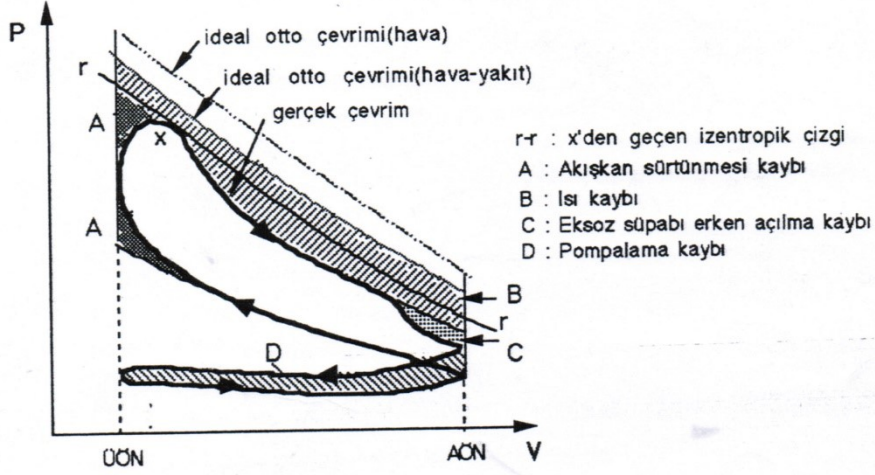


## GERÇEK ÇEVİMLER

## 4.1- İdeal Çevrimlerden Sapmalar

Pistonlu içten yanmalı motorlarda gerçek çevrim, ideal çevrimlerden farklıdır. İdeal çevrimler, gerçek bir motor için geçerli olmayan kabullere dayanır. Gerçek motor çevrimlerinde, ideal çevrimlerden başlıca sapmalar şunlardır :



Şekil 4.1 - İdeal otto çevriminden sapmalar

1-) İşgören akışkanın kompozisyonu sabit değildir ; yanmaya bağlı olarak dikkate değer bir şekilde değişir.

2-) Çevrim ; açık çevrimdir ve işgören akışkanın kütlesi sabit değildir. Gerçek çevrim bittikten sonra ; yanmış gazlar , orjinal (ilk) hallerine dönmezler ve silindire kalmazlar. Taze karışım alabilmek için , atmosfere atılırlar.

3-) Gerçek çevrimlerde gazların özgül ısıları , asla sabit kalmaz. Çünkü , gazların sıcaklığı ve kompozisyonu farkedilebilir bir şekilde değişir.

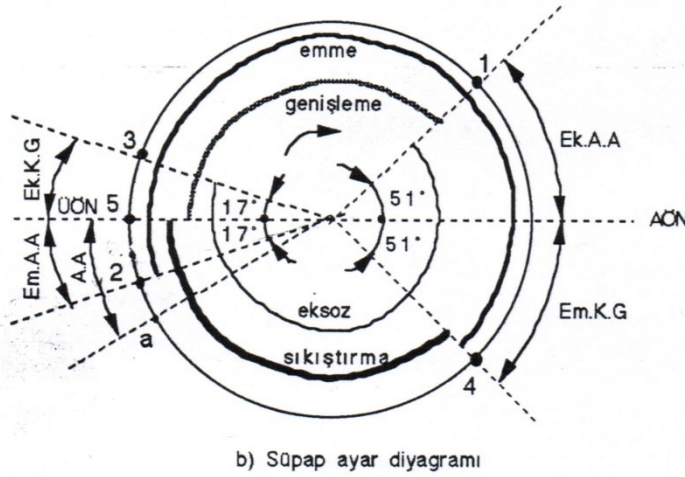
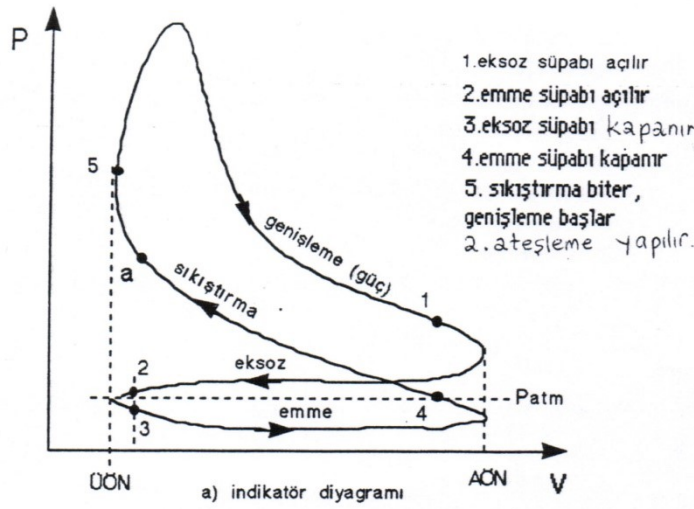
4-) Yanma genişleyen (ilerleyen) bir yanmadır. Yani ; yanma , sabit hacimde olmaz. Ayrıca , yanma eksik yanma olduğundan yakıtın kimyasal enerjisinin tamamından faydalanılamaz.

