

POTA FIRININDA TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASININ ÜRETİM PARAMETRELERİNE BAĞLI ANALİZİ

Ünal ÇAMDALI (*), Murat TUNÇ (**)

(*): Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş., Necatibey Cad., No:98, 06100, Bakanlıklar/Ankara

(**): İ.T.Ü. Makina Fak., Termodinamik ve Isı Tekniği A.B.D., Gümüşsuyu/İstanbul

Özet- Bu çalışmada çelik üretiminde kullanılan pota fırınında geliştirilen bir bilgisayar programı yardımıyla fırından kayıp olan ısıların, gerçek işin ve tersinir işin potadaki üretim süresine ve pota kapağının açık olma zamanına bağlı olarak değişimleri ortaya konmuştur.

Abstract-In this paper, the change of heat loss, actual work and reversible work with production time and time during which the furnace cover is open, in a ladle furnace used in steel production, is studied using a computer program specially developed.

I. GİRİŞ

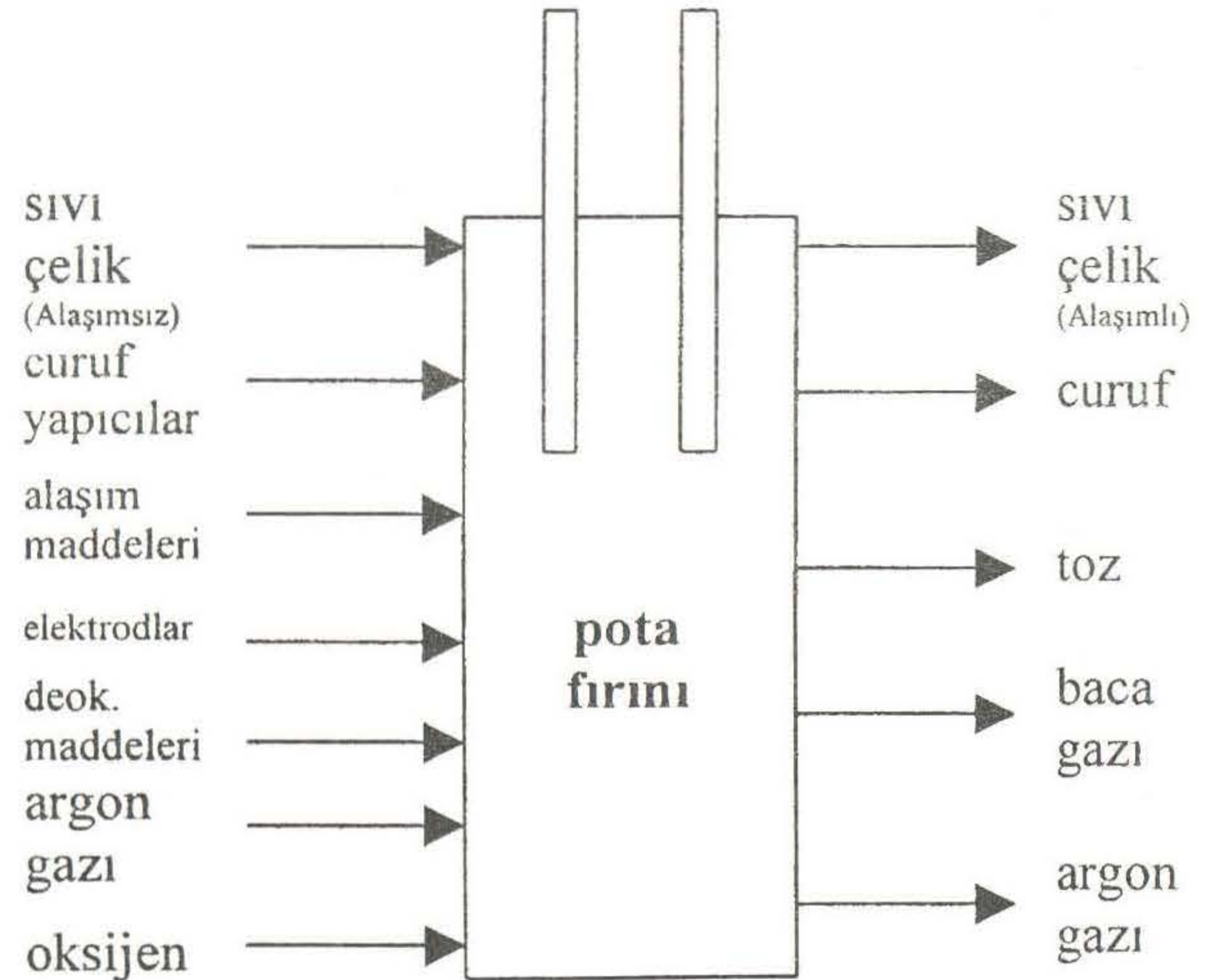
Enerjinin verimliliğinin değerlendirilmesinde sıkça kullanılan termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği ile ilgilidir. Yasa, sayısal değer olarak eşit fakat biçim ve kaynak bakımından farklı enerjiler arasındaki ayırımı yapamamaktadır. Birinci yasanın bu yetersizliği, termodinamiğin ikinci yasasıyla giderilmektedir. Termodinamiğin ikinci yasası enerjinin niceliğinin yanında niteliğini de ön plana çıkarır. Bu yasa, enerjinin niteliğini ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığını hesaplamak için yöntemler ortaya koyar[1]. Demir-Çelik sektörü yoğun enerji harcayan bir sektördür. Dolayısıyla bu sektörde proses boyunca enerjinin niteliğindeki değişimin birinci ve ikinci yasaların birlikte uygulanması ile tespiti; sektördeki enerji maliyetlerinin azaltılması açısından önemli olacaktır.

II. POTA FIRININDA ÇELİK ÜRETİMİ

Elektrik ark fırını yöntemi ile çelik üreten tesislerde ark fırınında ergitilen alaşımsız çeliğe; nihai metalurjik işlemler pota fırınında yapılmaktadır. Bu işlemlerden biri de alaşımlama işlemidir. Alaşım elemanlarının büyük bir kısmı çelikte var olan elemanlarla birleşerek yüksek sertlik seviyesi, aşınma dayanımı ve sertliğin devamını sağlayan bileşikler meydana getirir. Bu bakımdan istenilen bileşimdeki çeliğin üretimi bir çok kimyasal reaksiyonlardan sonra gerçekleştirilir[2-3]. Dolayısıyla

kütle akışı ile fırına yüklenen ve fırından taşınan enerjilerin hesabı için önce fırına giren hammadde ve yardımcı maddeler ile çıkan maddelerin kütle miktarları ve kimyasal analizleri tespit edilmiştir. Şekil 1'de şematik olarak gösterilen pota fırınına giren ve çıkan maddeler, (1) eşitliğinde verilen kütle korunumu yasasına göre oluşturulmuştur.

$$\Sigma m_g = \Sigma m_c \quad (1)$$



Pota fırınına giren maddeler		Pota fırınından çıkan maddeler	
Cinsi	Miktarı (kg)	Cinsi	Miktarı (kg)
Sıvı çelik	55.750	Sıvı çelik	56.000
Alaşım maddeleri	1.240	Curuf	1.700
Curuf yapıcılar	430	Toz	15
Deoksidasyon maddeleri	180	Baca gazı	345
Elektrod	30	Argon gazı	7.000
Argon gazı	7.000	Toplam	65.060
Oksijen	430		
Toplam	65.060		

Şekil 1. Şematik pota fırını ve kütle dengesi.

