

4. TERMİK MOTORLARDA GÜÇ VE VERİM

Prof. Dr. Ayten ONURBAŞ AVCIOĞLU
Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği
Bölümü

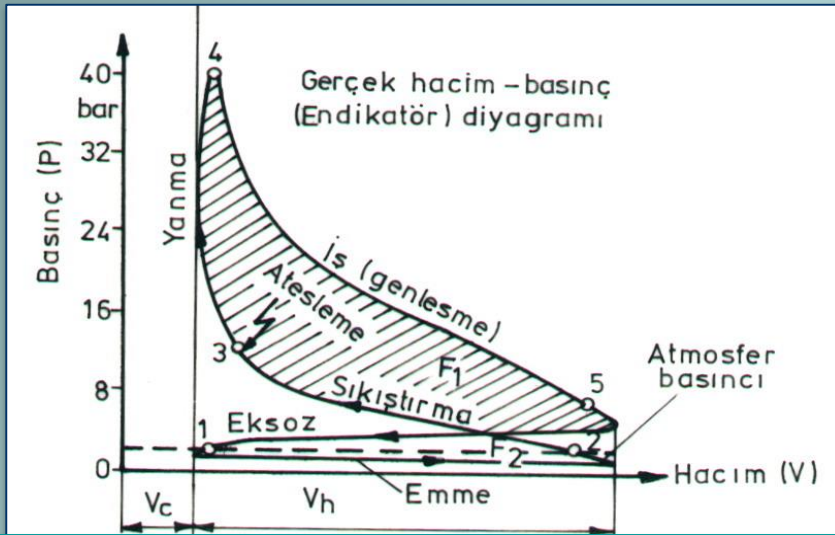
4. TERMİK MOTORLARDA GÜÇ VE VERİM

- Güç,
- Verim,
- Yakıt tüketimi,
- Tanıtım eğrileri,
- Özgül güç,
- Özgül ağırlık

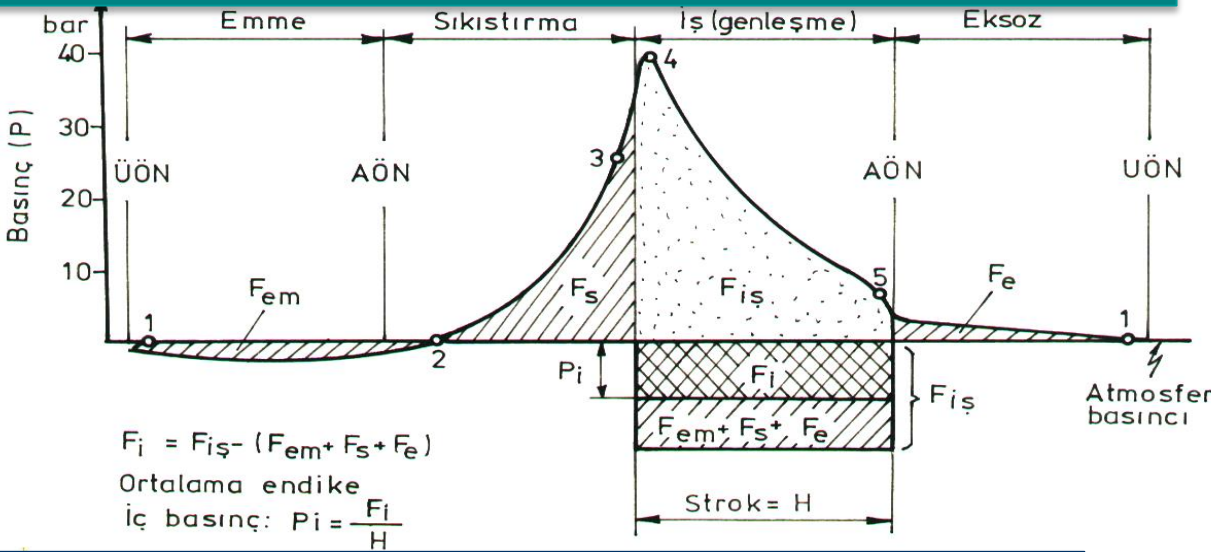
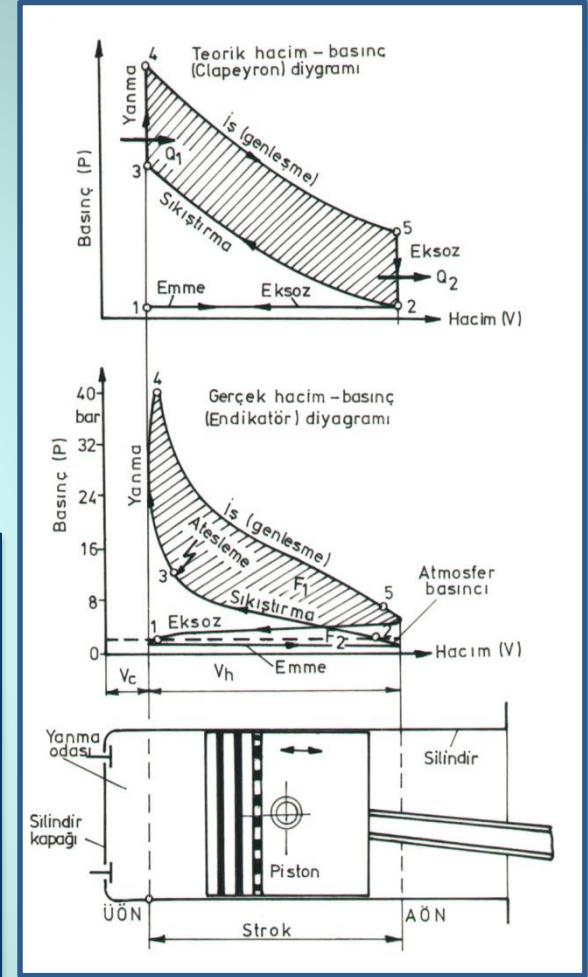
- Termik motorlara ilişkin güç hesaplamaları yapılırken; **teorik güç, endike güç ve efektif güç** söz konusudur. **Teorik güç**; ideal yapıya sahip bir motorun belirli termodinamik koşullar altında geliştireceği ve hesaplama ile bulunan güçtür. **Endike güç**; endikatör diyagramından bulunan ortalama endike iç basınç yardımıyla hesaplanan, silindir içindeki motor gücüdür. **Effektif güç** ise, motorun güç çıkış noktası olan volandan alınan güç olmaktadır.