5-) Sıkıştırma ve genişleme sırasında ısı transferi olur ve işgören akışkandan çevresine önemli miktarda ısı kaybı olur.

6-) Pompalama kayıpları vardır. Bu kayıplar ; silindirden yanmış gazların atılmasında ve taze dolgunun silindire alınmasında piston tarafından yapılan net işe eşittir.

7-) Akışkan sürtünmesi vardır. Bu sürtünme kaybı , sıkıştırma ve genişleme sırasında ihmal edilebilir. Ancak bu kayıp , sıkıştırmanın sonunda ve genişlemenin ilk kısmında , yüksek türbülansın dolay dikkate alınacak değerdedir.

8-) Emme ve eksoz süpabları ölü noktalarda açılıp kapanmaz.



Şekil 4.2-Dört stroklu bir benzinli motorda indikatör ve süpap ayar diyagramı

Şekil 4.2- deki süpap ayar diyagramında görüldüğü gibi ; eksoz süpabı , güç strokunun sonuna doğru AÖN' ya varmadan  $51^\circ$  önce açılmaya başlar . Eksoz stroku boyunca açık kalır ve emme strokunda ÜÖN'dan  $17^\circ$  sonra kapanır. Eksoz süpabının fazladan açık kalması, eksoz gazlarının silindiri terketmesi için yeterli zamanı sağlar. Emme süpabı , eksoz strokunda , ÜÖN' ya varmadan  $17^\circ$  önce açılmaya başlar. Eksoz ve emme süpaplarının her ikisinde ( en azından kısmen ) , aynı anda  $34^\circ$  açık kalırlar. Bu iki süpabın aynı anda açık kalmasına süpap bindirmesi denir. Emme ve eksoz süpaplarının her ikisinde aynı anda kapalı kalmasına ise sente denir. Emme süpabı, AÖN ' yı geçtikten sonra , sıkıştırma strokunda  $51^\circ$  açık kaldıktan sonra kapanır. Bu durum, havanın veya hava-yakıt karışımının silindire girmesi için ilave bir zaman sağlar.



#### 4.2. Emme Prosesi

Emme prosesi sırasında ; kıvılcımla ateşlemeli (benzinli) motorlarda yakıt-hava karışımı ve kompresyonlu ateşlemeli motorlarda (dizel ) sadece hava , emme süpabından yanma odasına (silindire) emilir.Emme sırasında silindirin içine alınan havaya veya hava-yakıt karışımına **taze dolgu** denir.