III. TERMODİNAMİK ANALİZ

Termodinamiğin Birinci Yasası: Termodinamiğin birinci yasadını sürekli akışlı-sürekli açık sistem kabul edilen ve şekil 2'de modellenen pota fırınına potansiyel ve kinetik enerji değişimlerini de ihmal ederek uyguladığımızda; potaya verilen gerçek iş miktarını aşağıdaki (2) eşitliği şeklinde elde ederiz.

$$W_{ger} = \sum m_c [h^o_o + \Delta h]_c - \sum m_g [h^o_o + \Delta h]_g + \sum Q_{kay} \quad (2)$$

Tersinir Reaksiyon İş: Pota fırınına verilen gerçek iş miktarını değerlendirmek için bu işin, termodinamiğin ikinci yasasına göre tespit edilen tersinir iş miktarı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Zira, iş verilen sistemlerde tersinir iş miktarı aynı zamanda minimum iş miktarıdır. Bu iş miktarını bulmak için:

- fırının sürekli akışlı-sürekli açık sistem olarak kabul edildiği,
- fırında meydana gelen kimyasal reaksiyonların ve kayıp ısının tersinir olarak gerçekleştiği,
- fırının çıkışı ile girişi arasında kinetik ve potansiyel enerjide meydana gelen değişimin ihmal edildiği varsayımları kabul edilmiştir.

Bu varsayımlar doğrultusunda tersinir iş miktarının elde edilişi aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir.

Pota Fırınının İkinci Yasa Çözümlemesi: Pota fırınına giren ve çıkan enerjiler Şekil 2'de; entropi dengesi ise Şekil 3'de gösterilmiştir. Bunlardan faydalanılarak tersinir işin elde edilişi aşağıda ortaya konmuştur.

Şekil 2'de ve şekil 3'de şematik olarak gösterilen pota fırınına birinci ve ikinci yasaı uygulayalım:

1. Yasa:

$$\sum dm_g h_g + dW_{ger} = \sum dm_c h_c + dQ_{kay} \quad (3)$$

2. Yasa

$$\sum dm_g s_g = \sum dm_c s_c + (dQ_{kay}/T)_{ter} \quad (4)$$

$$dQ_{kay} = T \cdot [\sum dm_g s_g - \sum dm_c s_c] \quad (5)$$

Şekil 2'deki Carnot makinasından:

$$dQ_0 = (T_0/T) \cdot dQ_{kay} \quad (6)$$

olduğu bilinmektedir. (5) eşitliğinden dQ_{kay} ifadesini (6) da yerine yazarsak,

