılır. Bu durum şekil 3-17 'te 6-7-5-7-2-3-4-5-6 şeklinde bir çevrimi gerçekler. Net indike iş diğer durum için de söz konusu olan 7-2-3-4-5-7 düğümüdür. Sıkıştırma ve genişleme oranları da:

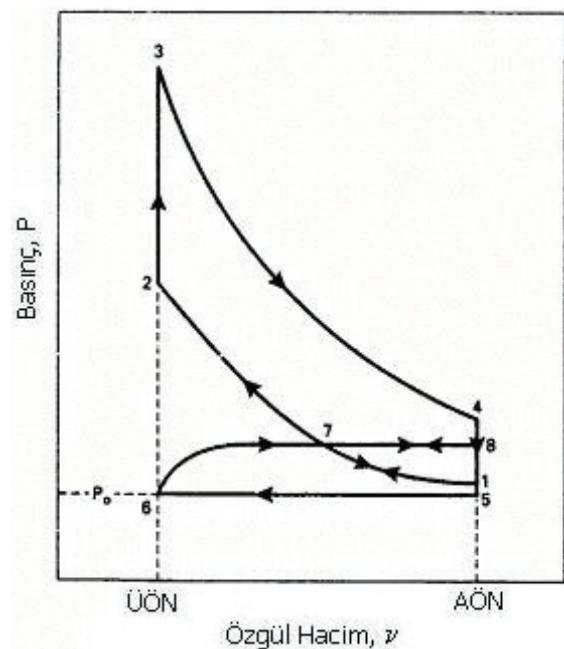
$$\varepsilon = V_7 / V_2 \text{ ve } \varepsilon_{gen} = V_4 / V_2 = V_4 / V_3 \text{ şeklindedir.}$$

İki durum için de çevrimin verimli çalışabilmesi için emme sübabinin olması gereken tam noktada (şekil 3-17 'te 7 no 'lu nokta) kapatılabilmesi önemlidir. Ancak bu nokta değişik motor hızları ve yükleri için değişiklik göstermektedir. Değişik zamanlı sübap zamanlama sistemi bulunmadan önce bu noktanın kontrolü mümkün değildi. Miller çevrimiyle çalışan motorlar ilk olarak 1990 'ların ikinci yarısında piyasaya sürülmüştür. Miller motorlarında tipik sıkıştırma oranı 8:1 ve sıkıştırma oranı da 10:1 civarındadır.

İlk olarak Miller çevrimiyle çalışan motorlarda erken sübap kapanması ve geç sübap kapanması sistemleri beraber kullanılmıştır. Değişik zamanlı sübap sistemlerinin birçok çeşidi bu motorlarda denenmiş ve geliştirilmiştir. Günümüzde bu sistemlerin hiçbirini tam esneklik sağlamamakta ve halen önemli geliştirmeler gerekmektedir.

Emme sübabinin erken (AÖN 'dan önce) kapanması durumunda, silindire strok hacminin tamamı kadar hava alınamamaktadır. Sübabin geç (AÖN 'dan sonra) kapanması durumunda ise, silindire strok hacmi kadar hava alınabilmekte ancak bunun bir miktarı sübap kapanmadan önce dışarı atılmaktadır (Şekil 3-17 'te 5-6 süreci). İki durumda da sıkıştırma başlangıcında silindir içinde, düşük ortalama indike basınç ve strok başına düşük güç çıktısına sebep olan az miktarda hava-yakıt bulunmaktadır. Bunu önlemek için Miller

çevrimiyle çalışan motorlarda genellikle aşırı doldurma sistemleri uygulanır. Böylece emme manifoldunda maksimum basınç 150-200 kPa seviyelerine çıkmaktadır. Şekil 3-18 ‘te aşırı doldurmalı bir Miller çevrimi gösterilmiştir.



Şekil 3-18. Aşırı doldurmalı SI motorlarda kullanılan ideal Miller çevrimi. Eğer sübap erken

kapatılırsa çevrim, 6-7-1-7-2-3-4-5-6 şeklinde; sübaplar geç kapanırsa 6-7-8-7-2-3-4-5-6 şeklinde olur.

1.2. MILLER VE OTTO ÇEVİRİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Tablo 3-1’de verilen değerler karşılaştırıldığında Miller çevriminin Otto çevrimine üstünlüğü görülebilir. Egzoz sıcaklığı dışında iki çevriminde sıcaklık değerleri yaklaşık eşittir. İki çevrimde de yanma stroku başlangıcında sıcaklıkların, kendiliğinden tutuşma ve vurunu problemlerine yol açmayacak kadar düşük olması önemlidir. Miller çevriminde düşük egzoz sıcaklığı, daha büyük genişleme soğumasının (yaklaşık eşit maksimum sıcaklıktan) bir sonucudur. Düşük egzoz sıcaklığı daha uzun olan genişleme stroku sırasında daha az enerjinin kayıp olduğunu gösterir. Miller çevriminde basınçlar aşırı doldurma etkisiyle daha yüksektir. Ortalama indike basınç, termik verim ve net iş gibi parametrelerin Miller çevriminde daha yüksek olması, bu çevrimin Otto çevrimine göre üstünlüğünü açıkça göstermektedir. Miller çevriminin bu büyük üstünlüğüne rağmen dezavantajı sübap sisteminin karmaşıklığı ve buna bağlı olarak yükselen maliyetidir.

1.3. İKİ STROKLU MOTOR ÇEVİRİMLERİ

1.3.1. İki Stroklu KA Motor Çevrimi

Şekil 3-19 'da tipik bir iki stroklu motor çevrimine ideal bir yaklaşım görülmektedir.

Süreç 1-2_ izantropik genişleme yada güç stroku.

Tüm pencereler (ya da sübaplar) kapalı:

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

$$P_2 = P_1 \cdot (V_1 / V_2)^{k-1}$$

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

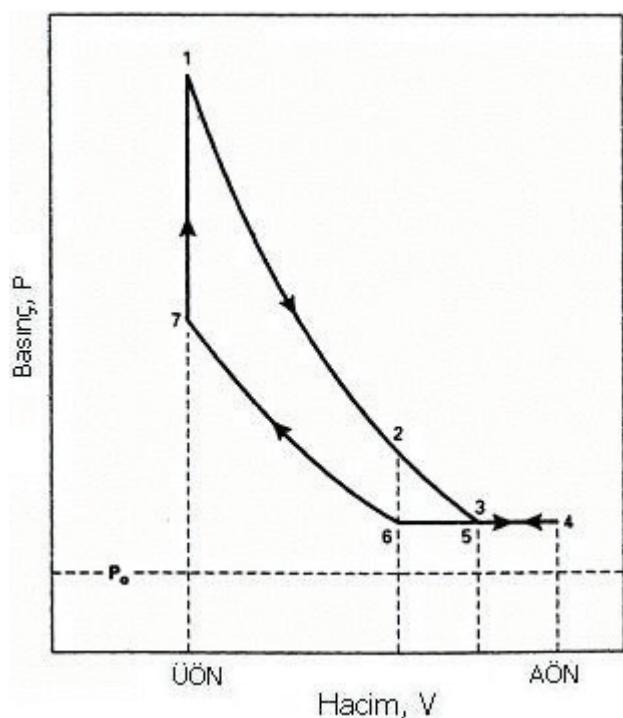
$$\omega_{1-2} = (P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1) / (1-k) = R(T_2 - T_1) / (1-k)$$

Süreç 2-3_ gaz atılması (egzoz).

Egzoz penceresi açık ve emme penceresi kapalı.

Süreç 3-4-5_ emme ve egzoz süpürmeleri.

Emme ve egzoz pencereleri açık.



Şekil 3-19. iki stroklu SI motor çevrimine ideal yaklaşım, 1-2-3-4-5-6-7-1

Giriş havası silindire 140-180 kPa 'lik bir mutlak basınçla dolar süpürülür. Süpürme işlemi, emme havasının bir önceki çevrimden kalan gazları iterek süpürme penceresinden dışarı attığı işlemdir. Emme sırasında piston 3 noktasına geldiğinde emme penceresini açarak AÖN 'ya ulaşır. Daha sonra geriye doğru hareketinde 5 noktasında emme penceresini kapatır. Bazı motorlarda yakıt silindire emme havasıyla karışmış olarak alınır. Diğer motorlarda ise egzoz penceresinin kapanmasından sonra püskürtülür.

Süreç 5-6_ egzoz süpürmesi.

Egzoz penceresi açık ve emme penceresi kapalı.

Egzoz süpürmesi 6 noktasında egzoz penceresi kapanana kadar devam eder.

Süreç 6-7_ izantropik sıkıştırma.

Tüm pencereler kapalı:

$$T_7 = T_6 \cdot (V_6 / V_7)^{k-1}$$

$$P_7 = P_6 \cdot (V_6 / V_7)^{k-1}$$

$$q_{6-7} = 0$$

$$\omega_{6-7} = (P_7 \cdot v_7 - P_6 \cdot v_6) / (1-k) = R(T_7 - T_6) / (1-k)$$

Bazı motorlarda yakıt, sisteme sıkıştırma strokunda çok erken verilir. Buji 6-7 sürecinin sonuna doğru ateşlenir.

Süreç 7-1_ sabit hacimde ısı sokumu (yanma)

Tüm pencereler kapalı:

$$V_7 = V_1 = V_{AÖN}$$

$$W_{7-1} = 0$$

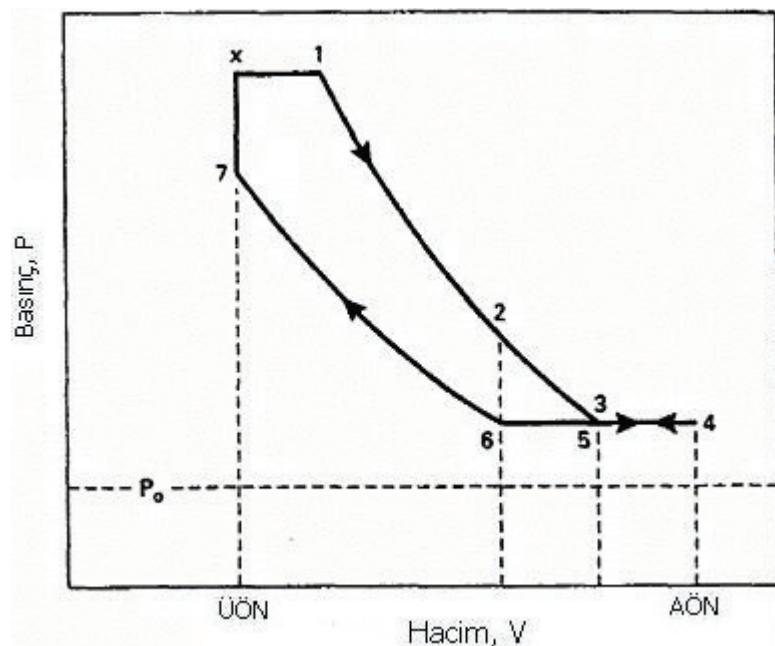
$$Q_{7-1} = Q_{gir} = m_y \cdot Q_{HV} \cdot \eta_c = m_k \cdot c_v \cdot (T_1 - T_7)$$

$$T_1 = T_{maks}$$

$$P_1 = P_{maks} = P_7 \cdot (T_1 / T_7)$$

1.3.2. İki Stroklu SA Motor Çevrimi

Birçok sıkıştırma ateşlemeli motor (özellikle büyük boyutlu olanlar) iki stroklu çevrimle çalışmaktadır. Şekil 3-20 'de bu çevrimlere ideal bir yaklaşım görülmektedir. Çevrim iki stroklu SI motor çevriminden sadece yakıt giriş şekli ve yanma ile farklılıklar gösterir. Burada yakıtın emme havasıyla birlikte alınmasının veya sıkıştırma strokunda erken püskürtülmesinin yerine, dört stroklu CI motorlarda olduğu gibi sıkıştırma strokunun sonlarına doğru enjektör vasıtasıyla püskürtülür. Isı sokumu veya yanma, sabit hacim ve bunu takip eden sabit basınçta gerçekleşir.



Şekil 3-20. iki stroklu SA motorlar için İdeal çevrim, 1-2-3-4-5-6-7-1

Süreç 7-x sabit basınçta ısı sokumu (yanmanın ilk bölümü)

Tüm pencereler kapalı:

$$V_7 = V_x = V_{AÖN}$$

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

$$Q_{7-x} = Q_{gir} = m_y \cdot Q_{HV} \cdot \eta_c = m_k \cdot c_v \cdot (T_x - T_7)$$

$$P_x = P_{maks} = P_7 \cdot (T_x / T_7)$$

Süreç x-1 sabit basınçta ısı sokumu (yanmanın ikinci bölümü)

Tüm pencereler kapalı:

$$P_1 = P_x = P_{maks}$$

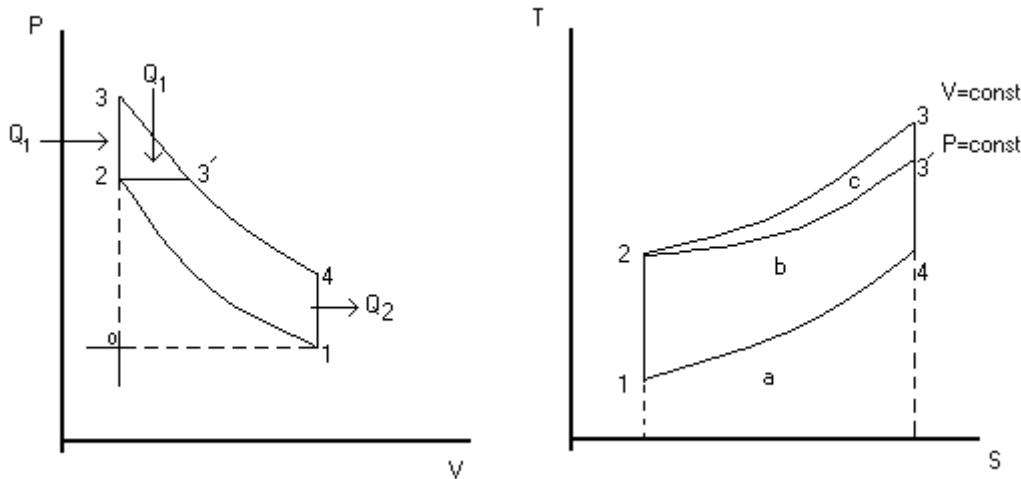
$$W_{x-1} = P_1 \cdot (V_1 - V_x)$$

$$Q_{x-1} = m_k \cdot c_p \cdot (T_1 - T_x)$$

$$T_1 = T_{maks}$$

STANDART HAVA ÇEVİRİMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

1-) Sabit (ε) sıkıştırma oranı ve sabit Q_2 de Otto ve Diesel çevrimlerinin karşılaştırılması:



Sekil 11

P-V diagramından hangi çevrim daha uygun olduğunu anlamak pek mümkün değildir. Bunu daha kolay T-S diagramından görebiliriz.

$V=const$. durumunda sisteme sokulan Q_1 ısısı $(6,2,3,5,6)_{\text{alanı}}$ ile , meydana gelen mekanik iş ise $(1,2,3,4',1)$ alanı ile belirlenir.

$P=const$. durumunda sisteme sokulan Q_1 ısısı $(6,2,3',5,6)_{\text{alanı}}$ ile , meydana gelen mekanik iş ise $(1,2,3',4,1)_{\text{alanı}}$ ile belirlenir.

Kısmi alanları a , b, c gibi kısmi alanlarla sembolize edersek

$$(Q_1)_{\text{otto}} \rightarrow (a+b+c)_{\text{alanı}} \text{ olur.}$$

$$(Q_1)_{\text{diesel}} \rightarrow (a+b)_{\text{alanı}} \text{ olur.}$$

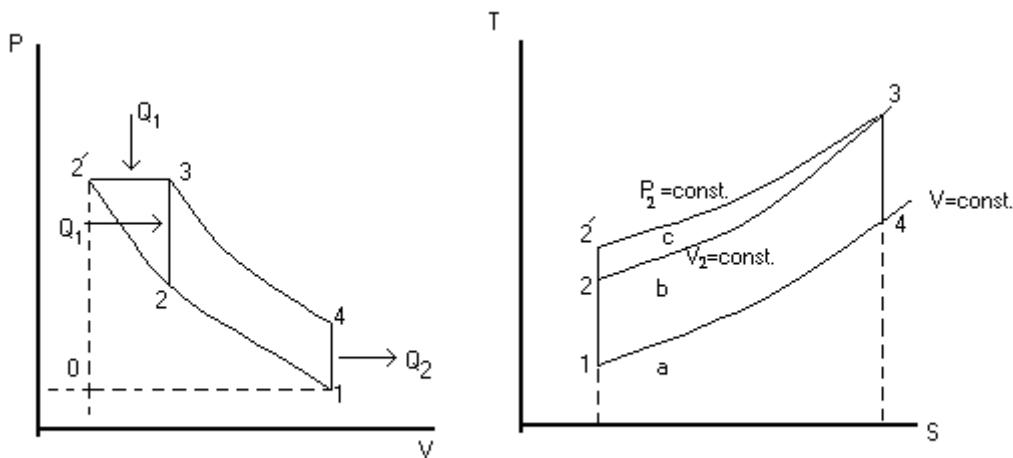
$$Q_2 \rightarrow (a)_{\text{alanı}}$$

$$\eta_t = 1 - Q_2/Q_1 \text{ genel olarak}$$

$$\left. \begin{array}{l} \eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{a}{a+b+c} \\ \eta_{\text{diesel}} = 1 - \frac{a}{a+b} \end{array} \right\} \quad \frac{a}{a+b+c} < \frac{a}{a+b} \text{ olduğundan} \\ \eta_{t(\text{otto})} > \eta_{t(\text{diesel})} \quad \text{olur.}$$

Bu durum ancak Otto motorunda çok yüksek oktanlı benzin kullanıldığı taktirde veya Diesel motoru çok düşük sıkıştırma oranında çalışabiliyor ise mümkündür.

2-) Eşit maksimum basınç ve aynı Q_2 durumları için Otto ve Diesel çevrimlerin karşılaştırılması:



Şekil 12

$$(Q_1)_{\text{otto}} = (a+b)_{\text{alanı}}$$

$$(Q_1)_{\text{diesel}} = (a+b+c)_{\text{alanı}}$$

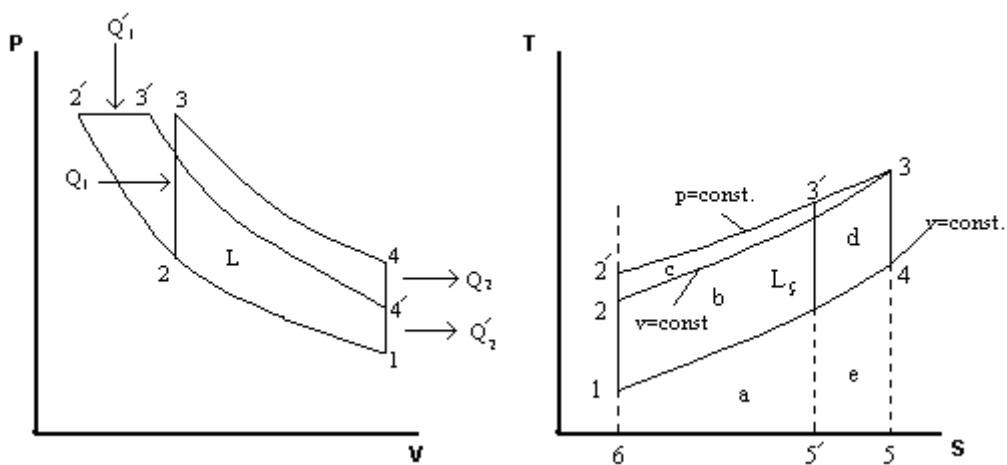
$$Q_2 = (a)_{\text{alanı}}$$

$$\eta_t = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad (\eta_t)_{\text{otto}} = 1 - \frac{a}{a+b} \quad (\eta_t)_{\text{diesel}} = 1 - \frac{a}{a+b+c}$$

$$\frac{a}{a+b} > \frac{a}{a+b+c} \text{ olduğundan}$$

$$\eta_{t(dizel)} > \eta_{t(otto)} \text{ olur}$$

3-)Eşit maksimum basınç ve eşit mekanik iş durumu için Otto ve Diesel çevrimlerin karşılaştırılması:



Şekil 13

$$Q_1 = (a+b+d+e) \text{ alanı}$$

$$Q_2 = (a+e) \text{ alanı}$$

$$Q_1' = (a+b+c) \text{ alanı}$$

$$Q_2' = (a) \text{ alanı}$$

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{a+e}{a+b+d+e}$$

$$\eta_{\text{diesel}} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1'} = 1 - \frac{a}{a+b+c}$$

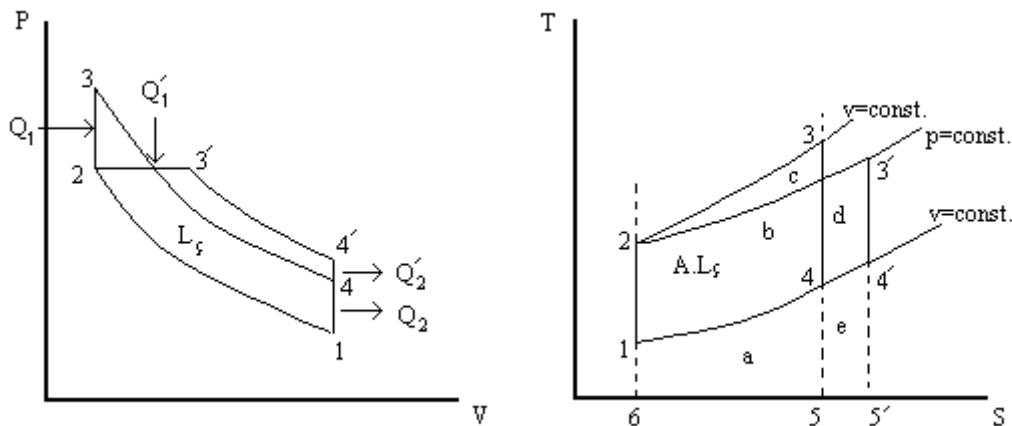
eşit mekanik iş için $b+d = e+b$ alanı olmalıdır $d=c$ bu durumda ;

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{a+e}{a+b+c+e} \quad \text{olur.}$$

$\frac{a+e}{a+b+c+e} > \frac{a}{a+b+c}$ olur çünkü soldaki kesrin pay ve paydası sağdakinden (e) kadar daha büyüktür.

$$\eta_{t(\text{diesel})} > \eta_{t(\text{otto})} \quad \text{olur.}$$

4-) Aynı sıkıştırma oranı ve eşit mekanik iş durumlarında Otto ve Diesel çevrimlerin karşılaştırılması



Şekil 14

$$Q_1 = (a+b+c)_{\text{alanı}}$$

$$Q_1 = (a)_{\text{alanı}}$$

$$Q_1' = a+b+d+e$$

$$Q_2' = a+e$$

$$\eta_{\text{otto}} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{a}{a+b+c}$$

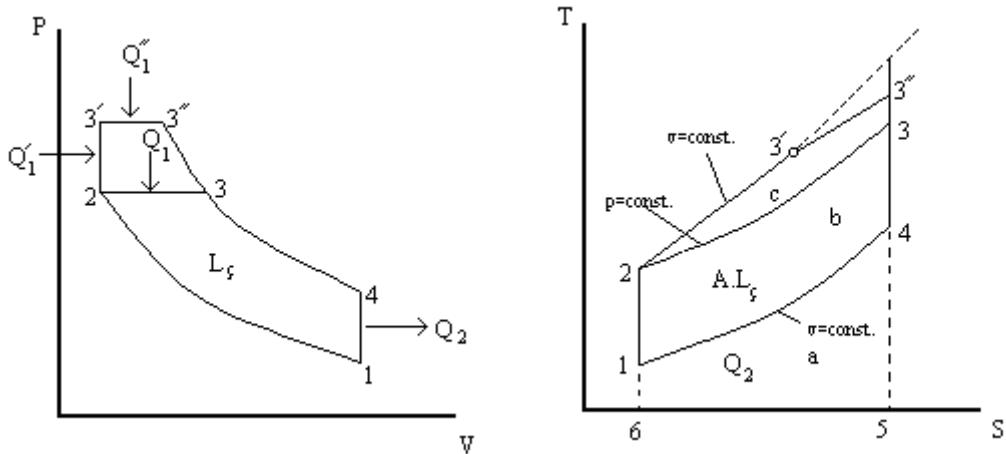
$$\eta_{\text{tdiesel}} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1'} = 1 - \frac{a+e}{a+b+d+e}$$

eşit mekanik iş için $c=d$ olmalı bu durumda ;

$$\eta_{tdiesel} = 1 - \frac{a+e}{a+b+c+e} \quad \frac{a+e}{a+b+c+e} > \frac{a}{a+b+c} \quad \text{olduğundan}$$

$$\eta_{t(otto)} > \eta_{t(dizel)} \quad \text{olur}$$

5-) Aynı ϵ ve Q_2 için Diesel ve Seilinger çevrimlerinin karşılaştırılması



Sekil 15

T-s diagramından

$$(Q_1)_{diesel} = (a+b) \text{ alanı}$$

$$(Q_2)_{seilinger} = (a+b+c) \text{ alanı}$$

$$(Q_2) = (a) \text{ alanı}$$

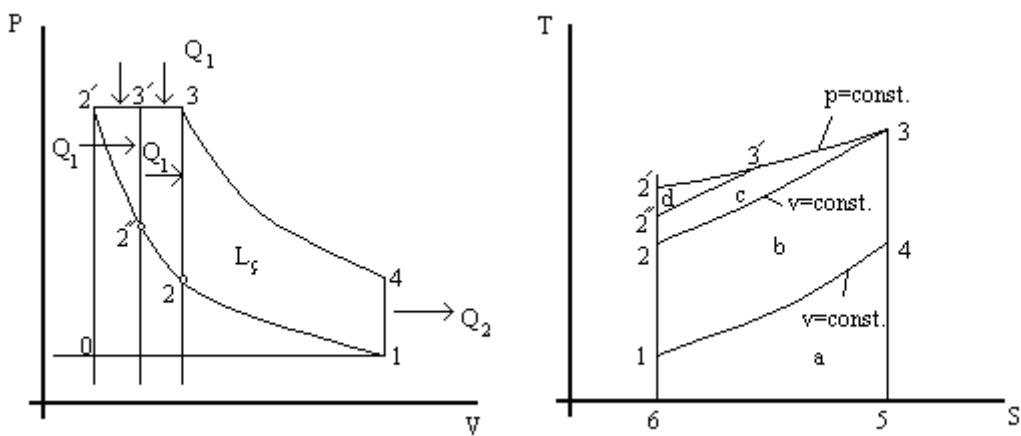
$$\eta_{tdiesel} = 1 - \frac{Q_2}{Q_{1diesel}} = 1 - \frac{a}{a+b+c}$$

$$\eta_{tseilinger} = 1 - \frac{Q_2}{Q_{1seilinger}} = 1 - \frac{a}{a+b+c}$$

$$\frac{a}{a+b+c} < \frac{a}{a+b} \quad \text{olduğundan}$$

$\eta_{t(seilinger)} > \eta_{t(dizel)}$ olur.

6-) Aynı Q_2 ve aynı maksimum basınç için Otto , Diesel ve Seilinger çevrimlerin karşılaştırılması (maksimum basınç için)



Şekil 16

T-s diagramından

$$(Q_1)_{\text{otto}} = (a+b)_{\text{alanı}}$$

$$(Q_1)_{\text{diesel}} = (a+b+c+d)_{\text{alanı}}$$

$$(Q_1)_{\text{seilinger}} = (a+b+c)_{\text{alanı}}$$

$$(Q_2) = (a)_{\text{alanı}}$$

$$(\eta_t)_{\text{otto}} = 1 - \frac{a}{a+b}$$

$$(\eta_t)_{\text{diesel}} = 1 - \frac{a}{a+b+c+d}$$

$$(\eta_t)_{\text{seilinger}} = 1 - \frac{a}{a+b+c}$$

$$\frac{a}{a+b} > \frac{a}{a+b+c} > \frac{a}{a+b+c+d} \text{ olduğundan}$$

$$\eta_{t(dizel)} > \eta_{t(seilinger)} > \eta_{t(otto)} \text{ olur.}$$

Buraya kadar yapmış olduğumuz incelemelerde hangi koşullarda hangi çevrim daha uygun olduğunu gördük.Fakat yalnız termodinamiksel bir irdeleme ile bu çevrimler için kesin bir şey söylemek olası değil.İçten yanmalı motorlarda bir çok faktör bu verime etki eder , örneğin malzeme mukavemeti , maksimum basınç ve sıcaklık , devir sayısı gibi.

Bu motorlarda pratik olarak en yüksek ısıl sınırlara kadar , en yüksek sıkıştırma ve genişleme oranlarına ve dolayısıyla en yüksek verimlere ulaşılmıştır.Bu yüzden daha yüksek verimli yeni bir ısı motoru icat edilene kadar en istikballi motor olarak kalacaklardır.Yine söylemeye yarar var , bu motorların gelişimi için tüm olanaklar bitmiş değildir.Daha iyi bir karışım teşkili , daha mükemmel bir yanma ile çevrimin parametrelerinin yükseltilmesi olasıdır, böylece daha az yakıt harcamı ve yüksek güç elde edilecektir.Art gazların enerjisinden yararlanarak ekonomikliği artırmak , devir sayılarının yükseltilmesi sonucunda boyutların küçültülmesi, hafif alaşım ve kaynaklı konstrüksiyonlara geçmek ucuz ve bulunması kolay olan yakıt kullanılması , kullanmada güvenirligi artırmak ve yeni tip motor şemaları yaratmak gibi problemler hala çözüm beklemektedir.

1. İdeal Otto çevrimine göre çalışan toplam strok hacmi 1,6lt. olan 4 stroklu bir motorun termik verimi %60 ve genişleme başlangıcındaki sıcaklık ve basınç değerleri sırasıyla 1217°C ve $50,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ olduğuna göre bu motorun 6000 d/d daki indirek gücü kW olarak bulunuz. ($T_{\text{ort}}=25^{\circ}\text{C}$)

Çözüm:

$$\eta_{th} = 0,60$$

$$T_3 = 1490K$$

$$P_3 = 50,5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 298K$$

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,60$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow \frac{P_3}{T_3} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow \frac{50,5 \times 10^5}{1490} = \frac{P_2}{298 \cdot \varepsilon^{k-1}}$$

$$P_2 = 10,1 \times 10^5 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow P_1 \cdot \varepsilon^k = P_2 \rightarrow \varepsilon = 10$$

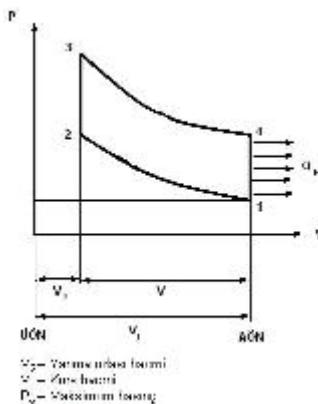
$$\frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 10,4 \rightarrow 10^{k-1} = 2,5 \rightarrow k \cong 1,39$$

$$P_2 = 10,1 \times 10^5 \cdot 10^{0,39} = 24,8 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\rho = \frac{P_3}{P_2} = 2,03$$

$$P_{mi} = \eta_{th} \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot (\rho-1) = 4,36 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$N_i = \frac{P_{mi} \cdot \sum V_H \cdot n}{60 \cdot a} = \frac{4,36 \times 10^5 \cdot 1,6 \times 10^{-3} \cdot 6000}{60 \cdot 2} \\ = 34800 \text{ W} = 34,8 \text{ kW}$$



2. Seilinger çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma süreci başlangıcındaki sıcaklığı 50°C ve basıncı $0,85 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ dır. Sıkıştırma sonu sıcaklığı 700°C ve basıncı $41 \cdot 10^5 \text{ Pa}$; ıslı sokumu sonundaki basınç $61,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ve sıcaklık 2646°C olduğuna göre ortalama indike basıncı bulunuz.

Çözüm:

$$T_1 = 323K$$

$$P_1 = 0,85 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = 973K$$

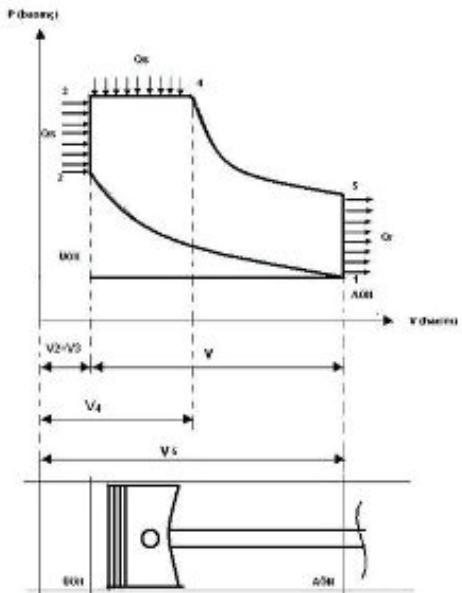
$$P_2 = 41 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_4 = 2919K$$

$$P_4 = 61,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{m R T_1}{m R T_2} \rightarrow \frac{0,85}{41} \varepsilon = \frac{323}{973} \rightarrow \varepsilon = 16,6$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 3,01 = 16,6^{k-1} \rightarrow k = 1,39$$



$$P_3 = P_4$$

$$\rho = \frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{61,5}{41} = 1,5$$

$$\rho = \frac{T_4}{\varepsilon_g T_2} \rightarrow \frac{T_4}{T_2} = \rho \cdot \varepsilon_g = \frac{2919}{973} = 3 \rightarrow \varepsilon_g = 2$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\rho \cdot \varepsilon_g^k - 1}{\rho - 1 + k \cdot \rho (\varepsilon_g - 1)} = 0,62$$

$$Pmi = \eta_r \cdot \frac{P_1 \cdot \varepsilon^k}{(k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} \left[\rho - 1 + k \rho (\varepsilon_g - 1) \right] = 11,11 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

3. İdeal Otto çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma sonu sıcaklığı 427°C , genişleme sonu basıncı $2,5 \times 10^5 \text{ Pa}$, sıkıştırma oranı $8,5$ ve $k=1,41$ olduğuna göre, P-V diyagramının köşe noktalarının basınç ve sıcaklığını ve çevrimin ortalama indike basıncını bulunuz.

Çözüm:

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = 700 \text{ K}$$

$$P_4 = 2,5 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon = 8,5$$

$$k = 1,41$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow P_1 \cdot \varepsilon^k = P_2 = 20,64 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \rightarrow T_1 = \frac{700}{8,5^{0,41}} = 291 \text{ K}$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \rightarrow T_4 = 720 \text{ K}$$

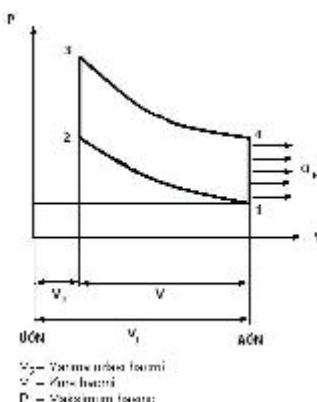
$$P_3 V_3^k = P_4 V_4^k \rightarrow P_4 \cdot \varepsilon^k = P_3 = 51,1 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_3 = \frac{T_2 \cdot P_3}{P_2} = 1733,38 \text{ K}$$

$$\rho = \frac{P_3}{P_2} = 2,475$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,58$$

$$P_{mi} = \eta_{th} \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot (\rho-1) = 5,74 \times 10^5 \text{ Pa}$$



4. Diesel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma başlangıcında motor içindeki sıcaklık 60°C ve basınç ise $0,9 \times 10^5 \text{ Pa}$ dır. Sıkıştırma sonu sıcaklığı 680°C , genişleme sonu sıcaklığı 990K ve $k=1,4$ olduğuna göre P-V diyagramının köşe noktalarının basınç ve sıcaklık değerleri ile çevrimin ortalama indike basıncını bulunuz.

Çözüm:

$$P_1 = 0,9 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 333\text{K}$$

$$T_2 = 953\text{K}$$

$$T_4 = 990\text{K}$$

$$k = 1,4$$

$$P_4 = \frac{P_1 T_4}{T_1} = 2,67 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \rightarrow 953 = 333 \cdot \varepsilon^{0,4} \rightarrow \varepsilon = 13,84$$

$$\begin{aligned} P_1 V_1^k &= P_2 V_2^k \rightarrow P_1 \cdot \varepsilon^k = P_2 = 0,9 \times 10^5 \times 13,84^{1,4} \\ &= 35,63 \times 10^5 \text{ Pa} \end{aligned}$$

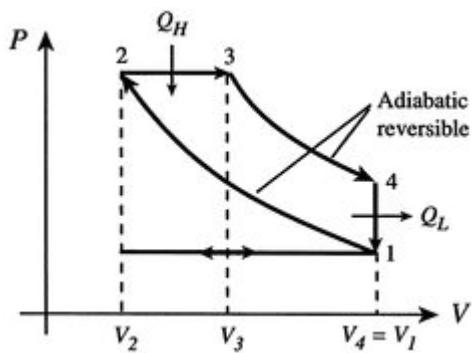
$$P_2 = P_3$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \varepsilon_g^k \rightarrow \varepsilon_g^{1,4} = 2,966 \rightarrow \varepsilon_g = 2,174$$

$$T_3 = T_2 \cdot \varepsilon_g = 953 \times 2,174 = 2071\text{K}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k \cdot (\varepsilon_g - 1)} = 0,58$$

$$P_{mi} = \eta_T \cdot \frac{P_1 \varepsilon^k \cdot k \cdot (\varepsilon_g - 1)}{(k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} = 6,613 \times 10^5 \text{ Pa}$$



5. İdeal Diesel çevrimine göre çalışan bir motorun genişleme başlangıcındaki sıcaklık 1337°C , genişleme sonundaki sıcaklık 345°C dir. Bu motorun sıkıştırma oranı 17 olduğuna göre adyabatik üssü 1,41 alarak ortalama indirek basıncı hesaplayınız.

Çözüm:

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_3 = 1610 \text{ K}$$

$$T_4 = 618 \text{ K}$$

$$k = 1,41$$

$$\varepsilon = 17$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow P_1 \cdot \varepsilon^k = P_2 = 1,01 \times 10^5 \times 17^{1,41}$$

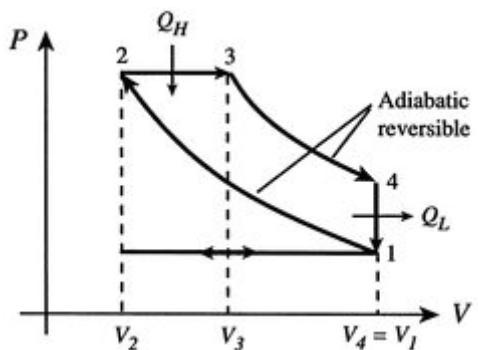
$$= 54,86 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_2 = P_3$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_g} \right)^{k-1} \rightarrow 2,605 = \left(\frac{17}{\varepsilon_g} \right)^{0,41} \rightarrow \varepsilon_g = 1,645$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k \cdot (\varepsilon_g - 1)} = 0,649$$

$$P_{mi} = \eta_T \cdot \frac{P_1 \cdot \varepsilon^k \cdot k \cdot (\varepsilon_g - 1)}{(k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} = 4,9 \times 10^5 \text{ Pa}$$



6. İdeal Diesel çevrimine göre çalışan toplam strok hacmi 1700cc olan dört stroklu bir motorda sıkıştırma süreci başlangıcındaki sıcaklık 25°C dir. Sıkıştırma sonu sıcaklığı 620 °C, basıncı 55×10^5 Pa ve biyel oranı 0,24 tür. Bu motorda genişleme süreci 150 °KMA süրdüğünde göre genişleme sonu basıncı ve sıcaklığını ve de 2000 d/d daki gücü hesaplayınız.

Çözüm:

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

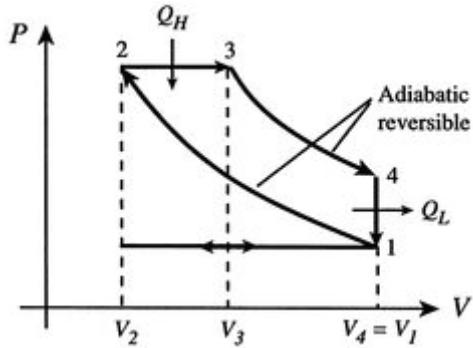
$$T_2 = 893 \text{ K}$$

$$P_2 = 55 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\lambda = 0,24$$

$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow 0,018 \cdot \varepsilon = 0,333 \rightarrow \varepsilon = 18,54$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow 18,54^k = 54,45 \rightarrow k = 1,369$$



$$x = r \left(1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha \right)$$

$$x|_{\alpha=180} = 2r$$

$$x|_{\alpha=30} = 0,164r$$

$$\begin{pmatrix} 2r & 17,54 \\ 0,164r & x \end{pmatrix} \rightarrow x = 1,438$$

$$\frac{V_3}{V_2} = \varepsilon_g = \frac{1+1,438}{1} \rightarrow \varepsilon_g = 2,438$$

$$P_4 = P_1 \cdot \varepsilon_g^k = 3,421 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \frac{T_4}{T_1} \rightarrow T_4 = 1009,36 \text{ K}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k \cdot (\varepsilon_g - 1)} = 0,587$$

$$P_{mi} = \eta_T \cdot \frac{P_1 \varepsilon^k \cdot k \cdot (\varepsilon_g - 1)}{(k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} = 9,82 \times 10^5 \text{ Pa}$$

7. Diesel çevrimine göre çalışan toplam strok hacmi 1,9 l olan 2 stroklu bir motorun sıkıştırma başlangıcındaki basıncı $0,85 \times 10^5$ Pa, sıkıştırma sonu basıncı 45×10^5 Pa ve ısı sokumu sonundaki sıcaklık 1337°C dir. Genişleme sonundaki sıcaklık 347°C ve sıkıştırma oranı 17 olduğuna göre bu motorun 3000 d/daki indike gücü kW olarak bulunuz.

Çözüm:

$$P_1 = 0,85 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_2 = 45 \times 10^5 \text{ Pa}$$

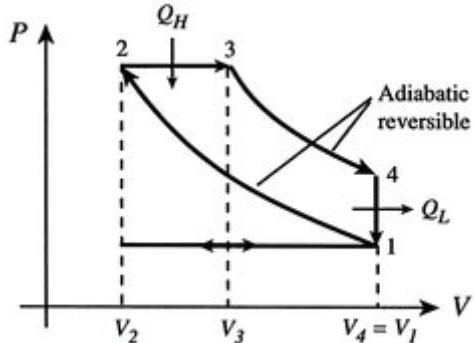
$$P_3 = 45 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_3 = 1610 \text{ K}$$

$$T_4 = 620 \text{ K}$$

$$\varepsilon = 17$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow \varepsilon^k = \frac{P_2}{P_1} = 17^k = \frac{45}{0,85} \rightarrow k = 1,40$$



$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_g} \right)^{k-1} \rightarrow 2,596 = \left(\frac{17}{\varepsilon_g} \right)^{0,40} \rightarrow \varepsilon_g = 1,564$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k \cdot (\varepsilon_g - 1)} = 0,646$$

$$P_{mi} = \eta_T \cdot \frac{P_1 \cdot \varepsilon^k \cdot k \cdot (\varepsilon_g - 1)}{(k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} = 3,57 \times 10^5 \text{ Pa}$$

8. İdeal Otto çevrimine göre çalışan toplam strok hacmi 1,8lt. olan 4 stroklu bir motorun termik verimi %60 ve genişleme başlangıcındaki sıcaklık ve basınç değerleri sırasıyla 738°C ve $34,25 \times 10^5 \text{ Pa}$ olduğuna göre bu motorun 4000 d/d daki indikatör gücü BG olarak bulunuz. ($T_{\text{ort}}=20^{\circ}\text{C}$)

Çözüm:

$$\eta_{th} = 0,60$$

$$T_3 = 1011K$$

$$P_3 = 34,25 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 293K$$

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,60 \rightarrow \varepsilon^{k-1} = 2,5$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} = 293 \cdot 2,5 = 732,5K$$

$$T_3 = T_4 \cdot \varepsilon^{k-1} \rightarrow T_4 = 404,4K$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \rho = 1,380$$

$$P_2 = \frac{P_3}{\rho} = 24,81 \times 10^5 \text{ Pa}$$

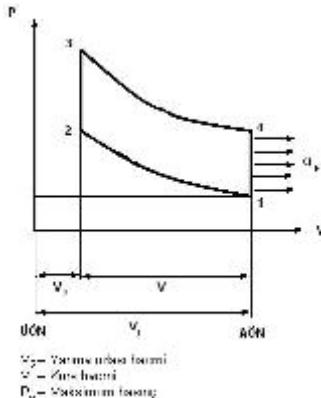
$$\frac{P_1 V_1}{P_2 V_2} = \frac{m R T_1}{m R T_2} \rightarrow 0,0407 \cdot \varepsilon = \frac{293}{732,5} \rightarrow \varepsilon = 9,82$$

$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow P_1 \cdot \varepsilon^k = P_2 \rightarrow 9,82^k = 24,56 \rightarrow k = 1,40$$

$$P_{mi} = \eta_{th} \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot (\rho-1) = 1,59 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$N_i = \frac{P_{mi} \cdot \sum V_H \cdot n}{60 \cdot a} = \frac{4,36 \times 10^5 \times 1,6 \times 10^{-3} \times 6000}{60 \times 2} = 9,5kW$$

$$N_i = 9,5 \times 1,36 = 13,056BG$$



9. İdeal Otto çevrimine göre çalışan bir motorun termik verimi 0,58 , sıkıştırma başlangıcı sıcaklığı 25°C ve genişleme sonu sıcaklığı 820K dir. Çevrimin ortalama indirek basıncını hesaplayınız. ($k=1,41$)

Çözüm:

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

$$T_3 = 820 \text{ K}$$

$$k = 1,41$$

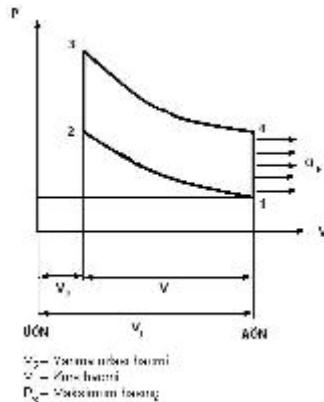
$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,58$$

$$\frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,42 \rightarrow \varepsilon^{0,41} = 2,38 \rightarrow \varepsilon = 8,29$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} = 298 \cdot 8,29^{0,41} = 709,28 \text{ K}$$

$$\rho = \frac{T_3}{T_2} = 1,156$$

$$P_{mi} = \eta_{th} \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot (\rho-1) = 0,6 \times 10^5 \text{ Pa}$$



10. İdeal Diesel çevrimine göre çalışan bir motorun sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklığı 25°C ve sıkıştırma sonu basıncı $55 \times 10^5 \text{ Pa}$, genişleme sonu sıcaklığı 630°C olduğuna göre adyabatik üssü $1,41$ alarak ortalama indike basıncı hesaplayınız.

Çözüm:

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 298 \text{ K}$$

$$P_2 = P_3 = 55 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_4 = 903 \text{ K}$$

$$k = 1,41$$

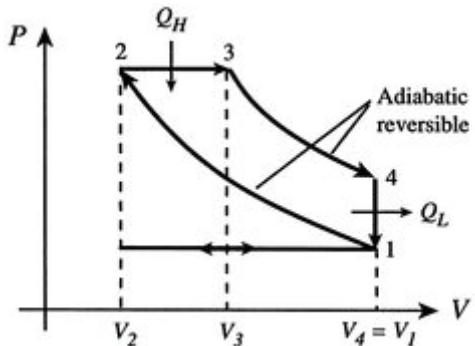
$$P_1 V_1^k = P_2 V_2^k \rightarrow \varepsilon^{1,41} = 54,45 \rightarrow \varepsilon \cong 17$$

$$P_4 = \frac{P_1 T_4}{T_1} = \frac{1,01 \times 10^5 \times 903}{298} = 3,06 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_4}{P_1} = \varepsilon_g^k \rightarrow \ln 3,03 = 1,41 \cdot \ln \varepsilon_g \rightarrow \varepsilon_g = 2,19$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\varepsilon_g^k - 1}{k \cdot (\varepsilon_g - 1)} = 0,62$$

$$Pmi = \eta_T \cdot \frac{P_1 \cdot \varepsilon^k \cdot k \cdot (\varepsilon_g - 1)}{(k-1) \cdot (\varepsilon - 1)} = 8,69 \times 10^5 \text{ Pa}$$



11. İdeal Otto çevrimine göre çalışan bir motorun termik verimi %60 dir. Sıkıştırma başlangıcındaki sıcaklığı 27°C ve ısı sokumu sonundaki basıncı $50 \times 10^5 \text{ Pa}$ dir. Motor sıkıştırma oranı 10 olduğuna göre ısı sokumu sonundaki sıcaklığı ve çevrimin ortalama indikatör basıncını bulunuz.

Çözüm:

$$\eta_{th} = 0,60$$

$$P_3 = 50 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$P_1 = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\varepsilon = 10$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,60$$

$$\frac{1}{\varepsilon^{k-1}} = 0,4 \rightarrow 10^{k-1} = 2,5 \rightarrow k \approx 1,39$$

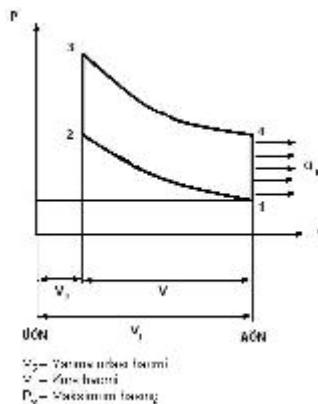
$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} = 736,41 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 10^{1,39} \rightarrow P_2 = 24,79 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$T_3 = \frac{P_3 T_2}{P_2} = 1485,29 \text{ K}$$

$$\rho = \frac{P_3}{P_2} = 2,01$$

$$P_{mi} = \eta_{th} \cdot \frac{P_1}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{\varepsilon-1} \cdot (\rho-1) = 4,28 \times 10^5 \text{ Pa}$$



+

Motorlarda Yanma

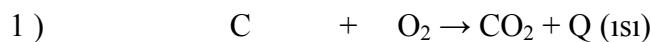
En basit haliile yanma olayı(fenomeni) maddelerin oksijenle yapmış oldukları reaksiyonlardır. Bu reaksiyon esnasında belirli miktarda ısı açığa çıkmaktadır. Bir yakıtın bünyesinde, ki bu ister sıvı yakıt (petrol ürünleri veya alkol) gaz yakıt veya katı yakıt (kömür veya odun) olsun bünyesinde değişik oranlarda ve değişik bağ şekillerinde C,H,S ve O vardır ve bu elementleri yakmak üzere gelen oksijen ile reaksiyona girerler:

En genel şekilde 1 kg yakıtın içinde

c kg karbon
h kg hidrojen
s kg kükürt
o_y kg oksiyen
n kg azot
w kg su
k kg kül bulunur.

1 kg yakıtın yanması için gereken hava miktarı

Bir yakıtın 1 kg.ının tam yanabilmesi için gereken oksijen miktarı ki bu miktara minimum oksijen miktarı denilir ve O_{min} ile gösterilir.

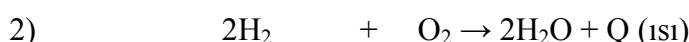


$$12\text{kg (C)} + 32 \text{ kg (O}_2\text{)} = 44 \text{ kg (CO}_2\text{)}$$

$$1\text{kg}C + \frac{32}{12}\text{kg}O_2 = \frac{44}{12}\text{kg}CO_2$$

$$1 \text{ kmol } C + 1 \text{ kmol } O_2 = 1 \text{ kmol } CO_2 + Q \text{ (ısı)}$$

$$1\text{kg}C + \frac{1}{12}\text{kmol}O_2 = \frac{1}{12}\text{kmol}CO_2$$

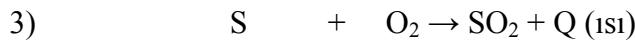


$$4\text{kg (H}_2\text{)} + 32 \text{ kg (O}_2\text{)} = 36 \text{ kg (H}_2\text{O)}$$

$$2 \text{ kmol H}_2 + 1 \text{ kmol O}_2 = 2 \text{ kmol H}_2\text{O}$$

$$1 \text{ kmol H}_2 + \frac{1}{2}\text{kmol O}_2 = 1 \text{ kmol H}_2\text{O}$$

$$1\text{kg}H_2 + \frac{1}{4}\text{kmol}O_2 = \frac{1}{2}\text{kmol}H_2\text{O}$$



$$32\text{kg (S)} + 32 \text{ kg (O}_2\text{)} = 64 \text{ (SO}_2\text{)}$$

$$1 \text{ kmol S} + 1 \text{ kmol O}_2 = 1 \text{ kmol SO}_2$$

$$1 \text{ kg S} + \frac{1}{32} \text{ kmol O}_2 = \frac{1}{32} \text{ kmol SO}_2$$

1 kg C için $\frac{1}{12}$ kmol O₂ gereklidir.

1 kg H₂ için $\frac{1}{4}$ kmol O₂ gereklidir.

1 kg S için $\frac{1}{32}$ kmol O₂ gereklidir.

Fakat 1 kg yakıt içinde;

%C (karbon) → c

%H(hidrojen) → h

%S(kükürt) → s

%O_y (oksijen) → o_y vardır.

Bu durumda,

$$O_{\min} = \frac{1}{12}c + \frac{1}{4}h + \frac{1}{32}s - \frac{1}{32}O_y \quad [\text{kmol O}_2/\text{kg yakıt}]$$

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \left[1 + \frac{\frac{h}{4} + \frac{s}{32} - \frac{o_y}{32}}{\frac{c}{12}} \right] \quad [\text{kmol O}_2/\text{kg yakıt}]$$

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \left[1 + \frac{\frac{12h}{4} + \frac{12s}{32} - \frac{12o_y}{32}}{c} \right] \quad [\text{kmol O}_2/\text{kg yakıt}]$$

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \left[1 + \frac{3 \left(h + \frac{s - o_y}{8} \right)}{c} \right] \quad [\text{kmol O}_2/\text{kg yakıt}]$$

$$\left[1 + \frac{3 \cdot \left(h + \frac{s - o_y}{8} \right)}{c} \right] = \sigma \text{ dersek.}$$

$\sigma \rightarrow$ yakıtın karakteristik değeri.

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \cdot \sigma \text{ [kmol O}_2/\text{kg yakıt]}$$

$$1 \text{ kmol O}_2 = 32 \text{ kg}$$

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \cdot \sigma \cdot 32 = \frac{8}{3} \cdot c \cdot \sigma \text{ [kg O}_2/\text{kg yakıt]}$$

Avogadro kanununu hatırlarsak,

0° C ve 760 mm Hg S basınçta 1 komol 22,4 Nm³ işgal eder.

15° C ve 760 mm Hg S basınçta 1 kmol 24 nm³ işgal eder.

Buna göre;

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \cdot \sigma \cdot 22,4 = 1,87 \cdot c \cdot \sigma \text{ [Nm}^3 \text{ O}_2/\text{kg yakıt]}$$

veya

$$O_{\min} = \frac{c}{12} \cdot \sigma \cdot 24 = 2c \cdot \sigma \text{ [nm}^3 \text{ O}_2/\text{kg yakıt]} \text{ olur.}$$

Yakıtın tam yanması için gereken oksijen miktarı atmosferdeki havadan sağlanacağına göre 1 kg yakıtın yanması için gereken oksijen miktarı (O_{\min}) belli olduğuna göre, 1 kg yakıtın yanması için gereken minimum hava (L_{\min}) miktarı hesap edilebilir.

a) L_{\min} kütlesel olarak hesaplanması.

Havanın içindeki oksijenin kütle miktarı olarak yüzdesi % 23,2 dir. Geri kalan % 76,8 azot olarak kabul edilir.

$$O_{\min} = 0,232 \cdot L_{\min} \text{ (kg O}_2/\text{kg yakıt)}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} \text{ (kg hava / kg yakıt)}$$

b) L_{\min} (Nm³, nm³ veya m³) olarak hesaplanması.

1 m³ havanın içinde oksijenin hacimsel yüzdesi 0,21 dir.

$$O_{\min} = 0,21 \cdot L_{\min} \text{ (Nm}^3, \text{ nm}^3 \text{ oksijen / kg yakıt)}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} \quad (\text{Nm}^3, \text{nm}^3 \text{ hava / kg yakıt})$$

Not: O_{\min} (kg O₂/ kg yakıt) olarak biliniyor ise, herhangi bir P ve T koşullarında gereken O_{\min} (m³/kg yakıt) olarak bulabilmemiz için, o koşullarda O₂ nin yoğunluğunu (ρ) bulmamız gereklidir ve bunun için ideal gaz denklemi P.V=m.R.T kullanılır.

$$m = 1 \text{ kg} \quad V = 1 \text{ m}^3 \text{ ve} \quad R = \frac{8314,3}{W_{O_2}} = \frac{8314,3}{32} = 259,82 \text{ J/kg.}^\circ\text{K}$$

$$\frac{m}{V} (\text{kg/m}^3) = \rho = \frac{P}{R.T} \quad , \quad P = (\text{N/m}^2), R = \text{J/kg}^\circ\text{K}, \quad T = {}^\circ\text{K}$$

$$O_{\min} = \frac{\rho}{\rho} \text{ m}^3 \text{ O}_2 / \text{kg yakıt.}$$

Eğer P ve T normal şartlar ise çıkacak sonuçta nm³ veya Nm³ olacaktır.

Aynı yoldan giderek L_{min} (kg) cinsinden biliniyor ise bu defa havanın mol ağırlığı 28,95 kg olduğuna göre;

$$R = \frac{8314,3}{W_{hava}} = \frac{8314,3}{28,95} = 287,19 \text{ J/kg.}^\circ\text{K} \text{ bulunur.}$$

böylece

$$\rho_{hava} = \frac{P}{R.T} (\text{kg/m}^3) \quad , \quad P = (\text{N/m}^2), R = \text{J/kg}^\circ\text{K}, \quad T = {}^\circ\text{K}$$

ve

$$L_{\min} = \frac{L_{\min}}{\rho_{hava}} \text{ m}^3 \text{ hava / kg yakıt.}$$

kmol cinsinden,

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} \text{ kmol hava / kg yakıt, } (O_{\min} = \text{kmol O}_2/\text{kg yakıt})$$

veya

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232 * 28,95} = \frac{O_{\min}}{6,7164} \text{ kmol hava / kg yakıt, } (O_{\min} = \text{kg O}_2/\text{kg yakıt})$$

Hava Fazlalık Katsayı (λ)

Hesap edilen minimum (teorik) hava miktarı yakıtın tam yanması için gereken minimum hava miktarıdır. Gerçek bir motorda yanma çok kısa bir sürede tamamlanması gerektiğinden,

yakıt moleküllerinin bu kadar kısa süre içinde gerekli oksijen moleküllerini bulması zordur. Bu moleküllerin karşılaşma olasılığını artırmak için hesap edilen minimum hava miktarından daha fazla havayı silindire vermemiz gerekmektedir. Fakat bazı karbüratörlü motorlarda silindire emilen hava miktarı L_{\min} daha azdır, bunu ilerdeki bahislerde daha ayrıntılı olarak açıklayacağız.

