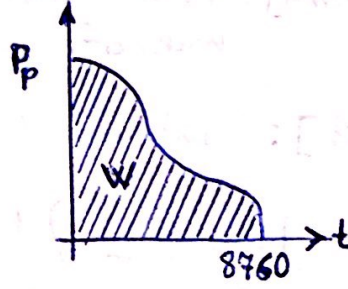
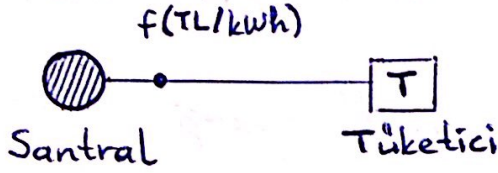


1kWh'lik Enerjinin Santrale Maliyeti:

(32)



f: Enerjinin kWh Maliyeti

$$f = \frac{M}{W} \text{ [TL/kWh]}$$

W: Santralin 1 yılda ürettiği enerji [kWh]

M: Santrale yapılan yıllık toplam masraf

MASRAFLAR:

$$f = \frac{M \rightarrow \text{Yıllık Toplam Masraf}}{W \rightarrow \text{Yıllık Üretim}}$$

Yakıt Harcamaları (Değişken Masraflar)

$$M = M_{\text{TESİS}} + M_{\text{MÜRETİM}}$$

İşletme Masrafları (Yarı Sabit: Personel, Bakım....v.b.)

Sermaye Giderleri (Sabit Gider: Santral İnş., Arsa, Donanım....v.b.)

TESİS MASRAFI:

$$S = a \cdot P_s$$

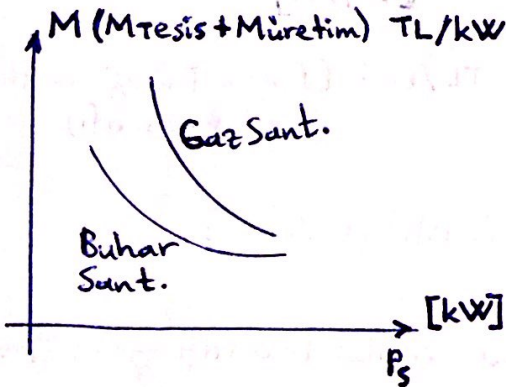
S = Sermaye [TL]

a = Birim Tesis Masrafı [TL/kW]

P_s = Santral Gücü [kW]

$$M_{\text{TESİS}} = p \cdot S = p \cdot a \cdot P_s$$

% olarak Sermaye Masrafı [1 yıl boyunca, yatırılan sermaye ile ilgili masraflar]



$$P = \underbrace{P_f}_{\text{Faiz Yüzdesi}} + \underbrace{P_a}_{\text{Amortisman Yüzdesi (Yıpranma Payı)}} + \underbrace{P_t}_{\text{Tamir - Bakım Yüzdesi}} + \underbrace{P_i}_{\text{İdari Masraflar Yüzdesi (Personel Giderleri)}}$$

ÜRETİM MASRAFLARI: (M_u)

$$M_u = b \cdot W \quad \text{TL/yıl}$$

$b[\text{TL/kWh}]$: 1 kWh enerji üretmek için yapılan yakıt masrafı

$W[\text{kWh}]$: Santralin 1 yılda ürettiği enerji

H_u : Yakıtın alt ısı değeri $[\text{kCal/kg}]$ } 1 kg. yakıttan alınan enerji:
 $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kCal} \Rightarrow 1 \text{ kCal} = \frac{1}{860} \text{ kWh}$ } $\frac{1}{860} \cdot \eta \cdot H_u [\text{kWh/kg}]$
 $\eta \rightarrow$ Santral Toplam Verimi

$$\eta \cdot H_u \cdot \frac{1}{860} [\text{kWh/kg}] \Rightarrow \frac{860}{\eta \cdot H_u} \cdot \left[\frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right]$$

1 kg. yakıttan alınan enerji (Bu bağıntının tersi alınırsa)

