

**ALTTAN BESLEMELİ KÖMÜR YAKMA SİSTEMİ OLAN  
BİR KOJENERATİF BUHAR KAZANI  
TASARIMI**

**Uğur KIZILÖZ**

**Makine Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi**

**Gazi Üniversitesi**

**Maltepe, 06570 Ankara**

## ÖZET

Proje kapsamında, günümüzde enerji üretiminde ve bazı proseslerde sıklıkla kullanılan buhar kazanlarının tarihçesi, çalışma prensipleri ve çeşitleri ele alınarak, alttan beslemeli yakma sistemi olan bir kojenerasyon sisteminde üretilmesi istenen belli miktar ve basınçtaki doymuş buhar ve belirli bir güçteki elektrik için uygun bir buhar kazanının tasarımı için gereken ısı hesapları ve boyutlandırma hesapları yapılarak istenen şartları yerine getirip getirmediği incelenmiş, bununla ilgili gerekli literatür araştırmalarına yer verilmiş ve yakıt cinsine bağlı olarak çevreye olan etkileri ile maliyet analizleri yapılmıştır.

Bunun için sırasıyla, elemansel analizi verilen ithal linyitin alttan beslemeli sistemde yakılabilmesi için gereken hava miktarı, hava debisi hesaplanıp, yanma sonucunda açığa çıkan dumanın miktarı ve debisi, sıcaklığı, içeriği analiz edilerek, istenen verilere uygun kazan yüküyle yakıt debisi hesaplanmıştır. Daha sonra kazanı oluşturan her bir sistem için yükler hesaplanarak sıcaklık – yük dağılımı grafiğinde belirtilmiştir. Bunlarla beraber seçilen ızgara ve ocak yükünden sırasıyla ızgara alanı ve ocak hacmi belirlenmiştir.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	2
GİRİŞ .....	4
1. BUHAR KAZANLARI.....	5
2. SU BORULU KAZAN TASARIMINDA KULLANILACAK SİSTEMLER .....	6
2.1. Alttan Beslemeli Izgara.....	6
2.2. Kızdırıcı .....	6
2.3. Ekonomizer .....	6
2.4. Buhar Dramı .....	7
3. BUHAR KAZANININ TASARIMI.....	7
3.1. Isıl Hesaplamalar .....	7
3.1.1. Buhar kazanının işletilmesine ait veriler: .....	7
3.1.2. Yakıt Analizi: .....	7
3.1.3. Teorik Hava Miktarının Hesaplanması: .....	8
3.1.4. Yanma Gazları Tayini:.....	8
3.1.5. Alt Isıl Değer Hesaplanması:.....	9
3.1.6. Kazan Gücü, Kazan Verimi, Kömür Tüketimi Hesabı: .....	9
3.1.7. Izgara Alanı ve Ocak Hacminin Hesaplanması:.....	10
3.1.8. Isıtma Yüzeylerinin Hesaplanması: .....	11
4. ENERJİ MALİYET ANALİZİ .....	13
5. ÇEVRESEL ETKİLERİ VE EMİSYON KONTROLÜ .....	14
6. LİTERATÜR TARAMASI.....	15
6.1. Buhar Kazanı Nedir?.....	15
6.2. Buhar Kazanını Oluşturan Başlıca Elemanlar .....	16
6.3. Yakıtlar .....	28
6.4. Buhar Kazanlarının Emniyet Ve Kontrol Elemanları .....	31
6.5. Buhar Kazanı Çeşitleri .....	32
6.6. Kojenerasyon .....	35
6.7. Referanslar:.....	36
7. EKLER.....	39
Ek 7.1. Mollier Tablosu.....	40

## **GİRİŞ**

Projenin amacı; bir alttan beslemeli kömür yakma sistemine sahip olan ve kojenerasyonla enerji üretimi amaçlanan bir buhar kazanı tasarımının, ısı hesapları ve boyutlandırmasına ait çalışmalar yapmak, elde edilen verilere göre buhar kazanının bölümlerini uygun şekilde tasarlamak ve tasarımları teknik resim haline getirip detaylarıyla tasarlayabilmektir.

Proje kapsamında; buhar kazanında kullanılan yakıt çeşidi, analizi, üretilecek buharın özellikleri, buharın oluşturulmasında kullanılacak enerjinin analizi, buhar kazanını oluşturan sistemlerin analizleri ve boyutlandırılması, yanma sonucunda oluşan gazların çereye olan etkileri ve kükürt emisyonu analizi, elektrik enerjisi üretimi başına enerji maliyet analizleri yapılacaktır.

## 1. BUHAR KAZANLARI

Buhar yaklaşık 250 yıldan beri insanlığın hizmetindeki en büyük güçlerden biridir. Buharın sahip olduğu ısı enerjisi, ısıtma, kurutma, pişirme işlemleri için kullanılabilirdiği gibi iç enerjiden yararlanılarak buhar türbini veya buhar makinası gibi güç makinalarında mekanik enerjiye dönüşüm sağlanabilir.

Buhar kazanı tanım olarak istenilen basınç, sıcaklık ve miktarda buhar üreten bir cihazdır. Bunun için herhangi bir yolla elde edilen ısı enerjisinin, kapalı bir kap içindeki sıvıya verilerek, bu sıvının buharlaşması sağlanır. Buhar kazanlarında buhara verilen ısı enerjisi, genellikle çeşitli yakacakların yakılmasından, nükleer enerjiden, elektrik enerjisinden veya eldeki artık bir ısının uygun şekilde değerlendirilmesinden elde edilir.

Buhar ihtiyacı olan herhangi bir işletmede yeni bir buhar kazanının seçimi veya projesi yapılmak istendiğinde, problemin etraflı şekilde ekonomik incelemesi yapılmalıdır. Mevsimlik değişimler göz önüne alınarak, öncelikle işletmenin ortalama buhar yükü belirlenmelidir. Eğer buharı kullanacak işletmenin elektrik ihtiyacı, şebekeden alınmıyor veya pahalı ise ısı güç birleşik sisteminin gerçekleştirilebilme durumu araştırılmalıdır.

Buhar kazanları kullanım alanları ve ihtiyaca göre farklı boyut ve çalışma şekillerinde sınıflandırılır. Küçük kapasiteli buhar kazanları genellikle alev – duman borulu buhar kazanlarıdır. Alev veya duman borusunu çevreleyen bir su hacmi vardır, buhar oluşumu alev-duman borusundan suya ısı transferiyle buhar üretimi gerçekleştirilir.

Büyük kapasiteli buhar kazanlarında ise genellikle su borulu kazanlar tercih edilir. Yakıtın yanmasıyla elde edilen yanma gazlarının çevrelediği su borularına ısı transferinin gerçekleşmesiyle su buharı üretimi sağlanır. Bu tip kazanlar genellikle endüstriyel veya enerji üretimi amacıyla kullanılmaktadır.

## **2. SU BORULU KAZAN TASARIMINDA KULLANILACAK SİSTEMLER**

### **2.1.Alttan Beslemeli Izgara**

Bu tip ızgaralarda kömür, ızgaranın altından verilir. Alttan gelen taze kömür yukarı tarafta kor halinde yanmakta olan kömür tarafından ısıtılarak tutuşturulur, damıtım gazları sıcak kömür tabakasından geçerken iyi bir şekilde karışarak yanarlar. Kömürün ilerlemesi küçük ocaklarda helezonla, büyük ocaklarda ise değişik itme mekanizmaları yardımı ile sağlanır.