Gerçek çevrimi oluşturan ve 1 kg yakıtın yanmasını sağlayan hava miktarına (L_{ger}) gerçek hava miktarı denilir.

Eğer,

$L_{\text{ger}} < L_{\min}$ yakıt-hava karışımı zengindir.

$L_{\text{ger}} > L_{\min}$ yakıt-hava karışımı fakirdir.

$L_{\text{ger}} = L_{\min}$ yakıt-hava karışımı teorik (stokiométrik) tir.

Hava-yakıt karışımının karakterini ve kalitesini belirtmek içi hava fazlalık katsayısı (λ) gibi bir kavram getirilmiştir. Belirtilmiş olan bu katsayı yalnız ideal hava-yakıt karışımı için geçerlidir.

$$\lambda = \frac{L_{\text{ger}}}{L_{\min}}$$

Hava fazlalık katsayısı (λ) deneyel verilere göre seçilir ve değişik motorlarda değişik değerlerdedir.

Örneğin;

Düşük devirli, stasyonel ve gemi Diesel motorlarda $\lambda = 1,7 \div 2$

Yüksek devirli taşıt Diesel motorlarında $\lambda = 1,3 \div 1,7$

Taşıt Otto motorlarında $\lambda = 0,9 \div 1,1$

Uçak motorlarında $\lambda = 0,85 \div 1,0$

Verilen değerler normal çalışma koşulları için geçerlidir.

Hava fazlalık katsayısının belirtilmesi:

$$\lambda = \frac{L_{\text{saat}}}{B_{\text{saat}} \cdot L_{\min}}$$

L_{saat} (kg/h) motorun bir saatlik hava gereksinimi.

B_{saat} (kg/h) motorun bir saatlik yakıt harcanımı.

L_{\min} (kg hava/kg yakıt)

Hava- Yakıt Karışımın Tutuşma Sınırları

Hava fazlalık katsayısı yanma hızına ve tam yanmaya etki etmektedir. Motorlarda yapılmış olan deneyler göstermiş ki $\lambda = 0,85 \div 0,9$ te maksimum yanma hızı elde edilmektedir, dolayısıyla maksimum güçte bu λ' ya karşı gelmektedir. Fakat bu durumda tam yanma olmadığından, yanmamış yakıt zerecikleri ortama atılmakta, yani bu çalışma pek ekonomik olmamaktadır. Yapılan deneyler sonucunda $\lambda = 1 \div 1,1$ durumunda en ekonomik çalışma rejimi elde edilmektedir.

Görüldüğü gibi motorun gücü ve ekonomikliği $f(\lambda)$ dır ve daha önce belirttiğimiz gibi (λ) da yanma hızına ve yakıtın tam yanabilmesine etki etmektedir. Fakat yanma hızı bunun dışında da birçok faktöründe fonksiyonudur. Örneğin yanma odasının şekli, sıcaklık, basınç, hava yakıt karışımının hızı, art gazların katsayısı gibi. Bunları ileride derslerde daha ayrıntılı olarak inceleyeceğiz. Bunlara göre λ ya bağlı olarak özellikle benzin motorlarında iki çalışma rejimi vardır.

- Maksimum güç rejimi (uçaklarda kalkışta önemlidir)
- Maksimum ekonomi rejimi.

Yakıtın tutuşabilmesi için ise λ' ya bağlı olarak iki sınır vardır.

- 1) **$\lambda \geq 0,4$** Bu durumda yakıtı bir miktar arttırırsak, veya havayı biraz daha az gönderirsek hava-yakıt karışımı tutuşmaz. Bu sınırdan $\lambda < 1$ durumuna kadar yakıt çok zengindir, ama tutuşur ve yanar. Böyle bir karışımın yanması esnasında egzozdan siyah bir duman çıkar, bu ise eksik yanmanın işaretidir. Motorumuzun çok zengin karışımla çalışmasını istemeyiz, çünkü ekonomik değildir ve silindir içersinde kurum toplamalarına neden olur, ısınmalar artar, yağlama bozulur, aşınmalar artar.
- 2) **$\lambda \leq 1,4$** Bu durumda karışım içindeki karışım alt sınırdadır. Yakıtı bir miktar daha azaltır veya havayı bir miktar daha arttırırsak oluşacak olan karışım tutuşmaz. Bu sınırdan $\lambda > 1$ durumuna kadar karışım fakirdir ama buna rağmen tutuşur ve yanar.

Çok fakir karışımlarda ise yanma hızı çok düşük olacağından motorun normal çalışmasını bozar, hatta bazı durumlarda yanma genişleme stroku boyunca, egzoz supabı açık iken devam edebilmektedir. Supabın fazla ısınmasına neden olur, emme supabı açıllırken hala yanma söz konusu ise, silindire girmekte olan taze dolgu tutuşur ve karbüratore kadar uzanan alev patlamalarına neden olabilmektedir.

Söylememiz gerekir ki yakıt-hava karışımın gerçek fakirleşmesinin, yanı sıra rölatif bir fakirleşmede söz konsudur. İyi hazırlanmamış hava-yakıt karışımı, soğuk motorda yakıtın

tamamı buharlaşmadığından, yanma sıvı fazda olur ve yanma hızı çok düşüktür. Bu olay genelikle kışın soğuk bir motoru çalıştırıldıktan bir müddet sonra meydana gelir. Aynı şekilde rölatif zenginleştirmeden de söz edilebilir.

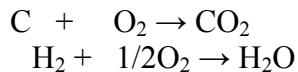
Yakıtlarda Tam Olmayan Yanma

Bazı motorlarda kısa süre için gerekmekte olan maksimum güc temin etmek için zengin karışım kullanılmaktadır. Bu durum da bilindiği gibi maksimum güç sağlanır, ancak özgül yakıt harcanımı artmaktadır. Çünkü tam yanma olmadığından atmosfere yakıt zerecikleri atılmaktadır.

Yakıtın tam yanmamasının iki nedeni vardır;

- 1 - Silindire emilen havanın sağladığı oksijen yetersizdir.
- 2 - Yakıt-hava karışımının iyi olmamasıdır.

İnceleme konumuz havanın az yani gerekli oksijenin yetersiz olmasıdır. Yani $\lambda < 1$ durumu. Gerekli miktarda hava var ise yakıt bileşimi CO_2 ve H_2O ya kadar yanmaktadır.



Hava yetersiz ise yanma ürünleri CO_2 , H_2O ve CO olmaktadır.



$$24 \text{ kg.C} + 32 \text{ kg O}_2 = 56 \text{ kg CO}$$

1 kg C ise,

$$1\text{kgC} + \frac{32}{24}\text{kgO}_2 = \frac{56}{24}\text{kgCO}$$

$$1\text{kgC} + \frac{4}{3}\text{kgO}_2 = \frac{7}{3}\text{kgCO}$$

$$1\text{kgC} + 1,33\text{kgO}_2 = 2,33\text{kgCO}$$

Göründüğü gibi 1 kg C yanması için 1,33 kg O_2 gereksinme vardır. Yakıtın içinde bulunan H_2 daha aktif bir eleman olarak H_2O ya kadar yanar. Gönderilen hava içersindeki geri kalan oksijen karbonun bir kısmını CO_2 ve diğer kısmını CO kadar yakar.

Karbonun CO kadar yanın kısımına x dersek ve $(1-x)$ kısmında CO_2 kadar yanmış olan karbon miktarı ise:

1 kg C için $\frac{4}{3}kgO_2$ gerekiyor.

c.x kg C için $\frac{4}{3}(c.x)kgO_2$ gerekecektir.

1 kg C'dan CO₂ kadar yanacak olan kısmına gereken oksijen miktarı;

1 kg C için $\frac{8}{3}kgO_2$ gerekiyor.

c.(1-x) kg C için $\frac{8}{3}c.(1-x)kgO_2$ gerekecektir.

H₂O'ya kadar yanması için 8.h kg O₂ gerekmektedir.

Bu durumda gereken oksijen miktarı:

$$O_{\min} = \frac{8}{3}.c(1-x) + \frac{4}{3}c.x + 8h + s \quad (\text{Benzinde } s \text{ yoktur})$$

Reaksiyon öncesi oksijen miktarı(Silindire emilen oksijen miktarı) :

$$O_{\delta n} = \lambda.O_{\min} + O_y = \lambda(\frac{8}{3}.c + 8h - O_y) + O_y$$

Yanma esnasında tüketilen oksijen reaksiyon öncesi oksijen miktarına eşit olmalıdır.

$$\lambda(\frac{8}{3}.c + 8h - O_y) + O_y = \frac{8}{3}.c(1-x) + \frac{4}{3}c.x + 8h$$

$$\lambda(\frac{8}{3}.c + 8h - O_y) = \frac{8}{3}.c - \frac{4}{3}c.x + 8h - O_y$$

$$\frac{4}{3}c.x = \frac{8}{3}c + 8h + s - O_y - \lambda(\frac{8}{3}c + 8h + s - O_y)$$

$$\frac{4}{3}c.x = (1-\lambda).(\frac{8}{3}c + 8h + s - O_y)$$

$$x = \frac{3}{4c}(1-\lambda).(\frac{8}{3}c + 8h + s - O_y)$$

$$x = \frac{3}{4c}(1-\lambda).O_{\min} \quad O_{\min} = 0,232.L_{\min}$$

$$x = \frac{3}{4c}(1-\lambda).0,232.L_{\min}$$

Bu formüller yardımcı ile karbonun ne kadarının CO ne kadar oksitlendiği hesaplanabilir.

x = 1 ise bütün karbon CO'kadar oksitlenmektedir ve x = 1 durumuna göre hesaplanan hava

fazlalık katsayısına kritik hava fazlalık katsayısı (λ_{kr}) denir.

$$1 = \frac{3}{4c} (1 - \lambda_{kr}) \cdot 0,232 \cdot L_{\min}$$

$$1 - \lambda_{kr} = \frac{4c}{3 \cdot 0,232 \cdot L_{\min}}$$

$$\lambda_{kr} = 1 - \frac{4c}{3 \cdot 0,232 \cdot L_{\min}}$$

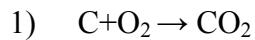
Otto motorlarında $\lambda_{kr} \approx 0,6$ dir.

Yanma Ürünlerinin Analizi

Bir iş çevriminde yanma sonucu oluşan gazlara yanma ürünleri denir ve ürünlerin analizi sonucunda çevrimin verimliliği hakkında yorum yapabiliriz. Böyle bir yorum yapabilmekteyiz çünkü oluşan gazın özgül ısısı yanma ürünlerin cinsine ve miktarlarına bağlıdır. Yanma ürünlerinin cinsi ve miktarı bir çok faktörün fonksiyonudur, fakat en önemli etkiyi hava fazlalık katsayısı yapmaktadır.

Yanma ürünlerinin hesaplanması

A) $\lambda \geq 1$



$$12 \text{ kg C} + 32 \text{ kg O}_2 \rightarrow 44 \text{ kg CO}_2$$

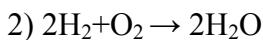
$$1 \text{ kg C} \text{ dan } \frac{44}{12} \text{ kg CO}_2 \text{ veya } \frac{11}{3} \text{ kg CO}_2$$

C kg dan ise $\frac{11}{3} \cdot C$ kg CO₂ elde edilir.



$$1 \text{ kg C} \text{ dan } CO_2 \frac{1}{12} \text{ kmol CO}_2$$

C kg dan ise $\frac{C}{12}$ kmol CO₂ elde edilir.



$$4 \text{ kg H}_2 + 32 \text{ kg O}_2 \rightarrow 36 \text{ kg H}_2O$$

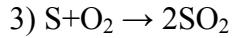
$$1 \text{ kg H}_2 \text{ den } \rightarrow 9 \text{ kg H}_2O$$

h kg dan ise 9h kg H₂O elde edilir.



$$1 \text{ kg H}_2 \text{ den } \rightarrow \frac{1}{2} \text{ kmol H}_2O$$

h kg dan ise $\frac{h}{2}$ kmol H_2O elde edilir.



$$32\text{kg} + 32 \text{ kg} \rightarrow 64 \text{ kg}$$

$$1\text{kg} S \text{den} \rightarrow 2\text{kg} SO_2$$

S kg dan ise $2S$ kg SO_2 elde edilir.

$$1\text{kg} S_2 \text{den} \rightarrow \frac{1}{32} \text{kmol} SO_2$$

S kg dan ise $\frac{1}{32} S$ kmol SO_2 elde edilir.

$$4) N_2 = 0,768\lambda L_{\min} (\text{kg } N_2/\text{kg } y) \text{ veya } 0,79\lambda L_{\min} (\text{ kmol } N_2/\text{kg } y)$$

$$5) O_2 = 0,232(\lambda - 1)L_{\min} (\text{kg } O_2/\text{kg } y) \text{ veya } 0,21(\lambda - 1)L_{\min} (\text{ kmol } O_2/\text{kg } y)$$

B) $\lambda < 1$

$$CO_2 = \frac{11}{3}c(1-x) \text{ (kg } CO_2 / \text{kg } y) ; CO_2 = \frac{c}{12}(1-x) \text{ (kmol } CO_2 / \text{kg } y)$$

$$CO = \frac{7}{3}c.x \text{ (kg } CO / \text{kg } y) ; CO = \frac{c}{12}x \text{ (kmol } CO / \text{kg } y)$$

$$H_2O = 9h \text{ (kg } H_2O / \text{kg } y) ; H_2O = \frac{h}{2} \text{ (kmol } H_2O / \text{kg } y)$$

$$SO_2 = 2S \text{ (kg } SO_2 / \text{kg } y) ; SO_2 = \frac{s}{32} \text{ (kmol } SO_2 / \text{kg } y)$$

$$N_2 = \frac{11}{3}c(1-x) \text{ (kg } N_2 / \text{kg } y) ; N_2 = 0,79\lambda L_{\min} (\text{ kmol } N_2 / \text{kg } y)$$

Yanma Anında Mol Sayısının Değişimi

İçten yanmalı motorlarda ısı enerjisi silindir içine giren yakıtın yanması ile elde edilmektedir. Bu yüzden yakıtın kimyasal terkibi değişikçe, ısı enerjisi değişecektir bunun motorun gücüne ve ekonomikliğine büyük etkisi olacaktır. Bu nedenle motor çevriminin karakteristik noktalarındaki iş gazının kimyasal bileşenlerini bilmemiz gerekmektedir. Sıkıştırma süreci esnasında iş gazı silindire giren taze dolgu ve egzost süreci sonunda silindirde kalan art gazlardan oluşmaktadır. Daha açık olarak belirtmek istersek (2) noktasındaki iş gazı hava, yakıt buharı ve art gazlardan oluşmaktadır. Yanma sonucunda bu şekildeki iş gazı yanma ürünlerine dönüşmekte ki (3) noktasındaki iş gazının özellikleri art gaz özellikleri ile aynıdır.

Bir çevrim sonunda silindirde kalan art gaz mol sayısı- n_r

Emilen taze dolgunun mol sayısı- n_e ise;

Art gaz katsayısı (γ_r) onların oranıdır.

$$\gamma_r = \frac{n_r}{n_e} \quad \gamma_r = 0,06 \div 0,10 \text{ otto motorlarında}, \quad \gamma_r = 0,03 \div 0,06 \text{ Diesel motorlarında}$$

Yukarıdaki formülde art gazlar katsayısı hacimsal oran olarak verilmiştir. Kütlesel orana geçmek için, kmol sayıları ile kmol miktarları arasındaki bağıntıyı kullanalım.

$$m_r = n_r * W_r \quad m_r \rightarrow \text{Art gaz miktarı (kütlesi) (kg)}$$

$$n_r \rightarrow \text{Art gaz kmol sayısı}$$
$$W_r \rightarrow \text{Art gaz kmol}$$

miktarı (kütlesi) (kg/kmol)

$$m_e = n_e * W_e \quad m_e \rightarrow \text{Taze dolgu miktarı (kütlesi) (kg)}$$

sayısı

$$n_e \rightarrow \text{Taze dolgu kmol}$$

miktarı (kütlesi) (kg/kmol)

$$W_e \rightarrow \text{Taze dolgu kmol}$$

$$\gamma_r = \frac{n_r}{n_e} = \frac{w_r}{\frac{m_e}{w_e}} = \frac{m_r}{m_e} \cdot \frac{w_e}{w_r}$$

$$\beta_r = \frac{n_r}{n_e} \quad (\text{moleküller değişim katsayısı})$$

$$\gamma_r = \frac{m_r}{m_e} \cdot \beta \quad , \quad m_r = m_e \cdot \frac{\gamma_r}{\beta}$$

1 kg yakıtı yaktırmak için gereken hava miktarı

$$L_{ger} = \lambda \cdot L_{min}$$

1 kg yakıtı yaktırmak için gereken taze dolgu miktarı

$$m_e = 1 + L_{min}$$

Buna göre 1 kg yakıtın içersindeki art gaz miktarı

$$m_r = (1 + \lambda \cdot L_{min}) \cdot \frac{\gamma_r}{\beta}$$

2 noktasındaki iş gazı, taze dolgu ve art gazdan oluşmaktadır. Buna göre;

$$m_{i,g} = m_e + m_r = (1 + \lambda \cdot L_{\min}) + (1 + \lambda \cdot L_{\min}) \frac{\gamma_r}{\beta}$$

$$m_{i,g} = m_e + m_r = (1 + \lambda \cdot L_{\min})(1 + \frac{\gamma_r}{\beta})$$

Bu denkleme göre iş gazı içерdiği değişik gazların ağırlık oranları saptanabilir.

Literatürde R_r , R_e ve $\beta (\lambda)$ ının fonksiyonu olarak diagramlar halinde bulunur.

Genelikle: $\lambda \geq 1 \rightarrow \beta = 1,05$

$$\lambda \geq (1 \div 0,5) \rightarrow \beta = 1,05 \div 1,25$$

lineer olarak değişir.

Karışım Isıl Değeri

Karışımın ısı değerinden önce, bu karışımı oluşturan yakıtın yanma ısısı veya ısı değerini, yani tam yanma halinde, sıvı yakıtlarda birim kütle veya gaz yakıtlarda birim hacim başına açığa çıkan ısıyı tanımlamamız gereklidir. Bir yaktın ısı değeri kalorimetrede yakmak suretiyle saptanır. Bir yakıtın tam yanması sonucu CO_2 , H_2O ve SO_2 açığa çıkar. Deney kalorimetrede yapılıyor ise yanma ürünlerinin sıcaklığı başlangıç sıcaklığına düşürülür. Bunun sonucunda su buharı yoğunur ve bir miktar ısı açığa çıkarır. Eğer hesaba bu ısısında katarsak bu üst ısı değeridir. (H_o)

İçten yanmalı motorlarda gazlar oldukça yüksek sıcaklıklarda atıldıklarından, su buharı silindir içerisinde yoğunlaşmaktadır. Bu yüzden hesaplarımızda alt ısı değeri (H_u) kullanırız ki buda mevcut olan su buharının buharlaşma ısısı kadar daha küçüktür.

Motorlarda kullandığımız yakıtları genellikle kapalı kimyasal formülü ile veririz. Bu yüzden bu yakıtın alt ısı değeri (H_u)yu bulmak için önce yakıt bileşenlerinin yüzdelerini bulmalıyız.

-Karbon miktarı

$$C = \frac{W_e \cdot n_e}{\sum W_i \cdot n_i}$$

$W_e = 12$ "karbonun atom ağırlığı"
 $n_e =$ "karbonun atom sayısı"
 $W_i = i$ "nolu bileşenin atom ağırlığı"
 $n_i = i$ "nolu bileşenin atom sayısı"

-Hidrojen miktarı

$$h = \frac{W_h \cdot n_h}{\sum W_i \cdot n_i}$$

$W_h = 1$ "hidrojenin atom ağırlığı"
 $n_h =$ "hidrojenin atom sayısı"

$$O = \frac{W_o \cdot n_o}{\sum W_i \cdot n_i}$$

$W_o = 16$ "oksijen atom ağırlığı"
 $n_o =$ "oksijen atom sayısı"

-Kükürt miktarı

$$S = \frac{W_s \cdot n_s}{\sum W_i \cdot n_i} \quad \begin{array}{l} W_s = 32 \text{ "kükürt atom ağırlığı"} \\ n_s = \text{"kükürt atom sayısı"} \end{array}$$

Örnek: C₂H₁₈OHS formülü ile verilen yakıtın bileşenlerini bulunuz.

-Karbon miktarı

$$C = \frac{W_e \cdot n_e}{\sum W_i \cdot n_i} = \frac{12.2}{12.2 + 1.19 + 16.1 + 32.1} = 0.263$$

-Hidrojen miktarı

$$H = \frac{W_h \cdot n_h}{\sum W_i \cdot n_i} = \frac{1.19}{12.2 + 1.19 + 16.1 + 32.1} = 0.208$$

-Oksijen miktarı

$$O = \frac{W_o \cdot n_o}{\sum W_i \cdot n_i} = \frac{16.1}{12.2 + 1.19 + 16.1 + 32.1} = 0.175$$

-Kükürt miktarı

$$S = \frac{W_s \cdot n_s}{\sum W_i \cdot n_i} = \frac{32.1}{12.2 + 1.19 + 16.1 + 32.1} = 0.351$$

Yakıtın kimyasal bileşenlerini bildiğimize göre alt ısı değerinin hesabı;

1) $\lambda \geq 1$ (tam yanma halinde)

a) Mendeleev tam formülü:

$$H_u = 34013C + 125600h + 10900(S-O) - 2512(9h+W) \text{ (kj/kg)}$$

b) Mendeleev kısaltılmış formülü (oksijen içermeyen yakıtlar için)

$$H_u = 34080.c + 103000h \text{ (kj/kg)}$$

c) Konovalov formülü (yakıt içinde oksijen bulunmadığında kullanılabilir)

$$H_u = 85830 \cdot L_{min} \text{ (kj/kg)}$$

d) Krego formülü

$$H_u = 46425 + 3044\rho - 8790\rho^2 \text{ (kj/kg)}$$

ρ = yakıtın 15° C deki özgül kütlesi.

$$\rho = (0.510 \div 0.900) \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

2) $\lambda < 1$ (eksik yanma halinde)

a) Mendeleev tam formülü:

$$H_u = 34013(1-x)C + 10300.c.x + 125600h + 10900(S-O) - 2512(9h+W) \text{ (kj/kg)}$$

b) Konovalov formülü

$$H_u = (119740\lambda - 33910).L_{min} \text{ (kj/kg) veya}$$

$\Delta H_u = 119750(1-\lambda).L_{min}$ (kj/kg) hesaplanarak tam yanma halindeki H_u dan çıkartılır.

L_{min} (kmol/kg_y) olarak alınır.

c) Diğer formüller

$$H_\lambda = H_u (1,32\lambda - 0,32) , H_u : \text{tam yanmaya göre hesap edilir.}$$

$$H_u = 34080.c + 103000(h-O_y/8) \text{ (kj/kg)}$$

$$H_u = 2970.L_{min} \text{ (kj/kg) , } L_{min} = (\text{kg hava/ kg yakıt})$$

$H_u/L_{min} = 2970$ (Görüldüğü gibi H_u ve L_{min} oranı sabittir. Buna göre düşük kalorili yakıt daha az hava miktarına gereksinmesi vardır)

Hava-Yakıt Karışımının Isı Değeri

(1 kg yakıtı içeren bir karışımın ısı değeri)

$$m_{kar} = 1 + \lambda \cdot L_{min} \text{ (kg karışım/ kg yakıt)}$$

a) $\lambda > 1$

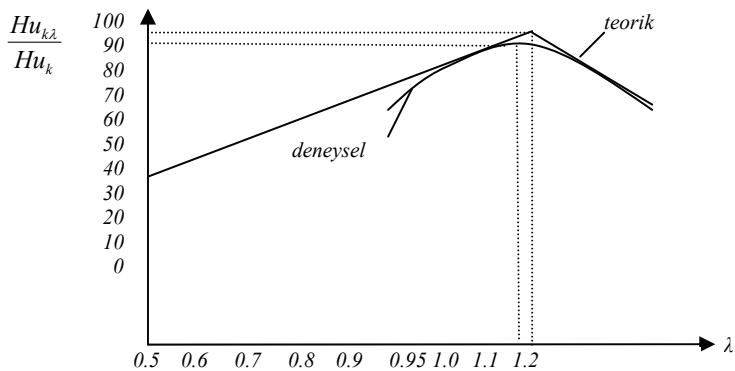
$$Hu_k = \frac{H_u}{m_{kar}} = \frac{H_u}{1 + \lambda \cdot L_{min}} \text{ (kj / kg karışım)}$$

$\frac{H_u}{L_{min}}$ \Rightarrow Değişik yakıtlar için sabit kalmakta idi .

λ' nin sabit kalması koşulu ile karışım içindeki yakıt cinsi değişse dahi karışımın ısı değeri sabit kalacaktır. λ artıkça ise karışımın ısı değeri düşecektir.

b) $\lambda < 1$ ise,

$$Hu_{k\lambda} = \frac{H_u(1,32\lambda - 0,32)}{1 + \lambda \cdot L_{min}} \text{ (kj / kg karışım)}$$



Şekilde deneysel ve teorik sonuçlar verilmiştir. Teorik olarak karışımın maksimum ısı değeri $\lambda = 1$ ' de olması gerkiyor, fakat deneysel sonuçlarda $\lambda = 0.95$ iken karışımın maksimum ısı değerine ulaşığı görülmektedir.

Bunun nedenleri ise ise sırası ile şöyledir.

- 1) Yakıt-hava karışımı homojen değildir.
- 2) Silindir içersinde hem fakir hemde zengin karışım bölgeleri vardır.

Bu yüzden yakıttan ve oksijenden tam yararlanılamamaktadır.

Az zenginleştirilmiş karışımlarda, fakir karışım bölgeleri yok olur ve oksijenden tam yararlanılmış olur ve bundan dolayı yakıt yaklaşık olarak tam yanar ve ısı değeri maksimuma ulaşır. Bu durumda yanmamış yakıtın büyük bir önemi yoktur, fakat zenginleştirme artık yanmamış yakıtın önemi artmaktadır ve bu nedenle ısı değeri düşmektedir.

$\lambda > 1$ iken dahi eksik yanma olabilir. Bu olayın nedenleri;

- 1) Karışım tam değildir, her noktadaki yakıt parçacıkları iyi dağılmamıştır ve hava ile temas edemeyerek yanamazlar.
- 2) Soğuk yüzeye çarpan yakıt moleküllerinin sıcaklığı yanma sıcaklığının altına düşer ve bu noktada hiç yanma olmaz veya başlamış olan yanma reaksiyon durur.

1. C₂H₅OH kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 0,85 hava fazlalık katsayı ile yakılması halinde yanma ürünlerini kmol cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 2}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{12.2}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,521$$

$$h = \frac{m_h \cdot 6}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{1.6}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,130$$

$$o = \frac{m_o \cdot 1}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{16.1}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,347$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{o}{32} \right] \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$O_{\min} = \left[\frac{0,521}{12} + \frac{0,130}{4} - \frac{0,347}{32} \right] = 0,065 \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$O_{\min} = 0,065 \cdot 32 = 2,08 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} \frac{\text{kg Hava}}{\text{kg Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{2,08}{0,232} = 8,965 \frac{\text{kg Hava}}{\text{kg Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,309 \frac{\text{kmol Hava}}{\text{kg Yakit}}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - \lambda) \frac{O_{\min}}{c}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - 0,85) \frac{2,08}{0,521} = 0,449$$

$$N_{CO_2} = \frac{1}{12} c(1-x) , \quad \frac{1}{12} 0,521(1-0,449) = 0,024 \frac{\text{kmol} CO_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$N_{CO} = \frac{1}{12} c(x) , \quad \frac{1}{12} 0,521(0,449) = 0,019 \frac{\text{kmol} CO}{\text{kg Yakit}}$$

$$N_{H_2O} = \frac{1}{2} h , \quad \frac{1}{2} 0,130 = 0,065 \frac{\text{kmol} H_2O}{\text{kg Yakit}}$$

$$N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot L_{\min} , \quad N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{\min}}{0,21} \quad 0,79 \cdot 0,85 \cdot 0,309 = 0,207 \frac{\text{kmol} N_2}{\text{kg Yakit}}$$

2. C₄H₁₀ kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 1 kg'nın 0,85 hava fazlalık katsayı ile yakılması halinde yanma ürünlerini kmol cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 4}{m_c \cdot 4 + m_h \cdot 10} = \frac{12.4}{12.4 + 1.10} = 0,827$$

$$h = \frac{m_h \cdot 10}{m_c \cdot 4 + m_h \cdot 10} = 0,172$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} \right] = 0,112 \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$O_{\min} = 0,112 \cdot 32 = 3,581 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} \frac{\text{kg} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{3,581}{0,232} = 15,435 \frac{\text{kg} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,533 \frac{\text{kmol} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - \lambda) \frac{O_{\min}}{c}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - 0,85) \frac{3,581}{0,827} = 0,487$$

$$N_{CO_2} = \frac{1}{12} c(1-x), \quad \frac{1}{12} 0,827(1-0,487) = 0,035 \frac{\text{kmol} CO_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{CO} = \frac{1}{12} c(x), \quad \frac{1}{12} 0,827(0,487) = 0,033 \frac{\text{kmol} CO}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{H_2O} = \frac{1}{2} h, \quad \frac{1}{2} 0,172 = 0,086 \frac{\text{kmol} H_2O}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot L_{\min}, \quad N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{\min}}{0,21} \quad 0,79 \cdot 0,85 \cdot 0,533 = 0,357 \frac{\text{kmol} N_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

3. C_2H_5OH kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 0,9 hava fazlalık katsayı ile yakılması halinde yanma ürünlerini kg cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 2}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{12.2}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,521$$

$$h = \frac{m_h \cdot 6}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{1.6}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,130$$

$$o = \frac{m_o \cdot 1}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{16.1}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,347$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{o}{32} \right] \frac{kmol O_2}{kg Yakin}$$

$$O_{\min} = \left[\frac{0,521}{12} + \frac{0,130}{4} - \frac{0,347}{32} \right] = 0,065 \frac{kmol O_2}{kg Yakin}$$

$$O_{\min} = 0,065 \cdot 32 = 2,08 \frac{kg O_2}{kg Yakin}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} \frac{kg Hava}{kg Yakin}$$

$$L_{\min} = \frac{2,08}{0,232} = 8,965 \frac{kg Hava}{kg Yakin}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,309 \frac{kmol Hava}{kg Yakin}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - \lambda) \frac{O_{\min}}{c}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - 0,9) \frac{2,08}{0,521} = 0,299$$

$$M_{CO_2} = \frac{11}{3}c(1-x), \quad \frac{11}{3}0,521(1-0,299) = 1,339 \frac{kg CO_2}{kg Yakin}$$

$$M_{H_2O} = 9.h, \quad 9.0,130 = 1,17 \frac{kg H_2O}{kg Yakin}$$

$$M_{CO} = \frac{7}{3}c(x), \quad \frac{7}{3}0,521(0,299) = 0,363 \frac{kg CO}{kg Yakin}$$

$$M_{N_2} = 0,768 \cdot \lambda \cdot L_{\min}, \quad 0,768 \cdot 0,9 \cdot 8,965 = 6,196 \frac{kg N_2}{kg Yakin}$$

4. C_2H_5OH kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 0,8 hava fazlalık katsayı ile yakılması halinde yanma ürünlerini kg cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 2}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{12.2}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,521$$

$$h = \frac{m_h \cdot 6}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{1.6}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,130$$

$$o = \frac{m_o \cdot 1}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1} = \frac{16.1}{12.2 + 1.6 + 16.1} = 0,347$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{o}{32} \right] \frac{kmol O_2}{kg Yaki}$$

$$O_{\min} = \left[\frac{0,521}{12} + \frac{0,130}{4} - \frac{0,347}{32} \right] = 0,065 \frac{kmol O_2}{kg Yaki}$$

$$O_{\min} = 0,065 \cdot 32 = 2,08 \frac{kg O_2}{kg Yaki}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} \frac{kg Hava}{kg Yaki}$$

$$L_{\min} = \frac{2,08}{0,232} = 8,965 \frac{kg Hava}{kg Yaki}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,309 \frac{kmol Hava}{kg Yaki}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - \lambda) \frac{O_{\min}}{c}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - 0,8) \frac{2,08}{0,521} = 0,598$$

$$M_{CO_2} = \frac{11}{3}c(1-x), \quad \frac{11}{3}0,521(1-0,598) = 0,767 \frac{kg CO_2}{kg Yaki}$$

$$M_{H_2O} = 9.h, \quad 9.0,130 = 1,17 \frac{kg H_2O}{kg Yaki}$$

$$M_{CO} = \frac{7}{3}c(x), \quad \frac{7}{3}0,521(0,598) = 0,726 \frac{kg CO}{kg Yaki}$$

$$M_{N_2} = 0,768 \cdot \lambda \cdot L_{\min}, \quad 0,768 \cdot 0,8 \cdot 8,965 = 5,508 \frac{kg N_2}{kg Yaki}$$

5. Bir deney motorunda $C_2 H_7$ kimyasal formülü ile verilen bir yakıt 0,9 hava fazlalık katsayısı ile yakılmaktadır. Motorun çalışması süresince 2 kg yakıt tüketilmesi durumunda oluşan yanma ürünlerini kg cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 2}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 7} = \frac{12.2}{12.2 + 1.7} = 0,774$$

$$h = \frac{m_h \cdot 7}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 7} = \frac{1.7}{12.2 + 1.7} = 0,226$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} \right] x 32 = 3,872 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} \frac{\text{kg} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{3,872}{0,232} = 16,689 \frac{\text{kg} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - \lambda) \frac{O_{\min}}{c}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - 0,9) \frac{3,872}{0,774} = 0,375$$

$$M_{CO_2} = \frac{11}{3}c(1-x) , \quad \frac{11}{3}0,774(1-0,375).2 = 3,547 \frac{\text{kg} CO_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$M_{H_2O} = 9.h , \quad 9.0,226.2 = 4,068 \frac{\text{kg} H_2O}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$M_{CO} = \frac{7}{3}c(x) , \quad \frac{7}{3}0,774(0,375).2 = 1,354 \frac{\text{kg} CO}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$M_{N_2} = 0,768.\lambda.L_{\min} , \quad 0,768.0,9.16,689.2 = 23,070 \frac{\text{kg} N_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

6. %85 metan ve %15 propan karışımı kritik hava fazlalık katsayılarıyla yanmaya tabi tutulsaydı atılan CO miktarı kaç kg dir?

$$c_{propan} = \frac{m_c \cdot 3}{m_c \cdot 3 + m_h \cdot 8} = 0,82$$

propanx0,85

$$h_{propan} = \frac{m_h \cdot 8}{m_c \cdot 3 + m_h \cdot 8} = 0,18$$

metanx0,15

$$\sum C = 0,8095$$

$$\sum H = 0,1905$$

$$c_{metan} = \frac{m_c \cdot 1}{m_c \cdot 1 + m_h \cdot 4} = 0,75$$

$$h_{metan} = \frac{m_h \cdot 4}{m_c \cdot 1 + m_h \cdot 4} = 0,25$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} \right] \frac{kmol O_2}{kg Yakin}$$

$$O_{\min} = 0,1150 \frac{kmol O_2}{kg Yakin}$$

$$O_{\min} = 3,682 \frac{kg O_2}{kg Yakin}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} = 15,8706 \frac{kg Hava}{kg Yakin}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,5476 \frac{kmol Hava}{kg Yakin}$$

$$x = 1 \rightarrow \lambda_{kr}$$

$$\lambda_{kr} = 1 - \frac{4 \times 0,8095}{3 \times 3,682} = 0,70$$

$$M_{CO_2} = 0$$

$$M_{CO} = \frac{7}{3} c(x) , \quad \frac{7}{3} 0,8095 \cdot 1 = 1,888 \frac{kg CO}{kg Yakin}$$

$$M_{H_2O} = 9.h , \quad 9.0,1905 = 1,714 \frac{kg H_2O}{kg Yakin}$$

$$M_{N_2} = 0,768 \lambda L_{\min} , \quad 0,768 \cdot 0,715,8706 = 8,532 \frac{kg N_2}{kg Yakin}$$

7. Bir deney motorunda $C_3 H_8$ kimyasal formülü ile verilen bir yakıt kritik hava fazlalık katsayısı ile yakılması sonucu oluşacak yanma ürünlerini nm^3 olarak bulunuz.

$$c = \frac{m_c \cdot 3}{m_c \cdot 3 + m_h \cdot 8} = \frac{12.3}{12.3 + 1.8} = 0,818$$

$$h = \frac{m_h \cdot 8}{m_c \cdot 3 + m_h \cdot 8} = 0,182$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} \right] = 0,113 \frac{kmol O_2}{kg Yakit}$$

$$O_{\min} = 0,113 \cdot 32 = 3,637 \frac{kg O_2}{kg Yakit}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} = 15,678 \frac{kg Hava}{kg Yakit}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,538 \frac{kmol Hava}{kg Yakit}$$

$$x = 1 \rightarrow \lambda_{kr}$$

$$\lambda_{kr} = 1 - \frac{4 \times 0,818}{3 \times 3,637} = 0,70$$

$$N_{CO_2} = 0 \frac{kmol CO_2}{kg Yakit}$$

$$N_{CO} = \frac{1}{12} c(x) , \quad \frac{1}{12} 0,818 \cdot 1 = 0,068 \frac{kmol CO}{kg Yakit}$$

$$N_{H_2O} = \frac{1}{2} h , \quad \frac{1}{2} 0,182 = 0,091 \frac{kmol H_2O}{kg Yakit}$$

$$N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot L_{\min} , \quad N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,79 \cdot 0,70 \cdot 0,538 = 0,297 \frac{kmol N_2}{kg Yakit}$$

$15^\circ C$ de ve $760mm Hg$ de $1kmol = 24Nm^3$

$$V_{CO} = 1,632 \frac{Nm^3}{kg} Yakin$$

$$V_{H_2O} = 2,184 \frac{Nm^3}{kg} Yakin$$

$$V_{N_2} = 7,128 \frac{Nm^3}{kg} Yakin$$

8. C₈H₁₈S kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 1,2 hava fazlalık katsayısı ile yakılması halinde yanma ürünlerini kmol cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 8}{m_c \cdot 8 + m_h \cdot 18 + m_s \cdot 1} = \frac{12.8}{12.8 + 1.18 + 32.1} = 0,0,657$$

$$h = \frac{m_h \cdot 8}{m_c \cdot 8 + m_h \cdot 18 + m_s \cdot 1} = \frac{1.18}{146} = 0,123$$

$$s = \frac{m_s \cdot 8}{m_c \cdot 8 + m_h \cdot 18 + m_s \cdot 1} = \frac{32.1}{146} = 0,220$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s}{32} \right] = 0,092 \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$O_{\min} = 0,092 \cdot 32 = 2,956 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} = 12,741 \frac{\text{kg} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,438 \frac{\text{kmol} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{CO_2} = \frac{1}{12} c, \quad \frac{1}{12} 0,657 = 0,054 \frac{\text{kmol} CO_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{SO_2} = \frac{1}{32} s, \quad \frac{1}{32} 0,220 = 6,875 \times 10^{-3} \frac{\text{kmol} SO_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{H_2O} = \frac{1}{2} h, \quad \frac{1}{2} 0,123 = 0,0615 \frac{\text{kmol} H_2O}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{N_2} = 0,79 \lambda L_{\min}, \quad N_{N_2} = 0,79 \lambda \cdot \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,79 \cdot 1,2 \cdot 0,438 = 0,415 \frac{\text{kmol} N_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

9. C₂H₆OS kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 1,3 hava fazlalık katsayı ile yakılması halinde yanma ürünlerini kg cinsinden 1kg yakıt için hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 2}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1 + m_s \cdot 1} = 24/78 = 0,307$$

$$h = \frac{m_h \cdot 6}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1 + m_s \cdot 1} = 6/78 = 0,076$$

$$o = \frac{m_o \cdot 1}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1 + m_s \cdot 1} = 16/78 = 0,205$$

$$s = \frac{m_s \cdot 1}{m_c \cdot 2 + m_h \cdot 6 + m_o \cdot 1 + m_s \cdot 1} = 32/78 = 0,410$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} + \frac{s - o_y}{32} \right] \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$O_{\min} = \left[\frac{0,307}{12} + \frac{0,076}{4} - \frac{0,205}{32} + \frac{0,410}{32} \right] = 0,051 \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$O_{\min} = 1,631 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} = 7,030 \frac{\text{kg Hava}}{\text{kg Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,242 \frac{\text{kmol Hava}}{\text{kg Yakit}}$$

$$M_{CO_2} = \frac{11}{3}c, \quad \frac{11}{3}0,307 = 3,377 \frac{\text{kg} CO_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$M_{H_2O} = 9.h, \quad 9.0,076 = 0,684 \frac{\text{kg} H_2O}{\text{kg Yakit}}$$

$$M_{SO_2} = 2.s, \quad 2.0,410 = 0,82 \frac{\text{kg} SO_2}{\text{kg Yakit}}$$

$$M_{N_2} = 0,768 \cdot \lambda \cdot L_{\min}, \quad 0,768 \cdot 1,3 \cdot 7,03 = 7,02 \frac{\text{kg} N_2}{\text{kg Yakit}}$$

10. C₇H₁₆ kimyasal formülü ile verilen bir yakıtın 0,9 hava fazlalık katsayı ile yakılmaktadır. 1 kg yakıtın yakılması sonucu yanma ürünlerini kmol cinsinden hesaplayınız.

$$c = \frac{m_c \cdot 7}{m_c \cdot 7 + m_h \cdot 16} = \frac{7 \cdot 12}{12 \cdot 7 + 1 \cdot 16} = 0,84$$

$$h = \frac{m_h \cdot 16}{m_c \cdot 7 + m_h \cdot 16} = 0,160$$

$$O_{\min} = \left[\frac{c}{12} + \frac{h}{4} \right] = 0,11 \frac{\text{kmol} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$O_{\min} = 0,113 \cdot 3,2 = 3,52 \frac{\text{kg} O_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,232} = 15,17 \frac{\text{kg} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$L_{\min} = \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,523 \frac{\text{kmol} \text{Hava}}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - \lambda) \frac{O_{\min}}{c}$$

$$x = \frac{3}{4}(1 - 0,9) \frac{3,52}{0,84} = 0,31$$

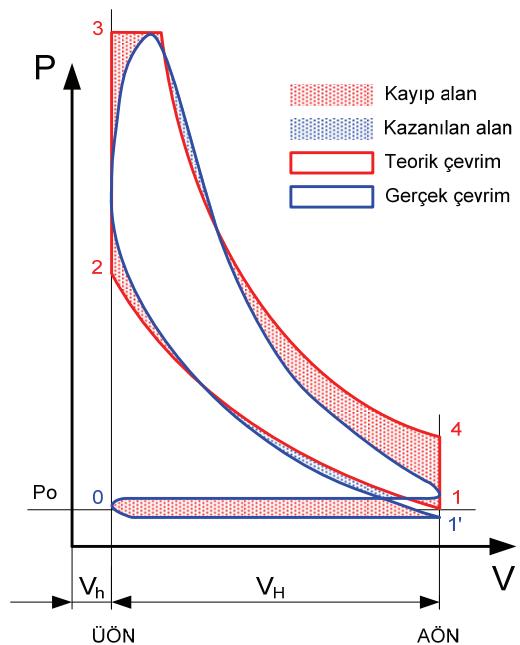
$$N_{CO_2} = \frac{1}{12} c(1-x) , \quad \frac{1}{12} 0,84(1-0,31) = 0,0483 \frac{\text{kmol} CO_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{CO} = \frac{1}{12} c(x) , \quad \frac{1}{12} 0,84(0,31) = 0,0217 \frac{\text{kmol} CO}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{H_2O} = \frac{1}{2} h , \quad \frac{1}{2} 0,16 = 0,08 \frac{\text{kmol} H_2O}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

$$N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot L_{\min} , \quad N_{N_2} = 0,79 \cdot \lambda \cdot \frac{O_{\min}}{0,21} = 0,79 \cdot 0,9 \cdot 0,523 = 0,371 \frac{\text{kmol} N_2}{\text{kg} \text{Yakit}}$$

GERÇEK MOTOR ÇEVİRİMİ



Şekil.

Gerçek motor çevrimi standart hava (teorik) çevriminden farklı olarak emme, sıkıştırma, tutuşma ve yanma, genişleme ve egzost olmak üzere beş süreçten oluşan açık çevirimdir. Bu nedenle gerçek motor çevrim iş alanın ile standart hava (teorik) çevrim iş alanı arasında bir fark oluşmaktadır. İş alanı farkın oluşması aşağıdaki gibi açıklanabilir;

- Teorik çevrimden farklı olarak piston ÜÖN'dan AÖN'ye giderken silindir içersinde oluşan alt basıncın etkisi ile dış ortamdan silindire taze dolgu emilir. Piston hızının yüksek ve emme supabı dolgu geçiş alanın dar olması nedeni ile ve emme sisteminde oluşan basınç kayipları, emme basıncını dış ortam basıncın altına düşürür.

$$P_{t'} = (0,85 - 0,95) P_0$$

Burada; $P_{t'}$ - Emme sonu basıncı

P_0 - Dış ortam basıncıdır

Aynı şekilde egzost supabı kesit alanı ve egzost sistemin direncin etkisi ile yanmış gazların dış ortama atılması daha yüksek basınçta olur.

$$P_r = (1,03 - 1,15) P_0$$

Burada; P_r - Egzost (yanmış) gaz basıncıdır

Yüksek basınç ve sıcaklıktaki yanmış gazların bir kısmı yanma odasında kalır ve emilmekte olan taze dolgu ile karışması sonucunda taze dolgunun ısınmasına neden olurlar. Artan taze dolgu sıcaklığı sonucunda kütlesel olarak silindirlere girebilen taze dolgu miktarı azalır.

Göründüğü gibi emme ve egzost süreçleri esnasında oluşan olayların neden olduğu enerji kaybı sonucunda çevrim iş alanında L_0 kadar bir iş kaybı meydana gelmektedir.

- Sıkıştırma ve genişleme süreçleri, çevrimin tersinin olmaması ve gaz ile silindir cidarları arasında çevrim boyunca oluşan karşılıklı ısı iletimin sonucunda izentropik olarak gerçekleşmemektedirler. Sıkıştırma sürecin başlarında cidarlardan gaza doğru olan ısı iletimi ve genişleme sürecin başlarında devam etmekte olan yanmanın etkisi ile çevrim iş alanında mavi ile taranmış olan alan kadar bir iş kazancı meydana gelmektedir. Daha sonra ise sıkıştırma sürecinde ısı iletimin gazdan cidara doğru olacak şekilde yön değiştirmesi ile ÜÖN'dan önce yanmanın başlamış olması ve genişleme sürecin başlarındaki yanma yoğunluğun azalması ve yüksek sıcaklıktaki gazlardan silindir cidarlarına doğru olan ısı iletimin etkisinin artması ile çevrim iş alanında kırmızı ile taranmış alan kadar iş kaybı meydana gelir.
 - Standart hava çevriminde yanma yerine sabit hacimde ve sabit basınçta gerçekleşebilen ısı sokumu kullanılarak sisteme ısı verilmektedir. Gerçek motorlarda ise sistemin ısı artışı yanma sonucunda olmaktadır. Yanmanın sabit basınçta ve sabit basınçta tam olarak gerçekleşmemesi sonucunda faydalı iş alanında bir kayıp meydana gelmektedir.
- Standart hava çevrimi sistemden sabit hacimde ısı çekerek tamamlanır. Gerçek motor çevriminde ise çekilmesi sıcak yanmış gazların dış ortama atılması ile gerçekleşir. Bu gazların sabit hacimde ve sonsuz hızda dış ortama atılması olanaksız olduğundan faydalı iş alanında bir kayıp meydana gelir.

Yukarda söz edilen nedenlerden dolayı standart hava (teorik) çevrimin termik verimi (η_t) ile gerçek motor verimi arasında bir fark vardır. Gerçek motor çevrim verimine indirek verim (η_i) denir ve bu verim teorik çevrim veriminden daha küçüktür.

$$\eta_i = \eta_t * \eta_g$$

η_g 'ye organik verim veya motorun iyilik derecesi denir. Bu verim gerçek motor çevrim veriminin teorik çevrim verimine ne oranda yaklaştığımızı gösterir.

EMME SÜRECİ

Dört stroklu motorlarda birinci strok emme strokudur ve bu strokta silindire taze dolgu dolar. Emme sürecin büyük bir kısmı bu strokta gerçekleşir. Emme sürecini 220 – 280 derece krank açısı kadar bir sürede tamamlanırken emme stroku ise 180 derece krank açısıdır. Anlaşılacığı gibi emme süreci emme strokundan daha uzundur, çünkü emme süreci egzoz strokun sonlarında emme supabın açılması ile başlar ve sıkıştırma strokun başlarında emme supabın kapanması ile sona erer.

Emme süreci termik, hidromekanik ve motor konstrüksiyonu gibi faktörlere bağlıdır. Motorun diğer parametrelerin aynı kalmak şartı ile, silindir içerisinde bulunan taze dolgu yanabilecek yakıt miktarını ve bunun sonucunda silindirden elde edilecek olan işi belirlemiş olur. Motor gücünü artırmak ve motor ağırlıklarını azaltmak için bu iş mümkün olan en büyük değerde olmalıdır. Bunu sağlamak için silindirlere mümkün olan maksimum miktardaki taze dolguyu emmeliyiz. Silindirlerin doldurma miktarı volometrik verim veya doldurma katsayısı ile tanımlanır.

$$\eta_{vol} = \frac{L_{ger}}{L_o}$$

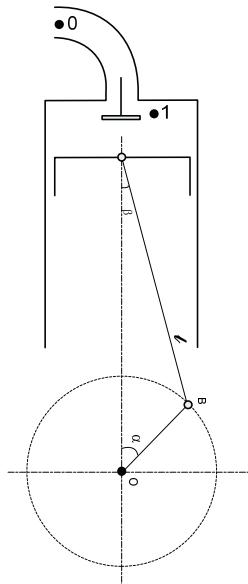
Burada ; η_{vol} - volometrik verim

L_{ger} - emme esnasında silindir içersine gerçekte emilen taze dolgu miktarı

L_o - normal şartlarda emilebilecek maksimum taze dolgu miktarı

Emme süreci egzost sürecinden sonra meydana gelir ve belirli miktarda egzost gazı sıkıştırma hacminde kalır. Bu gaza art gaz denir ve basıncı ve sıcaklığı dış ortama atılmakta olan yanmış gazların basıncına (P_r) ve sıcaklığına (T_r) eşittir.. Egzost supap açıklığı ile egzost sistemin hidrodinamik dirençleri sonucunda egzost gazların dış ortama atılma basınçları P_r dış ortam basıncı P_0 'dan büyük olur. Piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru giderken taze dolgunun emilebilmesi için ilk önce art gazın basıncı dış ortam basıncının altına düşmeli. Emme strokun bir kısmı art gazın genleşmesi için kullanıldığımızdan , taze dolgunun emilebileceği hacim azalır. Taze dolgu silindire emilirken, emme sistemin en dar kesitinde oluşan hız $U_1 = (40 - 130)m/s$ mertebelerindedir. Bu oldukça yüksek hızların etkisi ile emme supabı kesiti ve emme sisteminde önemli hidrodinamik dirençlerin oluşmasına

neden olur ve bu bölgelerde ile silindirde basınç düşer. Bu basınç kaybının etkisi ile emme sonu taze dolgu basıncı P_1 olur.



Şekil:

0 noktasında gaz : P_0 - dış ortam basıncı MPa

T_0 - dış ortam sıcaklığı $^{\circ}K$

ρ_0 - dış ortam koşullarında gazın özgül kütlesi kg/m^3

U_0 - bu noktada gaz hızı m/s

1 noktasında gaz: P_1 - emme sonu gaz basıncı MPa

T_1 - emme sonu gaz sıcaklığı $^{\circ}K$

ρ_1 - emme sonu koşullarında dolgunun özgül kütlesi kg/m^3

U_1 - bu noktada dolgu hızı m/s

Bu iki nokta arasındaki akış için Bernoulli denklemi;

$$\frac{P_0}{\rho_0} + \frac{U_0}{2} = \frac{P_1}{\rho_1} + \frac{U_1}{2} + \xi \frac{U_1^2}{2} + \Delta H.g$$

Burada; ξ - emme sistemin hidrodinamik basınç kayıp katsayısi

ΔH - iki nokta arasında olan statik basınç farkı

$\Delta H = 0$ olarak kabul edilir

g - yer çekimi ivmesi $gr/m.s^2$

U_0, U_1 'den çok küçük olduğundan

$U_0 = 0$ olarak kabul edilir

$\rho_0 = \rho_1 = \rho$ kabul edilir (tam açık gaz kelebeği konumu için)

Bu kabullerle emme sonu basıncı:

$$P_1 = P_0 - \rho \frac{U_1^2}{2} (1 + \xi) \text{ olur.}$$

Silindir içinde taze dolgunun eksenel hızı piston ortalama hızına eşit olduğunu kabul edilmesi halinde iki noktadaki akış için sürekli denklemi;

$$U_1 \cdot f_{sup} = C_m \cdot F_{sil} \quad \text{olur}$$

Burada; f_{sup} - 1 noktasında supap kesit alanı m^2

$$C_m = \frac{H.n}{30} \text{ piston ortalama hızı } m/s$$

H - piston stroku m

n - motor devir sayısı d/d

F_{sil} - silindir kesit alanı m^2

$$U_1 = \frac{F_{sil} \cdot H \cdot n}{30 \cdot f_{sup}} \quad \dots \dots \dots \text{nolu denklemde yerine koyarsak}$$

$$P_1 = P_0 - (1 + \xi) \frac{\rho}{2} \left(\frac{F_{sil} \cdot H \cdot n}{30 \cdot f_{sup}} \right)^2 \quad \text{eğer}$$

$$\frac{\rho}{2} \left(\frac{F_{sil} \cdot H}{30} \right)^2 = K \quad \text{dersek}$$

$$P_1 = P_0 - K(1 + \xi) \left(\frac{n}{f_{sup}} \right)^2 \quad \text{olur}$$

Gördüğü gibi, emme sonu oluşan silindir iç basıncı motor devir sayısının karesi ile doğru orantılıdır, supap kesit alanının karesi ile ters orantılıdır. Emme sistemin hidrodinamik basınç kayıp katsayısının (ξ) etkisi motorun dizel veya Otto olmasına bağlı olarak farklı olur. Dizel motorlarında güç silindire püskürtülen yakıt miktarı ile ayarlanır ve inşa

edilmiş belirli bir motor için hidrodinamik basınç kayıp katsayısı (ξ) sabittir ve motor işletme şartına bağlı değildir. Bu tip motorlarda emme sonu basınç değişimi sadece motor devir sayısının fonksiyonudur. Otto motorlarında güç kontrolü için gaz kelebeğin konumuna bağlı olarak emme manifoldun kesitinin değişimi sonucunda hidrodinamik basınç kayıp katsayısı (ξ) değişir. Bu nedenle kivilcüm ateşlemeli motorlarda emme sonu basınç değişimi motor devir sayısı ve motor yükün (gaz kelebeği açıklığı) fonksiyonudur.

$$P_1 = (0,80 - 0,90) P_o \quad \text{dört stroklu motor}$$

$$P_1 = (0,90 - 0,95) P_{kom} \quad \text{aşırı doldurmali motorlarda}$$

P_{kom} - kompresör çıkış basıncıdır

$$P_1 = (0,85 - 01,05) P_{kar} \quad \text{iki stroklu doğru akım süpürmeli motorlarda}$$

P_{kar} - karter basıncı

$$P_1 = \frac{P_{kar} + P_r}{2} \quad \text{karterden süpürmeli motorlarda}$$

Emme esnasında emilen taze dolgunun sıcaklığı değişir. T_0 sıcaklığındaki taze dolgu önceki çevrimden kalan ve daha yüksek T_r sıcaklığında olan n_r mol sayısındaki egzost gazları ile karışarak sıcaklığı artar. Aynı zamanda taze dolgunun silindir kafası, piston yüzü, silindir cidarları ve supaplar gibi sıcak motor yüzeyleri ile temasta olduğundan sıcaklığı biraz daha yükselir. Bu nedenlerden dolayı emme sonu taze dolgu sıcaklığı $T_1 > T_0$ olur.

Sıcaklık artışı motor tipine göre değişmekle beraber ortalama $(10 - 40)^0\text{C}$ mertebesindedir.

Egzost süreci esnasında egzost supap açığının ve egzost manifoldunda oluşan hidrodinamik direnç sonucunda egzost gazların dış ortama atılma basıncları P_r , dış ortam basıncı P_0 'dan daha yüksek olur. Egzost sürecin sonunda sıkıştırma hacminde P_r basıncında olan bir miktar egzost gazı kalır. Bu gaza artık yanma ürünleri veya art gaz denir. Emme süreci esnasında piston ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareket ederken ilk önce bu art gazların basıncı dış ortam basıncının altına düşer ve ancak ondan sonra taze dolgu silindirlere emilebilir. Emme sürecinde supap kesitin ve emme manifoldun hidrodinamik basınç kaybının etkisi ile silindir içersindeki basınç dış ortam basıncının altına düşer. Basıncın düşmesi ve sıcaklığın artması sonucunda taze dolgunun özgül kütlesi ρ düşer ve emme sonunda $\rho_1 < \rho_0$ olur. Bunun sonucunda da silindirin strok hacminde (V_H) bulunması gereken taze dolgu miktarından daha az dolgu girer.

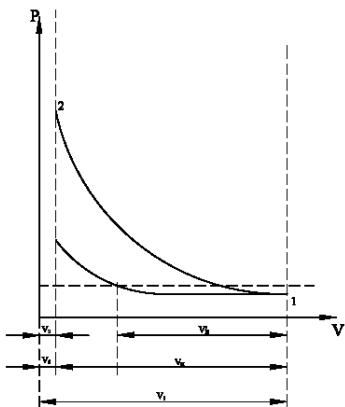
$$n_e < n_0 \quad \text{olur}$$

Burada: n_0 - P_0, T_0 koşullarında V_H hacmine emilebilecek taze dolgunun mol sayısıdır.

n_e - gerçekten V_H hacmine emilebilen taze dolgunun mol sayısıdır.