1 kWh enerji üretmek için kullanılan yakıt miktarı

f_y : Yakıtın Fiyatı $[\text{TL/kg}]$
(Birim Fiyatı)

$$b = f_y \cdot \frac{860}{\eta \cdot H_u} [\text{TL/kWh}]$$

1 kWh Enerji için Yakıt Masrafı

1 kWh'in Toplam Maliyet Fiyatı:

$$f = \frac{M}{W} = \frac{M_{\text{TESİS}} + M_{\text{ÜRETİM}}}{W} = \frac{P \cdot S + b \cdot W}{W} = \frac{P \cdot \alpha \cdot P_s + b \cdot h' \cdot P_s}{h' \cdot P_s}$$

$$f = \frac{P \cdot \alpha + b \cdot h'}{h'} \Rightarrow$$

Sermaye Masrafı Yüzdesi (%)

Birim Tesis Maliyeti

$[\text{TL/kW}]$

Santral Gücüne Göre İşletme Süresi

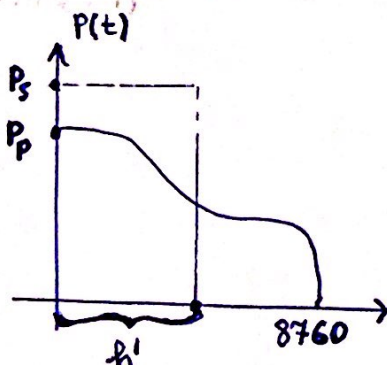
$$f = \frac{P \cdot \alpha}{h'} + b$$

TL/kWh (Birim Enerji üretmek için yakıt masrafı)

$[\text{TL/kWh}]$

(Birim Enerji Maliyeti)

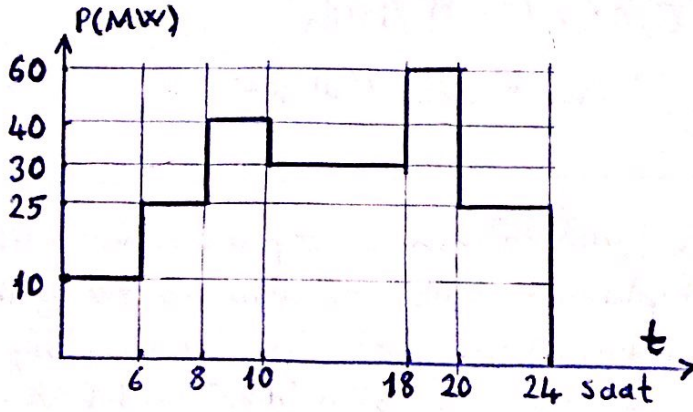
Saat $[P_s \text{ ile işletme süresi}]$



* Su santralinde yakıt masrafı yok: $b=0$

$$f_{su} = \frac{P \cdot \alpha}{h'}$$

Sayısal Örnek: Puant gücü $P_p = 60$ MW olan bir buhar santralinde üretilen enerji günlük yük eğrisi ile verilmiştir. Bu santral yılda 30 gün süreyle bakıma alınarak devre dışı bırakılmaktadır. Rezerv katsayısı 1,2 olan bu santrale ait karakteristik değerler belirtilmiştir.



Birim Tesis Masrafı (\$/kW) = 700

Sermaye Masrafı Yüzdesi (%) = 12

Yakıtın Fiyatı (\$/ton) = 60

Yakıtın Alt Isı Değeri (kCal/kg) = 5200

Verim (%) = 35

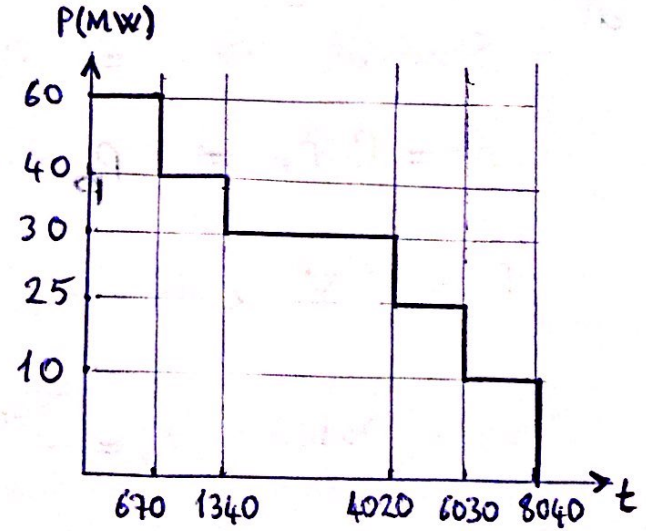
a) Santralin ürettiği enerjiye ilişkin yıllık düzenlenmiş yük eğrisini oluşturunuz.

