

# Buhar Kazanlarının Isıl Alanlarının Belirlenmesinde Hücre Yönteminin Kullanılması

Zekai Kazım TELLİ\*, İbrahim ÜÇGÜL\*, Murat ÖZTÜRK\*\*  
\*SDÜ Yenilenebilir Enerji Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi  
\*\*SDÜ Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü  
Çünür Batı Kampüsü ISPARTA

## ÖZET

Buhar kazanlarının ısıtma, kaynatma ve buharlaştırma alanları önemli bir yer tutmaktadır. Bu alanların hesaplanması oldukça karışık ve zahmetlidir. Bu çalışmada buhar kazanları genel ısı hesapları için pratik bir yöntem olan hücre yöntemi tanıtılmış, örnek bir uygulamayla yöntemin kullanılabilirliği ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Buhar kazanları, hücre yöntemi, ısıtma.

## Using Cell Method to Determining Thermal Areas of Steam Boilers

### ABSTRACT

Heating, boiling and evaporation areas of steam boilers are very important. Calculations of these areas are very complex and laborious. In this study, cell method, which is practical method for steam boilers general heat calculations, is explained. Availability of this method is shown by a sample application.

**Keywords:** Steam boilers, cell method, heating.

### 1. GİRİŞ

Bir yakıcıdan maksimum yanma verimi alabilmek için, yakıtta bulunan C, H ve S elementlerinin tam bir oksidasyonun sağlanması ve bu oksidasyon için gerekli olan oksijen ve havanın miktarının teorik miktardan az olmaması gerekir. Tam bir yanma sağlayabilmek için en önemli unsurlar yanma havası ile yakıtın homojen bir şekilde karışması ve yakıtın yanma hızına göre yakıcıda yeterli sürede kalmasıdır. Bu iki önemli faktörün yakıt cinsine ve kalitesine göre yakma sisteminde karşılanması gerekmektedir. Büyük taneli yakıtların tutuşma ve yanmaları daha uzun sürede olmaktadır. Bu nedenle istenilen bir gücü elde edebilmek için yakıcı sistemlerin yakma alanı, buna bağlı olarak hacimsel kapasiteleri yakıtın özelliklerine göre boyutlandırılmalıdır. Düşük kaliteli yakıtları yakabilmek için yakma sistemlerinin belli şartları yerine getirmesi günümüzde daha iyi durumdadır (1).

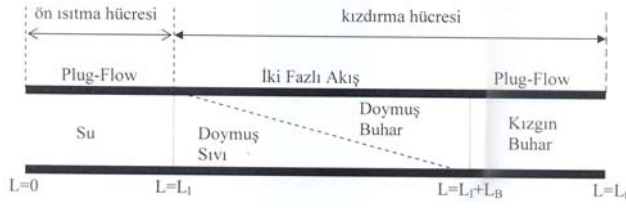
Genellikle kaynama veya buharlaşma prosesleri boru tipli ısı değiştiricilerinde meydana gelmektedir. Bu prosesler hem boru içinde hem de boru dışında olabilir. İstenilen ısıtma için boyutsal olarak küçük buhar kazanları birçok nedenden dolayı avantajlıdır. Bu avantajlar şu şekilde sıralanabilir, genellikle küçük boyutlu olanlar daha düşük maliyetlidirler, eğer bileşen boyutları azaltılırsa kurulum maliyeti de azalır, düşük sıvı envanteri hem maliyet hem de güvenlik esasları için yararlıdır ve kompakt buhar kazanları tasarımlarının bir-

çoğunda istenilen son sıcaklığa ulaşılabilir. Önemli ısı tasarrufları ile geliştirilmiş, ısı geri kazanım tasarımlarının fizibilitesi ile küçük boyutlu ve düşük maliyetli kompakt buhar kazanları geliştirilebilir. Buhar kazanlarında istenilen sıcaklıklarına ulaşılması iyi entegre edilmiş ısı değiştiricilerinin önemli enerji tasarrufu sağlamlarının sonucudur (2). Literatürde ki mevcut kaynaklarda buhar kazanları konstrüktif esasları ve ısı hesapları ile ilgili teorik ve ampirik bağıntılar mevcuttur (3,4,5,6). Ayrıca buhar kazan boruları için gerilme ve bilgisayar modelleme ili ilgili yayınlar mevcuttur (7,8,9).