2.1. Endike Güç

Endike gücün hesaplanmasında, Şekil 2.1.a'da verilen endikatör diyagramlarının alanlarından yararlanılmaktadır. Ortalama endike iç basıncı bulmak için şekilde taralı bulunan F_1 alanından taranmamış durumdaki F_2 alanını çıkarmak ve kalanı strok boyuna bölmek gerekmektedir. Konuyu daha anlaşılır duruma getirmek için endikatör diyagramını Şekil 2.1.b'de olduğu gibi açabiliriz. Bilindiği gibi, iş zamanının dışındaki tüm zamanlarda harcanan enerji, iş zamanında kazanılan enerjiden sağlanmaktadır. Bu nedenle, genleşme eğrisi ile atmosfer basıncı hattı arasında kalan alan, sisteminin iş yapabilmesinin, diğer alanlar ise sistemden alınan işlerin ölçüsü olmaktadır. Şu halde, ortalama endike iç basınç, şekilde $F_{i\dot{s}}$ ile gösterilen alandan $F_{em} + F_s + F_e$ alanlarının çıkarılması ile elde edilen F_i alanının strok boyuna bölünmesiyle bulunmaktadır.



a. Gerçek hacim-basınç (Endikatör) diyagramı



$$F_i = F_{is} - (F_{em} + F_s + F_e)$$

Ortalama endike iç basıncı: $P_i = \frac{F_i}{H}$

b. Hacim basınç diyagramının açılımı.
Şekil 2.1. Ortalama endike iç basıncın bulunması.

- Endikatör diyagramından ortalama basınç bulunduğundan sonra, pistonu etkileyen toplam kuvvet,
- $P = p_i \cdot F$ (N)
- bağıntısıyla bulunabilir. Pistonun ortalama hızı ise;
-
- $v = 2 H \cdot n$ (m/s)
- olmaktadır. Bunlar, genel güç formülünde yerine konulursa,
- $N_i = P \cdot v = 2 H \cdot n \cdot p_i \cdot F$
- elde edilir. Dört zamanlı motorlarda, dört strokta bir iş zamanı olduğundan ve silindir sayısını i alarak;

$$N_i = \frac{2 H \cdot n \cdot p_i \cdot F \cdot i}{4} = \frac{F \cdot H \cdot n \cdot p_i \cdot i}{2} \quad (2.1)$$

- ve iki zamanlı motorlar için de,

$$N_i = F \cdot H \cdot n \cdot p_i \cdot i \quad (2.2)$$

■ sonucuna varılır.

Ayrıca, $F.H.i = V_h$ olduğundan, dört zamanlı motorların endike gücü,

$$N_i = \frac{V_h \cdot n \cdot p_i}{2} \quad (2.3)$$

ve iki zamanlı motorlarındaki ise,

$$N_i = V_h \cdot n \cdot p_i \quad (2.4)$$

olarak da yazılabilir. Bu bağıntılarda;

P : Pistona etkiyen toplam kuvvet (N),

p_i : Ortalama endike iç basınç (Pa),

F : Piston yüzey alanı (m^2),

v : Ortalama piston hızı (m/s),

H : Strok (m),

n : Motor devir sayısı (d/s),

N_i : Endike motor gücü (W),

i : Silindir sayısı,

V_h : Toplam strok hacmi (m^3) dir.