Taze dolgu miktarı , aşağıdaki faktörlerden etkilenir ;

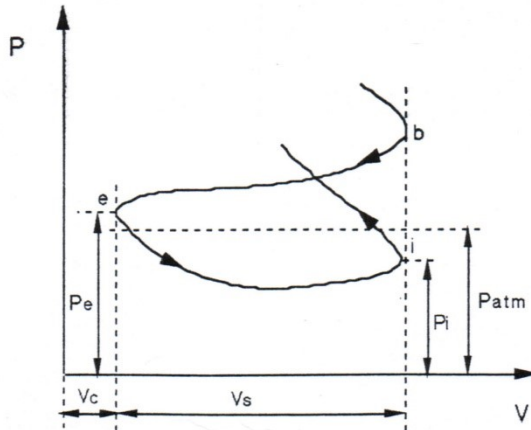
- 1) Emme ve eksoz sistemlerindeki hidrolik dirençlere (kayıplara) ,
- 2) Kıvılcımla ateşlemeli motorlarda emme sırasında , sıvı yakıtın buharlaşmasından dolayı , taze dolgunun soğumasına ,
- 3) Motorun sıcak kısımlarıyla teması ve artık gazlarla karışması yüzünden taze dolgunun ısınmasına,
- 4) Emme sırasında yanma odasının bir kısmını dolduran , önceki çevrimden kalan artık gazların miktarına,

Taze dolgu emilmeden önce , silindir içinde belirli bir miktarda artık gaz vardır.Çünkü , eksoz prosesi sırasında yanma ürünlerinin tamamı silindirden dışarıya atılamaz.

Tipik dört stroklu motorlarda artık gazların hacminin , yanma odası hacmine eşit olduğu kabul edilebilir.Yani , artık gazların hacmi ;

$$V_c = \frac{V_s}{(r_c - 1)}$$

olur.Şekil 4.3-deki diyagramda görüldüğü gibi , eksoz strokunun sonundaki basınç ( $P_e$ ) , atmosfer basıncından ( $P_{atm}$ ) daha büyüktür.Artık gazların miktarını hesaplariken ; bu gazların sıcaklığı , eksoz süpabından geçerek silindiri terkeden eksoz gazlarının sıcaklığına eşit alınabilir.



Şekil 4.3- Dört stroklu bir motorda emme ve eksoz (gaz değişme) prosesleri

Piston, ÜÖN ' dan AÖN ' ya hareket ederken silindirin içindeki basınç ; atmosfer basıncının altına düşer ve taze dolgu silindire dolar. Piston AÖN ' da iken basınç , hala, atmosfer basıncının altındadır. Çünkü , emme sistemindeki elemanların ( benzinli

motorlarda ; hava filtresi, karbüratör , gaz kelebegi ve emme süpabı ) hidrolik dirençleri yüzünden basınç kaybı olur.

Dört stroklu motorlardan farklı olarak ; iki stroklu motorlarda emme prosesinde, taze dolgu , süpürme sırasında silindire basınçlı olarak gönderilir.

Emme sistemindeki dirençler yüzünden basınç düşmesi ,

$$\Delta P = P_{atm} - P_i$$

dir. Buradaki  $P_i$  , piston AÖN ' da iken dolgunun (artık+ taze gaz) basıncı ve  $P_{atm}$  , atmosfer basıncıdır.

Taze dolgu silindire girerken sıcaklığı değişir. Kıvılcımla ateşlemeli motorlarda, yakıtın buharlaşması yüzünden dolgunun sıcaklığı düşer. Sıcaklıktaki düşme ; yakıtın buharlaşma ısısına ve buharlaşma derecesine (yüzdesine) bağlıdır. Dizel motorlarında , böyle bir durum söz konusu değildir. Tam buharlaşma için, bazı yakıtların sıcaklığındaki düşme Tablo 4.1' de verilmiştir.