Uçan kok kaybını azaltmak için hafif hamurlaşan kömürler tercih edilir. Az küllü ve az nemli kömür bu ızgara tipi için uygundur. Curuflaşma istenmeyen bir özelliktir, kömür hareketini zorlaştırır. Kömür tabakasının iyi yanabilmesi için, yakma havası basıncı yüksek tutulmalıdır. 2kPa değerine kadar çıkılabilir.

### **2.2.Kızdırıcı**

Kızdırıcılar genellikle, buhar türbinlerine yüksek sıcaklıkta kızgın buhar sağlamak amacı ile kullanılırlar. Doymuş buharın ısı enerjisi olarak kızgın buhar haline geçtiği kısımdır. Temel olarak iki tip kızdırıcı vardır.

Konvektif kızdırıcılar duman gazlarının belirli bir sıcaklık ve hızında radyasyon oranı taşınım oranına küçük olduğu hallerde tercih edilir.

Radyant kızdırıcı ise yüksek sıcaklıktaki duman gazından birincil olarak radyasyonla enerji alır.

### **2.3.Ekonomizer**

Suyun kazana giriş sıcaklığını mümkün olduğu kadar kazan suyu sıcaklığına getirmek için, su kazana girmeden önce sıcak gazların bacaya yöneltildiği kısımlarda ulunan boru demetlerinden veya paketlerden geçirilerek baca gazının ısısından istifade edilir.

## 2.4.Buhar Dramı

Ocaktaki buhar borularından gelen buhar bu kısımda toplanır. Burada homojen bir buhar elde edilir ve bu buhar kızgın buhara dönüştürülmek üzere kızdırıcıya gönderilir.

## 3. BUHAR KAZANININ TASARIMI

### 3.1. Isıl Hesaplamalar

#### 3.1.1. Buhar kazanının işletilmesine ait veriler:

Yakıt: İthal Linyit

Buhar Üretim Miktarı: 8000 kg/h , 2,22 kg/s

Buhar Basıncı: 8 bar

8 bar basınçtaki doymuş buhar entalpisi ( $h_{pb}$ ) = 2767,5 kJ/kg

Kojenerasyonla Elektrik Üretimi: 1 MW

#### 3.1.2. Yakıt Analizi:

İthal linyit için yüzdece ağırlık cinsinden elemansel analizi, üst ısı değeri ve birim fiyatı verilmiştir:

Tablo 3.1.

Bileşen	% Ağırlık (Kütlece Yüzde)
Karbon ( C )	72,70
Hidrojen ( H )	4,50
Kükürt ( S )	1,70
Oksijen ( O )	4,40
Azot ( N )	3,20
Nem ( W )	5,00
Kül ( A )	8,50
Sabit Karbon ( Cfix )	72,70

Tablo 3.2.

	<b>Diğer Veriler</b>
<b>Kömürün Üst Isıl Değeri ( <math>H_u</math> ) (kcal/kg):</b>	6420,0000
<b>Kömür Birim Fiyatı (TL/ton):</b>	450,00
<b>Hava Fazlalık Katsayısı ( <math>n</math> ):</b>	1,45

Tablo 3.1. ve 3.2. deki verilerden,

### 3.1.3. Teorik Hava Miktarının Hesaplanması:

100 kg ithal linyit kömürü için,

$$C \rightarrow CO_2 \quad 72,7/12 = 6,06 \text{ kmol}$$

$$H \rightarrow H_2O \quad 4,5/2 \times 0,5 = 4,5 \text{ kmol}$$

$$S \rightarrow SO_2 \quad 1,7/32 = 0,05 \text{ kmol}$$

Toplam: 10,6114 kmol oksijen ihtiyacı vardır.

Kömürde bulunan oksijen miktarı:

$$4,4/32 = 0,1375 \text{ kmol}$$

Minimum oksijen ihtiyacı =  $10,6114 - 0,1375 = 10,474$  kmol oksijen için gereken hava miktarı:

$$10,474 \times 4,76 = 49,856 \text{ kmol hava}$$

### 3.1.4. Yanma Gazları Tayini:

100 kg ithal linyit kömürü için;

Hacimsel yüzde:

$$CO_2 \rightarrow 72,4/12 = 6,033 \text{ kmol}$$

$$12,3$$

$$H_2O \rightarrow 4,5/2 = 2,225 \text{ kmol}$$

$$4,6$$

$$SO_2 \rightarrow 1,7/32 = 0,053 \text{ kmol}$$

$$0,1$$

$$N_2 \rightarrow 3,2/28 = 0,114 \text{ kmol}$$

$$0,24$$

$$W \rightarrow 5/18 = 0,278 \text{ kmol}$$

$$0,58$$

$$N_2(\text{hava}) \rightarrow 10,474 \times 3,76 = 39,382 \text{ kmol}$$

$$81,8$$

Toplam: 48,1356 kmol yanma gazı açığa çıkar.



### 3.1.5. Alt Isıl Değer Hesaplanması:

$$H_u = H_o - 584 \cdot (W + 9H) , H_u = 6420 - 584 \cdot (0,05 + 0,403)$$

$$H_u = 6154,28 \text{ (kcal/kg)}, H_u = 25767 \text{ (kJ/kg)}$$

### 3.1.6. Kazan Gücü, Kazan Verimi, Kömür Tüketimi Hesabı:

Baca gazı kayıpları ( Duyulur ısı kaybı ) :

$T_{bg} = 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$  kabul edilirse,

$n = 1,45$  alındığında

$$200 \text{ }^{\circ}\text{C} \text{ 'de } h_{bg} = 66,43 \text{ (kcal/Nm}^3\text{)} , (281,25 \text{ kJ/Nm}^3\text{)}$$

$$20^{\circ}\text{C} \text{ 'de } h_{bg} \sim h_{hava} = 21 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\rho_{bg} = 1,324 \text{ (kg/Nm}^3\text{)} [\text{Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları – Kemal Onat, Ek B2-6}]$$

$$H_{bg} = 281,25 \text{ (kJ/Nm}^3\text{)} / 1,324 \text{ (kg/Nm}^3\text{)} = 212,424 \text{ (kJ/kg)}$$

$$V_{bg} = 10,313 \text{ (Nm}^3\text{/kg)} [\text{Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları – Kemal Onat, Ek B2-2}]$$

Kül için düzeltme farkı:  $0,175 \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$  [Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları – Kemal Onat, Ek B2-2]

$$\text{Düzeltilmiş baca gazı miktarı } V_{bg} = 10,313 - 0,175 = 10,138 \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

Baca gazından kaynaklanan ısı kaybı:

$$282,424 - 21 \text{ (kJ/kgbg)} \times 10,138 \text{ (Nm}^3\text{/kgkömür)} \times 1,324 \text{ (kgbg/Nm}^3\text{)}$$

$$= 2569,43 \text{ (kJ/kgkömür)}$$

Yüzde olarak: 13,62%

Diğer kayıpların daha az olması sebebiyle 3% civarında olduğunu kabul edersek,

Yanmamış karbon kaybını da 2,5% kabul ettiğimizde

$$\text{Toplam kayıplar} = 13,62 + 2,5 + 3 = 19,12 \%$$

$$\eta_k = 1 - 0,1547 = 0,8088$$

Kazan verimi, 80,88 % olarak hesaplanır.

Kojenerasyon sistemi olması sebebiyle 1MW elektrik üretim gücüne sahip bir backpressure (non-condensing) türbin verimi referans olarak alınmıştır. Türbin verimi

Masaryk Üniversitesi, Industrial Energy Management ders notlarından,  $\eta_t \cdot \eta_g = 0,43$  olarak alınmıştır.

Tablo 3.3.