Buna göre volometrik verim $\eta_{vol} = \frac{n_e}{n_0}$ olarak yazılabilir.

Göründüğü gibi bu faktörlerin etkisi ile silindire giren taze dolgu miktarı azalmakta ve bunun sonucunda silindirden alınabilecek güçte düşmektedir. Bir silindirden maksimum güç alınabilmesi için silindiri mümkün olduğu kadar fazla taze dolgu ile doldurmamız gerekmektedir.



Şekil: P-V diagramı volometrik verim

Volometrik verimi şek..... taze dolgu ile doldurulabilen strok hacimler cinsinden de yazabiliriz.

$$(\eta_{vol})_H = \frac{V'_H}{V_H}$$

Emme sonunda piston AÖN'da iken silindirde bulunan taze dolgunun mol sayısı ;

$$n_1 = n_e + n_r$$

$$n_1 = n_e \left(1 + \frac{n_r}{n_e} \right)$$

$$\frac{n_r}{n_e} = \gamma_r \text{ art gaz katsayısı olduğuna göre}$$

$$n_1 = n_e (1 + \gamma_r) \text{ olur}$$

Genel gaz kanununa göre

$$n_1 = \frac{P_1 V_1}{\mathfrak{R} T_1} \text{ olur}$$

$$n_e = \frac{P_0 V_0}{\mathfrak{R} T_0} \text{ olarak yazılabilir}$$

taze dolgunun işgal ettiği hacim $V_0 = V_H \eta_{vol}$ olduğuna göre

$$n_e = \frac{P_0 V_H \eta_{vol}}{\mathfrak{R} T_0} \text{ olur}$$

$$V_1 = \varepsilon V_2 \quad \text{ve} \quad V_H = (\varepsilon - 1) V_2 \text{ olduğuna göre}$$

$$\frac{P_1 V_2 \varepsilon}{\mathfrak{R} T_1} = \frac{P_0 V_2 (\varepsilon - 1) \eta_{vol}}{\mathfrak{R} T_0} (1 + \gamma_r) \quad \text{denklemi elde edilir}$$

buradan da volometrik verim;

$$\eta_{vol} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{T_0}{T_1} \frac{P_1}{P_0} \frac{1}{1 + \gamma_r} \text{ olarak bulunur.}$$

Dört stroklu aşırı doldurmalı bir motorun volometrik verimi hesabı için yukarıdaki formul kullanılabilir fakat bu durumda P_0 ve T_0 yerine kompresör çıkış basıncı ve sıcaklığı P_{kom} ve T_{kom} kullanılması gereklidir.

Yukardaki denklemde γ_r ve η_{vol} birbirinin fonksiyonu olmaktan çıkartmak için γ_r 'yi yeniden tanımlayalım;

$$\gamma_r = \frac{n_e}{n_r}$$

$$n_e = \frac{P_0 V_H \eta_{vol}}{\mathfrak{R} T_0} \text{ olarak tanımlanmıştır}$$

$$n_r = \frac{P_r V_r}{\mathfrak{R} T_0} \text{ olarak yazılabilir}$$

Burada $V_r = V_2$ ve $V_H = V_2(\varepsilon - 1)$ olduğuna göre

$$\gamma_r = \frac{\frac{P_r V_2}{\mathfrak{R} T_r}}{\frac{P_0 V_2 (\varepsilon - 1) \eta_{vol}}{\mathfrak{R} T_0}} \text{ olur sadeleştirmelerden sonra}$$

$$\gamma_r = \frac{1}{\eta_{vol} (\varepsilon - 1)} \frac{P_r T_0}{P_0 T_r} \text{ olur art gazla ilgili terimleri denklemenin sol}$$

tarafına topladığımızda:

$$\frac{\gamma_r T_r}{P_r} = \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{T_0}{\eta_{vol} P_0} \text{ buna 1 nolu denklem diyoruz (1)}$$

1 noktasında yani emme sonu durumun ısı denge hali için aşağıdaki denklem yazılabilir;

$$\varpi c_p n_e (T_0 + \Delta T) + \varpi c' p n_r T_r = \varpi c'' p (n_e + n_r) T_1 \quad \dots \dots$$

Bu denklemde ΔT taze dolgunun emiş esnasında taze dolgunun sıcaklığındaki değişimi göstermektedir. Bu sıcaklık farkın artması halinde taze dolgunun özgül kütlesi azalır ve bu nedenle volometrik verim azalır.

$$\Delta T = \Delta T_{isurf} - \Delta T_{buh}$$

ΔT_{isurf} - Silindirin sıcak yüzeyleri (Silindir cidarı , silindir kafası , piston yüzü ve egzost supabı gibi) ile taze dolgu arasındaki ısı transferinden kaynaklanan sıcaklık farkıdır.

ΔT_{buh} - Yakıtın çekmiş olduğu buharlaşma ısısı sonucu taze dolguda meydana gelen sıcaklık farkıdır. Dizel motorları için $\Delta T_{buh} = 0$ olur.

ΔT_{isurf} 'nin oluşmasına motor yükü , motor devir sayısı ve motorun soğutma durumu etkili olmaktadır. Motor yükü artığı zaman ortalama motor sıcaklıklarını artırdan taze dolguya olan ısı transferi artar.

Motor devir sayısının artması sonucunda , birim zamanda gerçekleşen iş çevrim sayısının artımına bağlı olarak silindir cidar sıcaklıklarının artması beklenebilir , fakat aynı zamanda sıcak gazların silindirde toplam kalma süreleri azalacağı için yani ısı transferi için ayrılan süre daha az olacağından silindir cidar sıcaklıklarının azalması da beklenebilir, veya bu iki olayın ortak etkisine bağlı olarak silindir cidar sıcaklıklarını hiç değiştirmeyebilir.

Motor ana boyutları (piston stroku H ve silindir çapı D) artması halinde birim silindir hacmi başına düşen silindir soğutma yüzey alanı (A_{sil}/V_t) azalır ve silindir cidarlardan taze dolguya doğrulu olan ısı transferi azalır , bunun sonucunda da ΔT_{isurf} azalır.

Bu faktörlerin dışında , pistonun soğutulması yanma odasındaki hava hareketleri ve yakıtın cidarlardan çektiği buharlaşma ısısı gibi faktörler silindir cidar sıcaklığı değişimini etkilerler. Örneğin kivilcim ateşlemeli motorlarda emilen yakıtın büyük bir kısmı silindir içersinde buharlaştığı için silindir cidar sıcaklıklarını düşer ve taze dolgu ısınması daha az olarak gerçekleşir.

Isı transferi hesaplamalar için gerekli olan ortalama cidar sıcaklıkları , ortalama ısı transfer katsayısının ve silindire giren yakıtın buharlaşan kısmının belirlenmesindeki belirsizlikler ve emme süresince ısı transfer alanının sürekli değişmesi ΔT 'nin hesabını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle bu değerler deneysel çalışmalarдан elde edilen sonuçlara göre kullanılmıştır. Kullanılabilecek değerler aşağıda verilmiştir.

$$\Delta T = (10 - 40)^0\text{C} \text{ dört stroklu kivilcim ateşlemeli motorlar,}$$

$$\Delta T = (10 - 25)^0\text{C} \text{ dört stroklu dizel motorlar,}$$

$$\Delta T = (5 - 10)^0\text{C} \text{ iki stroklu motorlar}$$

Ara soğutma yapılmayan aşırı doldurmali motorlarda kompresör çıkış sıcaklığı T_{kom} ortalama silindir sıcaklıklarından daha yüksek olduğundan ΔT negatif değerdedir.

Formül 'de moleküler ısınma ısızların eşit olduğunu kabul etmemiz durumunda (yani $\varpi c_p \approx \varpi c'_p \approx \varpi c''_p$ ise)

$$T_1 = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r} \text{ olur}$$

Aşırı doldurma durumunda T_0 sıcaklığı yerine kompresör çıkış sıcaklığı T_{kom} kullanılmalı.

$$T_{kom} = T_0 \left(\frac{P_{kom}}{P_0} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

Burada ; $n = 1,4 - 1,8$ arasında kompresör tipine bağlı olarak değişen sıkıştırma politrop katsayısıdır. Ara soğutma olmasız halinde ;

$$T_{kom} = T_0 \left(\frac{P_{kom}}{P_0} \right)^{\frac{n-1}{n}} - T_{so\check{g}}$$

deneysel sonuçlara göre T_1 için geçerli değerler aşağıda verilmiştir;

$T_1 = (330 - 430)^0 K$ kıvılcım ateşlemeli motorlarda

$T_1 = (310 - 330)^0 K$ dizel motorlarda

$T_1 = (320 - 400)^0 K$ iki stroklu motorlarda

Sıvılaştırılmış gaz yakıtları ile çalışan motorların 1 kmol gaz için ısı denge aşağıdaki gibi yazılır:

$$(1 + \lambda L_{min})(c_p)_{kar} T_{kar} = \varpi c_p' T_g + \varpi c_p \lambda L_{min} T_{hava}$$

Burada; L_{min} - kmol olarak 1 kmol yakıtın yanması için gerekli olan minimum (teorik) hava miktarı.

$1 + \lambda L_{min} = \varpi$ - 1 kmol gaz yakıtı içeren hava yakıt karışımının mol sayısı

$T_{kar} = T_0$ - Gaz yakıtı / hava karışımının silindire giriş sıcaklığı.

T_g - Gaz yakıtın karıştırıcıya (karbüratöre) giriş sıcaklığı

T_{hava} - Havanın karıştırıcıya giriş sıcaklık değeri ($288^0 K$ olarak alınır)

$\varpi(c_p)_{kar} \approx \varpi c_p' \approx \varpi c_p$ kabul edilmesi halinde

$$T_{kar} = T_0 = \frac{T_g + \lambda L_{min} T_{hava}}{1 + \lambda L_{min}} \text{ olur.}$$

Bu sıcaklık değeri emme sonu sıcaklığının hesaplandığı denklemde kullanılır.

Emme supabı piston AÖN'dan ÜÖN'ya doğru giderken gecikme ile kapanır. Bu süre içerisinde taze dolgu silindire girmeye devam eder. Bu sürede fazladan giren taze dolgu volometrik verimin artmasına neden olur ve bu artış volometrik verim formülende φ_1 (ek doldurma katsayısı) ile gösterilir.

$$\varphi_1 = \frac{n_e + n_r}{n_{e_1} + n_r} \quad \text{dir}$$

Burada; n_e - silindire emilen toplam taze dolgunun mol sayısı

n_{e_1} - silindire 1 noktasına kadar (Piston AÖN'ya gelinceye kadar) emilen taze dolgunun mol sayısı.

$\varphi_1 = 1,02 - 1,07$ dört stroklu motorlar için.

Taze dolgu ile yanmış gazın moleküler ısınma ıslar arasındaki farkı belirlemek için φ katsayısı kullanılır.

Hava fazlalık katsayısının fonksyonu olarak φ 'nin aldığı değerler aşağıda verilmiştir.

$$\lambda = 0,8 \rightarrow \varphi = 1,13$$

$$\lambda = 1,0 \rightarrow \varphi = 1,17$$

$$\lambda = 1,2 \rightarrow \varphi = 1,14$$

$$\lambda = (1,4 - 1,8) \rightarrow \varphi = 1,10$$

Buna göre volometrik verim formülü:

$$\eta_{vol} = \varphi_1 \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \frac{P_1}{P_0} \frac{T_0}{T_0 + \Delta T + \varphi \gamma_r T_r}$$

denklem dönüştürülerek;

$$\frac{T_0 + \Delta T + \varphi \gamma_r T_r}{\varphi_1 \varepsilon P_1} = \frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{T_0}{\eta_{vol} P_0} \quad (2)$$

denklem elde edilir. 1 nolu denklem ve 2 nolu denklemlerin sağ tarafların eşitliğinden;

$$\frac{\gamma_r T_r}{P_r} = \frac{T_0 + \Delta T + \varphi \gamma_r T_r}{\varphi_1 \varepsilon P_1}$$

$$\gamma_r T_r (\varphi_1 \varepsilon P_1 - \varphi P_r) = P_r (T_0 + \Delta T)$$

$$\frac{\gamma_r T_r}{P_r} = \frac{T_0 + \Delta T}{\varphi_1 \varepsilon P_1 - \varphi P_r} \quad (3)$$

1 ve 3 nolu denklemlerin sol tarafları eşit olduğuna göre

$$\frac{1}{\varepsilon - 1} \frac{T_0}{\eta_{vol} P_0} = \frac{T_0 + \Delta T}{\varphi_1 \varepsilon P_1 - \varphi P_r} \quad \text{denklemi elde edilir.}$$

Buradan $\eta_{vol} = \frac{1}{\varepsilon-1} (\varphi_1 \varepsilon \frac{P_1}{P_0} - \varphi \frac{P_r}{P_0}) \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}$ olarak bulunur.

Emme ve egzost supapları ÜÖN bölgesinde aynı anda açık kalmaları halinde önceki çevrimden kalan art gaz miktarı daha az olmaktadır. Bu nedenle $V_r < V_2$ olmaktadır. Sıkıştırma hacmi ile art gazın işgal etmiş olduğu hacimler arasındaki eşitsizliği dikkate almak için φ_2 süpürme katsayısı kullanılır.

$$\varphi_2 = \frac{V_r}{V_2}$$

Buna göre ; $\eta_{vol} = \frac{1}{\varepsilon-1} (\varphi_1 \varepsilon \frac{P_1}{P_0} - \varphi_2 \varphi \frac{P_r}{P_0}) \frac{T_0}{T_0 + \Delta T}$ olur.

Emme supabı AÖN'da kapanması halinde ; $\varphi_1 = 1$

Egzost supabı ÜÖN'da kapanması ve emme supabının aynı anda açılması halinde ; $\varphi_2 = 1$

Taze dolgu ve yanmış gazların moleküler ısınmaları eşit olması durumunda ; $\varphi = 1$

Taze dolgu ve cidarlar arasında ısı iletimin olmaması durumunda ; $\Delta T = 0$ olur ve bu durumda ;

$\eta_{vol} = \frac{1}{\varepsilon-1} (\varepsilon \frac{P_1}{P_0} - \frac{P_r}{P_0})$ olur ve buna ideal volometrik verim denir.

Volumetrik verime etki eden faktörler

A-İŞLETME FAKTORLERİ

1- SIKIŞTIRMA ORANININ ETKİSİ

Volumetrik verim ifadesinde görüldüğü gibi, sıkıştırma oranı arttıkça volumetrik verim düşmektedir. Sıkıştırma oranının artması ile diğer parametreler de değişmektedir. (Art gaz katsayısı, art gaz sıcaklığı, taze dolgunun ısınması gibi)

$$\gamma_r = \frac{1}{\eta_v(\varepsilon-1)} \cdot \frac{P_r}{P_0} \cdot \frac{T_0}{T_r}$$

Formülünden görüldüğü gibi sıkıştırma oranı arttıkça art gaz katsayısi düşmektedir. Bu nedenle bazı durumlarda sıkıştırma oranı artınca, γ_r 'deki azalma sonucunda volumetrik verim artar. Bu nedenle parametrelerin etkisine bağlı olarak sıkıştırma oranının artması ile volumetrik verim azalır, artar veya hiç değişmez.

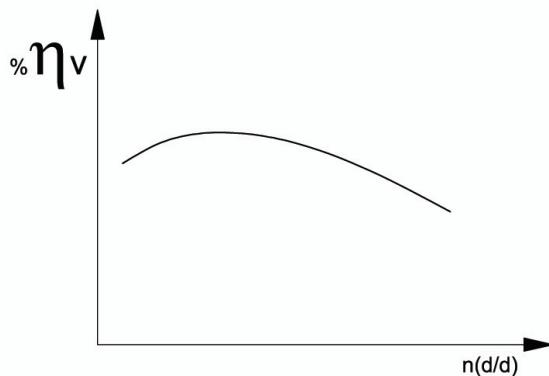
2- MOTOR DEVİR SAYISININ ETKİSİ

Motor devir sayısının emme sistemindeki hidrolik kayba direkt etkisi vardır. Bunun

sonucunda volumetrik verimde etkilenmektedir.

$$P_1 = P_0 - K \cdot n^2$$

Görüldüğü gibi devir sayısı arttıkça, emme sonundaki silindir içi basıncı düşmektedir. Devir sayısı arttıkça, egzoz sisteminin hidrolik kaybının artması sonucu P_r artar, taze dolgunun ısınması ile ΔT 'de önemli bir değişiklik olmamaktadır. Bu faktörlerin etkisi ile devir sayısı arttıkça motorun volumetrik verimi düşer.



Dolgu değişimi, emme ve egzoz manifoldlarındaki dolgu olaylarının volumetrik verim üzerinde büyük etkisi vardır. Emme ve egzoz olaylarının etkisi ile devir sayısının belirli aralıktaki artışı için volumetrik verimde belirli bir artış meydana gelebilir.

Her motorda dolgu değişimine bağlı olarak volumetrik verimin maksimum değerine farklı devir sayılarında ulaşılır. Belirli devir sayılarında ise volumetrik verimi maksimum değerine ulaştıran belirli bir dolgu değişimi olayı vardır. Görüldüğü gibi bir motorun tüm devir değişim aralığı için optimal bir dolgu değişimi seçmek mümkün değildir. Bu nedenle motorun en karakteristik devir sayısı için optimal bir dolgu değişimi seçilir ve motor buna göre dizayn edilir.

3- EMME SONUNDAKİ TAZE DOLGUNUN BASINCININ ETKİSİ

P_1 (Pa). P_1 'in volumetrik verim üzerindeki etkisi çok büyüktür. P_1 motor devir sayısının karesi ile doğru orantılıdır. ($n^2 \nearrow P_1 \searrow$) Bunun yanı sıra P_1 , emme manifoldunun konstrüktif özelliklerine (Manifold boyu, şekli, iç yüzey işleme kalitesi), kelebek konumuna, Em.S.K.G.'e (Emme supabı kapanma gecikmesi) ve Em.S.A.A. (Emme supapı açılma avansı) gibi faktörlere bağlıdır. Eğer manifold boyu ve Em.S.K.G. uygun seçilir ise taze dolgunun hızı, manifoldtaki dalgalanmanın yardımcı ve taze dolgunun ataletinden yararlanarak silindire ek doldurma yapabiliriz.

4- EGZOZ GAZ BASINCININ ETKİSİ

P_r arttıkça sıcaklık sabit olduğu için art gaz miktarı artar. Bu gazın genişlemesi için stroğun daha büyük kısmı kullanılacağından taze dolgunun silindire girişi daha geç gerçekleşir ve

volumetrik verim düşmeye baþlar. Formülde $\frac{P_r}{P_0}$ etkisi $\frac{P_i}{P_0}$ 'a göre daha azdır çünkü ilkinin çarpanı 1 olmasına rağmen ikincisinin çarpanı ε 'dur.

5- ART GAZ SICAKLIÐININ ETKISI (T_r)

Büyük bir etkisi yoktur çünkü taze dolgunun art gazları ısıtması ile hacim artışı, art gazlarının hacminin küçülmesine yaklaşık olarak eşittir. Yani hacim dengelenmektedir.

6- ART GAZ KATSAYISININ ETKISI (γ_r)

Formüllerden de görüldüğü gibi çok önemli etkisi vardır.

7- TAZE DOLGUNUN ISINMASI ΔT

ΔT 0°C 'tan 40°C'ye çıktığında volumetrik verim 0,8'den 0,7'ye düşer. ΔT ise yükün ve sıcaklığın fonksiyonudur. Otto motorlarında, yakıtın daha iyi buharlaşması için manifold üzerinde ısıtma yapılır bu ise volumetrik verimin düşmesine neden olur.

8- MOTOR YÜKÜNÜN ETKİSİ

Sabit devirli bir dizel motorunda emme sisteminin hidrolik kayıpları değiþmemekte ve η_v üzerinde önemli bir etkisi olmamakta. Fakat yükün artışı ile silindir cidar sıcaklıklarını artar. T_r 'de yükselir buna karşın γ_r düşer. Bu faktörler göz önünde bulundurularak, dizel motorlarında yük artınca η_v 'de önemsiz bir düşüş meydana gelir. Otto motorlarında yükün düşmesi ile gaz kelebeği kapanır, bunun etkisi ile P_i azalır, γ_r artar, ΔT düşer bunun sonucunda η_v düşer.

9- HAVA FAZLALIK KATSAYISININ (λ) VOLUMETRİK VERİME (η_v) ETKİSİ

Dizel motorlarında volumetrik verim aynı zamanda λ 'ya da bağlıdır. λ 'nın düşmesi aynı zamanda motor gücünün artması demektir, dolayısıyla dolgu içeriye girerken ısınır ve özgül ağırlığı azalır baþlı olarak silindire giren hava kütlesi azalır η_v düşer. Otto motorlarında λ sabittir.

B- KONSTRÜKTİF FAKTÖRLER

1- EGZOZ SUPABI KESİTİNİN ETKİSİ

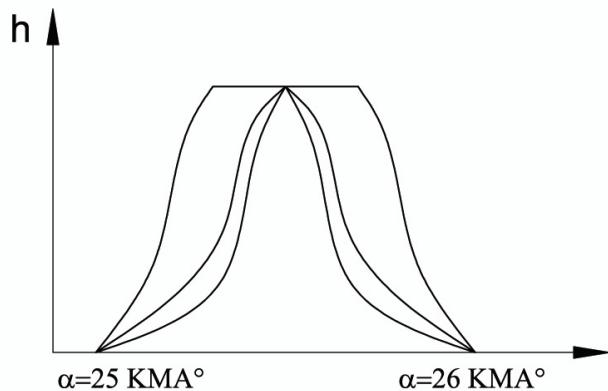
$$\eta_v = \frac{m_e - m_r}{m_0}$$

- m_r artgaz miktarı "az olmalı"
- P_r art gaz basıncı "düşük olması gereklidir ancak büyük kesitlerle mümkün"

2- EMME SUPABI KESİTİNİN ETKİSİ

Emmedeki sürtünme kayıplarını azaltmak için supap kesiti büyük yapıılır ve volumetrik

verim artar. Bunun yanında supabin açık kalma süresi arttırılmak için beklemeli kam profili kullanılır.



Volumetrik verim açısından en uygun kalkış eğrisi "A" kamına aittir. Motor devri arttıkça supabin açılması ani olur ve bir süre açık kalır ardından aniden kapanır, bu durum supap yuvasının tahrip olmasına neden olur.

3- EMME ZAMANLAMASININ ETKİSİ

Emme supapının avansla açılıp gecikme ile kapanması sonucunda emme süreci uzamakta ve silindire giren dolgu miktarı artmaktadır. Dolayısıyla volumetrik verim artar.

4- EGZOZ ZAMANLAMASININ ETKİSİ

Egzoz supapının avansla açılıp gecikme ile kapanması egzoz sürecini uzatmakta bu şekilde silindir içerisindeki egzoz gazları en iyi şekilde süpürülmüş olur. Volumetrik verim artar.

C-YAKIT FAKTÖRÜ

Yakıtın cinsi buharlaşma ısısı volumetrik verime etki eder. Benzinli motorlarda yakıt hava karışımı silindire emilmektedir bu karışımının içindeki yakıtın bir kısmı zerreçikler halinde bir kısmı buhar halindedir. Yakıt zerreçikleri silindir içinde buharlaşır ve çektiği buharlaşma ısısı ile çeperleri soğutur dolayısıyla silindire daha fazla yakıt hava karışımı emilecektir.

Volumetrik verim artacaktır. (Yakıtın buharlaşma ısısı arttıkça volumetrik verim artar.)

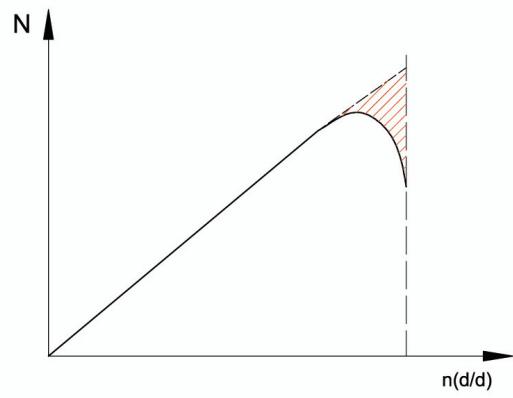
- Benzinin buharlaşma ısısı 70-80 kcal/kg
- Etil alkolün buharlaşma ısısı 270 kcal/kg
- Metil alkolün buharlaşma ısısı 280 kcal/kg

Benzin içeresine alkol katılarak iç soğutma yapılır ve volumetrik verim arttırlır. Performans motorlarında (Yarış araçları) %30-40 oranında metil alkol konularak volumetrik verim 0,76 mertebesinden 0,83'e arttırlır.

Volumetrik verimin gücü etkisi

P_{me} ve V_h sabitse N_e devir sayısı ile lineer olarak artar, fakat devir arttıkça volumetrik

verim düşeceğini (emme kayıpları dolayısıyla) güç eğrisinde yüksek devirlerde bir düşüş olur.



$$N_E = \frac{P_{me} \cdot V_H \cdot n}{900} \text{ BG}$$

- η_v - Benzin Motorlarında > 0,7-0,85
Düşük hızlı dizel motorlarında > 0,9-0,95
Yüksek hızlı dizel motorlarında > 0,82-0,92

SIKIŞTIRMA SÜRECİ (Prosesi)

İçten yanmalı pistonlu motorlarda gerçek sıkıştırma süreci emme supabın kapanmasından (emme supabı AÖN'dan sonra bir gecikme ile kapanır) yanmanın başlamasına kadar (yanma ÜÖN'dan önce bir avansla başlar) geçen süre olarak tanımlanır. Bu tanıma göre derece krank mili açısı olarak sıkıştırma süreci , sıkıştırma strokundan daha küçüktür.

İçten yanmalı motorlarda yapılan bu ön sıkıştırma sonucunda:

- İş çevrimin sınır sıcaklıklar arasındaki fark artar .
- Gerçek şartlarda maksimum genişleme sağlanır.
- Yakıt-hava karışımının yanabilmesi için en uygun şartlar oluşturulur, ve bunların sonucunda'da ısı enerjisin faydalı işe dönüştürülmesi yüksek bir verimle gerçekleşir. İçten yanmalı pistonlu motorun çalışma çevriminin karakterine ve karışım oluşturma şekline bağlı olarak sıkıştırma sürecinden beklenenler farklıdır.

Otto çevrimine göre çalışan ,yani kıvılcım ateşlemeli motorlarda , sıkıştırma sonu sıcaklığı ,vuruntu olmaması için, yakıtın kendi-kendine tutuşma sıcaklığını geçmeyecek şeklinde olmalıdır. Sıkıştırma sonu sıcaklığı yaklaşık olarak yakıtın kendi-kendine tutuşma sıcaklığından 200°C kadar daha düşük olmalı.Bu üst sınır sıcaklık değerini aşmamak için sıkıştırma oranı düşük tutulur. Anlaşılacağı gibi sıkıştırma oranın yakıtın özelliklerine, karışımın kalitesine, taze dolgu ile silindir cidarları arasındaki karşılıklı

181

iletimine ve yanma odası konstrüksyonu gibi faktörlere bağlıdır.

Dizel motorlarda ise motorun problemsiz ve sessiz çalışması için ,sıkıştırma sonu sıcaklığı yakıtın kendi-kendine tutuşma sıcaklığından $200 - 300^{\circ}\text{C}$ kadar daha yüksek olmalı. Bu alt sınır sıcaklığı motorun çalışabilmesi için gerekli olan en düşük sıkıştırma oranını belirler , gerçekte ise motorun soğuk havalarda kolay ilk harekete geçmesi ve daha sessiz çalışması için ,sıkıştırma oranı bu değerin oldukça üstündedir.Ayrıca dizel motorlarında yakıt-hava karışımın daha iyi karışmasını ve buna bağlı olarak daha iyi yanma sağlamak için sıkıştırma sürecinde taze dolguya türbülanslı hareket kazandırılır.

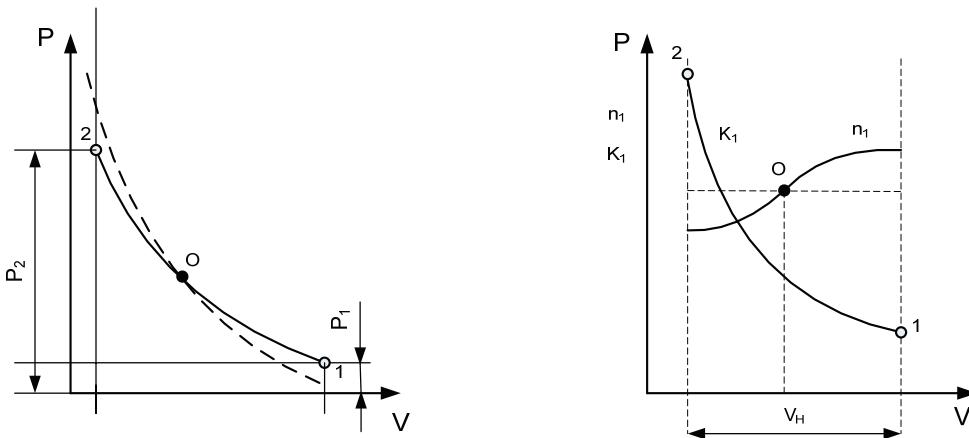
Sıkıştırma sonucunda taze dolgu sıcaklığı T_1 den T_2 'ye yükselir ,bunun sonucunda yanma oldukça yüksek bir sıcaklıktan başlar ki bunun sonucundada yanma sonu sıcaklığı ve ortalama yanma sıcaklıklarını artar.

Silindir iç basıncı P_1 'den P_2 'ye yükselir. Bunun sonucunda daha fazla genişleme ve birim hacimden daha fazla iş elde edilir.

Gerçek içten yanmalı pistonlu motorlarda sıkıştırma süreci boyunca ;

- Taze dolgu ve silindir cidarı arasında sürekli ısı iletimi (konfeksyon ve radyasyon),
- Piston,segmanlar ve silindirler arasında oluşan gaz kaçakları, nedeni ile taze dolgu kütle kaybı,
- Yakıtın buharlaşması ve ÜÖN'dan önce kısmen yanması,
- Pistonun ÜÖN'ya doğru hareketi boyunca silindir yüzey alanının sürekli değişmesi , gibi olaylar bu süreci karmaşık bir hale getirirler ve proses ideal çevrimlerde kabul edildiği gibi adiyabatik olarak gerçekleşmez.

Sıkıştırma başlangıcında taze dolgu sıcaklığı silindir cidarın ortalama sıcaklığından daha düşük olduğundan silindir cidarlarından gaza doğru ısı akışı Q_1 olur ve bunun sonucunda gazın sıcaklığı ve basıncı sıkıştırma sonucu olması gereken değerden biraz daha yüksek olur.

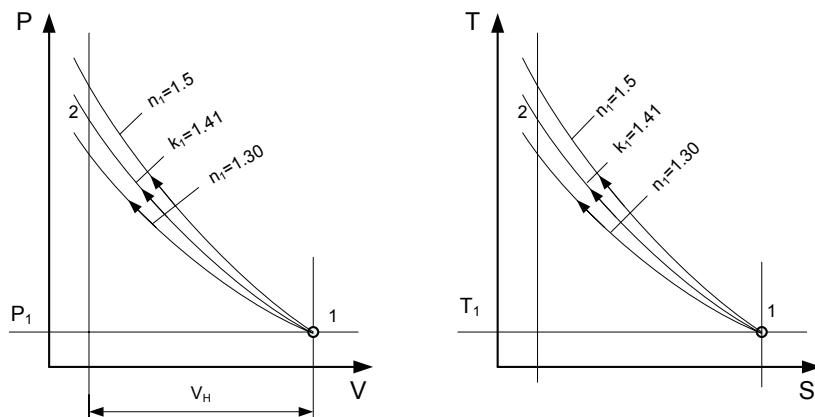


Şek. 17

Şek.17'de sıkıştırma esnasında sıcaklık ve basınç değişim eğrileri görülmektedir.

Görüleceği gibi sıkıştırma başlangıcında cidardan gaza doğru olan ısı transferi nedeni ile gerçek çevrimin basınç değişim eğrisi, adiyabat eğrinin altında kalmakta ve faydalı iş alanı artmaktadır. Sıkıştırma sürecin başlarında sıkıştırma üst katsayıısı n_1 adiyabat üst katsayıısı k_1 'den daha büyütür. Piston ÜÖN'ya doğru hareket ederken sıkıştırmanın artma sonucunda gaz sıcaklığı artar ve gaz ile cidar sıcaklıklarını arasındaki farkın azalması , ısı transfer yüzey alanının düşmesi ve yetersiz sızdırmazlı nedeni ile oluşan gaz kaybı etkisi ile gaza doğru olan ısı transferi yavaşlar. Bu anda sıkıştırma üst katsayıısı n_1 de azalır ve cidar ile gaz sıcaklıklarının eşitlenmesi halinde $n_1 = k_1$ olur ,ve o anda (Şek. 17 'de 0 noktası ile gösterilen yer) kısa bir süre için adiyabatik sıkıştırma meydana gelir. Bu noktadan sonra taze dolgu sıcaklığı cidar sıcaklığının üstüne çıkar ve ısı transferi yön değiştirerek , gazdan

cidara Q_2 miktarındaki ısı geçer ve sıkıştırma sonucu artışıları adiabatik durum değişimine göre daha düşük olarak gerçekleşirler. Sıkıştırmanın ikinci yarısında gerçek çevrimin sıkıştırma üst katsayısı n_1 adiyabat üst katsayısı k_1 'den daha küçüktür ve yanmanın başlamasına kadar düşmeye devam eder, ve yanmanın başlamasından sonra bir miktar artar. Yapılan araştırmalar, sıkıştırmanın ilk yarısında gaza geçen Q_1 ısısı ile sıkıştırmanın ikinci yarısında gazdan cidarlara geçen Q_2 ısısı yaklaşık olarak eşit olduklarını göstermiştir. Bu nedenle sıkıştırma eğrisi boyunca enerji balansı sıfırdır ve gerçek sıkıştırma eğrisi adiabatik sıkıştırma eğrisine çok yakındır. Fakat prosesi karakterize eden gerçek sıkıştırma eğrisini farklı bölgeler halinde inceleyecek olursak bunun adiyabatik durum değişimine tam olarak uymadığını görürüz. Adiyabatik durum değişiminde sıkıştırma boyunca sıkıştırma üst katsayısı k_1 sabittir ve $PV^{k_1} = \text{sabit}$ denklemi geçerlidir. Gerçek sıkıştırma eğrisi boyunca oluşan sıkıştırma üst katsayısı n_1 değişkendir. Sıkıştırma başlangıcında $n_1 > k_1$ dir. Silindir cidar sıcaklıklarını ile gaz sıcaklıklarını eşitlenince $n_1 = k_1$ olur ve sıkıştırmanın ikinci yarısında gazdan cidara doğru ısı传递 olmasının nedeni ile $n_1 < k_1$ olur.



Şek.18

Şekil 18'de sıkıştırma üst katsayısı n_1 'in adiyabat üst katsayısı k_1 'den küçük veya büyük olması durumunda basınç ve sıcaklık değişim eğrileri görülmektedir. P-V diagramından anlaşılacağı gibi n_1 'in düşük olması halinde faydalı iş alanı artar, buna karşın sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıklar daha düşük olur. Sıkıştırma süreci boyunca n_1 her krant açısında farklı değer almakta ve bu nedenle $PV^{n_1} = \text{sabit}$ denklemini kullanarak bu eğriyi tanımlamak mümkün değildir. Anlaşılabileceği gibi sıkıştırma sürecinin oldukça karmaşık karakterdedir ve bu prosesi termodinamiksel bağlantılarla tam olarak ifade etmemiz mümkün değildir.

Uygulamada , hesaplama kolaylığı için sıkıştırma üst katsayısi n_1 ortalama bir değerde ve sabit olduğu olarak kabul edilir. Bu durumda politropik proses için geçerli olan $PV^n = \text{sabit}$ denklemi kullanılabilir ve n_1 politrop üst katsayısi olarak kabul edilir.. Yapılan deneysel çalışmalar bu kabulün sonucunda meydana gelen hatanın önemsiz olduğunu göstermiştir. Buji ateşlemeli (Otto) ve dizel motorlardan politrop üst katsayısi değerleri şu sınırlar arasındadır;

- rejim halindeki motorda $n_1 = 1,35 - 1,39$

- ilk hareket halinde $n_1 = 1,15 - 1,25$ dir.

Yeni bir motor dizayn edilirken n_1 'i belirlemek için en uygun yöntem benzer motorların indikatör diyagramlarından faydalananarak ,

$$n_1 = \frac{\lg P_2 - \lg P_1}{\lg \varepsilon}$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada P_2 - sıkıştırma sonu basıncı

P_1 - sıkıştırma başlangıcı basıncı

ε - sıkıştırma oranı dir

ve doğrudan indikatör diyagramdan belirlenirler.

Gaz ve cidar arasındaki ısı transfer için ayrılan sürenin çok kısa olması nedeni ile, özellikle yüksek devirlerde transfer edilen ısı çok az olmaktadır sıkıştırma prosesi adiyabatik prosese çok yakın olarak gerçekleşmektedir. Bu nedenle $n_1 \approx k_{or}$ (k_{or} ortalama adiyabat üst katsayısi) dir.

$$n_1 \approx k_{or} = 1 + \frac{\bar{R}}{(\mu c_v)_{or}}$$

Burada $(\mu c_v)_{or}$ - Taze dolgunun sıkıştırma başlangıcı sıcaklığı T_a ve sıkıştırma sonu sıcaklığı T_c arasında kmol cinsinden oluşan ortalama moleküller ısınma ısısıdır. Ortalama politrop üst katsayısını belirlemek için aşağıdaki formüldende yararlanabiliriz.

$$n_1 \approx k_{or} = 1 + \frac{\lg \frac{T_2}{T_1}}{\lg \varepsilon}$$

Ortalama sıkıştırma politrop üst katsayısına etki eden faktörler:

Motor devir sayısı'nın etkisi; Motor devir sayısı artıca ,taze dolgunun silindirde kalma süresi daha az olur ve silindir cidarı ile gaz arasındaki ısı transferi azalır bunun sonucunda da n_1 artar ve sıkıştırma prosesi adiyabatik prosese yaklaşır. Özellikle buji ateşlemeli

motorlarda yükün düşmesi sonucunda meydana gelen devir artışlarında n_1 'deki artış daha fazladır, buda bu tip motorlarda sıkıştırma süresince yakıtın çektiği buharlaşma ısısı ile açıklanır.

Motor ana boyutları (H- strok ve D – silindir çapı) ; Motor ana boyutlarının artması ile birim

$$\text{hacim başına düşen soğutma yüzey alanı } \frac{F_{\text{soğut}}}{V_h} \text{ azalır,}$$

Silindir cidarı ve gaz arasındaki ısısı iletimi azalır ve bunun sonucunda n_1 daha büyük değer alır. Motor boyutları küçük olan motorlarda n_1 ve dolayısıyla sıkıştırma sonu sıcaklıkları daha küçük olur ve bu nedenle bu motorların ilk harekete geçirmeleri daha zordur.

- Motor yükün'ün etkisi ; Buji ateşlemeli motorlarda yükün artması ile taze dolgu miktarı artar , buna karşın ısısı transfer yüzey alanı sabit kalır ve ısısı kayıplarının azalması sonucunda n_1 artar. Dizel motorlarında ise yükün artması ile n_1 'in değerinde önemli bir değişiklik meydana gelmez, çünkü bu motorlarda taze dolgu miktarı yaklaşık olarak sabittir. Fakat yükün artması sonucunda silindir cidar sıcaklığı artacağından n_1 'de önemsiz bir artış meydana gelir.
- Silindir, segman ve piston arasındaki sızdırmazlığın etkisi; Sızdırmazlığın bozulması halinde kaçaklar nedeni ile taze dolgu miktarı azalır, ısısı kayıpları artar ve bunun sonucunda n_1 azalır.
- Sıkıştırma oran ε 'nın etkisi; Sıkıştırma oranının n_1 üzerinde direk etkisi olmamakla birlikte, artması halinde gaz kaçaklarının artmasına neden olur bunun sonucunda da n_1 azalır.
- Soğutma şeklinin etkisi; Soğutma miktarı artarsa taze dolgudan çekilen ısısı daha fazla olur ve bunun sonucunda n_1 düşer. Su soğutmalı motorlarda soğutma daha iyi olduğundan , diğer parametrelerin aynı kalması halinde n_1 'in değeri hava soğutmalı motorlara göre daha küçüktür.
- Taze dolgunun silindirlere doldurma şeklinin etkisi; Aşırı doldurmamalı motorlarda Kompresör basıncı P_{kom} 'in artması ile silindire giren taze dolgu miktarı artar , buda ısısı kayıplarını azalttığı için ortalama politrop üst katsayısı n_1 artar.

SIKİŞTIRMA ORANI VE DÜZELTİLMİŞ (GERÇEK) SIKİŞTIRMA ORANI

Motorlarda toplam silindir hacmi V_T 'nin sıkıştırma sonu hacmi V_o 'a oranına sıkıştırma oranı denir ve ε ile gösterilir.

$$\varepsilon = \frac{V_T}{V_o} = \frac{V_H + V_o}{V_o} = 1 + \frac{V_H}{V_o}$$

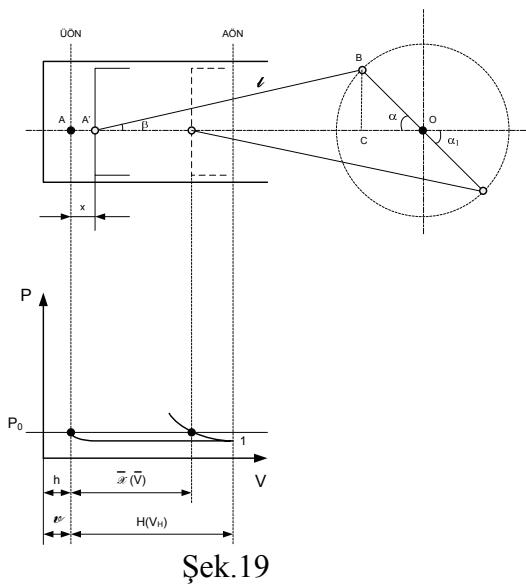
olarak yazılabilir.

Burada : V_T - Silindir toplam hacmi

V_H - Silindir strok hacmi

V_o - Sıkıştırma sonu hacmi dir.

Dört stroklu motorda gerçek sıkıştırma prosesi emme supabın , iki stroklu motorda ise süpürme ve egzos pencerelerin kapanmasından sonra başlar. Bu nedenle gerçek sıkıştırma oranı dağıtım organlarının kapanmasından sonra oluşan silindir toplam hacminin sıkıştırma sonu hacmi V_o 'a oranı şeklinde tanımlanır. Buna düzeltilmiş sıkıştırma oranı denir ve ε_d ile gösterilir . Düzeltilmiş sıkıştırma oranının belirlenmeden önce pistonun krancı açısı α ve kranc yarıçapı r 'nin fonksiyonu olarak ÜÖN'ya olan mesafesi x 'in hesabı: Şek.19'a göre



$$x = (r + L) - (r \cos \alpha + L \cos \beta)$$

$$= r(1 - \cos \alpha) + L(1 - \cos \beta) \quad \text{olur}$$

$$\frac{r}{L} = \lambda \text{ (biyel oranı)} \text{ olarak tanımlanır ve } \lambda = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{4,8} \right) \text{ dir.}$$

$$\text{Buna göre } x = r(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{\lambda}(1 - \cos \beta) \text{ olur}$$

$$BC = L \sin \beta = r \sin \alpha$$

$$\sin \beta = \lambda \sin \alpha$$

$$\cos \beta = (1 - \sin^2 \beta)^{\frac{1}{2}} \quad \text{veya}$$

$$\cos \beta = (1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} \quad \text{olur}$$

Binom açınımına göre

$$(1 - \lambda^2 \sin^2 \alpha)^{\frac{1}{2}} = 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \alpha - \frac{1}{8} \lambda^4 \sin^4 \alpha - \frac{1}{16} \lambda^6 \sin^6 \alpha \dots \dots \dots$$

İlk iki terimden sonraki terimlerin değerleri çok küçük olması nedeniyle ihmal edilirler.

$$\cos \beta \cong 1 - \frac{1}{2} \lambda^2 \sin^2 \alpha \quad \text{olur. Bunu yerine koyarsak}$$

$$x = r(1 - \cos \alpha + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha) \quad \text{olarak piston yolu formülü bulunur. Bu}$$

formülde α krant açısı pistonun ÜÖN'dan AÖN'ya doğru hareketine göre alınır. Emme supabı kapanma gecikmesi α^1 ise, emme supabı kapandığı anda pistonun ÜÖN'ya uzaklığı;

$$x^1 = r(1 - \cos(180 + \alpha^1) + \frac{\lambda}{2} \sin^2(180 + \alpha^1)) \text{ olacaktır.}$$

$$\cos(180 + \alpha^1) = -\cos \alpha^1$$

$$\sin(180 + \alpha^1) = -\sin \alpha^1 \quad \text{olduğuna göre}$$

$$x^1 = r(1 + \cos \alpha^1 + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha^1) \quad \text{olur}$$

$$r = \frac{H}{2} \quad \text{olarak yazılacak olursa}$$

$$x^1 = H(\frac{1 + \cos \alpha^1 + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \alpha^1}{2}) \quad \text{olarak yazılır}$$

Burada parantez içersindeki terim a ile gösterilir ve doldurma katsayısı denir.

Gerçek veya düzeltilmiş sıkıştırma oranı ;

$$\varepsilon_d = \frac{V^1 + V_o}{V_o} \quad \text{veya} \quad \frac{V^1}{V_o} + 1 \quad \text{olarak yazılır.}$$

$$V^1 = V_H \cdot a \quad \text{ve} \quad V_H = V_T - V_o \quad \text{olduğundan}$$

$$V^1 = a(V_T - V_o) \quad \text{olur. Buna göre}$$

$$\varepsilon_d = a(\frac{V_T + V_o}{V_o} + 1) \quad \text{ve} \quad \varepsilon = \frac{V_T}{V_o} \quad \text{olduğundan}$$

$$\varepsilon_d = a(\varepsilon - 1) + 1 \text{ olur.}$$

a = 0,80 – 0,90 mertebesinde olur.

Dört stroklu doğal emişli motorların çevrim hesaplarında sıkıştırma oranı olarak ε kullanılır. Çünkü emme supabının kapanmasına kadar geçen sürede silindir iç basıncı artışı çok azdır. İki stroklu motorlarda ise düzeltilmiş sıkıştırma oranı olarak ε_d kullanılır.

Günümüz motorlarda sıkıştırma oranları ;

Buji ateşlemeli motorlarda : $\varepsilon = 6 \div 12$

Direk püskürtmeli dizel motorlarında : $\varepsilon = 14 \div 17$

Bölünmüş yanma odalı dizel motorlarında : $\varepsilon = 16 \div 27$

Aşırı doldurmalı dizel motorlarında : $\varepsilon = 11 \div 14$

olarak seçilir.

Sıkıştırma sonu iş gazın basıncı ve sıcaklığı

Sıkıştırma sonu iş gazı basıncını bulmak için politropik durum değişimini veren formül kullanılır ;

$$P_1 V_1^{n_1} = P_2 V_2^{n_1} \text{ ve buradan}$$

$$P_2 = P_1 \varepsilon^{n_1} \text{ bulunur.}$$

Sıkıştırma sonu sıcaklığını bulmak için sıkıştırma sonu ve sıkıştırma başlangıcı için genel gaz denklemlerini yazalım;

$$P_2 V_2 = n_2 \bar{R} T_2$$

$$P_1 V_1 = n_1 \bar{R} T_1$$

Bu denklemleri taraf tarafa bölersek ve $M_2 = M_1$ olduğunu kabul ederek

$$T_2 = T_1 \varepsilon^{n_1-1} \text{ olarak bulunur.}$$

Doğal emişli dizel motorlarında : $P_2 = 3,5 \div 5,5 \text{ MPa}$ ve $T_2 = 700 \div 900 \text{ K}$

Buji ateşlemeli motorlarda : $P_2 = 0,9 \div 2,0 \text{ MPa}$ ve $T_2 = 600 \div 750 \text{ K}$ dir.

Sıkıştırma sürecinde iş gazına uygulanan iş

İş gazı sıkıştırmak için harcanan mutlak iş

$$Q_1 = L_{1,2} = V_H P_{1,2(ort)} 10^3 = V_T \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} P_{1,2(ort)} 10^3 \text{ (kJ/kg yakıt)}, \quad V_T = V_1 \text{ olduğundan}$$

$P_{1,2(ort)}$ - MPa olarak sıkıştırma süreci boyunca iş gazın ortalama basıncıdır

Universal gaz denklemi formülünden;

$$V_1 = \frac{n_1 \bar{R} T_1}{10^3 P_1} = \frac{n_e (1 + \gamma_r) 8,314 T_1}{10^3 P_1}, \text{ m}^3 / \text{kg yakıt}$$

$$Q_1 = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot \frac{n_e (1 + \gamma_r) \bar{R} T_1}{P_1} \cdot P_{1,2(ort)}, \text{ kJ/kg yakıt}$$

Volometrik verim formülünden

$$\frac{T_o}{\eta_v P_o} = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \cdot \frac{T_1}{P_1} (1 + \gamma_r)$$

Buradan $\frac{T_1}{P_1}$ oranını bulup denklemde yerine koyarsak

$$Q_1 = \bar{R} \frac{n_e T_o}{\eta_v P_o} \cdot P_{1,2(ort)}, \text{ kJ/kg yakıt olur}$$

Genişleme sürecinde, ısı transferi ve gaz kaçakları sonucunda kaybedilen iş dışında sıkıştırma için harcanan işin tamamına yakın kısmı geri kazanılır.

İÇTEN YANMALI PİSTOMLU MOTORLarda YANMA TEORİSİ VE YANMAYA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

1. İçten yanmalı motorlarda yanma teorisi hakkında genel bilgiler.

İçten yanmalı motorlarda yanma olayı 0,002 - 0,004 saniye gibi çok kısa sürede gaz fazında gerçekleşen karmaşık fizikokimyasal prosesdir. Bu kısa sürede yanmanın oluşumu ve gelişimi için yakıt buharı hava ile çok iyi karışmış olması gereklidir, yani karışımın homojen olması gereklidir. Hava-yakıt karışımının her yakıt molekülün etrafında, yakıtın tam oksitlenmesi için gerekli sayıda oksijen molekülünün bulunması durumunda bu karışımı homojen karışım denir. Böyle bir karışım ancak gaz fazındaki yakı ile havanın hacimsel oranlarının bir'e yakın olması halinde elde edilebilir. Örneğin jeneratör gazı-hava karışımında bunu gerçekleştirebiliriz fakat doğal gaz kullanılması halinde hacimsel oran 1/9 dur ve bu nedenle homojen karışım oluşturulması oldukça zordur. Benzin buharı ve hava karışımlarında homojen karışım elde etmek çok daha zordur çünkü bu karışımlarda hava fazlalık katsayıları bir olması durumunda hacimsel oran 1/50 olmaktadır.

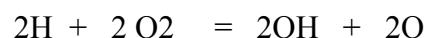
Bu zorlukların temelindeki sorun moleküler difuziyondur. Aynı fazda bulunan iki bileşenin, yani hem havanın hem de yakıtın moleküler difuzyonunu tamamlaması için gerekli olan süre oldukça uzundur. Bu sürenin kısaltılabilmesi için moleküler difuzyon yoğun bir türbülans difuzyonu ile desteklenmesi gereklidir. Bu durumda moleküllerin ayrı-ayrı birbirlerine göre difuziyetleri yerine oluşan mikro hacimlerin birbirlerine göre difuzyonundan söz etmemiz gereklidir. Mikro hacimlerin boyutları türbülanslı akışın şiddetine bağlı olduğundan otto motorlarında karışımın homojenliği oluşturulacak türbülansın fonksiyonudur.

Dizel motorlarında bu durum daha da zordur çünkü karışımın oluşumu ve yanma olayı aynı anda meydana gelmektedir. Püskürme sonucu yakıt demetini oluşturan damlacıkları ve havadan oluşan karışım homojen değildir ve yanmanın oluşması için yakıtın ısınıp buharlaşması gereklidir. Bu nedenle bu tip karışımın yanma hızları yakıtın buharlaşma hızının ve hava ile karmaşık hızının fonksiyonudur. Bu nedenle dizel motorlarında homojen karışım oluşturmak daha zordur. Buda otto ve dizel motorların

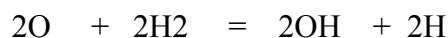
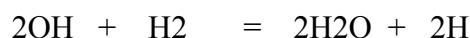
arasındaki önemli farklardan biridir. Homojen karışımın yanma hızları homojen olmayan karışımlardan daha yüksektir, bu tip karışımın yanmalarını daha kısa sürede tamamlarlar ve bu nedenle otto motorların devir sayıları dizel motorlarına göre daha yüksektir.

Karışımın hazırlanmasındaki zorlukların yanı sıra yanma (oksitlenme) reaksiyonun karmaşık karakteri de ayrı bir sorundur. Oksitlenmenin zincir reaksiyonlar şeklinde olduğu Semenov tarafından açıklanmış ve bu zincir reaksiyonlar teorisi yardımı ile motorlardaki yanmaya yönelik birçok olay açıklanabilmiştir. Bu teoriye göre yakıt oksitlenmesi birbirini takip eden kesintisiz reaksiyonlardan oluşmaktadır ve bu esnada birbirinden farklı radikaller, atomik gazlar, valans bağları tamamlanmamış gibi bir çok ara ürün oluşmaktadır. Bu ara ürünlerin oluşum mekanizması şu şekilde açıklanmaktadır; Görünür yanmadan önce birtakım ön reaksiyonlar oluşmaktadır ve aktif oksijen molekülleri hidrokarbon moleküllerine belirli bir şekilde bağlanarak ön oksitlenmiş moleküller oluşturulur. Ön reaksiyonların ilerlemesi ile ön oksitlenmiş molekül konsantrasyonu belirli bir kritik değere ulaşınca, bu moleküller parçalanarak yeni aktif atom ve radikalleri oluştururlar. Bu şekilde artan aktif merkez sayısına bağlı olarak ön reaksiyon hızı artar. Fakat gerçek motor çalışma koşullarında ve motorlarda kullanılan karmaşık molekül yapısındaki yakıtların yanma mekanizmasını açıklamak tam olarak hala mümkün olamamıştır.

Örneğin hidrojenin yanması şu şekilde olduğu kabul edilir; yüksek sıcaklığın etkisi ile hidrojen molekülü disosasyona uğramakta ve iki aktif hidrojen atomu oluşmaktadır ($2H$) ve bu atomik hidrojenler oksijen molekülü ile reaksiyona girerek dört adet (iki adet

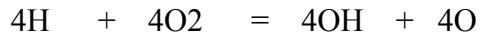


hidroksil radikali ve iki adet atomik oksijen) yeni aktif merkez oluşmaktadır ve yeni moleküllerin reaksiyona girmesi sonucu reaksiyon ilerlemiştir.



Oluşan bu yeni altı adet (iki adet hidroksil radikali ve dört adet atomik hidrojen) aktif merkez şu şekilde reaksiyona girer:





ve yeni 10 adet aktif merkez oluşur ve 16, 24, 42,..... adet yeni aktif merkezler oluşturarak reaksiyon zincir şeklinde hızlanarak ilerlemeye devam eder

Motor çalışma koşullarında yanma odasında bu zincir reaksiyonların ilerlemesi, hızlanması ve dallanması durabilir veya yenilenebilir. Bunun en önemli nedeni aktif merkezleri oluşturan moleküller, radikaller ve atomlar yanma odası cidarlarına veya başka inert gaz molekülleri çarpışmaları sonucu enerji fazlalıklarını kaybetmeleridir. Bu olaylar zincir reaksiyonun hızlanması (aktivize) veya yavaşlaması (deaktivize) şeklinde kendini gösterirler. Yanma esnasında bu iki olay aynı anda fakat farklı mertebelerde meydana gelirler. Eğer yeni oluşan aktif merkez sayısı enerji fazlalığını kaybeden yani deaktivize olan aktif merkezlerden bir miktar fazla ise, yanma hızı belirli değeri aşmaz. Bu durumda normal yanma olduğunu söyleziz, yani alevin yayılma hızı normal değerlerdedir. Eğer yeni oluşan aktif merkezlerin sayısı deaktivize olan merkezlerin sayısına göre çok fazla ise, ön oksitlenmiş moleküllerin konsantrasyonu belirli bir kritik değere ulaşınca yanma infilak şeklinde çok yüksek hızla ulaşır ve bu durumda normal yanma vuruntulu yanmaya dönüşmektedir. Bu şekildeki yanma için otto motorun koşulları daha uygundur.

Deneysel çalışmalar göstermiştir ki karışım sıcaklığının zincir reaksiyon hızı üzerindeki etkisi karışım basıncına göre daha fazladır. Bu ilişkiye aşağıdaki denklemle gösterebiliriz.

$$w = \frac{dc}{dt} = Ap^n e^{\frac{-E}{RT}}$$

w – Yanma hızı (m/s)

$\frac{dc}{dt}$ – Kimyasal reaksiyon hızı veya oksitlenme ürünlerin oluşum hızı

A – Sürekli çarpan (katsayı), yakıtın ve karışımın karakterine bağlıdır

p – Yanma odası basıncı (MPa)

E – Aktivasyon enerjisi

n – Reaksiyon mertebesi

R – Universal gaz sabiti ($J/Kg.K$)

T – Sıcaklık (K)

t – Zaman (s)

Burada $e^{\frac{-E}{RT}}$ terimi, bir grup molekülün sahip olduğu ısıl hareket enerjisini gösterir, ki bu enerji iç moleküller bağların koparılması için gereken aktivasyon enerjisi (E)’den daha büyüktür. Bu enerjinin etkisi ile moleküller bağlar bozulur ve yerlerine yeni moleküller bağ oluşur. Bir çok oksitlenme reaksiyonunda aktivasyon enerjisi (E) (8,4 - 16,8) 10,4 (J/mol) mertebesindedir.

Yukarda verilen denklemden sıcaklığın artması ile reaksiyon hızı artmaktadır. Sıkıştırma esnasında karışım sıcaklığı 1000 K ’nın altında olması durumunda bu denklem ön oksitlenme hızını verir. Bu hız yardımcı ile kendi kendine yanma veya vuruntu hakkında bir fikir verir. Karışım sıcaklığı 1500 K ’nın üstünde ise reaksiyon hızını veya alev hızını ve açığa çıkan ısı oranını (hızı) gösterir.