Tablo 4.1- Stokiyometrik karışım şartlarında yakıtın tamamen buharlaşmasından dolayı sıcaklık düşmesi

Yakıt	Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	Stokiyometrik hava yakıt oranı(H/Y) <sub>sto</sub>	Sıcaklık düşmesi $\Delta T_b$ (K)
Benzin	349	14.75	21
İzo-oktan (C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> )	328	15.0	20
Benzen (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )	433	13.25	30
Ethanol (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH)	840	9.0	77
Methanol (CH <sub>3</sub> OH)	1100	6.44	135

Taze dolgu silindire girdiği zaman ; sıcak silindir cidarlarıyla ve süpab başlarıyla temas eder ve artık gazlarla karışır. Sonuçta , dolgunun sıcaklığı artar. Bu sebeple, piston AÖN ' da iken dolgunun sıcaklığı ; yakıtın buharlaşma gizli ısı ve buharlaşma derecesi (sadece kıvılcımla ateşlemeli motorlarda) , sıcak kısımlardan dolguya transfer edilen ısı miktarı , artık gazların miktarı ve bu gazların sıcaklığı kullanılarak tespit edilebilir. Ancak , kıvılcımla ateşlemeli motorlarda emme sırasında ; ısı transfer katsayısını, ortalama yüzey sıcaklığını ve yakıtın buharlaşan miktarını belirlemek için yeteri kadar veri olmadığından ; dolgunun sıcaklığındaki değişmeyi ( $\Delta T$ ) hesaplamak oldukça zordur. Bu yüzden, Dolgunun sıcaklığındaki değişme ( $\Delta T$ ) , deneysel olarak tespit edilir. Taze dolgunun sıcaklığındaki değişme; aşırı doldurmasız dizel motorları için,  $\Delta T = 20^\circ - 40^\circ \text{C}$  arasındadır. Petrol türevi yakıtların kullanıldığı ve karışımın karbüratörde hazırlandığı kıvılcımla ateşlemeli motorlarda ,  $\Delta T = 0^\circ - 20^\circ \text{C}$  ' dir. Alkol gibi , buharlaşma gizli ısı çok yüksek olan yakıtların kullanıldığı motorlarda  $\Delta T$  , negatif olabilir. Emme strokunun sonunda ( AÖN ' da) taze dolgu ile artık gaz karışımının sıcaklığı  $T_i$  ' yi bulmak için ; bu iki gazın karışma prosesi için ısı denge denklemi ' ni şu şekilde yazabiliriz ;

$$\Delta T = T_i - T_a$$

$$n_l \bar{c}_{pl} (T_a + \Delta T) + n_r \bar{c}_{pr} T_r = (n_l + n_r) \bar{c}_{pi} T_i$$



Buradaki ;  $n$  , mol sayısı ;  $\bar{c}_p$  , özgül ısı ve birimi kJ/kmolK ;  $i$  -indisi , taze dolguyu ;  $r$  - indisi , artık gazları ve  $i$  - indisi ,  $i$  - noktasında taze dolgu ile artık gaz karışımını gösterir.  $T_a$  , atmosfer sıcaklığıdır.

#### 4.2.1 Volumetrik Verim

Emme strokunda motor tarafından silindire emilen taze havanın miktarı , motorun volumetrik veriminin bir ölçüsüdür. Bir emme strokunda motor tarafından emilen havanın kütesine , birim hava dolgusu denir. Birim hava dolgusunun, giriş sıcaklık ve basıncındaki havanın bir strok hacminin kütesine oranına volumetrik verim denir. Bu tanıma göre, dört stroklu bir motor için volumetrik verim ;

$$\eta_v = \frac{2 \dot{m}_h}{n V_s p_a}$$

Buradaki ;  $\dot{m}_h$  = birim zamanda emilen havanın kütlesi

$n$  = birim zamanda motorun dönme sayısı

$V_s$  = motorun toplam strok hacmi

$p_a$  = havanın motora girişteki yoğunluğu

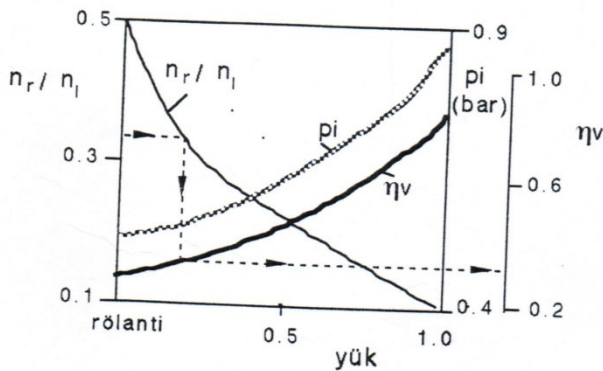
İki stroklu motorlarda volumetrik verim , şu şekilde tanımlanmıştır ;