Type of Unit	Size MW	AE kJ/kg	range $\eta_T$ %		range $\eta_T \cdot \eta_G$ %		range ASR			
							lb/kWh		kg/kWh	
BACKPRESSURE Single- valve/ single-stage  Multivalve/ multistage	0.1-1	515.36	40	50	38	48	40.5	32.4	18.4	14.7
	1-5	515.36	65	75	62	71	24.9	21.6	11.3	9.8
	5-25	515.36	75	80	71	76	21.6	20.3	9.8	9.2
CONDENSING Single- valve/ single-stage  Multivalve/ multistage	0.1-1	1320.579	40	50	38	48	15.8	12.7	7.2	5.7
	3-20	1320.579	70	76	67	72	9.0	8.3	4.1	3.8
	2-50	1320.579	76	80	72	76	8.3	7.9	3.8	3.6

$$Q_k = Q_p + Q_{el}, Q_{el} = \frac{P}{\eta_t \cdot \eta_g}, Q_p = h_{pb} \times 2,22 \text{ (kg/s)} = 6,14 \text{ MW}$$

$$Q_k = 6,14 \text{ MW} + \frac{1 \text{ MW}}{0,43} = 8,46 \text{ MW} = 8465 \text{ kJ/s}$$

$$M_y = \frac{Q_k}{Hu \cdot \eta_k}, \frac{8465 \text{ kJ/s}}{25767 \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \cdot 0,8088} = 0,388 \text{ kg/s} = 1464 \text{ kg/h}$$

Olarak yakıt debisi hesaplanır.

### 3.1.7. Izgara Alanı ve Ocak Hacminin Hesaplanması:

Izgara ve ocak yükleri sırasıyla,

$0,6 \times 10^6$  ve  $0,1 \times 10^6$  olarak Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları, Kemal Onat kitabında Ek – E4’teki tablolardan alınmıştır.

$$A_g = \frac{Q_k}{0,6 \cdot 10^6 \left( \frac{kcal}{m^2 h} \right)} = \frac{8465 \left( \frac{kJ}{s} \right) \cdot 3600 \left( \frac{s}{h} \right) \cdot \frac{1}{4,18} \left( \frac{kcal}{kJ} \right)}{0,6 \cdot 10^6 \left( \frac{kcal}{m^2 h} \right)} = 12,15 \text{ m}^2$$

$$V_o = \frac{Q_k}{0,1 \cdot 10^6} = 72,9 \text{ m}^3 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Ocak yüksekliği =  $V_o/A_g = 6 \text{ m}$  bulunur.

### 3.1.8. Isıtma Yüzeylerinin Hesaplanması:

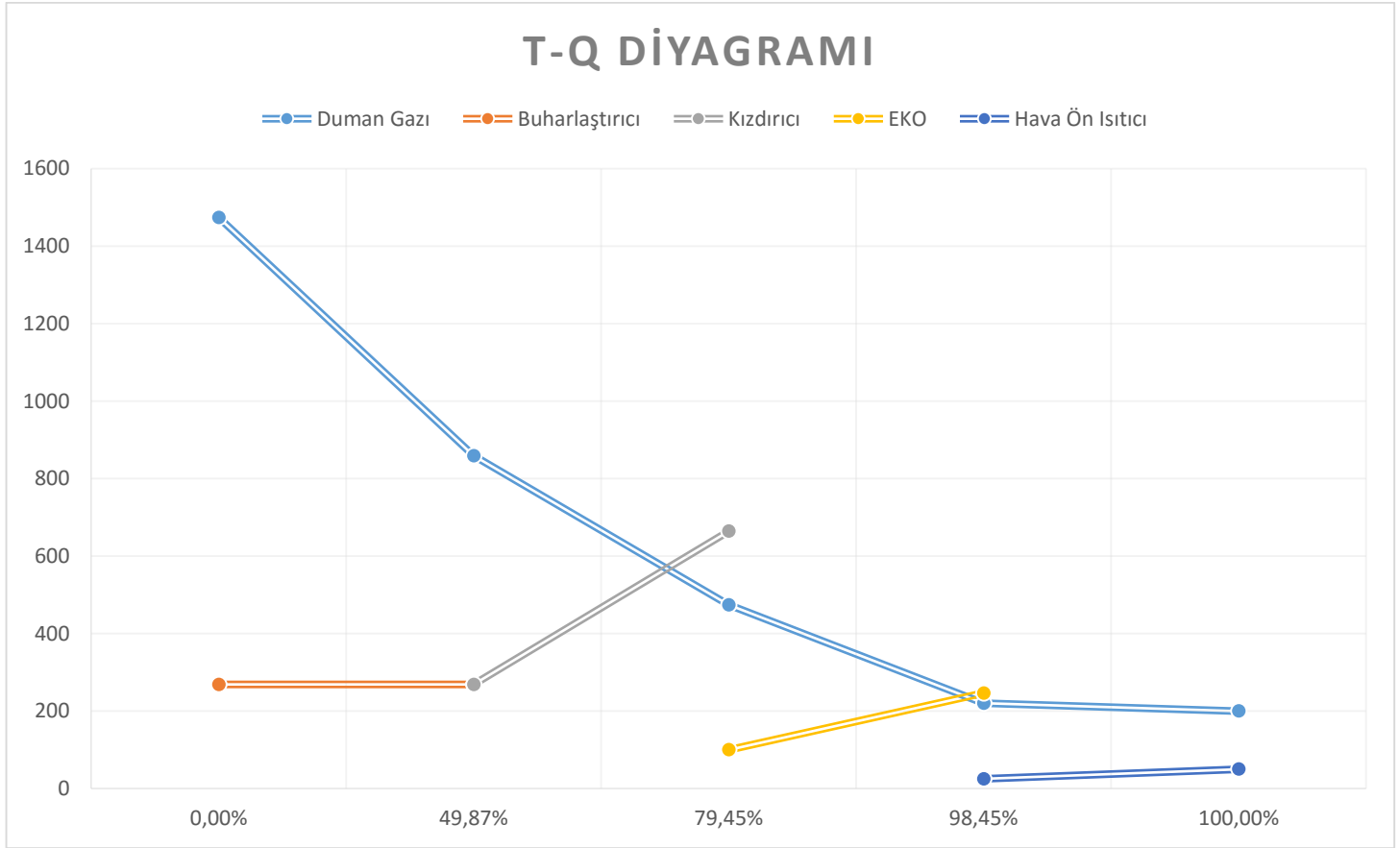
Ocak sıcaklığını Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları, Kemal Onat kitabında Ek B2-7'den  $200^\circ\text{C}$ 'deki ortalama özgül ısısı, debisi ve hava ısıtmak için verdiği enerjiden geriye doğru gelerek, gazın ocaktaki sıcaklığı  $1474^\circ\text{C}$  olarak hesaplanmıştır.

Ocak veriminin 0,96 olduğunu varsayarsak;

$$h_g = \frac{H_u}{V_g} \times 0,96 = \frac{(6154,28) \left( \frac{kcal}{kg} \right)}{10,1380 \frac{Nm^3}{kg}} \times 0,96 = 582,77 \text{ kcal}/Nm^3$$

Buhar kazanının her bir bölgesi için sıcaklık ve ısı yük dağılımları bir grafikte gösterilecek olursa;

Tablo 3.3.