$$dQ_0 = T_0 \cdot [\sum dm_g s_g - \sum dm_c s_c] \quad (7)$$

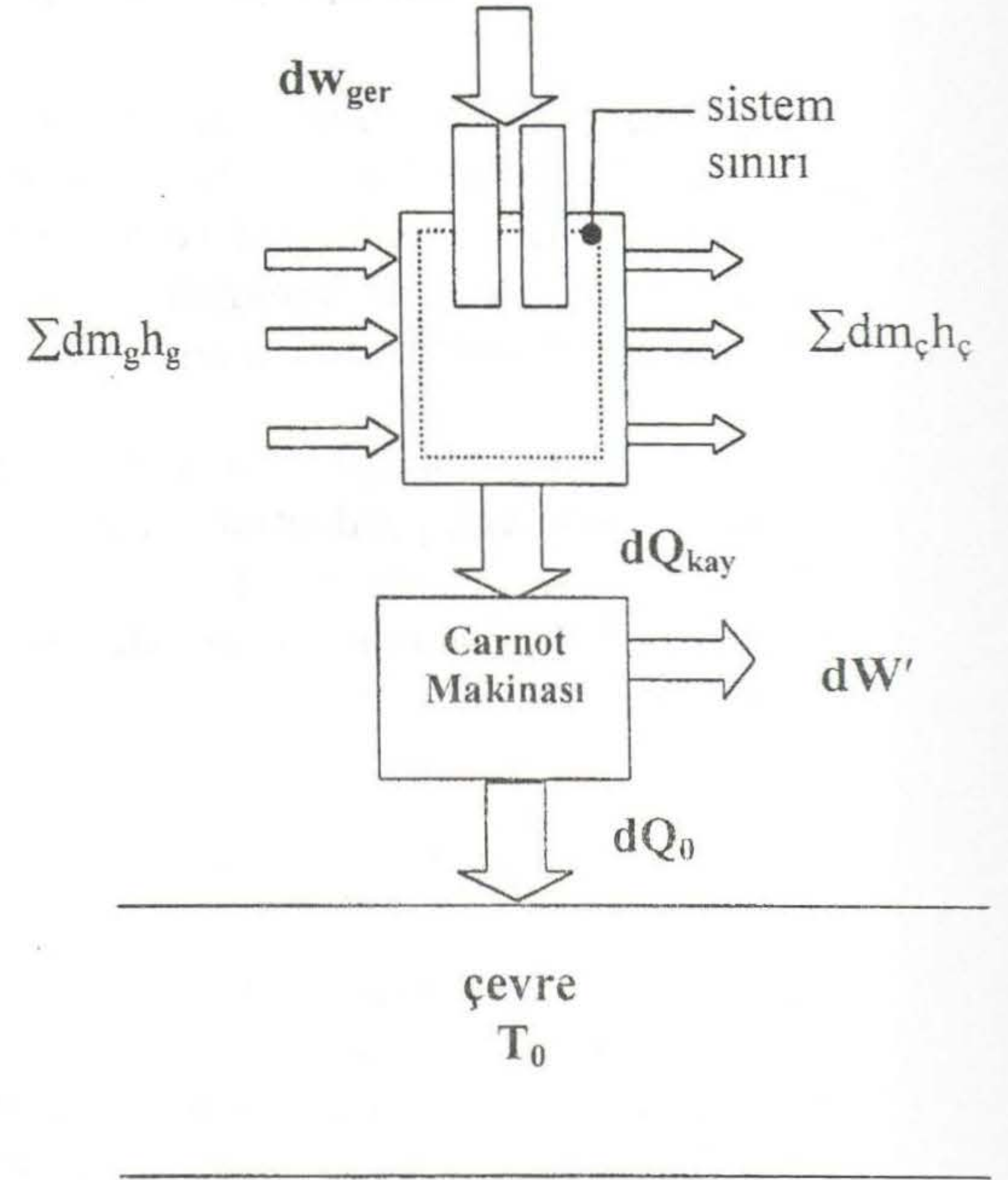
bulunur. Yine Carnot makinasından,

$$dW' = dQ_{kay} - dQ_0 = dQ_{kay} (1 - T_0/T) \quad (8)$$

elde edilir. dQ_{kay} 'ın (5) de elde edilen eşitliğini (8) de yerine yazarsak,

$$dW' = dQ_{kay} - T_0 \cdot [\sum dm_g s_g - \sum dm_c s_c] \quad (9)$$

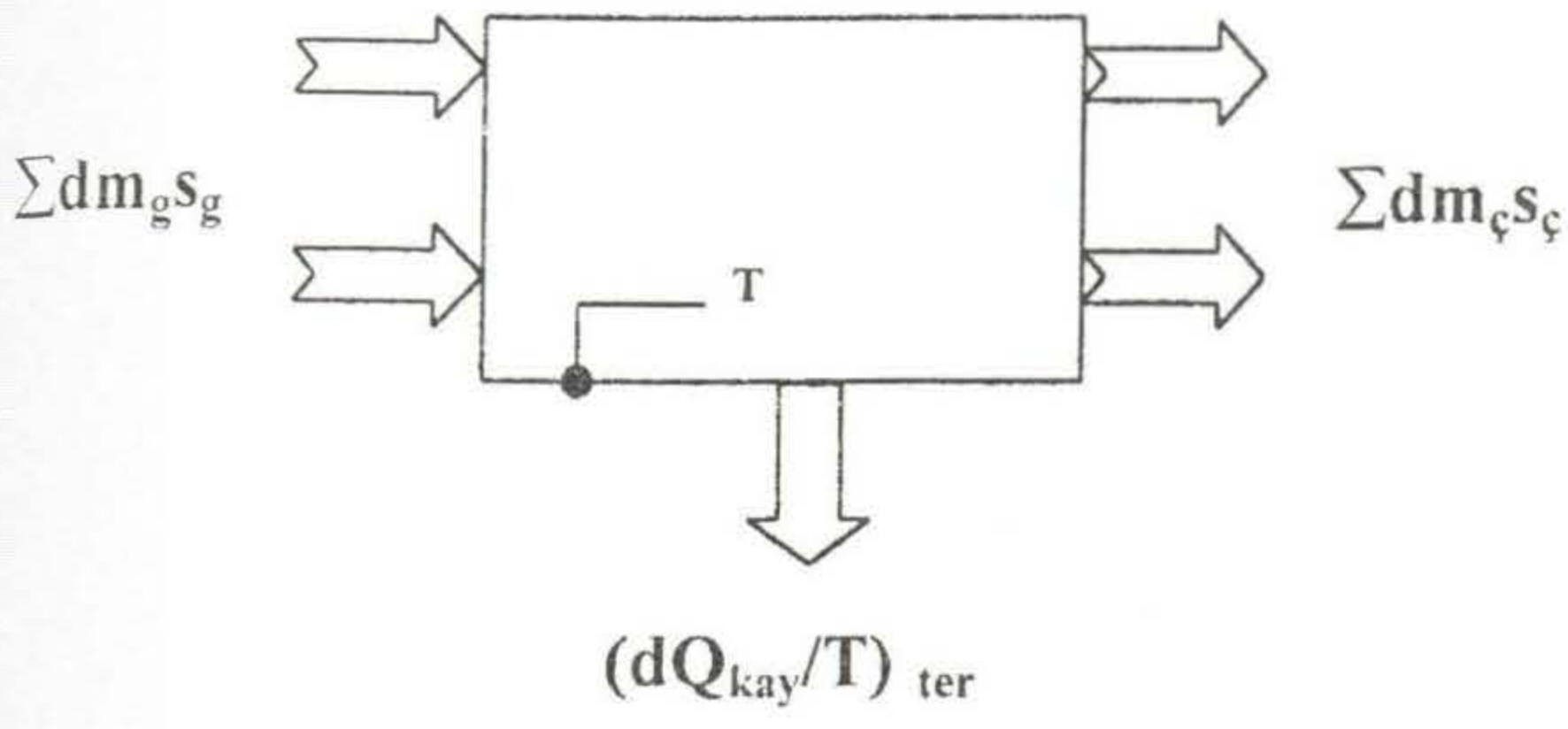
elde edilir.



Şekil 2. Sistemin enerji dengesi.

Şekil 2.'de:

- dW_{ger} : sisteme verdiğimiz gerçek iş (elektrik)
- $\sum dm_g h_g$: sisteme kütle ile giren enerji
- $\sum dm_c h_c$: sistemden kütle ile taşınan enerji
- dQ_{kay} : pota fırınından kayıp olan ısı
- dW' : Carnot makinasından elde edilen iş
- dQ_0 : Carnot makinasından çevreye atmak zorunda olduğumuz ısı



Şekil 3. Sistemin entropi dengesi açısından görünümü.

Şekil 3.'de:

- $\Sigma dm_g s_g$: sisteme giren kütlelerin sisteme taşıdığı entropi
 $\Sigma dm_ç s_ç$: sistemden çıkan kütlelerin sistemden taşıdığı entropi
 $(dQ_{kay}/T)_{ter}$: sistemden ısı ile taşınan entropi

Sisteme Verilmesi Gereken Tersinir İş: Yukarıda gerekli eşitlikleri elde ettikten sonra, sisteme verilmesi gereken tersinir iş ifadesini aşağıdaki (10) eşitliği şeklinde yazmak mümkündür.

$$dW_{ter} = dW_{ger} - dW' + dQ_0 \quad (10)$$

burada:

- dW' : Carnot makinasından elde ettiğimiz işi, sisteme tersinir olarak vermemiz gereken işin bir kısmını karşılamak için kullanmaktayız.
 dQ_0 : Bu ısı elektrik enerjisinden karşılanmaktadır.

