

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GEMİ ENDÜSTRİSİNDE ENERJİ VE EKSERJİ
VERİMLİLİĞİ ANALİZİ**

34665

Gemi Mak. ve İnş. Müh. Şöhret SUBAŞI

**F.B.E. Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Bahri ŞAHİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
DOKÜMENTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, Şubat 1994

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM I	1
1. GİRİŞ	1
BÖLÜM II	2
ENERJİ VE EKSERJİ KAVRAMLARI VE VERİM	2
DEĞERLENDİRMELERİ	2
2.1. ENERJİ KAVRAMI, ENERJİ VERİMİ VE ENERJİ VERİMİNİN EKSİK YÖNLERİ	2
2.1.1. Enerji Verimi	2
2.1.2. Enerji Veriminin Eksik Yönleri	3
2.2. EKSERJİ KAVRAMI VE VERİM ANALİZİ	4
2.2.1. Ekserji Kavramı	4
2.2.2. Çeşitli Enerjilerin Ekserji Değerleri	5
2.2.3. Ekserji Verimi	7
2.2.4. Ekserji Veriminin Termodinamik Analizi	8
2.2.5. Evrendeki Entropi Artışının Ekserji Kaybıyla İlişkisi	11
2.2.6. Ekserji Verimi Tarifinin Birtakım Sistemlere Uygulanması	15
2.2.7. Çeşitli Enerji Kaynaklarının Dönüşüm İşlemlerindeki Enerji ve Ekserji Verimi	17
BÖLÜM III	21
EKSERJİ ANALİZİNİN ENDÜSTRİ PROSESLERİNDE UYGULANMASINA İLİŞKİN ÖRNEKLER	21
3.1. ENERJİ VE EKSERJİ VERİM ANALİZLERİNİN KANADA EKONOMİSİ İÇİNDEKİ DEĞERLENDİRMESİ	22
3.2. BREZİLYA EKONOMİSİ İÇİN YAPILAN EKSERJİ ANALİZİ	27
DEĞERLENDİRMELERİNİN GENEL SONUÇLARI	27
BÖLÜM IV	29
PENDİK TERSANESİ ENERJİ VE EKSERJİ VERİM ANALİZİ	29
4.1. KAYNAK İŞLEMİ İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	31
4.1.1. Elektro Ark Kaynağı İçin Verim Analizleri	32
4.1.2. MAK (CO ₂ koruyucu gazlı) Kaynak İçin Verim Analizi	35
4.1.3. Kaynak İşlemi İçin Alternatif Öneri	37
4.2. TRANSPORT ELEMANLARININ ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	39
4.3. KOMPRESORLER VE SU POMPALARI İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ	44
4.3.1. Oksijen Üretim Sistemindeki Kompresor ve Pompaların Enerji ve Ekserji Verimi	46
4.3.2. Hava Kompresor Sistemi İçin Enerji ve Ekserji Analizi	49
4.3.3. Havuz Pompaları İçin Enerji ve Ekserji Analizi	50
4.3.4. Kompresor ve Pompalar İçin Toplam Verim Analizi	53
4.4. AYDINLATMA İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	55
4.5. ISINMA AMAÇLI ELEKTRİK KULLANIMI İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	58
4.6. YAKIT ESASLI ISINMA İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	59
4.6.1. Fuel Oil Kullanan Isı Sisteminin Verim Değerlendirmesi	59
4.6.2. Oksijen Üretim Tesisi Bireysel Isınma Verim Değerlendirmesi	61
4.7. GALVANİZLEME TESİSİ ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	63
4.8. ULAŞTIRMA SİSTEMLERİ ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ	66
4.9. PENDİK TERSANESİ TOPLAM ENERJİ VE EKSERJİ VERİM ANALİZİ	67
4.10. PENDİK TERSANESİ ISI VE ELEKTRİK İHTİYACI İÇİN	74

ALTERNATİF SİSTEM.....	74
4.10.1. Alternatif Sistem ve Ayrık Sistem İçin Verim Analizi	74
4.10.2. Alternatif Sistem ve Ayrık Sistem İçin Ekserji Verim Analizi	78
4.10.3. Alternatif Sistemde Ayrık Sisteme Göre Yıllık Yakıt Tasarrufu	79
BÖLÜM V.....	81
SONUÇ VE ÖNERİLER	81
REFERANSLAR	83



ÖZET

Bu çalışmada, genel olarak ekserji konusuna yönelik temel ve genel bilgiler yanında enerji ve ekserji verim analiziyle ilgili birtakım örnekler üzerinde durulmuştur. İkinci bölümde ekserji kavramı çeşitli yönleriyle açıklanmıştır. Bu bölümde enerji ve ekserji mukayesesine ve örneklerle de yer verilmiştir. Üçüncü bölümde, çeşitli ülkelerdeki endüstriyel alanda gerçekleştirilmiş olan enerji ve ekserji verim değerlendirmeleri anlatılmıştır. Son olarak dördüncü bölümde de, gemi endüstrisine yönelik bir kuruluş olan Pendik Tersanesinde yapılan uygulamaya yer verilmiştir. Bu çalışmada Pendik Tersanesinin 1991 yılındaki enerji kullanım değerlerine göre enerji ve ekserji verim analizi yapılmıştır. Temel alınan amaç ise; ekserji konulu çalışmaların gemi endüstrisinde gelişip yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktır.

SUMMARY

THE ANALYSIS OF ENERGY AND EXERGY EFFICIENCY IN SHIP INDUSTRY

In this work, besides the basic and fundamental information about exergy, some examples about energy and exergy efficiency analysis are emphasised. In second chapter, exergy concept is explained in everywiev. In this chapter, energy and exergy evaluation and also some example have taken apart. In third chapter, in several countries, energy and exergy efficiency comparisons are introduced in the means of industry. Finally in fourth chapter, a study on ship industry participated in Pendik shipyard. In this study according to the 1991 Pendik shipyard used energy values, the energy and exergy analysis is done. The basic purpose of these studies is to help the developing and spreading of exergy research in ship industry.

BÖLÜM I

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde yirminci yüzyılın ikinci yarısından sonra, ekonomik gelişmelere paralel olarak enerji kaynaklarının kullanımına yönelik hızlı bir artış olmuştur. İnsanların istekleri ve ihtiyaçlarına göre ortaya çıkan bu artış, birçok problemi de beraberinde getirmiştir. Bu problemlerin en ciddi olanları; temel enerji kaynaklarının tamamen tükenme tehlikesi ve bir takım atık enerjilerin çevre dengesini bozmasıdır.

Enerji kullanımına yönelik olan sorunlara çözüm olabilecek birtakım çalışmalar dünyanın her tarafında yapılmaktadır. Enerji yaklaşımında asıl önemli olan konu, enerji dönüşüm safhasının eksiksiz bir şekilde değerlendirilmesidir. Çünkü enerji bazlı verim analizleri, dönüşüm kalitesi bakımından doyurucu bilgiler vermemekte ve ek bir açıklamaya gerek duyulmayacak kadar bütünlük sağlayamamaktadır. Ekserji temeline dayanan sistem analizleri ile enerji analizine göre daha sağlam ve rasyonel bir değerlendirme yapılabilir. Çünkü ekserji analizi teorik içeriği bakımından enerji yaklaşımına nazaran daha kapsamlı ve sınırları daha geniş ve kesin yapıdadır.

Ekserji analizi sayesinde enerji dönüşümün kalitesi hakkında bir fikre sahip olabiliriz. Bu sonuç, enerjinin verimli kullanılması ve atık enerjinin azaltılması bakımından önemlidir.

Sunulan bu çalışmada, ekserji kavramı ve ekserji verim analizi; ekserji konusunda yapılan çalışmalarla ve örneklerle açıklanmıştır. Dördüncü bölümde yer alan uygulama kısmında enerji ve ekserji verim değerlendirmeleri karşılaştırmalı olarak yapılmıştır.

BÖLÜM II

ENERJİ VE EKSERJİ KAVRAMLARI VE VERİM

DEĞERLENDİRMELERİ

2.1. ENERJİ KAVRAMI, ENERJİ VERİMİ VE ENERJİ VERİMİNİN EKSİK YÖNLERİ

2.1.1. Enerji Verimi

Enerji genel olarak iş yapabilme ve güç'e karşı koyma yeteneği olarak tanımlanır. Enerji kavramı enerjinin kalitesi bakımından bir şart içermediğinden, planlanan ve tutulan yol için en uygun kavram olmayabilir. Bu durumu sağlıklı olarak verim analizlerinde görebiliriz.

Sistem enerji değerlendirmelerinde; sürtünme, ısı transferi, kısılma, sonlu sıcaklık farkları gibi nedenlerle bire bir kazançtan söz edilemez. Sistem değerlendirmelerinde kayıp ve verim hesapları sıkça yapılır. Kayıp hesapları sistemin enerji bütçesinin yapılması yanında verim tayini için de gerekli olabilir. Verim hesapları ise boyutsuz oranlar olarak, sistemlerin kararlaştırılmasında kullanılırlar. Buna göre enerji verimi :

$$\text{Enerji verimi } (\eta) = \frac{\text{Üretilen Enerjiler toplamı}}{\text{Giren toplam enerji}} \quad (2.1)$$

$$\text{Enerji kaybı} = (\text{Giren toplam enerji} - \text{Üretilen enerji toplamı}) \quad (2.2)$$

$$\text{Enerji verimi } (\eta) = 1 - \frac{\text{Enerji Kaybı}}{\text{Giren toplam enerji}} \quad (2.3)$$

şeklinde olur.

Enerji bazlı sistem değerlendirilmelerinde termodinamiğin I. kanununa bağlı kalınmaktadır. Termodinamiğin I. kanunu, enerjinin korunumu olarak da bilinir. Bu kanun, doğal süreçlerde değişik enerji türlerinin toplamının sabit kaldığını vurgular, fakat bu dönüşümlerin yönü ve verimliliği üzerinde bir kısıt öngörmez. Değişik enerji türlerinin farklı kalitede olması gözönünde bulundurulacak olursa, sistem değerlendirmelerinde termodinamiğin II. kanunundan da yararlanmak gereği ortaya çıkar.

2.1.2. Enerji Veriminin Eksik Yönleri

1. Termodinamiğin II. kanununa dayalı bilgiler içermemektedir. Bu yüzden enerjiler arasındaki kalite farkı dikkate alınmamaktadır. Enerji verim analizine göre; on KJ'lük ışı, 700 °C'de bir KJ'lük ısıtma ve 70°C'de bir KJ'lük ısıtma yapması eşit üretimler olarak işlem görür.

2. Sadece enerji veriminden bahsederek, bir sistemin ideal olup olmadığını belirleyemeyiz. Örneğin düşük sıcaklıktaki bir kaynakla % 30'luk verim sağlamak ya da bir yakıt kullanan bir sistem için % 30'luk verim sağlamak aynı ideallikte olmamalıdır.

3. Bazı sistem analizlerinde enerji verimi yeterli olmayabilir ve enerji verimi dışında bazı özel tanımlamalar gerekebilir. Örneğin; ısı pompası için performans katsayısı kullanılması gibi.

2.2. EKSERJİ KAVRAMI VE VERİM ANALİZİ

2.2.1. Ekserji Kavramı

Bütün enerji türlerini , enerji ve ekserji olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Termodinamiğin I. kanununa göre ekserji ve enerjinin bütün proseslerde toplamı sabit kalır. II. kanuna göre ise sadece tersinir proseslerde ekserjinin değeri sabit kalır. Yani gerçek sistemlerde bir ekserji kaybı söz konusudur.

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Enerji} \quad (2.4)$$

Ekserji : Dönüştürülebilen kısım

Enerji : Dönüştürülemeyen kısım (atık)

Enerji veriminin giderilmesi gereken ilk eksikliği enerji türlerinin eşit olarak değerlendirilmesidir. Gerçekten de enerji farklı kalitelerde olabilir. Termodinamiğin II. kanunu özetle şu şekilde yorumlanabilmektedir: Enerji her sistem dönüşümünde daha yoğun bir yapıdan daha az yoğun ve dağınık bir hale gelmektedir. Enerjinin yoğun dönüştürülebilirlik durumu da enerjinin kalite niteliğini ortaya koyar. Mesela; iş ve ısı enerjilerini bu yönleriyle kıyaslayacak olursak; iş ısıya büyük bir oranda dönüşebilir. Ama ısıya işe dönüşümü (Carnot çevrimi verimiyle beirlendiği gibi) sıcaklığa bağlıdır.

Ekserji : Bir proseste çevre ile denge sağlandığı takdirde kuramsal olarak elde edilebilecek azami iş miktarıdır. Yani bir enerji sistemini çevre şartlarına indirgeyerek elde edilebilecek maksimum iş miktarı, ekserji olarak adlandırılır.

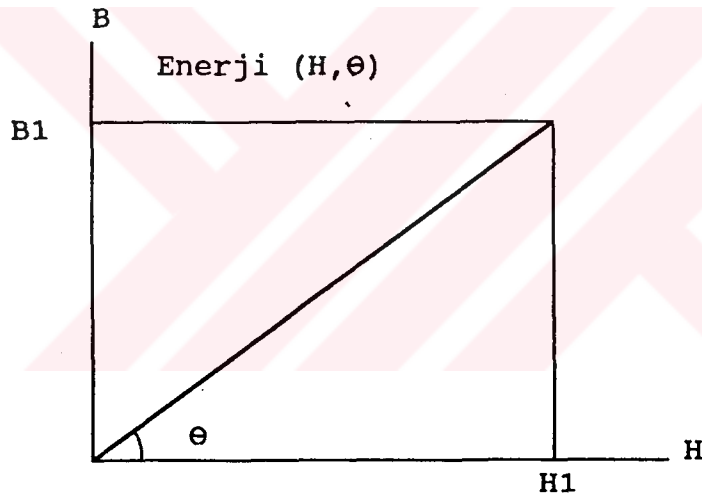
Enerji sadece entalpi içeren tekil bir nitelik olarak düşünülmemelidir. Entalpi (H) niteliğini ve kalite niteliğini (q) içeren ve entalpide bulunan işin (ekserji) bir ölçüsü olarak düşünülmelidir.

Basitleştirilmiş bir şekilde enerjiyi, iki kutupsal koordinatla tanımlanan bir vektör olarak düşünebiliriz. [r.3]

H : (entalpi)

B : (Ekserji)

q (kalite faktörü) = $B/H = \sin \theta$



Şekil 2.1.

Şekil 2.1. ($q \leq 1$) iken geçerlidir. Yani ekserji değeri enerji değerine eşit veya küçükken ($B \leq H$) geçerli olabilir. ($B \geq H$) durumu ise bazı özeli kimyasal formlar için geçerli olabilir.

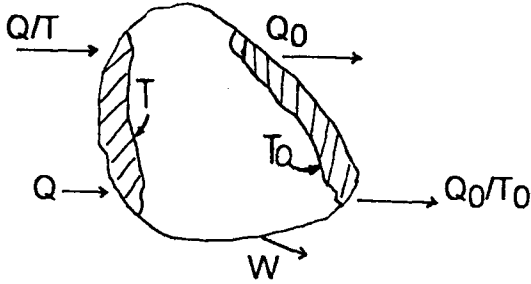
2.2.2. Çeşitli Enerjilerin Ekserji Değerleri [r.2]

İş : Ekserji tanımı gereğince iş'in tamamı ekserjidir.

$$W = E^W$$

(2.5)

Isı: Isının ekserji değerini hesaplamak için kararlı bir sistem ele alalım. Bu sistem T sıcaklığındaki bir kaynaktan Q kadar ısı alarak W kadar iş yapmakta ve çevreye Q_0 kadar ısı vermektedir. Bu süreç tamamıyla tersinir olduğunda elde edilecek iş miktarı Bosnakovic'e göre Q ısısının ekserjisine eşit olacaktır.



Şekil 2.2.

Termodinamiğin I. kanununa göre:

$$Q - Q_0 = W \quad (\text{Kapalı Sistem}) \quad (2.6)$$

Termodinamiğin II. kanununa göre:

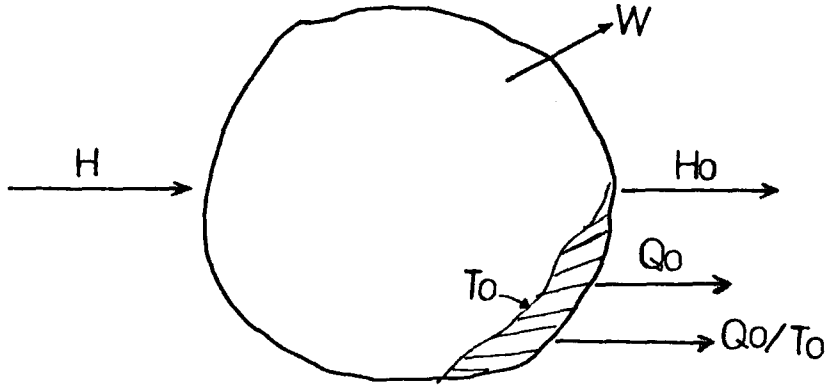
$$Q/T - Q_0/T_0 + \text{Sür} = 0 \quad (2.7)$$

Bu iki ifadeyi birleştirirsek:

$$W = Q(1 - T_0/T) \quad (2.8)$$

$$E_Q = Q (1 - T_0/T) \text{ olur.} \quad (2.9)$$

Entalpi: Kararlı bir sisteme Termodinamiğin I. ve II. kanunu uygulandığında;



Şekil 2.3.

$$H - H_0 - Q_0 - W = 0 \quad (2.10)$$

$$-Q_0/T_0 + S - S_0 + \text{Sür} = 0 \quad (2.11)$$

H_0 ve S_0 , H entalpisinin çevre ile dengeye geldikten sonraki entalpi ve entropi değerleridir. Tersinir bir süreçte ($\text{Sür}=0$) olduğundan

$$E_H = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (2.12)$$

olacaktır.