b) Enerjinin santrale birim maliyet fiyatını hesaplayınız.

a) Yıllık Çalışma Süresi: $365 - 30 = 335$ gün

$$335 \times 24 = 8040 \text{ saat}$$

Güç	Günde	Yılda
60 MW	2 saat	$335 \times 2 = 670$ saat
40 MW	2 saat	$335 \times 2 = 670$ saat
30 MW	8 saat	$335 \times 8 = 2680$ saat
25 MW	6 saat	$335 \times 6 = 2010$ saat
10 MW	6 saat	$335 \times 6 = 2010$ saat
		8040 saat



b) $f = \frac{a \cdot P}{h'} + b = \frac{a \cdot P}{h'} + \frac{860 \cdot f_y}{\eta \cdot H_u} \rightarrow$ 1kwh enerji üretmek için yapılan yakıt masrafı

$h' = ? \quad h' = \frac{W}{P_s} \rightarrow ?$ (Santral Gücüne Göre İşletme Süresi)

$$W = 60 \cdot 670 + 40(1340 - 670) + 30(4020 - 1340) + 25(6030 - 4020) + 10(8040 - 6030) = 217750 \text{ MWh (Yıllık Enerji Üretimi)}$$

$$\text{Santral Gücü} \Rightarrow P_s = r \cdot P_p = 1,2 \cdot 60 = 72 \text{ MW}$$

$$h' = \frac{217750}{72} = 3024,3 \text{ saat}$$
 (Aynı yıllık enerjiyi vermesi için santral gücüyle kaç saat çalışması gerektiği)

$$f = \frac{700 \cdot 0,12}{3024,3} + \frac{860 \cdot 0,06}{0,35 \cdot 5200} = 0,056126 \text{ \$/kWh}$$
 (Yakıt için çevirme ton $\rightarrow$ kg)
(Birim Enerji Maliyeti)

Sayısal Uygulama: Bir hidroelektrik santralinin su toplama havzasının alanı 500 km^2 'dir. Yapış nedeniyle toplanan yıllık ortalama su yüksekliği $1,5 \text{ m}$ 'dir. Buharlaşma ve su kaçaqları nedeniyle oluşan kayıp $\%35$ 'dir. Santralde türbini çalıştıran su düşüşü 50 m 'dir. Türbin verimi $\%85$ ve alternatörün verimi $\%93$ 'dür. Kurulacak santralin yüklenme katsayısı (P_o/P_p) $0,75$, santralin birim tesis masrafı (a) $1200 \text{ \$/kW}$, $\%$ olarak sermaye masrafı $\%12$ 'dir.

(Rezerv katsayısı $r=1$ alınacaktır) [$T=8760$ saat] (Çalışma Saati)

a) Santralin Kurulu Gücü $P_s = ?$

b) 1 kWh 'lik enerjinin santrale maliyet fiyatını hesaplayınız.

a) Santral Gücü $\Rightarrow P_s = r \cdot P_p \Rightarrow P_p = ?$ (Bulunmalı)

$m = P_o/P_p \Rightarrow P_p = \frac{P_o}{m} \Rightarrow P_o = ?$ (Bulunmalı)

$P_o = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_{\text{Toplam}} \Rightarrow Q = ?$ (Bulunmalı)

Suyun Debisi: $Q = \frac{\text{Toplam Suyun Hacmi (m}^3\text{)}}{\text{Süre (365} \times 24 \times 60 \times 60\text{) (saniye)}}$

Kullanılabilen Su: $\%100 - \%35 = \%65$ (Faydalı Su)

$Q = \frac{\text{Alan} \times \text{Yükseklik} \times \text{Faydalı Su}}{500 \cdot 10^6 \times 1,5 \times 0,65} = 15,46 \text{ m}^3/\text{s}$

8760×3600 (saat) (saniye) } 1 yıldaki çalışma süresi saniye olarak

$P_{\text{ort}} = 9,81 \cdot 15,46 \cdot 50 \cdot 0,85 \cdot 0,93 \approx 6000 \text{ kW} = 6 \text{ MW}$