Reaksiyon hızları reaktanların konsantrasyonuna bağlıdır. Eğer reaktanlardan birisinin konsantrasyonu stokyometrik miktarla göre çok fazla veya çok az ise reaksiyon hızı hızlı bir şekilde düşer ve belirli bir kritik değerin altına düşerse reaksiyon durur. Bu yüzden karışıkların üst ve alt tutuşabilme ve yanabilme oranları vardır.

2. Kendi kendine tutuşma ve tutuşma veya yanma gecikmesi.

Dizel motorlarında sıkıştırma sonucu basıncı ve sıcaklığı artan hava ortamına püskürtülen yakıt ancak bazı fiziksel ve kimyasal proseslerin oluşmasından sonra kendi kendine tutuşur.

Yakıtın yanma odasına girmesinden alevli yanmanın oluşmasına kadar geçen süreye tutuşmanın hazırlık evresi veya tutuşma gecikmesi (TG) deriz. Fiziksel prosesler için gerekli süre (T_{fiz}) ‘e fiziksel tutuşma gecikmesi, kimyasal prosesler için gerekli süre (T_{kim}) ‘e kimyasal tutuşma gecikmesi denir. Tutuşma gecikmeside bu iki sürenin toplamından oluşur.

$$TG = T_{fiz} + T_{kim}$$

Yakıt damlasının ısınması, buharlaşması ve yakıt buharının kendi kendine tutuşma sıcaklığına kadar ısınması fiziksel tutuşma gecikmesi süresinde gerçekleşir. Özellikle ağır dizel yakıtların kullanılması durumunda fiziksel tutuşma gecikmesi , tutuşma gecikmesi süresinin büyük kısmını oluşturur.

Dizel motorlarında fiziksel tutuşma gecikmesi süresini kısaltmak için yakıt çok küçük memeli delikleri olan enjektörler kullanılarak çok yüksek basınçla yanma odasına püskürtülür. Bu püskürtme sonucunda oluşan yakıt damlacıkların ortalama çapı 10 ile 30 mikron mertebesinde olur. Damlacık çapları küçüldükçe birim hacim başına düşen yüzey alanı artar ve yakıt damlacığının ısınma ve buharlaşma süresi kısalır. Örneğin 1 mililitre yakıt püskürtülmesi halinde 20 mikron çapında 240000000 damlacık meydana

gelir ve bu damlacıkların toplam yüzey alanları 3000 cm^2 olur.

Damlanın buharlaşma hızı büyük oranda damla ve sıcak hava arasındaki bağıl hızdan da etkilenmektedir. Fakat çok küçük çaptaki yakıt damalarının yüksek basınçlı hava ortamında hızları çok çabuk düşmekte ve yakıt daması ile hava arasındaki bağıl hız kısa bir süre sonra sıfır olmaktadır. Yanma odasında oluşturulan türbülansın etkisi ile damlacık yüzeyinde oluşan yakıt buharı uzaklaşır ve sıkıştırılmış hava ortamında dağılarak karışım oluşma hızı artar. Dizel motorlarında püskürtme, ısınıp buharlaşma ve karışım oluşumu olayları aynı anda olmaktadır ve bu nedenle yanma odasındaki karışım homojen değildir. Yanma odasının bazı bölgelerinde çok zengin, bazı bölgelerde ise çok fakir yakıt hava karışımı oluşur. Hava fazlalık katsayısı değişimi 0 ile ∞ arasında olur.

Dizel motorlarda yanma prosesin normal olabilmesi için karışımın kontrollü bir şekilde oluşturulması gereklidir. Karışım oluşumu ile alevli (görünür) yanma aynı anda olmalıdır, aksi durumda yanma patlamalı bir karakterde gerçekleşir bunun sonucunda basınç artma hızı artar ve motor sert çalışır.

Alevli yanmanın başlayabilmesi için yanma odasına giren yakıtın yaklaşık olarak %45 ile %75 buharlaşmış olması gereklidir.

Fiziksel tutuşma gecikmesi süresini (T_{fiz}) azaltmanın en etkili yolu damlacık çaplarını minimuma indirmek sureti ile ve damlacık sayısını artırmak ve sıkıştırılmış havanın sıcaklığını artırrarak yani motor sıkıştırma oranını artırrarak.

Kimyasal tutuşma gecikmesi süresince (T_{kim}) bir çok önoksitlenme reaksiyonu meydana gelir. Bunların sonucunda açığa çıkan ısı çok azdır fakat önemli miktarda araürün birikimi meydana gelir. Bu araürünlerin büyük kısmı atomik oksijen, atomik hidrojen, aldehit, ve hidrokarbon radikallerinden oluşur. Önoksitlenme reaksiyonlarının hızı kimyasal tutuşma gecikmesini etkiler. Bu süre aralığında belirli hacim veya hacimlerde araürünlerin konsentrasyonu ile sıcaklığın aynı anda veya arka arkaya kritik değerlere ulaşırlar ve karışım kendi kendine tutuşur ve alevli yanma meydana gelir ve silindir basıcı çok hızlı bir şekilde artar. En fazla önoksitlenme reaksiyonları alev demetin dış bölgelerinde meydana gelir, çünkü bu bölgede sıcaklıklar çok yüksektir. Demetin merkezinde ise yakıt konsentrasyonu fazladır ve burada sürekli ve yoğun buharlaşma ısının çekilmesi sonucunda sıcaklıklar düşüktür ayrıca yakıt hava karışımı çok zengindir ve bu nedenle önoksitlenme reaksiyonlarının hızı daha düşüktür. Bu nedenle kendi kendine tutuşma, alev demetinin dış bölgelerinde meydana gelir.

Kimyasal kendi kendine tutuşma gecikmesi yakıt moleküllerin yapısı ve özelliklerinden,

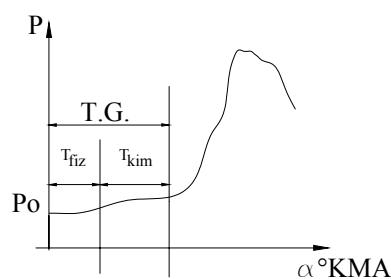
yani yakıt moleküllerin önoksitlenmeye karşı eylemleri tarafından büyük oranda

etkilenir. Örneğin en kısa T_{kim} süresi normal parafinik hidrokarbonlarda olup en uzun ise

aromatik hidrokarbonlarda meydana gelir.

Dizel motorlarında kimyasal tutuşma gecikmesi süresinin mümkün olduğu kadar kısa olması istenir, bu nedenle yakıtın ön oksitlenme reaksiyonları arttıran organik oksitler, eterli bileşenler ve nitratlar gibi bazı bileşenler yakıta ilave edilirler.

Otto motorlarında ise tam tersi olarak, yakıtın ön oksitlenmesini yavaşlatan katıklar kullanılarak yakıtın kendi kendine tutuşması zorlaştırmaktadır.

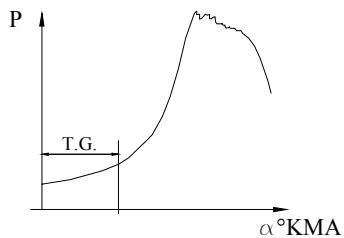


Şekil'de bir dizel motorunda tutuşma gecikmesi süresince silindir iç basıncın değişimi görülmektedir. Fiziksel tutuşma gecikmesi süresince basınçta bir değişiklik olmadığı buna karşın kimyasal tutuşma gecikmesi esnasında ise basınçta küçük bir artış olmaktadır. Basicın fazla artmamasının nedeni ise bu sürede ön oksitlenme sonucu açığa çıkan ısının çok az olmamasıdır. Tutuşmanın gerçekleşmesinden sonra açığa çıkan ısının fazla olması nedeni ile basınç çok hızlı bir şekilde yükselir. Bu tip kendi kendine tutuşmalara iki kademeli tutuşma adı verilir.

Buji ateşlemeli motorlarında homojen olan yakıt-hava karışımı kıvılcımın oluşması ile hemen tutuşmaz. Yakıtın tutuşması için çok kısa olsa bir hazırlık süresine gereksinim vardır. Bu süreye yanma gecikmesi diyebiliriz. Otto motorlarda kullanılan sıkıştırma oranlarının daha düşük olması sonucu yakıt-hava karışımının sıkıştırma sonu sıcaklıklar oldukça düşük kalmakta ve bujide kıvılcım oluşmasına kadar geçen sürede karışımda oluşan ön oksitlenme hızları oldukça düşük kalmaktadır.

Buji ile tutuşturma mekanizması şu şekilde açıklanabilir; kıvılcımın etrafındaki hacim yaklaşık olarak 10000°C sıcaklığı ulaşır. Bu sıcaklık tutuşmanın ve yeterli ısı açığa çıkartacak yanmanın oluşması için yeterlidir. İlk anda buji tırnak bölgesinde bir alev çekirdeği oluşur ve eğer bu alev çekirdeğinden yayılan ısı yakındaki yakıt-hava karışım sıcaklığını yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığı üstüne çıkartırsa yanma, yanma odasında çok hızlı bir şekilde yayılır ve basınçta artar. Kıvılcımın enerjisi etrafındaki hacmi gerekli sıcaklığa çıkartmak için yeterli olmaması halinde veya olmuş olan alev çekirdeğin vereceği enerji yeterli değilse veya bu enerji karışımın daha büyük hacmine dağılması halinde alev çekirdeği gelişemez ve tutuşma ile yanma oluşmaz.

Bu nedenle Otto motorlarında yanma gecikmesi kıvılcım oluşmasından silindir basıncının hızlı artmaya başlamasına kadar geçen süre olarak tanımlanır.



Şek.....'de yanma gecikmesi süresince silindir basınç değişimi verilmiştir. Görüldüğü gibi yanma gecikmesi süresinde basınç artışı çok azdır, fakat yanma kararlı hale geldikten sonra basınç çok hızlı bir şekilde yükselmektedir. Bu şekildeki tek kademeli yanma bütün kıvılcımla tutuşturulan motorların karakteristik özelliğidir.

Yanma gecikmesi süresini kısaltmak için kıvılcımın gücünü artırılır veya sıkıştırma oranı artırılarak dolgu sıcaklığı daha yüksek değere ulaştırılır ve böylece tutuşma ve yanma için koşullar daha uygun hale gelir, bununla beraber kıvılcımın ve alev çekirdeğin enerjisinin etrafına dağılmmasını engelleriz.

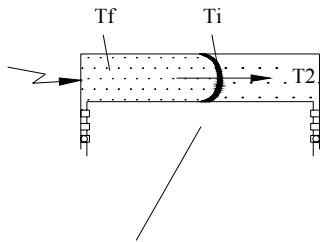
Yanma hızı:

Yanma sonucunda iş gazın iç enerjisi artmaktadır ve daha sonra genişleme sürecinde motordan iş alınmaktadır. Bu nedenle yanma prosesi gerçek motor çevrimi için çok önemlidir. Isıdan en iyi faydalananmek için yanma dinamiği, ilgili çevrimin ısı sokumu şekline yakın olmalıdır.

Yüksek devirli motorlarda yanma için ayrılan süre ($\frac{1}{200} - \frac{1}{300}$) saniye mertebesinde ve çok kısalıdır.

Yanma süresinin uzaması yanma motor verimi üzerinde olumsuz etkisi vardır, yanma süresi uzaması halinde motor gücü azalır ve yakıt sarfiyatı artar, çünkü bu durunda yanma daha büyük hacimde tamamlanır ve çevrimin maksimum basınç değeri düşük kalır ayrıca hacmin artması sonucunda da soğutmaya giden ısı artarak motorun gücünü ve verimini düşürür.

Hidrokarbon karışımı olan yakıtın yanma prosesi bu yakıtı oluşturan hidrojen ve karbonun oksijenle yapacakları reaksiyonlara bağlıdır. Bu nedenle yakıtın veya oksijenin azalma hızı veya ısı salınım hızı yanma hızı olarak kabul edilir.



Şek.

T_2 - Sıkıştırma sonu sıcaklığı

T_i - Yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığı

T_f - Alev arkası bölgede bulunan yanmış gazların sıcaklığı

Eğer yanma bir kırılcımla başlatılmış ise , yanma cephesi (alev cephesi) yanmamış gaz karışımının içersine doğru belirli bir hızla yayılmaya başlar, buna alev hızı veya yanma hızı deriz. Yanmanın yayılması şu şekilde açıklanabilir. Alev önünde bulunan karışımı konveksyon ve radyasyon ısı iletimi sonucunda ısıtarak yanmaya hazırlar, çünkü yanma reaksiyonları ancak uygun sıcaklıkta yüksek hızla ulaşarak ışık saçacak duruma gelirler. İki yanma hızından bahsedebiliriz;

Laminar yanma hızı

Turbülanslı yanma hızı

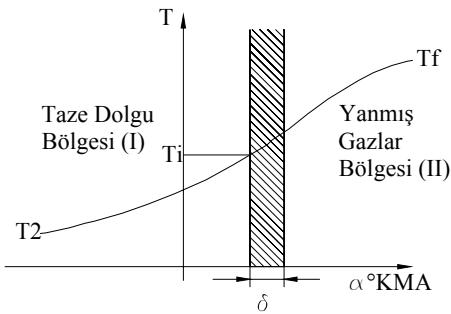
Laminar yanma hızlarının hesaplanması için üç teori geliştirilmiştir:

-Isı teorisi

-Difüzyon teorisi

-Karma teori

Isı teorisi 1885 yılında Mallard ve Le Chatelier tarafından geliştirilmiştir. Bu teoriye göre alevin ilerleme hızı alev arkası bölgede bulunan T_f sıcaklığındaki yanmış gazlarından, yanmamış gaza doğru yapılan ısı transferi ile kontrol edilmekte. İkinci bölgeden Şek.....alev bölgesinden kondüksyonla geçen ısı birinci bölgede bulunan yanmamış taze dolguyu ısıtarak kendi kendine tutuşma sıcaklığı T_i 'ye yükseltmekte. Eğer alev bölgesindeki sıcaklık değişim eğrisini lineer kabul edersek;



Şekil.....

$$\frac{T_f - T_i}{\delta} \text{ yazılabilir.}$$

Burada δ - reaksiyon bölgesi kalınlığıdır.

Alev cephesinden iletlen ısı ve entalpi eşitliğini kullanarak, aşağıdaki denklemi yazarız:

$$\lambda \left(\frac{T_f - T_i}{\delta} \right) = m c_p (T_i - T_2)$$

Burada; λ - alevin kondüksyon ısı iletim katsayısı

m - yanma dalgası içinde yanmaya katılan taze dolgu miktarı ve tek boyutlu olarak kabul edersek,

$$m = \rho \cdot A \cdot u = \rho \cdot A \cdot S_L \text{ olarak yazılır.}$$

ρ - taze dolgu özgül kütlesi

A - birim kesit alanı = 1 olarak alınır

u - yanmamış taze dolgunun alevde doğru ilerleme hızı

S_L - laminar alev hızı

Yanmamış taze dolgu alevde doğrudan ilerledikleri için; $S_L = u$ olur

$$\rho \cdot S_L \cdot c_p (T_i - T_2) = \lambda (T_f - T_i) / \delta$$

$$S_L = \left(\frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{T_f - T_i}{T_i - T_2} \frac{1}{\delta} \right) \text{ elde edilir.}$$

Alev bölgesi kalınlığı

$$\delta = S_L \tau = S_L \frac{1}{dc/dt}$$

τ - reaksiyon süresi

dc/dt - reaksiyon hızı

$$S_L = \left(\frac{\lambda}{\rho c_p} \frac{T_f - T_i}{T_i - T_2} \frac{dc}{dt} \right)^{1/2}$$

$$\frac{\lambda}{\rho c_p} = a \text{ - ısı yayınım katsayısı}$$

$$\frac{T_f - T_i}{T_i - T_2} \frac{dc}{dt} = RO \text{ - reaksiyon oranı}$$

$$S_L = (a \cdot RO)^{1/2} \text{ olur.}$$

Bu sonuçları deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığımızda, yakıt tipine göre, bazen çok yakın bazen ise çok uzak sonuçlar elde edilmektedir.

$$dc/dt = kc^n p^{n-1} = Ae^{-E/RT} c^n p^{n-1}$$

n - reaksiyon mertebesini gösteren katsayıdır.

a - ısı yayınım katsayı terimi içersindeki özgül kütle ρ 'da basıncın fonksyonu olduğundan

$$S_L \approx [(1/p)p^{n-1}]^{1/2} \approx (p^{n-2})^{1/2}$$

$n = 2$, yani ikinci mertebeden reaksiyonlar için, alev hızı basıncın fonksyonu değildir. Hidrokarbon karışımı olan yakıtlarda alev hızı basınçtan bağımsızdır.

Sıcaklığın etkisi ise;

$S_L \approx (e^{-E/RT})^{1/2}$ denkleminden görülebilir. Arrhenius'un kinetik kontrol'a göre bu denklemdeki sıcaklık alev sıcaklığı T_f olarak kullanılmalı. Bu durumda :

$$S_L \approx (e^{-E/RT_f})^{1/2} \text{ olur.}$$

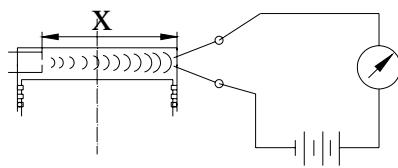
Zeldovich, Frank-Kamenetski ve Semenov tarafından geliştirilen ve difusyon teorisi diyeBILECEĞİMİZ TEORİYE GÖRE, LAMINAR ALEV HİZI:

$$S_L \approx (\alpha RO)^{1/2} \text{ olarak bulunur. Bu denklemde de } \alpha \text{ ısı yayınım katsayısidır.}$$

Yanmanın sabit hacimde olabilmesi için yanma hızı sonsuz büyük olmalı. Yanma hızı sonsuz olabilmesi için $T_i - T_2 = 0$ olmalı.

Yanma hızının ölçümü:

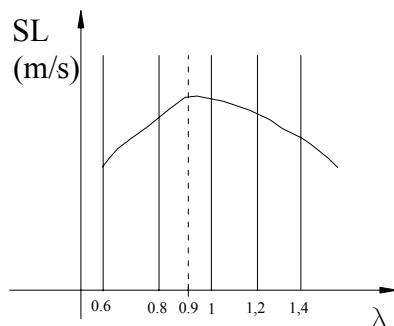
Yanma hızı ölçme metodlardan iyonizasyon metodunda Şek..... yanma odasına iki elektrod yerleştirilir, normal olarak gaz karışımı elektrik akımını iletmeyen ve bu nedenle pil devresi açıktır. Alev sıcaklığının etkisi ile iyonize olan hidrokarbonlar ise elektrik akımını iletirler, bu nedenle alev elektrodların bulunduğu bölgeye ulaşınca iyonize olan gazların etkisi ile devre kapanır ve devrede akım geçer. Alevin başladığı zamanı ile elektrodlara ulaşma zamanı arasındaki farkı buluruz ve aradaki mesafeyi bu zaman aralığına bölerek alev hızını bulabiliyoruz.



$$S_L = \frac{X}{\Delta t} \text{ (m/s)} \text{ olur.}$$

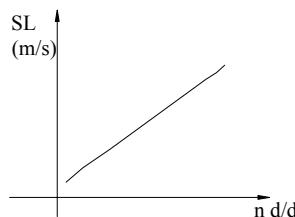
Yanma hızına etki eden faktörler.

- Hava fazlalık katsayısı λ 'nın etkisi:



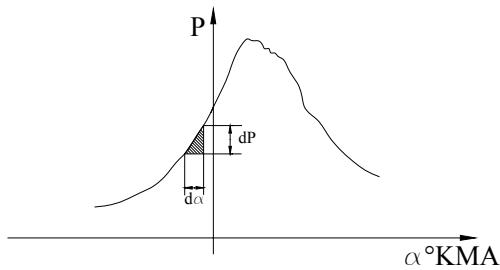
0,90 – 0,95 değerlerinde yanma hızı maksimum değerine ulaşır. Karışımın daha fazla zenginleşmesi veya fakirleşmesi halinde ise yanma hızı düşer. Hatta çok zengin veya çok fakir karışımlarda yanma meydana gelmez ki buna yanma sınırı denir. Kızılıçım ateşlemeli motorlarda $\lambda = 1,05 - 1,1$ değerlerinde en iyi çalışma verimi elde edilir. Çok fakir karışımların yanma hızları çok düşük olduğundan yanma egzoz borusunda da devam edebilir.

-Motor devir sayısı n 'nın etkisi:



Yanma hızı motor devir sayısı artışına bağlı olarak artar. Artan motor devir sayısı silindir içersindeki hava hareketlerinin artışına bağlı olarak yanma hızında artar.

-Sıkıştırma oranının etkisi:



Sıkıştırma oranı artması ile sıkıştırma sonu sıcaklıklar yükselir ve bunun sonucunda yanma hızı artar. Yanma hızı artışına bağlı olarak basınçta daha hızlı yükselir.

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda, basınç artma oranı $dP/d\varepsilon = (2,1 - 2,5)10^5$ (Pa/ $^{\circ}$ Kr.mili açısı) olmalı.

Yanma sonu sıcaklık ve basıncın hesabı.

Yanma sonu sıcaklığı T_3 , aşağıdaki yaklaşım kullanılarak hesaplanır.

$$T_3 = T_2 + \frac{B * H_u}{C_v} \quad \text{ve} \quad T_3 = T_2 + \frac{B * H_u}{C_p}$$

Burada ; T_3 - Yanma sonu sıcaklığı

T_2 - Sıkıştırma sonu sıcaklığı

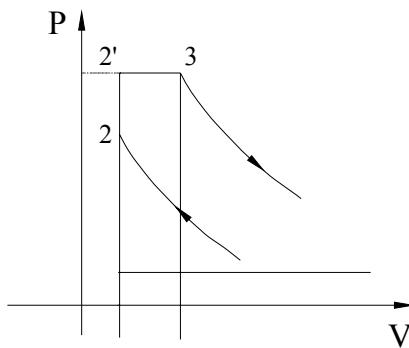
B - Çevrim başına harcanan yakıt miktarı

H_u - Yakıtın alt ısıl değeri

C_v - Karışımın sabit hacimde özgül ısınma ısısı

C_p - Karışımın sabit basınçta özgül ısınma ısısı , dir.

Termodinamiğin 1. kanunu gereğince yanma sonu oluşan ısı enerjisi , silindirde bulunan gazların iç enerjisini artırır ve geri kalan kısmından da mekanik iş elde edilir. Silindirde bu işlem için kullanılabilen ısı miktarı yakıtın alt ısıl değeri (H_u)'dan daha azdır, çünkü yakıtın yanması belirli bir kayıpla gerçekleşir. Bu kayıplar kimysal olarak eksik yanma ve çözülme (disosasyon) sonucunda meydana gelir. Bunun dışında yanma sonucu oluşan ısının bir kısmı soğutma akışkanına geçer ancak şu andaki hesaplamalarımızda bunu ihmal ederiz.



Bu ilk hesaplardanızda, yanmadaki basınç değişimini teorik çevrimlerdeki gibi kabul edilir, yani yanma kısmen sabit hacimde ve kısmen sabit basınçta gerçekleştiği kabul edilir. (Şek....)

Termodinamiğin 1. kanununa göre yanma denklemi:

$$\eta_y \cdot H_u = U_3 - U_2 + L_{2,3}$$

Bu denklemde: η_y - 2-3 noktaları arasında oluşan ısı enerjisinin efektif olarak kullanılabilen kısmını gösteren katsayı , yani yanma verimi. Özellikle otto motorlarında yanma verimin oluşmasında dissosasyon önemli bir rol oynamaktadır, çünkü bu olay sistemden ısı çekmektedir. Bu olay basıncın ve sıcaklığına bağlı olarak değişir.Sistemde sıcaklık artıkça dissosasyon oranı artar, basınç arttıkça dissosasyon oranı düşer.Hava fazlalık katsayısının bir olması halinde ki bu durumda yanma sonu sıcaklık artar, veya aşırı doldurma sonucunda sıcaklığın artması ile dissosasyon oranı yükselir.Genişleme sürecinde sıcaklıkların düşmesi sonucunda dissosasyon ürünlerin bir kısmı tekrar yanmaktadır, ancak meydana gelen ısının çok azı faydalı iş dönüşümüne etkili olurlar.Di,zel motorlarında yanma sonu sıcaklıkların daha düşük olması ve basınçların daha yüksek olması dissosasyon oranı çok düşük olur ve hesaplamalarda ihmali edilebilir.

Kıvılcım ateşlemeli (otto) motorlarında $\eta_y = 085 - 095$

Dizel motorlarında $\eta_y = 0,65 - 0,85$ mertebelerinde olur.

U_3 ve U_2 sırasıyla 3 ve 2 noktasında ki koşullarda bulunan gazın iç enerji değişimi (kJ/kg) göstermektedir.

$$U_3 = w c_v'' (n_{yu} n_r) \cdot (T_3 - 273) \text{ kJ/kg}$$

$$U_2 = U_2' + U_2'' = (w c_v' \cdot n_e + w c_v'' \cdot n_r) (T_2 - 273) \text{ kJ/kg}$$

Burada; $w c_v''$ ve $w c_v'$ sırasıyla yanmış gazların ve taze dolgunun (kJ/kmol K) olarak sabit hacimde molar ısınma ıslarıdır.

n_r - bir önceki çevrimden kalan yanmış gazların mol sayısı (kmol/kg).

n_e - yanabilen taze dolgunun mol sayısı (kmol/kg). Taze dolgunun büyük bir kısmı hava olduğundan ; $wc_v' = wc_v$ olarak kabul edilir. Burada wc_v (kmol/kg) olarak havanın sabit hacimdeki molar ısınma ısısıdır.

$n_{yü}$ - yanma ürünlerin mol sayısı (kmol/kg)

$L_{2,3}$ - 2 noktasından 3 noktasına gelinceye kadar yapılan hacim (ön genişleme) işi (kJ/kg) dir.

$$L_{2,3} = L_{2,3} = P_3 V_3 - P_2 V_2 \quad , \quad P_2 = \rho P_2 \quad \text{ve} \quad V_2 = V_2 \quad \text{olduğundan}$$

$$L_{2,3} = P_3 V_3 - \rho P_2 V_2 \quad \text{olarak yazılır.}$$

Genel gaz denklemi $PV = n \bar{R} T$ kullanarak

$$3 \text{noktası için } P_3 V_3 = (n_{yü} + n_r) \bar{R} T_3$$

$$2 \text{noktası için } P_2 V_2 = (n_e + n_r) \bar{R} T_2$$

Buna göre 2 ile 3 noktası arasında yapılan hacim işi;

$$L_{2,3} = (n_{yü} + n_r) \bar{R} T_3 - \rho (n_e + n_r) \bar{R} T_2 \quad \text{olur.}$$

Buna göre yanma denklemi:

$$\eta_y H_u = wc_v''(n_{yü} + n_r)(T_3 - 273) - (wc_v' n_e + wc_v'' n_r)(T_2 - 273) + (n_{yü} + n_r) \bar{R} T_3 - \rho (n_e + n_r) \bar{R} T_2$$

olur. Yanma denkleminin her iki tarafında $\frac{1}{n_e + n_r}$ terimi ile çarpmamız halinde;

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e + n_r} = wc_v'' \frac{n_{yü} + n_r}{n_e + n_r} (T_3 - 273) + \frac{n_{yü} + n_r}{n_e + n_r} \bar{R} T_3 - \frac{wc_v' n_e + wc_v'' n_r}{n_e + n_r} (T_2 - 273) - \rho \frac{n_e + n_r}{n_e + n_r} \bar{R} T_2$$

olur.

$$n_e + n_r = n_e \left(1 + \frac{n_r}{n_e}\right) = n_e (1 + \gamma_r)$$

γ_r - art gaz katsayısı

$$\frac{n_{yü} + n_r}{n_e + n_r} = \mu$$

$wc_p = wc_v + \bar{R}$ olduğuna göre ve bu değerleri yanma denkleminde yerine koyduğumuzda;

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e (1 + \gamma_r)} + \frac{wc_v' + wc_v'' \gamma_r}{1 + \gamma_r} (T_2 - 273) + \rho \bar{R} T_2 = \mu [wc_v'' (T_3 - 273) + \bar{R} T_3] \quad \text{şeklindeki yanma}$$

veya enerji denklemi elde edilir. Bu denklemin yardımcı ile çevrimin maksimum sıcaklığı T_3 hesaplanabilir.

Otto çevriminde veya kırılcım ateşlemeli motorlarda , hacim(ön genişleme) işi $L_{2,3} = 0$ olduğundan ;

$\lambda \geq 1$ durumu için

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{wc_v' + wc_v''\gamma_r}{1+\gamma_r}(T_2 - 273) = \mu wc_v''(T_3 - 273) \quad \text{ve}$$

λ 'nın birden küçük olması halinde ise;

$$\frac{\eta_y(H_u - \Delta H_u)}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{wc_v' + wc_v''\gamma_r}{1+\gamma_r}(T_2 - 273) = \mu wc_v''(T_3 - 273) \quad \text{olur}$$

Burada: $\Delta H_u = 119750(1-\lambda)L_{\min}$ (kJ/kg)

L_{\min} - Minimum hava miktarı (kmol hava/kg yakıt)

havanın moleküler ısınma ısısı: $wc_v = a_v + b_v T$

taze dolgunun moleküler ısınma ısısı: $wc_v' = a_v' + b_v' T$

yanmış gazların moleküler ısınma ısısı: $wc_v'' = a_v'' + b_v'' T$ olduğundan, ve bu değerleri enerji

denkleminde yerine koymamız halinde;

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{a_v' + b_v' T_2 + (a_v'' + b_v'' T_2)\gamma_r}{1+\gamma_r}(T_2 - 273) + \rho \bar{R} T_2 = \mu [(a_v'' + b_v'' T_3)(T_3 - 273) + \bar{R} T_3]$$

denklemin paranrezleri açarsak

$$\begin{aligned} \frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{a_v' + b_v' T_2 + (a_v'' + b_v'' T_2)\gamma_r}{1+\gamma_r}(T_2 - 273) + \rho \bar{R} T_2 + \mu a_v'' 273 &= \\ &= \mu [(a_v'' - b_v'' 273) + \bar{R}] T_3 + \mu b_v'' T_3^2 \end{aligned}$$

elde edilir.

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{a_v' + b_v' T_2 + (a_v'' + b_v'' T_2)\gamma_r}{1+\gamma_r}(T_2 - 273) + \rho \bar{R} T_2 + \mu a_v'' 273 = \mathbf{C}$$

$$\mu [(a_v'' - b_v'' 273) + \bar{R}] = \mathbf{B}$$

$\mu b_v'' = \mathbf{A}$ olması durumunda enerji denklemi ikinci dereceden tek bilinmeyen denkleme dönüşür.

$$AT_3^2 + BT_3 - C = 0$$

$(T_3)_{1,2} = \frac{-B_+^+(B_-^2 - 4AC)^{\frac{1}{2}}}{2A}$ olarak iki kök bulunur, ancak bunlardan sadece pozitif değer

çevrimin T_3 sıcaklık değerini verir.

Otto çevrimi olmasa durumunda ön genişleme işi sıfır olacağından, denklem aşağıdaki şeklini alır.

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{a_v' + b_v T_2 + (a_v'' + b_v'' T_2) \gamma_r}{1+\gamma_r} (T_2 - 273) + \mu a_v'' 273 = \mu (a_v'' - b_v'' 273) T_3 + \mu b_v'' T_3^2$$

$$\mu b_v'' = A$$

$$\mu(a_v'' - b_v'' 273) = \mathbf{B}$$

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{a_v' + b_v' T_2 + (a_v'' + b_v'' T_2) \gamma_r}{1+\gamma_r} (T_2 - 273) + \mu a_v'' 273 = \mathbf{C} \quad \text{olur ve denklem ikinci}$$

dereceden tek bilinmeyen denkleme dönüşür.

$A.T_3^2 + BT_3 - C = 0$ bu denklemin köklerinin hesabı aşağıda verilmiştir.

$(T_3)_{1,2} = \frac{-B_+^+(B^2 - 4AC)^{\frac{1}{2}}}{2A}$ olarak iki kök bulunur, ancak bunlardan sadece pozitif değer çevrimin T_3 sıcaklık değerini verir.

wc_v , wc_v^2 ve wc_v'' (kJ/kmol K) olarak değerleri

$$(273 - 1773)\text{K} \qquad \qquad (1774 - 3073)\text{K}$$

Hava	$19,8798 + 2638 \cdot 10^{-6} T$	$21,9914 + 1449 \cdot 10^{-6} T$
O_2	$19,7256 + 509964 \cdot 10^{-8} T - 84 \cdot 10^{-8} T^2$	$23,29985 + 155 \cdot 10^{-5} T$
N_2	$19,7155 + 25 \cdot 10^{-4} T$	$21,5532 + 1457 \cdot 10^{-6} T$
H_2	$20,671 - 11604 \cdot 10^{-8} T + 588 \cdot 10^{-9} T^2$	$19,198 + 1758 \cdot 10^{-6} T$
CO	$19,868 + 267 \cdot 10^{-5} T$	$22,0996 + 143 \cdot 10^{-5} T$
CO_2	$22,345 + 219959 \cdot 10^{-7} T - 5487 \cdot 10^{-9} T^2$	$38,6087 + 3349 \cdot 10^{-6} T$
H_2O	$23,48993 + 5359 \cdot 10^{-6} T$	$25,4584 + 4438 \cdot 10^{-6} T$

Veya aşağıdaki tablodan her gaz için alınabilir.

Gazların sabit hacimde ortalama molar ısıl kapasiteleri [kJ/(kmole^o C)]

Sıcaklık °C	Hava O ₂	Oksijen N ₂	Atmosferik azot CO ₂	Karbondioksit H ₂ O	Su buharı CO	Karbon monoksit	Hidrojen H ₂
0*	20.758	20.959	20.704	27.545	25.184	20.808	20.302
100	20.838	21.223	20.733	29.797	25.426	20.863	20.620
200	20.984	21.616	20.800	31.744	25.803	20.988	20.758
300	21.206	22.085	20.972	33.440	26.260	21.202	20.808
400	21.474	22.563	21.185	34.935	26.775	21.474	20.871
500	21.780	23.019	21.449	36.258	27.315	21.784	20.934
600	22.090	23.446	21.729	37.438	27.880	22.110	21.001
700	22.408	23.834	22.027	38.498	28.474	22.437	21.093
800	22.713	24.187	22.320	39.448	29.077	22.755	21.202
900	23.006	24.510	22.609	40.302	29.693	23.061	21.332
1000	23.283	24.803	22.881	41.077	30.304	23.350	21.474
1100	23.547	25.071	23.140	41.784	30.901	23.622	21.629
1200	23.794	25.318	23.392	42.425	31.510	23.877	21.792
1300	24.018	25.548	23.626	43.007	32.092	24.112	21.972
1400	24.250	25.761	23.848	43.543	32.661	24.338	22.152
1500	24.459	25.967	24.057	44.033	33.210	24.543	22.332
1600	24.652	26.159	24.250	44.485	33.741	24.736	22.517
1700	24.863	26.343	24.434	44.903	34.261	24.916	22.697
1800	25.003	26.519	24.602	45.299	34.755	25.087	22.877
1900	25.167	26.691	24.765	45.644	35.224	25.246	23.057
2000	25.326	26.854	24.916	45.975	35.680	25.393	23.233
2100	25.474	27.013	25.C62	46.281	36.120	25.535	23.408
2200	25.611	27.168	25.200	46.566	36.538	25.665	23.576
2300	25.745	27.319	25.326	46.829	36.940	25.791	23.743
2400	25.870	27.470	25.447	47.076	37.330	25.908	23.907
2500	25.992	27.612	25.560	47.302	37.702	26.021	24.070

T=0 şartında gerçek ısıl kapasiteler verilmiştir.

Moleküler ısınma ısılarının fonksyonu olarak bulmuş olduğumuz enerji denklemini iç enerjilerin fonksyonu olarakta bulabiliriz. Buna göre enerji denklemi

$$\frac{\eta_y \cdot H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{U'_2 + \gamma_r U''_2}{1+\gamma_r} + \rho \bar{R} T_2 = \mu(U''_3 + \bar{R} T_3) \text{ şeklini alır.}$$

Burada: U''_3, U''_2 - sırasıyla 3 ve 2 noktaların sıcaklığına karşı(kJ/kmol) olarak yanma ürünlerin iç enerji değişimini dir.

U'_2 - 2 noktasındaki sıcaklığa karşı (kJ/kmol) olarak taze dolgunun iç enerji değişimini dir.

Taze dolgunun büyük bir kısmı hava olduğundan U'_2 yerine havanın iç enerji değişimini veren U_2 kullanılabilir.

Otto çevriminde veya kıvılcım ateşlemeli motorlarda , hacim(ön genişleme) işi $L_{2,3} = 0$ olduğundan ;

$\lambda \geq 1$ durumu için

$$\frac{\eta_y H_u}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{U'_2 + \gamma_r U''_2}{1+\gamma_r} = \mu U''_3$$

λ 'nın birden küçük olması halinde ise;

$$\frac{\eta_y (H_u - \Delta H_u)}{n_e(1+\gamma_r)} + \frac{U'_2 + \gamma_r U''_2}{1+\gamma_r} = \mu U''_3 \text{ olur}$$

Sıcaklığa göre bazı gazların iç enerji değişimleri Tablo..... 'de verilmiştir.

Sıcaklık °C	Gazların iç enerjileri					MJ/kmole	
	Hava	Oksijen O ₂	Atmosferik azot N ₂	Karbondioksit CO ₂	Su buharı H ₂ O	Karbon monoksit CO	Hidrojen H ₂
0	0	0	0	0	0	0	0
100	2.015	2.123	2.072	2.981	2.541	2.085	2.064
200	4.195	4.325	4.162	6.347	5.162	4.199	4.153
300	6.364	6.628	6.293	10.031	7.879	6.360	6.242
400	8.591	9.027	8.474	13.975	10.710	8.591	8.348
500	10.890	11.509	10.726	18.129	13.657	10.790	10.467
600	13.255	14.068	13.038	22.462	16.726	13.268	12.602
700	15.684	16.684	15.420	26.950	19.933	15.705	14.767
800	18.171	19.347	17.857	31.560	23.262	18.204	16.965
900	20.708	22.060	20.348	36.270	26.724	20.754	19.201
1000	23.983	24.803	22.881	41.077	30.304	23.350	21.474
1100	25.899	27.578	25.456	45.971	34.001	25.983	23.793
1200	28.554	30.379	28.068	50.911	37.811	28.654	26.152
1300	31.238	33.241	30.714	55.894	41.721	31.346	28.562
1400	33.951	36.065	33.385	60.960	45.720	34.072	31.011
1500	36.689	38.950	36.086	66.086	49.823	36.814	33.498
1600	39.444	41.855	38.799	71.175	53.758	38.578	36.023
1700	42.203	44.799	41.537	76.325	58.238	42.370	38.585
1800	45.008	47.729	44.296	81.517	62.551	45.175	41.177
1900	47.813	50.702	47.059	86.708	66.947	47.981	43.794
2000	50.660	53.716	49.823	90.942	71.343	50.786	46.473
2100	53.507	56.731	52.628	97.175	75.865	53.633	49.153
2200	56.354	59.787	55.433	102.541	80.386	56.480	51.879
2300	59.201	62.844	58.100	107.726	84.950	59.327	54.596
2400	62.090	65.942	61.085	113.002	89.597	62.174	57.359
2500	64.979	69.040	63.890	118.277	94.245	65.063	60.164

Yanma sonu basıncın hesabı.

3 ve 2 noktası için genel gaz denklemleri;

$$P_3 V_3 = (n_{yü} + n_r) \bar{R} T_3$$

$$P_2 V_2 = (n_e + n_r) \bar{R} T_2 \text{ olduğuna göre ve bu denklemleri taraf tarafa}$$

ornlamamız halinde;

$$\frac{P_3 V_3}{P_2 V_2} = \frac{(n_{yü} + n_r) T_3}{(n_e + n_r) T_2}$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \rho \text{ (patlama oranı)}$$

$\rho = 3,2 - 4,2$ otto motorları için

$\rho = 1,2 - 2,5$ dizel motorları için

$$\frac{V_3}{V_2} = \varepsilon_g \text{ (ön genişleme oranı)}$$

$\varepsilon_g = 1,2 - 1,7$ alınabilir.

$$\frac{n_{yü} + n_r}{n_e + n_r} = \mu \text{ (gerçek moleküler değişim katsayısı) olduğundan yanma sonu basınç ;}$$

$$P_3 = \frac{\mu T_3}{\varepsilon_g T_2} P_2 \text{ olarak bulunur.}$$

Otto motorlarında ön genişleme oranı $\varepsilon_g = 1$ olduğundan,

$$P_3 = \mu \frac{T_3}{T_2} P_2 \text{ olur.}$$

$P_3 = (3,0 - 5,0)$ MPa otto motorlar için

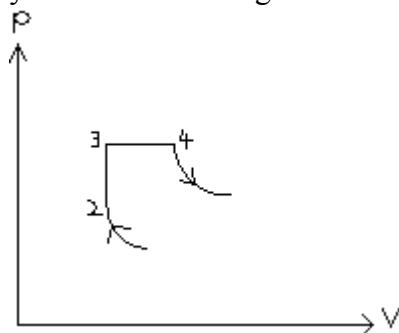
$P_3 = (5,0 - 11,0)$ MPa dizel motorlar için

$T_3 = (2300 - 2900)$ K otto motorlar için

$T_3 = (1800 - 2200)$ K dizel motorlar için

ÖRNEK:

Karışık çevrime göre çalışan bir diesel motorunun $n=2000 \text{d/d}$, $N_e=160 \text{kW}$, $z=8$, $\varepsilon=16,5$, $\lambda=1,4$ tür. Bu motorda kullanılan yakıtın kimyasal analizi; $c=87$, $h=12,6$ ve $o=0,4$ tür. Bu motorun yanma sonu sıcaklığını bulunuz.



Enerji denklemini yazalım;

$$[(\eta_y \cdot H_u)/(n_e(1+\gamma_r))] + [(u_2' + \gamma_r \cdot u_2'')/(1+\gamma_r)] + \bar{R} \cdot \rho \cdot T_2 = \mu(u_4'' + \bar{R} \cdot T_4)$$

Bu formüldeki:

$$\eta_y = 0,65 \div 0,85 \text{ yanma verimi} \quad , \quad \eta_y = 0,82 \text{ seçilir}$$

$$\begin{aligned} H_u &= 34013 \cdot c + 125600 \cdot h - 10900(s-o_y) - 2512(g.h+w) \\ &= 34013 \cdot 0,87 + 125600 \cdot 0,126 - 10900(0-0,004) - 2512(9,0,126+0) \\ &= 42611(\text{kJ/kg.yakıt}) \end{aligned}$$

n_e : taze dolgunun kmol sayısıdır. Taze dolgunun büyük kısmı hava olduğu için burada n_e olarak 1kg yakıtı yakmak için silindire alınan havanın kmol sayısı alınır.

1kg yakıtın yanması için gerekli minimum oksijen miktarı;

$$\begin{aligned} O_{\min} &= (C/12) \cdot [1 + 3 \cdot (h + (S-O_y)/8)/C] = 0,87/12 \cdot [1 + 3 \cdot (0,126 + (0-0,004)/8)/0,87] \\ &= 0,104125(\text{kmolO}_2/\text{kgYakıt}) \end{aligned}$$

$$L_{\min} = O_{\min} / 0,21 = 0,104125 / 0,21 = 0,4958333(\text{kmolHava/kgY})$$

$$L_{ger} = \lambda \cdot L_{\min} = 1,4 \cdot 0,4958333 = 0,69412(\text{kmolHava/kgY})$$

$$n_e \cong L_{ger} \Rightarrow n_e = 0,69412(\text{kmol taze dolgu/kgY})$$

Taze dolgunun yanması sonucu çıkan ürünler

$$n_{CO_2} = C/12 = 0,87/12 = 0,0725(\text{kmol CO}_2/\text{kgY})$$

$$n_{H_2O} = h/2 = 0,126/2 = 0,063(\text{kmol H}_2\text{O}/\text{kgY})$$

$$n_{N_2} = 0,79 \cdot L_{\min} \cdot \lambda = 0,79 \cdot 0,49583 \cdot 1,4 = 0,5483(\text{kmolN}_2/\text{kgY})$$

$$n_{O_2} = 0,21 \cdot (\lambda - 1) \cdot L_{\min} = 0,21 \cdot (1,4 - 1) \cdot 0,49583 = 0,0416(\text{kmolO}_2/\text{kgY})$$

$$\mu_{th} = n_{yü} / n_e \quad \text{kmol sayısının teorik değişim katsayısı}$$

$$\mu_{th} = 0,72544 / 0,69412 = 1,0451219$$

Artık egzost ürünlerinin katsayısı - γ_r

$$\gamma_r = [(T_o + \Delta T) / T_r] \cdot [P_r / (\varepsilon \cdot P_1 - P_r)]$$

$$T_o = 288^\circ\text{K} \text{ (diş ortam sıcaklığı) kabul}$$

$$P_o = 0,101 \text{ MPa} \text{ (diş ortam basıncı) kabul}$$

$$P_1 = (0,8 \div 0,9) \cdot P_o \text{ emme sonu basıncı}$$

veya

$P_1 = P_o - (\beta^2 + \xi) \cdot (V_v^2 / 2) \cdot \rho_o \cdot 10^{-6}$ dan hesaplanır.

$\beta^2 + \xi = 2,5 \div 4$ arası seçilir

$V_v = (50 \div 130) \text{ m/s}$

$\rho_0 = P_0 / R \cdot T_0$ (kg/m³)

$P_1 = 0,88 \cdot P_0$ seçilirse

$P_1 = 0,08888 \text{ (MPa)}$ olur.

$P_r = (1,1 \div 1,25) \cdot P_0$ Artık egzost ürünlerinin basıncı

$P_r = 1,188 \cdot P_0 = 0,1199 \text{ (MPa)}$

$T_r = (900 \div 1000)^\circ\text{K}$ karbüratörlü

$T_r = (700 \div 900)^\circ\text{K}$ diesel

$T_r = 850^\circ\text{K}$ seçildi

$\Delta T = (20 \div 40)^\circ\text{K}$ aşırı doldurmada

$\Delta T = (0 \div 20)^\circ\text{K}$ normal motorda

$\Delta T = 15^\circ\text{K}$ seçildi

$\varepsilon = 16,5$

$\gamma_r = [(288+12)/850] \cdot [0,1199/(16,5 \cdot 0,089 - 0,1199)] = 0,0276$

Emme sonu sıcaklık

$T_1 = (T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r) / (1 + \gamma_r) = (288 + 15 + 0,0276 \cdot 850) / (1 + 0,0276) = 317,69^\circ\text{K}$

Volumetrik verim

$\eta_v = [\varepsilon / (\varepsilon - 1)] \cdot (P_1 / P_0) \cdot [(T_0 / T_1) \cdot (1 + \gamma_r)]$

$= (16,5 / 15,5) \cdot (0,08888 / 0,101) \cdot [288 / 317,69 \cdot (1 + 0,0276)]$

$\eta_v = 0,826$

Sıkıştırma sonu basınç

$P_2 = P_1 \cdot \varepsilon^{n_1} \quad n_1 = 1,38$ seçildi

$P_2 = 0,08888 \cdot 16,5^{1,38} = 4,2553 \text{ (MPa)}$

Sıkıştırma sonu sıcaklığı

$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{n_1 - 1} = 317,69 \cdot 16,5^{0,38} = 921,82^\circ\text{K}$

Patlama oranı

$\rho = P_3 / P_2 \quad \rho = 3 \div 4$ otto ; $\rho = 1,4 \div 2,2$ diesel

$\rho = 1,8$ kabul

$u_2'' \rightarrow$ 2 noktasındaki sıcaklığa uygun olan, 1 kmol taze dolgunun iç enerjisi

$T_2 = 921,82^\circ\text{K}$ veya $t_2 = 648,82^\circ\text{C}$

Tablo 2-5ten; havanın iç enerji değişimi

$600^\circ\text{C} \rightarrow 13255 \text{ kJ/kmol hava}$

$700^\circ\text{C} \rightarrow 15684 \text{ kJ/kmol hava}$

$\Delta t = 100^\circ\text{C}$ için $\Delta u = 2429 \text{ kJ/kmol}$

$\Delta t = 48,82^\circ\text{C}$ için $\Delta u = 2429 \cdot 48,82 / 100 = 1185,8 \text{ kJ/kmol}$

$t_2 = 648,82^\circ\text{C}$ için $u_2'' = 13255 + 1185,8 = 14440,8 \text{ kJ/kmol}$

$u_2'' = 14440,8 \text{ (kJ/kmol taze dolgu)}$

$u_2''' =$ 2 noktasındaki sıcaklığa uygun olan 1kmol yanma ürününün iç enerjisi

$u_2''' = (r_{CO_2} \cdot u_{CO_2})_{t_2} + (r_{H_2O} \cdot u_{H_2O})_{t_2} + (r_{N_2} \cdot u_{N_2})_{t_2} + (r_{O_2} \cdot u_{O_2})_{t_2}$

$r_{CO_2}, r_{H_2O}, r_{N_2}$ ve r_{O_2} sırası ile CO_2, H_2O, N_2 ve O_2 kmol fraksiyon katsayıları;

$r_{CO_2} = n_{CO_2} / n_{y''} = 0,0725 / 0,72544 = 0,0999$

$r_{H_2O} = n_{H_2O} / n_{y''} = 0,063 / 0,72544 = 0,0868$

$r_{N_2} = n_{N_2} / n_{y''} = 0,5483 / 0,72544 = 0,7558$

$$r_{O_2} = n_{O_2} / n_{y\ddot{u}} = 0,0416 / 0,72544 = 0,0573$$

$$t_2 = 648,82^\circ\text{C} \quad \text{Tablo 2-5ten}$$

$$u_{CO_2} = 22462 + [(26950 - 22462) / 100] \cdot 48,82 = 24653,042 (\text{kJ/kmol CO}_2)$$

$$u_{H_2O} = 16726 + [(19933 - 16726) / 100] \cdot 48,82 = 18291,657 (\text{kJ/kmol H}_2\text{O})$$

$$u_{N_2} = 13038 + [(15420 - 13038) / 100] \cdot 48,82 = 14200,892 (\text{kJ/kmol N}_2)$$

$$u_{O_2} = 14068 + [(16684 - 14068) / 100] \cdot 48,82 = 15345,131 (\text{kJ/kmol O}_2)$$

$$u''_2 = 0,0999 \cdot 24653,042 + 0,0868 \cdot 18291,657 + 0,7558 \cdot 14200,892 + 0,0573 \cdot 15345,131 \\ = 15662,865 \text{ kJ/kmol Y.Ü)$$

$$\mu = (\mu_{th} + \gamma_r) / (1 + \gamma_r) = (1,04512 + 0,0276) / (1 + 0,0276) = 1,04391$$

↓

kmol sayısının gerçek değişim katsayısı

Bulduklarımızı yanma denkleminde yerine koyalım;

$$[0,82 \cdot 42611 / 0,69412 \cdot (1 + 0,0276)] + [(14440,8 + 0,0276 \cdot 15662,865) / (1 + 0,0276)] + 8,314 \cdot 1,8 \cdot 921,8$$

$$2 = 1,04391(u''_4 + 8,314 \cdot T_4)$$

$$(48986,558 + 14473,623 + 13795,221) / 1,04391 = u''_4 + 8,314 \cdot T_4$$

$$74005,07 =$$

$$u''_4 + 8,314 \cdot T_4$$

denklemi bulunur.

$$u''_4 \rightarrow 4 \text{ noktasındaki } T_4 \text{ sıcaklığına uyan yanma ürünlerinin iç enerjisi}$$

$$t_4 = 2000^\circ\text{C} \text{ birinci tahmin}$$

$$u''_4 = (r_{CO_2} \cdot u_{CO_2})_{t_4} + (r_{H_2O} \cdot u_{H_2O})_{t_4} + (r_{N_2} \cdot u_{N_2})_{t_4} + (r_{O_2} \cdot u_{O_2})_{t_4} \text{ den;}$$

$$u''_4 = 0,0999 \cdot 90942 + 0,0868 \cdot 71343 + 0,7558 \cdot 49823 + 0,0573 \cdot 53716$$

$$u''_4 = 56011,828 (\text{kJ/kmol Y.Ü})$$

$$u''_4 + 8,314 \cdot T_4 = 56011,828 + 8,314 \cdot 2273 = 74909,55 \text{ kJ/kmol}$$

$$t_4 = 1900^\circ\text{C ikinci tahmin}$$

$$u''_4 = 0,0999 \cdot 86708 + 0,0868 \cdot 66947 + 0,7558 \cdot 47059 + 0,0573 \cdot 50702$$

$$u''_4 = 52945,545 (\text{kJ/kmol Y.Ü})$$

$$u''_4 + 8,314 \cdot T_4 = 52945,545 + 8,314 \cdot 2173 = 71011,867 (\text{kJ/kmol})$$

T_4	$u''_4 + 8,314 \cdot T_4$
2273°K	74909,55 kJ/kmol
T_4	74005,807 kJ/kmol
2173°K	71011,867 kJ/kmol

$$T_4 = 2273 - [100 / (74909,55 - 71011,867)] \cdot (74909,55 - 74005,807)$$

$$T_4 = 2249,813^\circ K \quad ; \quad t_4 = 1976,813^\circ C$$

İç enerjiden giderek sağlamasını yapalım;

$t_4 = 2047,4458^\circ C$ için;

$$u_{CO_2} = 90942 + [(97175 - 90942)/100] \cdot 47,4458 = 93899,297 \text{ kJ/kmol CO}_2$$

$$u_{H_2O} = 71343 + [(75865 - 71343)/100] \cdot 47,4458 = 73488,499 \text{ kJ/kmol H}_2\text{O}$$

$$u_{N_2} = 49823 + [(52628 - 49823)/100] \cdot 47,4458 = 51153,855 \text{ kJ/kmol N}_2$$

$$u_{O_2} = 53716 + [(56731 - 53716)/100] \cdot 47,4458 = 55146,491 \text{ kJ/kmol O}_2$$

$$u''_4 = 0,0999 \cdot 93899,297 + 0,0868 \cdot 73488,499 + 0,7558 \cdot 51153,855 + 0,0573 \cdot 55146,491 \\ = 57581,319 \text{ (kJ/kmol Y.Ü)}$$

$$u''_4 + 8,314 \cdot T_4 = 57581,319 + 8,314 \cdot 2320,4458 = 76873,505 \text{ (kJ/kmol Y.Ü)}$$

Bu hesaplama göre 4noktasının sıcaklığı;

$$T_4 = 2320,4458^\circ K$$

$$t_4 = 2047,4458^\circ C$$

GENİŞLEME SÜRECİ

Genişleme sürecinde yanma sonucu meydana gelen ısı enerjisi mekanik işe dönüşür. Genişleme başlangıcı olarak maksimum basınçla ulaşıldığı an kabul edilir. İdeal çevrimde genişleme prosesin adiabatik olduğunu kabul edilir ve

$$PV^{k_2} = \text{sabit}$$

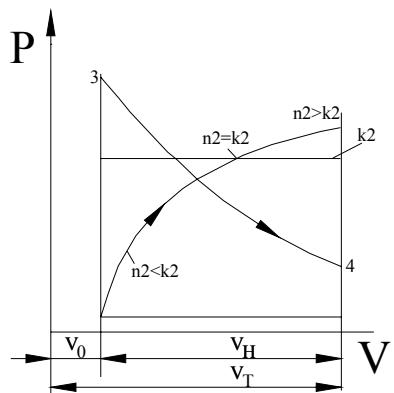
denklemi k_2 'in genişleme boyunca sabit olması nedeniyle geçerlidir, fakat gerçek çevrimde durum daha farklıdır.

Genişleme süreci sıkıştırma sürecine göre daha karmaşıktır, çünkü bu süreçte yoğun yanma ve gazdan cidara dorusu olan ısı iletimi aynı anda ve mertebe olarak sürekli değişerek devam etmektedir ve yüksek gaz basıncının etkisi ile gaz kaçakları daha fazladır. Bu olayların etkisi ile genişleme sonucu basınç ve sıcaklıkta olması gereken değişimler daha farklı olarak gerçekleşir. Yanma prosesi maksimum basınç ve sıcaklığı ulaştıktan sonra devam eder. Bu periyoda art yanma denir ve bu esnada genişleme sürecinin daha da karmaşık yapan olay ise disosasyondur.

İş gazın sıcaklığı, silindir cidarlar sıcaklıklarından daha yüksektir ve bu nedenle genişleme süreci boyunca gazdan cidara doğru ısı akışı olur. Fakat bu ısı akışı, sıcaklık farkının ve ısı transfer alanının sürekli değişiminin sonucunda her an farklıdır. Genişlemenin başında gaz ve cidar sıcaklıklar arasındaki fark en yüksektir buna karşı ısı transfer alanı en düşük seviyededir. Daha sonra ısı transfer alanı artarken gaz ve cidar arasındaki sıcaklık farkı düşer, anlaşılmacı gibi oldukça karmaşık bir ısı transferi söz konusudur. Genişleme başında gaz basınçlarında en yüksek mertebede olması nedeni ile gaz kaçakları da en fazladır buda genişleme sonucu oluşması gereken basınç ve sıcaklıkları önemli oranda etkiler.

Anlaşılmacı gibi genişleme sürecinde yanmanın devam etmiş olması, gaz ve cidar arasında sürekli ve değişken ısı transferinin olması ve gaz kaçakları gibi olaylar genişlemenin adiyabatik olarak gerçekleşmesini engellemektedirler.

- Genişleme prosesin başlarında yanma yoğunluğu en fazladır, buna karşın ısı transfer alanının en küçük seviyede olması sonucunda gazdan cidara geçen ısının etkisini azaltmakta ve yanmanın devam etmiş olması gaza dışardan (cidardan) iletilen ısı gibi etki yapar. Genişleme üst katsayı n_2 adiyabat üst katsayı k_2 'den daha küçük olur ve dolayısıyla genişlemeden beklenen sıcaklık ve basınç düşümü daha az olur. Bu durumda faydalı iş alanı daha fazladır. Şek.....



Şek.....

- Piston AÖN'ya doğru hareket ederken yanmanın ve disosasyyonun etkisi azalırken , ısı transfer alanın artması sonucu ısı iletimi n_2 üzerinde daha etkili olmakta ve bunun sonucunda genişleme üst katsayıları artarak , ve genişlemenin ikinci yarısından sonra adiyabat üst katsayıları k_2 'den daha büyük olur. Piston, segman ve silindir cidarı arasında , özellikle genişleme başlarında oluşan yüksek gaz basıncının etkisi ile meydana gelen gaz kaçakları genişleme üst katsayıları n_2 'in artmasına neden olur . Genişleme üst katsayısının artması sonucu basınç ve sıcaklıklarda meydana gelen düşüşlerin daha fazla olmasına neden olur. Bu durumda faydalı iş alanı daha az olur.