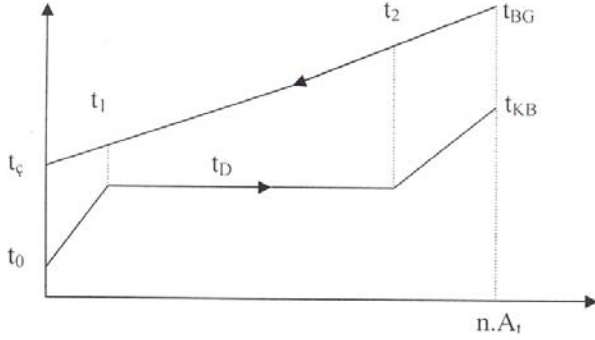
Bu çalışmada buhar kazanları optimum ısı alanlarının belirlenmesi için her bir bur borusu içindeki ısı olayları referans alan hücre yöntemi tanıtılmış ve bir örnek uygulama yapılmıştır.

### 2. HÜCRE YÖNTEMİNİN UYGULANMASI

Hücre yönteminde kullanılan teorik hesaplamaların türetilmesi için Şekil 1'de şematik olarak gösterilen bir buhar borusu referans olarak alınmıştır. Buhar borusu içindeki sıcaklık değişimi Şekil 2'de diyagram olarak verilmiştir.



Şekil 1. Buhar borusu içinde iki fazlı akımın gelişimi



Şekil 2. Ön ısıtıcı, ısıtıcı ve buharlaştırıcı hücrelerinin sıcaklık diyagramı

Buhar borusundaki su Şekil 2'de gösterildiği gibi  $T_0$ 'dan  $T_D$ 'ye ısıyor, buharlaşıyor ve  $T_{KB}$ 'ye kızdırılıyor. Boru yüzey alanına verilen ısı, boru iç hacminde alınan ısıya eşittir.

$$\dot{V}_t \cdot \rho \cdot v \cdot c \cdot \frac{\partial T}{\partial X} = q \cdot F_t \quad (1)$$

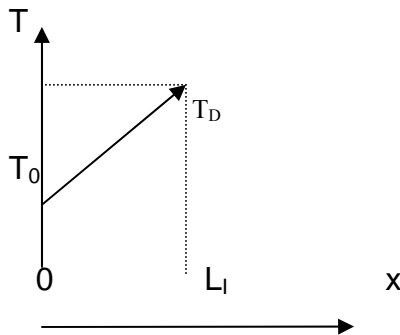
Burada, hücre hacmi  $\dot{V}_t = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_t$  ve hücre yüzey alanı  $F_t = \pi \cdot d \cdot L_t$  şeklindedir. Bu ifadeler Denklem (1)'de yerine yazıldığında sıcaklık grandyanını veren ifade aşağıdaki gibi bulunur.

$$\frac{\partial T}{\partial X} = \frac{4q}{\rho \cdot v \cdot c \cdot d} \quad (2)$$

Denklem (2) ifadesi önce ön ısıtma hücresine daha sonrada kızdırma hücresine uygulanacaktır.

### 2.1. Ön Isıtma Hücresi

Ön ısıtma hücresi Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Ön ısıtma bölgesinin hücre gösterimi.