$m = P_o/P_p \Rightarrow P_p = \frac{6}{0,75} = 8 \text{ MW}$

Santral Gücü: $P_s = r \cdot P_p = 1 \times 8 = 8 \text{ MW}$

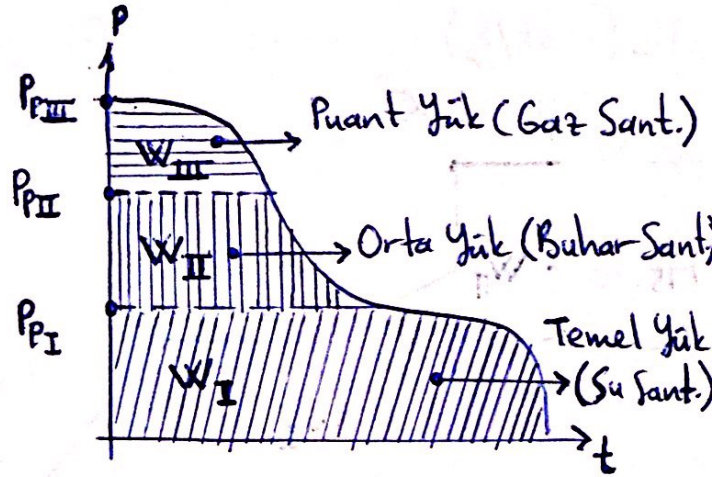
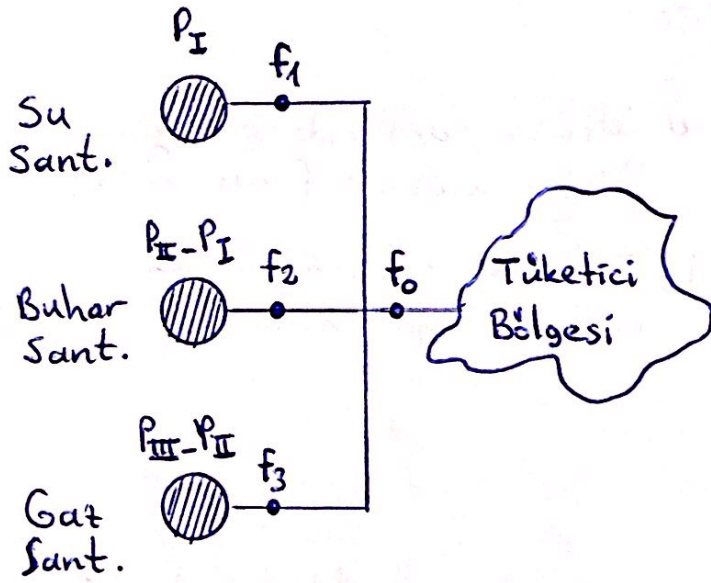
b) $W = P_0 \cdot 8760 \Rightarrow P_p \cdot h = P_s \cdot h' = W = ?$ (Bulunmalı)

$$W = 6000 \cdot 8760 = 52,56 \cdot 10^6 \text{ kWh.}$$

$$r=1 \text{ için } P_s = P_p \quad h = h' = \frac{W}{P_s} = \frac{52,56 \cdot 10^6}{8000 \text{ [kW]}} = 6570 \text{ saat}$$

$$f_{su} = \frac{a_{su} \cdot P_{su}}{h'} = \frac{1200 \cdot 0,12}{6570} = 0,021917 \text{ \$/kWh} \quad (b=0)$$