- Genişleme sürecinin, belirli bir anda art yanma ve disosasyon sonucu oluşan ısı ile cidardan kaçan ısı ve gaz kaçaklarının genişleme üst katsayıları üzerindeki etkileri dengelenir ve $n_2 = k_2$ olur . Bu durumda çok kısa bir süre için genişleme prosesi adiyabatik olur.

Yukarda açıklanan olayları etkisi ile genişleme üst katsayıları n_2 genişleme süreci boyunca farklı değerler alır. Bu nedenle

$$PV^{n_2} = \text{sabit}$$

şeklindeki denklemin kullanılması mümkün değildir, fakat hesaplama kolaylığı için genişleme prosesi politropik olarak kabul edilir ve n_2 - politrop üst katsayıları deneySEL sonuçlara göre ortalama bir değerde alınır. Otto motorlar için $n_2 = 1,22 - 1,29$, dizel motorları için $n_2 = 1,18 - 1,28$ mertebelerinde seçilir.

Ortalama genişleme politrop üst katsayısına etki eden faktörler:

- Hava fazlalık katsayısı λ 'nın etkisi:

λ 'nın 1'den büyük olması halinde , yanma hızın düşük olması nedeni ile yanma daha uzun devam eder ve n_2 'nin değeri daha düşük olur.

- Motor devir sayısının etkisi:

Motor devir sayısının artması halinde , ısı iletimi için ayrılan sürenin azalması ve art

yanmanın uzaması sonucunda n_2 azalır.

- Motor yükün etkisi:

Motor yükü azalınca n_2 düşer, yükün artması halinde ise n_2 daha büyük değer alır.

Genişleme süreci ısı dengesi:

Genişleme esnasında iş gazın ısı dengesini kullanarak yanma verimi ile ortalama genişleme üst katsayı n_2 arasında bir ilişki kurulabilir. PV diagramın 3 noktasından 4 noktasına kadar genişlemede ısı balansı;

$$\eta_{y,4}H_u - \eta_{y,3}H_u = n_4wc_{v,4}''T_4 - n_3wc_{v,3}''T_3 + L_{3,4} \text{ olarak yazılır.}$$

$\eta_{y,4}H_u$ – yanma ve genişleme süreci boyunca iş gazın iç enerjisini artırmak ve mekanik iş elde edilmek için kullanılan ısı(J).

$\eta_{y,3}H_u$ – yanma süreci boyunca iş gazın iç enerjisini artırmak ve mekanik iş elde edilmek için kullanılan ısı(J).

$wc_{v,4}''$, $wc_{v,3}''$ – sırasıyla 4 ve 3 noktasındaki duruma karşı iş gazın sabit hacimde moleküler ısınma ısısıdır (J/kmol.der)

$n_4 = (n_e + n_r)\mu$ ve $n_3 = (n_e + n_r)\mu_3$, - sırası ile 4 ve 3 noktasındaki iş gazın mol sayısıdır.

μ – genişleme sonuna kadar oluşan moleküler değişim katsayısıdır.

μ_3 – yanma süreci sonuna kadar oluşan moleküler değişim katsayısıdır.

$L_{3,4} = \frac{1}{n_2 - 1}(\bar{R}n_3T_3 - \bar{R}n_4T_4)$, ısı balansı denkleminde bu değerleri kullanarak ve

denklemin her iki tarafında $(n_e + n_r)\mu$ böldüğümüzde,

$$\frac{(\eta_{y,4} - \eta_{y,3})H_u}{(n_e + n_r)\mu} = wc_{v,4}''T_4 - \frac{\mu_3}{\mu}wc_{v,3}'' + \frac{\bar{R}}{n_2 - 1} \left(\frac{\mu_3}{\mu}T_3 - T_4 \right)$$

$$n_2 - 1 = \frac{\left(\frac{\mu_3}{\mu}T_3 - T_4 \right) \bar{R}}{\frac{(\eta_{y,4} - \eta_{y,3})H_u}{n_e(1 + \gamma_r)\mu} + \frac{\mu_3}{\mu}wc_{v,3}''T_3 - wc_{v,4}''T_4}$$

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda hava fazlalık katsayısı birden küçük olması halinde H_u yerine $H_u - \Delta H_u$ kullanılır.

$$wc_{v,3}'' = a_{v,3}'' + b_{v,3}''T_3 \quad \text{ve} \quad wc_{v,4}'' = a_{v,4}'' + b_{v,4}''T_4 \quad \text{olduğuna göre}$$

$$n_2 - 1 = \frac{\left(\frac{\mu_3}{\mu} T_3 - T_4 \right) \bar{R}}{\frac{(\eta_{y,4} - \eta_{y,3}) H_u}{n_e (1 + \gamma_r) \mu} + \frac{\mu_3}{\mu} (a''_{v,3} + b''_{v,3} T_3) T_3 - (a''_{v,4} + b''_{v,4} T_4) T_4}$$

Burada: $a''_{v,3}, b''_{v,3}, a''_{v,4}, b''_{v,4}$ – gaz karışımının yapısına bağlı olan sabitler.

Yukardaki denklemin irdelemesi:

- $\eta_{y,4} = \eta_{y,3}$ olması halinde, art yanmadan elde edilen ısı ile silindir cidarlarına geçen ısı eşit demektir. Bu durumda genişleme adiyabatik olarak kabul edilebilir ve $n_2 = k_2$ olur.
- $\eta_{y,4} > \eta_{y,3}$ ‘ten büyük olması halinde, art yanmadan elde edilen ısı , silindir cidarlarına geçen ısı’dan daha fazla demektir. Bu durumda genişleme adiyabatik olmaz ve $n_2 < k_2$ ’den büyütür.
- $\eta_{y,4} < \eta_{y,3}$ ‘ten küçük olması halinde, art yanmadan elde edilen ısı , silindir cidarlarına geçen ısı’dan daha az demektir. Bu durumda genişleme adiyabatik olmaz ve $n_2 > k_2$ ’den küçüktür.

Deneysel sonuçlara göre; $\eta_{y,4} = 0,82 - 0,87$ mertebelerinde alınır.

$(1200 - 2600)K$ sıcaklık aralığında $a''_{v,3} = a''_{v,4} = a''_v$ ve $b''_{v,3} = b''_{v,4} = b''_v$ olarak kabul edilir ve bu durumda meydana gelen hata önemsizdir. $n_2 = k_2$, $\eta_{y,4} = \eta_{y,3}$ ve $\mu_3 = \mu$ olması durumunda ve genişlemenin adiyabatik olması halinde $T_4 = \frac{T_3}{\delta^{n_2-1}}$ olduğundan;

$$n_2 = k_2 = 1 + \frac{\bar{R}}{a''_v + b''_v T_3 \left(1 + \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right)}$$

Burada : δ – genişleme katsayısıdır.

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda: $\delta = \varepsilon$

$$\text{Dizel motorlarda: } \delta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_g},$$

ε – sıkıştırma oranı, ε_g – ön genişleme oranı dır.

Yukardaki denklem $n_2 = k_2 = 1,20 - 1,30$ değerlerini sağlayacak şekilde çözülür.

Genişleme sonu iş gazın basıncı ve sıcaklığı:

PV diagramının 3 noktasından 4 noktasına kadar olan politropik genişleme için;

$$P_3 V_3^{n_2} = P_4 V_4^{n_2} \text{ yazılır}$$

$$P_4 = P_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{n_2}, \quad \frac{V_4}{V_3} = \delta \quad \text{genişleme oranı olduğundan}$$

$$\text{Genişleme sonu iş gazı basıncı : } P_4 = P_3 \frac{1}{\delta^{n_2}} \text{ olur}$$

İş gazın genişleme sonu sıcaklığını bulmak için 4 ve 3 noktası için universal gazdenklemini kullanalım:

$$P_4 V_4 = n_4 \bar{R} T_4 = (n_e + n_r) \mu \bar{R} T_4$$

$$P_3 V_3 = n_3 \bar{R} T_3 = (n_e + n_r) \mu_3 \bar{R} T_3 \quad \text{bu denklemleri taraf tarafa böldüğümüzde}$$

$$\frac{P_4 V_4}{P_3 V_3} = \frac{\mu T_4}{\mu_3 T_3} \quad \text{veya} \quad T_4 = T_3 \frac{\mu_3}{\mu} \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \quad \text{olur.}$$

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda: $\delta = \varepsilon$ olduğundan,

$$P_4 = P_3 \frac{1}{\varepsilon^{n_2}}, \quad T_4 = T_3 \frac{\mu_3}{\mu} \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}}$$

$$\text{Dizel motorlarda: } \delta = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_g},$$

$$P_4 = P_3 \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_g} \right)^{n_2}}, \quad T_4 = T_3 \frac{\mu_3}{\mu} \frac{1}{\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_g} \right)^{n_2-1}} \quad \text{olur.}$$

Deneysel sonuçlara göre;

Kıvılcım ateşlemeli motorlarda: $P_4 = (3,5 - 5,0) \text{ Pa}$, $T_4 = (1200 - 1500) \text{ K}$

Dizel motorlarda: $P_4 = (2,0 - 4,0) \text{ Pa}$, $T_4 = (1000 - 1200) \text{ K}$

Genişleme işi:

Toplam genişleme işi (sabit basınçta yapılan ön genişleme işi de dahil);

$$Q_2 = L_{2,3,4} = V_H P_{gen,ort} 10^3 = V_T \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} P_{gen,ort} 10^3 \quad (\text{kJ/kg yakıt}),$$

$P_{gen,ort}$ – genişleme boyunca iş gazın ortalama basıncı (MPa)

$V_T = V_4 = V_1$ olduğundan

Universal gaz denklemi formülünden;

$$V_4 = \frac{n_e (1 + \gamma_r) \mu \bar{R} T_4}{10^3 P_4} = V_T$$

$$Q_2 = \frac{n_e(1+\gamma_r)\mu\bar{R}T_4}{P_4} \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} P_{gen,ort} \text{ (kJ/kg yakıt)}$$

veya,

$$V_1 = \frac{n_1 \bar{R} T_1}{10^3 P_1} = \frac{n_e(1+\gamma_r)\bar{R}T_1}{10^3 P_1}, \text{ m}^3 / \text{kg yakıt}$$

$$V_T = V_1 = \frac{n_e(1+\gamma_r)\bar{R}T_1}{10^3 P_1} \text{ olduğundan}$$

$$Q_2 = \frac{n_e(1+\gamma_r)\bar{R}T_1}{P_1} \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} P_{gen,ort} \text{ (kJ/kg yakıt)}$$

Volometrik verim formülünden

$$\frac{T_o}{\eta_v P_o} = \frac{\varepsilon-1}{\varepsilon} \cdot \frac{T_1}{P_1} (1+\gamma_r), \quad \frac{T_1}{P_1} = \frac{T_0 \varepsilon}{\eta_v P_0 (\varepsilon-1)(1+\gamma_r)}$$

$\frac{T_1}{P_1}$ oranını denklemde yerine koyarsak

$$Q_2 = \bar{R} \frac{n_e T_o}{\eta_v P_o} P_{gen,ort}, \text{ kJ/kg yakıt olur.}$$

Genişleme sürecinde yapılan işten sıkıştırma sürecinde yapılan işi çıkartmamız halinde kapalı çevrimin (indike) Q_i işini buluruz.

$$Q_i = Q_2 - Q_1 = \bar{R} \frac{n_e T_0}{\eta_v P_0} P_{gen,ort} - \bar{R} \frac{n_e T_0}{\eta_v P_0} P_{1,2(ort)} = \bar{R} \frac{n_e T_0}{\eta_v P_o} (P_{gen,ort} - P_{1,2(ort)})$$

$P_{gen,ort} - P_{1,2(ort)} = P_{i,ort}$ ortalama indike basınç olduğuna göre

$$Q_i = \bar{R} \frac{n_e T_o}{\eta_v P_o} P_{i,ort} \text{ (kJ/kg yakıt) olarak bulunur.}$$

Egzoz süreci

Dört stroklu motorlarda egzoz süreci , genişleme stokun sonlarına doğru egzoz supabın avansla açılması ile başlar ve emme strokun başlarında egzoz supabın gecikme ile kapanması ile sona erer.

Egzoz gazların dış ortama akışın nedenlerine bağlı olarak egzoz sürecini üç periyoda ayırmamız mümkündür.

Birinci periyot egzoz supabın avansla açılması ile başlar ve pistonun A.Ö.N.'ya gelmesi ile sona erer. Bu periyotta egzoz gazları silindir iç basıncı ve egzoz sistemi basıncı arasında oluşan basınç farkının etkisi ile dış ortama akarlar. Silindir iç basıncın, egzoz sistemi basıncına oranı kritik basınç oranından büyük olması halinde, yanmış gazların akışında kritik hız değerlerin üstünde yaklaşık olarak ses hızına yakın olur.Bu akışta gazların hızı $u_r = (500 - 600) \text{ m/s}$ mertebesindedir. Bu hızı aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanır.

$$u_r = 18,8\sqrt{T} \text{ (m/s)}$$

Kritik hızdaki akışın etkisi ile egzoz sisteminde yüksek ses sevieleri oluşur ve bu sesi azaltmak için egzoz sisteminde susturucular kullanılır. Birinci periyodun sonlarına doğru silindir iç basıncı ile egzoz sistemi basıncı arasındaki oran kritik basıncın altına düşünce normal gaz akışı başlar. Birinci periyotta egzoz gazların yaklaşık olarak % (60 – 70) 'i dış ortama atılır.

İkinci periyot A.Ö.N.'da başlar ve Ü.Ö.N.'ya kadar devam eder. Bu periyotta egzoz gazları pistonun yapmış olduğu süpürme etkisi ile dış ortama atılırlar. Bu periyottaki gaz akış hızı $u_r = (200 - 250) \text{ m/s}$ mertebesinde olur.

Üçüncü periyot Ü.Ö.N.'da başlar ve egzoz supabın kapanması ile sona erer. Bu periyotta ΔP_r sıfırdan büyük olduğundan , gaz akışı , gazların atalet kuvvetlerinin etkisi ile olur.

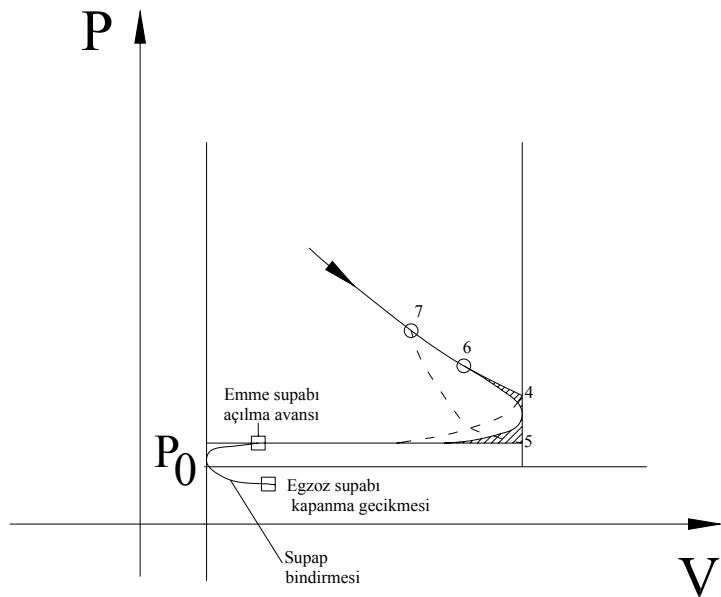
Egzoz supabın açılma avansı motorun performansını üzerinde önemli etkisi vardır.

Şek....'den de görüleceği gibi Egzoz supabı açılma avansının çok büyük olması halinde pozitif iş alanından önemli bir iş alanı kaybı meydana gelmektedir.Egzoz açılma avansını çok küçük yapmamız halinde de pozitif iş alanından önemli bir kayıp meydana gelir ,ayrıca ikinci periyotta atılması gereken egzoz gaz miktarı fazla olacağinden pistonun yapması gereken süpürme işide artar.

6 noktasında en uygun Eg.A.A.

4 noktası çok geç Eg.A.A.

7 noktası çok erken Eg.A.A.



Egzoz sistemin hidrodinamik basınç kaybı:

Egzoz sistemin hidrolik basınç kaybı, egzoz supabı kesit alanı direnci'nin yarattığı basınç kaybı $\Delta P_r'$, egzoz kanalı ve egzoz manifoldu direnci'nin etkisi ile oluşan basınç kaybı $\Delta P_r''$ ile egzoz borusu , katalitik konvektör ve susturucu gibi egzoz sistemi elemanlarının direnci'nin etkisi ile oluşan basınç kaybı $\Delta P_r'''$ toplamından oluşur.

$$\Delta P_r = \Delta P_r' + \Delta P_r'' + \Delta P_r''' \text{ (Pa)}$$

Egzoz supabı kesit alanındaki akış hızı u_r :

$$u_r = \varphi \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P_r'} \text{ (m/s)} \text{ hesaplanır, buradan } \Delta P_r' = \frac{\rho u_r^2}{2\varphi} \text{ (Pa) olarak bulunur.}$$

Burada; $\rho = \frac{P_r}{RT_r}$ (kg/m^3) olarak egzoz gazın özgül kütlesidir.

$\varphi = (0,60 - 0,80)$ basınç kayıp katsayısıdır.

$u_r = (40 - 100)$ m/s normal emişli motorlar için

$u_r = (80 - 120)$ m/s aşırı doldurmali motorlar için.

$$\Delta P_r'' \leq (0,015 - 0,020) \cdot 10^5 \text{ Pa mertebesinde olur,}$$

Egzoz borusu, susturucu ve katalitik konvektör gibi egzoz sistemi elemanlarının da dirençlerini dikkate aldığımızda toplam egzoz sistemi basınç kaybı;

$$\Delta P_r = (0,10 - 0,30) 10^5 \text{ Pa mertebesinde olur.}$$

Egzoz sistemin hidrodinamik basınç kaybı ΔP_r artması halinde, volometrik verim η_v düşer, art gaz katsayı γ , artar, bunların etkisi ile yanma verimi düşer ve sonuçta motor gücü düşer

ve yakıt sarfiyatı artar. Bu nedenle egzoz sistemin hidrodinamik basınç kaybı mümkün olduğu kadar düşük olacak ve akmakta olan egzoz gazın akış ataletini de azaltmayacak şekilde dizayın edilir. Bu durumda silindirde bir önceki çevrimden kalan egzoz gazı miktarı minimum olur.

Egzoz manifoldundaki gazın sıcaklığı:

Özellikle türboşarjlı motorlarda egzoz manifolttaki gaz sıcaklığının bilinmesi çok önemlidir. Egzoz gaz sıcaklığını hesaplayabilmek için aşağıdaki kabuller yaparız;

- Egzoz gaz akışı adyabatiktir. Gaz ve manifold cidarı arasında ısı transferi yoktur.
- Gazın manifoldtaki hızı sıfıra kadar düşmektedir.
- Egzoz gazlarının ortama atılması esnasında pistonun yaptığı iş L_p dır.

İsı balansı dikkate alduğumuzda manifolttta bulunan gazların iç enerjisi U_r , akış başlangıcındaki gazın iç enerjisi $U_{r,b}$ ile piston işi L_p toplamına eşit olur.

$U_r = U_{r,b} + L_p$ veya $mwc_p''T_r = mwc_v''T_4 + P_rV_4$, burada T_4 ve V_4 sırasıyla genişleme sonu basınç ve sıcaklığıdır.

$$\text{Gaz denklemini kullanarak : } V_4 = \frac{mT_4 \bar{R}}{P_4},$$

$$mwc_p''T_r = mwc_v''T_4 + P_r \frac{mT_4 \bar{R}}{P_4},$$

$$wc_p''T_r = T_4 (wc_v'' + P_r \frac{\bar{R}}{P_4}), \quad \frac{wc_p''}{wc_v''} = k'' \quad \text{ve} \quad \frac{\bar{R}}{wc_v''} = k'' - 1 \quad \text{olduğuna göre}$$

$$T_r = \frac{T_4}{k''} \left[1 + (k'' - 1) \frac{P_r}{P_4} \right] \quad \text{olarak bulunur,}$$

$$k'' = 1,32 - 1,35 \quad \text{olarak seçilir.}$$

Egzoz gazı ortalama sıcaklık değeri T_r , motor strok sayısına, motor çalışma rejimine, genişleme sonu sıcaklığı T_4 ve yanmanın devam edip etmemesine, hava fazlalık katsayısı λ , egzoz sistemindeki ısı transferi gibi faktörlere bağlıdır.

Motorlarda vuruntu

1-Otto motorlarında vuruntu

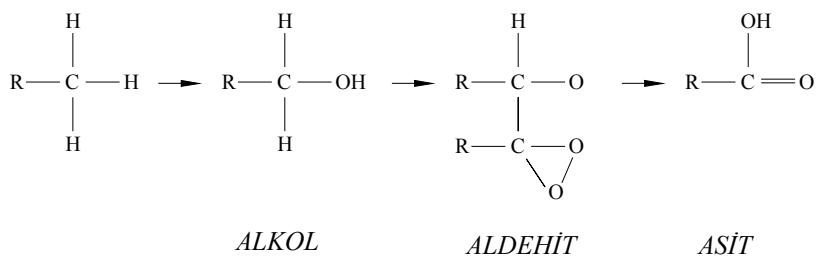
Bazı durumlarda yanma hızı normal değerinin çok üstünde olur. Genellikle art taze dolgunun böyle yüksek hızlı yanmaya karşı eğilimi daha fazladır. Yanma hızının çok yüksek olması sonucunda, ısının açığa çıkış hızında çok yüksek olur ve bunun sonucunda meydana gelen basınç artışı, pistonun genişleme yapması ile dengelenemez. Bu nedenle yüksek yanma hızlarında basınçta ve sıcaklıkta ani artışlar meydana gelir.

Yanma hızı normal seviyenin üzerine çıkmaya başlayınca önceleri zile benzeyen bir ses, yanma hızı dahada artınca çekiç darbesine benzeyen sese dönüşür. Bu durum vuruntu olarak adlandırılır. Vuruntu olayının çok karmaşık olması sonucu bu olayı tam olarak açıklamaya çalışan herkesin kabul ettiği bir teori henüz geliştirilmemiştir.

Ön reaksiyonlar teorisi(Peroksit teorisi): Yakıtın oksitlenmesi daha düşük basınç ve sıcaklıklarda mümkündür, fakat bu durumda yanma hızı çok düşük olur. Çünkü yanma hızı basıncın ve özellikle sıcaklığın fonksiyonudur. Taze dolgu içersinde buji çakmadan önce ve alev cephesinin önündeki yanmamış dolgu içersinde bir takım kimyasal zincir reaksiyonları meydana gelir. Genellikle stabil olmayan ara ürünler oluşur ki bunlarda genellikle peroksitlerdir. Bu olaya yakıtın kimyasal hazırlığı denir. Yakıtın kendi kendine tutuşması yalnız onun ısınma süresine bağlı değildir aynı zamanda onun ön reaksiyonlarının süresine de bağlıdır ki buda sıcaklığın ve basıncın bir fonksiyonudur. Bu nedenle ön reaksiyonların artması ile yakıtın kendi kendine tutuşması hızlanmaktadır. Motorun yanma odasının farklı bölgelerindeki ön reaksiyonların, yani ön hazırlıklar farklıdır. yanmamış dolgunun hazırlık süresi daha uzun ve daha yüksek basınç ve sıcaklıklarda olur.

Alevin yayılması esnasında, alevden basınç dalgaları yayılır ve bu dalgalar sıkıştırmanın artmasına neden olur. Eğer yanmamış dolguda yeterli ön reaksiyonlar olmuş ise basınç dalgasının geçmesi esnasında o bölgenin basınç ve sıcaklıklarında meydana gelecek çok küçük artışlar basınç dalgası içersinde ani olarak kendi kendine yanma meydana gelir. Bu şekilde çok yüksek hızla yayılan yeni bir basınç dalgası oluşur ve yanmamış dolgunun içinde yayılarak bu dolgunun yakılmasını sağlar. Bu basınç dalgasının içersindeki gazların sıcaklığı 3000-4000 K mertebesindedir. görüldüğü gibi yanmamış dolgu alev cephesi yerine bu basınç dalgası tarafından tutuşturulmaktadır. alev cephesi gelmeden önce bu dolgu tutusmaktadır.

Meydana gelen basınç dalgası ile reflagasyon dalgaları silindir cidarına çarparak vuruntu dediğimiz sesin doğmasına neden olmaktadır. Aynı sese gazın titreşimide dahil edilebilir.



Yakıt bir hidrokarbondur ve ilk oksidasyon ürünü alkoldür. Daha sonra aldehit oluşur ve bu aldehitteki oksijen basıncın ve sıcaklığın etkisi ile peroksite dönüşür. Peroksit çok dengesizdir, aldığı oksijeni hemen kaybeder, hidrokarbon molekülüne verir ve alkole dönüşmesini hızlandırır. Bu nedenle peroksite oksijen pompası denir. Bu olaylar zincir reaksiyon şeklinde devam eder. Bu zincir reaksiyonu kurşun durdurabilir, zincir kopar ve vuruntu meydana gelmez.

Vuruntu kendi kendine yanma olması :

Birçok bilim adamı vuruntuyu kendi kendine yanma olarak tarif etmişlerdir. Bunlara göre yanma başlamakta ve bu yanma alev cephesi halinde yayılmaktadır. Yanan kısımlarda basınç yükselmekte ve bu basınç sonucunda henüz yanmamış olan taze dolgu sıkıştırılmakta ve sıcaklığı yükselmektedir. Eğer bu sıcaklık kendi kendine tutuşma sıcaklığı T_z 'nin üstüne çıkarsa o bölgede alev çekirdeği oluşur. Art taze dolgu tam homojen olmadığından her tarafta aynı anda tutuşma başlamayabilir. Art taze dolgunun hangi bölgesinde sıcaklık T_z 'nin üzerine çıkarsa o bölgede tutuşma başlayacaktır. karışım çok kısa sürede yanarak ani basınç yükselmesine neden olur. Vuruntu bu şekilde bir kendi kendine yanma yani buji çakması ile meydana gelen primer yanmadan tamamen bağımsız meydana gelişini ilk olarak Rassweiler Withrow yapmış oldukları pencere deneyleri ile kanıtlamayı başarmışlardır. Vuruntu esnasında yanma hızı 300 m/s civarında olur.

Vuruntu bir detonasyon olması :

Bazı motor araştırmacıları özellikle fransızlar benzin motorlarında vuruntunun klasik bir detonasyon olduğunu savunurlar.

Klasik detonasyon: Bir tarafı açık uzunca bir boruda bulunan karışımı açık taraftan tutturarak alev boru içinde belirli bir hızda ilerlemeye başlar. yanma sonucunda meydana gelen gazlar açık tarafa akarlar. Yanan gazların hacmi evvelkinden çok daha büyük olduğundan bu gazların akış hızı alevin ilerleme hızından çok daha büyktür. Çıkan gazların hızı yüksek bir değer

alınca içerde büyük bir basınç dalgası doğar. Bu basınç dalgası ses hızı ile boruda yayılır ve ulaştığı yerdeki gazı kendi kendine tutuşma sıcaklığının üstüne çıkaracak şekilde sıkıştırır ve orayı tutuşturur. Yani yanma basınç dalgasına akuple olabilir. Bu durumda yanma ses hızı ile ilerler. Bu olaya detonasyon denir. Detonasyonda yanma hızı 2000 m/s kadardır.

Bu teoriyi motor şartlarına uygulanmayacağı bazı hususlardan bellidir.

- 1- Kurşun vuruntuyu önlediği halde detonasyonu önleyememektedir.
- 2- vuruntu anında yanma hızı 200-300 m/s detonasyonda 2000 m/s civarındadır.
- 3- Peroksitlerin detonasyona etkisi yoktur fakat vuruntuya önemli etkileri vardır.

Vuruntunun mahsurları

Vuruntu esnasında yanma çok ani hemen hemen sabit hacimde olmaktadır. bu yüzden silindir içersinde çok yüksek basınç bölgeleri doğmaktadır. bu basınç diğer bölgelerdeki alçak basınçla denge haline gelir ve bu esnada kuvvetli gaz titreşimleri doğar. Bu titreşimler ve basınç dalgalarının malzemeye titreşim vererek meydana getirdiği ses vuruntu esnasında duyulan sesi doğurur.

- 1- Vuruntu termik zorlanmaları arttırmır.

Silindir ve yanma odası çeperlerine olan ısı iletimi artar ve motor ömrünün kısalmasına neden olur.

- 2- Vuruntu mekanik zorlanmaları arttırmır.

Vuruntu esnasında meydana gelen basınç bütün elemanlara dağılır ve dolayısı ile mekanik zorlanmalara ve malzeme yorulmalarına neden olur ve motorun ömrü kısalır.

- 3- Vuruntu özgül yakıt harcamını arttırmır.

Yanma odası çeperlerine olan ısı iletiminin artması, gazın enerjisinin büyük kısmının soğutmaya harcanması demektir. Bu da verimi düşürür ve yakıt harcamısında arttırmır.

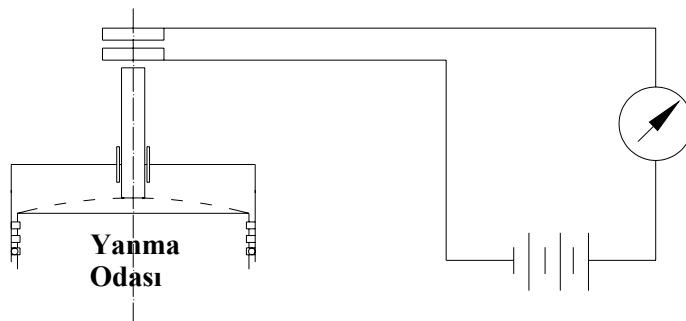
- 4- Vuruntunun kendi kendini arttırcı özelliği

İlk vuruntu meydana gelince çeper sıcaklıklarını bir miktar ikinciye biraz daha fazla ve müteakiben daha da fazla yükselir. Yüksek çeper sıcaklıklarını art karışımın hazırlanma zamanını kısaltır, yani kendi kendine tutuşmayı kolaylaştırır. Mekanik ve termik zorlanmalar çok daha fazla artar.

Vuruntu ölçme metotları

Motorlarda vuruntu başlangıcını saptamak çok önemlidir bunun için muhtelif metotlar vardır.

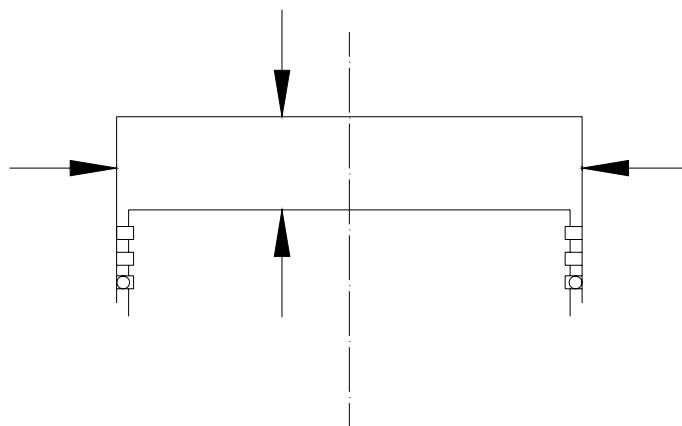
1- Sıçrayan iğne metodu



En çok kullanılan ve pratikte yaygın olan sıçrayan iğne indikatöridür. Vuruntu esnasında basınç ani olarak artar. Bu ani basınç artışı vuruntunun başlangıcını saptamak için kullanılır. Bu metodda yanma odası cidarına ince madeni(çelik) bir membran konulmuştur. Çelik membran kalınlığı o şekilde seçilmiştir ki normal çalışma basınçlarında eğilme olmasın. Bu membranın üzerinde dikay olarak yataklanmış bir iğne ve üst tarafa (membranın eğilmesi sonucunda) hareket eder(sıçrar) ve elektrik devresini kapayarak akım geçmesini sağlar. İğne ne kadar kuvvetli sıçrasa o kadar yukarıda kalır ve o nispetle devre fazla kapalı kalır, akım geçer. Geçen akım ölçülerek vurunu ölçülmüş olur. Bu metodun hataları çok olmakla beraber pratikte en çok kullanılan metottur. Son yıllarda elektronik ölçü metodu kullanılmaktadır. membran eğilince manyetik alan değişir ve ölçüm uçlarından akım değişimi gözlemlenir.

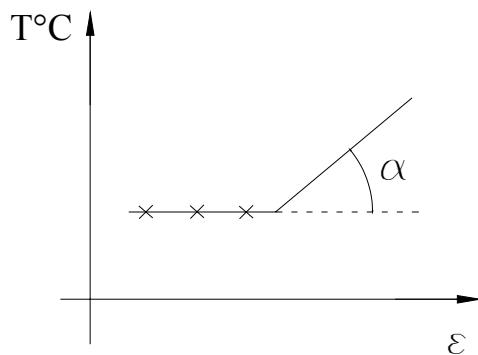
2- Sıcaklık ölçme metodu

Termoeleman



Vuruntu başlangıcının ve şiddetinin saptanması için gidilecek bir yol çeper sıcaklığının ölçülmesidir. Vuruntu meydana gelince vuku bulan basınç ve sıcaklık artışını ölçme prensibine dayanır. Vuruntu esnasında silindir içersinden çeperlere olan ısı iletimi artar. Bu ısı iletimi artması

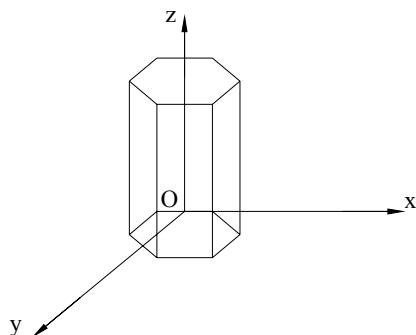
ile çeper sıcaklığı fazlalaşır. Çeper sıcaklığı termo elemanlarla ölçüülerek vuruntu başlangıcı ve şiddeti saptanır.



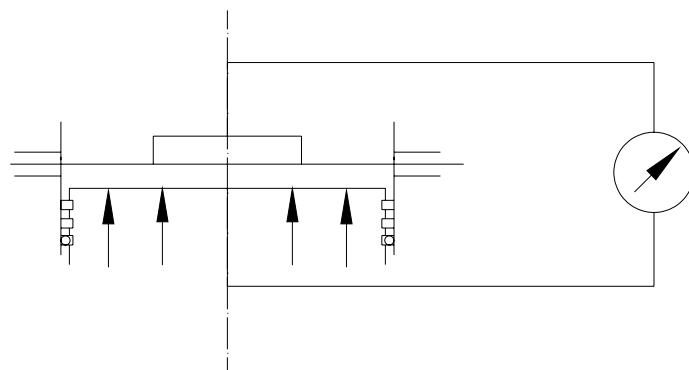
Motorda örneğin sıkıştırma oranı arttırılırsa şu şekilde bir eğri elde edilir. **ŞEKİL**

Yukarıdaki eğride vuruntu başlangıcından sonraki kısmın eğimi vuruntu için bir ölçü alınabilir. Bu metod çeperlerden geçen ısı dalgalarının geçme ve kalma sürelerinden dolayı hassas sonuç vermeyebilir.

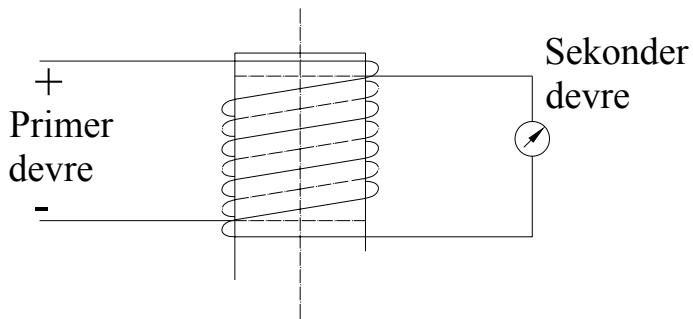
3- Piezo elektrik metodu



Kuvartz kristali 'z' ekseni doğrultusunda sıkıştırılırsa elektrik üretir. Kristalin X-Y düzlemine paralel tabakalarına membran yerleştiriliyor. Kuvartz kristalinin kalınlığı normal çalışmada akım geçirmeyecek şekilde seçilir. Bańçta anormal artış olunca devreden akım geçer yani vuruntu olur.

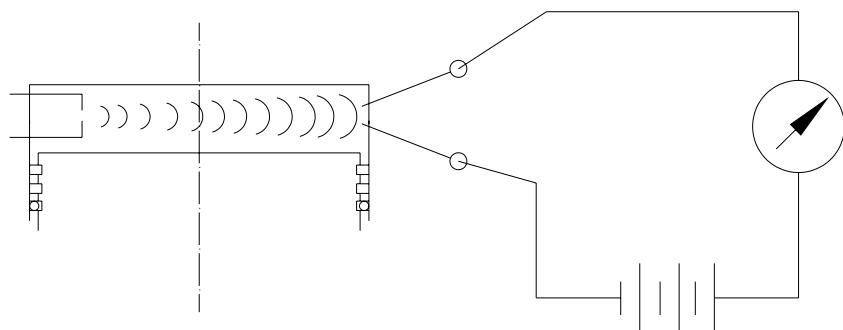


4- Manyetik metot



Primer sargıdan bir doğru akım geçirilirse, sekonder sargıdan akım alınamaz. Metale bir sıcaklık tatbik edilirse manyetik alanın şekli değişir ve sekonder sargıda bir akım doğar. Bu akım her iş periyodunda sıcaklık yükselmesine (Manyetik alan değişimine) bağlı olarak artar veya azalır. Akım bir amplifikatörden geçirilerek yükseltilir. Normal çalışmada göstergə sıfıra ayarlanır. Vurunu olunca ani sıcaklık değişiminden kaynaklanan bir akım geçer ve göstergə belirli bir sapma olur.

5- Yanma hızının ölçülmesi metodu

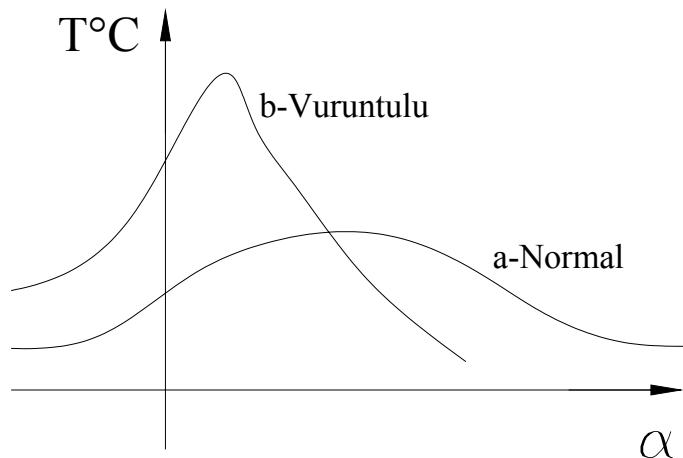


Yanma odasında iki elektrot bulunur elektrottan normal şartlarda akım geçmez. Gazlar sıcaklık etkisi ile ionize olduktan sonra akım geçer. Bujide kıvılcım çakma anı saptanır ve elektrottan akım geçme anı saptanır. Uzaklık bilindiği için yanma hızı hesap edilir. Normal $V_y=25-30$ m/s vuruntuda ise 300 m/s mertebesindedir.

6- Akustik metodlar

Vurunu ölçülmesinde ilk kullanılan yol vurunu başlangıcının kulakla tespit edilmesidir. Fakat burada insan faktörü önem taşır ve insandan insana değişecektir. Bu sebeple vuruntuyu tespit için elektro akustik metodlar kullanılmaktadır. Bu metodun en iyi taraflarından biri motorda değişiklik yapmaya gerek yoktur. Aynı zamanda yalnız tek silindirde değil çok silindirde de ölçüme yapılabilmektedir.

7- Yanma odası sıcaklığı



Vurunun başlangıcını sağlamak için yanma odası ortalama sıcaklığı da ölçülebilir. Bu egriden görüldüğü gibi vuruntu esnasında egzoz gazı sıcaklığı düşer.

Vurunuya etki eden faktörler

- 1- Konstrüktif faktörler (Motorun yapısında olan faktörler)
- 2- İşletme faktörleri (Motor çalışırken ayarlanabilen faktörler)
- 3- Yakıt faktörü

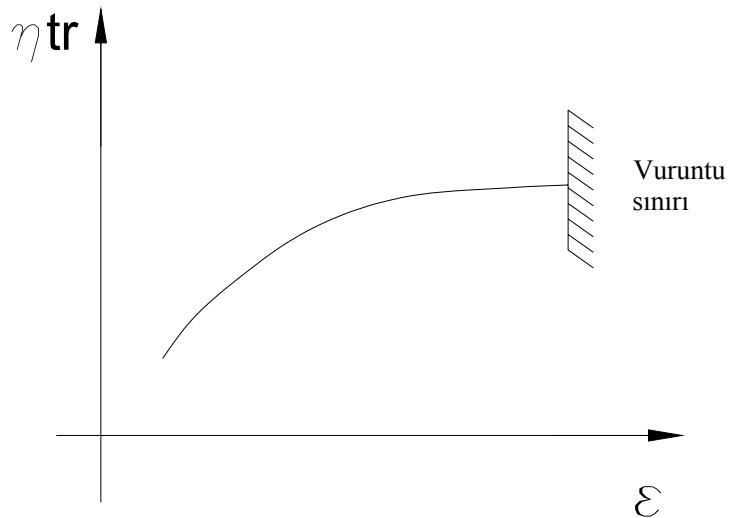
1-Konstrüktif faktörler

- a- Sıkıştırma oranı ε

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1} \text{ Sıkıştırma sonu sıcaklığı}$$

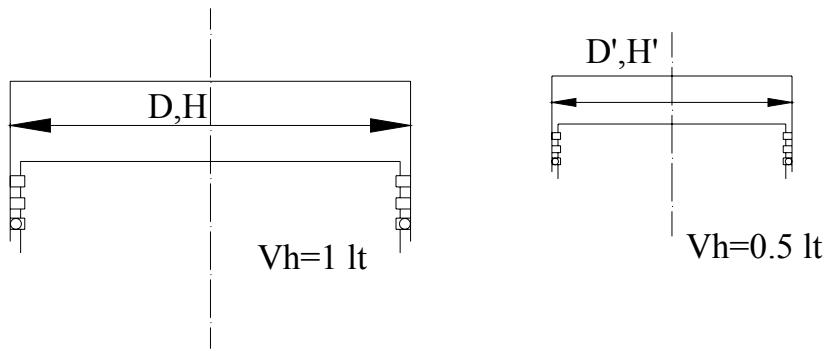
Sıkıştırma sonu sıcaklığı ε 'un artması ile T_2 'de artacaktır ve T_2 artınca art karışım kendi kendine tutuşma sıcaklığına yaklaşacaktır. Bundan dolayı sıkıştırma oranı vuruntu olmaması için sınırlanır. Normal şartlarda $\varepsilon=8-9$ Performans motorlarında $\varepsilon=12$.

Motorların sıkıştırma oranının değişmesine meydan vermemek için karbon birikmesine meydan vermemek gereklidir. Karbon temelleri aynı zamanda kızgın noktalar oluşturur ve kendi kendine tutuşmayı hızlandırır.



b- Motor büyüklüğü ve soğutma

Motorun strok hacmi küçüldükçe hacme göre soğutma yüzeyi büyür. Soğutma daha iyi olduğundan ön reaksiyonlar azalır. (Vantilatör motorda iyi bir soğutma sağlayacak şekilde hava vermelii)



$$D = 100 \text{ mm}$$

$$H = 100 \text{ mm}$$

$$D = 2D'$$

$$\frac{V}{S} = \frac{\pi D^2 \cdot H}{\pi D \cdot H} = \frac{D}{4} = 100 / 4 = 25$$

$$S = \frac{4V}{D}$$

$$S = \frac{V}{25}$$

$$\frac{V'}{S'} = \frac{\frac{\pi D'^2}{4} \cdot H'}{\pi D' \cdot H'} = \frac{D'}{4} = 50 / 4 = 12,5$$

$$D' = \frac{D}{2}$$

$$\frac{V'}{S'} = \frac{D}{8}$$

$$S' = \frac{8V'}{D}$$

$$S' = \frac{V'}{12,5}$$

Yukarıdaki örnekte görüldüğü gibi soğutma yüzeyi küçük motorda hacme nazaran iki misli artmış durumdadır. Sonuç; büyük motorlar vuruntuya daha müsaittir. küçük motorlarda sıkıştırma oranı biraz daha büyük seçilebilir.

3- Supapların Süper Pozisyonu

Kam mili konstrüksiyonu ile ilgilidir. Supap bindirmesi kam milindeki kamların birbirine olan konumları ile ilgilidir. Supap bindirmesi iki supabın açık kalma halidir. Bu süre uzarsa vuruntu azalır. Çünkü egzoz gazları emme havası tarafından çok iyi bir şekilde süpürülür. Art egzoz gazı azalınca karışım sıcaklığı düşer. Çeplerlerle de ısı alış verisi olur; onların da sıcaklığı düşer. Bunlara bağlı olarak sıkıştırma sonu sıcaklıklarını düşer ve vuruntu olasılığı azalır. Bu nedenle ε si yüksek olan motorlarda vuruntuyu sınırlı tutmak için supap bindirmesi 60°KMA ya kadar yükseltilir. Normalde ise $30\text{-}40^{\circ}\text{KMA}$ arasındadır.

4 Yanma Odasının Şekli

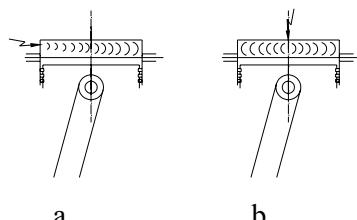
Yanma odasının şemlinin vuruntuya etkisi büyktür. Vurunu bujiye en uzak bölgeden başlar. Vuruntuyu minimumda tutmak için yanma odası konstrüksiyonunda göz önünde bulundurulması gereken hususlar:

-Alev cephesinin katetmesi gereken yol mümkün olduğu kadar kısa olmalı. Bu durumda yanmamış taze dolgu ile buji arasındaki mesafe kısalır ve bunun iki önemli yararı vardır.

1- Motor devir sayısı artırılabilir ve buna bağlı olarak motor gücüde artacaktır.

2- Buji tarafından başlatılmış olan yanma , kısa sürede yanmamış taze dolguyu yanmaya sokar, ve yanmamış taze dolgunun kimyasal hazırlığı tamamlanmadığı için vurunu meydana gelmez.

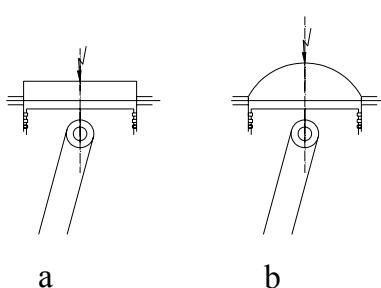
Alev cephesinin katetmesi gereken yolu kısaltmak için buji mümkün olduğu kadar merkeze yakın yerleştirilmelidir. Ayrıca benzer geometrik şekildeki iki yanma odasından, silindir çapı daha küçük olanda alev cephesinin katetmesi gereken yol daha kısa olur ve vurunu olasılığı daha düşüktür. Küçük silindir çaplı motorun sıkıştırma oranı daha yüksek seçilebilir.



(a)'da art karışımın hazırlanma süresi b ye göre iki misli fazladır.

(b)'deki hazırlanma süresi kısa dolayısıyla vurunu olasılığı daha azdır.

- Yanma odasında hava hareketlerinden uzak bölgeler olmamalı;



Köşelerde yanmamış dolgu cepleri teşekkürül eder. Hava hareketleri bu ceplerde olmadığı için vurunu olasılığı fazladır.

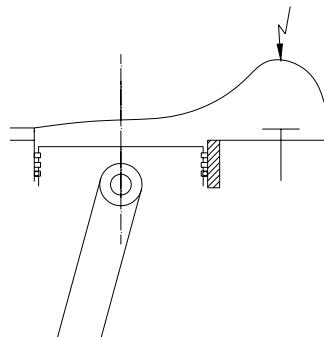
Küresel şekilli yanma odasında gaz cepleri teşekkürül etmeyecek daha mükemmel bir yanma olacak ve vurunu bakımından daha az tehlikeli bir konstrüksiyon oluşturulmuş olacaktır.

- Yanma odasında yeterli miktarda türbülans oluşacak şekilde dizayn yapılmalı;

Türbülansın yüksek olması halinde primer alev yanma hızı artar ve vurunu oluşmadan dolgunun

tamamı yanmaya katılır. Ancak türbülansın gereğinden yüksek olması halinde, gazdan cidara doğru olan ısı transferin artması sonucu güç kaybı ve yakıt sarfiyatı artar. Bu durumda yanma hızın aşırı yükselmesi sonucunda motor gürültüsünde de artış meydana gelir.

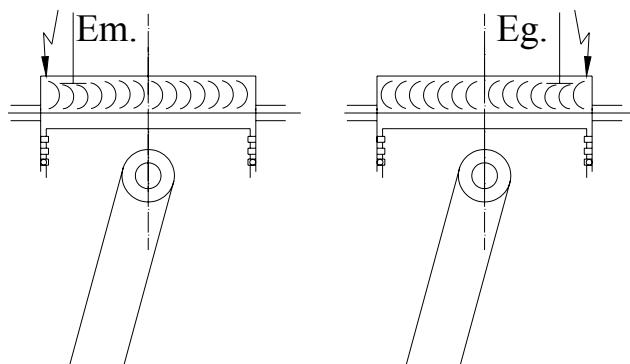
- Henüz yanmamış taze dolgu mümkün olduğu kadar yanma odasının daha soğuk bölgelerinde bulunmalı.



C

Bu şartı yerine getirebilmek için yukarıdaki şekildeki gibi bir yanma oadası dizayın yapılabilir. Bu tip yanma odalarında sıkıştırma strokunda yanma odasına doğru bir hava hareketi başlar. Sıkıştırma stroku sonunda bujiye en uzak bölgede çok ince bir tabaka kalır. Soğuma yüzeyi fazla olması nedeni ile bu bölgedeki sıcaklık düşük olur ve bu nedenle bu bölgede vuruntu olasılığı yoktur.

Bu koşulu yerine getirmek amacıyla bujiler mümkün olduğu kadar egzoz supabına yakın olmalıdır.

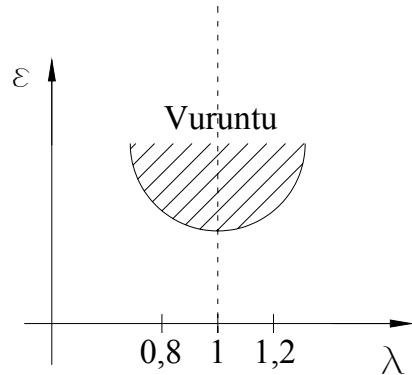


Egzoz supabı çok sıcaktır. Bujiyi emme supabına yakın yerleştirirsek egzoz supabı alev cephesi ile temas etmemiş art karışım ile temas eder ve ısı vererek sıcaklığının artmasına neden olur. Emme supabı daima soğuk olduğundan($180-190^{\circ}\text{C}$) gazı fazla ısıtmaz. Bujiyi egzoz supabına yakın yerleştirmemiz vuruntu riskini azaltır.

II İŞLETME FAKTÖRLERİ

1 Karışım Oranı

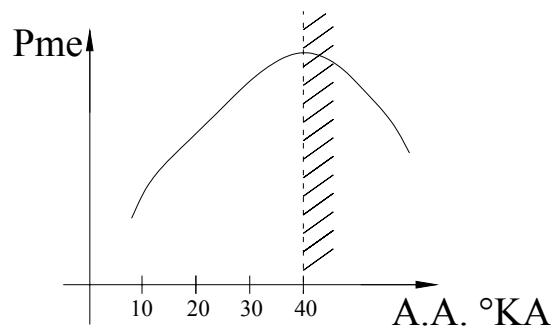
$\lambda > 1$ ise içeri giren fazla hava art karışımı soğutucu etki yapar. $\lambda < 1$ ise içeri giren fazla yakıt silindirden buharlaşma ısısı çeker art karışımının soğumasını sağlar. $\lambda = 1$ civarında ön reaksiyon maksimumdur ve vuruntu ihtimali azami seviyededir.



Karbüratörü iyi ayarlanmalı ve avansla intibak etmelidir. Fakir karışımında yanma hızı düşüktür bu nedenle yanma genişleme stroku boyunca devam edebilir ve egzoz gazları silindiri terk ederek egzoz supabı etrafında kızgın noktalar oluşturur.

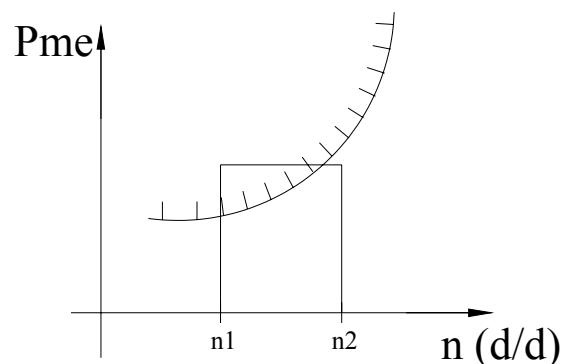
Emme basıncı artınca sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklıkları artar ve vuruntu ihtimali yükselir. Motor yüksek irtifada daha az vuruntu yapar.

2 Ateşleme Avansı



Ateşleme avansı artınca P_{max} ÜÖN civarına yaklaşır. Belirli bir ateşleme avansından sonra vuruntu başlar. AA arttıkça vuruntu şiddetlenir ve güç düşmesine neden olur.

3 Devir Sayısı



Motor devri arttıkça vuruntu azalır. Devir sayısı arttıkça yanma odasında türbülans artar. Yanma hızı yükselir. Fakat türbülanstan dolayı soğuma da artar. Karışım hazırlanma zamanını

doldurmadan alev cephesi ile temas eder ve vuruntu ihtimali azalır. Devir sayısının artması volümetrik verimin düşmesine ve bütün basınç ve sıcaklıkların azalmasına dolayısıyla ön reaksiyonların azalmasına neden olur.

Taşit sabit bir güçte düz bir yolda giderken aynı güçte yokuşta dirençlerin artması sonucu , motor devri n1'e doğru düşmeye başlar ve vuruntu bölgесine girer. Vuruntu sesi duyulur duyulmaz bir küçük vitese geçilmeli. Küçük vitese geçmenin sonucunda motor vurunu bölgесinden çıkar ve tahrif tekerleklerdeki moment artar. Vurunu olmadıkça en yüksek viteste seyretmek en yüksek verimle çalışmayı mümkün kılar.

Motoru aşırı derecede yüklemek, devamlı tam gazda çalışırmak motorun çok fazla ısınmasına ve dolayısıyla yanma odasında kızgın noktalar oluşmasına neden olur.

III YAKIT FAKTÖRÜ

Vuruntuya en önemli etkiyi yakıt yapar. Yakıtların vuruntuya direnci aynı degerde değildir. Bilindiği üzere yakıtlar bir hidrokarbon karışımıdır. Bünyesinde değişik özellikte HC lar ihtiva eder.

Hidro karbonları vuruntuya eğilimi olmalarına göre sıralarsak;

1. n-parafinler C_nH_{2n+2}
2. naftenler C_nH_{2n}
3. izo-parafinler C_nH_{n+2}
4. aromatlar C_nH_n

Bir yakıtın içinde ne kadar n parafin yüzdesi fazla ise vuruntuya eğilimi o oranda fazladır. Otto motorları yakıtların vuruntuya direnci oktan sayısı ile belirtilir. Oktan sayısı ne kadar yüksekse vuruntuya o oranda dirençlidir.

Motorda kullanılacak yakıt ε ile belirlenmiştir ve imalatçı firmanın tavsiye ettiği değerden daha oktanlı benzin kullanmak lüzumsuzdur. Hem pahalı hem de kendi kendine tutuşabilir birikinti yapabilir.

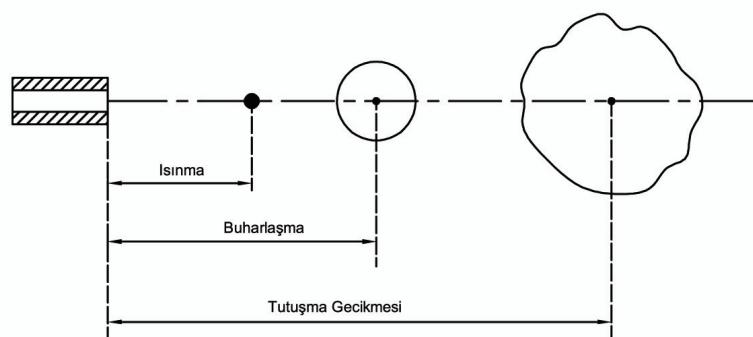
DİESEL MOTORLARINDA VURUNTU

- Diesel motorlarında tutuşma ve yanma;

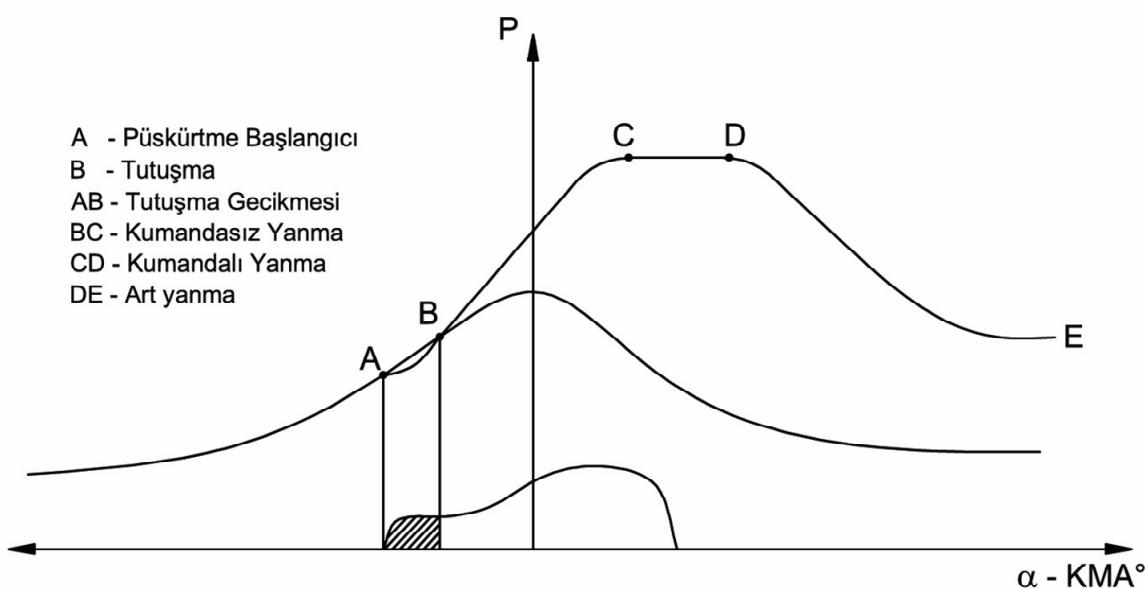
Ricardo'ya göre Diesel motorlarında yanma dört kademede tamamlanır.