Ön ısıtma bölgesi hücresinde buhar borusuna giren su  $T_0$  sıcaklığından  $T_D$  doygunluk sıcaklığına kadar ısıtılmaktadır. Burada Denklem (2)'nin sıcaklık integrasyonu

$$T = \frac{4q}{\rho \cdot v \cdot c_{su} \cdot d} \cdot x + c \quad (3)$$

şeklinde bulunur. Bu ifade  $T_D$  doygunluk sıcaklığı başlangıç ve sınır şartları için yazılırsa,

$$T_D = \frac{4q}{\rho \cdot v \cdot c_{su} \cdot d} \cdot L_1 + T_0 \quad (4)$$

elde edilir. Burada  $q$  bir buhar borusuna birim yüzeyden verilen ısı miktarını göstermektedir ve bütün buhar kazanları için sabit olup aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$q = \frac{\eta_k \cdot \dot{M}_y \cdot H_{ya}}{F} = \frac{\eta_k \cdot \dot{M}_y \cdot H_{ya}}{n \cdot \pi \cdot d \cdot L_t} \quad (5)$$

Burada  $n$  kazandaki boru sayısı,  $\eta_k$  kazan verimi,  $\dot{M}_y$  yakıt debisi,  $H_{ya}$  yakıt alt ısıl değeridir (10). Bulunan bu ifade Denklem (4)'de yerine yazılırsa,

$$T_D = \frac{4 \cdot \eta_k \cdot \dot{M}_y \cdot H_{ya}}{n \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L_t \cdot \rho \cdot v \cdot c_{su}} \cdot L_1 + T_0 \quad (6)$$

şeklinde elde edilir. Burada ısınan suyun debisi  $\dot{M}_{tsu} = n \cdot \rho \cdot v \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$  ve ısı dengesinden elde edilen

$\eta_k \cdot \dot{M}_y \cdot H_{ya} = \dot{M}_{tsu} (h_{kb} - h_0)$  ifadeleri oranlanarak; ön ısıtma hücre boyunun, toplam hücre boyuna oranı;

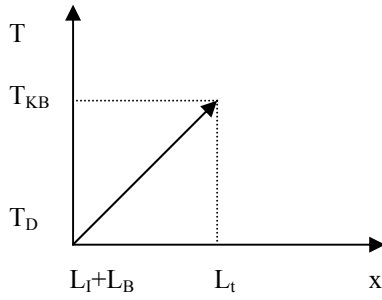
$$\frac{L_1}{L_t} = \frac{\dot{M}_{tsu} \cdot c_{su} \cdot (t_D - t_0)}{\dot{M}_{tsu} \cdot (h_{KB} - h_0)} = \frac{h' - h_0}{h_{KB} - h_0} \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada bir boru alanı  $A_1 = \pi \cdot d \cdot L_1$  ve toplam alan  $A_t = \pi \cdot d \cdot L_t$  eşitliklerinden ön ısıtma ve toplam alan oranlarını veren ifade aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{A_1}{A_t} = \frac{h' - h_0}{h_{KB} - h_0} \quad (8)$$

### 2.2. Kızdırma Hücresi

Kızdırma bölgesinde su buharı  $T_D$  doygunluk sıcaklığından  $T_{KB}$  kızgın buhar sıcaklığına ısıtılıyor.



Şekil 4. Kızdırma bölgesinin hücre gösterimi.

Denklem (4) ifadesi  $L_1 + L_B$  ve  $L_t$  için yazılırsa,

$$T_D = \frac{4q}{\rho \cdot v \cdot c_B \cdot d} (L_1 + L_B) + C \quad (9)$$

$$T_{KB} = \frac{4q}{\rho \cdot v \cdot c_B \cdot d} L_t + C \quad (10)$$

elde edilir. Burada  $L_{KB} = L_t - L_1 - L_B$  ifadesinden yararlanarak,

$$T_{KB} - T_D = \frac{4q}{\rho \cdot v \cdot c_B \cdot d} L_{KB} \quad (11)$$

bulunur. Kızdırma hücresi boyunun toplam hücre boyuna oranı aşağıdaki gibidir.