Paralel Çalışan Santraller İçin Ortalama Birim Maliyetin Hesaplanması



$$f_1 = \frac{a_1 \cdot P_1}{h'_1} + b_1$$

$$h'_1 = \frac{W_I}{P_{sI}}$$

$$f_2 = \frac{a_2 \cdot P_2}{h'_2} + b_2$$

$$h'_2 = \frac{W_{II}}{P_{sII} - P_{sI}}$$

$$f_3 = \frac{a_3 \cdot P_3}{h'_3} + b_3$$

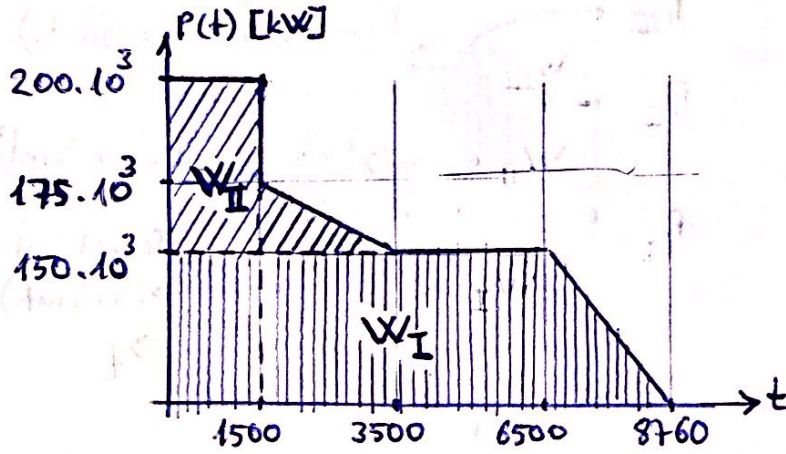
$$h'_3 = \frac{W_{III}}{P_{sIII} - P_{sII}}$$

3 Santral Paralel Çalıştığına göre

$$f_0 = \frac{W_I \cdot f_1 + W_{II} \cdot f_2 + W_{III} \cdot f_3}{W_I + W_{II} + W_{III}}$$

Sayısal Uygulama: Bir bölgenin enerji ihtiyacı düzenlenmiş yıllık yük eğrisi ile belirlenmiştir. Bu yük eğrisinin I ile gösterilen bölgesinin enerji ihtiyacını Buhar Santrali, II ile gösterilen bölgesinin enerji ihtiyacı Gaz Santrali tarafından karşılanmaktadır. Her iki santralin rezerv katsayıları 1'dir. ($r=1$)

	Buhar Sant.	Gaz Sant.
a (\$/kw)	1000	1200
p (%)	12	15
η (%)	40	42
f_g (\$/ton)	48	360
H_u (kCal/kg)	6500	10000



- a) Herbir santralde enerjinin birim maliyet fiyatı nedir?
- b) Enerjinin ortalama birim maliyet fiyatı nedir?

a) Rezerv katsayısı $r=1$ $P_s = r P_p$ $P_s = P_p$ ve $h' = h$ alınabilir.

$$h = \frac{W}{P_p}, \quad h' = \frac{W}{P_s}, \quad h' = h$$

$$f = \frac{a \cdot p}{h'} + b = \frac{a \cdot p}{h'} + \frac{860 \cdot f_g}{\eta \cdot H_u} \quad h_I = \frac{W_I}{P_{PI}} \rightarrow ?$$

$$W_I = \underbrace{150 \cdot 10^3 \cdot 6500}_{\text{Dikdörtgen Alanı}} + \underbrace{\frac{1}{2} \cdot 150 \cdot 10^3 \cdot 2260}_{\text{Üçgen Alanı}} = 1144,5 \cdot 10^6 \text{ kWh.}$$

$$h_I = \frac{1144,5 \cdot 10^6}{150 \cdot 10^3} = 7630 \text{ saat}$$

$\rightarrow$ Puant Güç

$$f_{gI} = 48 \text{ \$/ton} = 0,048 \text{ \$/kg.}$$

$$f_I = \frac{1000 \cdot 0,12}{7630} + \frac{860 \cdot (0,048)}{0,4 \cdot 6500} = 0,031604 \text{ \$/kWh}$$

$$W_{II} = (200 \cdot 10^3 - 150 \cdot 10^3) \cdot 1500 + \frac{1}{2} (175 \cdot 10^3 - 150 \cdot 10^3) (3500 - 1500)$$

$$W_{II} = 100 \cdot 10^6 \text{ kWh.}$$

$$h_{II} = \frac{100 \cdot 10^6}{\underbrace{(200-150) \cdot 10^3}_{P_{\text{vant Güç}} (P_s = P_p)}} = 2000 \text{ saat}$$