■ Son iki bağıntıda, toplam strok hacmi litre ve endike iç basınç megapaskal olarak alınırsa, güç kilowat olarak bulunur. Uygulamada, **basınç (bar)**, **devir sayısı (d/d)** ve **hacim (l)** verildiğinde, dört ve iki zamanlı motorların endike gücü;

■
$$N_i = \frac{V_h \cdot n \cdot p_i}{1200} \quad (\text{kW}) \quad (2.5)$$

■
$$N_i = \frac{V_h \cdot n \cdot p_i}{600} \quad (\text{kW}) \quad (2.6)$$

■ bağıntılarıyla hesaplanır.

2.2. Effektif Motor Gücü

Effektif motor gücü, motorun çıkış noktasından (volandan) alınan güçtür. Bilindiği gibi, endike güç, silindir içinde ölçülen ortalama basınç ve motor devir sayısı esas alınarak hesaplanmaktadır. Kuvvet iletiminin, pistondan volana kadar olan kısmında sürtünme kayıpları söz konusudur. Ayrıca, gücün bir kısmı kumanda organları ve yardımcı donanımlar için harcanmaktadır. Bu nedenle, mekanik verimi η_m olarak, efektif motor gücü (N_e),

$$N_e = N_i \cdot \eta_m \quad (2.7)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Endike iç basınçtan yararlanarak ortalama efektif basınç bulunmak istenirse,

$$p_e = p_i \cdot \eta_m \quad (2.8)$$

yazılır.

- Yukarıda verilen 4.5, 4.6, ve 4.7 numaralı bağıntılar da göz önünde tutularak, dört ve iki zamanlı motorlar için efektif güç;

-
- $$N_e = \frac{V_h \cdot n \cdot p_e}{1200} \quad (\text{kW}) \quad (2.9)$$
-

-
- $$N_e = \frac{V_h \cdot n \cdot p_e}{600} \quad (\text{kW}) \quad (2.10)$$
-

- eşitlikleriyle hesaplanır. Bu bağıntılarda;

- N_e : Effektiv motor gücü (kW),
- N_i : Endike motor gücü (kW),
- η_m : Mekanik verim,
- p_e : Ortalama efektif basınç (bar),
- p_i : Ortalama endike basınç (bar),
- V_h : Toplam silindir (strok) hacmi (l),
- n : Motor devir sayısı (d/d)' dir.

- Döner bir sistemde, çevre kuvveti U (N) ve çevre hızı v (m/s) alınarak güç hesaplanmak istenirse,

- $$N = \frac{U \cdot v}{1000} \quad (\text{kW})$$

- genel bağıntısı yazılır. Döner cismin yarıçapı r alınarak ve dönme momentini veren bağıntıdan yararlanılarak,

- $$M_t = U \cdot r \quad (\text{Nm}) \quad \text{ve} \quad U = \frac{M_t}{r} \quad (\text{N})$$

- yazılır. Çevre hızı da,

- $$v = \frac{2 \pi \cdot r \cdot n}{60} \quad (\text{m/s})$$

- olduğundan efektif motor gücü,

-
- $$N_e = \frac{U \cdot v}{1000} = \frac{M_t}{r} \cdot \frac{2 \pi \cdot r \cdot n}{60 \cdot 1000}$$
-

-
- $$N_e \approx \frac{M_t \cdot n}{9550} \quad (2.11)$$
-

- olarak bulunur. Bu son bağıntıda,

- N_e : Effektif motor gücü (kW),
- M_t : Dönme momenti (Nm),
- n : Motor devir sayısı (d/d) dır.

Dört zamanlı motorlarda, ortalama efektif iç basıncı momente ve hacme bağlı bulmak için, 4.9 ve 4.11 numaralı bağıntılardan yararlanarak,

$$\frac{V_h \cdot n \cdot p_e}{1200} = \frac{M_t \cdot n}{9550}$$

yazılır ve p_e 'ye göre düzenleme yapılırsa,

$$p_e = 0,1256 \frac{M_t}{V_h} \quad (2.12)$$

elde edilir. Aynı düzenleme ile iki zamanlı motorlar için de,

$$p_e = 0,0628 \frac{M_t}{V_h} \quad (2.13)$$

bulunur. Bu son iki bağıntıda;

p_e : Ortalama efektif basınç (bar),

M_t : Dönme momenti (Nm),

V_h : Toplam strok hacmi (l) dir.