$$\frac{L_{KB}}{L_t} = \frac{h_{KB} - h''}{h_{KB} - h_0} \quad (12)$$

Bu ifade alanlar oranı şeklinde yazılırsa,

$$\frac{A_{KB}}{A_t} = \frac{h_{KB} - h''}{h_{KB} - h_0} \quad (13)$$

elde edilir. Borunun toplam alanı ısıtma alanı, buharlaştırma alanı ve kızdırma bölgesi alanlarının toplamına eşittir.

$$A_t = A_I + A_B + A_{KB} \quad (14)$$

Bu ifadeden,

$$\frac{A_B}{A_t} = 1 - \frac{A_I}{A_t} - \frac{A_{KB}}{A_t} = \frac{h'' - h'}{h_{KB} - h_0} \quad (15)$$

bulunur.

### 2.3. Tüm Kazan İçin Hesaplama

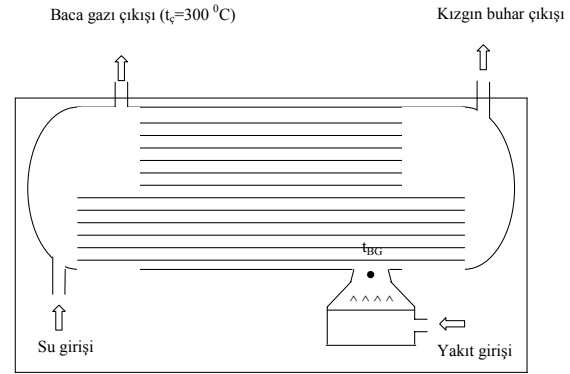
Şekil 5'de şematik olarak verilen kazan içinde üretilen ısının ısıtma boruları içindeki suya aktarımı aşağıda verilen ifade ile hesaplanır.

$$\dot{Q} = \eta_K \cdot \dot{M}_y \cdot H_{ya} = k \cdot A_t \cdot n \cdot \Delta t_m \quad (16)$$

Bu ifade her bir hücreye uygulanırsa,

$$\dot{Q} = \dot{Q}_I + \dot{Q}_B + \dot{Q}_{KB} = k_I \cdot A_I \cdot n \cdot \Delta t_{mI} + k_B \cdot A_B \cdot n \cdot \Delta t_{mB} + k_{KB} \cdot A_{KB} \cdot n \cdot \Delta t_{mKB} = k \cdot A_t \cdot n \cdot \Delta t_m \quad (17)$$

elde edilir. Isıtma tarafında ısı transferi engelleyici olduğundan, ısı iletim katsayıları yaklaşık olarak  $k_I \cong k_B \cong k_{KB} \cong \alpha_d$  şeklinde alınabilir (10)



Şekil 5. Buhar kazanı şematik gösterimi

Yapılan düzenlemeler ile transfer edilen ısı miktarı,

$$\dot{Q} = k \cdot A_t \cdot n \cdot \Delta t_m = \alpha_d \cdot A_t' \left( \frac{A_I}{A_t} \Delta t_{mI} + \frac{A_B}{A_t} \Delta t_{mB} + \frac{A_{KB}}{A_t} \Delta t_{mKB} \right) \quad (18)$$

şeklinde yazılır. Burada  $A_t' = A_t \cdot n$  olmak üzere tüm ısı transfer yüzeyidir. Ayrıca logaritmik sıcaklık farkları aşağıdaki

$$\Delta t_{mI} = \frac{(t_\xi - t_0) - (t_1 - t_D)}{\ln \frac{t_\xi - t_0}{t_1 - t_D}} \quad (19)$$

$$\Delta t_{mB} = \frac{(t_2 - t_D) - (t_1 - t_D)}{\ln \frac{t_2 - t_D}{t_1 - t_D}} \quad (20)$$

$$\Delta t_{mKB} = \frac{(t_2 - t_D) - (t_{BG} - t_{KB})}{\ln \frac{t_2 - t_D}{t_{BG} - t_{KB}}} \quad (21)$$

gibi yazılır. (19)-(21) arasındaki ifadelerden  $\frac{t - t_\xi}{t_{BG} - t_\xi} = \frac{A - 0}{A_t - 0}$  elde edilir. Buradan sıcaklık için