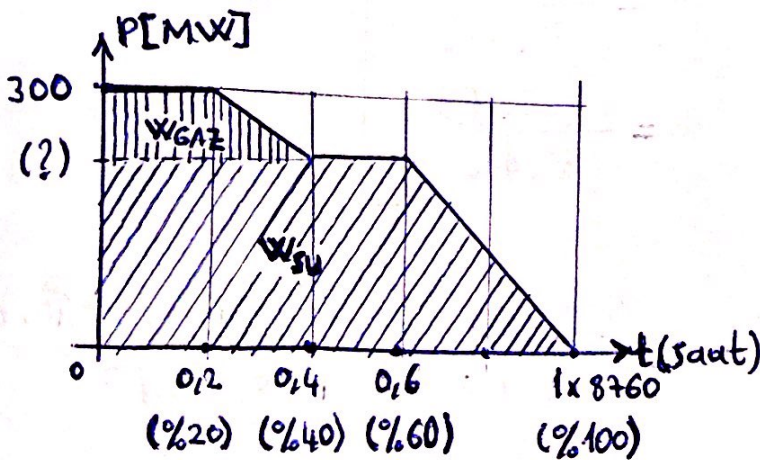
$$f_{yII} = 360 \text{ \$/ton} = 0,36 \text{ \$/kg}$$

$$f_{II} = \frac{1200 \cdot 0,15}{2000} + \frac{860 \cdot 0,36}{0,42 \cdot 10000} = 0,163714 \text{ \$/kWh.}$$

$$b) \quad f_0 = \frac{W_I \cdot f_I + W_{II} \cdot f_{II}}{W_I + W_{II}} = \frac{1144,5 \cdot 10^6 \cdot 0,031604 + 100 \cdot 10^6 \cdot 0,163714}{1144,5 \cdot 10^6 + 100 \cdot 10^6}$$

$$f_0 = 0,042219 \text{ \$/kWh.}$$

Sayısal Uygulama: Bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak için santraller kurulacaktır. Bu santrallerde üretilmesi gereken enerjinin yıllık düzenlenmiş yük eğrisi belirtilmiştir. Bu bölgede enerji üretimine elverişli bir nehir mevcut olup, sürekli olarak elde edilebilir ortalama debi $479,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ve nominal düşü 50 m 'dir. Su santrali temel yük santrali olup, enerjinin geri kalan kısmı doğal gaz santralinde üretilcektir. Rezerv katsayısı $r=1$ dir. $m_{su} = P_0/P_p = 1$ olarak kabul edilecektir.



	Su Sant.	Gaz Sant.
$a (\text{\$/kw})$	1200	700
$P (\%)$	12	18
$\eta (\%)$	85	40
$f_y (\text{\$/ton})$	-	350
$H_u (\text{kJ/kg})$	-	41860

a) Su santralinin kurulu püsünü hesaplayınız.

b) Ort. birim enerji maliyetini hesaplayınız.

a) $P_{elk} = 9,81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta = 9,81 \cdot 479,5 \cdot 50 \cdot 10,85 \cong 200000 \text{ kW} = 200 \text{ MW}$ (39)

$\eta_{su}=1 \Rightarrow P_p = \frac{P_{ort} = P_{elk}}{1} = \frac{200}{1} = 200 \text{ MW}$. (Su Santralinin Puant Gücü)

$P_{su}(\text{puant}) = 200 \text{ MW}$ $P_{GAZ}(\text{puant}) = 300 - 200 = 100 \text{ MW}$.

Rezerv katsayısı $r=1$ olduğundan

$P_{su}(\text{santral kurulu Gücü}) = r \cdot P_{sup} = 1 \cdot 200 = 200 \text{ MW}$.

b) $W_{su} = 200 \cdot 8760 \left(1 \cdot 0,6 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,4 \right) = 1,401,600 \text{ MWh}$.

$r=1 \Rightarrow P_p = P_s$ ve $h = h'$ olur.

$h_{su} = h'_{su} = \frac{W_{su}}{P_{psu} = P_{ssu}} = \frac{1401600}{200} = 7008 \text{ saat}$.

$f_{su} = \frac{a_{su} \cdot P_{su}}{h'_{su}} = \frac{1200 \cdot 0,12}{7008} = 0,020547 \text{ \$/kWh}$. ($b_{su}=0$)

$W_{GAZ} = 100 \cdot 8760 \left(1 \cdot 0,2 + \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 0,2 \right) = 262800 \text{ MWh}$.