#### 4. ENERJİ MALİYET ANALİZİ

Tük' ten alınan veriler baz alındığında, sanayi elektriğinde 20MWh'a kadar olan alt sınır tüketim bedeli 0,277 TL/kWh'dir. Buna göre;

Kojenerasyonla üretilen 1MW elektrik enerjisi için,

$$1000\text{kW} \times 1\text{h} = 1000 \text{ kWh}$$

$$1000 \text{ kWh} \times 0,277 \text{ TL/kWh} = 277 \text{ TL elektrikten tasarruftur.}$$

Saatte gerçekleşen yakıt masrafı ise,

$$1464,06 \text{ kg/h} \times 1\text{h} \times 450 \text{ TL} / 1000 \text{ kg} = 658,83 \text{ TL}$$

$$658,83 \text{ TL} - 277 \text{ TL} = 381,83 \text{ TL enerji masrafı bulunmaktadır.}$$

Bununla beraber buhar kazanında elde edilen enerjinin tamamı elektrik enerjisi için değil 8 bar basınçta 8t/h 'lık doymuş proses buharı da elde edilmektedir.

## 5. ÇEVRESEL ETKİLERİ VE EMİSYON KONTROLÜ

Alttan beslemeli ızgaraların, yüksek uçuculu biyokütle gibi katı yakıtların duman emisyonlarını minimize eden bir niteliği vardır. Bu özelliğin değerlendirilebilmesi için kömür için belirlenen verilere karşılık bu yakıtları kullanan yanma ekipmanı performanslarının karşılaştırılmasını gerektirir. Ancak günümüz literatürü alttan beslemeli kömür yakma sistemleri ve NO emisyonları konusundaki çalışmalardan yoksun. Özellikle İngiltere'de doğalgaz ve petrol yakıtlarının daha ucuz olması sebebiyle bu konuya ilgisizlik vardır.

Alttan beslemeli ızgara konusundaki bir çalışma, yağlı kömür, antrasit ve kütlece yarı yarıya odun talaşıyla karıştırılmış antrasitin, sıradan modifiye bir alttan besleme sisteminde yakılmasıyla yapılan bir deneyi içeriyor. Deneyin amacı yakıtların yanmasında işlevsel deneyim ve NO emisyonu ile ilgili referans veriler elde etmektir. Yakıtın yanmasıyla ilgili problemler, NO nun belirlenmesiyle ilişkilendirilmiş ve tanımlanmıştı fakat emisyon değerleri optimize değerlerin altında bulundu. Bu değerler 6% ile ifade edildi, yağlı kömür için 265 ppm, antrasit için 90 ppm ve odun talaşı ve antrasit karışımı için 106 ppm olarak belirtildi.

Türkiye’de ise izin veriler emisyon değerleri şu şekildedir:

Tablo 5.1.

### KATI YAKITLI YAKMA TESİSLERİNDE EMİSYON SINIR DEĞERLERİ

Yakıt türü	Yakıt Isıl Gücü	Emisyon Sınır Değerleri (mg/Nm <sup>3</sup> )			
		Toz	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub> (NO ve NO <sub>2</sub> )	CO
Katı yakıt	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü <100MW	100	2000	600	200
	100 MW ≤ Yakıt ısı gücü <500 MW		2000-400 (lineer azalma)		
	Yakıt ısı gücü ≥ 500 MW	50	400	200	
Petrol koku	50 MW ≤ Yakıt ısı gücü <100 MW	20	400	600	
	Yakıt ısı gücü ≥ 100 MW			200	

## 6. LİTERATÜR TARAMASI

### 6.1.Buhar Kazanı Nedir?

Buhar kazanı; buhar üretmekte yararlanılan; kömür, yağ yakıt, motorin, doğalgaz ve fosil yakıtları, bazı tesislerde ise artık yakıtın yakılmasıyla ortaya çıkan, ısıyı içindeki suyu ısıtmak için kullanan kapalı kaptır. Genellikle ısıtma ve enerji üretiminde kullanılırlar. Kimi zaman nükleer reaktörlerde de, basınç altında buhar üretmek amacıyla ısı kaynağı olarak yararlanılır. Başka bir deyişle buhar kazanları, istenilen sıcaklık ve miktarda buhar üreten cihazlardır. Buharın, endüstride tercih edilmesinin en önemli sebepleri; çok iyi bir ısı taşıyıcısı olması, ısı transferi özelliklerinin özellikle faz değişiminden dolayı yüksek olması ve iletiminin çok kolay olması ile herhangi bir pompalama sistemine ihtiyaç duymamasıdır. Buhar sadece ısı taşıyıcı özelliğinin dışında bazı proseslerde nemlendirme özellikleri için de kullanılmaktadır.

İlk buhar kazanı 1860'da Fransız fizikçi Denis Papin tarafından yapılmıştır. 2 ila 4 atü basınçlı ilk kazanlara karşı günümüzde özel alaşımlı çelikler kullanılarak 300 atü'ye kadar buhar elde edilebilen kazanlar yapılmaktadır. Elde edilen buharın ısı enerjisi; endüstride ısıtma, kurutma ve pişirme işlerinde kullanılırken sahip olduğu potansiyel enerji de buhar türbinlerinde mekanik enerjiye çevrilerek elektrik üretimi, lokomotiflerin ve gemilerin yürütülmesi için kullanılmaktadır.

Buhar kazanlarının işletilmesinde en önemli nokta buhar kazanı içerisindeki su seviyesinin belirli limit değerler arasında tutulmasıdır. Su seviyesinin maksimum limit değerinin üzerinde olması kazan verimini düşürürken minimum limit değerin altına düşmesi de kazanın susuz kalarak aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak kazan tesisatındaki boruların mukavemeti azalarak kırılabilir hale gelmektedir. Ayrıca kızgın olan kazana aniden soğuk besleme suyu verilmesi kazanın patlayarak can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bundan dolayı kazan içindeki su seviyesi sürekli kontrol edilmelidir.

14 Eylül 2009 tarihinde Manisa'nın Turgutlu İlçesi'nde bulunan bir konserve fabrikasında bulunan buhar kazanlarından birinde gaz sıkışması sonucu meydana gelen patlama ile 9 işçi yaralanmış, 600 bin TL'lik maddi hasar oluşmuştur. Yine 2007 yılında Konya'nın Cumra İlçesinde bir fabrikada bulunan buhar kazanının gaz sıkışması sonucu patlamasıyla 2 işçi yaralanmıştır.

## **6.2. Buhar Kazanını Oluşturan Başlıca Elemanlar**

Ocak: Yakacakların uygun bir şekilde yakılarak ısı enerjisinin elde edildiği hacimlere ocak denir. Ocaklar şekil, kapasite ve yakma sistemleri bakımından çok çeşitlidir. Bunlar:

Duvarların konstrüksiyonuna göre;

- Dolu refrakter duvarlı
- Hava soğutmalı refrakter duvarlı
- Su cidarlı

Ocak içindeki basınca göre;

- Dengeli çekme
- Basınçlı
- Aşırı doldurmalı

Yakacak cinsine göre;

- Kömür



- Sıvı
- Gaz
- Artık yakacak yakanlar olmak üzere ve çeşitli yakma sistemlerine göre sınıflandırılırlar.

Izgaralı Ocaklar: Toz kömür yakan ve akışkan yataklı ocakların dışında ,bütün katı yakacakları yakan ocaklarda ızgara vardır. Izgaranın en önemli iki görevi yakacak taşımak ve yanma için gerekli havanın geçmesini sağlamaktır. Bu yüzden yakacak cinsine, baca çekmesine ve ızgara konstrüksiyonuna göre birim ızgara yüzeyinde üretilen ısı enerjisi veya yakıt miktarı belirli sınırlar içerisinde kalmak zorundadır. Izgara yakma işlemi için gerekli havanın geçmesine olanak sağlamalıdır. Izgaralı ocakları elle ve mekanik yüklemeli olmak üzere iki grupta incelenir.