$$\eta_v = \frac{\dot{m}_h}{n V_s p_a}$$

Emme strokunun sonundaki  $p_i$  basıncı , volumetrik verimi etkileyen temel parametredir.  $p_i$ 'nin değeri emme sistemindeki dirençlere bağlıdır. Taze dolgunun sıcaklığındaki değişim  $\Delta T$  ' de volumetrik verimi etkiler. Sıkıştırma oranının volumetrik verime etkisi ihmal edilebilir.

Volumetrik verim ; silindir boyutlarından , süpaplara pozisyonundan (yerleştirilmesinden) , emme sisteminin dizaynından ve süpap (zaman) ayarlarından etkilenir. Eğer, silindirin çapı büyükse ; emme süpabının çapını arttırmak mümkündür. Dolayısıyla, emme sisteminde dolgunun hızı azalacağından, hidrolik kayıplarda azalır.

Artık gazların miktarı da , silindire emilen taze dolgunun miktarını etkiler. Kıvılcımla ateşlemeli bir motorda , motor yükünün , volumetrik verim , emme strokunun sonundaki basınç ve artık gaz miktarına etkisi Şekil 4.4 ' de gösterilmiştir.



Şekil 4.4 - Bir kıvılcımla ateşlemeli motorda motor yükünün ; volumetrik verim, emme strokunun sonundaki basınç ve artık gaz miktarına etkisi

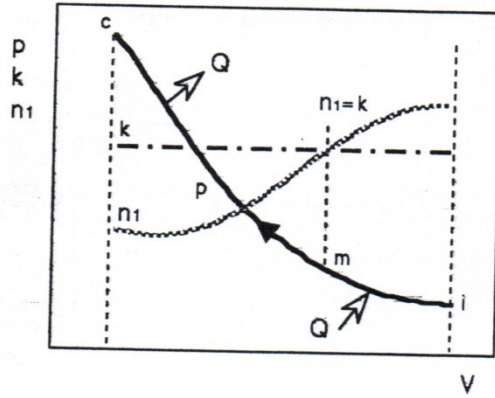
silindire alınan taze hava karışımının miktarının silindire alılabilecek maksimum taze hava karışım miktarına olan oran.

Dizel motorlarında yük kontrolü , yakıt miktarı değiştirilerek yapıldığından ; motorun dönme sayısı sabit tutulup , yük değiştirilirse hidrolik dirençler sabit kalır. Yük arttığı zaman, ısının transfer edildiği yüzeylerin sıcaklığı artar. Bu yüzden, dolgunun sıcaklığı artar ve volumetrik verim azalır.

### 4.3 Sıkıştırma Prosesi

Sıkıştırma prosesi , emme strokunun sonundan (i noktasından) itibaren sıcaklığı ve basıncı artırarak , işgören karışımın tutuşması ve yanması için uygun şartları hazırlar. Gerçek çevrimde , sıkıştırma sırasında taze dolgu ile motorun silindiri arasında ısı alışverişi olur. Bu ısı alışverişinin kompleks yapısı , basit termodinamik denklemlerle doğru bir şekilde ifade edilemez. Bu yüzden , genellikle , sıkıştırma prosesinin politropik olduğu ve bu proses sırasında ortalama politropik üssün ( $\bar{n}_1$ ) sabit kaldığı kabul edilir.