$h_{GAZ} = \frac{W_{GAZ}}{P_{GAZ}} = \frac{262800}{100} = 2628 \text{ saat} = h'_{GAZ}$

$f_{GAZ} = \frac{a_{GAZ} \cdot P_{GAZ}}{h'_{GAZ}} + b_{GAZ} = \frac{700 \cdot 0,18}{2628} + \frac{3600 \cdot 0,35}{0,4 \cdot 41860} = 0,123196 \text{ \$/kWh}$ ($\text{\$/kg}$ ton $\rightarrow$ kg)

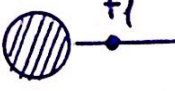
[UYARI: $H_u [\text{kCal/kg}]$ verilmişse $b = \frac{860 \cdot f_y}{\eta \cdot H_u}$
 $H_u [\text{kJ/kg}] \gg b = \frac{3600 \cdot f_y}{\eta \cdot H_u}$]

$f_0 = \frac{W_{su} \cdot f_{su} + W_{GAZ} \cdot f_{GAZ}}{W_{su} + W_{GAZ}} = \frac{1401600 \cdot 10^3 \cdot 0,020547 + 262800 \cdot 10^3 \cdot 0,123196}{1401600 \cdot 10^3 + 262800 \cdot 10^3}$

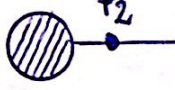
Ortalama Birim Enerji Maliyeti $f_0 = 0,036754 \text{ \$/kWh}$.

Enerji Maliyeti Bakımından Santrallerin Karşılaştırılması ve Kritik İşletme Süresi:

Kabüller

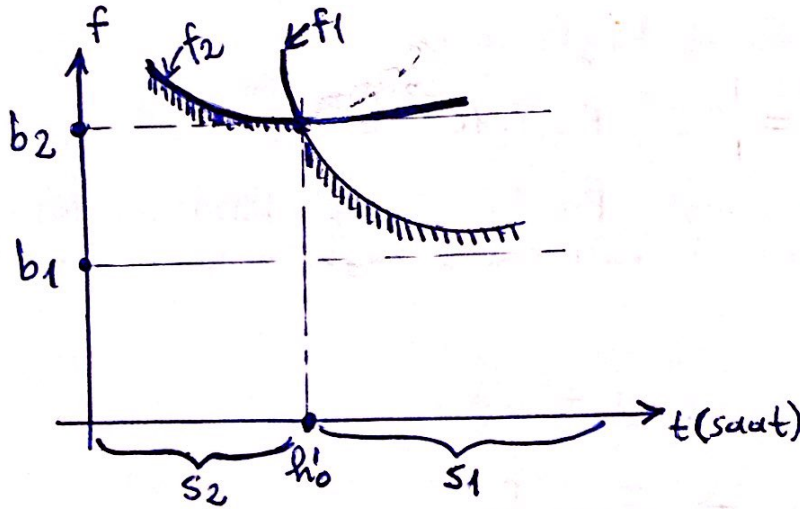
S_1  $f_1 = \frac{a_1 \cdot P_1}{h'} + b_1$

$b_1 < b_2$ (yakıt masrafı)

S_2  $f_2 = \frac{a_2 \cdot P_2}{h'} + b_2$

$a_1 \cdot P_1 > a_2 \cdot P_2$ (Tesis masrafı)

S_1 santralının yakıtı ucuz, tesis masrafı yüksek olsun.
 S_2 >> yakıtı pahalı, tesis masrafı düşük olsun.



$$\frac{a_1 \cdot P_1}{h'} + b_1 = \frac{a_2 \cdot P_2}{h'} + b_2$$

$$h' = \frac{a_1 \cdot P_1 - a_2 \cdot P_2}{b_2 - b_1}$$

Kritik İşletme Süresi

$h' < h'0$ ise S_2 santrali ekonomik

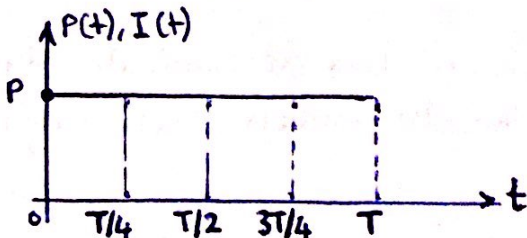
$h' > h'0$ ise S_1 " "

Sonuç: Santralin tesis masrafı pahalıysa, yakıt masrafı ucuz bile olsa, enerji maliyetinin ekonomik olması için uzun süre çalıştırılmalıdır.