Yukarıda verilen dW_{ter} ifadesindeki terimleri yerine yazarsak:

$$dW_{ter} = \{ \Sigma dm_ç h_ç - \Sigma dm_g h_g + dQ_{kay} \} - \{ dQ_{kay} - (T_0/T) \cdot dQ_{kay} \} + T_0 \cdot [\Sigma dm_g s_g - \Sigma dm_ç s_ç] \quad (11)$$

$$= \Sigma dm_ç (h_ç - T_0 s_ç) - \Sigma dm_g (h_g - T_0 s_g) + dQ_{kay} \cdot (T_0/T) \quad (12)$$

elde edilir. Bu ifadenin integre edilmiş halini:

$$W_{mir} = \Sigma m_ç [h^{\circ}_0 + \Delta h - T_0 s]_ç - \Sigma m_g [h^{\circ}_0 + \Delta h - T_0 s]_g + \Sigma Q_{kay} \cdot (T_0/T) \quad (13)$$

şeklinde ifade edebiliriz.

(13) eşitliğinde:

$$\Delta h = h_T - h_{T_0} = \int_{T_0}^T c_p \cdot dT \quad (14)$$

$$\Delta s = s_T - s_{T_0} = \int_{T_0}^T (c_p/T) \cdot dT \quad (15)$$

$$c_p = a + b \cdot T + c \cdot T^{-2} \quad (16)$$

(16) eşitliğindeki a, b ve c katsayıları metal ve metal olmayan bir çok madde için deneysel olarak bulunmuştur[4]. Bununla birlikte (13) eşitliğinde ΣQ_{kay} şeklinde ifade edilen ve fırının değişik bölgelerinden iletim, taşınım, radyasyon yolu ile transfer olan ve absorbe edilen kayıp ısı ifadeleri aşağıdaki (17), (18), (19) ve (20) eşitlikleri şeklinde yazılabilir[5].

$$Q_{ilt} = K \cdot A \cdot (T_1 - T_5) \cdot t \quad (17)$$

$$Q_{taş} = h \cdot A \cdot \Delta T \cdot t \quad (18)$$

$$Q_{rad} = \sigma \cdot \epsilon \cdot A \cdot (T_Y^4 - T_0^4) \cdot t \quad (19)$$

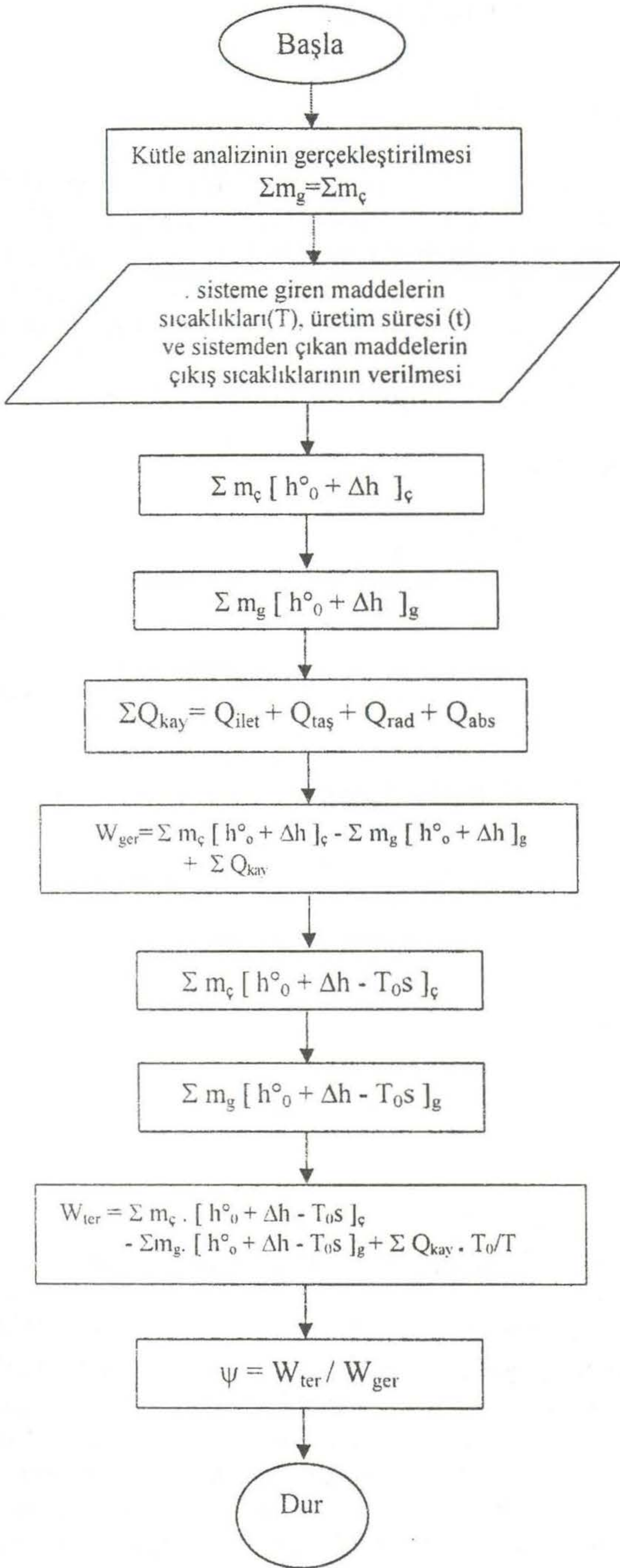
$$Q_{abs} = (\rho \cdot V / M) \cdot \bar{c}_p \cdot \Delta T \quad (20)$$

Gerçek İşin Değerlendirilmesi: Pota fırınına gerçekte verilen elektrik enerjisinin değerlendirilebilmesi için bu enerjinin; potaya verilmesi gereken tersinir iş miktarı ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bu karşılaştırma (21) eşitliği ile tanımlanan bir oran ile yapılabilir.