$$t = \frac{A}{A_t} (t_{BG} - t_\xi) + t_\xi \quad \text{ifadesi elde edilir. Şekil 2'de}$$

gösterilen  $t_2$  ve  $t_1$  sıcaklıkları için,

$$t_2 = \frac{A_I + A_B}{A_t} (t_{BG} - t_\xi) + t_\xi \quad (22)$$

$$t_1 = \frac{A_I}{A_t} (t_{BG} - t_\xi) + t_\xi \quad (23)$$

ifadeleri yazılabilir. Burada baca gazı sıcaklık dağılımı lineer olarak kabul edilmiştir.  $A_t'$  toplam ısı transfer

alanı  $\dot{Q} = \dot{M}_{su}(h_{KB} - h_0)$ ,  $\alpha_d$  ve Denklem (18) kullanılarak hesaplanır (11,12). Türetilen teorik hücre yönteminin kontrolü Denklem (24) ve (25) ile sağlanır.

$$\Delta t_m = \frac{(t_{BG} - t_{KB}) - (t_\zeta - t_0)}{\ln \frac{t_{BG} - t_{KB}}{t_\zeta - t_0}} \quad (24)$$

$$\dot{Q} = \alpha_d \cdot A_t' \cdot \Delta t_m \quad (25)$$

Hesapların doğruluğu bu denklemlerle teyit edilmiş olur.

### 3. ÖRNEK UYGULAMA

Termodinamik özellikleri Tablo 1'de verilen bir buhar kazanı için optimum ısı transfer yüzeyi hücre yöntemiyle hesaplanırsa;

Tablo 1. Seçilen buhar kazanının termodinamik özellikleri

Parametre	Değer
$t_0$	30 °C $h_0 = 1268 \text{ kJ/kg}$
P	150 bar $h' = 1611 \text{ kJ/kg}$ $h'' = 2615 \text{ kJ/kg}$ $\Delta h_B = 1004 \text{ kJ/kg}$
$t_{KB}$	450 °C $h_{KB} = 3160 \text{ kJ/kg}$
$t_D$	342 °C
$\alpha_d$	300 $\text{kJ/m}^2\text{hK}$
$\dot{m}_{su}$	70000 $\text{kg/h}$

Alan oranları

$$\frac{A_I}{A_t} = \frac{h' - h_0}{h_{KB} - h_0} = 0,18, \quad \frac{A_B}{A_t} = \frac{h'' - h'}{h_{KB} - h_0} = 0,53$$

$$\frac{A_{KB}}{A_t} = \frac{h_{KB} - h''}{h_{KB} - h_0} = 0,29$$

Isı miktarı

$$\dot{Q} = \dot{m}_{su}(h_{KB} - h_0) = 1,324 \cdot 10^8 \text{ kJ/h}$$

bulunur. Sıcaklık ve logaritmik sıcaklık farkları,

$$t_1 = \frac{A_I}{A_t}(t_{BG} - t_\zeta) + t_\zeta = 606^\circ \text{C}$$

$$t_2 = \left( \frac{A_I + A_B}{A_t} \right) (t_{BG} - t_\zeta) + t_\zeta = 1507^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{ml} = \frac{(t_\zeta - t_0) - (t_1 - t_D)}{\ln \frac{t_\zeta - t_0}{t_1 - t_D}} = 267,86^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{mB} = \frac{(t_2 - t_D) - (t_1 - t_D)}{\ln \frac{t_2 - t_D}{t_1 - t_D}} = 608,78^\circ \text{C}$$

$$\Delta t_{mKB} = \frac{(t_2 - t_D) - (t_{BG} - t_{KB})}{\ln \frac{t_2 - t_D}{t_{BG} - t_{KB}}} = 1350,88^\circ \text{C}$$