Yük Değişim Oranının Santral İşletmeciliği Açısından Önemi

*Basitleştirmek amacıyla bir D.C. sistemde farklı üç tip yüklenme farz ediyoruz:

1. Durum: Hattın geçen akımı (I) ve buna tekabül eden güç (P) gözönüne alınan T saatlik bir süre boyunca sabit kaldığı kabul edilirse;



Böylece T zamanı süresince tüketiciye verilen Faydalı Enerji:

$W = P \cdot T \quad [kWh]$

Scanned by CamScanner

Güç Kaybı; $P_k = I^2 \cdot R \cdot 10^3 \text{ [kW]}$

Yük sabit olduğundan T süresince meydana gelen enerji kaybı;

$$W_k = I^2 \cdot R \cdot T \cdot 10^3 \text{ [kWh]}$$

2. Durum: Tüketicie taşınan güç; $t=0$ 'dan $t=T/2$ 'ye kadar $2I$ akımına tekabül eden $2P$ değeri ve $t=T/2$ 'den $t=T$ 'ye kadar taşınan güç sıfırdır.

T süresince tüketiciye verilen faydalı enerji;

$$W = 2 \cdot P \cdot \frac{T}{2} = P \cdot T = U \cdot I \cdot T \cdot 10^3 \text{ [kWh]}$$

[1. Durum ile aynı Faydalı Enerji bulundu]

Hat kayıplarından dolayı enerji kaybı ise;

$$W_k = (2I)^2 \cdot R \cdot \frac{T}{2} \cdot 10^3 = 2I^2 \cdot R \cdot T \cdot 10^3 \text{ [kWh]}$$

* Bu durumda, 1. Haldeki ile aynı Faydalı Enerji tüketiciye taşınmış olmasına rağmen, T süresince iki katı enerji kaybı ortaya çıkmaktadır.

3. Durum:

$$t=0 \text{ 'dan } t=T/4 \text{ 'e kadar } \Rightarrow \frac{3}{2} I \sim \frac{3}{2} P$$

$$t=T/4 \text{ 'den } t=3T/4 \text{ 'e kadar } \Rightarrow \frac{I}{2} \sim \frac{P}{2}$$

$$t=3T/4 \text{ 'den } t=T \text{ 'e kadar } \Rightarrow \frac{3}{2} I \sim \frac{3}{2} P$$

$$W = \frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{T}{4} + \frac{P}{2} \cdot \frac{T}{2} + \frac{3}{2} \cdot P \cdot \frac{T}{4} = P \cdot T = U \cdot I \cdot T \cdot 10^3 \text{ kWh}$$

Burada da; 1. ve 2. durumdaki gibi hat üzerinden taşınan Faydalı Enerji aynıdır.

Yüke Bağlı Enerji Kaybı ise;

$$W_k = \left(\frac{3}{2} \cdot I\right)^2 \cdot R \cdot \frac{T}{4} \cdot 10^3 + \left(\frac{I}{2}\right)^2 \cdot R \cdot \frac{T}{2} \cdot 10^3 + \left(\frac{3}{2} \cdot I\right)^2 \cdot R \cdot \frac{T}{4} \cdot 10^3$$

$$W_k = 1,25 \cdot I^2 \cdot R \cdot T \cdot 10^3 \text{ [kWh]}$$

1. ve 2. durumdan farklı bulundu.

Sonuç olarak; bir hat üzerinden sabit işletme periyotunda aynı zaman sürelerinde aynı Faydalı Enerjiler taşınırken, yüke bağlı enerji kayıpları farklı olabilmektedir.

Bu nedenle Santral işletmeciliği açısından Puant Güç merkezlerinin azaltılması için alınabilecek önlemler [Yük Optimizasyonu ve Tarife Deyişikliği ---- v.b.] iletim Hatlarındaki kayıpların azaltılmasında ve Termik Santrallerin işletmesi konusunda Yakıt Girdisi masraflarının düşürülmesinde önemi büyüktür.

Bir santral en az Puant gücü karşılayacak kapasitede olmalıdır.

$\gamma = P_{min}/P_p$ Yük Deyişim Oranı ne kadar büyükse ($P_{min} \uparrow, P_p \downarrow$) Santral o kadar ekonomik çalışır. Santraller arasında yükün optimize edilmesi, ayrıca gece saatlerinde enerji bedelini ucuzlatmak gibi önlemler alınabilirse Puant Güç merkezi azaltılabilir.