2.2.3. Ekserji Verimi [r.1]

Termodinamiğin II. kanununa göre tersinmez işlemlerde sistemin ekserjisi azalır. Yani enerjinin aksine, ekserjinin sakınımından söz edilemez. Buna göre;

$$\text{Ekserji verimi } (\epsilon) = \frac{\text{Ekserji üretimleri toplamı}}{\text{Gerekli ekserji girdileri toplamı}} \quad (2.13)$$

$$\text{Ekserji kaybı} = \text{Toplam ekserji girdisi} - \text{Top. ekserji üretimi} \quad (2.14)$$

$$\epsilon = 1 - \frac{\text{Ekserji kaybı}}{\text{Gerekli ekserji girdileri toplamı}} \quad (2.15)$$

olarak ifade edilebilir.

2.2.4. Ekserji Veriminin Termodinamik Analizi [r.2, r.4]

Termodinamiğin I. kanununa göre;

$$dU = dQ - (dW_f + dW_{\dot{c}}) \quad (2.16)$$

şeklindedir.

dW_f : faydalı iş

U : İç enerji

Q : Isı

S : Entropi

$dW_{\dot{c}}$: Çevreye karşı yapılan iş

$$dW_{\dot{c}} = P^*xV^* - P_1xV_1 \quad (2.17)$$

$$dQ = T_0 (S^* - S_1) \quad (2.18)$$

(2.16) denklemi (2.17) ve (2.18) denklemlerine göre düzenlenirse,

$$dW_f = (U_1 - T_0xS_1) - (U^* - T_0xS^*) - (P^*xV^* - P_1xV_1) \quad (2.19)$$

$$dW_f = (H_1 - H^*) - T_0x(S_1 - S^*) \quad (2.20)$$

olarak bulunur.

B : kullanılabilirlik değeri (2.19) denklemine göre;

$$B = (H - T_0xS) [r.4] \quad (2.21)$$

$$B_{giren} = \Sigma (H_{giren} - T_0 S_{giren}) \quad (2.22)$$

$$B_{çıkan} = \Sigma (H_{çıkan} - T_0 S_{çıkan}) \quad (2.23)$$

$$T_0 \Delta S = B_{giren} - B_{çıkan} - w_f \geq 0 \quad (2.24)$$

Maksimum faydalı iş:

$$w_f : B_{giren} - B_{çıkan} \text{ olacaktır.} \quad (2.25)$$

wk: Kayıp iş

$$w_k = T_0 \Delta S = B_{giren} - B_{çıkan} - w_f \geq 0 \quad (2.26)$$

Buna göre ekserji verimi :

$$\epsilon = \frac{B_{çıkan} + w_f}{B_{giren}} = \frac{B_{giren} - w_k}{B_{giren}} \quad (2.27)$$

$$\epsilon = 1 - \frac{w_k}{B_{giren}} \quad (2.28)$$

olarak bulunur.

Kayıp iş değerini başka bir yolla da ifade edelim:

Açık bir sistem için enerji dengesi;

$$\Sigma (m x h)_i - \Sigma (h x m)_j + \Sigma Q - w_f = 0 \quad (2.29)$$

Ekserji dengesi :

$$\Sigma (e h x m)_i - \Sigma (e h x m)_j + \Sigma E Q - E W - E_k = 0 \quad (2.30)$$

şeklinde yazılabilir.

Q : sistem sınırından sisteme transfer olan ısı

m : kütle

h : entalpi (H/m)

EQ : ısı'nın ekserji değeri = $Q \cdot (1 - T_0/T)$

eh : birim entalpinin ekserji değeri

Ek : Ekserji kaybı

$EW = W_f$

$S_{\text{ür}}$ = entropi üretimi

$eh_i = (h_i - h_o) - T_0(s_i - s_o)$

$eh_j = (h_j - h_o) - T_0(s_j - s_o)$.

Denklem (2.30) düzenlenirse, (2.31) denklemi elde edilir.

$$Ek = \sum m_i [(h_i - h_o) - T_0(s_i - s_o)] - \sum m_j [(h_j - h_o) - T_0(s_j - s_o)] + (1 - T_0/T) \cdot Q - W_f \quad (2.31)$$

$$\sum (m x h)_i - \sum (m x h)_j + \sum Q - w_f = 0 \quad (\text{I. K}) \quad (2.32)$$

$$\sum (m x s)_j - \sum (m x s)_i + \sum Q/T = S_{\text{ür}} \quad (\text{II.K}) \quad (2.33)$$

(2.32) ve (2.33) nolu denklemleri taraf tarafa toplayıp T_0 'la çarpalım.

$$T_0 \times S_{\text{ür}} = \sum m_i (h_i - h_o) - T_0(s_i - s_o) - \sum m_j [(h_j - h_o) - T_0(s_j - s_o)] + (1 - T_0/T) \cdot Q - W \quad (2.34)$$

(2.31) ve (2.34) nolu bağıntılar birbirine eşittir.

$$Ek = T_0 S_{\text{ür}} \quad (2.35)$$

bulunur.

Bu sonuca göre tersinmez süreçlerde evrende entropi artmaktadır ve enerji kaybı olmaktadır. Tersinmezliğin başlıca göstergesi entropi üretimi olmasıdır.

Örnek (2.1) [r.2]

Kimyasal bir sistemin tersinmezliğinin belirlenmesi'ni bir reaksiyon üzerinde görelim.



Kameyame-Yoshida kimyasal ekserji tablosuna göre:

Kimyasal madde	Kcal/gmol
H ₂ (g)	56.22
O ₂ (g)	0.94
CH ₄ (g)	198.41
H ₂ O (g)	0.00
N ₂ (g)	0.16
CO ₂ (g)	4.81

$$E_{\text{giren}} = (1 \times 198.41) + (2 \times 0.94) + (1 \times 0.6) = 200.45 \text{ (Kcal/mol)}$$

$$E_{\text{çıkan}} = (1 \times 4.81) + (2 \times 0.0) + (1 \times 0.94) + (1 \times 0.16) = 5.91 \text{ (kcal/mol)}$$

$$E_{\text{kayıp}} = E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}} = 200.45 - 5.91 = 194.54 \text{ (kcal/mol)}$$

$E_k \neq 0$ olduğu için sistem tersinmezdir.

2.2.5. Evrendeki Entropi Artışının Ekserji Kaybıyla İlişkisi [r.5]

Doğal şartlarda evrendeki entropi her zaman artmaktadır. Termik bir sistemi ele aldığımızda; bu sistemin çevresi ve sistemin kendisi bir arada evreni meydana getirmektedir. Evrendeki entropi artışı, çevredeki entropi artışı ile sistemdeki entropi artışının toplamıdır.

$$\Delta S_{ev} = \Delta S_{\zeta} + \Delta S_s \quad (2.36)$$

ΔS_{ev} : evrendeki entropi artışı

ΔS_{ζ} : çevredeki entropi artışı

ΔS_s : sistemdeki entropi artışı

i) Basit bir açık sistem için entropi artışı :

$$\Delta S_s = Q/T$$

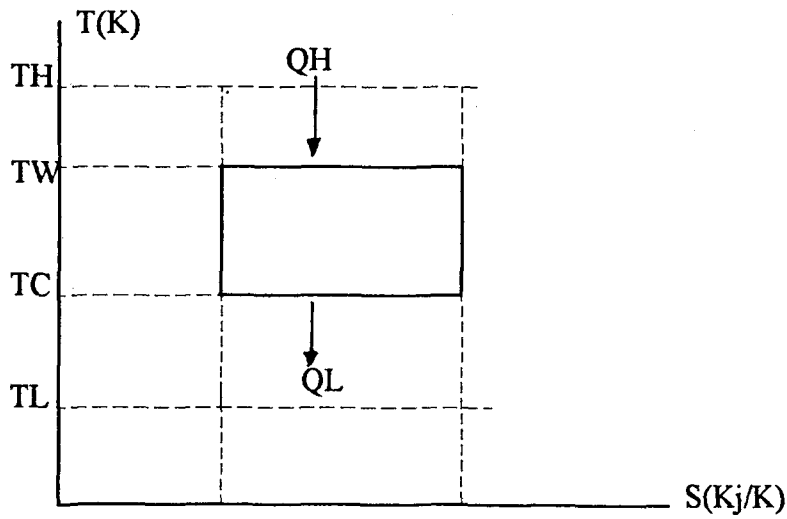
$$\Delta S_{\zeta} = Q/T_0$$

$$\Delta S_{ev} = Q/T - Q/T_0 \quad (2.37)$$

$$\Delta S_{evren} = Q (1/T - 1/T_0) \quad (2.38)$$

(Sistemin çevreye ısı verdiği düşünülürse, sistem için Q ısısı eksi değerlidir. $T > T_0$)

ii) Sonluz sıcaklık farkları arasındaki kapalı bir çevrim için entropi üretimi



Şekil 2.4.

T_H : Kaynak sıcaklığı

T_L : Çevre Sıcaklığı

T_C : Sistem alt sıcaklığı

T_W : Sistem üst sıcaklığı

ΔS_{ev} : Evrendeki entropi artışı

η_s : Üst sistem enerji verimi

η : Sistem enerji verimi

ϵ : Sistem ekserji verimi

Q_H : Sisteme verilen ısı

W_f : Sistemin yapmış olduğu faydalı iş

Q_L : Sistem'den çıkan ısı

$$\eta_s = (1 - T_L/T_H)$$

$$\eta = (1 - T_C/T_W)$$

$$\Delta S_{ev} = (\eta_s - \eta) \times Q_H/T_L \quad (2.39)$$

$$\Delta S_{ev} = -Q_H/T_H + Q_L/T_L \quad (2.40)$$

$$\eta = \eta_s - (T_L \times \Delta S_{ev})/Q_H \quad (2.41)$$

$$\epsilon = (Q_H \times \eta)/(Q_H \times \eta_s)$$

$$\epsilon = 1 - [(T_L \times \Delta S_{ev})/(Q_H \times \eta_s)] \quad (2.42)$$

Denklem (2.41) ve (2.42)'de görüldüğü gibi enerji ve ekserji verimi, evrendeki entropi artışına bağlı olarak bulunabilir. Şimdi bu durumu, sayısal bir örnekle ifade etmeye çalışalım.

Örnek 2.2.

$$T_H = 393 \text{ K}, T_W = 373 \text{ K}, T_C = 310 \text{ K}, T_L = 300 \text{ K}$$

$$Q_H = 500 \text{ kJ için}$$

$$\eta_s = 1 - (T_L/T_H) = 1 - (300/393) = 0.236$$

$$\eta = 1 - (T_C/T_W) = 1 - (310/373) = 0.167$$

$$\Delta S_{ev} = [(\eta_s - \eta) \times Q_H] / T_L = [(0.236 - 0.168) \times 500] / 300$$

$$\Delta S_{ev} = 0.114 \text{ KJ/K}$$

olarak bulunur.

Başka bir yolla da ΔS_{ev} 'ni hesaplayıp, karşılaştıralım.

$$\Delta S_{ev} = -Q_H/T_H + Q_L/T_L = -500/393 + [500 - (0.168 \times 500)]/300$$

$$\Delta S_{ev} = 0.114 \text{ (KJ/K) olarak aynı sonuç bulunmuştur.}$$

$$\eta = \eta_s - (T_L \Delta S_{ev}) / Q_H = 0.236 - (300 \times 0.114) / 500$$

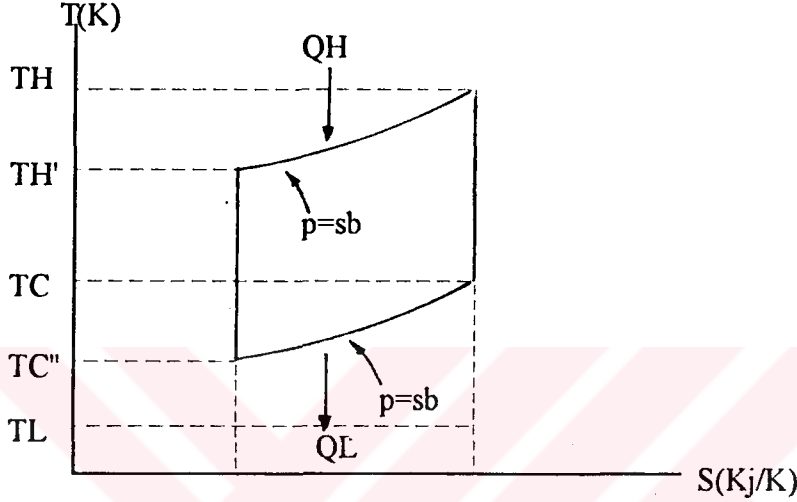
$$\eta = 0.168$$

$$\epsilon = 1 - (T_L \Delta S_{ev}) / (Q_H \times \eta_s) = 1 - (300 \times 0.114) / (500 \times 0.236)$$

$$\epsilon = 0.71$$

Böyle bir değerlendirme, sistem çevriminin değişik olduğu durumlarda da aynı sonucu vermektedir. Örneğin sistem çevrimi Joule-Brayton, Stirling şeklinde olabilir. Kaynak sıcaklığı sabit sıcaklıkta olmayıp, sabit basınç, sabit hacim vb. tarzlarda olabilir. Bunun dışında sistemde iç entropi üretimi olabilir. Bütün bu durumlarda; (2.39), (2.41) ve (2.42) nolu bağıntılarda bir değişiklik

olmaz ancak, sistemi karşılaştırdığımız durumları prosesin özelliğine göre hesaplamak gerekir. Örneğin (2.38)'e göre (S_{ev})'i hesap edip, (2.39) 'la karşılaştırırken, diyelim ki kaynak sıcaklığı sabit basınçta değişiyor. Bu durumda (2.39)'da karşılaştırma işlemi yaparken: Değişim T_H 'tan T_H' 'e kadar olduğunu düşünürsek;



Şekil 2.5

$\Delta S_{ev} = -C_p \ln T_H/T_H' + Q_L/T_L$ şeklinde hesaplanmalıdır.

Değişik durumlarda o durumun yapısına göre denklemlerin yazılması gerekir.

Denklem (2.41) ve (2.42)'in bize bir takım yararları olmaktadır. Entropi üretimine göre sistemlerin enerji ve ekserji verimliliği üzerinde pratik sonuçlar çıkarılabilir. Mesela; örnek (2.2)'de eğer entropi üretimi olmamış olsaydı $\eta = \eta_s$ ve $\epsilon = 1$ değerinde olurdu. Bunun dışında sistemin tersinmezlik oranı hakkında daha tutarlı bir bilgiye sahip olma durumu sözkonusudur.

2.2.6. Ekserji Verimi Tarifinin Birtakım Sistemlere Uygulanması [r.1]

i) Bir ısı değiştirgecinde iki akışkan arasında ısı geçişi

$$\varepsilon = (m \Delta b)_{\text{soğuk akışkan}} / (m \Delta b)_{\text{sıcak akışkan}}$$

$$\eta = Q/Q = 1 \quad (2.43)$$

ii) Adiyabatik tersinmez genişleme:

$$\varepsilon = (h'_2 - h_1) / (b_2 - b_1), \quad \eta = (h'_2 - h_1) / (h_2 - h_1) \quad (2.44)$$

iii) Adiyabatik tersinmez sıkıştırma:

$$\varepsilon = (b_2 - b_1) / (h'_2 - h_1) \text{ ve } \eta = (h_2 - h_1) / (h'_2 - h_1) \quad (2.45)$$

iv) Sabit T_s sıcaklığında bir ısı kaynağı kullanılarak bir akışkanın sıcaklığını sabit basınçta T_1 'den T_2 'ye arttırmak

$$\varepsilon = (b_2 - b_1) / [(h_2 - h_1) \times (1 - T_0/T_s)], \quad \eta = Q/Q = 1 \quad (2.46)$$

v) T_s sıcaklığında bir kaynaktan Q_s miktarında ısı alıp net olarak W miktarında iş üreten ve her biri T_i sıcaklığında ve Q_i miktarında faydalı ısıtma yapan bir sistem.

$$\varepsilon = \frac{W + \sum_i Q_i (1 - \frac{T_0}{T_s})}{Q_s (1 - \frac{T_0}{T_s})}, \quad \eta = \frac{W + \sum_i Q_i}{Q_s} \quad (2.47)$$

vi) (v) örneğindeki çevrimi kullanan ancak ısıyı yakıttan sağlayan komple bir sistemde;

$$\epsilon = \frac{W + \sum_i Q_i \left(1 - \frac{T_0}{T_i}\right)}{mf \times HHV_f \times \gamma_f}, \quad \eta = (W + \sum_i Q_i) / (mf \times HHV_f) \quad (\gamma_f \approx 1) \quad (2.48)$$

vii) Düşük bir T_s sıcaklığındaki bir sistemin bu sıcaklığını koruyabilmesi için ondan Q_s miktarında ısı alıp T_0 sıcaklığındaki çevreye veren mekanik soğutma sistemi:

$$\epsilon = [Q_s (1 - T_0/T_s)]/W ; \text{ (soğutma etkinlik katsayısı) } \beta = Q_s/W \quad (2.49)$$

viii) Eşantropili Genleşme:

$$\epsilon = (b_2 - b_1)/W_{12} = (h_2 - h_1)/(h_2 - h_1) = 1.0 \quad \eta = W_{12}/W_{12} = 1 \quad (2.50)$$

b : birim kütle kullanılabilirlik değeri (ekserji)

$$b = (h - T_0 \times S)$$

h : birim kütle entalpisi

W : proses işi

Q : ısı

Yukarıdaki örnekleri incelediğimizde, özellikle enerji verimi 1.0 olan sistemlerin ekserji verim değerleri, bu sistemlerdeki tersinmezliği daha açık şekilde göstermektedir.