Düz Izgara: Izgara çubukları çelik veya genellikle gri dökümden yapılır. Kömürün arada sıkışmaması için konik kesitli olarak imal edilirler. İnce kömür tanecikleri halinde dalgalı veya lüle profilidirler. Çubuk yükseklikleri alttan gönderilen yakma havası ile etkili bir soğutma yapılabilecek şekilde seçilir.

Sonsuz zincirli ızgara: Bu sistemde ızgara bisiklet zincirine benzer şekilde yapılmıştır. Izgaranın yarısı ocak içinden geçerken, diğer yarısı ocak dışında soğumaktadır. Izgara başta az uçucu maddeli kömürler olmak üzere uygun tane büyüklüğündeki linyit, antrasit vb. gibi her türlü katı yakıtı yakmaya elverişlidir. Kömür belirli kalınlıkta ızgara üzerine dökülür ve ızgaranın hareketi boyunca incelerek yanmasını sürdürür. Işınım yolu ile kömür tabakasını ısıtarak yanmanın iyileşmesini sağlamak üzere çok defa ön ve arka tarafa kemer konulması yoluna gidilir.

Bu ızgara daha çok taş kömür cinsinden kömürler için kullanılır. Linyit kullanılması durumunda kömürün kurummasını ve gazlaşmasını kolaylaştırmak için ön kemer önem

kazanır. Antrasit gibi uçucu maddesi az kömürler kullanılması durumunda ise arka kemer önem kazanmaktadır.

Alttan beslemeli basamaklı ızgaralar: Proje konumuz olan bu tipteki ızgaralarda, diğer ızgaralardan farklı olarak kömür ızgaranın altından verilir. Aşağıdan gelen taze kömür yukarı tarafta kor halinde yanan kömür tarafından ısıtılarak tutuşturulur. Damıtım gazları sıcak kömür tabakasından geçerken iyi bir şekilde karışarak yanarlar. Bu sistemde yakacak bir piston hareketi ile eğimli ızgaranın altından ocağa basılır. Izgara yatayla yaklaşık olarak 20°'lik eğimdedir. Alttan ızgaralı ocakların faydalarının başında değişken ısı yüklerine hemen cevap verebilmesi, ocakta bir tutuşma kemerine ihtiyaç duymamasıdır. Uçan kok kaybını azaltmak için hafif hamurlaşan kömürler tercih edilir. Bu ızgaranın zayıf tarafı ise, uçucu maddesi az olan yakacakları kolay bir şekilde yakamaması ve yüksek sıcaklığa maruz kalması nedeniyle ızgara çubuklarının kısa zamanda aşınmasıdır. Bu ocaklar uçucu maddesi fazla olan yakacaklar için başarı ile kullanılmaktadır. Özellikle A.B.D’ de bu tip beslemeli ızgaralar, zincirli ızgaralara tercih edilmektedir. Bu yüzden çok uçucu madde, az kül, az nem bu ızgara tipine uygun olan kömür özellikleridir. Genellikle uçucu madde en az %15, kül en fazla %15 oranında olmalı, nem oranı %15’ i geçmemelidir. Izgara soğutma oranı düşüktür (1-3 civarında), ısı yük 2300 kW/m<sup>2</sup>, kömür yükleme 120 – 140 kg/m<sup>2</sup>\*h, kömür tabakası kalınlığı 30-70 cm, ızgara yüzeyi yaklaşık 70 m<sup>2</sup> değerlerine kadar çıkabilir. Büyük yüklerde ızgaralar çift yapıp yan yana konur.

Sabit basamaklı ızgaralar: Turba, linyit, odun talaşı gibi düşük ısı değerli yakacaklar için kullanılır. Bu ızgaralar 30-40 derece eğimli olarak konur ve son kısımda düz ızgaradan oluşan bir cüruf ızgaras bulunur.

Kayan Basamaklı Izgara: Sabit basamaklı gibidir, yalnız basamakları oluşturan çubuklar birbiri üzerinde kayarlar. Izgara eğimi 15 derece kadardır.

**Titreşimli Izgara:** Düşük kaliteli linyitlerden iyi cins kömürlere kadar hemen her cinsten kömürü yakmaya elverişlidir. Kömür tabakasını aralıklarla sallayacak şekilde yapılmıştır. Izgara titreşerek kömürü %10-15 eğimli yüzeyde aşağı doğru iter ve iyi bir karışma sağlayarak yanmayı canlandırır.

**Fırlatmalı Izgara:** Bu ızgara tipi önceleri elle yüklemeli küçük ocakların yükleme kapasitesini artırmak için kullanıldıysa da sonraları yüksek yüklü mekanik ızgaralara uygulanmıştır. Bu tip ızgaralarda kömür bir mekanizma veya basınçlı hava yardımıyla ızgara üzerine düzgün bir tabaka oluşturacak şekilde fırlatılır. Bu sırada ince taneler ocakta asılı olarak yanarlar. Büyük taneler ise ızgara üzerine düşüp ince bir tabaka oluşturarak yanmalarına devam ederler. Fırlatma ters yöndedir yani kül ön taraftan alınır. Kömürün tane büyüklüğü önemlidir. Küçük boyutlu kömürler uçan kok kaybını arttırır ancak büyük taneli kömürlerin de fırlatılması zordur. Genelde ince taneli veya ceviz taneli kömür kullanılır.

**Kızdırıcılar:** Asıl ısıtma yüzeylerinden çıkan ıslak buhara sabit basınçta ısı verilerek , buhar çevriminin veriminin arttırılmasının sağlandığı elemandır. Kızdırma sıcaklığı ne kadar artarsa verim o kadar yükselir. Kızma sıcaklığını sınırlayan etken kızdırıcı malzemesinin mukavemetidir. Kızdırıcı tipleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Konveksiyonlu kızdırıcılar
- Radyasyonlu kızdırıcılar
- Kombine kızdırıcılar
- Ayrı ateşlenen kızdırıcılar

Pratikte genellikle büyük su hacimli kazanlar ile az eğimli su borulu kazanlarda yatay ve düşey konveksiyonlu kızdırıcılar, dik su borulu kazanlarda asılı tipten düşey konveksiyonlu kızdırıcılar, radyasyonlu kazanlarda ise radyasyonlu kızdırıcılar veya

kombine kızdırıcılar kullanılır. Buhar kazanlarının asıl ısıtma yüzeylerinden çıkan ıslak buharın kuruluk derecesi 0,95–0,99 arasındadır. Bu ıslak buhara kızdırıcı adı verilen elemanlar içinde sabit basınçta ısı vererek kızdırmak mümkündür. Kızdırma işlemi buhar çevriminin verimini arttırması ve erozyonun azalması bakımından faydalıdır. Kızdırma sıcaklığını sınırlayan etken kızdırıcı malzemesinin mukavemetidir. Genellikle bir kızdırıcının aşağıdaki görevleri yerine getirmesi beklenir.

- Isıl genleşmeleri karşılayabilecek bir konstrüksiyona sahip olmalıdır.
- Yüksek sıcaklık, yüksek basınçtaki ani değişmelere dayanacak malzemedan yapılmalıdır.
- Bağlama yerlerinde conta kullanılıyor ise bunlar zamanla sıcak gazlardan bozulmamalıdır.
- Dış ve iç tarafında biriken kül, kurum ve tortu kolaylıkla temizlenebilmelidir.
- İstenilen bir kızma sıcaklığının ayarı ve otomatik kontrolü kolay olmalıdır.
- Herhangi bir nedenle kızdırıcı içine su sürüklenmesi halinde bu su kolayca boşaltılabilmelidir.
- Mümkün olduğu kadar küçük hacim kaplamalıdır.
- İlk yatırım ve işletme masrafları az olmalıdır.
- Hem duman hem de buhar tarafında basınç kaybı küçük olmalıdır.