2.3. Termik Motorlarda Verim

- Termik motorlarda genel olarak teorik çevrim verimi, termik verim, mekanik verim ve toplam verim söz konusudur. Teorik çevrim verimi, ideal yapıdaki bir motorun termodinamik çevriminin verimi olup termodinamik konuları arasında incelenmektedir.
- Termik verim, motorun endike gücünün sağlayacağı enerjinin, motora yakıt tarafından verilen toplam enerjiye oranıyla bulunabilir :

- $$\eta_t = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{N_i}{N_0} \quad (2.14)$$

- Mekanik verim de efektif gücün, endike güce oranı olarak belirtilmişti. Toplam verim ise, motorun çıkış noktasında sağlayabileceği mekanik enerjinin, motora verilen ısı enerjisine oranı olmaktadır. Bu durumda;

- $$\eta_T = \frac{N_e \cdot 3600}{Q_o} \quad (2.15)$$

- yazılabilir. Ayrıca,

- $$N_e = N_i \cdot \eta_m ; \quad N_i = N_o \cdot \eta_t \text{ ve } Q_o = N_o \cdot 3600$$

- Olduğundan

- $$\eta_T = \frac{N_i \cdot \eta_m \cdot 3600}{Q_o} = \frac{N_o \cdot \eta_t \cdot \eta_m \cdot 3600}{N_o \cdot 3600} = \eta_t \cdot \eta_m \quad (2.16)$$

- elde edilir.

- Bu bağıntılarda;
- η_t : Termik verim,
- Q_i : Motordan alınan endike enerji (kJ),
- Q_o : Motora verilen enerji (kJ),
- N_i : Motordan alınan endike güç (kW),
- N_o : Motora verilen güç (kW),
- η_T : Toplam verim,
- N_e : Effektif motor gücü (kW),
- η_m : Mekanik verimdir.

- Motora verilen enerji yakıttan sağlanmaktadır. Motorun bir saatte tükettiği yakıt miktarına "saatlik yakıt tüketimi" denilmekte ve **B (kg/h)** ile gösterilmektedir. Bir kW motor gücü için, bir saatte tüketilen yakıt miktarına ise "özellük yakıt tüketimi" denilmekte ve **b_e (kg/kWh)** ile gösterilmektedir. Şu halde, özgül yakıt tüketimi;

- - $$b_e = \frac{B}{N_e} \quad (2.17)$$

- olarak yazılır.

Bilindiği gibi, toplam verim motordan alınan enerjinin motora verilen enerjiye oranı olmaktadır. Yani;

$$\eta_T = \frac{N_e \cdot 3600}{B \cdot H_u} = \frac{N_e \cdot 3600}{N_e \cdot b_e \cdot H_u} = \frac{3600}{b_e \cdot H_u}$$

yazılabilmekte ve

3600

$$b_e = \frac{3600}{\eta_T \cdot H_u} \quad (2.18)$$

sonucu elde edilmektedir. Bu bağıntılarda;