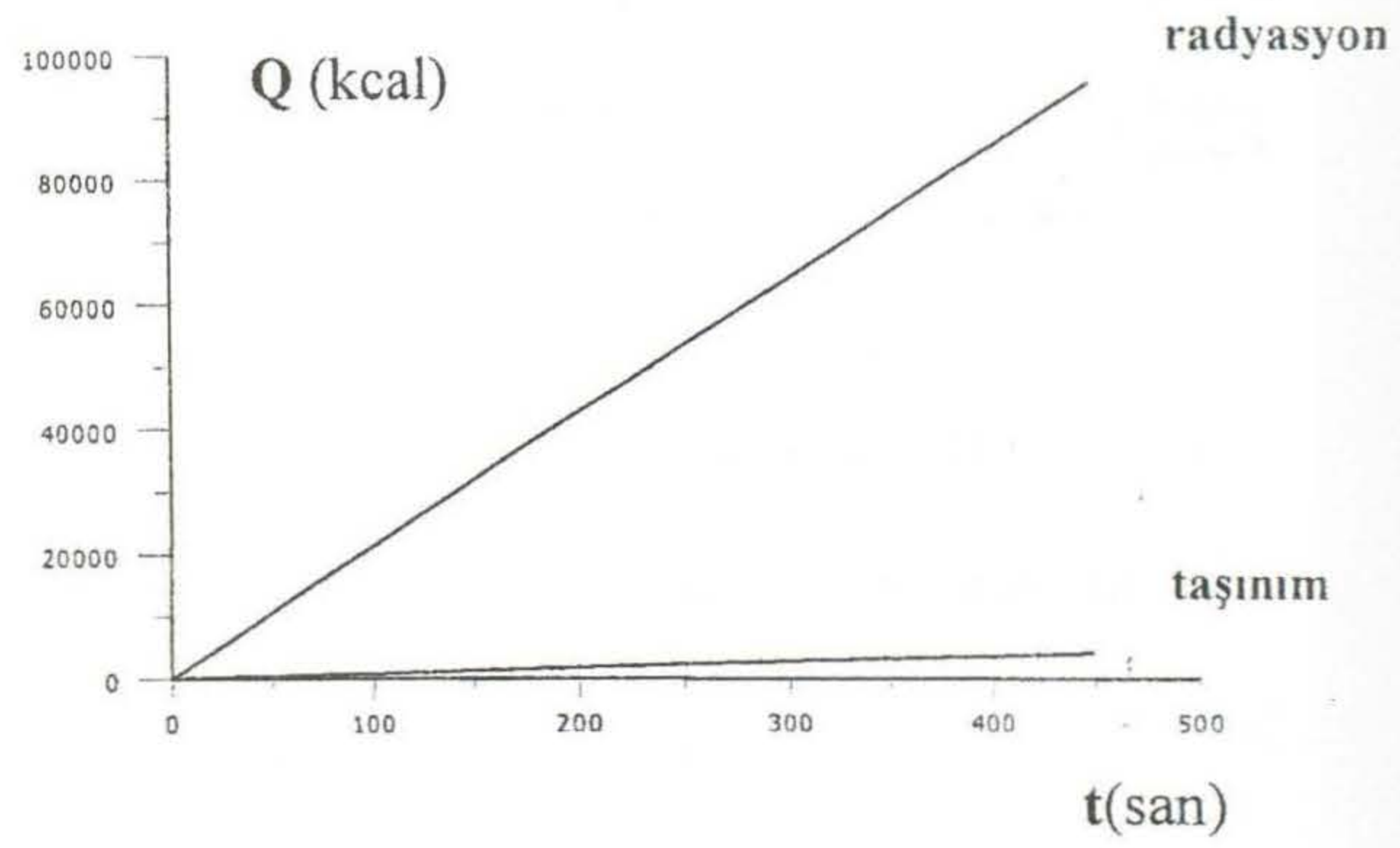
$$\psi = W_{ter} / W_{ger} \quad (21)$$

IV. BİLGİSAYAR ÇÖZÜMLEMESİ VE SONUÇLARIN GRAFİKSEL GÖSTERİMİ

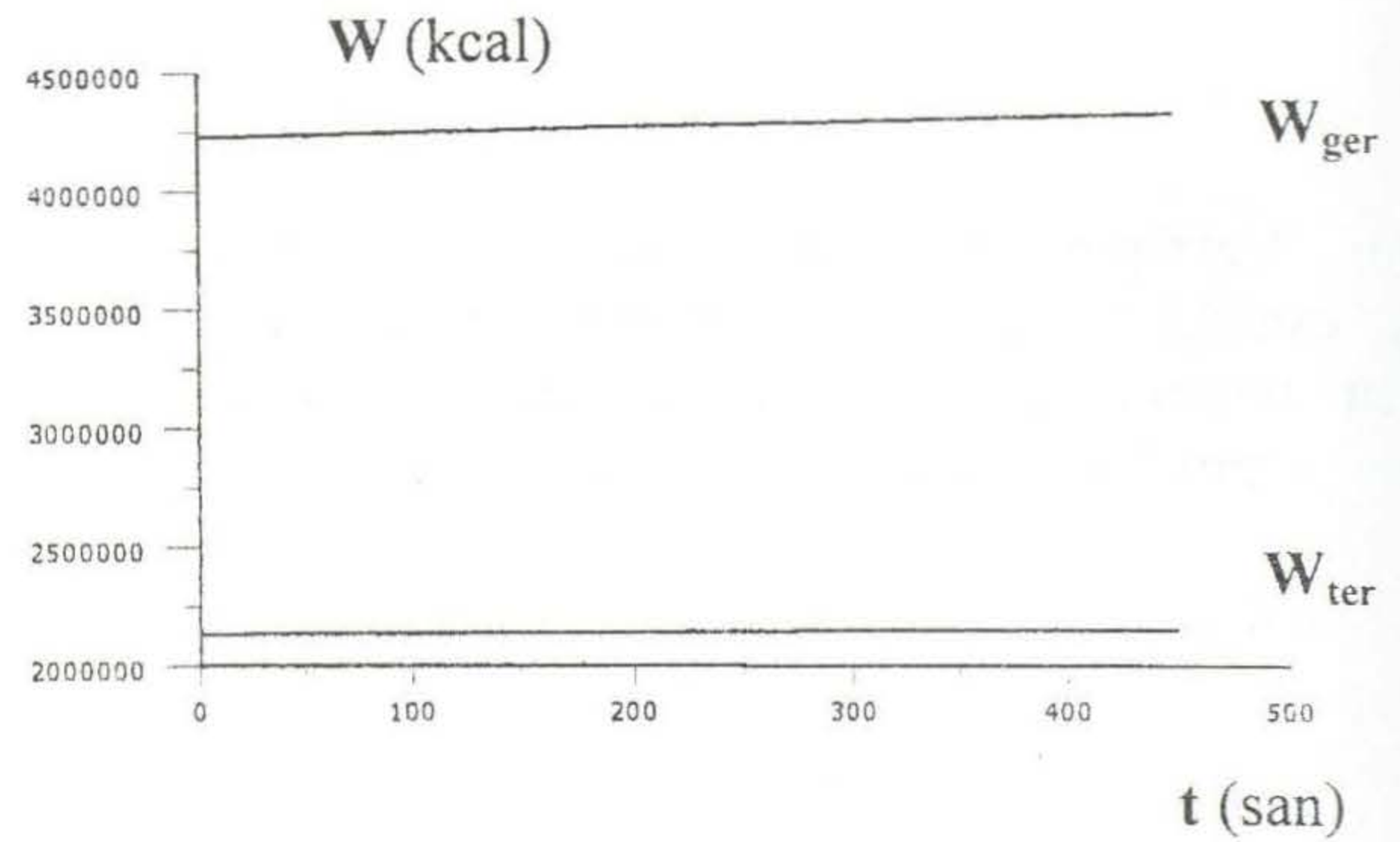
Pota fırınında termodinamik analizi için Q-Basic dilinde bir program geliştirilmiştir. Bu program önce kütle analizi ve birinci kanun analizini daha sonrada ikinci kanun analizini gerçekleştirmektedir. Programın özet akış diyagramı Şekil 4.'de verilmiştir. Programın çalıştırılması sonucunda; pota fırını kapağının üretim süresince değişik nedenlerden kaynaklanan açık olma zamanına ve üretim süresine göre elde edilen sayısal sonuçların grafiksel gösterimi de Şekil 5-10' da verilmiştir.