- 1- Tutuşma gecikmesi
- 2- Alevin yayılması (Kontrolsüz Yanma)
- 3- Kumandalı (Kontrollü) Yanma
- 4- Art yanma ve genişleme

Bu kademelerden ilki iyi bir indikatör diyagramından nispeten hassas olarak saptanabilir, diğerleri birbirlerine karıştırılmıştır ve hassas saptanamazlar. Püskürme başlayınca sıkıştırılmış ve sıcaklığı yükselmiş olan havanın içerisinde giren yakıt, damlacıklardan oluşan bir sis halindedir.



Yakıt enjektörden çıktıktan sonra yanma odası içinde bir takım fizikal ve kimyasal değişikliklere uğrayarak tutuşmaya hazırlanır. Damlacık ilerlerken önce ısınır, sonra buharlaşır ve kendi kendine tutuşma sıcaklığına ulaşır. İlk alev nispeten geç oluşur. Püskürme başlangıcından ilk alevin oluşmasına kadar geçen süreye TUTUŞMA GECİKMESİ denir.



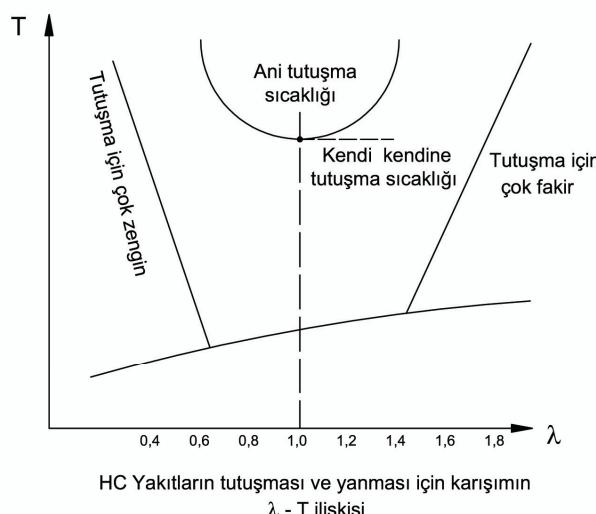
Tutuşma gecikmesinin başka tarifi ise, püskürme başlangıcı ile indikatör diyagramında basıncın yükseldiği an arasındaki zaman olarak tanımlanır. Gerçekte ilk tutuşma zayıftır, birkaç noktada olur ve hemen yayılacak hız ve şiddette değildir. Bu nedenle bu esnada basınç artmayabilir, hatta buharlaşmakta olan yakıtın buharlaşma ısısı çekmesi nedeni ile düşebilir. Demek ki gerçekteki tutuşma gecikmesi indikatör diyagramında görülen daha kısalıdır.

Diesel motorlarında yanma:

-Tutuşma:

Dizel motorlarında yakıtın kendi kendimne tutuşma püskürtmeden sonra 0.0002 -0,002 saniye sonra meydana gelir.Bu süreye tutuşma gecikmesi süresi denir.Tutuşma gecikmesi süresinin oluşmasının nedeni:

- Yakıt yanma odasının içlerine doğru hareket etmek (dağılmak) zorundadır
- Yaklaşık oalrak stokiyometrik orana yakın hava ile karışım oluşturmak zorundadır.
- Karışım yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığına kadar ısınmalı.
- Bu sürede ani yanmayı tetikleyecek bazı dengesiz ara ürünlerin oluşması gereklidir.



-Ön Karışıklı Yanma:

Püskürtme esnasında yakıtın enjektörden çıkış hızı yaklaşık olarak 150-500 m/s mertebesindedir. Atomize olan yakıt damalarının yanma odası içerisinde (oda büyülüğüne göre) 0,04 – 0,2 ms olmakta.buharlaşmakta olan damlacıkların bu süresi biraz daha uzun olur.Tutuşma gecikmesi esnasında püskürtülen yakıtın büyük bir kısmı ilk giren damlacıklar ani olarak tutuşurken ,hava ile karışmaktadır.ve ani olarak yanar.Böylece tutuşma gecikmesi esnasında giren yakıtın tamamına yakını ön karışıklı yanma periyodunda yanar ve bunun sonucunda büyük mikardaki ısı ani olarak açığa çıkmakta ve basıncı ani olarak artar buda dizel motorundan gelen sesin kaynağıdır.

-Kontrolsüz yanma:

Yanma olayının ikinci fazıdır.Tutuşma başlangıcından basıncın maksimum değere ulaşmasına kadar geçen süreye kontrollsüz yanma denir.

Bu fazda,önce tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire giren yakıtın aniden yanması nedeniyle yanma odası basıncı çok hızlı artar .Bu fazdaki yanma olayı hızlı yanma olarak tanımlanır.ve patlamalı yanma karakterindedir.Yanma olayının ilk ve hazırlayıcı fazının oluşturur.Bu fazdaki basınç artış hızı ,motorun yumuşak veya sert çalışmasını belirtir.

TG’nden sonra silindire giren yakıtın karşılaştığı koşullar çok farklıdır.Ortam basıncı ve sıcaklığı kritik değerin üzerinde olduğu için ,yakıt bu yüksek ısı karşısında ani olarak buharlaşır.Yanma odasındaki sıcaklık çok yüksek olması nedeni ile,hava yeterli olmaması halinde yakıt eritebilecek seviyedendir.Özellikle demet eksenine yakın bölgelerde bu meydana gelmektedir.

Tutuşma gecikmesinin mümkün olduğu kadar kısa olması istenir.Tutuşma gecikmesi süresince silindir içeresine giren yakıt miktarı , sabit hacimde yanma oluyormuş gibi birden yanar.Bu

yanmaya dışarıdan müdahale edilemez.Bu durumda tutuşma gecikmesi ne kadar uzun ise o kadar fazla yakıt içeri girer ve ani olarak yanın kısım o oranda fazla olur ve basınç ani olarak artar yani $dp/d\alpha$ hızlı bir şekilde artar.

Meydana gelen ani basınç artışı sonucunda, başta yanma odası olmak üzere tüm motor elemanları oluşan bu dik yöndeki kuvvetle zorlanarak mekanik rezonans oluşmasına ve motorun titremesine neden olur.Titreşen motor yüzeyinden gelen akustik radyasyon sonucu dizel yanmasının karakteristik sesinin duyulmasına neden olur.Dizel motorlarındaki vuruntu tamamen mekanik bir olaydır.Bu olaya yatak kapanma sesini de dahil edebiliriz.Bu sesin oluşmasında en önemli etkiyi basınç artma hızı ($dp/d\alpha$) yapar.

$dp/d\alpha$ - $(2-3).10^5$ (Pa/KMA°) Normal değer

$dp/d\alpha$ - $(4-5).10^5$ (Pa/KMA°) Fazla sert çalışıyor

$dp/d\alpha$ - 10.10^5 (Pa/KMA°) den fazla olmamalı

$dp/d\alpha$ artarsa motor sert çalışmaya başlar.Bu esnada duyulan sese diesel vuruntusu (yatak kapama) sesi denir.Bu yüzden tutuşma gecikmesi mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır.

-Kumandalı Yanma(Difüzyonlu Yanma) veya Alevin yayılması:

Yanma sürecinin hızlı yanma fazından sonra üçüncü faz yavaş yanma fazıdır.Bu faz kumandalı yanma fazı olarak tanımlanır.Bu sürede basınç değişimi önemsizdir.Yanmanın hızı yakıt buharı ile havanın karışım hızına bağlıdır.Uçüncü fazın süresince piston hareketiyle yanma odasının ortalama sıcaklığı da maksimum değere ulaşır.Maksimum basınçtan sonra gerçekleşir.

-Art Yanma:

Yanma sürecinin maksimum sıcaklığından sonra meydana gelir.Ancak çok zengin karışımında eksik yanmış yanma ürünleri art yanmada yanarlar.Art Yanma genişleme sürecinin önemli bir kısmıdır.Bu faz üst ölü noktadan sonra 70-80 KMA kadar devam eder.

Tutuşma gecikmesini hesaplayabilmek için formüller:

Hardenberg ve Hase'in geliştirdikleri formül TG – KMA° derece olarak bulunur.

$$TG = (0,36 + 0,22 \cdot c_m) \exp(E_A \left(\frac{1}{R \cdot T} - \frac{1}{17,190} \right) \left(\frac{21,2}{p - 12,4} \right)^{0,63})$$

c_m : H.n/30 (m/s) piston ortalama hızı

E_A : $\frac{618,840}{CN+25}$ (Joule/mol) olarak görünür aktivasyon enerjisi

CN : Yakıtın setan sayısı ,yakıtın setan sayısı arttıkça görünürlük aktivasyon enerjisi azalır.

R : 8,3143 (Joule/mol K°) olarak universal gaz sabiti

T : (K°) olarak ve P (bar) olarak püskürtme anındaki silindir içerisindeki sıcaklık ve basınçtır.

$$TG (\text{ms}) = \frac{TG(\text{KMA}^\circ)}{0,006 \cdot n}$$

Wolfer formülü:

$$T.G. = \frac{0,44e^{\left(\frac{4650}{T}\right)}}{P^{1,19}} \text{ (ms)}$$

T=K, P=atm

Tutuşma gecikmesine etki eden faktörler:

Tutuşma gecikmesi fiziksel ve kimyasal hazırlıkların tamamlanabilmesi için gerekli süredir.

$$T.G. = T_{fiz} + T_{kim}$$

$$T_{kim} = T_1 + T_2 + T_3$$

T_{fiz} = fiziksel tutuşma gecikmesi. Bu süre yakıt demetinin parçalanması, damlacıklara ayrılması ve bunların buharlaşması için gereken süredir. Genellikle 0,5-1 ms civarındadır.

T_1 : Kimyasal reaksiyonların başladığı andan itibaren soğuk alevin oluşmasına kadar geçen süredir.

Bu evrede moleküllerin parçalanması sebebiyle aktif merkezler meydana gelir.

T_2 : Mavi alev için geçen süredir.

T_3 : Patlama alevi.

Mavi alev ile patlama alevinin birbirinden ayrılması genellikle olağan dışı olduğundan beraberce kabul edilir.

Tutuşma gecikmesine etki eden faktörleri saptamak için iki deney yapılır:

1- Bomba'da

2- Motor'da

Motorda yapılan deneyler amaca daha uygundur fakat etki eden faktörlerin çok olması nedeniyle dolayı tüm faktörlerin etkisini aramak çok zordur.

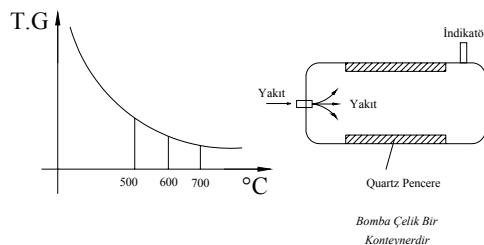
Bomba deneyinde ise bu faktörler ayrı ayrı tetkik edilebilir. Motor ile bomba deneyleri üç noktada ayrırlırlar.

1- Motorda piston hareketi nedeniyle sıcaklık değişir.

2- Pistonun hareketi yanma odası içersinde belirli bir türbilans yaratır.

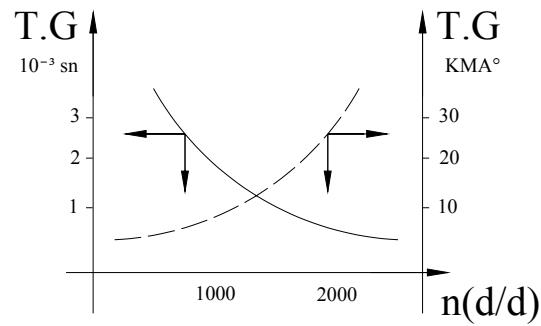
3- Silindir içindeki gaz hareketleri nedeniyle çeperlerle gaz arasındaki ısı iletimi değişkendir.

Püskürtmenin yapıldığı ortamın sıcaklığının etkisi



Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar ışığında görülmüştür ki sıcaklık artınca T.G. süresi kısalmaktadır, fakat sıcaklık arttıkça T.G. azalma hızı yavaşlamaktadır.

Motor devir sayısının etkisi



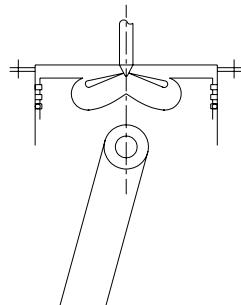
Dönme sayısı arttıkça T.G. krank açısı cinsinden artmakta fakat saniye cinsinden azalmaktadır. Motorlarda önemli olan derece krank açısı olduğundan yüksek devirlerde motor sert çalışır. Devir sayısı artınca yanma koşulları iyileşmekte fakat yanma olayı için ayrılan süre azalmaktadır. Yanmanın tamamlanabilmesi için avans arttırılır.

Hava hareketlerinin etkisi

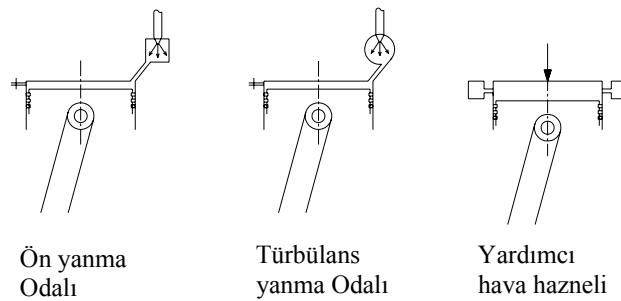
Motorlarda hava hareketleri yanma odası tipleri ile ilgilidir.

Yanma odası tipleri

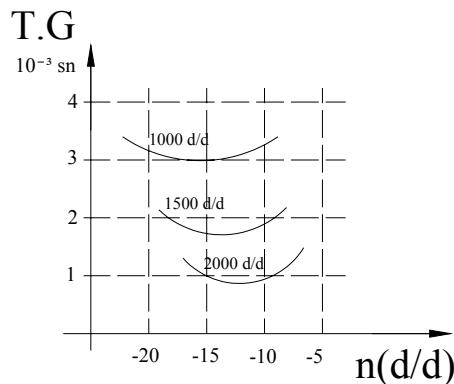
1- Direkt püskürtmeli



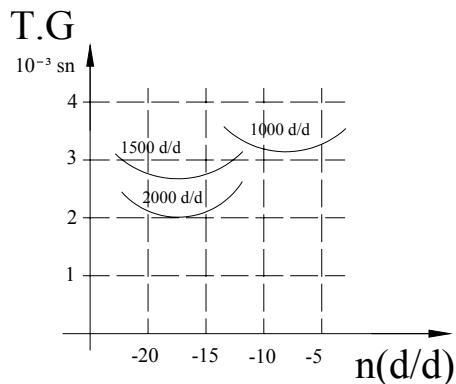
2- Bölünmüş yanma odası



Her türlü özellikleri eşit olan iki motoru ele alalım. biri ön yanma odalı diğerinin direkt püskürtmeli olsun yapılan deneyler aşağıdaki grafikleri sonuçlamıştır.



Ön yanma odalı

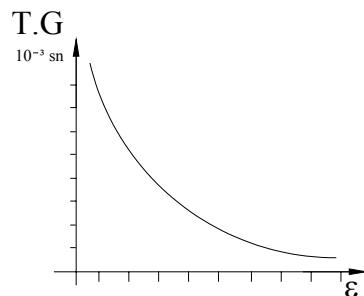


Direkt püskürtmeli

Bu eğrilerden;

- 1- Devir sayısı artınca T.G. kısaltmakta çünkü artan devir sayısı ile birlikte hava hareketleride artmaktadır ve tutuşma şartları iyileşmektedir.
- 2- Ön yanma odalı motorlarda hava hareketleri fazladır. bu sebeple aynı devir sayısı için T. G. daha kısalıdır.
- 3- Ön yanma odalı motorlarda devir sayısı düştükçe direkt püskürtmeliye nazaran daha fazladır çünkü soğutma yüzeyleri daha fazladır.

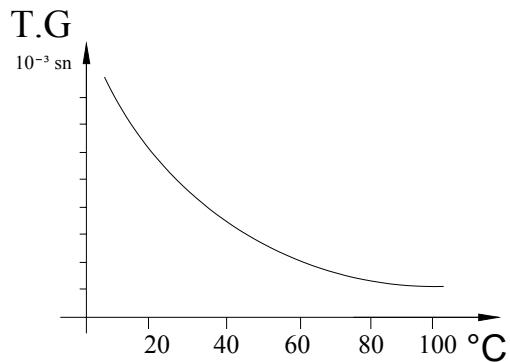
Sıkıştırma oranının etkisi



Sıkıştırma oranı arttıkça sıkıştırma sonu sıcaklığı artar ve T.G. düşer.

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

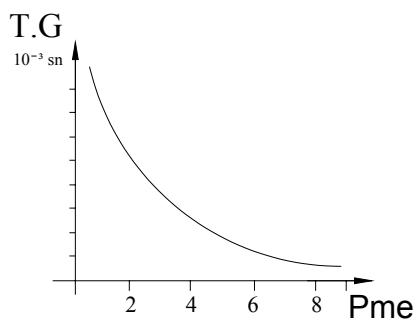
Emme havası sıcaklığının etkisi



Emme havası sıcaklığı arttıkça bağlı olarak sıkıştırma sonu sıcaklıkları da artar ve T.G. düşer.

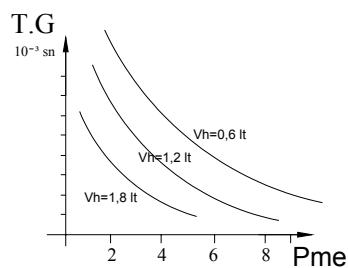
$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon^{k-1}$$

Yükün tutuşma gecikmesine etkisi



Yük arttıkça çeper sıcaklıklarını artar, emme havası sıcaklıklarını artar ve T.G. düşer.

Motor boyutlarının etkisi

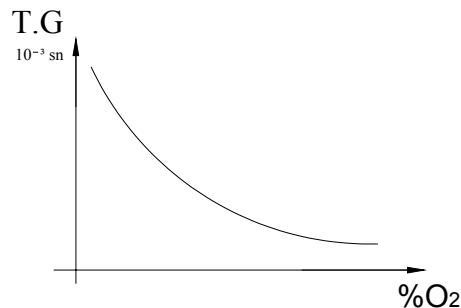


Motor boyutlarına bağlı olarak motor hacmi arttıkça soğutma yüzeyi azalmakta ve buna bağlı olarak sıcaklıklar arttığı için T.G. düşer.

Soğutmanın T.G. etkisi

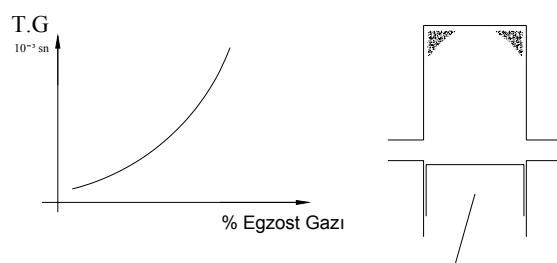
motorlarda soğutma artarsa T.G. artar. Bu sebeple bazı motorlarda T.G. azaltmak için kızgın noktalar bırakılır.

Hava fazlalık katsayısının yahut Oksijen konsantrasyonunun tutuşma gecikmesine etkisi



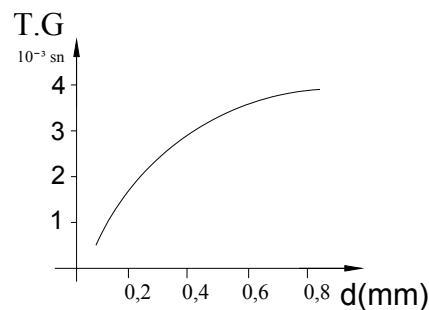
Oksijen konsantrasyonu arttıkça yakıtın O₂ ile birleşmesi artar ve tutuşma daha çabuk olur.

Egzoz gazı %'sinin tutuşma gecikmesine etkisi

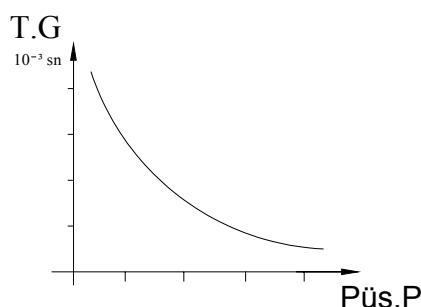


Egzoz gazı yüzdesi artınca tutuşma gecikmesi artar. Özellikle iki stroklu motorlarda egzoz gazı yüzdesi fazla olduğundan T.G. daha yüksektir ve motor sert çalışır.

Enjektör delik çapının etkisi

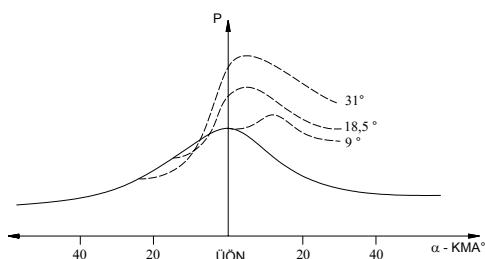


Meme delik çapı küçüldükçe veya püskürme basıncı artınca damlacık çapları küçülür, daha kolay ısınır, buharlaşır ve tutuşur.



Tutuşma gecikmesi azalır. T.G.'nin çok kısa olması istenmez memenin aşırı ısınarak təhrif olmasına neden olur.

Püskürtme avansının etkisi



Püskürtme avansı büyündükçe püskürmenin başlangıç anında ortam basıncı ve sıcaklığı düşük olacağından T.G. süresi gittikçe artar. Bu durumda yanmanın maksimum basıncının ve basınç artma oranının yükselmesine motorun sert çalışmasına neden olur. Avans küçülünce tutuşma gecikmesi süresi azalır bu durumda motor daha yumuşak çalışır. Ancak yanmanın büyük bölümü genişleme fazında olur, dolayısıyla güçte azalma olur.

Yakıt özelliklerinin tutuşma gecikmesine etkisi

Yakıt bileşiminde bulunan hidrokarbonlar gerek tek gerekse grup halinde yanma olayına, özellikle tutuşma gecikmesine etkileri büyüktür. Yakıttaki parafinik hidrokarbonların miktarı arttıkça yakıtın setan sayısında artar, T.G. azalır ve motor yumuşak çalışır.

MOTOR GÜCÜ

Karışımın Alt Isıl Değeri

Yakıtın alt isıl değeri : H_u (kcal/kg Y.)

1 kg yakıt buharı : V_y (m^3/kg Y.)

V_y : 1 kg yakıt buharlaştığı zaman bu yakıt buharının kapladığı hacim

1 kg yakıtı yakmak için gerekli olan minimum hava miktarı

$\lambda \cdot L_{min}$ (m^3/kg Y.)

Karışımın hacmi :

$V_k = V_y + \lambda \cdot L_{min}$ (m^3/kg Y.)

Karışım içerisindeki yakıt miktarı kütlesel olarak 1 kg'dır.

V_k m^3 karışımında 1 kg yakıt varsa

1 m^3 karışımında $1/V_k$ kg yakıt vardır

$1/V_k$ ($kg Y./m^3$) : Elde edilen karışımın $1 m^3$ 'de kaç kg yakıt olduğunu gösterir

Karışımın alt isıl değeri :

H_u (kcal/kg Y.) * $1/V_k$ ($kg Y./m^3$) = H_u/V_k (kcal/ m^3)

H_u/V_k : $1 m^3$ karışımın yanmasından elde edilen ısı miktarıdır. Ancak karışımın tamamı yanmaz. Bu nedenle açığa çıkan ısı miktarı biraz daha azdır. O yüzden bu ifadenin yanma verimi ile çarpılması gereklidir.

$\frac{H_u}{V_k} * \eta_y$ (kcal/ m^3)

Bir İş Periyodunda Açığa Çıkan Isı Miktarı

Bir iş çevriminde açığa çıkan ısı miktarı sisteme sokulan ısı miktarı olup Q_1 ile gösterilir. Bir iş periyodunda silindire alınan karışım miktarını bulursak bunun alt isıl değeri ile çarpımı bize bir iş periyodunda açığa çıkan ısı miktarını verir.

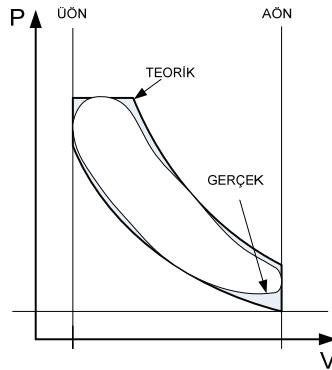
Bir iş periyodunda emilen taze dolgu miktarı strok hacmi kadardır. Ancak motor bu mikardaki karışımı ememez, o yüzden strok hacmi η_v ile çarpılır.

$$\left[\frac{\pi D^2}{4} * H = V_H \right] * \eta_v \quad (m^3/\text{İş})$$

$$Q_1 = \frac{H_u}{V_k} * \eta_y * V_H * \eta_v \quad (\text{kcal/İş})$$

$$Q_1 = \frac{Hu}{V_k} * V_H * \eta_y * \eta_v \quad (\text{kcal/İş.})$$

İndike İş



Teorik Çevrimde Net İş

$$Lç = Q_1 * \eta_t$$

$$Wi = Q_1 * \eta_t * \eta_g$$

η_g : Organik verim (diyagram verimi)

$$\eta_t * \eta_g = \eta_i \quad (\text{İndike verim})$$

$$Wi = Q_1 * \eta_i = \frac{Hu}{V_k} * \eta_y * \eta_v * \eta_i \quad (\text{kcal İş/ Silindir})$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm (TÖS)}$$

$$V_k = Vy + \lambda L_{\min} \quad \text{olduğuna göre,}$$

$$Wi = 427 * \frac{Hu}{Vy + \lambda L_{\min}} * \eta_y * \eta_v * \eta_i * V_H \quad (\text{kpmİş / Silindir})$$

İndike Güç

Birim zamanda yapılan işe güç denir. Motorda zaman olarak motor hızı $n(d/d)$ kullanılır.

$$Ni = 427 * \frac{Hu}{Vy + \lambda L_{\min}} * \eta_y * \eta_v * \eta_i * V_H * n * \frac{1}{60} \quad (\text{kpm/s-İş /Silindir})$$

$\underbrace{\hspace{100pt}}_{Pmi}$

$$P_{mi} = 427 * \frac{Hu}{V_H + \lambda L_{min}} * \eta_y * \eta_v * \eta_i \quad (\text{kpm/m}^2)$$

$$N_i = P_{mi} * V_H * n * \frac{1}{60} \quad (\text{kpm/s-İş / Silindir})$$

$$N_i = P_{mi} * V_H * n * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} \quad (\text{kpm/s-Silindir})$$

2 stroklu bir motorda bir iş periyodu kranc milinin 1 devrinde, 4 stroklu bir motorda bir iş periyodu kranc milinin 2 devrinde gerçekleşir.

a=1 (2 stroklu)

a=2 (4 stroklu)

z silindirli bir motorun indike gücü

$$N_i = P_{mi} * V_H * n * z * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} \quad (\text{kpm/s})$$

1 BG = 75 kpm/s

$$N_i = P_{mi} * V_H * n * z * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} * \frac{1}{75} \quad (\text{BG})$$

Tüm birimler (m) cinsinden yerine koymak istersek,

P_{mi}	kp/cm^2	10^4 kp/m^2
V_H	lt	10^{-3} m^3
n	d/d	d/d

$N_i = \frac{P_{mi} * V_H * n * z}{450 * a} \quad (\text{BG})$	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>P_{mi}</td><td>kp/cm^2</td></tr> <tr> <td>V_H</td><td>lt</td></tr> <tr> <td>n</td><td>d/d</td></tr> </tbody> </table>	P_{mi}	kp/cm^2	V_H	lt	n	d/d
P_{mi}	kp/cm^2						
V_H	lt						
n	d/d						

Kw Cinsinden İfadenin Çıkarılması

Karışımın Alt Isıl Değeri

Yakıtın alt isıl değeri : H_u (J/kg Y.)

1 kg yakıt buharı : V_y (m³/kg Y.)

V_y : 1 kg yakıt buharlaştığı zaman bu yakıt buharının kapladığı hacim

1 kg yakını yakmak için gerekli olan minimum hava miktarı

$\lambda \cdot L_{min}$ (m³/kg Y.)

Karışımın hacmi :

$$V_k = V_y + \lambda \cdot L_{min} \text{ (m}^3\text{/kg Y.)}$$

Karışım içerisindeki yakıt miktarı kütlesel olarak 1 kg'dır.

V_k m³ karışımında 1 kg yakıt varsa

1 m³ karışımında 1/V_k kg yakıt vardır

$1/V_k$ (kg Y./m³) : Elde edilen karışımın 1 m³'de kaç kg yakıt olduğunu gösterir

Karışımın alt isıl değeri :

$$H_u \text{ (J/kg Y.)} * 1/V_k \text{ (kg Y./m}^3\text{)} = H_u/V_k \text{ (J/m}^3\text{)}$$

$$\frac{H_u}{V_k} * \eta_y \quad (\text{J/m}^3)$$

Bir İş Periyodunda Açığa Çıkanısı Miktarı

Bir iş periyodunda emilen taze dolgu miktarı.

$$\left[\frac{\pi D^2}{4} * H = V_H \right] * \eta_v \quad (\text{m}^3/\text{İş. Per. Silindir})$$

Açığa çıkan ısı miktarı:

$$Q_1 = \frac{H_u}{V_k} * V_H * \eta_y * \eta_v \quad (\text{J/İş. Per. Silindir})$$

İndike İş

$$W_i = Q_1 * \eta_i \quad (\text{J/İş. Per. Silindir})$$

$$Wi = Q_i * \eta_i = \frac{Hu}{V_k} * \eta_y * \eta_v * \eta_i \quad (J/\text{İş. Per. Silindir})$$

$$\boxed{Wi = \frac{Hu}{V_y + \lambda L_{\min}} * \eta_y * \eta_v * \eta_i * V_H \quad (J/\text{İş. Per. Silindir})}$$

İndike Güç

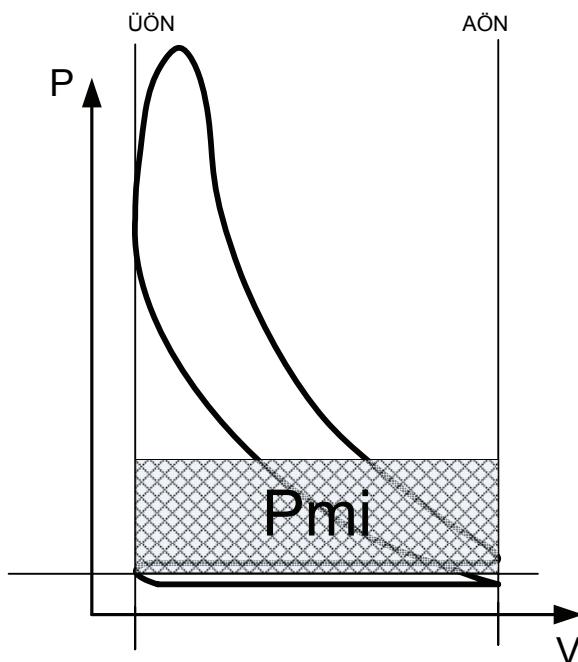
$$Ni = \underbrace{\frac{Hu}{V_y + \lambda L_{\min}} * \eta_y * \eta_v * \eta_i * V_H * n * \frac{1}{60}}_{Pmi} \quad (J/s-\text{İş. Per. Silindir})$$

$$Pmi = \frac{Hu}{V_y + \lambda L_{\min}} * \eta_y * \eta_v * \eta_i \quad (\text{Pa})$$

$$Ni = Pmi * V_H * n * z * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} \quad (\text{J/s} = \text{W})$$

$Ni = \frac{Pmi * V_H * n * z}{60 * a} \quad (\text{kW})$	<table border="1"> <tr> <td>Pmi</td><td>MPa</td><td>Pa</td><td>kPa</td></tr> <tr> <td>V_H</td><td>lt</td><td>m³</td><td>m³</td></tr> <tr> <td>n</td><td>d/d</td><td>d/d</td><td>d/d</td></tr> <tr> <td>Ni</td><td>kW</td><td>W</td><td>kW</td></tr> </table>	Pmi	MPa	Pa	kPa	V _H	lt	m ³	m ³	n	d/d	d/d	d/d	Ni	kW	W	kW
Pmi	MPa	Pa	kPa														
V _H	lt	m ³	m ³														
n	d/d	d/d	d/d														
Ni	kW	W	kW														

Ortalama İndike Basınç Biliniyorsa Motor Gücünün Hesabı



$\dot{I}\ddot{s}$ = Kuvvet * Yol

$$\text{Kuvvet} = \text{Basınç} * \text{Yüzey} = P_{mi} (\text{kPa/m}^2) * \left[\frac{\pi D^2}{4} \right] (\text{m}^2)$$

$$\dot{I}\ddot{s} = P_{mi} * \frac{\pi D^2}{4} * H \quad (\text{kpm})$$

$$W_i = P_{mi} * V_H \quad (\text{kpm/}\dot{I}\ddot{s}. \text{ Per. Silindir})$$

İndike Güç

$$N_i = W_i * n * \frac{1}{60} \quad (\text{kpm/s-}\dot{I}\ddot{s}. \text{ Per. Silindir})$$

$$N_i = W_i * n * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} \quad (\text{kpm/s-Silindir})$$

a=1 (2 stroklu)

a=2 (4 stroklu)

$$N_i = W_i * n * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} * z \quad (\text{kpm/s})$$

$$1 \text{ BG} = 75 \text{ kpm/s}$$

$$Ni = Pmi * V_H * n * z * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} * \frac{1}{75} \quad (\text{BG})$$

Tüm birimler (m) cinsinden yerine koymak istersek,

Pmi	kp/cm^2	10^4 kp/m^2
V_H	lt	10^{-3} m^3
n	d/d	d/d

$$Ni = \frac{Pmi * V_H * n * z}{450 * a} \quad (\text{BG})$$

Pmi	kp/cm^2
V_H	lt
n	d/d

Kw Cinsinden İfadenin Çıkarılması

$$\dot{I}\ddot{S} = \text{Kuvvet} * \text{Yol}$$

$$\text{Kuvvet} = \text{Basınç} * \text{Yüzey} = P_{mi} (\text{N/m}^2) * \left[\frac{\pi D^2}{4} \right] (\text{m}^2)$$

$$\dot{I}\ddot{S} = P_{mi} * \frac{\pi D^2}{4} * H \quad (\text{Nm})$$

$$Wi = P_{mi} * V_H \quad (\text{Nm/}\dot{I}\ddot{S} \text{ Per. Silindir})$$

İndike Güç

$$Ni = Wi * n * \frac{1}{60} \quad (\text{Nm/s-}\dot{I}\ddot{S} \text{ Per. Silindir})$$

$$Ni = Wi * n * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} \quad (\text{Nm/s-Silindir})$$

a=1 (2 stroklu)

a=2 (4 stroklu)

$$Ni = P_{mi} * V_H * n * z * \frac{1}{60} * \frac{1}{a} \quad (\text{Nm/s}) \quad (\text{J/s} = W)$$

$Ni = \frac{P_{mi} * V_H * n * z}{60 * a} \quad (\text{kW})$	<table border="1"><tr><td>P_{mi}</td><td>MPa</td><td>Pa</td><td>kPa</td></tr><tr><td>V_H</td><td>lt</td><td>m³</td><td>m³</td></tr><tr><td>n</td><td>d/d</td><td>d/d</td><td>d/d</td></tr><tr><td>Ni</td><td>kW</td><td>W</td><td>kW</td></tr></table>	P _{mi}	MPa	Pa	kPa	V _H	lt	m ³	m ³	n	d/d	d/d	d/d	Ni	kW	W	kW
P _{mi}	MPa	Pa	kPa														
V _H	lt	m ³	m ³														
n	d/d	d/d	d/d														
Ni	kW	W	kW														

BÖLÜM 5

Motor Yakıtları

SIVI FOSİL YAKITLAR(PETROL)

Petrol sözcüğü latince'de taş anlamına gelen "petra." ile yağ anlamına gelen "oleum" sözcüklerinden olusmuştur.Yani dilimizdeki anlamı 'taş yağı' olması gereken bir sözcüktür. hemem hemen tüm dillerde benzer isim taşıyan petrol ,yüzyıllardan beri beri insanların hizmetindedir. Özellikle son 100 yıl içinde insan yaşamı ve uygarlığı üzerine en büyük etkiyi yapan ve bugünkü endüstrinin doğinasına yol açan petrolün tarihçesi çok eskilere dayanmaktadır.

Milattan önce 3200 tarihlerinde,mezopotemya'da asfaltın harç ve çimento olarak kullanıldığı , gemi ve kayıkların asfaltla kalafatlandığı, arkeolojik incelemelerden öğrenilmiştir.

M.ö..3Ö00 yıllarında Mısırlıların mumyalarını asfalt ile kapladıkları bilinmektedir.Çin kıtasında sarı nehir kıyılarında tuz 'çıkarmak için çinlilerin açtıkları kuyulardan petrol çıktıgı ve bunun hem yakıt ve hem de aydınlatıcı olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır.

İranda petrol çok eski zamanlardan beri bilinmektedir. İran dilin den gelen nafta sözcüğü bugün bile birçok batı dillerinde kullanılmaktadır arapça zift siyah renkteki bitüm anlamına gelmektedir.

M.Ö.600 yıllarda Babil'in düşmesinden sonra petrol ve asfaltın kullanılmasında bir gerileme olmuştur.Eski romalılar petrolü ancak ilaç olarak kullanmışlar,eski yunanlılar ise,bunun ne ise yaradığını pek bilmedi acayıp bir madde olduğuna inanmışlardır.

Roma. imparatorluğunun yıkılmasından sonra,petrolün özelliği ilk defa Araplar tarafından incelenmiş ve yine bunlar tarafından ilk rafineri ürünleri elde olunmuştur.Böylece çabuk alev alıp aydınlatma için ışık kaynağı olarak petrolün de yolları bulunmuştur.

Avrupa'ya petrol,Bakü,Birma ve Çin'den gelmiştir.Milattan sonra 1300 yılında MARKO POLO,Baküdeki ve hazar denizindeki petro]den söz etmştir ve buralarda petroliin ilaç olarak ve lambalarda yakıldığını seyahatnainesinde yazmıştır.1498 yılında Alsace'de (Pechelborn'da),1506 yılında Polonya'da petrol bulunduğu yine bilinmektedir.

KRİSTOF KOLOMB 1498 yılında Trinidad adasındaki ünlü asfalt gölündede bulmuştur.Daha sonraları 1632'de New York'da ve 1748 de Pennsylvania'da petrol bulunduğu bilinmektedir. 16,17 ve 18'nci yüzyıllarda bir çok ülkelerde petrol ve özellikle asfalt bulunmuştur.1815 yılında Çekoslovakya'nın Prag şehrinde bazı caddeler petrolden elde edilen yağlarla ışıklan dırılmıştır.Fakat eldeki rezervler tükenince bu tip ışıklandırmaya son verilmiştir.

Petrol endüstrisi 19 yüzyılın ortasında başlamıştır.Bu endüstrinin doğusunda en büyük etken 19 yüzyıl insanların daha fazla okuma merakına kapılmaları olmuştur.Gerçekten bu yüzyılın insanları,gecelerde okuyabilecek ışık ve ucuz olarak elde edilebilen petrol üzerinde çalışmaya başlamışlar. O tarihlerde kullanılan lambalarda balina yağı yakılıyordu. Halbuki balina yağıının verdiği ışık hem az hemde artan gereksinmeler karşısında gelişen balina avcılığı sonucu balina nesli tükenmeye başlamıştır.Üstelik bu yakıtın maliyeti çok yükseltti. İşte bu güçlükler karşısında bir çok bilgin yeni bir ışık kaynağı ararken,kömürden elde edilen gazla 1850 yıllarında bazı şehirleri aydınlatmışlardır.Fakat balina yağıının yerini tutacak “mum” bulunması 1849 yılında JAT YOUNG. adlı bir iskoçyalıya nasip olur.Hemen hemen aynı zamanda Kanada’lı ABRAHAM GESNER de benzeri bir prosesle “Kerosene” adını verdi Amerikan patentli gazyağını üretmeyi başardı.GESNER’ın bu buluşu,petrol endüstrisinin doğusu ve gerek Avrupada,gerekse Amerikada hızla gelişmesine olanak hazırladı.1859 yılında Amerikada kömürden petrollü maddelerden ve asfalttan gazğıya elde eden 50'den fazla fabrika çalışmaktadır.Aynı yıl içinde yıl içinde 23000 galon(42 galon 1 varile eşittir) gaz yağı üretilmiş ve galonu 2,5 dolardan satılmıştır. A.FERRİS keroseni rafine ederek lambalarda yakılabilecek temiz gaz yağı haline getirdi.Bu gaz yağı o kadar beğenildiği FERRİS derhal Amerikanın çeşitli yerlerine,Avrupa'ya,ve Doğu Hint adalarına ajanlar göndererek ham petrol aramaya ve varil başına (1 varil 158,95 litre dir) 20 dolar ödemeye başladı.1858 yılında FERRİS 118 varil petrol işlemiş ve gaz yağı elde etmiştir. Bu miktar o zamanların en büyük rafineri etkinliğini oluşturuyordu

COLONEL DRAKE isimli bir iş adamı Pennsylvania da bir şirket kurarak ”Titusville” civarında üç yıl kadar petrol için sondaj yaptı.27 Ağustos 1859’da sondaj 21 metre derinliğine erişince yeryüzüne petrol çıkmaya başladı.Bir pompa ile günde 30 varil petrol çıkarılıyordu.Cıkan petrol varili 20 dolardan hemen satılıyordu.İşte bu olay petrolün yeryüzü tabakaları arasında bulunduğu ve sondaj ile yeryüzüne çıkarılabilceğini dünyaya kanıtladı.Petrol arama biliminin,petrol jeolojisinin doğusu bu tarihlere rastlar.Aynı zamanda petrol endüstrisinin başlangıcı olarak DRAKE nin açtığı sondaj kabul edilir.

1860 yılında Amerikada ham petrol üretimi 650000 varile yükseldi. Fiatlarda 20 dolardan 2 dolara düştü.1861 yılında Amerikada petrole yatırılan sermaye 7 milyon doları geçmisti .Aynı yıl içinde gaz yağı yüklü bir tanker Amerikadan İngiltereye hareket etmişti. Bir yıl sonra 1862’de petrol üretimi Amerikada 3 milyon ton'u bulmustu iç savaş nedeniyle fiatlar varil başına 14 dolara çıkmıştı.

Bu şekilde 19. asırın ortalarında Amerikada yepyeni ve olağanüstü hızla ilerleyen bir endüstri ve iş alanları ortaya çıkmış oldu. Yaklaşık olarak dünya petrol üretiminin tamamı Amerika'nın bir kaç eyaletinin alanları içinde idi.Bu değerli maddenin fiat ve piasası da petrol arayıcıları ve üreticilerin kefine bağlı idi.Bunlar aynı zamanda dünyaya petrol

rezervlerinin yakında tükeneceğini korkusunuda aşılamışlardı.

Böyle bir dönemde JOHN R0CK adındaki girişimci bir genç petrol endüstrisine düen ve disiplin getirmeye çalışıyordu. Mesleği muhasebecilik olduğu halde gaz yağı aritiminde büyük bir gelecek görerek rafineri işine girdi .1865'de bir ortağı ile beraber kurduğu rafineri kısa bir süre sonra dünyanın en büyük rafinerisi haline geldi.Sonrada diğer rafinerileri,kurduğu orgüte katmaya veya bunların çogunu satın almayı başardı.Oluşturduğu grubun adınıda STANDARD OIL koydu.Bu grup,1875 ile 1900 yılları arasında Amerikan petrol ticaretinin %80 ve ihracatın %90 ini kontrol altına almıştı.Böylece Rockefeller'in kurduğu STANDARD OIL grubu diĞER tüm petrol şirketlerinin özellikle bağımsız iş gören üreticilerin korkutukları dev bir şirket durumuna gelmişti.Çünkü bu grup petrol nakliyatını büyük çapta eline geçirmiştı ve böylece rakiplerini her türlü vasitalara baş vurarak mahvetmeyi başarmıştı.Pipe—line icad edilip döşenmeye başlandıktan sonra STANDARD OİL grubu yine el altından bunları kontrolü altına geçirmeyi başarmıştı.Bu grup yaklaşık ola rak petrol üretimi ile igilenmedi,yalnız rafinaj işleri STANDARD OİL olanaklarını aşınca,zorunlu olarak yeni petrol şirketleri turedi.

1888 lerde Amerikanın batı eyaletlerinden Kaliforniyada petrol bulundu.STANDARD OIL derhal bu sahalara el attı.Bu arada STANDARD OIL CO. ve FOREST OIL CO. adlı şirketleri kurdu.1890 yılında Teksasta petrol bulunduğu zaman STANDARD OIL burayada el atmış ve MAGNOLIA PTROLEUM CO. şirketini kurdu. Bu şirket sonradan STANDARD OF NEWYORK ve şimdiki adıyla SECONY MOBİL'in çekirdeğini olusturmuştur.1900 yıllarda Kaliforniya'da bir çok şirketleri kendisine katarak STANDARD OIL CO.OF CALIFORNİA kuruldu.Amerikan petrol endüstrisin ilk

40—50 yılı içinde esas piasası dış Ulkelerdi.Fakat 19. yüzyılın başından itibaren Amerikan petrollerine dışında rakipler türemiştı.Bunların başında Rusya ve Holanda doğu hindistanı geliyordu.

Rusya 1872 yılında yabancı sermayeyi memlekete davet ederek ilk 20 yıllık etkinlikleri sırasında olağanüstü gelişmeler kaydetmişti.Özellikle Bakü petrol sahalarında çalışan şirketlerin arasında Fransız ROTSCILD ve İsveçli NOBEL sermayeleri vardı.

İlk modern tanker 1877'de Hazar denizinde çalıştırılmıştı.1883 te de Batum—Bakü demiryolu inşa edilmiştir,bu şekilde petrol karadenize aktarılarak avrupa: piasasına sunulmuştur .1885 yılında dünyanın ilk okyanus tankeride yine bu şirketler tarafından inşa edilmiş.1886 da Almanlar GLUCKAUF isimli ilk transatlantik tankere sahip olmuşlar.

Yukardaki açıklamalardan çıkan sonuç ,petrol endüstrisinin ilk 40—50 yılı oldukça basitidi,bir tek esaslı rafinerici ve nakliyeci olarak STANDARD OİL grubu ve en önemli ürün olarak'ta gaz yağıının olmasıdır.

Fakat 20. yüzyılın başlarında bu durum değişmeye basladı.Elektrik ve havagazından ışık elde

edilmesi gaz yağıının durumunu çok sarstı.Buna karşılık ise fuel—oil ve asfalt önem kazanmaya başladı.

İçten yanmalı motorların bulunusuyla da benzin piasası gelişmeye başladı.Halbuki benzin o zamana kadar gaz yağı rafinerilerinde elde edilen işe yaramaz maddeler arasında yer almaktı .Bütün dünyada hem Amerikan gaz yağıının ve hemde STAIARD OIL in durumu sarsılmaya başladı.Avusturya,Polonya,Romanya ve Kanada,Meksika,Peru,Japonya,Burma ve Holanda hindistanında yerel petrol endüstrileri gelişiyordu.Rus petrol endüstrisi ise, Avrupada ve diğer yerlerde çok büyük gelişmeler kaydediyordu. Doğudada ROYAL DUTCHSELL artık iyice yerleşmişti.

Öte yandan Amerika sosyal bir kriz geçiriyordu.Büyük tekeli şirketlere karşı halkın sesi yükselmeye başlamış ,bağımsız ve özel teşebbüsün iş görmesini mümkün kılacak yasa ve düzenlemeler kabul edilmektedir .1890 yılında kabul edilen “SHERMAN ANTI TRÖST” yasası STANDARD OIL’e hemen uygulanır.O ana kadar 14 tane şirketin tamamına ve 26 şirkete kısmen sahip olan STANDART OIL 1911 yılında mahkeme kararıyla 34 ayrı şirkete bölünür. Bunların arasında JERSEY STANDART hala dünyanın en büyük petrol şirketidir. (Yeni adı :EXXON)

1890 yılında 100 milyon tonu bulan dünya petrol üretimine paralel olarak petrol endüstriside dev adımlarla ilerliyordu. Endüstrinin bu kadar hızla gelişmesine olanak yaratan etkenler arasında şunları saymak gereklidir:

1885:DAIMLER ilk otomobili piasaya çıkarıyor.

1903:Otomobil yayılmaya başlamış,WRIGHT kardeşler ilk uçağı uçurtmaya başarmışlar.

1908:HENRY FORD. seri halinde otomobil üretimine başlıyor.

1910:Amerikada 200.000 den fazla otomobil üretildi

1912:Diesel motoru ile çalışan ilk gemi denize indirildi

1914:Birinci dünya savaşı patladı ve Britanya filosunu akar yakıt代替meye başladı.

1915:Çoğalan otomobil,benzin gereksinmesini ve fiyatları yükseltiyor.

1917:Amerika savaşa giriyor ve petrol üretimini kontrol altına alarak arttırmayı. Müttefiklerinin petrol gereksiniminin %80' ni temin ederek savaşın kazanılmasına olanak hazırlıyor.

Birinci dünya savaşı,insanlara şu gerçeği öğretti:Petro1 uygarlığın ve dünyaya egemen olmanın anahtarıdır.

Gerçektende savaş %80 oranında Amerikan kökenli petrol sayesinde kazanılmıştı.Bu gerçeği ilk gören ve derhal harekete geçen ,İngiliz hükümeti oldu.Dünyanın çeşitli

bölgelerinde bulunan petrollerle yakından ilgilenmeye ,politikasının en önemli ögesi saydı.Aynı politika gereğince gerek İngiliz imparatorluğunda ve gerekse başkaca etkisi altındaki petrol alanlarında yalnız ingiliz uyruklu şirketlere veya kisilere petrol hakkı vermesini kesinlikle emretti.Hatta o kadar ki,Güney ve Kuzey Amerikada iş gören İngiliz firmalarına Yalnız İngiliz uyruklu personelin kabul olunması direktifi veriliyordu.Aynı politika Hollanda hükümeti tarafından izleniyorduBu yüzden başlangıçta İngilizlerle araları açılmıştı,fakat ünlü holanda petrol şirketini kuran ‘HENRY DETERİNG-’ şirket merkezini londraya taşıyıp üstelik İngiliz lordu olunca,iki sermaye birleşerek “DUTCH—SHELL” meydana geldi.

Savaştan sonra Almanların tüm miraslarına konan İngilizler,petrol haklarını ANGLO—IRANIAN petrol şirketine devrederler.Bu ara da Romanya petrolünün 1/3 ünün sahibi oldular.Ayrıca Meksika,Avustralya,Yeni Zelanda,Borneo,Yeni Gine ,Kanada,Trinidad,Arjantin,Peru, Venezuela,Mısır,Güney Afrika,Portekiz batı Afrikası gibi ülkeler de bir çok yeni petrol hakları elde ettiler.

Savaş bittikten sonra,dünya petrol politikasından haberdar olan Amerikan kamu oyu,İngiliz ve Hollandalıların aşırı çıkarıcı siyasetleri karşısında derhal reaksiyon gösterdi.Gerçekten 1921'de HERBERT HOOVER'in ticaret bakanı olmasıyla beraber büyük petrol şirketleri bir araya gelerek dı ülkelerde daha aktif rol oynamayı kararlaştırırlar.Amerikan hükümeti bunu desteklemeyi kararlaştırdı.

Amerikan ve İngiliz—Hollanda çıkarlarının çatışması sonunda petrol ekonomisi bakımından çok zarar gören ülkeler arasın özellikle meksika österilebilir.1920 den önce dünyanının hayranlık yaratan petrol alanlarına ve büyük üretime sahip olan Meksika'da yabancı şirketlerin tam anlamıyla sömürücü ve kapkaççı üretim yarışı sonucunda kuyuların çoğundan su çıkmaya ve dünya çapındaki petrol alanları sönmeye başlamıştır bununlada yetinilmemiş,ulkede sık sık çıkan ihtilalleri karşılıklı olarak,İngilizler ve Amerikalılar organize ederek birbirlerini meksikadan korumaya çalışmışlar.

Amerikan İngiliz petrol rekabetinin en fazla oluştu yer,Doğu Yarım külesi olmuştur.İngilizler,Amerikalıları yakın doğuya sokmamaya nekadar kararlı idiyseler,amerikalılar oraları elde etmeye o oranda ısrar etmişler.

İran ve Irak ta petrol bulunduğu eskiden beri bilinmekte idi.Fakat petrolün aranıp bulunması ve üretime geçiği 20. yüzyılın ilk yıllarda başlar,petrol kavgaları ile birlikte.

1901 yılında Yeni Zelanda'lı altın madeni sahiplerinden WILLIAM KNOX D'ARLY adında ingiliz avukatı İran şahından petrol ruhsatı koparıyor.Yıllarca yaptığı başarısız aramalardan sonra STANDARD OIL şirketinden yardım istiyor.Bu istege karşı koyan İngiliz hükümeti Amerikan sermayesinin İrandaki İngiliz çıkarları bögesine girmesini engelliyor.Aynı

zamanda İngilizler tarafından hidistanda petrol aramak üzere kurulmuş olan “BURMAN OIL CO.” şirketini D’ARLY ‘ya ortak yapıyor.D’ARLY sonunda 1908 yılında ünlü mescede Süleyman petrol alanını buluyor ve ardından ANGLO—PERSIAN OIL CO. kuruluyor.1912 yılında Abadan limanına boru hattı döşeniyor ve birde rafineri kuruluyor.Bu sırada birinci dünya savaşı içinde İran petrolleride İngilizlerin bu amaçları için iyi bir olanak idi.Fakat İran petrollerini isletebilmek için daha çok sermayeye gerek vardı.Bunu karşılamak için İngiliz hükümeti 1914 te ANGLO IRANIAN şirketine önemli miktarda para yatırdı ve bu şirketin tam faaliyet gösterebilmesini sağladı.

Petrol politikasında oynanan oyunlar,Osmalı İmparatorluğunu da içine almıştı.1910 yıllarda Osmalı hükümeti,eski Amerikan büyük elçisinden amiral COLBY M.CHESTER ile Bağdat hattını yapan Alman şirketinede petrol arama ruhsatı veriyor.1912 yılın da İngiliz—Alman sermayeli TURKISH PETROLEUM CO. adında bir şirket kuruluyor.Fakat bu şirketlerden hiç birisi herhangi bir etkinlikte bulunmadan birinci dünya savaşı patlıyor.
TÜRK PETROL KUMPANYASI (T.P.Co.) o zamanlar Rus petrollerinin Türkiye'de sürümü ile uğraşan erməni asılı GÜLBENKIAN aracılığı ile kurulmuştu.Savaştan önce İngilizler GÜLBENKIANI aradan çıkarmaya çalışıllar.Fakat bunu başaramadılar ve savaştan sonra İngilizler GÜLBENKIAN a bir hisse vererek TÜRK PETROL KUMPANYASINA ait alanlarını ANGLO-IRANIAN,SHELL ve DEUTSCHE BANK arasında bölüşürler
1920 yılında San Remo'da varılan anlaşmaya göre Irak ve Filistin Birleşmiş Milletler mandası altıda,suriye ve lübńanda fransız mandası altında girmişlerdir fakat San Remo'da yapılan gizli bir anlaşma ile , TURK PETROL KUMPANYASI na Osmalı topraklarının tümü üzerinde petrol arama hakkı tanıyor ve

ANGLO-IRANIAN	%50
---------------	-----

DUTCH-SHELL	%25
-------------	-----

CIE FRANÇAISE DES PETROLES NATIONAL	%25
-------------------------------------	-----

hak tanıyordu.Sonradan bu gizli anlaşmanın ortayamasına. Amerikan hükümeti protesto ediyor ve bir zamanlar amiral CHESTER'e verilen haklardan söz ediyor,ayni zamanlarda gerek yakın Doğu gerekse başka yerlerde Amerikan sermayesine yer verilmesini israrla istiyor.Ancak uzun yıllar diplomatik notalar alınıp verilmişede bir sonuç elde edilmez.

Bu arada Türk Devrim Hükümeti ile Irak Krallığı San Remo anlaşmasını Tanımadıklarını ilan ediyorlar.

1921 yılında ticaret bakanı olan HERBERT HOOVER o zamanın 7 büyük petrol şirketini davet ederek, onlara ortak bir kumpanya kurmak suretiyle, Irak'ta hak elde etmelerini öneriyor.

Bir taraftan İngiliz ve Fransız çıkarlarıyla,GÜLBENKIAN'nın hisselerini kaybetme korkusu,diğertaraftanda Amerikalıların zorlaması uzun yıllar çeşitli entrikaların çevrilmesine

yol açmıştır.

1927 yılında ünlü kerkük petrol alanı bulunuyor. 1928 yılında İRAK PETROL KUMPANYASI (İ.P.C.) kuruluyor

ortaklar:

Gülbekian %5

Anglo-İranian %23,75

Dutch—Shell %23,75

Fransız—Nasyonal %23 ,75

Amerikan grubu %23,75

Bu sonucu elde etmek için Amerikalılar gülbenkianın bizzat çizdiği ünlü “Kırmızı Hat” anlaşmasını imzalamak zorunda kalırlar. Sonradan birçok kavga ve sorunlar ortaya çıkan ve sonunda bozulan bu anlaşmaya göre, Anadolu dahil, tüm doğuda (Kuveyt hariç) hiçbir kumanya kendi başına arama yapamayıacaktır.

I.P.C hemen faaliyete geçerek birçok alanları geliştirdi, ve 1934 yılında ilk boru hattını Akdenize döşedi.

Bir taraftan Amerikalılar Iraktaki Fransız—İngiliz tekelini bozmaya çalışırken bazı Amerikan şirketleri de İngiliz himayesindeki Bahreyn adasında çıkarlar elde etmeye çalışıyordu. Gerçekten STANDARD OIL şirketi Bahreyn'de petrol hakkı elde edebildi (1928). Fakat İngilizler perde arkası politikası, Amerikan şirketinin iş yapmasına olanak vermedi. Amerikalılar önce Kanada'da bir şirket kurup bunu İngiliz şirketi olarak tescil ettirdiler ve ancak bundan sonra BAHREYN PETROL KUMPANYASI adı altında çalışmaya başladılar. Fakat yinede şirketin iş görebilmesi için bir hayli zor durumda kalmıştı. 1932 yılında petrol bulundu ve iki yıl sonra rafineriler kuruldu.