Şekil 4.5 - de sıkıştırma sırasında ; basınç, izentropik üs ve politropik üssün nasıl değiştiğini gösteren eğriler çizilmiştir. Sıkıştırmanın başlangıcında taze dolgunun sıcaklığı , çevresindeki parçaların ( silindir , silindir kapağı , piston ve süpaplara ) sıcaklığından daha küçüktür. Bu sebeple, sıkıştırmanın ilk kısmında ( i - m ) , bu sıcak parçalardan dolguya ısı transferi olur. Bu kısımda politropik üs , adyabatik üs' ten daha büyüktür. Yani ,  $n_1 > k$  ' dir.



$n_1 > k$  ise cıdardan gaza ısı ventır  
 $n = k$  ise ısı transferi yoktur.  
 $n < k$  ise gandan cıdara ısı ventır

Şekil 4.5 - Sıkıştırma prosesi sırasında ; basınçın, politropik üssün ve adyabatik üssün değişmesi

Sıkıştırma devam ettikçe, dolgunun sıcaklığı artarak çevredeki parçaların sıcaklığını aşar ve dolgudan çevredeki parçalara ısı transfer edilir. Bu durumda (m - c) politropik üs , adyabatik üs ' ten küçüktür , ( $n_1 < k$ ) ' dir. Lokal sıcaklıkların değerine bağlı olarak ; daha sıcak parçalardan dolguya veya dolgudan daha soğuk parçalara ısı transferi çok ani bir şekilde olur. Deney sonuçlarına göre ; m-c arasında dolgudan çevredeki elemanlara transfer edilen ısı , i-m arasında bu elemanlardan dolguya transfer edilen ısıdan daha büyüktür. Sıkıştırma prosesindeki ortalama politropik üs  $\bar{n}_1$ , adyabatik üs ' ten daha küçüktür. Ortalama politropik üs  $\bar{n}_1$  ; motorun hızına, silindir büyüklüğüne, silindirin soğutulma derecesine ve yanma odasının şekline bağlıdır.



Motorun hızı arttıkça , ortalama politropik üs  $n_1$  artar. Tersine; sıkıştırma prosesinin ortalama sıcaklığı artarsa ve motorun soğutulması iyileşirse , bu üs azalır.

Sıkıştırma strokunun sonundaki ; basınç (  $p_c$  ) ve sıcaklık (  $T_c$  ) aşağıdaki bağıntılardan hesaplanabilir :

$$p_c = p_i (V_i / V_c)^{\bar{n}_1} = p_i [(V_c + V_s) / V_c]^{\bar{n}_1} = p_i r_c^{\bar{n}_1}$$

$$T_c = T_i (V_i / V_c)^{\bar{n}_1 - 1} = T_i (r_c)^{\bar{n}_1 - 1}$$

Sıkıştırma olayını karakterize eden çeşitli parametreler , Tablo 4.2 ' de verilmiştir.

Tablo 4.2 - Benzinli ve dizel motorlarında ; sıkıştırma oranı , ortalama politropik üs , sıkıştırma sonu basıncı ve sıcaklığı

Parametreler	Birimi	Benzinli motor	Dizel motoru *
ortalama politropik üs , $\bar{n}_1$	-	6 - 11	14 - 21
sıkıştırma oranı , $r_c$	-	1.3 - 1.37	1.32 - 1.4
sıkıştırma sonu basıncı , $p_c$	bar	9 - 15	35 - 50
Sıkıştırma sonu sıcaklığı , $T_c$	K	550 - 750	700 - 900