2.2.7. Çeşitli Enerji Kaynaklarının Dönüşüm İşlemlerindeki Enerji ve Ekserji Verimi [r.6]

i) Yakıt Esaslı Isı Üretimi:

mf : yakıt miktarı

HHVf : Üst ısı değeri

η_{hf} : Yakıt esaslı enerji verimi

ϵ_{hf} : Yakıt esaslı ekserji verimi

Q_p : Isı üretim miktarı

γ_f : Yakıt kimyasal ekserji oranı ≥ 1

T_p : proses sıcaklığı

$$\eta_{hf} = Q_p / (m_f x HHV_f) \quad (2.51)$$

$$\epsilon_{hf} = Q_p x (1 - T_0 / T_p) / (m_f x HHV_f x \gamma_f) = \eta_{hf} x (1 - T_0 / T_p) \quad (2.52)$$

ii) Elektrik Esaslı Isı Üretimi:

W_e : Gerekli elektrik miktarı

η_{he} : Elektrik esaslı enerji verimi

ϵ_{he} : Elektrik esaslı ekserji verimi

$$\eta_{he} = Q_p / W_e \quad (2.53)$$

$$\epsilon_{he} = Q_p (1 - T_0 / T_p) / W_e = \eta_{he} x (1 - T_0 / T_p) \quad (2.54)$$

iii) Elektrik Esaslı İş Üretimi:

η_{ie} : Elektrik esaslı enerji verimi

ϵ_{ie} : Elektrik esaslı ekserji verimi

$$\eta_{ie} = W / W_e \quad (2.55)$$

$$\epsilon_{ie} = E_w / E_w = W / W_e = \eta_{ie} \quad (2.56)$$

iv) Yakıt Esaslı İş Üretim Prosesi:

η_{ih} = Yakıt esaslı iş üretimi enerji verimi

ϵ_{ih} = Yakıt esaslı iş üretimi ekserji verimi

$$\eta_{ih} = W/(m_f \times HHV_f) \quad (2.57)$$

$$\epsilon_{ih} = W/(m_f \times HHV_f \times \gamma_f) = \eta_{ih} \quad (\gamma_f \equiv 1) \quad (2.58)$$

v) Yakıt, Nükleer kaynak ve Hidrolik Esaslı Elektrik Üretimi:

Yakıt esaslı elektrik üretimi:

$$\eta_{ef} = W_e/(m_f \times HHV_f) \quad (2.59)$$

$$\epsilon_{ef} = E_w/(m_f \times \gamma_f \times HHV_f) = \eta_{ef} \quad (\gamma_f \equiv 1) \quad (2.60)$$

Nükleer esaslı elektrik üretimi:

$$\eta_{en} = W_e/Q_n$$

$$\epsilon_{en} = E_w/EQ_n = W_e/[1-T_0/T_n] \times Q_n] = \eta_{en} \quad (T_0/T_n \equiv 0) \quad (2.61)$$

Hidrolik esaslı elektrik üretimi:

$$\eta_{eh} = W_e/[m_w \times (\Delta ke + \Delta pe)_w] \quad (2.62)$$

$$\epsilon_{eh} = E_w/(m_w \times \Delta \epsilon_w) = \eta_{eh} \quad (2.63)$$

(m_w) = Su miktarı

$(\Delta ke + \Delta pe)$ = kinetik ve potansiyel enerji toplamı

vi) Yakıt Esaslı Kinetik Enerji Prosesi:

(turbojet ve roket gibi sistemler için)

m_s : akım maddesi

Δk_{es} = kinetik enerji

$$\eta_{kf} = m_s \times \Delta k_{es} / (m_f \times HHV_f) \quad (2.64)$$

$$\epsilon_{kf} = m_s \times \Delta k_{es} / (m_f \times \gamma_f \times HHV_f) \quad (2.65)$$

Tablo 2.1. Çeşitli yakıtların ekserji performansları

Yakıt Türü	HHV _f (Kj/kg)	Kimyasal Eks. (Kj/kg)	Kalite Faktörü γ_f
Kömür	32.733	34.090	1.04
Benzin	47.849	47.394	0.99
Fuel-oil	47.405	47.101	0.99
Doğal Gaz	55.448	51.702	0.93

BÖLÜM III

EKSERJİ ANALİZİNİN ENDÜSTRİ PROSESLERİNDE UYGULANMASINA İLİŞKİN ÖRNEKLER

Enerji ve ekserji veriminin karşılaştırmalı uygulamaları bazı ülkelerin tüm enerji kullanımını içerecek şekilde gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalardan enerji kullanım yeterliliği bakımından önemli sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre ekserji verim analizi yapan ülkelerin enerjiyi ne ölçüde kaliteli kullandıkları ortaya çıkmıştır. Bu durum çeşitli şekillerde değerlendirilebilir. Örneğin, ekserji verimi düşük olan sistemler değiştirilebilir veya farklı enerji kaynakları kullanılabilir. Böylece enerjinin işlem amacına uygun dönüşüm oranı artar ve atık enerji azalır. Ekserji verim değerlendirmesinden yararlanılarak ülke ekonomisine katkı sağlandığı gibi atık enerjinin çevre dengesini bozması azaltılabilir.

3.1. ENERJİ VE EKSERJİ VERİM ANALİZLERİNİN KANADA EKONOMİSİ İÇİNDEKİ DEĞERLENDİRMESİ [r.6]

Kanada'nın 1986 yılındaki enerji kullanımı 4 ana sektör ele alınarak hesaplanmıştır. Bu sektörler:

- i) Taşımacılık ve Ulaşım
- ii) Genel Kullanımlar
- iii) Mesken ve Ticaret
- iv) Endüstri

Öncelikle sektörlerin tek tek kendi içlerindeki enerji ve ekserji verimliliği değerlendirilmiştir. Bu işlemleri şu şekilde özetleyebiliriz.

i) Ulaşım ve Taşıma Sektörü Analizi:

Özellikle Kanada'daki, 1986 yılı için ulaşım ve taşıma sektörü işlem verileri değerlendirilmiştir. Taşıma şekilleri olarak: Deniz yolu, havayolu, karayolu ve boru hatları ele alınmıştır. Daha sonra her tarzdaki taşıma şekli için kullanılan yakıt cinsleri ve bunların enerji değerleriyle birlikte kullanma yüzdeleri ele alınmıştır. (Kullanma yüzdesi: Ele alınan taşıma şeklinin kullandığı enerjinin, tüm taşımacılık şekillerinin kullandıkları enerji toplamına oranıdır). Her tarz ulaşım ve taşıma şekli için başka bir referanstan belirlenen enerji verimleri mevcuttur. Bütün bu değerler bir tablo içinde toplanır ve ulaşım ve taşımacılık için toplam enerji verimliliği hesap edilir. Toplam enerji ve ekserji verimi; taşıma şekilleri için kullanma yüzdeleri, verim değerleriyle çarpılır ve bu çarpımlar toplanarak bulunur. Ulaşım ve taşımacılık için enerji verimi ekserji verimine eşittir. (Yakıtların enerji verimi yaklaşık olarak ekserji verimine eşittir ve dönüşüm işi olan mekanik enerjinin kendisi ekserjidir.) Enerji ve ekserji verimi:

$$\eta_T = \varepsilon_T = \sum_i^n (\text{kullanma oranı}) \times \eta_i$$

i : taşıma şekilleri

$$\eta_T = \varepsilon_T = \% 18$$

olarak belirlenmiştir.

ii) Endüstri Sektörü ve Genel Kullanımlar İçin Elektrik

Üretiminin Enerji ve Ekserji Verimi:

İlk olarak elektrik üretim şekli, yıllık üretim miktarı, üretim için enerji girdisi ve enerji verimini içeren bilgiler kullanılır.

Örnek değerlendirme:

Tablo 2.1. Endüstri ve Genel Kullanımlar İçin Elektrik Üretimi Proses Dataları

Üretim Şekli	Üretilen Enerji (Pj)	Enerji Girdisi (Pj)	Enerji Verimi $\eta(5)$
Hidrolik	1000	1176	85
Nükleer	230.1	767	30
Fosil	293.0	915.0	32

Tablo 2.1'e göre elektrik üretimi için toplam enerji ve ekserji verimi aşağıdaki şekilde bulunur.

$$\eta_u = \varepsilon_u = (1000+230.1+293.0)/(1176+767+915)=\%53$$

iii) Mesken ve Ticaret Sektörü:

Bu sektörü içeren uygulamalar: Isınma, pişirme, yıkama ve diğer küçük uygulamalardır. Genel olarak bütün bu işlemler ısısaldır. Enerji kaynakları ise yakıt ve elektriktir. Bütün bu işlemlerin yakıt ve elektrik kullanma oranları, başka bir referanstan edinilen yakıt ve elektrik verimleri ve proses sıcaklıkları (T_p) bir tabloda toplanır. Örneğin hava ısıtma işlemi için: $T_p=328$ (elektrik ve yakıt için), elektrik kaynaklı enerji ve ekserji verimi : $\eta=100\%$, $\epsilon=\%17.1$, yakıt için $\eta=\%65$, $\epsilon=\%11.1$, yakıt için kullanma yüzdesi $\%79.5$, elektrik için $\%15$ 'tir.

Toplam yakıt ve elektrik kaynaklı enerji ve ekserji verimleri:

$$\eta_{mf} = \sum_i^n (\eta_f(i) \times (\text{kullanma yüzdesi})_i) = \%64.4 \text{ (yakıt esaslı)}$$

$$\epsilon_{mf} = \sum_i^n (\epsilon_f(i) \times (\text{kullanma yüzdesi})_i) = \%11.7 \text{ (yakıt esaslı)}$$

$$\eta_{me} = \sum_i^n (\eta_e(i) \times (\text{kullanma yüzdesi})_i) = \%88.5 \text{ (elektrik esaslı)}$$

$$\epsilon_{me} = \sum_i^n (\epsilon_e(i) \times (\text{kullanma yüzdesi})_i) = \%19.8 \text{ (elektrik esaslı)}$$

1986 yılı için mesken ticaret sektörünün toplam enerji girdisinin $\%33.9$ 'u elektrik enerjisi ve geri kalan $\%66.1$ 'i yakıt enerjisi olarak belirtilmiştir. Buna göre enerji ve ekserji verimi:

$$\eta_{mt} = (88.5 \times 0.339) + (0.646 \times 0.661) = \%73$$

$$\epsilon_{mt} = (0.198 \times 0.339) + (0.117 \times 0.661) = \%14$$

olarak bulunur.

iv) Endüstri Sektörü Analizi:

Ele alınan endüstri dalları: Demirçelik, petrol, kağıt, çimento ve kimyasal endüstri çeşitleridir. Endüstri sektöründe toplam enerji ve ekserji değerlendirmesi için oluşturulan tabloda, endüstri dallarına göre elektrik ve yakıt enerjisi girdi değerleri, toplam enerji oranları, enerji ve ekserji verimleri tespit edilmiştir. Ekserji verimi; her endüstri dalının proses sıcaklığı (T_p) belirlenmiş ve (T_0) çevre sıcaklığına göre enerji verimi, $(1-T_0/T_p)$ ile çarpılarak bulunur. Örneğin demirçelik endüstrisi için:

Elektrik enerjisi girdisi : 181.4 (Pj)

Fuel enerjisi girdisi : 169.6 (Pj)

End. sektörü için enerji kullanma oranı : % 16.8

Enerji ve ekserji verimi : $\eta_h = 0.80$, $\epsilon_h = \%20.4$ olarak belirtilmiştir.

Ele alınan tabloda her endüstri dalı için bu değerler çıkarılmıştır. Buna göre toplam enerji ve ekserji verimi:

$$\eta_{ET} = \sum_i^n \eta_i \times (\text{toplam kullanma oranı}) = \% 73$$

$$\epsilon_{ET} = \sum_i^n \epsilon_i \times (\text{toplam kullanma oranı}) = \% 41$$

olarak bulunmuştur.

Sonuç: Ele alınan 4 sektörün veimlilik değerleri: Enerji verimlilik değeri: %18-%73 arasında, ekserji verim değeri: %14-%53 arasındadır. Enerji ve ekserji verimleri arasındaki en büyük farklar ısı işlemlerde görülmektedir. Örneğin; Mesken-ticaret sektörünün toplam ekserji verimi (%14), enerji verimi (% 73)'tür. Burada gözlenen durum: yüksek kalitede enerji kaynakları düşük kalitede talepler için kullanıma olayıdır. Mesken ticaret sektöründe Genel

olarak ısı işlemleri olmaktadır ve ortalama proses sıcaklığı (328 K)'dir. % 73'lük enerji verimine sahip olan endüstriyel sektörde ise işlem sıcaklığının yaklaşık (1400 K) civarında olması ekserji verimini % 41 gibi bir değere ulaştırmaktadır.

Kanada için enerji kullanımına yönelik hazırlanmış modele göre:

Toplam enerji verimi : % 50

Toplam ekserji verimi = % 23.9 'dır.

Kanada ekonomisini oluşturan ana sektörlerin enerji ve ekserji verim değerleri ve toplam enerji ve ekserji verim değeri Ek.'te görülebilir.

Kanada ekonomisi için enerji ve ekserji akışı Ek'te görülebilir. Bu diyagramların sol tarafında enerji ve ekserji oranlarına göre enerji kaynaklarının girdileri gösterilmiştir. Diyagramın orta kısmında 1. ve 2. kullanıcılar, sağ kısmında ise atık enerji ve ekserji; enerji ve ekserji üretimi gösterilmiştir.

3.2. BREZİLYA EKONOMİSİ İÇİN YAPILAN EKSERJİ ANALİZİ

DEĞERLENDİRMELERİNİN GENEL SONUÇLARI [r.3]

Brezilya ekonomisinde enerji ve ekserji analizi için üç sektör ele alınmıştır. Bunlar: mesken ve ticaret sektörü, ulaşım ve taşımacılık sektörü ve endüstri sektörüdür. Uygulama sektörü olarak ele alındığında, enerji ve ekserji teorik yaklaşımı bakımından Kanada uygulamasına uyan bir çalışmanın sadece sonuç verilerinin belirtilmesi uygun görülmüştür.

Tablo 3.2. Brezilya ekonomisinde enerji ve ekserji değerlerinin genel dağılımı

Kullanma Sektörü	ENERJİ ŞEKLİ				TOPLAM VERİM	
	ELEKTRİK		YAKIT		$\eta(\%)$	$\epsilon(\%)$
	$\eta(\%)$	$\epsilon(\%)$	$\eta\%$	$\epsilon\%$		
Ticaret ve mesken	59.2	21.2	39.5	8.6	44.1	11,5
Ulaşım ve taşımacılık	-	-	10	10	10	10
Endüstri	79.9	72.0	69.4	37.2	71.1	42.7

Enerji miktarı kullanımına göre yapılan analiz sonuçlarına göre: Brezilya endüstrisi için

Toplam enerji verimi : $\eta = \% 32.4$

Toplam ekserji verimi : $\epsilon = 22.8$ 'dir.

Brezilya ekonomisi için enerji ve ekserji akışı Ek'te gösterilmiştir. Kanada enerji ve ekserji akış diyagramlarında olduğu gibi bu diyagramların da, sol kısmında enerji ve ekserji girdi değerleri, orta kısmında enerji kullanıcıları, en sağ kısmında ise enerji ve ekserji üretimi ile atık enerji ve ekserji değerleri oransal olarak gösterilmiştir.