Bu arada ünlü kırmızı hat anlaşması dışında kalan Kuveyt'te GULF OIL CO. bazı haklar elde etti. Fakat burada İngilizlerin direnci ile karşılaşan Amerikalılar sonunda İngilizler ile birlikte KUWAYT OIL CO. şirketini kurdular ve 1938 de ilk petrolü çıkardılar.

Bahreyn adalarındaki aramalara dayanarak Arap yarımadasında da petrol yatakları bulunabileceğini göz önüne alan STANDARD OIL OF CALIFORNIA, 1933 yılında İbni SUUD ile anlaşarak çölde petrol arama ruhsatı elde etti (Arabian American Oil Co.) kuruldu ve 1938'de petrolü buldular.

İkinci dünya savaşından sonra Yakın Doğunun dünya petrol rezervlerinin önemli bir kısmını içерdiği gerçeği ortaya çıktı. 1951 de dünyanın en büyük boru hatlarından birisi Arabistan Yarımadasında döşendi. İrandaki Abadan rafinerisi dünyanın en büyüğüdür.

Savaştan sonraya kadar yakın doğuda petrol arayan şirketler, Amerikanın dev şirketleri idi. Halbuki Amerikan hükümeti, orta doğu petrollerinin yarı düzineden fazla ve daha küçük

şirketlerin eline geçmesini arzulamış ve bunu “independet” şirketleri desteklemiştir.Gerçekten Kuveyt ve Arabistanda bir takım bağımsız Amerikan şirketlerinede hak ve imtiyazlar dağıtılmıştır.

Son onbeş yıl içinde Basra körfezinde bazı Janon,Italian ve Fransız şirketleride petrol aramalarına katılmışlardır.

PETROLÜN OLUŞUMU

Jeologları uzun zamandan beri düşündüren ve halada doyurucu bir cevap bulunamayan iki soru vardır.Petrol orijini ve bugünkü petrol kapanlarında toplanışı.Bu iki sorunun birbiri ile çok yakın ilişkisi vardır,eğer birisi bilinirse ,ötekinin sırrı da ortaya çıkacaktır.

Petrolün kökeni hakkında birçok teori ortaya atıldı.Bunların teori olmaları ve böylece teori olarak kalmaları zorunludur, çünkü petrol oluşurken kimse bunu inceleyememiştir.Bu teoriler ortaya atılırken iki çıkış noktasından hareket edilmektedir:

- Petrol sahalarındaki durumları,taklit etmeye çalışan laboratuar deneyleri.
- Petrol ve gaz aranması esnasında karşılaşılan jeolojik koşullar.

Hangi teori olursa olsun,eğer akla yakın olacaksa mutlaka doğada olağan olay veya işlemleri ele almalı ve bir de geniş bir jeolojik—coğrafik alana yayılmış olmalı,Çünkü petrol hidrokarbonları dünyanın her tarafında arz tabakaları içinde,az miktarlardada olsa vardır.Bu yüzden petrolün oluşu olağanüstü bir yer ve koşula bağlı değildir.

Petrolü oluşturan ham maddenin organik veya anorganik olmak üzere iki ayrı kaynağı ve bu kaynaklara dayanan iki teori grubu vardır.Organik orijinden geldiğini hemen hemen kabul etmiş gibidir.Fakat yine de bazı bilim adamları anorganik teoriler üzerinde durmaktadır.Buna başlıca neden anorganik bir element olan hidrojenin petrolün oluşumunda oynadığı roldür. Öte yandan petrolün kökeninin organik olduğunu kabul edenler arasında görüş ayrılıkları vardır farklı görüşler özelikle,organik maddenin nasıl petrol haline geçtiği ile organik maddenin cinsi üzerindedir.Petrolü meydana getiren organik madde hayvansal mı,yoksa bitkisel mi idi?Bu maddeler denizlerde mi,yokca sıcak veya tatlı su sedimanları içindemi petrol haline geldiler?

(* Sediman tabakalar:Yağmur sular,rüzgar gibi doğal olaylar dünyamızın kabuğunu devamlı aşındırmaktadır.Bu olaya erozyon denir.Aşınma sonucu meydana gelmiş aşınma ürünleri çamur,kum v.s. şeklinde nakledilmekte ve başka bölgelerde çökelti halinde yığılmaktadır.Bizjm ölüerimize göre yavaş oluşan bu olaylar,birimini milyon sene olan jeolojik zamanlar sürecinde dünya yüzünde çok büyük değişikler olur.Bu aşınma ürünleri”sediman” çökelti tipi kayaların oluşmasına neden olurlar.)

Organik maddenin petrol haline dönüşümünün açıklanması çok farklı ve

tartışmalıdır.Sıcaklık,basınç,bakteri etkisi ,radynaktif bomhardıman ve katalitik reaksiyonlardan her birini petrol oluşumunda esas enerji kaynağı olduğu hakkında. teoriler ortaya atılmıştır. Petrolün orijini ile direk ilişkisi bulunan diğer teorilerden biriside ,petrol ve doğal gazın toplanması ile ilgidir.Bazları petrolün halen bulunduğu kapanda veya hemen civarın da meydana geldiğini kabul ederken,birçoklarında petrolün başka yerlerde oluştuğunu sonradan migrasyon (göçetme) ile simdiki yerine geldiğini kabul ederler.

PETROLÜN ANORGANİK OLUŞUM TEORİLERİ

Anorganik teorileri ortaya atanlar ve destekleyenler daha çok kimyagerler olmustur. Çıkış noktaları ise laboratuar koşullarında elde ettikleri metan,etan,asetilen ve benzol gibi hidrokarbonlar. Laboratuarda anorganik maddelerden elde edilen bu hidrokarbonların doğada da benzer prosesler ile olduğu ise henüz kanıtlanamamıştır.Buna karşılık, organik kökenden geldiklerine dair pek çok ipuçları bulunmatadır.

Anorganik teorilerden birincisi 1866'da BERTHELOT tarafından önerilmiştir.Ona göre yer katmanları içinde serbest olarak dolaşan alkali metaller,CO ile temasa geçince yüksek ısının yardımı ile asetilit oluşturmaktadır, ve daha sonra bunların su ile teması sonucunda asetilen gazı (C) yani hidrokarbonlar ortaya çıkmaktadır.

1871'de BYASSON'de benzer bir teori ortaya attı,fakat o reaksiyon malzemesi olarak alkali metallerin yerine demiri veya demir sülfürü kabul etti.

1879' da ise ünlü rus kimyageri MENDELEEF yerin derinliklerinde bol miktarda demir karbid bulduğunu ve bunların yukarıdan aşağıya inen yuzey suların etkisi ile aynı zamanda ısının ve basıncın yardımı ile hidrokarbonları meydana getirdiklerini iddia etti. Özellikle bazı gök taşların'da karbit'lerin bulunmuş olması, MENDELEEF in teorisini desteklemiştir.

1927'de GAEDICKE yarı anorganik bir teori ortaya attı.Ona göre kara suları,radyoaktif minerallerin yaydıkları gama ışınları oksijen ve hidrojen gazlarına ayrılmaktadır.Bu şekilde meydana na gelen hidrojen çok aktif olduğundan organik veya anorganik kökenden gelme karbonla birleşerek hidrokarbonları oluşturur.

Anorganik teorilerin pek yabana atılamamasının nedeni ,çok miktardaki hidrojen gazının oluşumunu açıklayış yöntemleridir.Cünkü genel olarak deniz organizması içinde (%7—10) oranında Hidrojen bulunurken,petrol içindeki bu oran ise %11-15 arasındadır.Buna göre organik teoriye göre petrol oluşurken,ayrıca fazladan hidrojene gereksinim vardır.İşte bu fazladan hidrojenin sedimanlar içinde serbest olarak bulunması olanağı yoktur,çünkü serbest Hidrojen çok aktif bir elementtir ve derhal başka elementlerle birleşir.Halbuki volkanlardan çok miktarda hidrojen gazı çıkmaktadır.Volkanik kökenli bu hidrojenin petrolün oluşumunda yardımcı olması düşünülebilir isede,organik maddelerden havasız ortamda ve bakterilerin etkisi altında fermentasyon yoluyla da Hidrojen ile organik maddelerin birleşmesi ile petrol oluştuğu düşüncesi'de tam olarak kabul edilememektedir

Petrolün kozmik orijinden geldiği kabul edilmiş olsaydı, dünyanın her tarafında daha dengeli dağılmış petrol yataklarına rastlanması ve özellikle yaşlı tabakalar içinde daha fazla petrol olması gerekiirdi. Pre-Kambrien, Kambriyen, Trias ve Pleistosen yaşlı tabakalarda petrole çok az rastlanmaktadır.

Anorganik teorilerin hepsi dört noktaya cevap veremediklerinden kabul edilememektedirler:

1. Petrol büyük çoğunlukta, denizsel tabakalar içinde bulunması. Volkanik taşlar içinde bulunması ise petrolün oraya göçertme yoluyla girmesi sonucudur.

2. Yerin derinliklerine indikçe petrolün artışı olur diye bir kural yoktur. Tam tersine en eski ve yaşlı tabakalarda en az petrol bulunmaktadır. Halbuki en fazla petrole Tersiyer yaşlı tabakalar içinde bulunmaktadır.

3. Petrol optik bakımından aktiftir. Bu özellik ise organik maddelerin esas niteliklerinden sayılır. Ayrıca petrol içinde bulunan pyridine ve porphyrine maddelerinin de organik kökenden oldukları bilinmektedir.

4. Anorganik teorilerden hiçbirisi, birkaç basit hidrokarbon üretiminden ilerisini gerekli şekilde açıklayamamıştır. Karmaşık bir kimyasal yapıya sahip olan petrolün bu bileşimi nasıl elde ettiğini açıklayamamıştır.

PETROLÜN ORGANİK OLUŞUM TEORİLERİ

4 önemli neden petrolün organik kökenden geldiğini kuvvetle desteklemektedir:

— Sediman tabakaları içinde bulunmuş olan dev mikarda organik maddeler. Hem hayvan ve hem de bitki kökenli olan bu organik maddelerde (C) ve (H) çok oluşu — turmaktadır. Dunlara, ek olarak yaşayan bitki ve ha tarafından üretilen (C) ve (H₂) miktarları önemli derecede yüksektir. O halde petrolün esas maddesini oluşturan karbon ve hidrojen, hem bol mikarda hemde çok geniş alanda organik materyelden temin edilebilir.

— Bir çok petrollerin içinde “TREIPS” tarafından bulunan porphyrine maddesi vardır. Kanın kırmızılığını veren hemin ile bitkilerin klorofil maddelerinden elde edilen porphyrine maddesi organiktir.

— Hemen hemen tüm petrollerde azot bulunması. Petrolün organik kökenli olduğunu gösterir. Çünkü azot proteinli organik maddelerin ayrılması sonucu ve aminoasitlerin es maddesi olarak petrol içinde bulunmaktadır.

— Optik aktivite. Polarize ışığı döndürme özelliği. Yapılan araştırmalar, göstermişlerki petrole bu özelliği veren kolestrol (C₂₆H₄₅OH) maddesi yalnız bitki ve hayvanlarda bulunmaktadır.

1866 da LESQUE REAUX petrolün deniz bitkilerinden olduğunu söylemiştir.

1922'de ise HACKFORD yosunların külü ile hem petrolün külü arasında kimyasal benzerlik olduğunu görmüştür.

1937'de SANDERS ham petrol içinde birçok mikro organizma bulmuştur. Bunların arasında kalkerli ve silisli foraminifera hayvancıklarının kalıntıları, sporlar, yosunlar, böcek kırıntıları gibi. Bu mikroorganizmalar petrol içine sonradan da girmiş olabilirler. Ancak bunların tür olarak fazla sayıda olmaları, hepsinin petrol içine sonradan girdikleri tezini çürütmekte ve petrolün organik kökenli olduğunu savunan tezi doğrulamaktadır.

Jeolojik geçmişte sedirnanlar içinde oluşmuş organik maddelerin kökenini ve özelliklerini öğrenebilmenin bir yolu da şimdiki sedimanlar içinde gömülü kalan, zamanımızın organizmasını incelemektir.

Diğer taraftan petrolün denizsel sedimanlar içinde bulunduğu düşünülürse, birinci derecede okyanuslarda yaşayan canlı varlıklar, ikinci plandada karalarda yaşayıp da denizlere sürüklenen canlıları incelemek gerekir

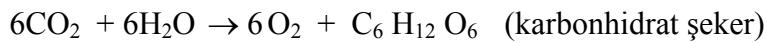
Denizsel organizmalar

- Bitkiler: Fongüsler (mantarlar), Alg'ler (yosunlar)

Bakteri ler

- Hayvanlar: Forominiferalar, Radiolarialar, ve diğer protozialar, süngerler, mercanlar, kurtlar, Brozoalar, Molluskler ve omurgalı hayvanlar.

Deniz bitkileri, karışık anorganik maddelerden fotosentez yolu ile organik maddelerini meydana getirirler. Bu arada denizdeki CO₂ GÜNEŞ enerjisinin katalitik etkisi ile:



Bu reaksiyon sonucu serbest kalan oksijen de denizlerde yaşayan bitki ve hayvanların solunumu için kullanılır. Oluşan karbonhidrat dibe çökerek gömülmektedir. Fotosentez olayı sahil sularda daha fazla olduğundan bu bölgeler ve nehirlerin denize döküldükleri yerler, organizma açısından en zengin bölgelerdirler. Yapılan araştırmalar göstermişler ki her yıl tüm okyanuslarda yaklaşık olarak 12 milyon ton hidrokarbon fotosentez yoluyla oluşmaktadır. Bunun küçük bir kısmı bile petrol haline geçse, bilinen ve dahada bulunacak petrolleri oluşturacak kadar ham madde var demektir.

Deniz hayvanlarına gelince, zengin petrol yataklarına fosilli kalker, seyl veya kumtaşısı içinde rastlanması, petrolün hayvanların yumuşak kısımlarından olduğu düşüncesini doğrulamaktadır. Özellikle ENGLER balıktan destilasyon yoluyla petrole benzeyen maddeler elde ettikten sonra bu düşünce daha da kuvvet kazanmıştır. Zamanımızda yaşayan deniz hayvanlarının tür ve miktarları o kadar fazladır ki, organik kökenden meydana gelen bütün petrollere yeter de artabilir.

ORGANİK MADDENİN PETROL HALİNE DÖNÜŞÜMÜ

Petrolün organik kökenli olduğu,büyük tartışmalara neden olma=maktadır ,fakat organik maddenin petrol haline dönüşüm hakkında birçok birbirinden farklı görüşler vardır.Yapılmış olan bazı laboratuar ve jeokimyasal deneyler sonucunda organik maddenin petrole dönüşmesi için gereken etkenleri 4 gruba ayırmışlar.

1. Isı ve basıncın etkisi : Isı ve basınç veya yalnız basınçın etkisi ile organik maddelerin petrole dönüştüklerini iddia edilir.Eğer gerçekten bu basınç enerjisi yeterli ise yer katmanları içinde gerekli kadar bol vardır ve çok basit ve hazır etkendir.

Ayışmanın ısı etkisiyle gerçekleştiği gerek doğada ve gere SP laboratuar çalışmalarında açıkça görülmektedir.örneğin bir çok kömür yataklarında volkanik taşlarla temas sonucu kömür antransit'e dönüştüğü bilinmektedir.Fakat organik maddelerden bir tür bitüm veya mum gibi maddeleri elde etmek için en az 200°C gibi sıcaklıklara gereksinim vardır.Halbuki petrolün oluşum ortamında bu derece yüksek sıcaklıklar bulunamayacağı 'da yine bilinmektedir.Çünkü petrol içinde bulunan porphyrine maddesinin yüksek sıcaklığa dayanıklı olmadığı,sonradan organik madde dışında kalan sedimanların da yüksek ısı ve basınç altında metamorfizma'ya uğrayacakları kabul edilmektedir.Bu yüzden yüksekisinin veya ısı yüksek olmaz'da zaman çok uzun olurda (jeolojik zaman boyunca) aynı sonucu verir düşüncesi petrol oluşu ile pek ilgisi yoktur.Isı tek basma petrolü oluşturan bir enerji şekli olamaz.

Isı ve basınç petrol oluştuktan sonra,petrolün değişiminde büyük rol oynadıkları deneylerle kanıtlanmıştır,fakat petrolün oluşumunda etken olduklara kanıtlanmamıştır.

Basınçla ilgili teorilerin diğer zayıf tarafları ise,petrolleşme sonucu meydana gelen petrol ve gazların hacmi,kendilerini meydana getiren esas ham maddeninkinden daha fazla yer almazıdır.Halbuki basınçın artması ile hacminde artması zıt iki işlemdir.

2.Katalitik reaksiyonların etkisi: Katalizörler,bir kimyasal reaksiyonda başlatıcı veya hızlandırıcı bir rol oynarlar. Bununla birlikte katalizörler reaksiyona katılmayan cisimlerdir. Yani reaksiyon başlangıcında nasıl iseler,sonunda da aynı kalırlar.

Doğada katalizör olarak bilinen birçok maddeler arasında özellikle petrol içinde bulunan vanadiyum,molibden ve nikel vardır.Yine kil mineralleri de bu arada önemli rol oynadıkları iddia edilmektedir.Katalizör olarak görev yapan söz konusu maddelerin bir kimyasal reaksiyonun gereksinim duyduğu sıcaklıkları çok düşürür.örneğin kraking yolu ile elde edilen bazı ürünler için 450 - 620°C sıcaklık ve 11 MPa basınç gereken,katalizör kullanmak yolu ile sıcaklık 399 — 538°C ve basınç 7 MPa düşmektedir.Petrolün oluşumunda katalizör etkisi önemli olduğunu

gösteren iki nokta vardır:

-Ham petrolün içinde olefin serisi hidrokarbonların olmaması..

-Aromatik (Benzol) serilerin bulunmuşudur.

Eğer organik maddeler içinde olefinler varsa katalizatör (killer) yardımıyla parafin olarak ayrılmış ve geriye ole-finsiz petrol oluşmuştur. Benzoller ise denizsel organik maddeler içinde yokturlar,fakat hümin asit içinde bulunur-lar ve deneysel olarak parafinlerden elde edilmişlerdir. Bu deneyde sıcaklık 80°C ve katalizatör kullanılmıştır. Sonuç olarak laboratuar çalışmaları göstermişler ki başta kil mineralleri olmak üzere bazı katalizör görevi yapan maddelerin etkisi ile petrolün oluşу hiç degilse kısmen kolaylaştırılmıştır.Ancak bütün petrollerin bu şekilde oluştuğunu kabul etmek pek doğru olmaz.

3.Radyoaktif bombardımanın etkisi: Yer katmanları içinde radyoaktif minerallerin çok yaygın olarak bulunduğu bilinmektedir. Uranyum, toryum ve potasyumlu mineraller ve bunların ikincil ürünleri az da olsa hemen hemen tüm taşlar-da vardır.Radyoaktif minerallerin yaydıkları alfa,beta ve gama ışınları arasından özellikle alfa ve gama ışınları organik maddelere etki yaparak kimyasal bileşimlerinin değişmesine yol açmaktadır.örneğin yağlı asitlerin alfa tanecikleri ile bombardımanın sonucu parafin serisinden hidrokarbonların meydana geldiği deneysel olarak kanıtlanmıştır.Yine metan ve başlıca gaz halindeki hidrokarbonların alfa tanecikleri bombardımanı sonucunda (H_2) ile birlikte,doymamış hidrokarbonlar ortaya çıkmaktadır.

Fakat radyoaktif bombardıman çok az miktarda ve çok yavaş sonuç vermesinden dolayı ,petrolün bu yoldan elde edilmesine olanak yoktur.

4.Bakterilerin etkisi:Günlük hayatımızda organik maddelerin bakteriler yardımı ile çürümesi (fermantasyon yoluyla) olağandır.Bataklıklarda özellikle CH₄(metan) gazının bakteriler etkisi ile meydana geldiği bilinmektedir.Bakteriler bilinen ve laboratuarda veya doğada deneysel olarak görülebilen etkilerinin petrolün oluşumunda da esas etken olduğu düşünülmüştür.

Bakteriler çok çeşitli olurlar.Bazıları “aerobik”yani havada ve oksijenle yaşarlar,bazıları ise “anaerobik” yani havasız ortamlarda yaşarlar.bunların dışında hem havada hem de havasız ortamda yaşayabilen bakteriler vardır.Bakteriler çeşitli ısı, basınç, tatlı ,tuzlu sularda, nehirlerde, göllerde, bataklıklarda yaşayabilirler Organik bir maddenin havada çabuk kokuşması,genellikle aerobik bakterilerin çokluğuna bağlıdır.Halbuki,suda erimiş olarak bulunan oksijenle ve CO₂'nin oksijeni ile beslenen bakterilerin sığı sularda ve bataklıklardaki kokuşmaya (ayrışmaya) etkileri daha yavaştır.denizlerde derinlere doğru inildikçe serbest oksijen hızla azalır ve deniz tabanlarında özellikle sedimanlar içinde ancak anaerobik bakterilerin çok yavaş etkisi bulunur.Bazı sondajlarda

kükürt redükleyici bakterilerin bulunmuş olması,sedimanlar çökeldikten çok sonada bakterilerin etkili oldukları sonucunu ortaya koymuştur.

Amerika'da ZOBELL ve diğer araştırmacıların yapmış oldukları incelemelerde bakterilerin çok çeşitli oldukları,bazlarının organik maddelerdeki oksijeni uzaklaştırdığını,bazlarının ise azot veya kükürt bileşiminin çoğalmasına yardımcı oldukları gözlediler.

ZOBELL deniz tabanından 5-6 metre derinliklerde her bir gram toprak içinde yaşayan binlerce bakteri saptamış. Bu bakterilerin organik maddeleri kimyasal bakımdan birçok değişikliklere uğratabilecek durumdadırlar.Eski sedimanlar içinde açılan kuyularda ve hatta ham petrol içinde de birçok bakteriye rastlanmıştır.ZOBELL'in göz-lemlerine göre ne suların tuzluluğu,ne 1000 MPa basınç nede 85°C kadar olan sıcaklık bakterilerin etkilerine engel olabilmektedirler.

Çok redükleyici bir ortamda bakteriler,organik hayvan veya bitki kalıntılarını petrole benzer maddelere dö-nüştürürler. Bunu yapabilmeleri için bakteriler oksijen, azot,kükürt ve fosforu organik maddelerden çekip alır-lar.

Yapılan araştırmalar göstermiş ki bakteriler petrolün oluşmasında esas etken olmuşlardır,ayni zamanda da pet-rolün olduğu yerden rezervuar veya kapanlara doğru gitmesinde rol oynamışlardır.Örneğin sedimanlar içinde meydana gelen petrolün bir araya toplanması,bir yere sıkışık kalan petrolün taşlarda meydana gelen kılcal yollardan yukarılara doğru çıkması birçok araştırmacı-ya göre bakterilerin etkisiyle olmuştur.

9.0.0.HAM PETROLÜN KİMYASAL YAPISI

Ham petrol,petrol gazı, gazyağı, benzin, motorin, fuel oil,yağlama yağları,mum ve asfaltik bitüm gibi çeşitli maddelerden oluşur. Bu maddelerin kimyasal yapısı çoğunlukla yalnızca karbon ve hidrojenden oluşmaktadır ve kısaca hidrokarbonlar olarak ad-landırılırlar, bunların dışındaki elementler çok az olduklarıdan ihmali edilirler.

Ham petrol içerisinde kükürt eser miktarda bulunmasına rağmen ürün kalitesi üzerinde etkisi nedeni ile önemlidir.

Element Külesel Yüzde

C (karbon) 82-87

H₂(hidrojen) 12-18

O₂ (oksijen) 0,1-7,4

N₂ (azot) 0,1-2,4

S (küükürt) 0,1-5,5

V,Fe,Mg,Ca,P,Zn,Co 0,1-1,2

Ham petrolün içersindeki karbon atomlarının sayısına ve dizilişine göre hidrokarbonlar normal sıcaklık ve basınçlarda gaz, sıvı veya katı fazda bulunurlar.

- 4 karbon atomluya kadar gaz fazda
- 4-20 karbon atomlular sıvı fazda
- 20'den fazla karbon atomlular katı fazdadırlar.

Ham petrolün bünyesindeki hidrokarbonların bağ şekillerine göre iki ana gruba ayrırlar:

- Alifatik hidrokarbonlar (Zincir yapısında olanlar)
- Karbosiklik hidrokarbonlar (Halka yapısında olanlar)

ALİFATİK HİDROKARBONLAR

1.Parafinler: Genel formülleri (C_nH_{2n+2}) olup,tüm karbon atomları hidrojen atomları ile doldurulmuş , bu yüzden doymuş hidrokarbon sınıflandırırlar.Karbon atomları düz veya dallanmış zincir halinde olabilirler.Dallanmış olanlara "İZO" şeklinde adlandırılırlar.

2.Olefinler:Genel formülleri (C_nH_{2n+2}) olup tüm karbon atomları hidrojen atomları ile doldurulmamış olduklarıdan petrol içersindeki hava ile reçineleşirler.Kraking olayı esnasında çok fazla meydana gelirler.

3.Asetilenler: Genel formülleri (C_nH_{2n-2}) şeklinde olup doymamış hidrokarbonlardır.

4.Diolefiner: Genel formülleri (C_nH_{2n-2}) şeklinde olmasına rağmen Asetilenlerden farklı molekül

yapısındadırılar.

KARBOSİKLİK,HİDROKARBONLAR

1.Aromatikler: Genel formülleri (C_nH_{2n-6}) olup,doymamış hidrokarbon sınıfına girerler.Molekül yapıları halka şeklindedir ve keskin kokuları vardır,

2.Naftenler (Sikloparafinler): Genel formülleri (C_nH_{2n}) olup,halka şeklinde molekül yapılı,doymamış hidrokarbon-lardırılar.

HAM PETROLÜN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Ham petrolün fiziksel özellikleri,petrollerin elde edildikleri ülkelere ve sahalara göre farklılık gösterirler.Genel olarak sıvı halde bulunurlar ve bunların rengi yeşilimsi kahverengi şeklindedirler.Bazı bölgelerde çıkartılan petroller yarı katı halde ve renk olarak siyahıtlar Özgül kütleleri kimyasal yapılılarına göre değişiklik gösterirler.(Tablo-10)

ham petrol	özgül kütle(kg/m ³)
------------	---------------------------------

çok hafif petrol	700 - 800
------------------	-----------

hafif petrol	800 - 900
--------------	-----------

ağır petrol	900 - 1000
-------------	------------

Bu tablonun dışında bazı petroller vardır.Örneğin Sovyetler Birliğinde özgül kütlesi 650 kg/m³ olan en hafif petrol bulunmaktadır. Özgül kütlesi 1080 kg/m³ olan en ağır olarak bilinen petrol Meksika'da bulunmaktadır.

Ultraviole ışık altında mavimsi kahverenkte görülür,yani flüo-resans özelliği vardır.

Petrol genellikle iyi ve esanslı kokuya sahiptir,fakat bünye-sinde kükürt varsa kokusu çok kötü olmaktadır.

Petrol benzin,alkol,eter,kloroform,karbon tetraklorür,karbon-sülfür ve aseton içinde erir.Bazı petrollerde az veya çok miktarında erimiş gazda bulunabilir.

Petrol suda ermez ama az miktarda karışabilir.Özellikle petrol yataklarına yakın yer altı suları var ise ve iki madde temas halinde iseler su ile petrol belirli oranda bir emulsiyon halinde

bulunurlar.%10,%20 ve hatta %40 oranlarında olur.Böylesi olunca petrolün değeri düşer.

Petrol konusu ile çalışanlar genellikle özgül kütle yerine A.P.I.⁰(American Petroleum Institute) derecesini kullanırlar. (Daha önceleri Fransız ölçü birimi olan Baume derecesi kullanılmıştı) .

$$A.P.I.^0 = \frac{141,5}{d(\frac{60}{60})^0 F} - 131,5$$

$d(\frac{60}{60})^0 F$: özgül kütle oranı, $60^{\circ}F$ ($15,600$)'ta petrolün özgül kütlesinin aynı sıcaklıktaki suyun özgül kütlesine oranıdır.

A.P.I. ⁰	Özgül kütle(kg/m ³)	A.P.I. ⁰	Özgül kütle(kg/m ³)
0	1076	60	738,9
10	1000	70	702,2
20	934	80	669
30	876,2	90	638,8
40	825,1	100	611,2
50	779,6		

A.P.I derecesi 38'in üstünde olan ve kükürt miktarı %(4-5)'ten fazla olmayan petrol iyi bir petrol sayılır.

Petrolün kalitesi hakkında fikir veren diğer bir özellik ısıl değeridir.Genellikle petrolün ısıl değeri (HU) 42000 kJoule /kg mertebesindedir.

Petrolün viskozite değeri de çok önemlidir, özellikle boru hattı ile taşınması düşünülüyor ise.

HAM PETROLÜN SINIFLANDIRILMASI

Fiziksel özellikler bakımından birbirinden çok farklı olarak gözükmelelere rağmen ham petrollerin hepsinin bir ortak yanı vardır,yani hidrokarbon oluşlarıdır.Bu hidrokarbonların cinslerine göre ham petroller 3 gruba ayrılırlar.

PARAFİNİK HAM PETROLLER

Asfaltik maddeler çok az bulunurlar, daha çok parafinik hidrokarbonlardan oluşurlar. Büyük miktarda Wax içerirler. Bu yüzden bunlardan kaliteli yağlama yağıları ve mum elde edilir.

— Yağlama yağların viskozite indeksi çok yüksektir. Bu yağlama yağıları için aranan bir özelliktir.

- Motorinin diesel indeksi yüksektir. Yanma kalitesi iyi dir.
- Gaz yadının is noktası yüksektir.
- Benzinin oktan sayısı düşüktür.
- Madeni yağların akma noktası yüksektir.
- Madeni yağların A.P.I0 derecesi ve alevlenme noktası yüksektir.
- Yağlama yağların rengi kullanma ile derişmez.
- Yağlama yağların çamurlaşma eğilimleri azdır.
- Yüksek sıcaklıklarda oluşan(C) karbon çok serttir, yan tak ve segmanları aşındırdıklarından, katik maddesi ile kombi ne edilmeden kullanılmazlar.

NAFTENİK HAM PETROLLER(ASFALTİK HAM PETROLLER)

Bunlar büyük oranda Naftenik hidrokarbonlardan oluşmuşlardır. Büyük miktarda asfaltik madde içerirler. Hemen hemen hiç Wax bulunmaz. Bu petrollerden ancak özel rafinasyon metotları ile elde edilen yağlama yağı parafinik ham petrollerden elde edilen yağlama yağılarına kalite olarak eşdeğerdir. Normal metotlarla elde edilen ya ğları ise sıcaklığa karşı çok hassastırlar.

- Bu tip ham petrollerden üretilen benzinin oktan sayısı yüksektir.
- Wax(mum) bulunmadığından diezel yakımı(motorju) üretimi kolaydır.
- Asfalt bol ve iyi kalitededir.
- Kükürt miktarı fazladır.
- Tuzlar ve yabancı maddelerden arıtma güç olmaktadır.
- Yağlama yağların rengi koyu ve viskozite indeksleri düşüktür.

KARI SIK HAM PETROLLER.

Bu tip ham petroller dünyada üretilen petrollerin %75 'ini oluştururlar.Hem parafinik hem de naftenik bir miktarda aromatik hidrokarbon içerirler.Özellikleri ise parafinik ve nafte-nik yapılı ham petrollerin arasındadır.Genel olarak parafinik-lere daha yakındırlar.

- Benzin oranı ve bu benzinin oktan sayısı yüksektir.

-Wax(mum)içerirler.

-%(0,25 - 1,0) arasında kükürt içerirler.

- Elde edilen yağlama yağların kalitesi,parafinik ham petrollerden elde edilen yağlar .kalitesindedir,fakat arıtma giderleri yüksektir.

HAM PETROLDEN YAKITLARIN ELDE EDİLMESİ.

Kimyasal yapısı ve özellikleri belirlenmiş olan ham petrolden çeşitli uygulama yerleri için yakıtlar elde edilir: Bu iki şe-kilde yapılır.

-Ham petrolün damıtılması (Destilasyonu).

-Ham petrolün ve yarıham türevlerin iç yapısını değiştirmek metodu.

HAM PETROLÜN DAMITILMASI(DESTİLASYONU)

Ham petrolün damıtılması aşağı yukarı 120 senelik bir geçmişe sahiptir. 1860 'da Amerika'da kurulan ilk rafineri gaz yağı el-de etmek için kurulmuştur ve günümüzde muazzam bir gelişme göstermiştir.Destilasyonun prensibinin çeşitli uygulamaları olma-sına rağmen,uygulanan prensiplerin ortak bir yanı vardır,yani petrol değişik kaynama noktasına sahip kompleks hidrokarbonla-rının karışımı oluşudur.Destilasyon ise bu hidrokarbonların frak-siyonlara ayrılmasını veya yakın kaynama noktasına sahip ürünlerin eldesini sağlar.Bu ürünlerin destilasyon sıcaklıklarını Tablo-12'de verilmiştir.

TABLO-12

Destilasyon ürünlerleri	Destilasyon aralığı ($^{\circ}C$)
LPC	35
Hafif benzin	35-95
Ağır benzin	40-205
Gaz yağı(kerosene)	160-250
Motorin	180- 360
Yağlama yağları	370-550
Artıklar	425 ve yukarı

Fraksiyonlu destilasyon metodu: Ham petrol tanklarından alınan petrol önce ısıtma fırınlarına gönderilir. Burada $310-370^{\circ}C$ sıcaklıklara kadar ısıtılr. $380^{\circ}C$ 'nin üzerinde hidrokarbonlar parçalandıklarından, yani kraking meydana geldiğinden, bu sıcaklığın üstüne çıkmaz. Paha sonra ısıtılmış olan ham petrol dik bir destilasyon kulesinin alt kısmına gönderilir. Burada kaynama noktaları bu sıcaklığın altında olan hidrokarbonlar buharlaşırlar, ağır hidrokarbonlar ise sıvı halde kalırlar. Şekil-9'da görülen destilasyon kulesinin içi her biri $5-7$ cm'lik seviyede sıvı tutabilen tepsiler ve kayna ma başlıklarından oluşmuştur. Tepsiler birbirileri ile taşma boruları yardımı ile irtibatlıdır. Buharlaşmış olan hidrokarbonlar kulenin üst kısmına doğru yükselirken, soğurlar ve kism kism yoğunşmaya başlarlar. Yoğunşmayı hızlandırmak için kulenin üst kısmından reflux denilen benzin pompalanır. Yoğunşan hidrokarbonlar tepsilerin içine dolar ve seviye, taşma borusu seviyesine gelince bir altındaki tepsiyeye akarlar. Alt tepsiyeye doğru akanlar reflux görevini de görmüş olurlar.

Alt tepsı bir üsttekine göre daha sıcak olduğundan bir kısmı yeniden buharlaşır.Bu şekilde her tepsiye belirli sıcaklıkta kaynayan hidrokarbonlar birikmiş olur.Yani düşük kaynama noktasına sahip olanlar üstte,yüksek kaynama noktasına sahip olanlar destilasyon kulesinin alt kısmındaki tepsilerde birikirler.Biriken hidrokarbonlar eyri ayrı yerlerden dışarıya alınırlar,soğutuculardan geçirilip depolanırlar.Böylece benzin,kerosen,motorin gibi petrol ürünlerini elde edilmiş olur.

380°C'ye kadar buharlaşamayan hidrokarbonlar ise damıtma kulesinin dibindeki tortuları oluştururlar ve buradan dışarıya alınırlar.Tortadan yağlama yağları,fuel oil,ve asfalt elde edilir.Tortular ikinci bir işleme tabii tutulurlar.

b-Vakum altında damıtma: Kraking'e uğratmadan,tortunun çeşitli molekül büyülü gruplarına göre ayırtılabilmesi için ve bu şekilde çeşitli madeni yağların elde edilmesi için vakum altında damıtma yapılır.Vakum altında damitmada sıcaklıklar,kraking sıcaklığının altında kalacak şekilde buharlaşma gerçekleşir.Bu damıtma sonunda kalan tortuya fuel oil denilebilir,fakat oldukça ağır bir fuel oildir.

HAM VE YARIHAM MADDELERİN İÇ YAPISININ DEĞİŞTİRİLMESİ

1.Kraking:Kulenin alt kısmından çıkartılmış olan ağır tortulardan daha hafif ürünler elde etmek için uzun ve ağır moleküller kırılarak daha hafif moleküller haline dönüştürülürler.Yani bu tortudan benzin,kerosen,v.s gibi hafif hidrokarbonlar elde edilirler.

Kraking iki şekilde yapılır.

-Termal kraking:

Ağır ve uzun moleküllü hidrokarbonlar 1,5-10(MPa) basınç altında 500-6000C'ya kadar ısıtırlar.Bu basınç ve sıcaklıkta parçalanma olur ve daha küçük moleküllü hidrokarbonlar oluşurlar.

Kraking esnasında bir miktar katran ve kömürde oluşur.eskiden Kraking büyük kazanlarda yapılmaktaydı.Bugün ise bu işlem uzun borularda yapılmaktadır.Boruda sıvı belli bir hız ve basınçta akar.Boru sıcaklığı ise gittikçe artar,belirli bir sıcaklıktan sonra parçalanma olur.

-Katalizörlü Kraking

Bu metotta değişik katalizörler kullanılarak ağır hidrokarbonlar parçalanırlar.Ağır hidrokarbon buharları katalizöre sevk edilir.Katalizör olarak da genellikle silikatlar(AlSiO₃-aliminyum silikat gibi)seçilirler.İşlem esnasında sıcaklık 400-5000C ve basınç 0,1-0,4(Mpa)dır.

Kraking'de elde edilen yakıtın büyük bir kısmı benzindir.Kraking koşullarını değiştirek Motorin elde edilebilse de setan sayısı düşük olduğu için,diesel motorlarında kullanılmaya pek uygun değildir.

-Aromatizasyon

-Polimerizasyon

-İzomerizasyon

SIVI YAKITLARDAN ARANAN GENEL ÖZELLİKLER

Yakıtların genel özelliklerini belirleyebilmek için çeşitli deneyler yapılır.Bu özellikler ve deneyler şu şekildedirler:

ÖZGÜL KÜTLE VE A.P.I.⁰ DERECESİ

Petrol ürünü olan bu yakıtların özgül kütleleri çok değişkendirler.Genel olarak parafinlerlerin özgül kütleleri en düşük, aromatların ise en yüksektir.Sanayide genellikle bu yakıtları yakan sistemlerde püskürtme söz konusu olduğundan,püskürtme karakteristikleri bakımından özgül kütle önemlidir.Damlacık çapı,damlacık ortalama yolu,birim zamanda püskürtülen yakıt miktarı özgül kütlenin fonksiyonudurlar.

Daha öncede söylediğimiz gibi petrol sanayide özgül kütle yerine A.P.I0 derecesi kullanmaktadır..

$$A.P.I.^0 = \frac{141,5}{d(60/60)^0 F} - 131,5$$

$d(60/60)^0 F$:özgül kütle oranı, $60^{\circ}F$ ($15,600$)'ta petrolün özgül kütlesinin aynı sıcaklıktaki suyun özgül kütlesine oranı

Yakıtların A.P.I.⁰ derecesinin yüksek olmasını isteriz.Formülden de görüldüğü gibi ($d60/60 F$) azaldıkça A.P.I,⁰ artmaktadır.

$$\rho_{benzin} = 735 \text{ kg/m}^3, \quad \rho_{motorin} = (820 - 865) \text{ kg/m}^3$$

ELEMENTER ANALİZİ

Yakıtta C,H₂,O₂ gibi istenen elementlerin yanısıra,istenmeyen element olan S(kükürt) bulunur.Yanma esnasında oluşan SO₂ ve SO₃, su buharı ile birleşerek H₂SO₃(sülfüröz asit) ve H₂SO₄ (sülfirik asit) meydana getirirler.Sülfüröz asidin kötü bir etkisi olamaz,çünkü yüksek sıcaklığın etkisi ile parçalanmaktadır.Ancak sülfirik asit gazların çığ noktasını yükseltmekte dir.Yaklaşık olarak 150°C mertebesine yükselen çığ noktasında çok korozif olan asit yoğunması meydana gelir.Yoğunmuş olan sülfirik asit ise metal aksamların kısa zamanda aşınmasına neden olmaktadır.

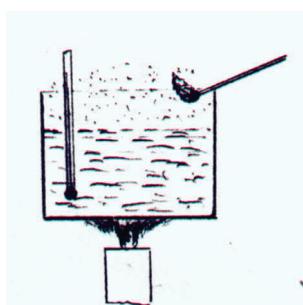
Ağır yakıtların motor yakıtı olarak kullanılmama nedenlerinden biri de içindeki kükürt miktarının yüksek olmasıdır.

Asfalt,içinde bileşim halinde kükürt bulunan çok moleküllü hidrokarbonlardandır.Normal koşullarda yakıt içersinde sert tanecikler şeklinde bulunur,yüksek sıcaklıklarda ise erir. Yakıtın içindeki asfalt 95(0,5-0,7) arasında olmalıdır.Daha fazla olması halinde enjektör,karbüratör veya brülör memesinin tıkanmasına neden olur.

ALEVLENME NOKTASI, YANMA NOKTASI ve KENDİ KENDİNE TUTUŞMA NOKTASI

Bu üç değer birbirleri ile oldukça bağlılı olduklarından beraberce göz önüne alınırlar.

Alevlenme noktasını tespit etmek için standart bir kap kullanılır



Şekil 10

(Pensky - Martens alev ölçme cihazı)(Şekil10) Normal şartlarda kabin üstüne bir alev yaklaştırıldığında yakıt yanmaz. Yakıt ısıtılsa, belirli bir sıcaklıktan sonra yakıta doğru bir alev götürürse alevin etkisiyle yakıt yanar ve hemen söner, işte bu sıcaklığa yakıtın alevlenme sıcaklığı denir. Bilindiği gibi sıvı bir yakıtın yanabilmesi için önce buhar haline dönüşmesi, sonra hava ile karışması ve daha sonra yeter büyülükte enerji kaynağı ile tutulması gerekmektedir. Kapta ısıtılan yakıtın üzerinde ısınma sonucu hafif hidro-

karbonlardan oluşan bir buhar tabakası oluşur ve hava ile karışır. Eğer buhar /hava oranı uygun oranda ise tutuşma olur. Fakat buharlaşma hızı yanma hızından küçük ise yanın karışımın yerine yanabilir karışım alamayacağından yanma derhal durur işte bu olayın meydana geldiği sıcaklığa o yakıtın alevlenme noktası denir. Sistemin güvenirliği bakımından önemli bir noktadır.

Örnek : Gaz Yağ 38°C
Benzin 20°C
Motorin (45-65)°C

Eğer yakıt ısıtılmaya devam edilirse buharlaşma hızı gittikçe artacak, öyle bir sıcaklığa erişilir ki yanın karışımın yerini yanabilen karışım derhal alır. Bu durumda yanma başlar ve sönme den devam eder. Yakıtın bu sıcaklığına yanma noktası denilir. Yakıttı bir alev meydana gelmesi oksidasyonun sonucudur. Oksi-dasyon ekzodermik bir reaksiyon olduğundan oksidosyona maruz kalan yakıtın ısınması gerekmektedir. Ancak acıga çıkan ısı, ortama atılan ısından daha küçük ise ısınma söz konusu olamaz. Sıcak bir plaka üzerine bir yakıt damlası bırakılırsa hemen oksidasyon başlar (Sek.11)



Şekil 11

	Tutuşma Sıcaklığı (oF)	Tutuşma Sıcaklığı (oC)
C2H5OH etil alkol		
Benzin 73 octan	738	392,2
92 octan	570	299
100 octan	734	390
Kerosen (Gaz yağı)	804	429
Motorin	450-531	221-277
Decane	462	250
Hidrojen	1065	574

Kendi kendine tutuşma sıcaklığı:

ASTM – D2155 metodu ile bulunur. Sabit sıcaklıktaki, bir karanlık odaya dış ortam basicında yakıt gönderilir ve 5 dakika sonra, bir parlama görülürse bu sıcaklık o yakıt için kendi kendine tutuşma sıcaklığıdır. Eğer ışık görülmeyse, aparat temizlenir ve sıcaklık arttırılarak deney tekrarlanır.

DONMA NOKTASI (BULUTLANMA VEYA AKMA NOKTASI)

Ham petrol ürünlerini soğutulduğunda gittikçe daha koyu bir karakter alır.

Koyulaşmanın iki nedeni vardır :

Viskozite artması : Sıcaklığın düşmesi ile birlikte bir sıvının viskozitesi artar. Hidrokarbonlar karışımı olan petrol ürünlerinin viskozite değişimi ayrıntılı olarak incelenecektir.

Moleküllerin kristalleşmesi : Koyulaşmanın nedeni yakıt içindeki bazı tanelerin kristalleşme olayıdır. Hidrokarbonlar karışımı olan bu yakıtların içinde karbonu çok olan parafinik hidrokarbonlar vardır. Bu tür HC'ların önemli özelliği oldukça yüksek sıcaklıklarda kristal yapıya dönüşmeleridir. Kristal hale dönüşen bu HC'lar iki sınıfa ayrılırlar

- Mikro
- Makro

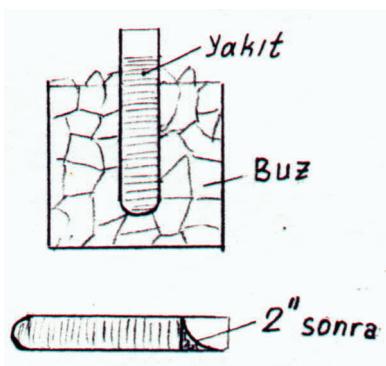
Kristalleşmiş HC'lara Wax adı verilir. Bu nedenle iki türlü wax vardır :

- Mikro wax
- Makro wax

Wax kristallerinin bir özelliği kendi aralarında birbirleri ile birleşip bal peteği şeklinde bir oluşum meydana getirmeleridir. Bu petekler yakıtı bünyesinde hapsederk akmasını engellerler. İşte akma noktası diye isimlendirilen sıcaklık bu kristallerin oluşması, yakıtı hapsetmesi ve akmasını engelleyen durumlardır.

Özellikle mikrowax çok ince dokulu bir petek meydana getirecek için yakıtın akmasına aşırı derecede engel olur. Akma noktası, yakıtın depolanması bir yerden bir yere taşınması esnasında çok büyük önemi vardır. Çünkü belli bir sıcaklık derecesinin altında yakıt soğutulursa ya akmaz yada mikrowax halinde olacağından oluşan kristaller çamur halinde dibe çökerek depoların kirlenmesine ve boru donanımının tıkanmasına ve yakma sisteminin çalışmadan hale gelmesine neden olurlar.

Bu noktaların saptanması için deneyler şu şekilde yapılır:



Şekil 12

Şek.12 de görüldüğü gibi, yakıt içinde su olmamasına dikkat edilerek cam tüp içine konulan yakıt soğutulmaya başlanır. Soğutulan yakıtın saydamlığını bozduğu sıcaklığı bulutlanma noktası denir. Bir miktar daha soğutulduktan sonra tüp sarsılsadan soğutucudan çıkartılır ve yan yatırılır. Eğer bu şekilde yatırılmış tüp içersindeki yakıt 2 saniye sonra akmaya başlarsa bu sıcaklığı akma noktası denir. Petrol ürünleri farklı olduklarında belirli bir donma noktaları yoktur. İlk kristalleşme, donma noktası olarak kabul edilir.

KARARLILIK

Bu özellik yakıtların depolama esnasında ve depo ile yakıcı arasında bir tortu meydana getirmesi veya getirmemesi özelliğidir. Tortu meydana getirmeyen yakıtlar kararlı yakıtlardır. Kararlılık özellikle ağır yakıtlar için çok önemli bir özellikleştir.

Tortunun oluşması:

Tortunun oluşmasının nedenleri çeşitlilidir:

1. Yakıtın kendi bünyesinden doğan tortu
 - Karbon,tipi tortu
 - Wax tipi tortu
2. Yabancı maddelerden doğan tortu
 - Su
 - Anorganik maddeler (pas,toz gibi)
 - Organik maddeler (üstübü,conta v.s. gibi)

Yabancı maddelerden oluşan tortu türleri filitreleme ile temizlenebilir ve eğer temizliğe dikkat edilirse bu tip tortu oluşamaz.

Yakıtın kendi bünyesinden doğan tortu çok önemli bir konudur. Karbon tipi tortunun oluşumunu açıklayabilmek için önce yakıt bünyesini inceleyelim. Bu özellik daha çok ağır yakıtlarda önemli olduğundan daha çok fuel oil üzerinde duracağız. Fuel oil iki kısımdan oluşur:

- Sıvı ortam (Malten)
- Sıvı ortam içinde koloidal olarak dağılmış katı parçacıklar (Asfalten)

Asfaltenler, yapı itibarı ile bir soğana benzemektedirler. Ortada C/H oranı çok yüksek olan ve yaklaşık saf karbona yakın bir nüve vardır. Bu nüvenin etrafında ise dışa doğru C/H oranı gittikçe azalan tabakalar var ve bunların en dışındaki tabakanın C/H oranı sıvı ortam olan maltenen'in C/H oranına eşittir. Asfaltenlerin bünyesinde bir miktar S, O ve N vardır. Ortadaki özün etrafında bulunan tabakalar daha çok aromatik yapıdadırlar.

Asfaltenler, malten içinde süspansiyon halinde bulunduğu için yüzey gerilimleri

arasında bir denge vardır.Herhangi bir nedenle bu denge bozulursa süspansyon hal bozulur ve asfalten zerreçikleri birbirleri ile birleşerek çamur halinde dibe çökerler. Bu durum özellikle malten fazının C/F oranının düşmesi halinde belirgin olarak kendisini gösterir.

Bu çözeltinin benzen içinde çözülebilen kısmına asfalten denir. Çözünmeyen kısma da karbon temelli olmayan yabancı maddelerdir.(toz, pas, vb). Ağır yakıtın n-heptan içinde çözünebilen kısmına da malten denir.

Örneğin : Fuel oil'in inceltme amacı ile pentan veya hentan ilave edilmesi veya ful oil'in biraz fazlaca ısıtılması hallerinde malten ve asfalten arasındaki yüzey gerilim dengesi bozulur çamulaşma olayı meydana gelir.

Eğer yakıtta tam bir kararlılık var ise bu tür olaylar nedeni ile denge bozulmaz.

Fuel oil birinci damıtma kulesi dibinde kalan 1 bakiye, vakum destilasyonu sununda kalan 2 bakiye ve kraking işlemi sonunda elde edilen kraking ürünleri ile bir damıtma ürünü olan motorinin değişik oranlarda karıştırılması ile elde edilir.Bu karıştırma işlemi, esnasında dengenin bozulup bozulmayacağıın saptanması gereklidir. Bu saptama işlemine **FLOKÜLASYAON ORANI** deneyi yardımcı olmaktadır. Bu deney Schell Petrol Şirketi tarafından geliştirilmiştir ve SMS305 kod numarasını almıştır. Bu deneyin sonucu ağır hidrokarbon yapısının, asfaltenlerin koloidal dengesini bozulmadan, ne miktar bir fiziksel veya kimyasal değişikliği mazrız bırakılabileceğini gösterir.

Flokülasyon oranı yükseldikçe asfaltenleri, koloidal dispersyon halinde tutmak o derece güçleşmiş olur.

Deneyin yapılışı :

1. Dört adet 25 ml kapasiteli şişe içine $2\pm0,02$ gr miktarlarında yakıt konur.
2. %10 oranlar aralıklarla çeşitli xylene/n-heptan karışımı hazırlanır.
3. Ağır yakıtın flokülasyon oranı mertebesinde olduğu tahmin edilen 4 adet xylene/n-heptan karışımından 10 ml alınır ve numune şişelerine ilave edilir.
4. Her şişe içinde 6-7 mm çap ve 400 mm uzunluğunda bir cam tüp geçen tipalarla kapatılarak 95-100°C lik su banyosuna daldırılır.
5. Birer dakika ara ile ve 5 sn süre ile her şişe çalkalanır. Ağır yakıt xylene/n-heptan karışımı içinde tamamen çözüldükten sonra şişeler 30 dakika süre ile ve çalkalanmadan banyoda tutulur, ve çıkartılarak 30dk soğutulur.
6. 250 mm'lik ve 42 No'lu filtre kağıdı üzerine her şişeden üçer damla damlatılır. Bu kağıt üzerindeki izler karışımın kararlılığını bozup bozmadığını kanıtlar.
7. Damlalar kuruduktan sonra filtre kağıtları üzerindeki lekelerden koyu bir çemberi olan ve çemberi olmayan komşu leke seçilir.
8. Bu iki lekeyi veren xylene/n-heptan karışımı arasında %1 aralıkla yeniden xylene/n-heptan karışımı hazırlanır ve deney tekrarlanır.

9. Koyu çember şeklinde iz vermeyen en düşük xylene miktarları numunedeki xylene &'si yakıtın flokülasyon oranı kabul edilir.

Eğer, damlanın bıraktığı iz koyudan yavaş yavaş açık renge giderse kararlılık bozulamamış demektir. Ortadaki koyu damlacık izi daha koyu bir çember ile çevrilir ve bu çemberin dışı birden açık renge dönüşür ise karalılık bozulmuş demektir. Çünkü karalılığın bozulması ile asfalten zerreleri birbirleri ile birleşip daha büyük boyutlu parçalar haline geleceğinden, filtre kağıdının gözeneklerinden geçemeyecekler, üst üste yiğilırlar. Bu yiğilma ise çok koyu bir çember şeklinde kendini gösterir. Bu çemberin oluşmasından itibaren artık filtre kağıdının gözeneklerinden asfalten parçacıkları geçmeyeceği için çemberin dışındaki renk birden bire oldukça açık renk şecline dönüşür.

Asfaltenlerin çökmeye başladığını belirten karışım içindeki % ksilen oranına o yakıtın flakülasyon oranı denir.

Fuel oil imalinde ksilen veya n-heptan kullanılmayıp,motorin türünden HC karışımıları kullanılmaktadır. Bu durumda kullanılan yakıtın parafinik durumunun saptanması gerekmektedir. Bu amaçla yapılan deneye ANİLİN NOKTASI deneyi denir. Anilin saf bir HC' dir ve her sıcaklıkta aromatik HC'ları bünyesinde eritir, parafinik HC'ları ise ısıtıldığı zaman eritebilir. Bu nedenle bir damıtma ürünü yakıt (örneğin motorin) %(50/50) oranında anilin ile karıştırılıp ısıtılsa belirli bir sıcaklıkta tüm yakıt anilin içinde erir ve berrak bir karışım elde edilir. Bu karışım soğumaya terk edildiğinde yine belirli bir sıcaklıkta parafinik HC' lar ayrışırlar. Yakıt içinde parafinik HC'lar ne kadar az iseler ayrışma o denli düşük sıcaklıkta meydana gelir. O halde ayrışma sıcaklığının yüksek oluşu yakıt içinde parafinik HC 'ların fazla olduğunu gösterir.Ayrışma sıcaklığı (°F) olarak ifade edilir ve bu sıcaklığa o yakıtın ANİLİN NOKTASI adı verilir.

Kararlığın bozulması veya bozulmaması yüzey gerilime de bağlıdır. O halde bir fuel oil'in dengesini bozan (ksilen n-hepten) karışımı ile o fuel oil'i karıştırmak istediğimizde, damıtma ürünü yakıtın yüzey gerilimlerinin de saptanması gereklidir.

Elde edilen değerler ile kararsızlık için şu denklem kurulabilir:

$$Ao = Ax + 7,6(\delta g - \delta x)$$

Ao - Fuel oil ile kararlığı bozmadan karıştırılabilen damıtma o ürünü yakıtın sahip olacağı en yüksek parafinik oran (en yüksek anilin noktası)

Ax - Fuel oil'in dengesini bozmaya başlayan(ksilen,n-hepten) karışımın anilin noktası.

δg - Damıtma ürünü yakıtın 25°C'deki yüzey gerilimi(dyn/cm)

δx - Kararlığı bozan(ksilen,n-hepten) karışımın 25°C deki yüzey gerilimi {dyn/cm}

Bu denklemlerin yardımcı ile karışım teşkil edilirken,dengesinin bozulup

bozulmayacağı konusunda bir fikir sahibi olunabilir.

Örnek:

Bir fuel oil ile motorin 1/4 oranında karıştırılarak inceltilecektir. Bu karışım yapılip yapılamayacağının saptanması istenmektedir.

Verilenler: fuel oil flakülasyon oranı 25 (dengeyi bozan ksilen,n-heptan karışımı içinde %25 ksilen var demektir).

Karışımın yüzey gerilimi 21,4 dyn/cm olarak ölçülmüştür.

Karışımın anilin noktası 113°F dır.

Karışında kullanılacak motorinin, yüzey gerilimi 28 dyn/cm, anilin noktası 150°F dır.

$$A_o = A_x + 7.6(\delta g - \delta x)$$

$$A_o = 113 + 7.6(28 - 21.4) = 163.16^{\circ}\text{F}$$

Buna göre diesel yakıtının anilin noktası 163,16°F dan küçük olduğu sürece dengeli bir karışım yapılabilir. Mevcut motorinin anilin noktası 150°F küçük 163,16°F olduğundan karışım dengeli olacaktır

VİSKOZİTE

Sıvı yakıtların en önemli özelliklerinden biridir. Viskozite basit olarak sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç diye tarif edilebilir. Bir sıvı ne kadar az akıcı ise viskozitesi okadar yüksektir.

Yakıtların depolanmasında, borulardan akışı ve püskürtme özellikleri ile ilgilidir.

Yüksek viskoziteli kalın bir yakıt; ısıtılınca viskozitesi düşer, daha akıcı hale gelir. Bu nedenle viskozite saptanırken sıcaklıkta mutlaka belirtilmesi gereklidir, iki çeşit viskozite tanımlanabilir:

η Dinamik viskozite (moleküllerin iç sürtünmerini karakterize eden bir katsayı)

ν Kinematik viskozite

$$\nu = \eta / \rho$$

$$\rho = \text{yakıtın özgül kütlesi gr/cm}^3$$

En çok kullanılan viskozite birimleri

kinematik viskozite birimi -stock (1 stock = 1 cm²/s)

dinamik viskozite birimi -poise (1 poise = 1 gr/cm.s)

Özel viskozite birimleri:

°E -ENGLER derecesi: 20°C'ta 200 cm³ yakıtın belirli bir kaptan akış zamanının, aynı sıcaklıkta, aynı kaptan, aynı miktarındaki suyun akış süresine oranıdır.