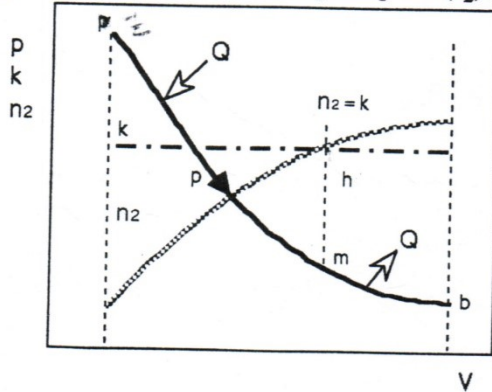
\* normal doldurma

#### 4.4 Genişleme prosesi

Genişleme prosesi sırasında, yanma sonucu ortaya çıkan ısı , faydalı mekanik enerjiye dönüştürülür. Genişleme prosesinin adyabatik olarak meydana geldiği ideal çevrimlerden farklı olarak , gerçek genişleme prosesinde gazlar ile; silindir cidarları , silindir kapağı ve piston arasında yoğun ısı alış veriş i olur. Bunun yanı sıra, yanmanın devam etmesi (ayrılmış ürünlerin birleşmesiyle meydana gelen yanma) sebebiyle , gazlar ısı alır ve genişleme sırasında sıcaklık düşüğünden gazın özgül ısıda bir düşme olur. Sonuç olarak ; gazların gerçek genişleme prosesi , politropik olarak meydana gelir. Genişleme sırasında politropik üs , 1.2 - 1.3 arasında değişir.

Yanma ve genişleme sıcaklığındaki bir artıma ; gazların özgül ısısının artmasına ve politropik üssün azalmasına sebep olur. Daha yüksek motor soğutma hızı , bu üssün artmasına yardım eder.\*

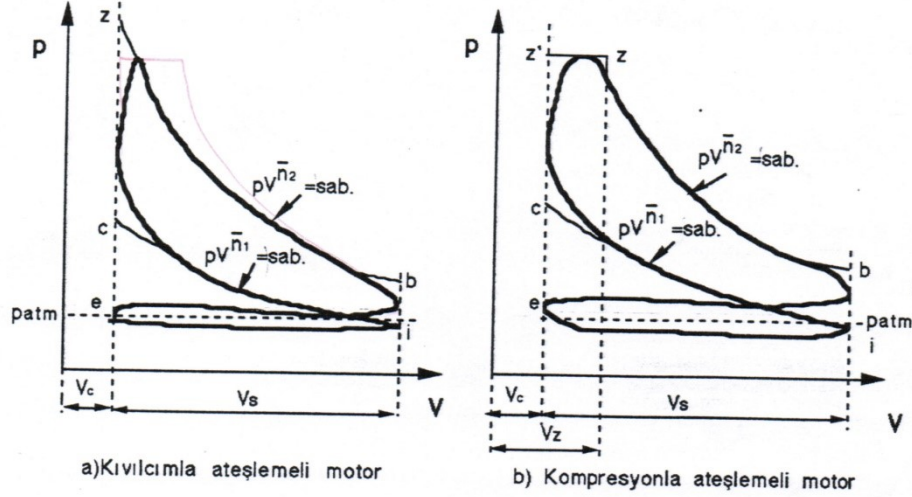
Genişlemenin başlangıcında yoğun bir şekilde devam eden yanmadan dolayı gazlara transfer edilen ısı , gazı çevreleyen yüzeylerden dışarıya atılan ısıdan çok daha büyüktür. Bu yüzden, Şekil 4.6 da görüldüğü gibi, (  $p$ - $m$  ) arasında politropik üs (  $n_2$  ) , adyabatik üs (  $k$  ) ' ten daha küçüktür.



Şekil 4.6 -Genişleme prosesi sırasında ; basıncın, politropik üssün ve adyabatik üssün değişimi

Yanma yavaşladıkça politropik üs artar. Yanma sonucunda ortaya çıkan ısı, çevreye kaybolan ısıya eşit olursa; politropik üs, adyabatik üsse (h-noktasında) eşit olur. Genişleme devam ettikçe; çevreye kaybolan ısı, yanmadan (eğer olursa) ortaya çıkan ısıdan daha büyük olur ve politropik üs, (m-b) arasında artar.

Sıkıştırmada olduğu gibi, politropik üssün değişmesine rağmen; genişlemenin sabit bir ortalama politropik üs ( $\bar{n}_2$ ) ile meydana geldiği kabul edilir. Genişleme için ortalama politropik üs  $\bar{n}_2$ , adyabatik üs'ten küçüktür.