BÖLÜM IV

PENDİK TERSANESİ ENERJİ VE EKSERJİ VERİM ANALİZİ

Enerji ve ekserji verimi karşılaştırma işlemleri, dünyadaki bazı ülkelerde, o ülkenin tüm enerji sistemlerini içerecek şekilde uygulanmaktadır. Bu uygulamalar sayesinde enerjinin ne derecede uygun ve kaliteli dönüşüme uğradığı konusunda önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada da gemi endüstrisine yönelik bir işletmede enerji ve ekserji verimi karşılaştırma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Pratik çalışmalar Gemi Sanayi kuruluşuna bağlı Pendik Tersanesinde yapılmıştır. Özellikle tersanedeki tüm birimler tek tek ele alınıp, enerji üretim sistemlerinin kapasiteleri, yan sistemleri, dönüşüm işlemleri incelenmiş ve gerekli tüm sayısal değerler 1992 yılı için tersanenin gerekli kurumlarından temin edilmiştir. Tersanenin enerji sistemleri ile ilgili edinilen bilgilerden ve gerekli referanslardan yararlanılarak, enerji ve ekserji verimliliği hesapları yapılmıştır.

Tersanede kullanılan temel enerji kaynakları "elektrik ve çeşitli türdeki yakıtlardır. 1992 yılı verileri ele alınarak yakıt kullanan sistemlerin ve elektrik kullanan sistemlerin tek tek enerji ve ekserji verimliliği hesap edilmiştir. Daha sonra tersanenin tümünü içeren enerji ve ekserji verimi tespit edilmiştir. Bazı sistemler için gerekli görülen yerlerde enerji ve ekserji verimini artırıcı alternatif sistemler önerilmiştir.

Pendik Tersanesinde enerji ve ekserji verim analizi için ele alınan elektrik enerjisi kullanıcıları:

- Kaynak işlemi
- Transport elemanları (Vinçler ve kreyinler)
- Kompresörler ve Pompalar
- Aydınlatma işlemi
- Elektrikli ısıtıcılar

Pendik Tersanesinde yakıt esaslı enerji kullanımı için ele alınan sistemler:

- Isınma Sistemi (Fuel oil ve Motorin)
- Galvanizleme Sistemi (Fuel oil)
- Ulaşım Araçları (Benzin ve diesel oil)

4.1. KAYNAK İŞLEMİ İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ

1992 verilerine göre; Pendik Tersaneisinde, Elektro ark kaynağı ve MAK (CO₂ koruyucu gazlı) kaynağı işlemleri yapılmıştır. Tersane tutanaklarından elde edilen bilgilerden, ilk önce kaynak işlemi için yıllık elektrik kullanımı tespit edilmiştir. Bundan sonraki aşamada, kaynak yönteminin spesifik verim hesapları gözönüne alınarak enerji verimi hesap edilip, ardından işlem sıcaklığı ve çevre sıcaklığı dikate alınarak ekserji verimi hesap edilmiştir.

Gerek elektrik ark kaynağı, gerekse MAK kaynağında kaynak makinasının kullandığı elektriği tespit için kaynak işlemindeki performans değerlerini içeren formülü aşağıda görebiliriz.

$$YEH = \left[\frac{I \cdot U \cdot ED}{1000 \eta_m} + P_0 (1 - ED) \right] + t \quad [r.7] \quad (4.1)$$

I : akım (A)

U : Gerilim (V)

ED : Güç faktörü (%)

P₀ : (Boşta çalışma standart değeri) (Kwh)

η_m : Kaynak makinası verimi

t : Yıllık süre (saat)

YEH : Yıllık elektrik harcama miktarı (Kwh)

Her iki kaynak yöntemi için de, kullanılan kaynak makinası tipi; redresördür.

4.1.1. Elektro Ark Kaynağı İçin Verim Analizleri

Elektro ark kaynağı için tersanede kullanılan elektrot tipleri ve çeşitleri aşağıda gösterilmiştir:

Rutil elektrot (RE) : TS 563/ISO: E513RR22,AWS A5.1.:E6113

Bazik elektrot (BE) : TS 563/ISO: E5153B10,AWS A5.1.:E7018

Kromlu elektrot (CrE) : DIN8556 : E9-200Ckz, AWS:A5.4.:E312-16

Denklem 4.1'e göre

$$YEH = \left[\frac{I.U.ED.t}{1000 \eta_m} + P_0 (1 - ED).t \right]$$

$$I.U.t/1000 = 1.858123 \text{ (kwh)}$$

$$P_0(1-ED.t)=115.557 \text{ (Kwh)}$$

$$YEH = \left[\frac{1.858.123.ED}{\eta_m} + 115.557 \right] = 1.177342 \text{ (Kwh)}$$

olarak yıllık elektrik harcamı bulunur.

Elektro Ark Kaynağı İçin Enerji Verimi:

Boşta çalışma kaybı : $P_0(1-ED)t$ [r.7]

$$\eta_{\text{ç}}(\text{çalışma verimi}) = \frac{YEH - P_0(1 - Ed.t)}{YEH} = 0.90 = \% 90$$

Tablo 4.1. Elektro ark kaynağı için elektrot çeşidine ve miktarına göre yıllık elektrik harcaması ($ED=0.4$, $\eta_{em}=0.7$, $P_0=1.3$)

Elektrot tipi	Çap x boy (mmxmm)	Miktar (Adet)	Akım (Amper) I	Gerilim (Volt) U	Elektrot adedi kaynak malz. mik.	Kaynak malz. miktarı süre	Kaynak malz. miktarı (kg)	Süre (t1) (saat)	Güç(Ne) =IxU (W)	Süre t=t1/0.4	Nex/1000 (Kwh)	$P_0 (1-ED) \Delta$ = 0.39xt (Kwh)
R.E	2x300	30 000	50	60	167	0.6	179.6	229.4	300	573	1720	223.6
R.E	2.5x350	37 600	50	80	89	0.8	422.4	528	400	1320	5280	514
R.E	3.25x350	284 100	50	125	54	1.3	4890.4	3761	6250	9403	58773	3667
R.E	4x450	523 650	50	200	16	2.3	37728	14229	10000	35573	355737	13873
R.E	4x350	188 800	50	170	33	1.8	5721	3178	8500	7945	67532	3098
R.E	5x350	247 430	70	210	18	2.0	13746	6873	10500	17182	180416	6701
B.E	5x450	2 079 348	70	140	40	0.9	51893	57758	9800	144397	141500	56314
B.E	3.25x350	378 100	70	225	13.3	2.5	28428	11200	15750	28000	441000	10920
B.E	5x450	143 000	70	100	65	1.0	2200	2200	7000	5500	38500	2145
B.E	2.5x350	739 515	70	175	21	1.9	35215	18534	12250	46335	567600	18070
Cr.E	4x450	1 400	60	150	26	1.9	54	28.3	900	70.7	63.6	27.57
											Σ	$\Sigma=115557$
											Σ	$=1858123$

Tablo 4.1'de elektrot tipine bağlı olarak yazılmış olan sütun (4,5,6,7) bilgileri [r.8]'den alınmıştır. Sütun (1,2,3) bilgileri tersanenin 1992 kayıtlarından belirlenmiştir. Sütun (8,9,10,11) bilgileri diğer sütunlardaki bilgilerle hesaplanmıştır.

9. sütunda t1 süresi kaynak süresidir. 11. sütundaki t süresi ise boşta çalışma ve kaynak süresi toplamıdır. $(ED)=0.4$ olduğu için; $t=t1/0.4$ olur.

ED, P_0 ve η_{em} değerleri [r.7]'den alınmıştır.

Isıl Verim(η_H)[r.9]: Elektro ark kaynağı için ısısının % 40'ı elektrot ve malzeme ergimesi için kullanılır. Geri kalan miktarın % 20'si ışınlımla, % 40'ı da malzemede ısı olarak yayılır. Buna göre:

$$\eta_H = \% 40\text{'dır.}$$

Kaynak makinası verimi η_{em} [r.9]): Redresör için 0.70'dir.

Bu değerlere göre enerji verimi:

$$\eta_{ea} = \eta_H \cdot \eta_{\phi} \cdot \eta_{em} = 0,90 \cdot 0,70 \cdot 0,40 = 0,252$$

olarak bulunur.

Elektro Ark Kaynağı İçin Ekserji Verimi:

Kaynak ergime sıcaklığı malzeme ergime sıcaklığına bağlıdır. Bu sıcaklık da 1200-1536 arasındadır. $T_p = 1300\text{ }^{\circ}\text{C}$ seçilmiştir.

$$T_p = 1300\text{ }^{\circ}\text{C} = 1573\text{ K} \quad T_0 = 283\text{ K [r.9]}$$

$$\epsilon_{ea} = \eta_{ea} \cdot (1 - 283/1573) = (0,252) \times (0.813)$$

$$\epsilon_{ea} = 0.205 = \%20.5\text{'dir.}$$

4.1.2. MAK (CO₂ koruyucu gazlı) Kaynak İçin Verim Analizi

Tablo 4.2. MAK kaynağı için, tel çapı ve yıllık tel kullanma miktarına göre elektrik harcamı

Tel çapı (mm)	Yıllık Tel Miktarı (kg/yıl)	Ergime verimi (kg/h)	Akım (I) Amper	Gerilim (U) Volt	Güç (W)	Süre (t)	Süre T=t1/0.4	Ne.t/1000 (kwh)	P ₀ (1-ED)t =0.39.t (kwh)
1.2	1941	1.5	270	35	13500	1294	3235	43672	504
1.6	3967	3.1	410	35	14350	1279	3199	45905	1247
2.0	4000	6.25	475	35	16625	640	1600	26600	624
								Σ=116178	Σ=2376

Tablo 4.2'deki (3,4,5) değerleri sütun (1 ve 2) verileri için [r.9] dan bulunmuştur. P₀=1.3, ED=0.4 değerleri [r.7]'den alınmıştır.

Tablo 4.2'ye göre;

$$Y_{EH} = \left[\frac{Ne.t.ED.t}{1000.\eta_{em}} + P_0(1-ED).t \right] , \quad \frac{Ne.t}{1000} = 116.178,1 \text{ (Kwh)}$$

$$P_0(1-ED).t = 2376,26 \text{ (Kwh)}$$

değerleri bulunur.

Bu değerler denklem (4.1)'de yerine konursa;

$$Y_{EH} = \left[\frac{116178,1 \times 0,4}{0,7} + 2376,26 \right] = 68763,4 \text{ kwh}$$

olarak bulunur.

(MAK) Kaynağı İçin Enerji Verimi :

$$\text{Çalışma verimi } \eta_{\phi} = \frac{Y_{EH} - P_0(1 - ED)t}{Y_{EH}} = \frac{68763,4 - 2376,26}{68763,4} = 0,965 = \% 96,5$$

Isı verimi (η_H) [r.9] : Elektro ark kaynağıyla, tozaltı kaynağı arasındadır. Tozaltı kaynağı: $\eta_H = 0,78$, Elektro ark kaynağı $\eta_H = 0,40$ MAK kaynağı için $\eta_H = 0,60$ seçilmiştir.

$$\eta_{em} = 0,70 \text{ (redresor için)}$$

Toplam enerji verimi:

$$\eta_m = \eta_{em} \times \eta_{\phi} \times \eta_H = 0,70 \times 0,60 \times 0,965 = 0,405 = \% 40,5$$

olarak bulunur.

(MAK) Kaynağı İçin Ekserji Verimi(ϵ_m):

$$T_p = 1573 \text{ K}, \quad T_0 = 273 \text{ K için:}$$

$$\epsilon = \eta \times (1 - T_0/T_p) = 0,405 \times (1 - 273/1573) = 0,33 = \% 33 \text{ bulunur.}$$

Tablo 4.3. Kaynak işlemleri için enerji kullanma oranları

Kaynak türü	(YEH) (kwh)x10 ⁶	Enerji verimi $\eta(5)$	Ekserji verimi $\epsilon(\%)$	Enerji Kullanma Oranı (%)
Elektro ark kaynağı	1.177	28	20.5	94.5
MAK kaynağı	0.0687	40.5	33	0.55
	$\Sigma=1.246$			

Kaynak işlemleri için toplam enerji verimi:

$$\eta_{Tka} = (0.28 \times 0.945) + (0.405 \times 0.055) = 0.286 = \% 28.6$$

Kaynak işlemleri için toplam ekserji verimi:

$$\epsilon_{Tka} = (0.205 \times 0.945) + (0.33 \times 0.055) = 0.212 = \% 21.2$$

olarak bulunur.

4.1.3. Kaynak İşlemleri İçin Alternatif Öneri

Tozaltı kaynağıyla yapılan kaynak işleminde ısı verimliliğinin % 78 gibi yüksek bir değerde olması dolayısıyla tersane için önerilebilir. [r.9]

Tozaltı kaynağı için elektrik makinası verimini 0.95 (transformator genel verimi) ve çalışma verimini de (η_c):0.90 (MAK ve elektro ark kaynağında olduğu gibi) aldığımızda, tozaltı kaynağı verim değerleri:

$$\text{Enerji verimi: } \eta_{t0} = \eta_H \times \eta_c \times \eta_{em} = 0.78 \times 0.90 \times 0.95 = 0.667$$

$$\eta_{t0} = \% 66.7$$

$$\text{Ekserji verimi : } \epsilon_{t0} = \eta \times (1 - 283/1573) = 0.667 \times 0.82 = 0.546$$

$$\epsilon_{t0} = \% 54.6$$

olarak bulunur.

Bu sonuçlara göre enerji verimi % 28.6'dan % 66.7'ye, ekserji verimi % 21.2'den % 54.6 gibi yüksek bir değere ulaşabilir.

Tozaltı Kaynağı Uygulaması ile Elde Edilebilecek Yıllık

Elektrik Tasarrufu (YET):

Pendik Tersanesinde kaynak işlemi için kullanılan elektrik enerjisinin kaynak için dönüşüm miktarını: Tablo 3.3'deki toplam elektrik harcamını, toplam enerji verimiyle çarparak bulabiliriz.

$$\text{Yıllık enerji üretimi} = (\sum YEH) \times \eta_{Tka} = 1.246 \times 10^6 \times 0.286 \text{ (kwh)}$$

$$\text{Yıllık enerji üretimi} = 0.356 \times 10^6 \text{ (kwh)}$$

Tozaltı kaynağı enerji verimi (η_{to})=0.667 bulunmuştu.

Bu verime göre gerekli elektrik enerjisi miktarı $(YEH)_{to}$

$$(YEH)_{to} = (\text{Enerji üretimi}) \times \eta_{to} = 0.356 \times 10^6 / 0.667$$

$$(YEH)_{to} = 0.534 \times 10^6 \text{ (kwh)}$$

$$\text{Yıllık elektrik tasarrufu (YET)} = \sum YEH - (YEH)_{to}$$

$$YET = (1.246 - 0.534) \times 10^6 = 0.712 \times 10^6 \text{ (kwh) olarak bulunur.}$$

4.2. TRANSPORT ELEMANLARININ ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ

Pendik Tersanesinde 5 ton kapasite ile 450 ton kapasite arasında çalışan 22 adet çeşitli türde kreyn bulunmaktadır. Bu kreynelerden 14 adedi köprü kreyn tarzında olup, atölyelerde işlev görmektedir. 6 adet jeep kreyn, havuz ve rıhtımlarda, 450 ve 300 ton kapasiteli 2 adet Gantry kreyn de tersane içinde çalışmaktadır.

Transport elemanlarının enerji verimlilikleri ve ekserji verimlilikleri birbirine eşittir. Çünkü, kullanılan enerji elektrik enerjisi, dönüştürülen enerji de mekanik enerjidir. Elektrik ve mekanik enerjinin ekserji değerleri enerji değerlerine eşittir.

Tablo 4.4. Kreyn tipleri ve işlevlerine göre elektrik güçleri

	Transport elemanı	Yük kapasitesi (ton)	Kullanım sahası	Adet (n)	İşlevlere göre motor güçleri (Kw)			
					L	D	T	O
1	KK	16	Motaj Atl.	2	28	4	19.5	-
2	KK	50	Açık saha	2	58	14.5	48	-
3	MKK	15	Açık saha	1	39	10	24	-
4	KK	16	Saç İşl. Atl.	2	28	4	19.5	-
5	KK	5	Saç İşl. Atl.	2	10	2.6	10	-
6	MKK	15	Açık saha	2	39	10	24	-
7	MKK	5	Açık saha	1	19.5	2.6	14.5	-
8	JK	160	Rıhtım	3	19.5	29.5	53	24
9	JK	48	Rıhtım	3	4	26.5	45	24
10	GK	450	Açık saha	1	1200			
11	GK	300	Açık saha	1	1170			

Tablo 4.4'deki (1,2,3,4) no'lu sütunlar, tersane kayıtlarından alınan bilgilerdir.

L: Kaldırma, D: Araba yürütme, T: Köprü yürütme,

O: Döndürme, işlemleridir.

KK: Köprü kreyn, MKK: Man. köprü kreyn, JK: Jeep kreyn

GK: Gantry kreyn,

Sütun (5,6,7,8) bilgileri sütun (1)'e göre [r.10]'dan yararlanılarak oluşturulmuştur.

Tersaneden alınan bilgilere göre:

Köprü kreyner günde ortalama: 1 saat, yılda: 365 saat

Jeep kreyner haftada ortalama: 10 saat, yılda: 520 saat

Gantry kreyner haftada ortalama: 5 saat, yılda: 260 saat

çalışmaktadır.