Kızdırıcı tipleri: Kızdırıcıların buhar kazanı içine yerleştiriliş yerine göre, konveksiyonlu, radyasyonlu veya her iki durumun karışımı olan kombine kızdırıcı tipleri vardır.

Konveksiyonlu kızdırıcılar: Doğrudan doğruya duman gazlarının yolu üzerine bazen de lokomotif kazanlarında olduğu gibi U şeklinde kıvrılarak büyük çaplı duman boruların içine yerleştirilir. Bunlar 450 C kızma sıcaklığına kadar kullanılabilir.

Radyasyonlu kızdırıcılar: Yüksek basınç, yüksek kızdırma sıcaklığı ve büyük buhar kapasitesi istenen durumlarda kullanılır. Genellikle 30 bar dan büyük buhar basınçları için idealdir.

Bu kızdırıcıların belli başlı üstünlükleri;

Ocak sıcaklığı düştüğü için küller ergime sıcaklığına ulaşamadığından, küllerin yüzeylere yapışarak ısı transferine kötü etkisi biraz daha azalmıştır.

Buhar yüküne göre kızgın buhar sıcaklığı sabit kalır. Ayrıca bu kızdırıcıların yakacak cinsine bağlı olmaması üstünlük olarak söylenebilir.

Kombine kızdırıcılar: Konveksiyonlu ve radyasyonlu kazanların üstünlükleri birleştirilerek kombine kızdırıcılar geliştirilmiştir. İşletme şartları ve buhar gücü değişikçe kızgın buhar sıcaklığının sabit bir değerde kalması üstün bir özelliktir.

Ayrı ateşlenen kızdırıcılar: Bazı işletmelerin özelliği dolayısıyla buharın kızma işlemi kazandan başka bir yerde ayrı ateşlenen bir sistem içersinde yapılır. Bu tip kızdırıcılara ayrı ateşlenen kızdırıcılar denir. Bu kızdırıcılar bir veya daha fazla kazandan beslenebilir. Kızgın buhar sıcaklığı çok hassas olarak ayarlanabilir. Çok düşük basınçlarda yüksek kızma sıcaklığına çıkmak mümkündür. Genellikle sıvı veya gaz yakacak kullanılır. Düşük buhar kapasitesinden dolayı kimya endüstrisi ve petrol rafinerilerinde kullanılabilir.

Ara kızdırıcı: Prensip olara ara kızdırıcılar aynı radyasyonlu ve konveksiyonlu kızdırıcılara benzer yüksek sıcaklığa kadar kızma yaptıklarından duman gazlarının nispetten sıcak olduğu yerlere yerleştirilir. Kurum ve kül birikmesinin daha az olması nedeniyle ısı değeri küçük, kül miktarı fazla yakacaklarda radyasyonlu ara kızdırıcılar daha ekonomiktir.

Sistemdeki toplam buhar debisindeki azalma nedeniyle tekrar kızdırma işleminin üstünlükleri;

- Buhar kazanı boyutları %15–18 azalır.
- Kazan besleme pompası gücü %15–18 azalır pompa boyutları küçülür.
- Yoğuşturucu boyutları %7–8 azalır.
- Yakma kapasitesi %5 azalır.
- Besleme suyu ısıtıcıları boyutları azalır.

Üstünlüklere karşılık sakıncaları;

- Sistemin ilk yatırım maliyeti artar.
- Buhar türbini fiyatı artar.
- Sistemin kontrol ve işletmesi biraz daha güçtür.
- Türbin oturma alanı biraz daha fazladır.
- Boru donanımı biraz daha karışıktır.

Buhar kazanlarında elde edilen buharı kurutmak (kızgın buhar elde etmek) ve sıcaklığı yükseltmek amacı ile kullanılır. Kızdırıcı sayesinde buhar sıcaklığını yükseltmek için

basıncı yükseltmeye gerek kalmaz. Ana buhar çıkışından alınan buhar, istenilen sıcaklığa ve çalışma basıncına bağlı olarak, ikince veya üçüncü duman geçişine yerleştirilir.

Ekonomizör: Kazan besleme suyu, kazanın asıl ısıtma yüzeylerine girmeden önce ekonomizör adı verilen elemanlar içinde duman gazları ile ısıtılabilir. Bu şekilde kazana gönderilen su ile buharlaşmakta olan su arasındaki sıcaklık farkı küçüldüğünden kazandaki ısıl gerilmeler azalır, su içindeki gazların çıkışı kolaylaşır ve kazanın ısı verimi artar. Özellikle yakıt olarak doğal gaz kullanıldığında veya buhar basıncına bağlı olarak baca gazı sıcaklıkları yüksekse tavsiye edilir. Ekonomizör performansını etkileyen faktörlerden biri duman içinde kükürt oksit oranı, dolayısıyla korozyondur. Yakıt ne kadar temizse ekonomizör çıkışında baca gazı sıcaklığı o kadar küçük tutulabilir.

Bir kazandan bacaya verilmek üzere çıkan duman gazları genellikle kazan çalışma rejimi sıcaklığından 40°C ila 80°C daha yüksek olmaktadır. Kazan çalışma sıcaklığı ve buna bağlı olarak kazan duman gazı çıkış sıcaklığı yükseldikçe, duman gazları vasıtasıyla çevreye atılan enerji miktarı da artmaktadır. Bacadan atılan bu atık ısının bir kısmının geri kazanılması, kazan veya sistem verimini yükselterek yakıt tasarrufu sağlayacaktır. Ekonomizerler, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü, bünyelerinde sirküle eden suya aktarmak suretiyle, geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Geri kazanılan bu ısı, kazan besleme suyuna verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, banyo, yıkama vb. amaçlar için kullanılacak suya da verilebilir. Geri kazanılacak ısının hava veya bir gaza aktarılması söz konusu olduğunda ise hava ısıtıcılar kullanılır. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın çalışma rejimine, kazanın bünyesel verimine, kazan-brülör uyumuna ve yakıt cinsine bağlı olarak belli bir büyüklükte olur. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşulları belirler. Bir ekonomizerde geri

kazanılabilecek ısıнын büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının ekonomizlerden çıkış sıcaklığına da bağlıdır. Ekonomizere giren ve çıkan duman gazları sıcaklıkları farkı ne denli büyük olursa geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olur. Ancak korozyona sebep olabilecek asit gazlarının yoğunlaşmasını önlemek için atık gazların sıcaklıklarının belli bir derecenin altına indirilemeyeceği gözönüne alınmalıdır. Bir ekonomizerde, doğal gaz ve benzeri gaz yakıtlı kazanlarda 140°C, motorin, fuel oil ve kömür yakıtlı kazanlarda 220°C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak olanaklıdır. Bir duman gazı ısı geri kazanım sisteminde ulaşılabilir baca gazı sıcaklığının minimum seviyesi, kullanılan yakıtın cinsine bağlıdır. Ekonomizer gaz çıkış sıcaklığı, fuel oil yakıtlı kazanlarda 180°C, motorin yakıtlı kazanlarda 150°C, doğal gaz ve LPG yakıtlı kazanlarda 110°C' ye kadar düşürülebilir.

Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde ekonomizer kullanılmasıyla sağlanacak yararlar şunlardır :

- Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde %3 ile %7 arasında verim artışı sağlanır.
- Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt harcamı için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir.
- Kazanılan ısıнын kazan besleme suyuna verilmesi halinde, kazanın max. yüklerde dahi zorlanmadan çalışması, değişik yüklere daha iyi bir şekilde uyum sağlaması ve kazan veriminin değişik yüklerde nispeten yüksek ve sabit kalması sağlanır.
- Optimal kapasitesinin üzerinde çalışan veya yapısı itibarıyla düşük verimli olan kazanlara ekonomizör ilavesi ile kazan kapasitesi ve verimi optimum düzeylere çıkarılabilir.

Ekonomizör uygulama alanları oldukça çeşitlidir. Önemli olan, sistemden geri kazanılan ısıнын, sistemin çalışma süresi boyunca kullanılmasıdır.



Ekonomizör çeşitleri;

- İntegral Tip Ekonomizörler
- Ayrık Tip Ekonomizörler
- Buharlaştırıcı Ekonomizörler

Hava Isıtıcıları: Hava ısıtıcılarında yakma havası duman gazları ile ısıtılarak, yakıt tasarrufu ve ocakta daha iyi yanma sağlanır. Havanın her 50°C fazladan ısıtılması, yakıtta %2.5 tasarruf sağlar.

Hava Isıtıcıları, ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazanlardan çıkarak bacaya verilen duman gazları üzerinde bulunan ısının bir bölümünü geri kazanmak amacıyla kullanılırlar. Geri kazanılan bu ısı, kazanda yakma havası olarak kullanılan taze havaya verilebileceği gibi, tesiste ısıtma, pişirme, kurutma , vb. amaçlar için kullanılacak havaya da verilebilir. Bir hava ısıtıcısında, kazanda yakılan yakıt cinsine bağlı olmakla birlikte 200°C ve daha büyük duman gazı sıcaklıklarından ekonomik olarak yararlanmak olanaklıdır.

Isı, buhar veya güç üretim tesislerinde hava ısıtıcısı kullanılmasıyla sağlanacak yararlar şunlardır :

- Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde %3 ile %7 arasında verim artışı sağlanır.
- Sağlanan verim artışına bağlı olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt harcamı için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir.
- Özellikle orta ve büyük kapasiteli katı yakıtlı kazanlarda yakma havası olarak ön ısıtılmış sıcak havanın kullanılması ocak sıcaklığını, buna bağlı olarak yanma verimini

ve duman gazlarının radyasyon verimi yükseltir. Ayrıca konstrüksiyonlarının basit, temizliklerinin kolay yapılabilmesi ve yatırım maliyetlerinin düşük olması nedeniyle orta ve büyük kapasiteli katı yakıtlı ön ocaklı kazanlarda hava ısıtıcısı kullanılması özellikle tavsiye edilir.

#### Hava Isıtıcısı Uygulama Alanları:

- Kazan yakma havasının ön ısıtılmasında,
- Kazan dairesine yakın bir mahallin ısıtılmasında,
- Tesiste ısıtma, pişirme, kurutma , vb. amaçlar için kullanılacak sıcak havanın ön ısıtılmasında veya ısıtılmasında kullanılır.

Bir hava ısıtıcısında geri kazanılabilecek ısının büyüklüğü, kazan duman gazı çıkış sıcaklığına bağlı olduğu gibi duman gazının hava ısıtıcısından çıkış sıcaklığına da bağlıdır. Hava ısıtıcısına giren ve çıkan duman gazları sıcaklıkları farkı ne denli büyük olursa geri kazanılan ısı, dolayısıyla verim artışı da o denli büyük olur. Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı, kazanın çalışma rejimine, kazanın bünyesel verimine, kazan-brülör uyumuna ve yakıt cinsine bağlı olarak belli bir büyüklükte olur. Hava ısıtıcısı gaz çıkış sıcaklığını ise, kullanılan yakıtın cinsi ve ısının aktarılacağı akışkanın çalışma koşulları belirler.

#### Hava ısıtıcıları çeşitleri:

- Reküparatif hava ısıtıcıları

##### a) Borulu hava ısıtıcıları

b) Levhalı hava ısıtıcıları

c) Buharlı hava ısıtıcıları

- Rejeneratif hava ısıtıcıları

a) Ljungsrom tipi hava ısıtıcısı

b) Rothemuhle tipi hava ısıtıcısı

Ekonomizörlerde olduğu gibi hava ısıtıcılarında da duman gazları bir miktar daha soğutulurak hem daha fazla yakıt ekonomisi hem de yakma havasının ısıtılmasıyla ocakta daha iyi bir yanma sağlar. Hava ısıtıcılarının üstünlükleri şunlardır;

- Hava ısıtıcına giren hava sıcaklığı ekonomizere giren su sıcaklığından daha düşük olduğundan duman gazları hava ısıtıcısında daha düşük bir sıcaklığa kadar kolaylıkla soğutulabilir.
- Hava ısıtıcındaki basınçlar su ısıtıcına göre çok daha azdır.
- Daha düşük hava sıcaklık kat sayısı ile tam yanmaya yaklaşıldığından yanma verimi artar.
- Küçük yüklerde dahi yakıtın tutuşması kolaydır.
- Tutuşmanın hızlanması daha geniş yük aralığında çalışmayı sağlar.
- Yanmanın iyileşmesi ve ocak sıcaklığının artması kompakt kazanların imalatına imkân verir.
- Sıcak hava ile toz kömür kurutulduğundan taşınması, beslenmesi ve yakılması kolaylaşır.

- Çok nemli testere talaşı, odun zeytinyağı ve pancar atıkları sıcak hava ile kurutularak kolayca yakılabilir.
- Aynı çeşitli bölgelerin ısıtılmasında ve bazı maddelerin kurutulmasında sıcak havadan yararlanılabilir.

Bu üstünlüklere karşılık sakıncaları;

- Havanın ısınması stoker ve ocak duvarlarının refrakterlerinde çabuk bozulmalara neden olduğundan ilave bir bakım masrafı doğurur.
- Sıcak hava içine karışabilen yanıcı tozlar tutuşarak önemli tahribat yapabilir.
- Hava ısıtıcısının mümkün olduğu kadar küçük projelendirilmesi vantilatör ve kanalların uygun dizaynı için dikkatli bir ön çalışma gerekir.
- Hava kaçaklarını karşılamak için vantilatör kapasitesi arttırılır.
- Hava ve duman tarafındaki kaçakların tespiti kolay değildir.

5) BACA: Duman gazlarını kazandan uzaklaştıran ve çekiş sağlayan elemandır.

### **6.3. Yakıtlar**

Yakıldıkları zaman ortama ısı veren maddelere yakıt denir. Yakıtlar cinsine göre katı, sıvı ve gaz olmak üzere üçe ayrılır:

## Katı Yakıtlar

- Antrasitler: Yoğun ve serttir, parlak siyah renklidir, tabakalar taşımaz ve homojendirler.
- Taş kömürleri
- Linyitler
- Turbalar
- Odunlar
- Kok ve semikok
- Taş kömürü ve linyit briketleri

## Sıvı Yakıtlar

Buhar üretimi için en yaygın kullanılan sıvı yakıt, yakıt yağı (fuel-oil)'dir. Sıvı yakıtlar genelde ham petrolün damıtılmasıyla elde edilen ürünlerdir. Ham petrol bitki ve hayvan fosillerinin milyonlarca yıl toprak altında kalması ve bu arada bir takım bakteriyolojik etkilerle değişime uğraması sonucu oluşmuş siyah renkli yanıcı bir sıvıdır. Sıvı yakıtlara teknikte yakıt yağları da denir.