b_e : Özgül yakıt tüketimi (kg/kWh),

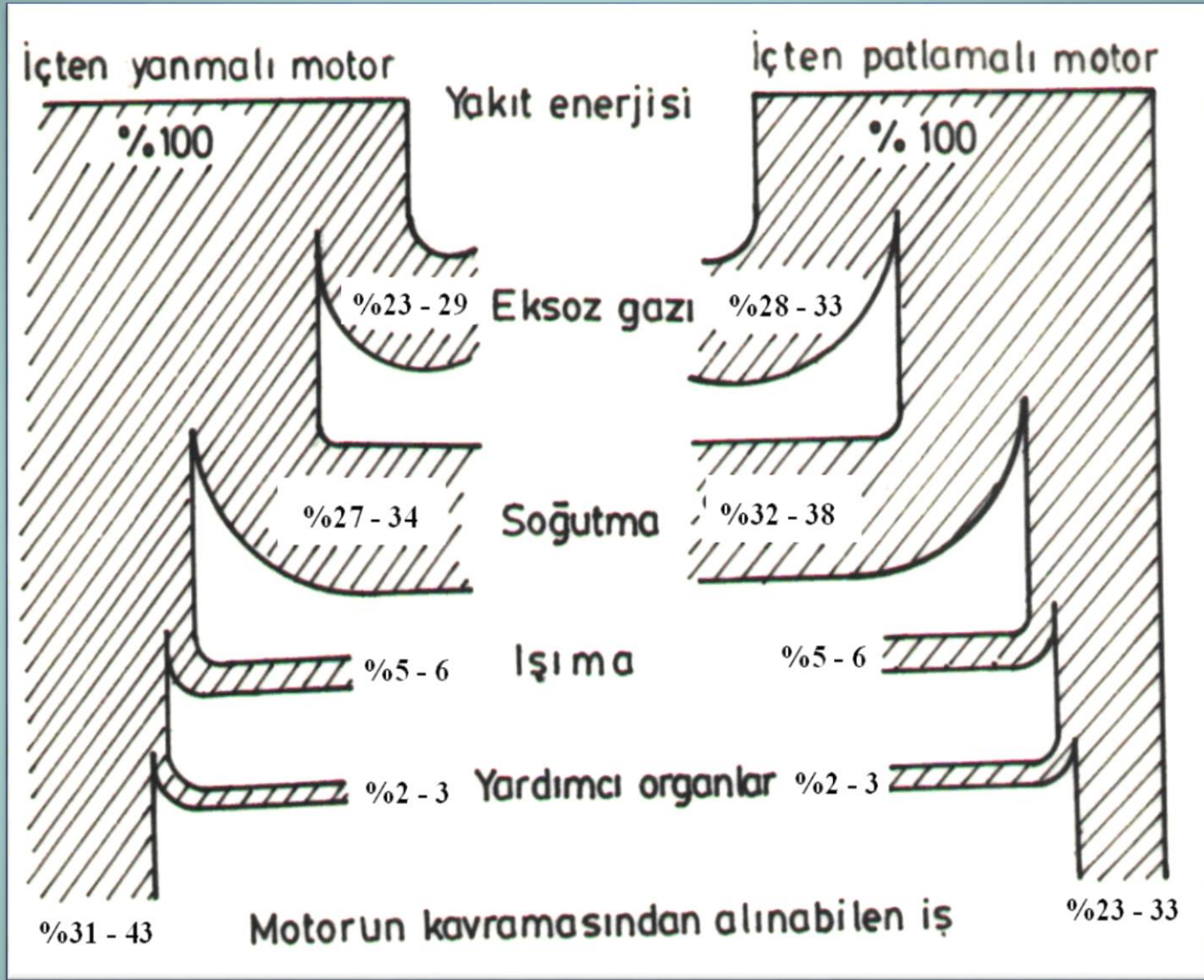
B : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h),

N_e : Motor efektif gücü (kW),

η_T : Toplam verim,

H_u : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)'dır.

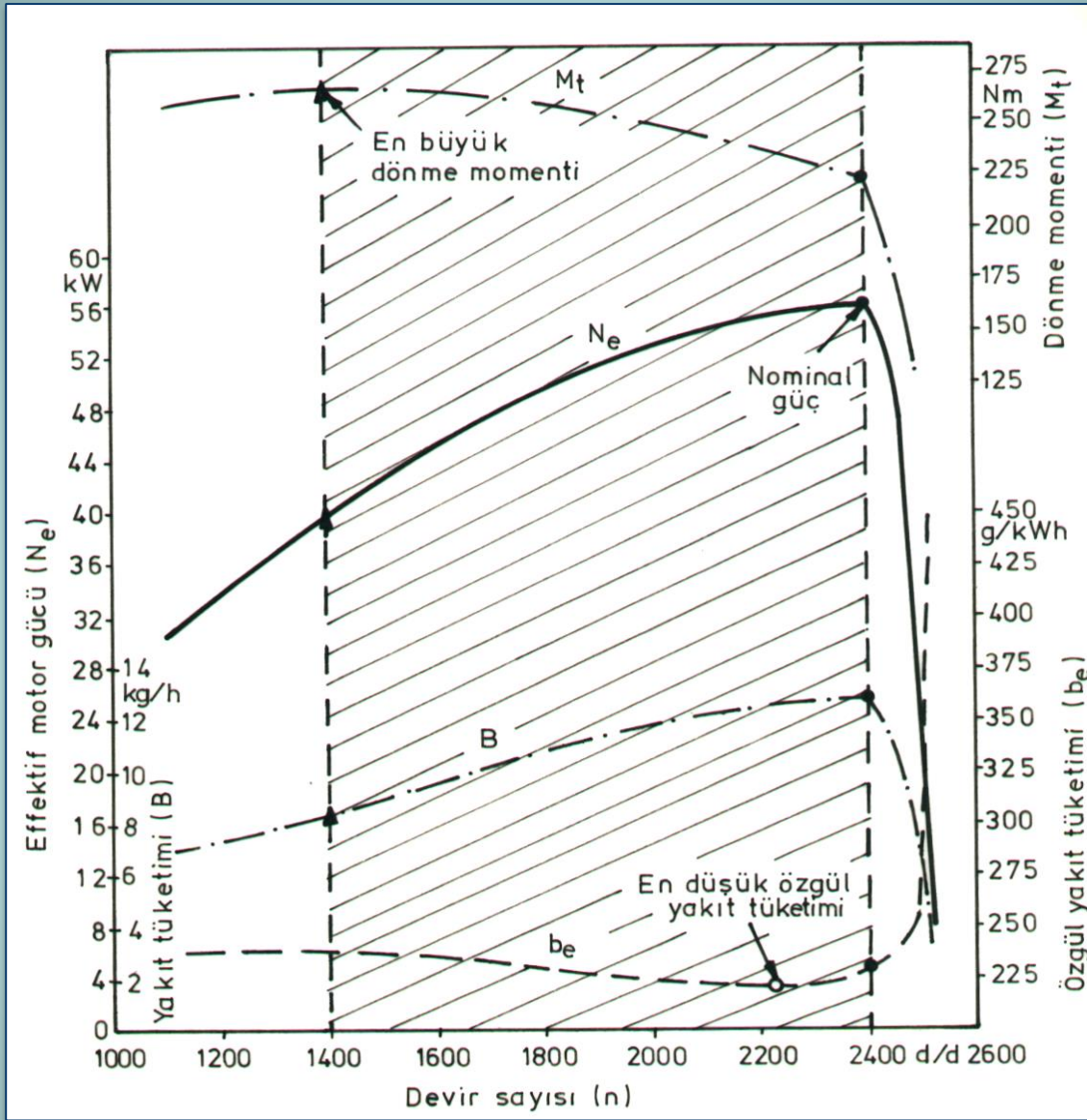
- Yakıt tarafından motora sağlanan enerjinin büyük bir kısmı, soğutma donanımı (% 27...38), egzoz gazları (% 23...33) ve ışıma (% 5...6) ile dışarı atılmaktadır. Yardımcı organlar ve mekanik sürtünmeler nedeniyle olan kayıplar da çıktıktan sonra, geriye kalan mekanik işe dönüşmüş olmaktadır (Şekil 2.2).
- Şekilden anlaşılacağı gibi, içten patlamalı motorlarda volandan alınabilecek enerji, verilen yakıt enerjisinin % 23...33'ü kadar olmaktadır. İçten yanmalı motorlarda bu oran, % 31...43 arasındadır. Bu yönden bir karşılaştırma yapmak gerekirse, ortalama olarak, içten yanmalı motor, yakıtı % 33 daha ekonomik kullanmaktadır.