T_{KK} : Köprü kreyner yıllık çalışma süresi = 365 saat

T_{JK} : Jeep kreyner yıllık çalışma süresi = 520 saat

T_{GK} : Gantry kreyner yıllık çalışma süresi = 260 saat

n : Adet, N_{eT} : Toplam güç

YEH : Yıllık elektrik harcamı

$$N_{eT} = \sum_i^j (L+D+T)_i \times n_i \quad (4.3)$$

Köprü Kreyner Yıllık Elektrik Harcamı $(YEH)_{KK}$

$$(YEH)_{KK} = (N_{eT})_{KK} \times T_{KK}$$

$$\begin{aligned} (N_{eT})_{KK} &= \sum_{i=1}^7 (L+D+T)_i \times n_i = 2 \cdot (28+4+19.5) + 2 \cdot (58+14.5+48) \\ &\quad + 1 \cdot (39+10+24) + 2 \cdot (28+4+19.5) + 2 \cdot (10+2.6+10) \\ &\quad + 1 \cdot (19.5+2.6+14.5) = 601.8 \text{ (Kw)} \end{aligned}$$

$$(YEH)_{KK} = (N_{eT})_{KK} \times T_{KK} = 601.8 \times 365 = 219.657 \text{ (Kwh)}$$

Jeep Jreyn Yıllık Elektrik Harcamı (YEH)_{JK}:

$$(N_{eT})_{JK} = \sum_{i=8}^9 (L+D+T)_i \times n_i$$

$$(N_{eT})_{JK} = (19.5+29.5+53+24).3 + (4+26.5+45+24).3 = 676.5 \text{ (Kw)}$$

$$(YEH)_{JK} = N_{eT} \times T_{JK} = 676.5 \times 520 = 351.780 \text{ (Kwh)}$$

Gantry Kreyn Yıllık Elektrik Harcamı (YEH)_{GK}:

$$(YEH)_{GK} = (N_{eT})_{GK} \times T_{GK} = (1200+1170).260 = 616.200 \text{ Kwh}$$

Toplam elektrik harcamı:

$$(YEH)_T = (YEH)_{KK} + (YEH)_{JK} + (YEH)_{GK}$$

$$(YEH)_T = 219657 + 351780 + 616200 = 1.187.637 \text{ (Kwh)}$$

Transport elemanlarının toplam mekanik verimi:

$$\eta_m(\text{toplam mekanik verim}) = \eta_T \times \eta_{red.} \times \eta_p$$

η_p = palanga, η_T = tanbur, $\eta_{red.}$ = redüktör verimleri

η_m : [r.7]'deki bilgilere göre % 75 ile % 90 arasındadır.

Buna göre tüm sistem için $\eta_m = 0.80$ seçilmiştir.

η_{em} : Elektrik motoru verimi ortalama:0.90 alınmıştır.

Tüm sistem için boşta çalışma değeri ED=% 40'tır.

(Tersaneden edinilen bilgi)

Bu sonuçlara göre transport elemanlarının toplam enerji ve ekserji verimi:

$$\eta_{\text{ε}} = \eta_s \times \eta_{\text{em}} \times \text{ED} = 0.80 \times 0.90 \times 0.40 = 0.288 = \% 28.8 \text{ dir.}$$



4.3. KOMPRESÖRLER VE SU POMPALARI İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Kompresörler İçin Enerji ve Ekserji Verim Analizi:[r.1]

Kompresör performans değerleri:

N_{ek} : Kompresör gücü (Kw),

ΔH : Ekserji girdisi [Kj/kg]

P_1, P_2 : Giriş ve çıkış basıncı (bar),

m : kütleli debi [kg/sn]

T_1, T_2 : Giriş ve çıkış sıcaklıkları (K),

ρ : (hava yoğ.)=1.25 (kg/m³)

W_k : sıkıştırma işi (Kj/kg),

$E_{\dot{u}}$: Ekserji üretimi (Kj/kg)

E_k : Ekserji kaybı (Kj/kg),

η_{em} =mekanik verim

Sistem adiyabatik olarak düşünülmüştür.

Ekserji Verimi :

$$\Delta H = (N_{ek} \times \eta_{em})/m \quad (4.4)$$

$$E_k = (T_1 \times \Delta S) \quad (4.5)$$

$$E_{\dot{u}} = \Delta H - E_k \quad (4.6)$$

$$\Delta S = C_p \ln (T_2/T_1) - R \ln (P_2/P_1) \quad (4.7)$$

$$T_2 = T_1 + \Delta H / C_p \quad (4.8)$$

Buna göre ekserji verimi;

$$\epsilon_{kp} = \frac{E_{\dot{u}}}{(\Delta H) / \eta_{em}} \quad (4.9)$$

oraniyla bulunur.

Enerji verimi (η_{kp}):

Proses tersinir adiyabatik olduğundan, tersinir sistem uygulandığında;
 $\eta_{kp} = \Delta H / W_k = 1$ olur . Olaydaki tersinmezliği belirtmek için "tersinmez adiyabatik" sıkıştırma uygulamasına göre pratik bir çözümlmeye gidilir.
 Tersinmez adiyabatik sistemde:

T_2 : Kompresor çıkış sıcaklığı

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}, W_k = C_p \cdot \Delta T \quad (4.10)$$

$$\eta_{kp} = \frac{W_k}{\Delta H / \eta_{em}} \quad (4.11)$$

olarak bulunur.

Su Pompaları İçin Enerji ve Ekserji Verimi:

$$N_e = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad [r.11] \quad (4.12)$$

H : toplam basma yüksekliği (m)

Q : Debi (m³/sn)

N_e : güç (PS)

γ : yoğunluk (su için) : (10^3 kg/m^3)

Su pompaları için enerji ve ekserji verimi birbirine eşit alınmıştır. Çünkü dönüştürülen elektrik enerjisinin ve pompanın yapmış olduğu işin enerji değeri, ekserji değerine eşittir. Bunu aşağıdaki formülde görebiliriz.

$$\eta = \frac{\text{Kinetik enerji}}{\text{Elektrik enerjisi}} = \frac{W}{W_e} = \frac{E^w}{E_e} \quad [r.6]$$

4.3.1. Oksijen Üretim Sistemindeki Kompresor ve Pompaların Enerji ve Ekserji Verimi

a) Ana kompresor : Elektrik gücü, $N_{ek} = 1200 \text{ Kw}$

b) Ana Soğutma Sistemi Pompası $N_{ep} = 25 \text{ Kw}$

a) Ana kompresor Enerji ve Ekserji Analizi:

$N_{ek} = 1200 \text{ (kw)}$, $P_1 = 1 \text{ (bar)}$, $T_1 = 300 \text{ K}$

$\eta_{em} = 0.98$, $P_2 = 13 \text{ (bar)}$

$k = 1.4$, $C_p = 1 \text{ (Kj/kg K)}$

$m = 3.02 \text{ (kg/sn)}$, $\eta_{em} = 0.95$

Ekserji Verimi Hesabı:

$$\Delta H = (N_{ek} \times \eta_{en})/m = 1200 \times 0.95/3.02 = 377.48 \text{ (Kj/kg)}$$

$$T_2 = T_1 + \Delta H / C_p = 300 + 377.483 / 1 = 677.483 \text{ K}$$

$$\Delta S = C_p \ln(T_2 / T_1) - R \ln(P_2 / P_1)$$

$$\Delta S = 1 \times \ln(377.5 / 300) - 0.287 \ln(13 / 1) = 0.0785 \text{ (Kj/kg K)}$$

$$E_k = T_0 \times \Delta S = 300 \times 0.0785 = 23.55 \text{ (Kj/kg)}$$

$$E_{\dot{u}} = \Delta H - E_k = 377.48 - 23.55 = 353.93$$

Ekserji Verimi (E_{kp}):

$$\varepsilon_{kp} = \frac{E_{\dot{u}}}{\Delta H / \eta_{em}} = \frac{353.93}{377.48 / 0.95} = 0.89 = \% 89$$

Enerji Verimi (η_{kp}):

$$T_2 \text{ (tersinir adv)} = T_1 \cdot (P_2 / P_1)^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot (13)^{\frac{0.4}{1.4}} = 624.3 \text{ K}$$

$$W_k = C_p(T_2 - T_1) = 1 \times (624.3 - 300) = 324.3 \text{ (Kj/kg)}$$

$$\eta_k = \frac{W_k}{\Delta H / \eta_{em}} = \frac{324.3}{397.4} = 0.816 = \% 81.6 \text{ olarak bulunur.}$$

b) Ana soğutma pompası:

$$N_{ep} = 25 \text{ Kw}, \gamma = 10^3 \text{ kg/m}^3 \text{ H}=44 \text{ m (yük kayıplarıyla birlikte)}$$

$$Q = 150 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0416 \text{ m}^3/\text{sn}$$

$$25 \text{ Kw} = 33.96 \text{ (PS)}$$

$$N_e = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{75 \cdot \eta} \Rightarrow \eta = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{N_e \cdot 75}$$

Enerji ve ekserji verimi (η_p , ϵ_p):

$$\eta_p = \epsilon_p = \frac{10^3 \cdot 44.0,0416}{33,96.75} = 0,72 = \% 72 \text{ bulunur.}$$

Oksijen üretim tesisi endüstriyel sistemleri için 1991 yılında 1.372.000 (Kwh) elektrik enerjisi ana kompresorde, yaklaşık 28000 kwh elektrik enerjisi de ana soğutma pompasında kullanılmıştır.

Tablo 4.5. Oksijen Üretim tesisi enerji dağılımı

Enerji Kullanan sistemler	Enerji girdisi (Kwh)x10 ⁶	Enerji verimi η %	Ekserji verimi ϵ %	Enerji kullanma oranı %
a) Ana komp	1.372	0.816	0.89	0.98
b) Ana soğ.P	0.028	0.72	0.72	0.020
	$\Sigma=1.4$			

Oksijen üretim tesisindeki elektrik kullanan sistemlerin toplam enerji verimi (η_{ok}):

$$\eta_{ok} = 0.816 \times 0.98 + 0.020 \times 0.72 = 0.814 = \%81.4$$

Toplam ekserji verimi:

$$\epsilon_{ok} = 0.89 \times 0.98 + 0.72 \times 0.020 = 0.886 = \% 88.6 \text{ olarak belirlenir.}$$

4.3.2. Hava Kompresor Sistemi İçin Enerji ve Ekserji Analizi

Hava kompresorleri: Tersnedeki gemilerin ve saçların raspalanması için, havalı aletlerde ve atölyelerin havalı sistemlerinde kullanılmaktadır.

Tersanede 480 Kw gücünde 3 adet kompresor bulunmaktadır. Genel olarak kompresorlerin 2 adedi günde 9 saat ve ayın ortalama 15 günü sürekli çalışmaktadır.

Yıllık çalışma süresi: $15 \times 9 \times 12 = 1620$ saat

ortalama değeriyle işlemler yapılacaktır.

Kompresor performans değerleri:

$P_1 = 1$ bar, $P_2 = 7$ bar,

$N_e = 480$ kw (tek kompresor için)

$C_p = 1$ (kj/kgK),

$\eta_{em} = 0.98$ (elektrik motoru verimi)

$m = 2.08$ (kg/sn)

Hava kompresor sistemi için ekserji verimi hesabı:

$\Delta H = N_e \times \eta_{em} / m = (480 \times 0.98) / (2.08) = 226.15$ (Kj/kg)

$T_2 = T_1 + \Delta H / C_p = 300 + 226.153 / 1 = 526,153$ (Kj/kg)

$\Delta S = C_p \ln T_2 / T_1 - R \ln P_2 / P_1 = 1 \times [\ln(526.15/300)] - 0.287 \times [\ln(7/1)]$

$\Delta S = 0.0033$ (Kj/kgK)

$E_k = T_1 \times \Delta S = 300 \times 0.0033 = 1$ (Kj/kg)

$E_u = \Delta H - E_k = 226.15 - 1 = 225.15$ (Kj/kg)

$$\varepsilon_{hk} = \frac{E_{\dot{u}}}{\Delta H / \eta_{em}} = \frac{225.15}{226.15 / 0.98} = 0.974$$

$\varepsilon_{hk} = \% 97.4$ bulunur.

Hava kompresörü sistemi enerji verimi (η_{hk}) analizi:

$$T_2 = T_1 \cdot (P_2/P_1)^{\frac{k-1}{k}} = 300 \cdot (7/1)^{\frac{0.4}{1.4}} = 523.07 \text{ K}$$

$$W_{ek} = C_p(T_2 - T_1) = 1 \times (523.07 - 300)$$

$$W_{ek} = 223.03 \text{ (Kj/kg)}$$

$$\eta_{hk} = \frac{W_{ek}}{\Delta H / \eta_{em}} = \frac{223.03}{230.76} = 0.966 = \% 96.6 \text{ olarak bulunur.}$$

Yıllık enerji harcamı (YEH) :

$$\text{Net (toplam güç)} = 2 \times 480 = 960 \text{ (Kw)}$$

$$\text{YÇS (Yıllık çalışma süresi)} = 1620 \text{ (saat)}$$

$$\text{YEH (Yıllık kullanılan enerji miktarı)} = \text{Net} \times \text{YÇS}$$

$$\text{YEH} = 960 \times 1620 = 1.555.200 \text{ (Kwh)}$$

4.3.3. Havuz Pompaları İçin Enerji ve Ekserji Analizi

Tersane rıhtımındaki yüzer havuza bağlı bulunan pompaların iki fonksiyonu vardır.

- 1) Havuz suyu boşaltılması
- 2) Gemi bordası için çeşitli işlemler

1) Havuz Boşlatma Pompaları Verim Analizi :

Nep = 270 PS

270 PS = 200 Kw

$\eta_{em} = 0.95$

$\gamma = 10^3 \text{ (kg/cm}^3\text{)}$

$Q_h = 3700 \text{ m}^3/\text{h,}$

Havuz kapasitesi=180.000 m³,

H=15 m

$Q = 1.027 \text{ (m}^3/\text{sn)}$

Denklem (4.13)'e göre pompa verimi

$$\eta_{P1} = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{75 \cdot NE} = \frac{10^3 \times 1.02 \times 15}{270.75} = 0.76$$

$$\eta_{P1} = \varepsilon_{P1} = 0.76$$

$\eta_{em} = 0.95$ (elektrik motoru verimi)

Pompa İçin Toplam Enerji ve Ekserji Verimi (η_{tp} , ε_{tp}):

$$\eta_{tp1} = \varepsilon_{tp} = \eta_p \times \eta_{em} = 0.76 \times 0.95 = 0.72$$

$$\eta_{tp1} = \varepsilon_{ep} = 0.72 = \% 72 \text{ olarak bulunur.}$$

Havuz Pompalarının Yıllık Elektrik Harcamı:

Havuzun yılda ortalama 10 kez boşaltıldığı esas alınarak:

$Nep = 200$ (kw) (pompa gücü)

Yıllık çalışma süresi (YÇS) = $10 \times 180.000 / 3700 = 486$ saat/yıl

Yıllık elektrik harcamı (YEH) = $Nep \times (YÇS)$

$YEH = 200 \times 486 = 97200$ (kwh) olarak bulunur.

2) Gemi Bordası İçin Kullanılan Su Pompası Verim Analizi:

Yaklaşık günde 6 saat faaliyette olduğu belirlenmiştir.

Buna göre;

Yıllık çalışma süresi (YÇS) = $365 \times 6 = 2190$ (saat)'dir.

$Nep = 15$ (kw) = 20.34 (PS)

$Q = 0.0765$ (m³/sn)

$\eta_{em} = 0.95$

$H = 15$ m alındığında pompa verimi:

$$\eta_{P_2} = \frac{\gamma \cdot H \cdot Q}{75 \cdot Nep} = \frac{10^3 \times 0.0765 \times 15}{20.34 \times 75} = 0.75 \text{ olarak bulunur.}$$

Enerji ve Ekserji Verimi:

$$\eta_{P_2} = \epsilon_{P_2} = 0.75 \times 0.95 = 0.71$$

Yıllık Elektrik Harcamı (YEH) = $Ne_{P_2} \times YÇS$

$$YEH = 15 \times 2190 = 32850 \text{ (kwh)}$$

Tablo 4.6. Havuz ve gemi bordası pompaları enerji kullanma oranları

	Enerji girdisi (kwh)	η (%)	ϵ (%)	kullanma Yüzdesi (%)
1	97.200	0.72	0.72	0.747
2	32.850	0.71	0.71	0.252
Σ	130.050			

Tablo 4.6'ya göre havuz ve gemi bordası pompaları için enerji ve ekserji değerleri:

$$\eta_{hp} = \epsilon_{hp} = 0.747 \times 0.72 + 0.252 \times 0.71 = 0.716 = \% 71.6$$

olarak bulunur.