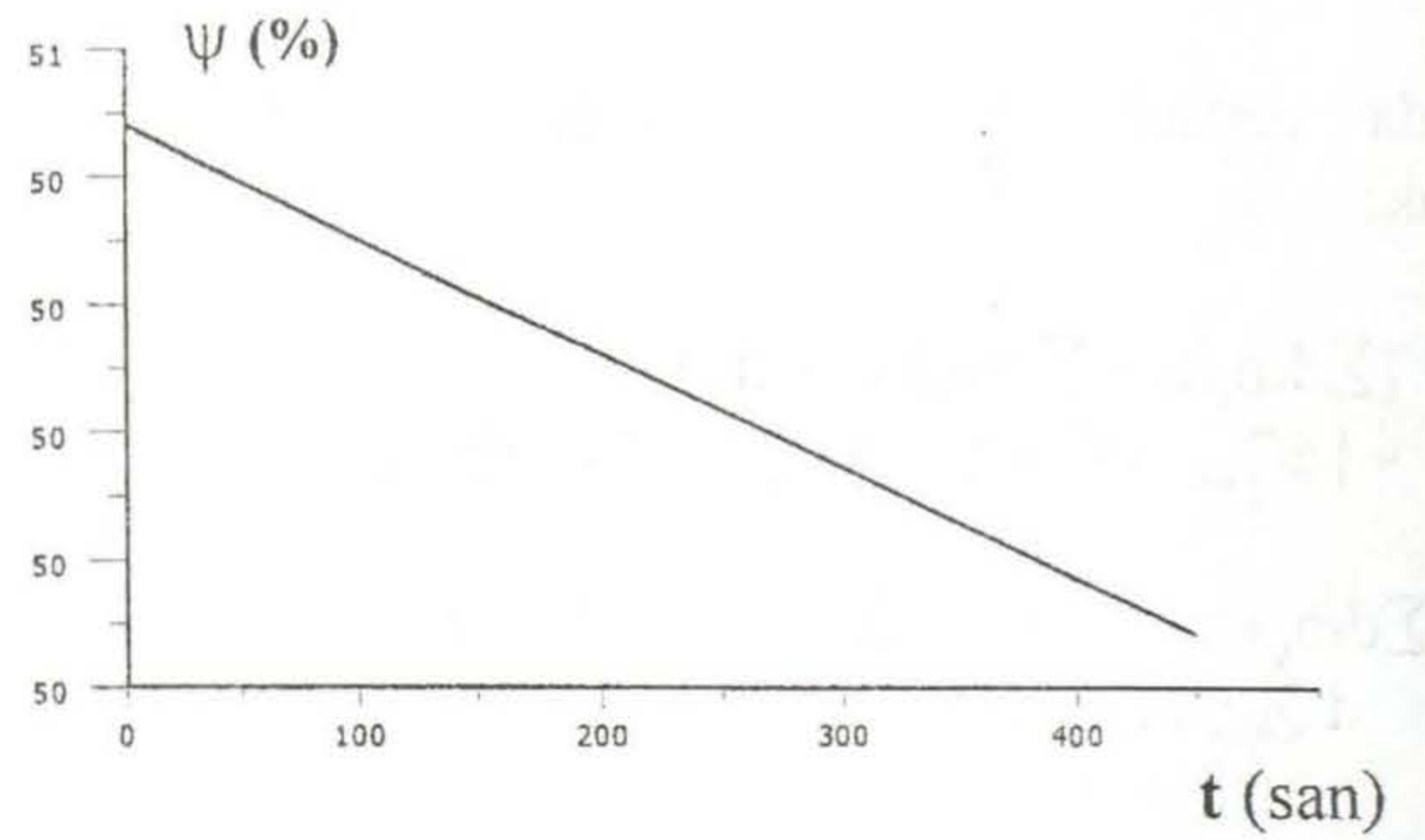
Şekil 4. Bilgisayar programı özet akış diyagramı.



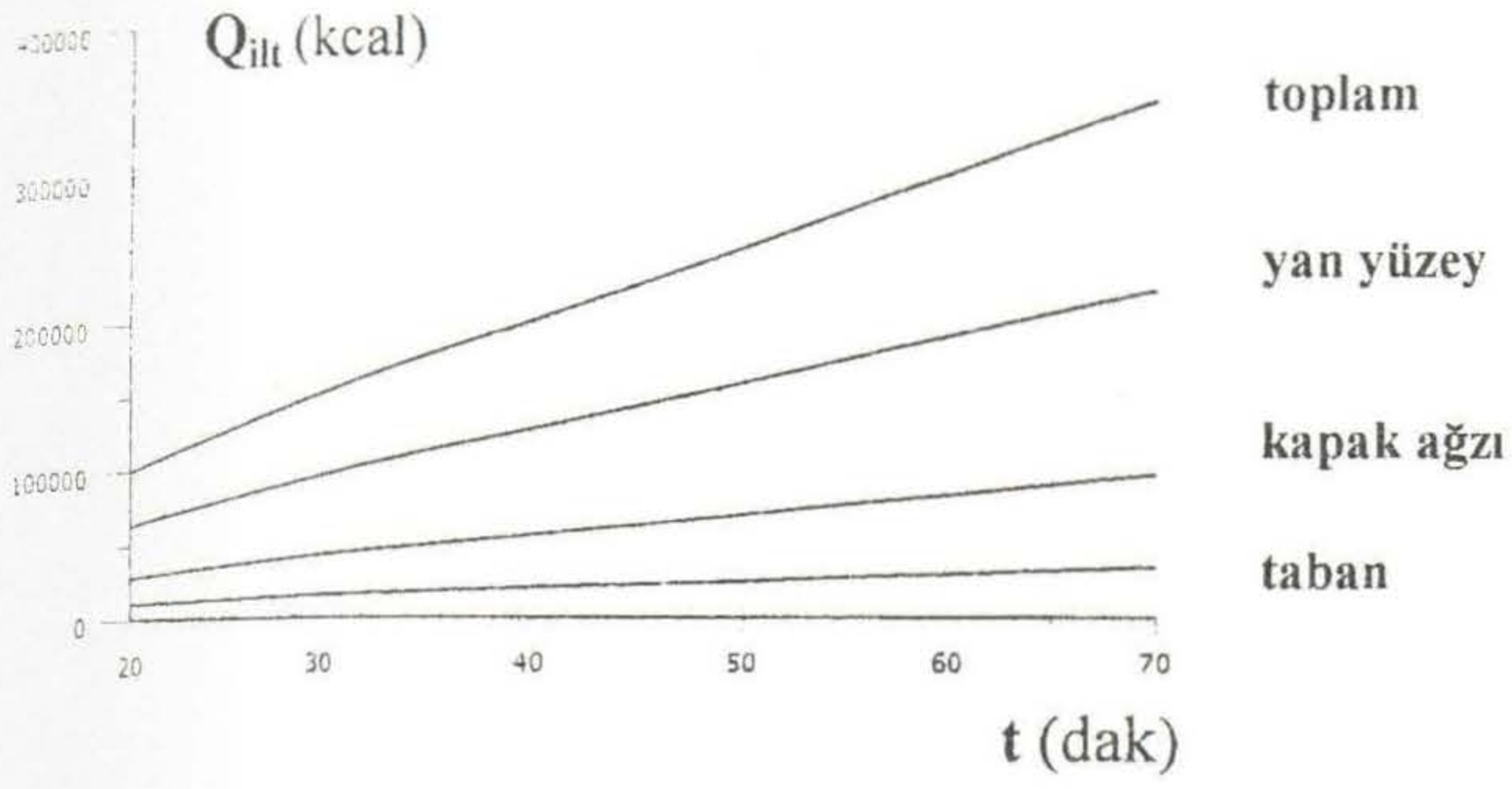
Şekil 5. Pota kapağında radyasyon ve taşınım ile kayıp ısının kapağın açık olma süresine bağlı olarak değişimi.