Şekil 4.7-Dört şroklı motorlarda indikatör diyagramları

Şekil 4.7 'de gösterilen diyagramda genişlemenin sonundaki (b-noktasındaki) basınç ve sıcaklıklar; kıvılcımla ateşlemeli motorlarda,

$$P_b = P_z \frac{1}{r_c^{\bar{n}_2}} \quad \text{ve} \quad T_b = T_z \frac{1}{r_c^{\bar{n}_2 - 1}}$$

kompresyonlu ateşlemeli motorlarda,

$$P_b = P_z \frac{r_v^{\bar{n}_2}}{r_c^{\bar{n}_2}} \quad \text{ve} \quad T_b = T_z \frac{r_v^{\bar{n}_2 - 1}}{r_c^{\bar{n}_2 - 1}}$$

formüllerinden hesaplanabilir.

Tablo 4.2 - Benzinli ve dizel motorlarında; genişleme olayını karakterize eden parametreler

Parametreler	Birimi	Benzinli motor *	Dizel motoru *
ortalama politropik üs, $\bar{n}_2$	-	1.23 - 1.30	1.18 - 1.28
genişleme sonu basıncı, $P_b$	bar	3.5 - 5.0	2.0 - 4.0
genişleme sonu sıcaklığı, $T_c$	K	1200 - 1500	1000 - 1200

\* normal doldurmalı

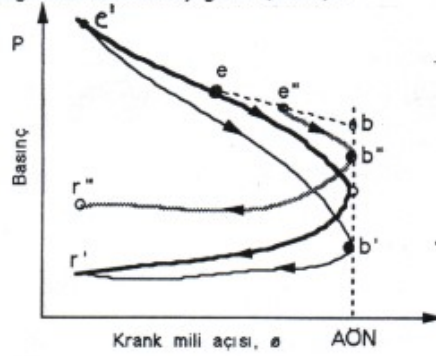
\* karbüratörlü

#### 4.5 Eksoz Prosesi

Modern motorlarda, eksoz supabı AON'dan önce açılır. Eksoz supabının açıldığı andan, yaklaşık AON'ya kadar geçen sürede 600 - 700 m/s'lik kritik (ses üstü) hızlarda dışarıya çıkarlar. Bu sürede eksoz gazlarının yaklaşık % 60 - 70'i silindiri şiddetli bir gürültüyle terkeder. Geriye kalan sürede, eksoz gazları 200 - 250 m/s'lik düşük hızlarda dışarıya çıkarlar. Eksoz



gazlarını dışarıya atmak için gereken iş ve silindirin temizlenme derecesi , büyük ölçüde, eksoz supabının açılma zamanına bağlıdır. Şekil 4.8' de , dört stroklu bir motor için eksoz prosesini kısmen gösteren indikatoör diyagramı çizilmiştir.



Şekil 4.8 - Dört stroklu bir motorda eksoz prosesini karakterize eden kısmi indikatoör diyagramı

Bu diyagramdaki gibi, eksoz supabı  $e'$  noktasında <sup>ki</sup> gibi oldukça erken açılırsa ; genişleme sırasında kaybolan iş ,  $e'bb'e'$  alanına eşittir. Bu iş , oldukça büyüktür. Bu iş , eksoz deliğini bu kadar erken açarak , eksoz gazlarını dışarıya atmak için piston tarafından harcanılan işin azaltılmasıyla telafi edilemez.

$e''$  noktası , eksoz supabının geç açıldığı noktayı gösterir. Bu durumda , daha az genişleme işi kaybedilmesine rağmen,  $b''-r''$  arasında eksoz gazlarını dışarıya atmak için daha fazla iş sarfedilecektir. Ayrıca silindirde kalan artık gazların miktarı nispeten daha yüksek olacaktır.

$e$  noktası , eksoz supabının açılması için optimum ( en uygun ) noktayı göstermektedir ve deneysel olarak tespit edilir. Optimum eksoz açılma avansı , en iyi motor performansını sağlar.