4.3.4. Kompresor ve Pompalar İçin Toplam Verim Analizi

Tablo 4.7. Kompresörler ve pomapalar için toplam verim dağılımı

Sistem	Enerji Girdisi (kwh)x10 ⁶	Enerji Verimi η (%)	Ekserji Verimi ϵ (%)	Enerji Kullanma Oranı (%)
O ₂ Üretim merkezi	1.400	81.1	88.3	45.3
Hava komp. mer.	1.555	96.6	97.4	50.7
Havuz + borda pompalar	0.130	7.1	71	4
	$\Sigma=3.085$			

$$\text{Toplam enerji verimi}(\eta_{KP})=(0.811 \times 0.453 + 0.966 \times 0.507 \\ +0.71 \times 0.04)$$

$$\eta_{KP} = 0.88 = \% 88$$

$$\text{Toplam ekserji verimi}(\epsilon_{KP}) = (0.883 \times 0.453 + 0.974 \times 0.507 \\ + 0.04 \times 0.71)$$

$$\epsilon_{KP} = 0.91 = \% 91$$

olarak bulunur.



4.4. AYDINLATMA İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ

Pendik Tersanesinde aydınlanma için akkor lamba ve Floresan lamba kullanılmaktadır. Tersanedeki atölyeler akkor lamba ile büro ve hizmet binaları floresan ile aydınlanmaktadır.

Tersanedeki aydınlanma amacıyla kullanılan elektrik miktarını bulmak için önce, tersaneden kapalı mahallerin alanlarıyla ilgili bilgi alınmış ve belli bir alanda kaç ampul ve kaç floresan kullanıldığı bizzat tespit edilmiştir. Aydınlanma süreleri (kış ve yaz olmak üzere) tersanedeki ana trafo yetkililerinden öğrenilmiştir.

Atelyelerin her 20 m²'sinde Nea = 250 W gücünde 1 ampul vardır.

Büroların her 20 m²'sinde Nef = 50 W gücünde 1 floresan vardır.

Toplam atelye alanı : 422.000 m²

Büro alanı : 20.000 m² (katlarla birlikte)

n_A (ampul adedi) = $422.000/20 = 2110$ adet

n_F (floresan adedi) = $20.000/20 = 1000$ adet

Akkor aydınlanma : Kışın 4 saat/gün, yazın 2 saat/gün

Floresan aydınlanma : Kışın 5 saat/gün, yazın 3 saat/gün

Yıllık akkor lamba ile aydınlanma süresi (t_A):

$t_A = 4 \text{ saat/gün} \times 365/2 + 2 \text{ saat/gün} \times 365/2 = 1095 \text{ saat}$

Yıllık floresan lamba ile aydınlanma süresi (t_F):

$$t_F = 5 \text{ saat/gün} \times 365/2 + 3 \text{ saat/gün} \times 365/2 = 1460 \text{ saat}$$

Akkor lamba için yıllık elektrik harcamı (YEH_{AK}):

$$YEH_{AK} = \eta_{AK} \times t_{AK} \times N_{eA} = 2110 \times 250/1000 \times 1095 = 577.612,5 (\text{Kwh})$$

Floresan için yıllık elektrik harcamı (YEH_F):

$$YEH_F = \eta_F \times t_F \times N_{eF} = 1000 \times 50/1000 \times 1460 = 73.000 (\text{Kwh})$$

Verimlilik Değerleri [r.3]:

Akkor lamba için enerji ve ekserji verimi:

$$\eta = 0.05, \epsilon = 0.045$$

Floresan aydınlanma için enerji ve ekserji verimi:

$$\eta = 0.20, \epsilon = 0.185$$

Tablo 4.8. Aydınlanma için enerji kullanma yüzdesi

Enerji Girdisi (kwh)	η (%)	ϵ (%)	Enerji kullanımı %
577612,5	5	4,5	88,78
73000	20	18,5	11,22
$\Sigma=650612,5$			

Tablo 4.8'e Göre Toplam Enerji ve Ekserji Verimleri:

$$\eta_T = 0,05 \times 0,8878 + 0,20 \times 0,1122 = 0,0668 = \%6,7$$

$$\varepsilon_T = 0,045 \times 0,8878 + 0,185 \times 0,1122 = 0,0607 = \%6,1$$

olarak bulunur.

Aydınlanma İçin Alternatif Öneri:

Eğer tüm tersane floresanla aydınlatılmış olsa idi;

Enerji verimi:%6.7'den %20'ye, ekserji verimi ise % 6.1'den % 18.5 değerine ulaşabilir.

Enerji Tasarrufu:

Toplam enerjinin aydınlanmaya giden miktarı:

$$650612,5 \times \eta_T = 650612,5 \times 0,067 = 43591 \text{ (Kwh)'dir.}$$

Bu miktarı sadece floresan kullanarak elde etmek için verilen elektrik enerjisi:

$$43591/\eta_F = 43591/0,20 = 217955,2 \text{ kwh olur.}$$

$$\text{Yıllık Enerji Tasarrufu (YYT)} = 650612,5 - 217955,2$$

$$\text{YYT} = 152892,7 \text{ (kwh)'dir.}$$

4.5. ISINMA AMAÇLI ELEKTRİK KULLANIMI İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ

VERİMİ

* 1992 yılında ısıtma amaçlı kullanılan elektrik miktarı:

$$(YEH)_q = 1.097.777,8 \text{ Kwh'dir.}$$

Enerji verimi : [r.1]

$$\eta = \% 100$$

Ekserji verimi : [r.1]

$$T_0 = 272$$

$$T_p = 293$$

$$\varepsilon = \eta \times (1 - T_0/T_p) = 1 \times (1 - 272/293) = 0,0717 = \% 7,17 \text{ 'dir.}$$

Tablo 4.9 Isıtma amaçlı elektrik kullanımında enerji akışı

E_{nG} (Kwh)	E_{kG} (Kwh)	η %	ε %	$E_{n\ddot{u}}$ (Kwh)	$E_{k\ddot{u}}$ (Kwh)	A_{En} (Kwh)	A_{Ek} (Kwh)
1.097.777	1.097777	100	0.717	1.097777	7871.1	0	1.089.905

E_{nG} = Enerji girdisi

E_{kG} = Ekserji girdisi

$E_{n\ddot{u}}$ = Enerji üretimi

$E_{k\ddot{u}}$ = Ekserji üretimi

A_{En} = Atık enerji

A_{Ek} = Atık ekserji

* Elektrikle ısıtma için gerekli enerji harcamı (YEH) miktarının bulunuşuna Bölüm 4.6de yer verilmiştir.

4.6. YAKIT ESASLI ISINMA İÇİN ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ

Tersanenin ısı sistemini: Isı merkezinde bulunan Fuel oil kazanlarından başlayarak tüm tersane yaşam mahallerine uzanan hatlar oluşturmaktadır. Tersanede atelyelerde bulunan sıcak hava apereyleri (ısı merkezine bağlı) bir takım aksaklıklar nedeniyle (1992-93) yıllarında kullanılmamıştır.

Tersanede ısıtılması gerekli olan mahallerin % 29.7'si (atelyeler) ısıtılmamakta, geri kalan kısımların % 91,3'ü ısı merkezine bağlı sistemlerle % 8.7'si elektrikli ısıtıcılarla ısıtılmaktadır.

4.6.1. Fuel Oil Kullanan Isı Sisteminin Verim Değerlendirmesi

m_f : (Kullanılan Fuel oil miktarı)=1293600 (kg/yıl)

Q_m (Isı değeri) = HHVf x m_f = 47.101x1293600=60,9x10⁹ (Kj/yıl)

HHVf : Üst ısı değeri = 47101 (Kj/kg)

Enerji verimi:

η_K (kazan verimi) = 0,80,

η_T (tesisat verimi)=0,85

$\eta = \eta_K \times \eta_T = 0,80 \times 0,85 = \% 68$

Ekserji Verimi: [r.6]

$T_0 = 272 \text{ K},$

$T_k = 328 \text{ K}$

$$\varepsilon = \eta(1-T_0/T_K)=0,68(1-272/328) = 0,116 = \% 11,6$$

Fuel oil kullanımından elde edilen ısı miktarının bulunuşu:

Isı merkezine bağlı sistemlerin maksimum (-3°C'de) ısı ihtiyacı

$$(Q_t)=73179260 \text{ (Kj/h)'dir.}$$

$$\text{Atelyelerin ısı ihtiyacı } (Q_{at})=21736000 \text{ (Kj/h)}$$

$$Q_{\max}=(Q_t-Q_{at})=51443260 \text{ (Kj/h)'dir.}$$

(Çünkü atelyeler ısıtılmıyor)

Ortalama ısı ihtiyacı (Q_0): [r.12]

$$Q_0 = t_1 \cdot n_1 \left[\frac{\frac{DG}{n_1}}{20 - (-3)} \right] \times Q_m \text{ (Kj / yıl)} \quad (4.13)$$

n_1 = ısıtılan yıllık gün sayısı = 213 gün (İstanbul için)

t_1 : Günlük ısınma saati = 9 saat

DG = Derece gün = 2254 (İstanbul için) [r.12]

(DG/n_1) : Isıtma aylarında ortalama sıcaklık farkı

$$Q_0 = 9 \times 213 \left[\frac{\frac{2254}{213}}{20 - (-3)} \right] \times 51443260 = 45,364 \times 10^9 \text{ (kj)}$$

olarak bulunur.

$$Q_f \text{ (Yıllık Fuel oil ısı dönüşüm miktarı)} = Q_m / \eta = 60,9 \times 10^9 \times 0,68$$

$$= 41,41 \times 10^9 \text{ (Kj) olur.}$$

Buna göre elektrik ısınma miktarı :

$$Q_e = Q_0 - Q_f = 45,364 \times 10^9 - 41,412 \times 10^9 = 3,952 \times 10^9 \text{ (kj/yıl)'dır.}$$

Elektrikle ısınma verimliliği Bölüm 4.5'de ele alınmıştır.

4.6.2. Oksijen Üretim Tesisi Bireysel Isınma Verim Değerlendirmesi

Oksijen üretim merkezi 1992 yılında 4000 m³ mazot kullanmıştır.

$$nm = 4000 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\eta_k \text{ (kazan verimi)} = 0,85$$

$$HHV_f \text{ (ısı değeri)} = 45217 \text{ (kj/m}^3\text{)}$$

$$Q_h \text{ (ısı miktarı)} = mf \times HHV_f = 4000 \times 45217 = 1,8 \times 10^8 \text{ (Kj/yıl)}$$

Enerji verimi:

$$\eta = \eta_k = 0,85 \text{ alınmıştır.}$$

Ekserji verimi:

$$T_0=273 \text{ K,}$$

$$T_k = 328 \text{ K için,}$$

$$\varepsilon = \eta (1-T_0/T_k)=0,85(1-273/328)= 0,14 \text{ bulunur.}$$

Tablo 4.10 Isıtma için enerji kullanma oranları

Yakıt türü	Enerji girdisi (Kj)	η (%)	ε (%)	Kullanma oranı (%)
Elektrik	3.9×10^9	100	7.17	6
Fuel oil	60.9×10^9	68	11.7	93.7
Mazot	0.18×10^9	85	14	0.3
$\Sigma=64.98 \times 10^9$				

Tüm Isıtma Sistemleri İçin Toplam Enerji Verimi :

$$\eta_{YT} = 0,06 \times 1 + 0,937 \times 0,68 + 0.003 \times 0.85 = 0,7 = \% 70$$

Tüm Isıtma Sistemleri İçin Toplam Ekserji Verimi:

$$\varepsilon_{ET} = 0,06 \times 0,0717 + 0,937 \times 0,117 + 0.003 \times 0.14 = 0.114 = \% 11,4 \text{ olarak}$$

bulunur.

4.7. GALVANİZLEME TESİSİ ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ

Galvanizleme sisteminde, çinko esaslı metalsel banyo içinde, çeşitli büyüklük ve şekildeki malzemelere kaplama işlemi yapılmaktadır. Tüm işlemler iki kısma ayrılmıştır.

a) Malzeme yüzeyinin temizlenmesi:

15 ton kapasiteli 3 adet su havuzu ve bir adet düşük yağ oranlı (%6) yine 15 ton kapasiteli havuzda malzeme yüzeyi temizlenmektedir. Su sıcaklığı ortalama 65 °C'dir.

b) Kaplama işlemi:

21 m³ hacmindeki havuzda çinko metali ergitilerek kaplama işlemi yapılmaktadır.

a) Sıcak Su Havuzları İçin Verim Analizi:

Yılda 29 ton Fuel kullanılmıştır

Q_a (a şıkkı işlemlerinin ısı değeri) = $m_f \times HHV_f$

$Q_a = 29.000 \times 47101 = 1,36 \times 10^9$ (Kj)=377.777 (Kwh)

η_k (kazan verimi) = 0,8

η_T (Tesisat verimi) = 0,95

Enerji verimi:

$\eta = \eta_k \times \eta_t = 0,8 \times 0,95 = 0,76$

Ekserji verimi :

$$T_0 = 283 \text{ K [r.6]}$$

$$T_p = 65 \text{ }^{\circ}\text{C} = 338 \text{ K}$$

$$\varepsilon = \eta \times (1 - T_0/T_p) = 0,76(1 - 283/338) = 0,123 = \%12.3$$

b) Kaplama İşlemi İçin Verim Analizi:

Yılda ortalama 200 ton fuel kullanılmıştır.

$$Q_b = mf \times HHV_f = 200.000 \times 47.101 = 9,42 \times 10^9 \text{ (kj)} = 2616666 \text{ (kwh)}$$

$$\eta_T = 0,95, \quad \eta_k = 0,80$$

Enerji verimi :

$$\eta = 0,8 \times 0,95 = 0,76 = \% 76$$

Ekserji verimi :

$$T_p = (\text{çinko ortalama ergime sıcaklığı civarı}) = 430 \text{ }^{\circ}\text{C} = 703 \text{ K}$$

$$T_0 = 283 \text{ K}$$

$$\varepsilon = \eta \times (1 - T_0/T_p) = 0,76 \times (1 - 283/703) = 0,45 = \%45$$

Tablo 4.11. Galvanizleme işlemi enerji oranları dağılımı

İşlem Bölümü	Enerji girdisi (Kwh)	η (%)	ϵ (%)	Enerji oranı (%)
b	2166666	76	45	85.2
a	377777	76	12.3	14.8
$\Sigma=2544443$				

Tüm Sistem İçin Enerji Verimi :

$$\eta_{(TG)} = 0,76 \times 0,852 + 0,76 \times 0,148 = 0,76 = \% 76$$

Tüm Sistem İçin Ekserji Verimi :

$$\epsilon_{(TG)} = 0,45 \times 0,852 + 0,123 \times 0,148 = 0,401 = \% 40,1$$

4.8. ULAŖTIRMA SİSTEMLERİ ENERJİ VE EKSERJİ VERİMİ

Kullanılan yakıtlar, benzin ve motorindir.

1992 yılında ulaşım amaçlı olarak 44154 litre benzin 515212 litre motorin kullanılmıştır. Ulaşım amaçlı yakıt kullanımında enerji verimi ekserji verimine eşittir.

Tablo 4.12. Ulaştırma verimlilik değerleri

Yakıt türü	Miktar (m3)	HHVf (kj/m3)	Enerji girdisi (kj)	η %	ϵ %
Benzin	44.154	45.217	1996511	18	18
Motorin	515.212	45.217	23296341	18	18

η, ϵ değerleri [r.6]'dan alınmıştır.

4.9. PENDİK TERSANESİ TOPLAM ENERJİ VE EKSERJİ VERİM

ANALİZİ

Bu kısımda, Pendik Tersanesi enerji sistemlerinin tümünü içeren verim analizi yapılmıştır. Önce elektrik kullanan sistemlerin, daha sonra da yakıt kullanan sistemlerin toplam enerji ve ekserji verim değerleri bulunmuştur. Son olarak elektrik ve yakıtın kullanma oranlarına göre Pendik Tersanesinin bütün olarak enerji ve ekserji analizi yapılmıştır.

Tablo 4.13. Pendik Tersanesi elektrik kullanan sistemlerin toplam verim ve kullanım oranları

Sistem	Enerji Girdisi (Kwh)x10 ⁶	Enerji verimi η (%)	Ekserji Verimi ϵ (%)	Enerji kullanma oranı (%)
Kaynak işlemi	1.246	28.6	21.2	15.8
Vinçler ve kreynerler	1.807	28.8	28.8	22.9
Kompresörler ve pompalar	3.085	88	91	39.1
Aydınlanma	0.650	6.7	6.1	8.3
Isınma	1.0968	100	7.17	13.9
	$\Sigma=7.886$			

Elektrik Enerjisi Kullanan Sistemlerin Toplam Enerji Verimi:

$$\eta_{TE} = (0,286 \times 0,158) + (0,288 \times 0,229) + (0,88 \times 0,391) \\ + (0,067 \times 0,083) + (1 \times 0,139) = 0.60$$

$$\eta_{TE} = 0,60 = \%60$$

Elektrik Kullanan Sistemlerin Toplam Ekserji Verimi:

$$\epsilon_{TE} = (0,212 \times 0,158) + (0,288 \times 0,229) + (0,91 \times 0,391) \\ + (0,061 \times 0,083) + (0,0717 \times 0,139) = 0,47$$

$$\epsilon_{TE} = 0,47 = \% 47$$

olarak bulunur.