olarak elde edilir. Buradan

$$\frac{A_I}{A_t} \cdot \Delta t_{ml} = 48,21, \quad \frac{A_B}{A_t} \cdot \Delta t_{mB} = 322,65$$

$$\frac{A_{KB}}{A_t} \cdot \Delta t_{mKB} = 378,24$$

bulunur. Bu ifadeler ısı ifadesinde yerine konulursa,

$$\dot{Q} = \alpha_d \cdot A_t' \left( \frac{A_I}{A_t} \Delta t_{ml} + \frac{A_B}{A_t} \Delta t_{mB} + \frac{A_{KB}}{A_t} \Delta t_{mKB} \right)$$

elde edilir. Bu ifadeden tüm ısı transfer yüzeyi,

$$A_t' = 5892 \text{ m}^2$$

olarak bulunur. Bulunan bu ifadeler kontrol bağıntıları olan Denklem (24) ve (25) ile kontrol edilirse;

$$\Delta t_m = \frac{(t_{BG} - t_{KB}) - (t_\zeta - t_0)}{\ln \frac{t_{BG} - t_{KB}}{t_\zeta - t_0}} = 732,9^\circ \text{C}$$

$$\dot{Q} = \alpha_d \cdot A_t' \cdot \Delta t_m = 1,302 \cdot 10^8 \text{ kJ/h}$$

şeklinde bulunur. Bu değer hücre yöntemiyle bulunan değere oldukça yakındır.

### 4. SONUÇLAR

Buhar kazanlarında ısıtma, buharlaştırma ve kızgın buhar elde etme alanlarının hesaplanması önemli bir yer tutmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen hücre yöntemi sayesinde bu hesaplamalar kolaylıkla yapılmış, bu hücre alanları yardımıyla tüm ısı transfer yüzeyi hesaplanmış ve Denklem (24) ve (25) yardımıyla bu hesaplama kontrol edilmiştir. Yapılan kontrolde denklemin son derece küçük relatif hata verdiği bununda ihmal edilebilecek boyutlarda olduğu görülmüştür. Önerilen metod pratik hesaplar için oldukça kullanışlıdır.

**5. KAYNAKLAR**

1. Acaroğlu, M., Oğuz, H., “Biyomasın yakılarak enerji eldesinde kullanılan yakıcılar”, Türk-Alman Enerji Sempozyumu, İzmir, 301 s., 1995.
2. Kew, P.A. and Cornwell, K., “Correlations for the prediction of boiling heat transfer in small-diameter channels”, Applied Thermal Engineering, 17, 8, 705-715, 1997.
3. Genceli, O.F., Buhar Kazanları Konstrüksiyon ve Yardımcı Elemanları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1985.
4. Turns, S.R., An Introduction to Combustion, McGraw-Hill Mechanical Engineering Series, Boston, 2000.
5. Senior, J., Boiler Test Calculations, Edward Arnold publisher, London, 1989.
6. Prieto, M.M., Suarez, I., Fernandez, F.J., Sanchez, H., Mateos, M., Theoretical development of a thermal model for the reheater of a power plant boiler, Applied Thermal Engineering, 27, 619-629, 2007.
7. Khajavi, M.R., Abdolmaleki, A.R., Adibi, N., Mirfendereski, S., Failure analysis of bank front boiler tubes, Engineering Failure Analysis, 14, 731-738, 2007.
8. Rahimi, M., Khoshhal, A., Shariati, S.M., CFD modeling of a boiler's tubes rupture, Applied Thermal Engineering, 26, 2192-2200, 2006.
9. Gualous, H.L., Mecheri, B., Unsteady steam condensation flow patterns inside a miniature tube, Applied Thermal Engineering, 27, 1225-1235, 2007.
10. Telli, Z.K., “Yakıtlar ve Yanma”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, 141 s., 1996.
11. Telli, Z.K., “Termodinamik, Problemleriyle Birlikte”, Palme Yayınevi, Ankara, 1998.
12. Telli, Z.K., Transport Olayları, Basılmamış Ders Notları