Örnek:

$$t_{su} = 19''$$

$$t_{yakit} = 38''$$

$$yakıt viskozitesi = 38 / 19 = 2^{\circ}E$$

$^{\circ}RI$ – Redwood viskozite birimi daha çok İngiltere'de kullanılmaktadır. Özel bir viskozimetreden, 50 cm^3 lük sıvının akma zamanı olarak tarif edilir. Sıvı sıcaklığı 100°F olmalıdır.

Örnek: Akış 38 sanyede tamamlanabiliyor ise ($38^{\circ}\text{RI}/100^{\circ}\text{F}$)

$^{\circ}\text{SSU}$ - Saybolt viskozite birimi daha çok Amerikada kullanılır. Özel bir kaptan 60 cm^3 lük sıvının akma zamanı olarak tarif edilir. Sıvının sıcaklığı 100°F olmalı.

Örnek: Akma zamanı $40''$ ise ($40^{\circ}\text{SSU}/100^{\circ}\text{F}$)

Saybolt Furul : SSU'nun aynısı olup aradaki fark yakıtın geçtiği delik 10 defa daha büyük olması. Ağır yakıtların viskozite ölçümünde kullanılır. Zamandan tasarruf sağlanır.

Saybolt Furul $X 10 = \text{SSU}$

Daha önce söylediğimiz gibi, fuel oil damıtma ürünü yakıtlarla damıtma sonucu kalan bakiye(tortularla) karıştırılarak elde edilir. Bu karıştırma sonunda elde edilen karışımın viskozitesinin saptanmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En hassas yöntem Logaritmik bir karışım koordinat sistemi kullanmaktadır. VALTHER formülüne göre:

$$\log \log (P + 0,6) = A + B \cdot \log T$$

Burda A,B-sabit sayılar

v = kinematik viskozite

T = mutlak sıcaklık

Bu bağıntı nedeni ile eğer oordinat ekseni çift logaritmik olarak, absis ekseni de logaritmik olarak seçersek, sıcaklığın fonksiyonu olarak viskozitenin değişimini doğrularla gösterebiliriz.

Kimyasal bir reaksiyon olmadan iki ayrı viskozitedeki sıvı birbiri ile karıştırılacak olur ise, elde edilecek karışımın viskozitesi aritmetik oran ile saptanabilir. (Eğer viskoziteinin sıcaklığa göre değişimi doğrusal ise)

Bu açıklamadan anlaşıldığı gibi absis ekseni desimal sistemde (0-100) arasında bölünmüş olan oordinat ekseninde çift logaritmik olan bir koordinat sistemi ile, çeşitli viskozitedeki fuel oil' lerin karıştırılmaları ile elde edilecek viskozitenin saptanması olasıdır.

Eğer elimizde logaritmik koordinat eksenli diagram yok ise şu işlem yapılır: Aynı sıcaklıkta 2 yakıtın viskoziteleri (v_1) ve (v_2) olsun, çift logaritmik oordinat ekseni üzerinde bu 2 viskoziteye karşılık olanlar (y_1) ve (y_2) olacak demektir

$$y_1 = \log \log (v_1 + 0,6)$$

$$y_2 = \log \log (v_2 + 0,6) \text{ dir.}$$

Karışım %a miktar birinci yakıttan ve %b ikinci yakıttan oluşmuş olsun: Bu durumda karışımın viskozitesi:

$$y_{\text{karışım}} = a.y_1 + b.y_2$$

$$y_{\text{karışım}} = a \log \log (v_1 + 0,6) + b \log \log (v_2 + 0,6)$$

$$y_{\text{karışım}} = \log \log (v_{\text{karışım}} + 0,6)$$

Örnek:

Kinematik viskoziteleri sırasıyla 11,8 cSt ve 153 cSt olan iki yakıt karıştırılarak viskozitesi 45 cSt olan bir yakıt elde edilmek isteniyor. Karışım oranı ne olmalıdır.

$$y_{\text{karışım}} = a.y_1 + b.y_2$$

$$a + b = 1$$

$$y_1 = \log \log (11,8 + 0,6) = 0,0374$$

$$y_2 = \log \log (153 + 0,6) = 0,3393$$

$$a = 1 - b$$

$$y_{\text{karışım}} = (1 - b).0,0374 + b.0,3393$$

$$b = (y_{\text{karışım}} - 0,0374) / 0,3019$$

$$y_{\text{karışım}} = \log \log (v_{\text{karışım}} + 0,6) = \log \log (45 + 0,6) = 0,22$$

$$b=0,6048 \text{ (ikinci yakıt yüzdesi olur)}$$

$$a=0,3952 \text{ (birinci yakıtın yüzdesi)}$$

13.7. VİSKOZİTE İNDEKSİ (VI)

Bir yakıtın viskozitesinin sıcaklıkla ne şekilde değiştiğini göstermek için bulunmuş bir sistemdir. Bu sistem "A" ve "B" referans yakıtların viskozitelerinin karşılaştırmasını esas almaktadır.

Keyfi olarak iki yakıt seçelim.

$$A \text{ yakıtın VI} = 0$$

B yakıtın VI = 100 kabul edilir ve diğer yakıtlar bunların arasında kabul edilir.

Bir yakıtın VI'si saptanırken "A" ve "B" referans yakıtların ile VI'si bulunacak yakıtın 100°F ve 210°F taki viskoziteleri saptanır. Her üç yakıtın 210°F taki viskoziteleri eşit olmalıdır.

$$VI = [(A - X) / (A - B)] \times 100 \text{ formülü ile bulunur.}$$

A - VI'sı 0 olan yakıtın 100°F taki viskozitesi

X - VI'si bulunacak olan yakıtın 100°F taki viskozitesi

B - VI'sı 100 olan yakıtın 100°F taki viskozitesi

Viskozite indeksi (V.I) sıcaklık değişiminin yakıt viskozitesi üzerindeki etkisini

gösteren deneysel bir rakamdır. Düşük VI sıcaklığın viskozitede büyük değişim yaptığına, yüksek bir VI ise viskozite sıcaklığın etkisi ile az miktarda değiştiğinin bir işaretidir. Petrol endüstrisinin gelişim yıllarda dahi bazı yakıtlar özellikle Naftenikler, sıcaklık etkisi ile parafiniklere nazaran daha çabuk inceldiği görülmüştür

BENZİN

Benzin ismi altında kullanılan yakıta geçmeden önce, benzini yakıt olarak kullanan otto motorunun çalışma prensibini gözden geçirelim. Bu motorun en önemli elemanları silindir, piston, biyel, karank mili, subaplar, buji ve karbüratör olmaktadır. Bu tip motorlarda krank milin iki dönüşünde iş yapabiliyorlardır. Buna göre 4 veya 2 stroklu olarak adlandırılırlar. Fakat her iki tiptede, motorun çalışması emme, sıkıştırma, ateşleme, ve yanma, genişleme ve egzost (yanmış gazların dışarıya atılması) şeklindedir. Piston doğrusal öteleme hareketini iki konum arasında yapar. Bunlar AÖN- piston yüzü krank eksenini en yakın olduğu konuma karşı gelir, ÜÖN – piston yüzü krank eksenine en uzak olduğu andaki konuma karşı gelmektedir. piston ÜÖN’ dan AÖN’ ya doğru hareket ederken emme supapı açık olsun. Pistonun hareketi sonucunda silindir içinde bir alt basınç oluşur. Bu alt basıncın etkisi ile atmosferdeki hava karbüratörden geçerek silindirin içine dolmaya başlar. Belirli hızdaki hava karbüratörden geçerken, karbüratör dar kesitinde (ventüride) hızı artar ve basıncı düşer. Ventüride hava basıncı atmosfer basıncının altına düşüğünden karbüratör memesinden benzin küçük zerrecekler halinde, emilmekte olan hava içine püskürülür ve bu hava ile karışır. Basıncın düşük olması sonucu benzinin büyük bir kısmı bu esnada buharlaşır. Buharlaşan ve hava ile karışan yakıt emme kanalından geçerek silindire dolar. piston AÖN’ yi geçtikten biraz sonra emme supapı kapanır, ve emme süreci tamamlanır. Piston AÖN’ dan ÜÖN’ ya giderken silindir içinde bulunan hava –yakıt karışımı sıkıştırır. Sıkıştırma sonucu karışımın basınç ve sıcaklığı artar (sıkıştırma esnasında yakıt kendi kendine tutuşarak yanmamalı). Piston ÜÖN’ ya yaklaşınca bujiden verilen bir kivilem yardımıyla karışım tutuşur ve hızlı bir şekilde yanmaya başlar. Yanma devam ederken piston ÜÖN’ dan AÖN’ ya doğru harekete geçmiş ve genişleme (iş alma) sürecini yapmaktadır. Piston AÖN’ ya varmadan biraz önce eksozt supapı açılır ve egzost gazları atılmaya başlanır. Daha sonra ise piston AÖN’ dan ÜÖN’ ya gideken yanmış gazları süpürerek dışarıya atar. Piston ÜÖN’ ya varmadan önce emme supapı açılır ve silindire taze dolgu alınmaya başlanır. Ekzost supapı ise ÜÖN’ dan biraz sonra kapanır.

Yukarıda izah edilen 4 stroklu otto motrunda, daha önce söylediğimiz gibi yakıt olarak benzin kullanılmaktadır.

OTTO MOTOR YAKITLARINDA ARANAN ÖZELLİKLER

Otto motorlarında yakıt olarak benzinin kullanılması için bazı özellikler sahip olmak zorundadır:

1. Vuruntuya direnç :



Benzinli motorlarda yanma, bujide kıvılcımın çakmasıyla başla. Alev cephesi ilerlerken bir yandada silindirdeki taze dolgu ısınmaktadır. Eğer bu sıcaklık taze dolgunun kendi kendine tutuşma sıcaklığının üstüne çıkarsa o zaman taze dolgusunda yeni bir alev cephesi doğar, yanma buradanda yayılmaya başlar. Bu ikinci alevlenme bir noktadan başlayacağı gibi birçok noktadan aynı anda başlayabilir.

Bu şekilde ki yanmalarda yanma hızı çok artmaktadır.

Bununla birlikte silindir içindeki basınç ve sıcaklık da yükselmektedir. Bu olaya vuruntu denir. Motor çalışması bakımından zararlı olan bu olay motorlarda istenmez. Vuruntuya etki eden faktörlerden biriside yakıt faktörüdür, yani yakıtların vuruntuya direnci bir yakıtın vuruntuya karşı olan direnci oktan sayısıyla belirlenir.

Bir yakıtın okan sayısını saptamak için şu şekilde hareket edilir:

n-heptan(C_7H_{16}) ve izo-oktan(C_8H_{18}) dan bir karışım hazırlanır. n-heptanın vuruntuya direnci 0, izo-oktanın vuruntuya direnci 100 olarak kabul edilir. Bu kabullere göre karışımın içindeki izooktan yüzdesi arttıkça, karışımın vuruntuya direnci artacaktır.

Oktan sayısının saptanmasında özel konstrüksiyonlu motorlar kullanılmaktadır. Bu motorlarda sıkıştırma oranı istege göre değiştirilmektedir. En çok kullanılan deney motoru ise kısaca C.F.R.(Commitee of Fuel Research) olarak adlandırılır. Bu deney motorlarında devir sayısı, ateşleme avansı, hava giriş sıcaklığı, hava fazlalık katsayısı, soğutma suyu sıcaklığı, yağlama yağ sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, vs. Faktörler sabit tutulabilmektedir.

Oktan sayısı saptanacak olan yakıt deney motorunda denenir. Koşullar değiştirilmeden motor çalışırken, sıkıştırma oranı artırılır. Belirli bir sıkıştırma oranında, belirli bir vurunu şiddetini ölçülür. Daha sonra, koşullar değiştirilmeden motor n-heptan, izo-oktan karışımı ile çalıştırılır ve aynı sıkıştırma oranında aynı vurunu şiddetini verev karışım araştırılır. Aynı koşullarda ve aynı sıkıştırma oranında o yakıt ile aynı vurunu şiddetini veren n-heptan, izo-oktan karışımındaki izo-oktan yüzdesine o yakıtın oktan sayısı denir.

Oktan sayısı hesaplanırken uygulanan metodlar:

-Research metodu (F_1)

devir sayısı – 600 d/d

ateşleme avansı – 13 derece krank açısı

karışım sıcaklığı – $52,3^\circ$

soğutma suyu sıcaklığı- 100°

RON olarak gösterilen bu metodta yukarıdaki değerler esas alınmaktadır.

-Motor metodu (F₂)

devir sayısı – 900 d/d

ateşleme avansı – değişken

karışım sıcaklığı – 150°

soğutma suyu sıcaklığı- 100°

Bu metod da kısaca MON (motor octan number) olarak gösterilir. Taşıt motorlarında kullanılacak olan benzinlerin oktan sayıları bu metodlarla hesaplanır. Eğer bir benzinin bu iki metoda göre ölçülen oktan sayıları arasında bir fark yoksa, bu benzinin hassasiyeti sıfırdır.

-Aviation metodu (F₂)

devir sayısı – 1200 d/d

ateşleme avansı – 35 derece krant açısı

karışım sıcaklığı – 104°

soğutma suyu sıcaklığı- 190°

Uçaklarda kullanılacak olan benzinlerin oktan sayısı bu metoda göre ölçülürler.

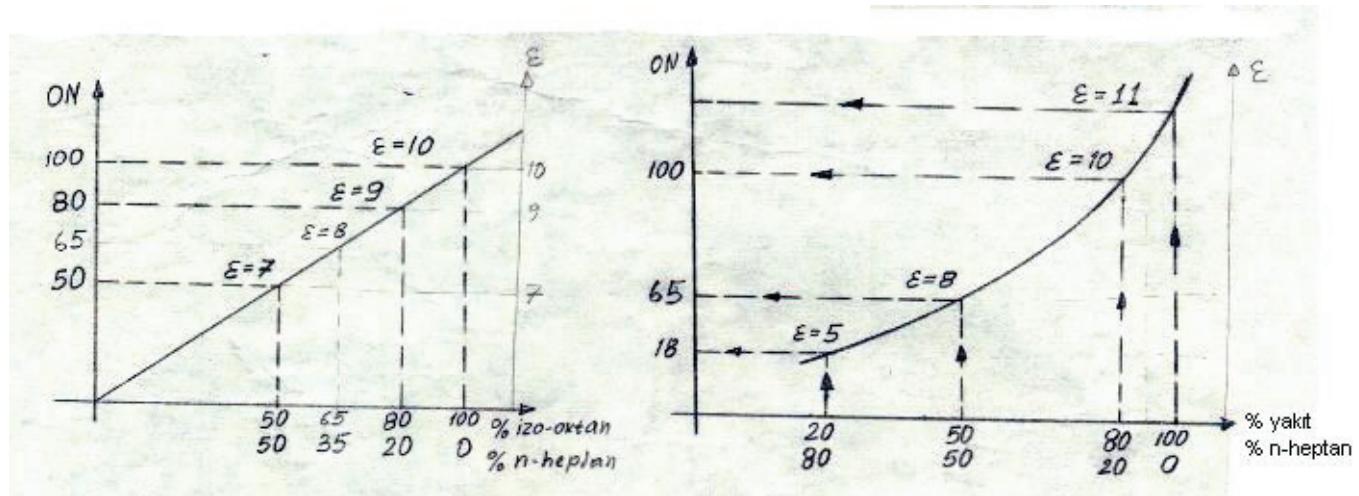
Otto motorlarında kullanılan benzinlerin oktan sayılarına göre:

- süper benzin (102-107) ON Amerikan standartlarına göre
- Premium benzin (95-97) ON Amerikan standartlarına göre
- Normal benzin (87-88) ON Amerikan standartlarına göre

olmaktadır. Görüldüğü gibi 100'den büyük oktan sayıları söz konusudur.

100'den büyük oktan sayılarının hesaplanması:

Parafinlerin parafinlerle karışımında oktan sayısı lineer olarak değişir. İzo-oktan, n-heptan karıştırılır ve belirli vuruntu şiddeti elde edilinceye kadar (ε) sıkıştırma oranı değiştirilir. Şekil- da görüldüğü gibi sıkıştırma oranını parametre olarak kabul ederek, değişik karışımın oktan sayısı değişimi lineerdir. %80 izo-oktan ve %20 h-heptan karışımı, belirli koşullarda ve sıkıştırma oranı 9 iken (a) vurunu şiddeti versin. Buna göre karışımın oktan sayısı 80 dir. Şimdi %100 izo-oktan ile motoru çalışıralım ve saf şzo-oktan aynı (a) vurunu şiddettini (ε) = 10 da versin. Buna göre (ε) = 10 iken saf izo-oktanın oktan sayısı 100'dür. Bundan sonra oktan sayısını ölçmek istediğimiz yakıt (ON 100' den büyük) ile n- heptanın değişik karışımı hazırlanır.



Yakıt' ta n-heptan karıştırmakla, yakıtın oktan sayısını düşürmiş oluruz. Yakıt n-heptan karışımlarının aynı motorda ve aynı koşullarda, aynı vuruntu şiddetini (a) 'yı verecekleri sıkıştırma oranları araştırılır. Oktan sayısının tarifine göre bu yakıt n-heptan karışımının oktan sayısı aynı sıkıştırma oranlarında, aynı vuruntu şiddetini veren izo-oktan n-heptan karışımındaki izo-oktan yüzdesine eşit olacaktır.

Bu şekilde karışım yakıtının, sıkıştırma oranı parametre olacak şekilde oktan sayısı değişim eğrisi çizilir. En önemli kısım ise %100 lük yakıtın (a) vurunuş şiddetini verdiği sıkıştırma oranını bulmaktadır. Bu sıkıştırma oranı %100 izo-oktanından daha yüksektir. Oktan sayılarını gösteren eksen üzerinde extrapolasyon yapılarak 100' den büyük olan oktan sayısı saplanır.

Yüzden büyük oktan sayısının hesabı:

$$ON = 100 + \frac{PN - 100}{3}$$

PN- Performans sayısıdır.

Oktan sayısının artırılma metodları:

Bir motorun sıkıştırma oranı, gücü, yükü, sıcaklığı arttıkça vurunuş olasılığı okadar artar, ve dolayısıyla o oranda yüksek oktan sayılı benzin kullanılması gereklidir. Bununla birlikte bilindiği gibi verimin artması için yüksek sıkıştırma oranlarına gereksinme vardır. Bu da yüksek oktan sayılı benzin gerektirmektedir.

Normal destilasyon sonucu elde edilmiş olan benzinlerin oktan sayısı düşük olduğundan, bazı metodlarla oktan sayısı artırılır. Bunlar sırası ile :

1. Reforming (yeniden şekilverme)

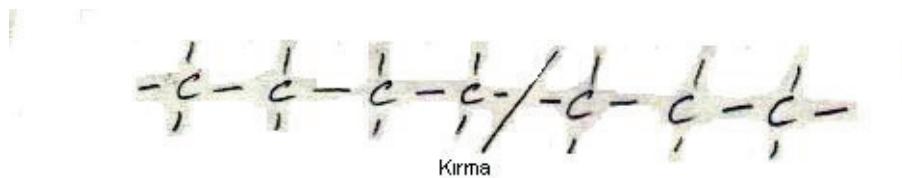
Bu metodda moleküller yeniden şekillendirilirler. Normal parafinlerde (c) atomları zincir şeklindedirler. Bunlar izo veya sikloparafin şecline dönüştürülürler. Eperton 'un peroksit teorisine göre, siklo ve izo-parafinler, oksidasyona daha az uğramaktadırlar. Yani diğer bir anlatımla kendi-kendine tutuşma sıcaklıkları daha yüksektir.

Bu metodda benzin, sıcaklık ve basınç altında, platin katalizörü yardımı ile belirli süre bekletilirse içindeki normal parafin molekülleri, izo veya sikloparafin şekline dönüşürler. Böylece oktan sayısı artar.

Bu metodun sakıncaları: Şekil değiştirme esnasında bir miktar benzin LPG olarak ayrılır. Bunun nedeni ise moleküllerin kırılarak hafif moleküller haline dönüşmesidir.

2. Kraking (kırma)

Bu metodda moleküller kırılarak şekil değiştirirler. Özellikle ağır molekülü yakıtlara uygulanır. Gaz yağı (kirosen), motorin, fuel-oil gibi yakıtlar ağır molekülü yakıtlarıdır. Bu yakıtlar çok karbonlu zincir şeklinde meydana gelmişlerdir. Bu çok karbonlu zincir şeklindeki moleküller sıcaklık, basınç ve katalizör yardımıyla kırılarak normal benzin moleküllerine dönüşürler.



3. Katık ilavesi

Katık: Herhangi bir ürüne bünyesinde mevcut olmayan özellikleri iyileştirmek için az miktarda ilave edilen kimyasal maddelere katık denir.

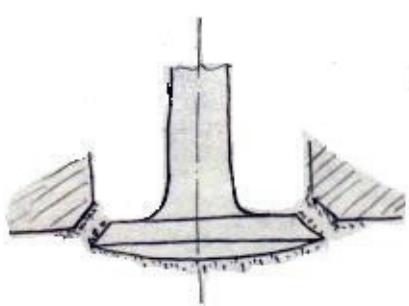
Benzinli motorlarda, vuruntuya direncini artırmak yani oktan sayısını artırmak için benzine katık ilave edilir. Bugün için en çok, hatta benzin için tek katık kurşun tetra etil (TEL) $[Pb(C_2H_5)_4]$ dir. Bu katık benzinin yanması esnasında peroksit oluşumuna engel olur ve bu şekilde oksidasyon hızını yavaşlatır. Bu şekilde vuruntuyu önlemiş olur. Benzin içerisinde bu katıktan çok az miktarda bulunur. Bu miktarın sınırlanılması üç ana nedenden ileri gelir.

a) İnsan sağlığını yönünden aşırı zehirli olduğundan tehlikeli ve kanunen yasaktır. Taşılarda kullanılan benzinlerinde en çok 0.8 cm^3 e kadar müsade edilir.

b) Motor içerisinde tahribata neden olması:

Benzinin yanması esnasında kurşun tetra-etil içindeki kurşun, kurşun oksit (PbO) oluşturur. Normal sıcaklıkta PbO toz halindedir ve tek başına zararsızdır. Fakat yüksek sıcaklıkta yumuşar ve motor aksamlarına yapışır. PbO demir ile birleşerek çok düşük ergime noktalı bir合金 oluştururlar. Bu合金lar silindir içindeki yüksek sıcaklık etkisi ile ergiyerek madeni

Bilhassa piston yüzü, silindir iç cidarları, egzost



çevresinde bu durum görülür. Supap oturma yüzeyini zliğin bozulmasına sebep olur. Bunun sonucu olarak

da yanma esnasında 2000 °C mertebesindeki gazlar supap yüzeyini yalayarak dışarıya kaçacaklarından supap yanması denilen supap oturma yüzeylerinin tahrip olmasını sonuçlar.

c) Hava kirliliği yönünden:

Normal sıcaklıklardaki PbO toz halinde bulunduğu yukarıda belirtmiştim. Hava içersinde süspansyon halinde bulunacak olan PbO insan sağlığına zararlıdır. Bu nedenledir ki günümüzde Pb(C₂H₅) katık olarak kullanılması yavaş yavaş ortadan kaldırılmaktadır.

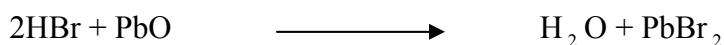
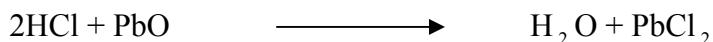
Kurşun titra etili silindirden dışarıya motora zarar vermeden atılabilmesi için:

Süpürücü katıklar kullanılırlar .

Bunlar:



Bu katıklar yanma esnasında sıcaklık ve basınç etkisi ile HCl, HBr, asitleir oluştururlar. Bu asitlerde PbO ye etki ederler.

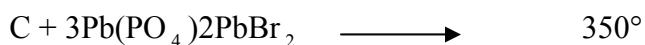


PbCl₂ , PbBr₂ yanma odasında toz halindedirler ve egzosttan dışarıya atılırlar (süpürürlər).

Buna göre varbüratöre yakın olan silindire düşen kurşun tetra etil miktarı fazla, süpürücü miktar az, ve tersi olacaktır. Karışım favziindeki bu dengesizlik nedeniyle silindir içinde yanma sonucunda oluşan ürünler çok değişiktirler.

Süpürülemeyen kurşunlu çökeltilerin ön yanma ve buji arızaların meydana getirmesini önlemek için fosforlu katık ilave edilir. Örneğin Shell'in benzininde ICA, kısa adlı bir fosforlu katık ilave eder. Bunun kimyevi adı tritolifosfat [(CH₃C₆H₄)₃PO₄]

- Fosforlu bileşenlerin ergime noktaları çok yüksektir. Dolayısıyla bunlar kurşunlu çökeltiler gibi ergiyip motor aksamı üzerinde yapışarak korozyona neden olmazlar. Toz halinde kalıp kolaylıkla egzosttan atılırlar.
- Fosforlu bileşenlerin elektiriki dirençleri yüksek olup ateşleme sistemini bozmazlar. Hatta bujinin iki elektrodu arası tamamen çökelti ile dolsa da direncin yüksekliği nedeniyle kivilcim gene havadan atlama durumundadır.
- Karbonun yanma noktasına katalitik bir şekilde etki edip bu noktayı çok düşürmezler.



Görüldüğü gibi fosforun katık sayesinde TEL in sakıncaları giderilmiştir.

Günümüzde kurşunlu bileşiklerin gerek hava kirliliğine neden olmaları gerekse katalitik konvertörlere zarar vermeleri nedeniyle çok az kullanılmaktadır. Kurşunlu bileşiklerin yerine ise :

MMT – Methylcyclopentadienyl manganese tricarbonyl gibi manganezli katık kullanılmış , ancak buji bölgesinde kirliliğe neden olduklarıdan fazla uygulama alanı bulamamışlar.

Bu nedenle günümüzde kurşunsuz benzin üretiminde yaygın olarak alkol ve eterler kullanılmaktadır.

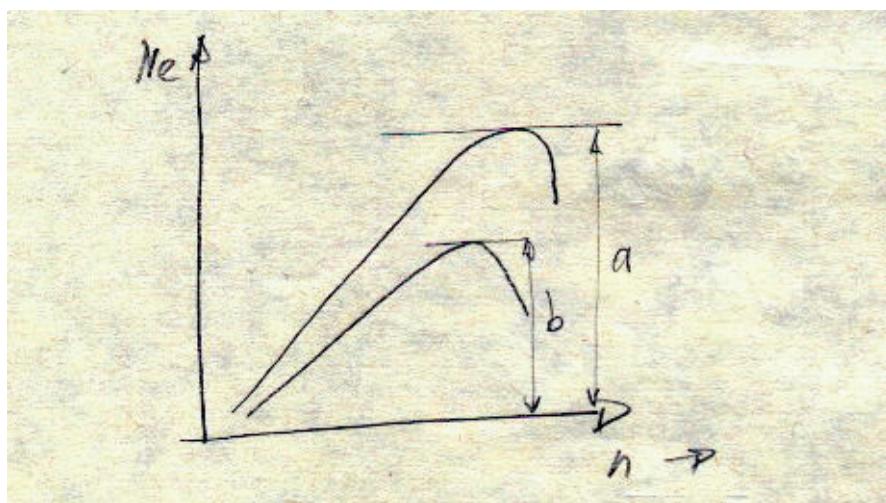
$$CH_3OH - \text{Ethanol} - \frac{RON + MON}{2} = 110$$

$$C_2H_5OH - \text{Methanol} - \frac{RON + MON}{2} = 112$$

$$C_4H_9OH - \text{Tertiary butyl alcohol} - \frac{RON + MON}{2} = 98$$

$$\text{Methyl tertiary butyl ether} - \frac{RON + MON}{2} = 105$$

Perfonmas Sayısı: Uçak benzinlerinin oktan sayısı yerine perfonmas sayısı adı verilen bir birim kullanılır. Performans sayısı skalarları 100' ün üzerindeki oktan sayısı skalarının bir devamı olarak kabul edilebilir. Bir akar yakıtın performans sayısı , vuruntusuz olarak verebileceği maksimum gücün aynı şartlar altında izo-oktanın vuruntusuz olarak verebileceği maksimum güç oranıdır.



$$P.N = \frac{a}{b} \cdot 100$$

Alkol için P.N = 106

Benzol için P.N = 104

2. UÇUCULUK

Yakıtın kolay buharlaşabilmesini karakterize eder. Bu özellik:

- a) Sıcak ve soğuk ortam sıcaklıklarında ilk hareket kolaylığı için
- b) Motorun ivmelenme yeteneği daha iyi olması için gereklidir.

Motor ilk harekete geçerken soğuktur. Benzin motorlarında karbüratörden gelen karışım motorun soğuk çeperlerine yapışarak silindirde tutuşamayacak fakirlikte bir karışım meydana gelir.

Benzin motorlarında soğukta ilk harekete gecebilmesi için yakıtın mümkün olduğu kadar uçucu olması gerekmektedir. Fakat buharlaşma orta sıcaklıkta çok fazla olursa, o zaman bir miktar benzin karbüratörden önce buharlaşır ve buhar tıkacı denen olay meydana gelir.

Bu olayı açıklayalım:

Kaynama noktası ve buhar tıkacı

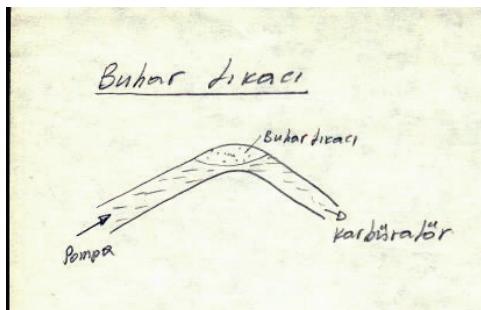
Bir yakıt içinde bulunan hidrokarbon moleküllerinin uygun oranlarında karıştırılması gereklidir. Her hidrokarbon molekülün sahip olduğu kaynama noktası motorun soğukta ilk hareket kolaylığını ve sıcak ve soğuk ortam sıcaklıklarında motorun problemsiz çalışmasını etkilemektedir. Eğer düşük kaynama sıcaklığına sahip hidrokarbon moleküllerinin yüzdesi artarsa depo ile karbüratör arasındaki yakıt sisteminde buhar tıkacı riski artar.

İsminden de anlaşılacağı gibi, buhar tıkacı yakıt sisteminde yakıt buharlaşmasından kaynaklanır.

Pompanın içindeki ve emme tarafındaki basıncı düşürürse yakıt içindeki hidrokarbonların kaynama noktasında düşer. Bunun yanısıra radyasyon ve bazende kondüksiyonla motorun sıcak parçalarından yakıt ısının geçmesi ile yakıtın buharlaşması hızlanır. Eğer yakıt sistemi boruları egzost sisteme yakın ve gerekli izolasyon yapılmazsa buhar tıkacının daha etkili ve olma eğilimi daha fazladır. Pompalar yakıt buharını pompalanması için uygun olmadıklarından, karbüratore veya enjektöre yakıtın gidememesi sonucu motor stop eder. Bu olay genellikle çok sıcak günlerde ve taşit dik yokuş çıkarken daha fazla meydana gelir. Çünkü bu durumda, taşit hızı düşük olur ve soğutma normalin altındadır. Bazı durumlarda soğutma fanının hızda düşük olur. Eğer böyle bir yokuştan yukarıya doğru çıkarken soğutma fanı kısa bir süre için dahi durursa (yani motoru manzara seyretmek için durdurursak) motoru yeniden çalıştırılmamız mümkün olamaz veya çok zor çalışdırırız. Bunun nedeni şu şekilde açıklanır. Fanın çalışmaması ve taşitin durmuş olmasından herhangi bir hava akımı yoktur. Bunun sonucunda sıcak motor aksamlarından yakıt sistemine doğru sürekli ısı artışı olur ve borulardaki, pompadaki ve karbüratördeki yakıtı buharlaştırır. Bazende silindirlere doğru yakıt taşıması olur ki bu olay ile harekete geçisi dahada zorlaştırır. Ancak motor soğutulduktan sonra motor ilk harekete geçer.

Çözüm olarak yakıt pompalarda bir miktar yakıtın içinde kalacak şekilde dizayn ve ilk hareketin kolaylığı sağlanır. Fan otomatik olarak devreye girerek motor çalışmaya dahi soğutma işlemine devam eder. Yakıt sistemini sıcak motor aksamlarından uzaklaştırır.

Buhar tıkacı



Benzin depodan ya kendi ağırlığı veya basit bir pompa yardımı ile emilerek, boru sistemin yardımıyla karbüratöre sevk edilir. Bazen bu borular çok sıcak bölgelerle temas etmek zorunda kalırlar. Karbüratör ise zaten motor üzerindedir ve ısınmaktadır. Eğer bu sistemin herhangi yerinde yakıttan bir buhar habbeciği meydana gelirse yakıt akışı bozulacaktır. Bu buharlaşma karbüratör içinde meydana gelicek olursa memeden az miktarda yakıt veya tamamen buhar püskürtecek ve karışım fakirleşecektir bu ise motorun tamamaen durmasına neden olabilir. Eğer habbecik boruda meydana gelicek olursa, özellikle büküm yerlerinde kesit daralmasına neden olacağından, benzin akışı bozulacaktır ve motor dengesiz çalışacaktır. Bu olayı önleyebilmek için yakıt donanımı mümkün mertebe sıcak bölgelerden geçirmemeye dikkat edilmeli. Fakat bu her zaman mümkün olamaz hatta bu olay sıcak havalarda sistemin ısınması sonucu meydana gelebilir.

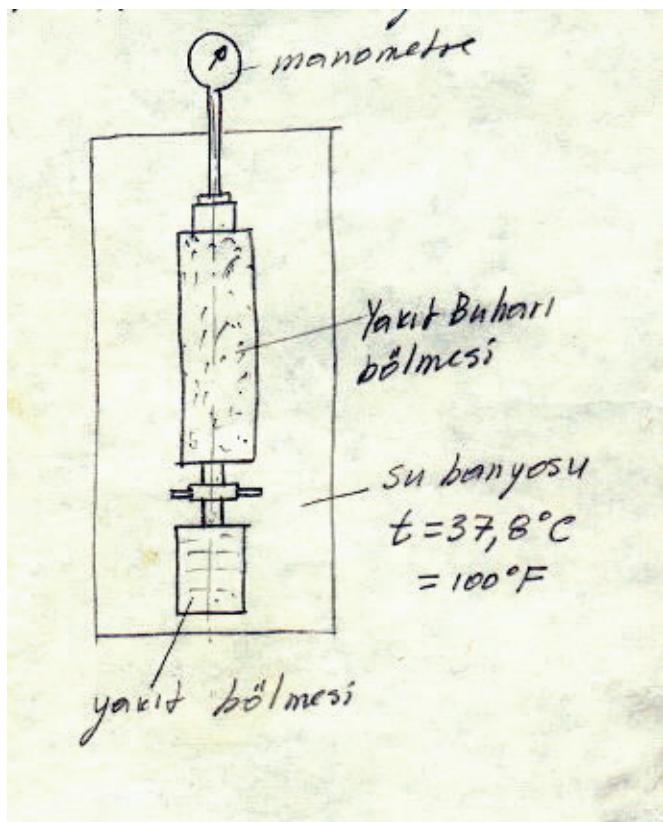
Buhar tıkacının önlenmesi için:

- Yakıt pompası, egzost borusu ve kanalından uzak olmalı. Mümkünse egzostun ters tarafına konulmalıdır.
- Yakıt boruları havadar yere konulmalıdır.
- Yakıt pompası vantilatörün hava akımı içinde olmalı
- Karbüratör egzost borularından uzak olmalı

Buhar tıkacından dolayı benzinlerin uçuculuğu üzerinde bazı sınırlamalar vardır. Reid buhar basıncı gibi (RVP)

Reid buhar basıncı:(RVP reid vapour pressure)

Bilindiği gibi her sıvının sıcaklıkla değişen bir buhar basıncı vardır ve bu basınç atmosfer basıncına eşit olduğu zaman kaynama meydana gelir. Bir sıvı ne kadar uçucu ise, düşük sıcaklıklardaki buhar basıncı o kadar yüksektir. Bu yüzden buhar tıkacını önleyebilmemiz için benzinin uçuculuğunu sınırlamamız gereklidir. Bu uçuculuk Reid cihazı ile ölçülebilmektedir. ,



Şekilde görülen bu alet, çelik iki depodan oluşmuştur. Alt bölmeye test edilecek olan yakıt konulur ve $378\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($100\text{ }^{\circ}\text{F}$) sıcaklığındaki banyoya daldırılır. Bu esnada oluşan sıvının (yakıtın) buhar basıncı manometreden okunur. Kap içerisindeki buharlaşma arttıkça manometredeki basınç artar. Diğer bir deyişle RVP buharlaşan benzin miktarının cihazda yaratmış olduğu basınçtır. Bu basınç ne kadar büyük ise buhar tikacının meydana gelme olasılığı o kadar yüksektir.

Yazın kullanılan benzinin RVP si $9,3\text{ lb/in}^2$

kışın kullanılan benzinin RVP si 11 lb/in^2 dir.

Son kaynama noktası-(SKN)

Yakıtın %100 ‘ünün buharlaştiği sıcaklığıdır. SKN’nın yüksek olması yakıt içinde ağır hidrokarbonların fazla olduğunu gösterir.

SKN ‘sı yüksek ise, ağır hidrokarbonlar silindire sıvı olarak gireceklerinden silindir cidarından süzülerek yağlama yağının kalitesini bozarak motorun fazla aşınmasına neden olurlar.

Benzin motorlarında kullanılan yakıtların SKN- 205° C den daha küçük olmalı.

MOTORİN

Ham petrolün damıtılmasından elde edilen bu yakıtı incelemeye başlamadan önce ismi üzerinde biraz duralım, çünkü bu yakıtın değişik isimler halinde kullanılması adet olmuştur. Ülkemizdeki petrol şirketleri haklı olarak kabul edip kullandıkları motorin isminin yerine gerekse geniş halk kitleleri ve gerekse teknik çevrelerde ‘mazot’ adı daha çok yaygındır. Halbuki mazot kelimesi rusça’ da yağlamak anlamına gelen ‘mazat’ kelimesinden gelmektedir. Kafkasya’da araba tekerleklerini yağlamak için Bakü’de çıkan ağır ham petrol kullanılmakta idi ve bu ham madde ile yağlama fiiline doğal olarak ‘mazat’ demekte idiler. Bu nedenle özellikle doğu blok ülkelerinde mazot kelimesi ağır, yani viskozitesi fazla olan

yakıtlar için kullanılmaktadır. Bizim konumuzu oluşturan motorin ise hafif bir yakıttır ve diğer ülkelerde ‘gasoil’ olarak isimlendirilir. Sonuç olarak ‘mazot’ kelimesini hiç kullanmamak daha yerinde olacaktır.

Motorin dediğimiz bu yakıt içten yanmalı diesel motorlarında yakıt olarak kullanılmaktadır. **Motorinden Aranan Özellikler**

- 1- İlk hareket kolaylığı ve düşük kendi kendine tutuşma sıcaklığı
- 2- Her işletme şartında pompa ve enjektöre sevk edilebilmeli ve püskürtme esnasında ince zerrelerde ayrılabilirmeli

Bu iki özellik ise şu iki fiziksel özelligin fonksiyonudurlar.

1. Kendi kendine tutuşma sıcaklığı
2. Viskozite

1. Kendi Kendine Tutuşma Sıcaklığı

Bizim için Diesel motorunun çalışması açısından en önemli olay Tutuşma Gecikmesi süresidir. Daha önce söylediğimiz gibi setan sayısı ve tutuşma gecikmesi arasında yakın ilişki vardır. Bir yakıtın tutuşma gecikmesi süresi ise o yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığı ile ilgilidir. Bir yakıtın kendi kendine tutuşma sıcaklığı hem sıcaklığın hem de yanmanın fonksiyonudur.

Örnek: $ty=700 \text{ C/1}''$ → Yakıt 700 C'da bir saniye sonra tutuşuyor.

$ty=650 \text{ C/2}''$ → Yakıt 650 C'da iki saniye sonra tutuşuyor.

Motorinin tutuşmaya karşı eğilimi Cetan (setan) sayısı veya Diesel Indeksi (DI) ile ifade edilir.

Cetan (Setan) Sayısı

Setan sayısı sıkıştırma oranı değiştirilebilen bir CFR (cooperative fuel research) motorunda tespit edilir.

Deney şartları: Motor devir sayısı → 900 d/d

Emme havası sıcaklığı → 30 C

Soğutma suyu sıcaklığı → 100 C

Püskürtme avansı → 13 KA

Sıkıştırma oranı → Değişken

Motor bu şartlarda setan sayısı bulunacak olan yakıtlı çalıştırılır ve tutuşma gecikmesi süresi 13 KA oluncaya kadar sıkıştırma oranı değiştirilir. Bu durum tespit edildikten sonra (C16H34) n-Hexadecane veya ticari ismi setan ve (C11H10) α-metilnaftalen'den oluşan karışımalar hazırlanır. Motorun çalışma şartları değiştirilmeden bu sefer karışımalar yakıt olarak kullanılırlar ve 13 KA tutuşma gecikme süresi elde edilinceye kadar karışım oranı değiştirilir. 13 KA tutuşma gecikmesi veren karışımındaki setanın yüzde

miktarına o yakıtın setan sayısı denir.

Diesel motorlarında kullanılan motorinin setan sayısının 45:60 oranında olması istenir. Setan sayısını fazla yükseltmek tutuşma gecikmesini çok kısaltmadığı için püskürtülen yakıt fazla uzağa gidemeden yanacak ve enjektör memesi fazla ısnacık yakıtta cranking meydana gelecek bu nedenle yanma odasında karbonlaşma meydana gelecek yanma kötü ve dumanlı olacaktır.

Setan sayısının tespiti zor, pahalı ve zaman alan bir deneysel metod olduğundan setan sayısı yerine bu değer hakkında bir fikir verecek olan “Diesel İndeksi” hesaplanabilir.

$$DI = \text{Anilin noktası (F)} \times \text{API} \times 1/100$$

Bu hesabı yapabilmek için yakıtın anilin noktası ve API derecesi bilinmesi gereklidir. Bunlar da tablolardan veya nomopramlardan okunabilirler.

DI ile Setan sayısı arasında yakın ilişki vardır, bu aşağıdaki tablodan rahatlıkla görülebilir.

DI	30	35	40	45	50	55	60	65	70
SS	37	40	43	46	50	53	56	59	62

Gördüğü gibi 45:60 arasında Diesel İndeksi ile Setan Sayısı hemen hemen aynıdır.

Viskozite

Kullanacağımız yakıtın viskozitesi düşük sıcaklıklarda dahi serbestçe akacak kadar düşük olmalı. Sızıntıyı önleyecek ve yakıt donanım sistemini yağlayabilecek kadar da yüksek viskozitede olmalıdır. Aynı zamanda yanma odasında kolayca atomize olabilecek viskozitede olmalı Diesel motorlarda kullanılan yakıtların viskoziteleri (2-5 E) değerleri arasındadır.

Türkiye'de üretilen motorinlerin özellikleri:

	Motorin	Gemi diesel yakıtı
Özgül kütle 15,6 C (60 F) kg/lt	0,820 – 0,850	0,850 – 0,887
Alevlenme noktası	55 (131)	65 (150)
Akma noktası C (F)	-1,1 (30)	1,7 (35)
Diesel indeksi	50	40
Kükürt % kütlesel	1,0	1,8
Kül % kütlesel	0,01	0,02

Anilin Noktası

Anilin çok eritici bir hidrokarbondur. Aromatik hidrokarbonları her zaman fakat fakat parafinleri yalnız yüksek sıcaklıkta bünyesinde eritebilmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise parafinlerden ayrılır.

Bir kap içerisinde (%50 yakıt + %50 Anilin) konur. Bu karışım ısıtılsa yüksek sıcaklıkta anilin yakıtı bünyesinde eritir. İçine termometre konulan kap yavaş yavaş soğutulursa belli bir sıcaklıkta karışım ayrışmaya başlar. İşte bu ayrılmanın sona erip çözelti içinde iki ayrı tabakanın meydana geldiği sıcaklık derecesi (F) olarak “Anilin Noktası” olarak tanımlanır.

Anilin:

Susuz olması gereklidir, bunun için Anilin KOH üzerinden geçirilerek içindeki su alınır. Numune (motorin) susuz olması gereklidir, bu yüzden Na₂SO₄ veya CaSO₄ geçirilerek kurutulur. Sürekli karıştırılarak 1-2 C dakika ısıtma hızı ile ısıtılırlar. İki sıvı saydam tek faz oluşturuncaya kadar ısıtmaya devam edilir. Daha sonra ısıtma işlemi bırakılarak bu defa 1-2 C soğuma hızı ile soğutulur. Bu soğuma esnasında ilk bulutlanma görüldüğü sıvı sıcaklığı numune için Anilin noktasıdır. İşlem 3 kez tekrarlanır ve ortalaması alınarak numunenin anilin noktası hassas bir şekilde alınarak saptanır.

$$F = 1,8 \times C + 32$$

$$t = 72,25 \text{ C}$$

$$T(F) = 1,8 \times 72,25 + 32 = 162,05 \text{ F}$$

$$\text{Anilin Noktası} = 162,05$$

$$\text{API} = 141,5 / 0,826 - 131,5 = 39,807506$$

$$\text{DI} = \text{API} \times \text{Anilin noktası} / 100 = 39,807506 \times 162,05 / 100$$

$$\text{DI} = 64,508$$

Gaz Yağı (Kerosen)

Birinci damıtılma kulesinin motorinden önceki kademesinde gaz yağı dediğimiz hidrokarbon karışımı elde edilir. Bu karışım normal olarak 140 C civarında kaynamaya başlayıp 300 C civarında ise %100 buharlaşan bir karışımındır. Bu yakıtın kullanma sahalarına göre farklı karakteristiklerde olmak zorundadır.

Kullanma yerleri:

1. Işıklandırma ve ısıtma
2. Traktör yakıtı
3. Jet yakıtı olarak kullanılır.

Doğal olarak bu yakıttan istenecek olan özellikler kullanma alanlarına bağlı olacaktır.

Aydınlatma ve Isıtma için;

- Isıl değerleri yüksek olmalı
- Kükürt oranı %0,2 den az olmalıdır
- Büyük alev ve az is
- Parlak ve iyi ışık vermelidir.

Gaz yağı oluşturan hidrokarbonlar genellikle;

- Parafinik C_nH_{2n+2}
- Aromatik C_nH_n
- Naftenik C_nH_{2n} şeklindedir.

Yakıtın isıl değeri yüksek olması için H/C oranı büyük olması gereklidir:



Yukarıdaki denklemlerden kolayca anlaşılacağı gibi, hidrojen yaklaşık olarak 3,5 misli daha fazla ısı verebilmektedir. Buna göre en elverişli hidrokarbon tipi Parafinik en kötü ise Aromatiklerdir.

Traktör Yakıtı

Gaz yağı ile çalışan motorlar Otto motoru prensibine göre çalışırlar. Bu yüzden burada da yakıttan aranacak en önemli özellikler yakıtın vuruntuya direnci ve uçuculuk olacaktır.

Gaz yağıının oktan sayısı, yani vuruntuya olan direnci çok düşük olduğundan, böyle bir yakıtlı çalışan motorların sıkıştırma oranları benzinli motorlara nispeten çok düşüktür. Vurunu olasılığını azaltmak için sıkıştırma oranı düşük tutulur. Oktan sayısı $\approx 55'$ dir.

Gaz yağı benzine göre kaynama sıcaklığı yüksektir, karbüratörden geçen havanın emdiği yakıt tamamen buharlaşamaz, zerrelikler halinde kalır, buharlaşmayı kolaylaştırmak için "buharlaştırıcı" denilen bir parça ilave edilir. Bu olay özellikle ilk harekette kendini gösterir. Bu yüzden yakıt içine bir miktar benzin ilave ederek uçuculuğunu arttıriz.

Jet Yakıtı

Jet yakıtları gaz yağı tipi ve wide cup tipi olmak üzere iki tip olurlar.

Wide cup tipi yakıt gaz yağıının yanında benzin fraksiyonlarını da içerir ve askeri amaçlı uçaklarda kullanılır. Gaz yağı tipi ise yalnız gaz yağından oluşmuştur ve ekonominin ve güvenilirliğin ön planda tutulduğu sivil amaçlı uçaklarda kullanılır.

Jet motorları esas hava kompresörü, yanma hücresi ve gaz turbininden oluşmuştur. Hava kompresörünün verdiği basınçlı hava yakıt ile karışarak yanma hücresinde yanarak yüksek basınçlı egzost gazları haline dönüşürler. Bu yağları bir kısmı gaz turbininden geçer, geri kalan kısmı ise bir lüleden geçirilerek tepki kuvveti elde edilir. Bu tip motorlara direkt tepkili motorlar denir. Buradaki gaz turbininin görevi kompresörü çalıştırmaktır.

Eğer egzost gazlarının tamamı gaz turbininden geçirilirse bu defa tepki kuvveti aynı mil üzerine monte edilmiş uçak pervanesi ile elde edilir. Gaz turbinin buradaki görevi hem kompresörü çalıştırmak hem de pervaneyi döndürmektir.

İyi bir çalışma için yakıt yanma hücresinde homojen ve tamamen yanması gereklidir. Fazla uzun bir alev turbin kanatlarının aşınmasına neden olacağından yakıtın kaynama noktası 225 C den büyük olmamalı, aynı şekilde kaynama noktası çok düşük olmamalı çünkü yüksek irtifalarda basınç düşük olacağından, tanklar içerisinde yakıt buharlaşarak hem yakıt kaybına ve buhar tıkaçını oluşturarak motora yakıt gitmesini önler ve motor stop eder. Yakıtta su bulunmamalı ve donma noktası -50 C den yukarı olmamalıdır. Yakıt korozyon yapmamalı, kükürt oranı düşük olmalı ve yakıt issiz yanmalıdır. Bu özellikle askeri uçaklar için geçerlidir, çünkü is uçağın yerini belli eder.

Not: Kerosen jet yakıtı olarak kullanıldığından is oluşumunu azaltmak için aromatik moleküllerin %25 oranında (hacimsel) tutulur.

Kükürt Miktarı:

Ham petrol içerisindeki kükürt daha çok ağır hidrokarbonlarla bileşik yaptıgından damıtma sonrası kükürtün önemli bir ağır fuel-oil içinde kalır. Fuel-oil içerisindeki kükürt, hidrokarbonlarla bileşik halinde olduğundan borularda, tanklarda v.s. yüzeylerde herhangi bir korozyon görülmez fakat emaye ve cam endüstrisinde kurutma fırınlarında kullanılan fuel-oillerin kükürt miktarı sınırlandırılmıştır. Aksi halde malzemede sararmalar görülür.

Fuel-oil'in sınıflaması:

ASTM D.396 göre Fuel-oil'ler 5 cins olarak verilmektedir.

No.1 : Destile bir yakıttır Buharlaştırıcı brülörlerde kullanılır. S = %5 max

No.2 : Destile bir yakıttır. Genellikle kalorifer tesislerinde kullanılır. (Orta dereceli buharlaşmalı bir sistem için uygundur.) S = %5 max

No.3 : Ön ısıtma tertibatı yapılmamış brülör tesisatı içindir. (Düşük viskoziteli bir yakıt yakabilen sistemleri için.) S = %0,75 max

No.5 : Tortul bir yakıttır. Ön ısıtma tertibatı gerektirir. (Orta viskoziteli) S = sınır yok

No.6 : Yüksek viskoziteli yakıttır. Ön ısıticili brülörler içindir. S = sınır yok

Ülkemizde ise bu şekilde bir sınıflama yapılarak piyasaya fuel-oil sunulmamaktadır. Fakat motorin, marine diesel, No.5 , No.6 Fuel-oil olarak aynı gereksinimleri

Doğal gaz (GENEL BİLGİLER)

Doğal gazın tarihi ateşe tapanlara kadar uzanmaktadır. Bilindiği üzere Bakü'nün³³³³ ebedi ateşi mukaddes sayılarak tapılırdı. İşte bu ateş doğal gazın yanmasından başka bir şey değildir. MÖ 1000 yılları civarında Çin'de tuz üretiminde enerji kaynağı olarak doğal gaz kullanılmıştır. Doğal gaz büyük ekonomik önemini son 50 yılda kazanmış ve asrin başlarındaki doğal enerji içerisindeki % 1'lik payı hızla yükselmiştir.

1816'da ABD'nin Baltimore şehrinde “gaz ile aydınlatma şirketi”nin kurulmasıyla gaz ilk defa kullanılmaya başlanmıştır. İlk olarak da aydınlatma gayesiyle New York eyaleti Fredonra şehrinde kullanılmıştır. Bundan sonraki yüzyıl içinde genel olarak suni yöntemlerle elde edilen gazlar kullanılmıştır. 1920' lere gelindiğinde doğal gazın ekonomi içerisindeki payı sadece % 4.4 civarındaydı. Sonraki yıllarda gaz üretimi hızla artmış ve günümüzde enerji üretimindeki payı önemli bir mertebeye ulaşmıştır.

Doğal gazın jeolojik oluşumlar içerisindeki bulunduğu ham petrole benzer şekilde. İki ana grubu vardır.

- Birleşik Gaz: Bu gruptaki rezervuarda doğal gaz, ham petrol içerisinde çözülmüş halde (çözülmüş gaz), veya ham petrol ile doymuş gaz olarak bulunur. Bu rezervuarlardan üretim genellikle petrol üretimini esas olarak almaktadır.
- Birleşik Olmayan (çözülmemiş) gaz: Bu grubu da ikiye ayırmak mümkündür.
 - a) Birinci grup rezervuarda doğal gaz, gaz halindedir ve bu rezervuarlardan ekonomik olarak sadece gaz üretilir.
 - b) İkinci grup rezervuarlarda ise doğal gaz kondens halindedir, fakat sıvının büyük bir kısmı hafif hidrokarbonlardan oluşmuştur.

Dünyadaki Doğal Gaz rezervleri:

Bilinen doğal gaz rezervleri yaklaşık olarak 10 m^3 , ki bu da yaklaşık olarak 65.10 varil ham petrole eşdeğerdir, veya bilinen ham petrol rezervlerinin %75'i kadardır ve bilinen doğal gaz rezervlerinin %75'i birleşik olmayan gaz şeklindedir.

Yer üzerindeki doğal gazın geografik dağılımı ise ham petrole göre çok farklıdır. Örneğin ham petrolün %75'i OPEC ülkelerinde olmasına karşın, doğal gaz rezervlerinin yalnızca %30'u bu ülkelerde bulunur.

Fakat her şeye rağmen bilinen doğal gaz rezervlerinin %60'ı yalnızca 10 ülkeye dağılmıştır, ki burada da en büyük pay sahibi Rusya'dır. Bilinen rezervlerin %40'ı Rusya'dadır.

Rusya'daki doğal gazın büyük bir kısmı Batı Sibirya'da bulunan Urengay, Yamburg ve Boveneskoye isimli çok büyük üç üretim sahasından üretilmektedir.

Orta Doğu'da bulunan doğal gazın %40'ı İran'dadır. Diğer önemli doğal gaz rezervleri ABD ve Batı Avrupa'da olup, ki bunlar toplam olarak bilinen rezervlerin %11'ini oluşturmaktadır. Şu ana kadar bahsettiğimiz bilinen doğal gaz rezervlerini, konvansyonel günümüzün teknolojisi ile ekonomik olarak üretebildiğimiz doğal gazdır. Fakat dünyanın bir çok yerinde, özellikle Birleşik Amerika'da, üretilmesi şu an için ekonomik olmayan büyük

miktarlarda doğal gaz rezervleri vardır. Bu rezervlere konvansyonel olmayan rezervler diyoruz.

Bazı konvansyonel olmayan rezervler şunlardır:

Light gas sands
Coal seam methane
Shale gas- Katran gazı
Ultra deep gas- Çok derin gaz
Gas hydrats- Hidrat gazları
abiogenic gas

Birleşik Amerika'da light sands doğal gaz elde edilmektedir.

Konvansyonel olmayan gazlarlarındaki bilginin yetersiz olması nedeni ile miktarı hakkında kesin bir tahmin yoktur. Fakat en kötü ihtimalle bile konvansyonel gazlardan daha fazla olduğu tahmin edilmektedir. Şu anda bilinen konvansyonel gaz rezervleri; mevcut tüketim hızı ile 50 yıllık bir süre için enerji gereksinimimizi karşılayabilecektir.

Doğal gazın kullanım yerleri:

-Güç üretiminde:

Isıtma, termik santralleri(kombine güç üretimi), motor yakımı olarak.

-Petrokimya endüstrisinde:

Gübre için amonyan üretimi, methanol üretimi

Doğal gazın özelliklerı:

Doğal gazın esasını metan(CH4) oluşturmaktadır, normal şartlarda 0°C ve 760 mmHgS şartlarında methanın özellikleri:

Mol ağırlığı: 16.042 kg/mol

Özgül kütle: 0,717 kg/Nm³

Ho üst ısıl değeri: 55560 kj/ky

Ho üst ısıl değeri: 39660 kj/Nm³

Hu alt ısıl değeri: 50074 kj/ky

Hu alt ısıl değeri: 35920 kj/Nm³

Doğal gazın içerdiği metan yüzdesi de kaynaktan kaynağa değişmektedir. Şöyledi;

	CH4	C2H6	(O2-N2)	Ho	Hu (kcal/Nm ³)
Almanya (Bentheim)	93.2	0.6	6.2	8973	8061
İtalya (Po Ovası)	95.6	2.3	2.1	9556	8591
ABD (Oklahoma)	94.4	3.8	1.8	9630	8655
ABD (Kaliforniya)	77.5	16.0	6.5	10069	9085

Ceşitli kaynakların doğal gazı değişik oranlarda CO2 ve H2S içermektedirler. Bu sebepten sevginden önce bazı muamelelere tabi tutulması lazımdır.

Doğal gaz temizlik, kullanışlılık, tesis masraflarının azlığı gibi özelliklerinden dolayı endüstri ve günlük hayatı diğer kaynaklardan daha avantajlıdır.

Doğal gazın kullanıcıya kadar olan işlemleri şöyledir:

- Doğal gaz sahası
- Temizleme tesisleri
- Pipe-line
- Kompresör istasyonu
- Satış ve ölçme istasyonu
- Distribütör ayarlama istasyonu
- Meskun mahal
- Gaz sayacı
- Yakıcı