Tablo 4.14. Pendik tersanesi yakıt kullanan sistemlerin toplam verim ve kullanma oranları

Sistem	Enerji Girdisi (Kwh)x10 ⁶	Enerji verimi η (%)	Ekserji Verimi ϵ (%)	Enerji kullanma oranı (%)
Isıma sistemi	16.966	68	11.7	86.93
Galvanizleme sistemi	2.544	76	40.1	13.03
Ulaşım	0.007	18	18	0.004
	$\Sigma=19.517$			

Yakıt Kullanan Sistemlerin Toplam Enerji Verimi:

$$\eta_{TY} = (0,68 \times 0,869) + (0,76 \times 0,13) + (0,18 \times 0,0004)$$

$$\eta_{TY} = 0,689 = \% 68.9$$

Yakıt Kullanan Sistemlerin Toplam Ekserji Verimi:

$$\varepsilon_{TY} = (0,117 \times 0,869) + (0,401 \times 0,13) + (0,18 \times 0,0004)$$

$$\varepsilon_{TY} = 0,15.4 = \% 15.4$$

Tablo 4.15. Pendik tersanesi yıllık enerji ve ekserji üretimi ve kayıpların elektrik ve yakıt için belirlenmesi

Enerji türü	Enerji ve ekserji girdisi (Kwh)x10 ⁶	Enerji verimi $\eta(\%)$	Ekserji verimi $\varepsilon(\%)$	Enerji üretimi (Kwh)x10 ⁶	Ekserji üretimi (Kwh)x10 ⁶	Kayıp enerji (Kwh)x10 ⁶	Kayıp ekserji (Kwh)x10 ⁶	Kullanma oranı (%)
Elektrik	7.886	60	47	4.732	3.706	3.154	4.18	28.77
Yakıt	19.517	68.9	15.4	13.447	3.005	6.07	16.511	71.22
	$\Sigma=27.403$							

Pendik Tersanesi Toplam Enerji Verimi:

$$\eta = (0,6 \times 0,287) + (0,689 \times 0,712) = 0,663 = \% 66,3$$

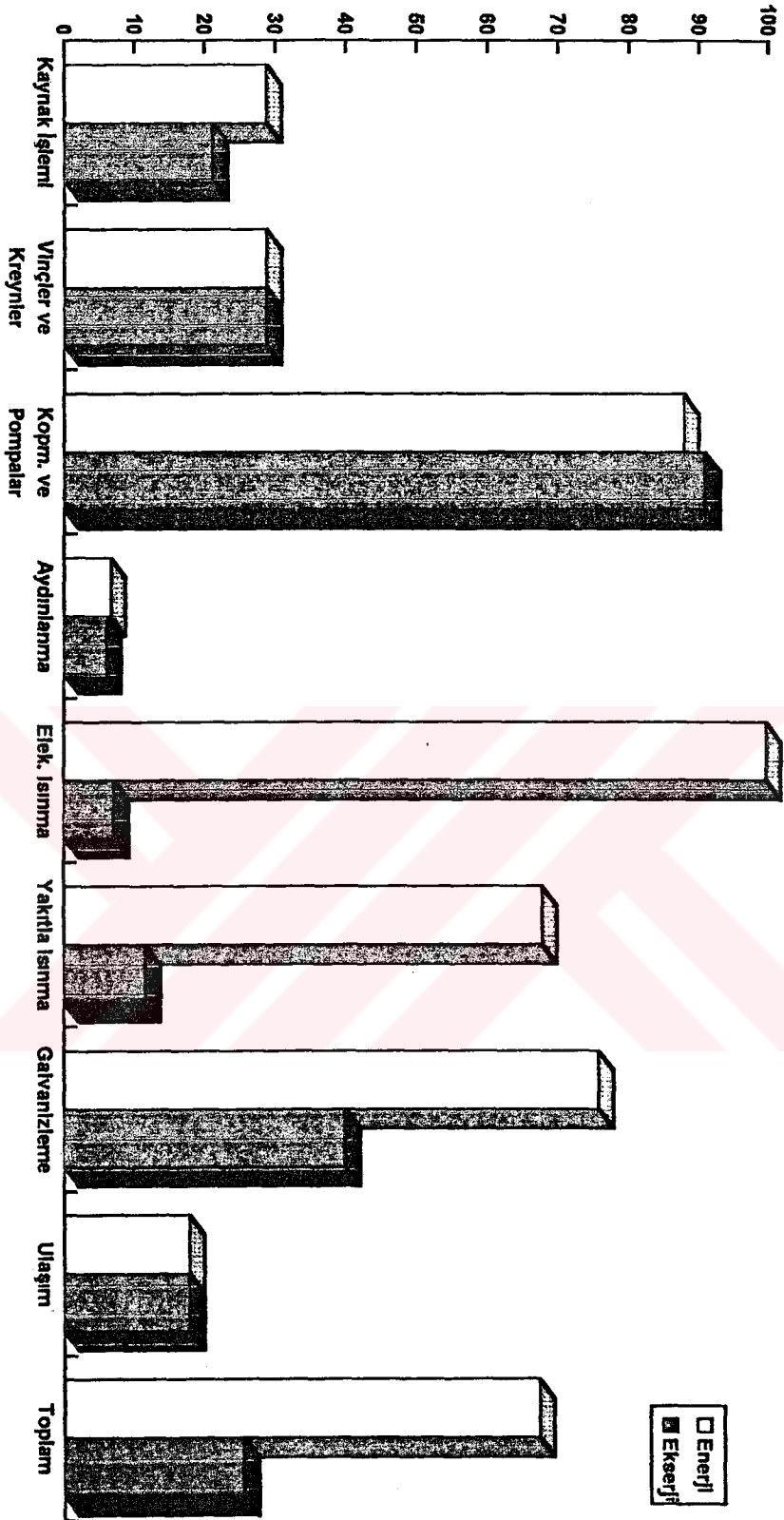
Pendik Tersanesi Toplam Ekserji Verimi:

$$\varepsilon = (0,47 \times 0,288) + (0,154 \times 0,712) = 0,245 = \% 24,5$$

olarak bulunmuştur.

Tablo 4.16. Pendik tersanesi yıllık enerji ve ekserji üretim ve kayıplarının
bütün olarak belirlenmesi

Enerji ve ekserji girdisi (Kwh)x10 ⁶	Enerji verimi $\eta(\%)$	Ekserji verimi $\varepsilon(\%)$	Enerji üretimi (Kwh)x10 ⁶	Ekserji üretimi (Kwh)x10 ⁶	Kayıp enerji (Kwh)x10 ⁶	Kayıp ekserji (Kwh)x10 ⁶
27.403	66.3	24.5	18.179	6.71	9.224	20.691



Şekil 4.2. Pendik Tersanesinin sekiz ana sistemi için ve toplam olarak enerji ve ekserji verim değerleri

Şekil 4.1'de görüldüğü gibi elektrik esaslı dönüşümlerde enerji ve ekserji verimleri arasındaki fark yakıt esaslı dönüşümlere göre daha düşüktür. Bunun başlıca nedenleri :Elektrik kullanan sistemlerden biri olan trasport sistemlerinin enerji kullanma oranı (%22,9) gibi bir orandadır ve enerji ve ekserji verim %28,8 olarak birbirine eşittir. Diğer bir etken de, kaynak işlemi dönüşüm sıcaklığının yüksek olması ekserji verimini yükseltir. Kaynak işlemi enerji kullanma oranı (%15,8), enerji verimi:%28,6, ekserji verimi %21,2'dir ve işlem sıcaklığı ortalama 1573 (K)'dir. Yüksek sıcaklık işlemleriyle enerji potansiyelinin ısı olarak dönüşümü de artar.

Elektrik kullanıcıları arasında, enerji ve ekserji verim farkı en yüksek olan sistem elektrikli ısıtıcılardır. Bu kullanıcıların enerji verimi; %100, ekserji verimi %7,17'dir. Ekserji veriminin düşük olmasının nedeni, tamamı ekserji olan elektrik enerjisini ortalama (20°C)'lik ortam sıcaklığı sağlanan bir amaç için uyguladığımızda, elektrik dönüşümü açısından bir kayıp yoktur. (enerji verimi % 100). Ancak bu enerjinin ekerjiye dönüşebilen miktarı %7,17 (ekserji verimi) dir. Dolayısıyla işlem kalitesiz bir dönüşümdür.

Yakıt kullanan sistemlerin, enerji ve ekserji veim farkı en yüksek olan sistem ısınma sistemidir. Bu sistemde enrji verimi % 68, eksreji verimi ise %11,7'dir. Isınma sisrtemi enerji kullanma oranı (%87)'dir. Her ne kadar ulaşım sistemi enerji ve ekserji verimi % 18 olarak birbirine eşit olsa da, (%0,1)'lik kullanma oranıyla yakıt kullanan sistemlerin toplam enerji ve ekserji farkını etkileyememektedir.

Enerji kaynaklarından gerek elektrik enerjisinin gerekse yakıt esaslı enerjinin ekserji ve enerji değeri birbirine eşittir. Buna göre ekserji verimini etkileyen unsur enerjinin dönüştüğü yapıdır. Eğer bu yapı ısı olursa ekserji verimi işlem sıcaklığının büyüklüğüne göre işlem kalitesini ortaya koyar. Yüksek

sıcaklıkta bir üretim, düşük sıcaklıktaki bir üretime nispeten daha kalitelidir. Bu sonucu da, ancak ekserji analizi ile tespit edebiliriz. Alternatif değerlendirmelerde ekserji analizine göre yapıldığında daha yararlı sonuçlar verir.



4.10. PENDİK TERSANESİ ISI VE ELEKTRİK İHTİYACI İÇİN

ALTERNATİF SİSTEM

Alternatif olarak sunulan sistem kış aylarında ısı ve elektrik ihtiyacını karşılamak üzere "Ara Buhar Almalı Birleşik Isı-Güç Tesisi", yaz ayları içinse "Kondisyonlu Buhar Türbini" tarzında çalışan bir tesis olarak düşünülmüştür.

Sistem tasarlanırken, Pendik tersanesinin 1991 yılı ısı ve elektrik ihtiyacı esas alınmıştır. Bu değerlerin ortalama değerler olduğu düşünülmüştür. Alternatif sistemin karşılaştırılması, elektriğin ve ısının ayrı ayrı üretildiği "Ayrık Sistem"e göre yapılmıştır. Tersane elektrik kullanıcıları arasında yer alan elektrikle ısınma değeri, alternatif sistemde yapılan hesaplarda yakıt esaslı ısınmaya ilave edilmiştir.

4.10.1. Alternatif Sistem ve Ayrık Sistem İçin Verim Analizi

i) Kış Ayları İçin Kombine Sistem Verim Analizi:

$U(K)$: kombine sistem yararlanma oranı

E_{ey} (Yaz dönemi elektrik ihtiyacı): $10,18 \times 10^9$ (Kj)

E_{ek} (kış dönemi elektrik ihtiyacı): $14,25 \times 10^9$ (Kj)

E_q (ısı ihtiyacı): $45,36 \times 10^9$ (Kj)

t_k (kış dönemi enerji kul. süresi): $213\text{gün} \times 9\text{saat} = 1917$ saat

t_y (yaz dönemi enerji kul. süresi): $152\text{gün} \times 9\text{saat} = 1080$ saat

Hesaplanan süreler, bir yıl için maksimum civarında alınmıştır.

Türbin Performans Değerleri :

Nek (kombine sistem güç değeri): $E_k / (3600 \times t_k)$

$$Nek = (14.25 \times 10^9 / 1917 \times 3600) = 2065 \text{ (Kj/sn)}$$

η_k (kazan verimi): 0,90

N_q (ısııl güç değeri) = $E_q / (t_k \times 3600)$

$$N_q = 45,36 \times 10^9 / (3600 \times 1917) = 6573 \text{ (Kj/sn)}$$

η_{Tj} (türbin iç verimi): 0,80 (kabul)

$h_E = 163,4 \text{ (kj/kg)}$ (Moliere diag'dan 0,07bar, 39°C için alınmıştır)

$h_C = 2870 \text{ (kj/kg)}$ (Moliere diag. 200 °C, 2 bar için alınmıştır)

$h_D = 376 \text{ (kj/kg)}$ (90°C, 2 bar Moliere diag.'dan alınmıştır)

$h_B = 2406 \text{ (kj/kg)}$ (Moliere diag.'dan alınmıştır)

$h_A = 3330 \text{ (kj/kg)}$ (450°C ve 35 bar, Moliere diag. alınmıştır)

η_m (mekanik verim)=0,97 (kabul),

η_j (jeneratör verimi) = 0,98 (kabul)

m: toplam buhar miktarı

m_a (eşanjöre giden buhar miktarı)= $N_q / (h_C - h_D)$

$$m_a = 6573 / (2870 - 376) = 2,63 \text{ (kg/sn)}$$

$$Nek = [m(h_A - h_B) - m_a.(h_C - h_B)] \times \eta_m \times \eta_j$$

$$2065 / (0,98 \times 0,97) = [m(3330 - 2406) - 2,63(2870 - 2406)]$$

buradan "m" çekilirse;

$m = 3,67$ (kg/sn) olarak bulunur.

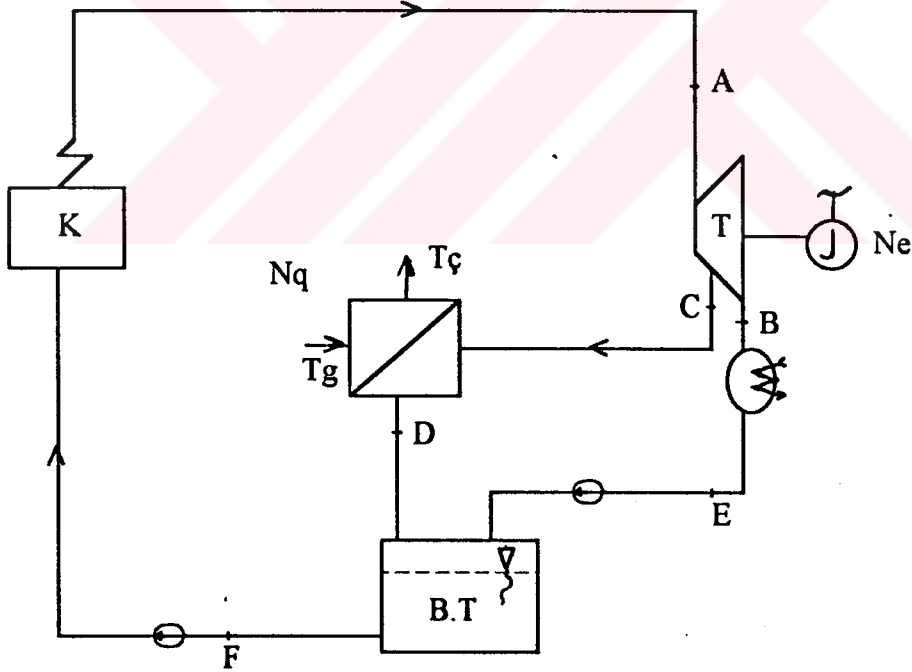
$$h_F = [(m-m_a) \times h_E + m_a \times h_D]/m$$

$$h_F = (1,041 \times 163,4) + (2,63 \times 376)/3,671 = 315,7 \text{ (kJ/kg)}$$

$$U_k = (N_e + N_q) \times \eta_k / (m \times (h_A - h_F)) \quad (4.14)$$

$$U_k = (6573 + 2065) \times 0,9 / (3,67(3330 - 315,7)) = 0,703 = \% 70,3$$

olarak bulunur.