■ Şekil 4.2. Termik motorlarda yakıt enerjisinin dağılımı.

■ 2.4. Motor Tanıtım Eğrileri

- Motor tanıtım eğrileri; motorların denenmesi sırasında saptanan güç, moment, saatlik yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminin, motor devir sayısına bağlı olarak verilmesiyle elde edilen grafiklerdir (Şekil 2.3). Motor denemeleri bölümünde inceleneceği gibi, ölçmeler sırasında motor tam gaz ile çalışmaktadır. Devir sayısının değiştirilmesi, güç freni aracılığıyla, motoru az veya çok yükleyerek sağlanmaktadır.



■ Şekil 2.3. Motor tanıtım eğrileri.

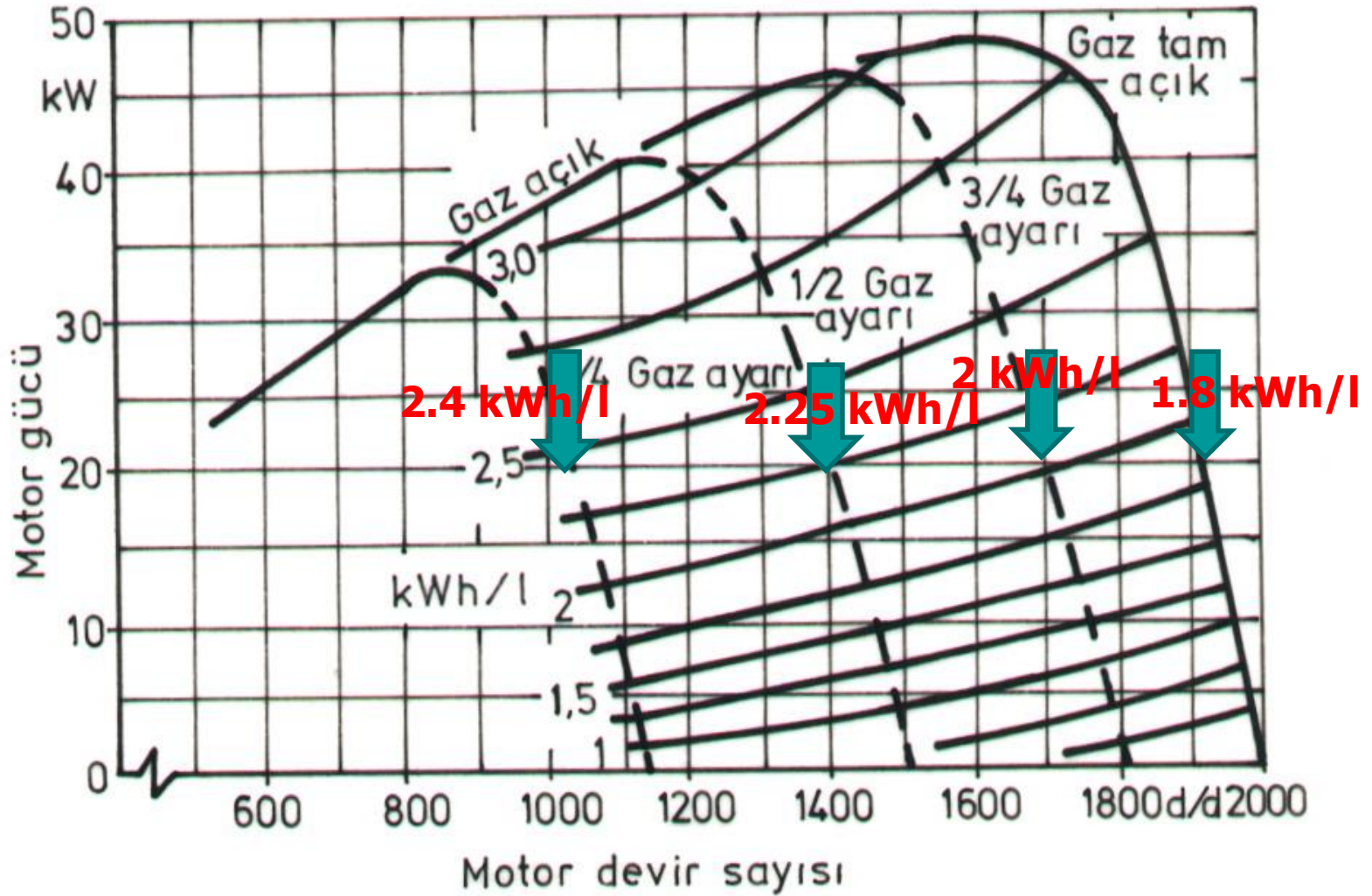
- Eğrilerin incelenmesinden anlaşılacağı gibi, motor devir sayısı arttıkça, efektif güç, saatlik yakıt tüketimi ve dönme momenti önce artmakta, sonra azalmaktadır. Dönme momentinin ve gücün maksimum olduğu noktalar birbirinden farklı olmaktadır. Özgül yakıt tüketiminin en düşük değeri, bu iki noktaya ilişkin devir sayıları arasında elde edilmektedir.
- Motor gücü, aracın iş yapabilme yeteneğinin bir ölçüsü olduğundan, bilinmelidir. Çalışan bir motorda, dışarıya güç çıkışı yapmadan, motorun çalışmasını sürdürebilmesi için minimum bir devir sayısına gerek vardır.
- Bu, rölanti devir sayısı olarak adlandırılmaktadır. Motor rölanti devir sayısı ile çalışırken, sadece sürtünme dirençleri yenilmekte ve fonksiyon için gerekli organlar çalışmaktadır. Rölanti devir sayısı genellikle, 600 d/d ve daha fazla olmaktadır.

- Devir sayısının artmasına bağlı olarak, gc de artarak, belirli bir devir sayısında en büyük değerine erişmektedir. Motorun, aşırı ısınmaksızın sürekli olarak verebileceği bu güce, nominal (anma) gc adı verilmektedir. Nominal gücün elde edildiği devir sayısı, nominal devir sayısı olup, bu değerin üstündeki devir sayılarında motor gücü ve dönme momenti hızla azalmaktadır. Gc ve momentin hızla azalmasının başlıca nedenleri; sürtünme kayıplarının artışı, silindirlerin dolma derecelerinin azalması ve içten yanmalı motorlarda hız regülatörlerinin devreye girmesidir. Motor tam gaz durumu ile çalışırken ve motordan gc alınmazken ulaşılan en büyük devir sayısına, maksimum devir sayısı denilmektedir.
- Motorun saatlik yakıt tüketimi de, devir sayısına bağlı olarak önce artmakta ve nominal devir sayısından sonra hızla azalmaktadır (şekil 4.3).

- Özgöl yakıt tüketimi, motorların yapısına çok fazla bağlı olmakla birlikte, genel olarak, nominal devir sayısının altında ve ona yakın bir noktada en düşük değerini almaktadır. İyi bir motorda, özgöl yakıt tüketiminin düşük bir düzeyde bulunması ve motorun normal çalışma bölgesi içinde önemli bir değişiklik göstermemesi istenir. Özgöl yakıt tüketiminin değişimi, motorun konstrüksiyon özellikleri yanında, motor yüklenişine de önemli derecede bağlı bulunmaktadır.