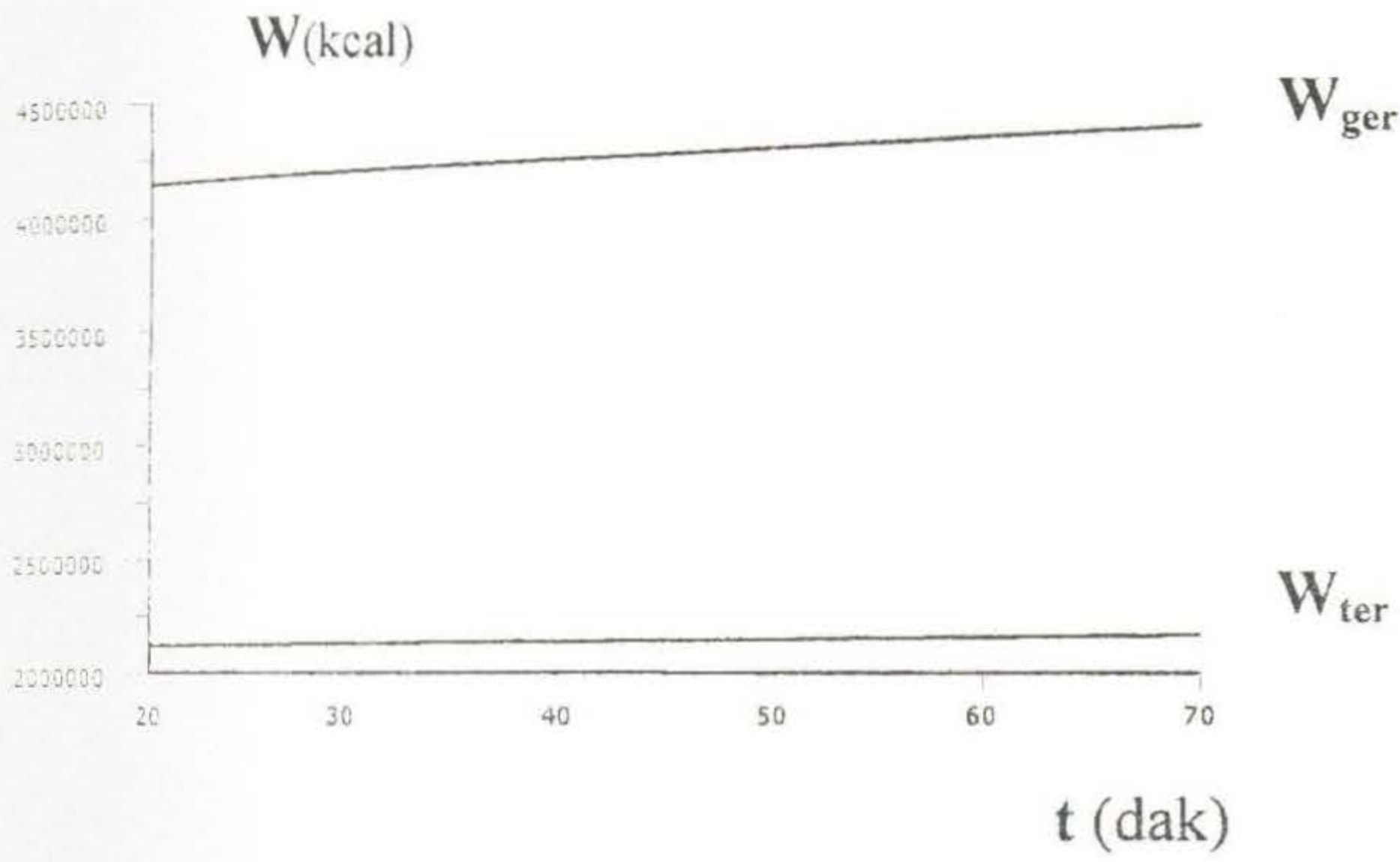
Şekil 6. Gerçek iş ve tersinir işin pota kapağının açık olma süresine bağlı olarak değişimi