Şekil 4.1. Kombine Ara buhar almalı sistem şeması

ii) Yaz dönemi için Kondansasyonlu Sistem Verimi:

$$Ne(y) = E_{ey}/t_y \times 3600 = 2618 \text{ (kj/sn)}$$

m_y (Kondansasyonlu çalışmada gerekli buhar miktarı)

$$m_y = Ne(y) \times \eta_m \times \eta_j / (h_A - h_B) = 2618 \times 0,98 \times 0,97 / (3330 - 2406)$$

$$m_y = 2,69 \text{ (kg/sn)}$$

U_{kon} : Kondansasyonlu sistem yararlanma oranı:

$$U_{kon} = (N_{ey} \times \eta_k) / m_y \times (h_A - h_F) \quad (4.15)$$

$$U_{kon} = (2618 \times 0,90) / 2,69(3330 - 163,4) = 0,277 = \% 27,7$$

Kombine Sistem ve Kondansasyonlu Sistem İçin Yıllık Verim

Değerlendirmesi :

U_{TK} (yıllık toplam yararlanma oranı)

$$U_{TK} = \frac{(E_{ek} + E_q + E_y)}{\frac{E_e + E_q}{U_k} + \frac{E_y}{U_{kon}}} \quad (4.16)$$

$$U_{TK} = \frac{(14,25 + 45,36 + 10,18) \times 10^9}{\frac{(14,25 + 45,36)}{0,703} + \frac{10,18 + 10^9}{0,277}} = 0,604 = \% 60,4$$

olarak bulunmuştur.

iii) Yıllık Elektrik ve Isı İhtiyacının Ayrı Ayrı Üretilmesi Durumu:

$$E_e \text{ (yıllık elektrik ihtiyacı)} = E_{ey} + E_{ek}$$

$$E_e = (10,18+14,25) \times 10^9 = 24,43 \times 10^9 \text{ (Kj)}$$

$$E_q = 45,36 \times 10^9 \text{ (Kj)}$$

U_a (ayrık üretim yararlanma oranı)

*η_{te} (elektrik üretimi için tesis verimi)=0,30 (kabul)

*η_k (ısı üretimi için kazan verimi)=0,80 (kabul)

$$U_a = \frac{\frac{E_e + E_q}{\eta_{Te} + \frac{E_q}{\eta_K}}}{\frac{24,43 \times 10^9}{0,30} + \frac{45,36 \times 10^9}{0,80}} = \frac{(24,43 + 45,36) \times 10^9}{\frac{24,43 \times 10^9}{0,30} + \frac{45,36 \times 10^9}{0,80}} \quad (4.17)$$

$$U_a = 0,505 = \% 50,5$$

4.10.2. Alternatif Sistem ve Ayrık Sistem İçin Ekserji Verim Analizi

i) Alternatif Sistem Ekserji Verimi:

Q_{VI} = Kombine ve kondansasyonlu sistemler için verilen ısı:

$$Q_{VI} = (E_{ek} + E_q) / U_k + E_{ey} / U_{kon}$$

$$Q_{VI} = (14,25 + 45,36) \times 10^9 / 0,703 + 10,18 \times 10^9 / 0,277 = 115,52 \times 10^9 \text{ (Kj)}$$

$$T_0 = 273 \quad [r.6]$$

T_p (eşanşör çıkış sıcaklığı alınmıştır)=90°C=363 K

$$\epsilon_{TK} = [E_{ek} + E_q(1 - T_0/T_p) + E_{ey}] / Q_{VI} \quad (4.18)$$

$$\epsilon_{TK} = [14,25 + 45,36 \times (1 - 273/363) + 10,18] \times 10^9 / 115,5 \times 10^9$$

$$\epsilon_{TK} = 0,309 = \% 30,9$$

* η_{te} ve η_k değerleri [r.13]'de yapılmış olan benzer bir çalışmadan alınmıştır.

ii) Ayrık sistem Ekserji Verimi:

$$Q_{v2} \text{ (ayrık sisteme verilen ısı) } = N_e/\eta_{TE} + N_q/\eta_K$$

$T_P = 363 \text{ K}$ alınmıştır.

$$Q_{v2} = [24,43 \times 10^9 / 0,30] + (45,36 \times 10^9 / 0,80) = 138,13 \times 10^9 \text{ (Kj)}$$

$$\varepsilon_a = [E_e + E_q(1 - T_0/T_P)] / Q_{v2} \quad (4.19)$$

$$\varepsilon_a = [24,43 + 45,36 \times (1 - 273/363) \times 10^9] / 138,13 \times 10^9 = 0,258 = \% 25,8$$

olarak bulunur.

Ekserji sistem analizinde görüldüğü üzere alternatif sistem ekserji verimi ayrık sistem ekserji verimine göre daha yüksektir. Bu sonuç şu şekilde yorumlanabilir. Alternatif sistemde ayrık sisteme nazaran daha kaliteli bir dönüşüm olayı gerçekleşmiştir ve yararlanma oranı artmıştır.

4.10.3. Alternatif Sistemde Ayrık Sisteme Göre Yıllık Yakıt Tasarrufu

$$YYT = (Q_{v2} - Q_{v1}) / HHV_f \quad (4.20)$$

$$YYT = (138,13 - 115,52) / 47101$$

$$YYT = 480.0032 \text{ kg} = 480 \text{ ton (Fuel oil)}$$

Pendik tersanesi şu anki durumuyla elektrik ihtiyacını dışarıdan karşılamakta, ısı ihtiyacını da kendi bünyesindeki sistemlerle sağlamaktadır. Alternatif sistemin ayrık sisteme nazaran daha verimli olduğu yukarıda görülmektedir. Tersanede herhangi bir şekilde elektrik üretimi söz konusu değildir. Elektriğin başka bir yerde üretilip, tersaneye satılması gerçeği gözönüne alınacak olursa, bu duruma göre alternatif sistem ekonomik

bakımdan çok daha karlı bir değerlendirme ortaya koyar. Buna ek olarak, elektrik gibi kaliteli bir enerjiyi ihtiyaç fazlası üretilip dışarıya satma olanağı olabilir. Örneğin yaz aylarında türbin maksimum kapasitede çalışabilir.

Alternatif sistemde birim elektrik enerjisi (Kwh) için yakıt harcamı oranı (k) şu şekilde bulunabilir:

Tersanede 1991 yılında ısı ihtiyacı için kullanılan yakıt miktarı: 1.293.600 kg'dır.

Alternatif sistemde kullanılan yakıt miktarı :

$$Q_{v1}/HH_{vf} = 115,52 \times 10^9 / 47101 = 2452602 \text{ kg'dır.}$$

$$YE_{HY}(\text{Yıllık ek yakıt harcamı}) = 2452602 - 1293600$$

$$YE_{HY} = 1159002 \text{ kg'dır.}$$

Ee (Alternatif sistem yıllık elektrik üretimi)

$$E_e = 24,43 \times 10^9 \text{ (Kj)} = 6786100 \text{ (Kwh) ,}$$

$$k = YE_{HY}/E_e \quad (4.21)$$

$k = 1159002/6786100 = 0,17 \text{ (kg/Kwh)}$ (ekonomik değerlendirmeler için bu orandan yararlanılabilir)

BÖLÜM V

SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji temeline dayalı verim analizleri sayesinde, enerji kaynaklarından daha tutarlı bir şekilde yararlanma olanağı doğmaktadır. Bu çalışmada, ekserji konusuna yönelik, temel ve genel yaklaşımlardan yararlanılarak, Pendik tersanesi kuruluşunun enerji ve ekserji verim değerlendirilmesine gidilmiştir. Esas alınan amaç ise, gemi endüstrisinde enerji verim analizlerinin eksik yönlerini belirlemeye çalışmak ve ekserji konulu çalışmaların daha geniş alanlarda kullanılmasına katkıda bulunmaktır.

Ekserji kavramı teorik ve genel olarak ele alındığında ortaya çıkan sonuçlar şunlardır. Ekserji verimi en genel haliyle; enerji kaynağından başlamak üzere, enerji dönüşüm aşamasında çevre şartlarının etkisini de dikkate alarak dönüşüm kalitesini ortaya koyar. Bu değerlendirmede termodinamiğin I. ve II. kanunlarının her ikisi de kullanılmaktadır. Bu şekilde, teorik olarak enerji verimine nazaran daha rasyonel sonuçlar ortaya çıkacaktır. Ekserji analizi sayesinde enerji ve ekserji verimini evrendeki entropi artışıyla değerlendirme olanağı doğmaktadır. Bunun yanı sıra temel birtakım enerji dönüşümleri ve enerji kaynaklarının kalitesi konusunda önemli veriler ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçlar, Pendik Tersanesinin verim analizi değerlendirmesinde kullanılmıştır.

Ekserji verim değerlendirmesi konusunda, Kanada ve Brezilya'da yapılan çalışmalar, ülke endüstrisi açısından ekserji verim analizinin önemini ortaya koymaktadır. Ekserji verim analizi sonucunda, ülkedeki enerji kaynaklarının ne ölçüde kaliteli kullanıldığı belirlenebilmektedir. Buna göre, enerji sistemlerinin

dönüşüm aşamaları ve kullanılabilecek alternatif enerji kaynakları daha sağlıklı bir şekilde değerlendirilebilir.

Pendik tersanesi enerji ve ekserji verim değerlendirmesi sonucunda, ekserji verim değerinin yaklaşık % 37 oranında enerji verim değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. Ekserji veriminin bu şekilde düşük olması, enerji dönüşümünün kalitesizliğini ortaya koyar. Çünkü ekserji verimi, bir sistemde gerçekleştirilen işin, kullanılan enerjinin çevre şartlarına göre yapabileceği maksimum işe oranıdır. Sonuç bu yönüyle ele alındığında özellikle ısıl proseslerde, enerji kaynağı sıcaklığının düşmesiyle ve üretilen enerjinin proses sıcaklığının artmasıyla, ekserji verimi orantılı olarak artacaktır. Tersanedeki enerji kaynaklarının, ekserji değerleri, enerji değerlerine eşit olduğu için özellikle işlem sıcaklığı düşük sistemler ekserji verimini etkilememektedir. Bunun için bu tür sistemlerin üzerinde durulması ve alternatiflerin değerlendirilmesi önerilebilir.

Sonuç olarak ekserji verim analizi, enerji kaynağının doğru seçilip, doğru işlemlerde kullanılması açısından önemli bilgiler vermektedir. Böylece atık enerji azaltılıp ciddi şekilde ekonomik kazançlar sağlanabilir.

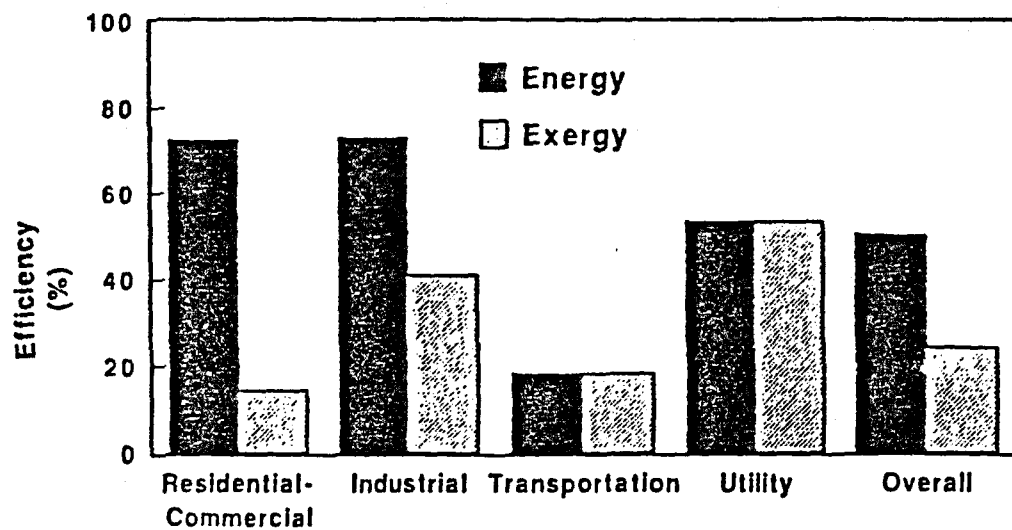
REFERANSLAR

1. İLERİ, A. Ekserji verimi Ulusal Isı Kongresi
KTÜ, 1981, pp 164-174
2. ARIKOL, M. Ekserji Analizine Giriş, TÜBİTAK,
Proje No: 0630048401
Gebze, 1985, pp:1-34
3. SCHAFFER, R. An Exergy Analysis of The Brazillian Economy,:
WIRTSHAFTER,M.R. From Energy Production to Final Energy Use
University of Pennsylvania, 1991, pp:841-856
4. GOOL, W. Exergy Analysis of Industrial Proseses
Rijksaniveriteit Utrecth,
The Netherlands, 1992, pp:791-802
5. ŞAHİN, B. Termik Proseslerde Enerji ve Ekserji Verimi ile
Evrendeki Entropi Değişimi Arasındaki İlişkilerin
Etüdü
Yayınlanmamış Çalışmalar, YTÜ
6. ROSEN, M.A. Evaluation of Energy Utilization Efficiency In
Canada Using Energy And Exergy Analyses.
Ryerson Polytechnical Inst,tute, Toronto, 1991,
Energy Vol.17, No:4, pp:339-350

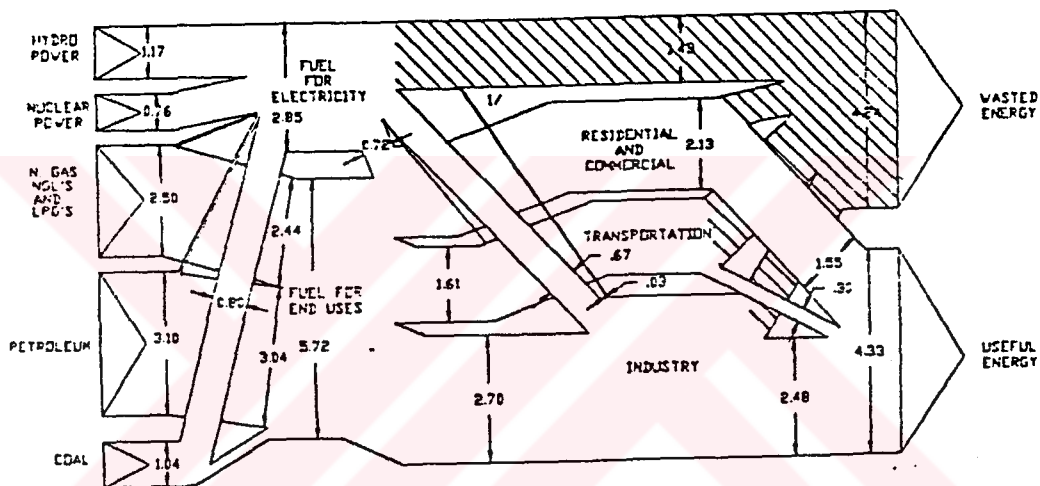
7. PUHRER, A. S chweisstechnick. Biaun Schweig, 1968, pp:145-167
8. AS Kaynak Ürünleri Kataloğu Eczacıbaşı, 1985
9. GÜLTEKİN, N. Kaynak Tekniği, İstanbul, 1991, pp:58-205
10. SUNER, F. Vinçler İçin Hesaplama Yöntemleri Federation Gupoplonego la manutention'dan çeviri, İstanbul 1976
11. GÖKELİN, A.T. Pompalar, İDMM, YILDIZ, İstanbul, 1976, pp 1-37
12. GÜLFERİ, İ. Kış İçin Dış Sıcaklık Hesaplamalarında Kullanılmak Üzere Yeni Bir Metod ve Türkiye'ye Tatbikatı İTÜ, 1976
13. ŞAHİN, B. TEKE, İ. Kombine Isı Pompası - Buhar Türbini Tesisinin Termodinamik ve Ekonomik Etüdü Yıldız Üniversitesi Dergisi, 1992

EK

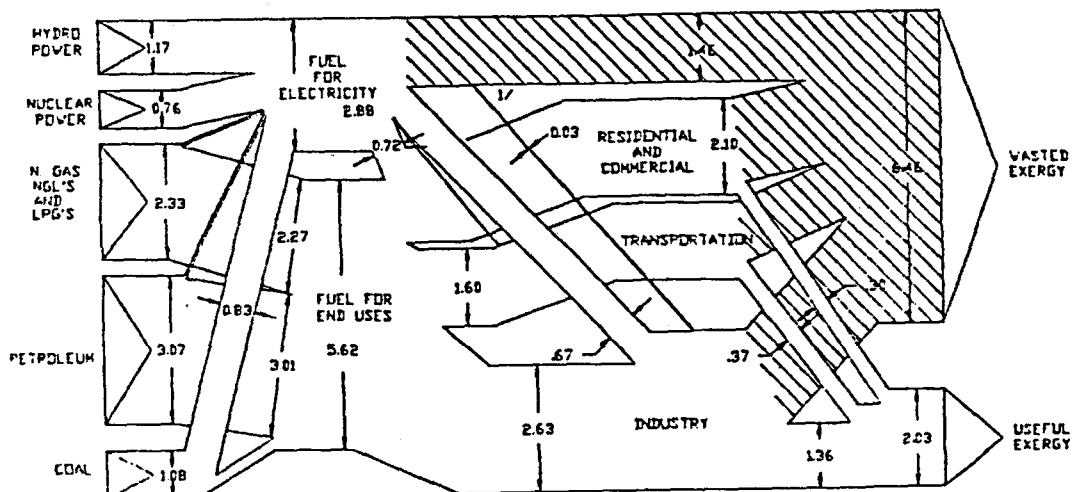




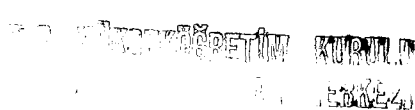
1. Energy and exergy efficiencies for the four main sectors of the Canadian economy, and for the overall economy.



2. Flows of energy (in EJ) in Canada for 1986. Hydraulic energy is reported in kinetic energy equivalent. The portions of coal, petroleum and natural gas used for industrial sector electricity generation are routed to the utility sector and then back to the industrial sector in the form of electricity. The flow associated with the symbol 1/ represents steam produced in the utility sector for the end-use sectors.



3. Flows of exergy (in EJ) in Canada for 1986. Details are as for Fig. 3.



KURUM
EDUC

ÖZGEÇMİŞ

Şöhret SUBAŞI

Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Mühendisi
(1991 Yıldız Teknik Üniversitesi)

Doğum Tarihi ve Yeri

11.11.1969, Samsun (Havza)

1987 - 1991

Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Gemi
İnşaatı Mühendisliği Bölümü

1985 - 1987

Havza Lisesi

1982 - 1985

Havza Lisesi Ortaokul Bölümü

1977 - 1982

Havza Atatürk İlkokulu

Yabancı Dil

İngilizce