■ Uygulamada, düşük güçlerin elde edilmesinde, motor devir sayısını azaltarak (motor gazını kısarak), özgül yakıt tüketiminin düşük değerlerde tutulmasına çalışılır. Şöyle ki; Şekil 2.3'de verilen taralı bölgede motorun çalışması durumunda, özgül yakıt tüketiminin uygun olacağı görülmektedir. Ne var ki, uygulamada, gerek taşıt motorlarında, gerekse diğer motorlarda, motor gazı sonuna kadar açık iken, yükleme ile, motorun taralı bölgede çalışması sağlanamaz. Motor, genellikle verebileceği gücün altında yüklenerek, nominal devir sayısının üzerindeki devir sayılarında çalışır. Bu durumda, sürücü veya kullanıcının devreye girerek, motorun gaz ayarıyla, devir sayısını düşürmesi gerekmektedir. Ayarlama iyi yapılmış ise, motor yeni gaz ayarı için tam güçte veya ona yakın yüklenerek, ekonomik çalışma sağlanmış olur. Şekil 2.4'de kısmi gaz durumundaki çalışmalarda, motor tanıtım eğrilerinin durumu görülmektedir. Şekilde yatay ekseninde motor devir sayısı ve düşey ekseninde motor gücü verilmiştir. Birim yakıttan elde edilen iş miktarını ise, eğik durumdaki eğriler belirlemektedir.

■ Şekilden anlaşılacağı gibi, motordan, belirli bir gücü mümkün olan en düşük gaz rejimiyle elde etmek ekonomik olmaktadır. Örneğin; 48 kW verebilen bu motordan 20 kW güç alındığında, gaz $\frac{1}{4}$ açık ise, 1 litre yakıttan 2,45 kWh iş elde edilmektedir. Aynı gücün elde edilmesinde, gazın $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ ve tam açık olduğu durumlarda elde edilen iş miktarları, sırasıyla 2,25; 2,02 ve 1,85 kWh olmaktadır.



- Şekil 2.4. Motorun kısmi gaz durumunda, birim yakıttan elde edilen iş miktarları.

2.5. Motor Özgül Gücü ve Ağırlığı

Termik motorlarda, motor özgül gücü diye, motor strok hacminin her bir litresi başına düşen motor gücüne denilmektedir. Motor özgül ağırlığı ise, birim güç başına düşen motor ağırlığı olmaktadır. Buna göre;

$$N_{\ddot{o}} = \frac{N_e}{V_h} \quad (2.17)$$

$$G_{\ddot{o}} = \frac{G}{N_e} \quad (2.18)$$

yazılabilir. Bu eşitliklerde;

- $N_{\ddot{o}}$: Motor özgül gücü (kW/l),
- N_e : Effektif motor gücü (kW),
- V_h : Toplam strok hacmi (l),
- $G_{\ddot{o}}$: Motor özgül ağırlığı (N/kW),
- G : Motor toplam ağırlığı (N)'dir.

- Motor özgül ağırlığı ve gücü, motorların yapısına bağlı olmaktadır. Devir sayısı yüksek olan motorlarda özgül güç yüksek, buna karşın özgül ağırlık düşük olmaktadır. Bu nedenle, motorlu taşıtlarda devir sayısı yüksek motorlar, tarım traktörlerinde ise daha düşük devirli motorlar tercih edilmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Termik motorlarda özgül güç ve özgül ağırlık.

Motor cinsi	Motor özgül gücü (kW/l)	Motor özgül ağırlığı (N/kW)	Nominal devir sayısı (d/d)
Motosiklet için içten patl. mot.	30...100	5...30	4500...7000
Otomobil için içten patl. mot.	35...130	13...50	4500...6500
Otomobil için içten yanm. mot.	20...50	18...50	3500...5500
Otomobil için zorunlu dold. lı içten yanm.mot.	30...70	10...40	3500...5500
Yarış otomobili için içten patl.mot.	...400	2...10	-
Kamyon için içten yanmalı motor	10...45	25...80	2500...5000
Kamyon için zorunlu dold.lı içten yanm.mot	18...55	20...70	2500...5000
Traktör için içten yanmalı motor	10...25	60...220	2400...2800

- SARAL, A. ve A.ONURBAŞ AVCIOĞLU, 2012. Motorlar ve Traktörler. Düzeltilmiş II. Baskı. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları: 1603, Ders Kitabı: 555, 299 s., Ankara.
- SARAL, A., ONURBAŞ AVCIOĞLU, A. ve K. ELİÇİN, 2008. Termik Motorlar Uygulama Örnekleri. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayın No: 1564, Ders Kitabı: 517, 111 s., Ankara.
- SARAL, A. ve A.ONURBAŞ AVCIOĞLU, 2006. Termik Motorlar (Yenilenmiş 4. Baskı). Ankara Üniversitesi Ziraat fakültesi Yayınları: 1550, Ders Kitabı: 503, 294 s., Ankara