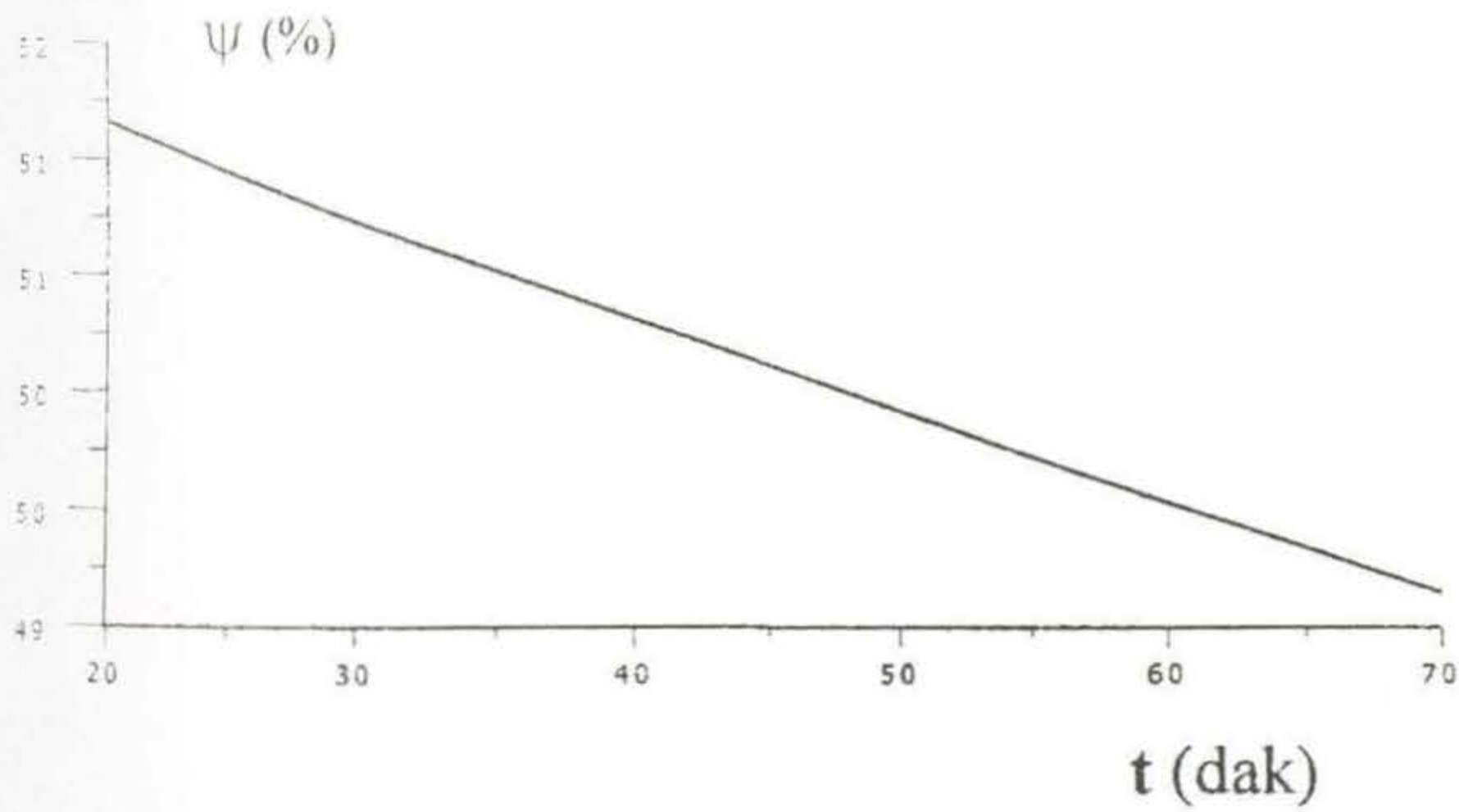
Şekil 7. Tersinir işin gerçek işe göre pota kapağının açık olma süresine bağlı olarak değişimi.



Şekil 8. Potadan iletim ile kayıp olan ısının üretim süresine bağlı olarak değişimi.



Şekil 9. Gerçek iş ve tersinir işin üretim süresine bağlı olarak değişimi.



Şekil 10. Tersinir işin gerçek işe göre üretim süresine bağlı olarak değişimi.

V. SONUÇLAR

- Pota fırını kapak ağzından radyasyonla kayıp olan ısı miktarı taşınım ile kayıp olan ısı miktarından yaklaşık 23 kat daha fazladır. Pota kapak ağzının açık olma süresi arttıkça, radyasyon ve taşınım ile kayıp ısılarda yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Aynı şekilde potaya verilen gerçek iş ile potaya verilmesi gereken tersinir iş miktarı da artmaktadır. Ancak gerçek iş miktarının artış oranı tersinir iş miktarına göre daha fazla olmaktadır. Zira 0-450 san arasında gerçek iş miktarı % 2,4 oranında artarken tersinir iş ancak % 0,7 oranında artmaktadır. Dolayısıyla mümkün olduğu kadar pota kapağının açık olma süresini azaltmak kayıp ısı ve sisteme verilen iş açısından olumlu olacaktır (Şekil 5-7).
- Üretim süresine bağlı olarak potadan iletim ile kayıp ısı miktarı önemsenmeyecek miktardır. Kayıp ısı en fazla yan yüzeylerden gerçekleştirilmektedir. Burada da aynı şekilde üretim süresi arttıkça sisteme verilen gerçek iş ile tersinir iş miktarı artmaktadır (Şekil 8-10). Ancak ilgili grafikten de görüldüğü gibi 20-70 dak üretim süresi arasında gerçek işteki artış oranı %6 olurken, tersinir iş miktarındaki artış ise % 2 olarak gerçekleşmektedir. Bu kayıp yukarıda ifade edilen kapak ağzından kaynaklanan kayıptan daha önemli miktardadır. Bu bakımdan çeşitli izolasyon işlemleri ile bu kaybı azaltmak enerjinin daha verimli kullanılması açısından daha etkili olacaktır.

SEMBOLLER

A	: Alan (m^2)
\bar{c}_p	: Sabit basınçtaki molar özgül ısı ($kcal/kmol \cdot K$)
h	: Isı taşınım katsayısı ($cal/san \cdot m^2 \cdot ^\circ C$)
h	: Birim kütle için entalpi ($kcal/kg$)
h°	: Birim kütle için standart oluşum entalpisi ($kcal/kg$)
K	: Toplam ısı iletim katsayısı ($kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$)
m	: Kütle (kg)
t	: Zaman
ε	: Emisyon katsayısı
σ	: Stefan-Boltzman sabiti
ψ	: Tersinir işin gerek işe oranı

Alt İndisler

φ	: Çıkış
g	: Giriş
ger	: Gerçek
kay	: Kayıp
ter	: Tersinir

KAYNAKÇA

1. Çengel, Y.A., Boles, M.A.; Thermodynamics: An Engineering Approach, McGraw Hill Book Company, (1989).
2. George, W., Healy and David L.; Steel Making, Mc Bride, (1982).
3. Çamdalı, Ü., Pota Fırınında Gerçekleştirilen Bir Cins Sıvı Çelik Üretimi İçin Bilgisayar Programı Yardımıyla Kütle Analizi, Metal Dünyası, Nisan 1999 Sayı: 71, Sayfa: 48-50.
4. Kubaschewski, O., Evans, E.L.; Alcock, C.B.; Metallurgical Thermo-Chemistry, Pergamon Press, (1989).
5. Çamdalı, Ü., Dikeç, F., Tunç, M.; Pota Fırınında Gerçekleştirilen Çelik Üretimi İçin Bilgisayar Programı Yardımıyla Enerji Analizi, Termodinamik Dergisi, Mart 1999. Sayı: 79, Sayfa 56-61.