- Yakıt yağları-fuel oil
- Bitkisel yağlar-Biyodizel, alkol
- Fuel-oil; ticari olarak 6 dereceye sınıflandırılmıştır.
- 1-2-3 dereceli yağlar; Ön ısıtmaya gerek duyulmayan yakıtlar
- 4-5-6 dereceli yağlar; Viskozitesi yüksek olduğundan ön ısıtmaya gerek duyulur.

4 nolu yakıtlar kalorifer yakıtı olarak evlerde kullanılabilir. 6 nolu yakıtlar en ağır ve en ucuz olan yakıtlardır. Çevreye çok fazla zarar verdiklerinden kullanımı uygun değildir.

#### Gaz Yakıtlar

Gaz yakıtlar, kontrol kolaylığı, hemen hiç katı atık bırakmayışı ve çok az hava fazlalığına gerek duyulması sebebiyle ideal yakıtlardır. Bu yakıtların en önemli bilinmesi gereken özellikleri, bileşimleri, ısı değerleri ve yoğunluklarıdır. Eğer kullanım yerinde var ise; denetim kolaylıkları, hiç katı atık bırakmayışları, çok az hava fazlalık katsayısına gerek duymaları, kullanım yerlerinde kükürt içermeyişleri gibi nedenlerden dolayı en uygun yakıttır. Hava gazı, su gazı gibi yapay olanları ile ham petrolün damıtılmasından üretilen sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve doğal gaz çeşitleri vardır.

Doğalgaz: Esas içeriği metan ve etan gazıdır. Kükürt miktarı olmayan tek yakacaktır. Çevreci bir yakıttır. Renksiz ve kokusuzdur. Doğal gaz; metan, etan, propan gibi hafif moleküler ağırlıklı karbonlardan oluşan renksiz, kokusuz ve havadan hafif bir gazdır. Petrol ve gaz yataklarının üst kısmından toplanır. En önemli özelliği temiz bir yakıt olması ve çevreyi kirletmemesidir. Gaz halinde olması nedeniyle hava ile daha iyi bir karışım oluşturarak kolay yanar, tam yandığında mavi bir alev oluşturur. Pratikte yakacak olarak kullanılan doğal gazın bileşimi: metan  $CH_4$  (%70-96), etan  $C_2H_6$  (%114), propan  $C_3H_8$  (%0-4), bütan  $C_4H_{10}$  (%0-2), pentan  $C_5H_{12}$  (%0-0,5), hekzan  $C_6H_{14}$  (%0-2), karbon dioksit  $CO_2$  (%0-2), oksijen  $O_2$  (%0-1,2) ve azot  $N_2$  (%0,4-17) gazlarından oluşur.

LPG: Sıvılaştırılmış petrol gazıdır. İçersinde bütan ve propan bulunur. 1 atm basıncında gaz halinde olup yüksek olmayan basınç altında sıvı hale geçerler. Havadan daha ağır bir gazdır.

#### **6.4. Buhar Kazanlarının Emniyet Ve Kontrol Elemanları**

Basınç kontrol elemanları:

- Emniyet Vanaları
- Presostatlar

Su seviye kontrol elemanları:

- Manyetik seviye göstergeleri
- Kazan Besi Pompaları
- Tağdiye

Isı kontrol elemanları:

- Termostatlar

Göstergeler:

- Manometreler
- Termometreler
- Su seviye göstergeleri
- Hidrometre

## 6.5. Buhar Kazanı Çeşitleri

### 1) Doğal Dolaşimli Kazanlar

- Alev Borulu Kazanlar; yakıtın yanmasıyla oluşan kızgın gazlar, borular içinden geçer ve buharlaştırılacak su borularının dışında bulunursa böyle kazanlara alev borulu kazanlar denir. Değişken olmakla birlikte kazanın 2/3'ü su, 1/3'ü ise buhar hacmi olarak düzenlenir.

Alev borulu kazanların başlıca özellikleri şunlardır:

- Su hacminin büyük oluşu nedeniyle önemli miktarda suyu depo ederler.
- Tüm buhar kazanlarında en önemli kontrol ve denetim noktası su seviyesidir.
- Yakıtların yakıldığı külhan veya ocağın bir tarafı dışında tümü suyla çevrili olması nedeniyle ısı kayıpları az ve kazan verimi yüksek olur.
- Her zaman için yumuşatılmış su kullanılması önerilir.
- Isıtma yüzeyleri küçük en fazla 250 m<sup>2</sup> dolaylarında ve saatte ürettikleri buhar miktarı 7,5 ton civarındadır. Isıtma yüzeyi ocakla baca arasında akan gazların içinde temas ettiği yüzeylerdir.
- Buhar tutma süreleri çok uzundur, buhar rezerv haznesi fazla olduğu için ani çekişlerde ve ara duruşlarda tekrar tam yüke girme süreleri kısadır.
- Ürettikleri buharın basınç ve sıcaklığı düşüktür. Bu basınç maksimum 30 bar işletme basıncına kadar üretilmektedirler.

Çalışma prensibi: Katı veya sıvı yakıtlar ocakta yakılır. Oluşan kızgın gazlar yanmamış karbon partikülleri ile beraber yanma odasına gelirler. Burada karbon parçacıkları da yanar. Bu bakımdan yanma odası ocaktan sonra kazanın en sıcak yeridir. Yanma odası ve ocağın etrafı tamamen suyla çevrilidir. Isısını suya veren gazlar alev ve payanda borularından geçerek duman sandığına gelirler. Daha sonra baca yoluyla atmosfere atılırlar.



Alev borulu kazanlar;

- Ters alev borulu kazanlar,
- İki taraftan fayraplı zıt alev borulu kazanlar,
- Doğru alev borulu kazanlar olarak üçe ayrılırlar.

- Su borulu kazanlar; yüksek sıcaklık ve basınçtaki büyük buhar üretimleri ile sanayi tesislerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Su borulu kazanda, yanma ürünü alev ve duman, içinde su bulunan boruların etrafından geçer. Su boruları genel su kanalları (dom) vasıtasıyla birbirine bağlanır. Günümüzde modern kazanlar tek veya iki domlu olarak da yapılır. Boru demetleri arasına yanma ürünü gazlara yön verici perdeler yerleştirilir. Perdeler vasıtasıyla yanma ürünü gazlar, su borularına dik veya paralel birkaç geçiş yaparlar. Isılarının büyük bir kısmını borularda bırakarak bacadan kazanı terk eder. Isınarak yoğunluğu azalan su ile kaynama sonucunda meydana gelen buhar yükseltici boru demetlerinden üst domda doğru çıkarken, daha yoğun olan soğuk su aşağı iniş boru demetlerinden çamur domuna iner. Üst dom da su ve buhar karışımı birbirinden ayrılır. Buhar içindeki su zerrecikleri de nem tutucularında tutulur. Daha sonra buhar kızdırıcılara geçer. Kızdırıcılardan çıkan buhar istenilen sıcaklığa ayarlanarak prosese gönderilir.

- Cebri Su Sirkülasyonlu Kazanlar; bazen su borulu kazanlarda, suyun normalden çok daha hızlı sirküle edilmesi istenir. Böyle durumlar için su borulu kazanlardan bazıları bir cebri su sirkülasyon pompası ile takviye edilmiştir. Boruların yerleşimi dom sayısı ve oryantasyonuna göre su borulu kazanlar yaygın olarak D tipi, A tipi ve O tipi kazanlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunlarla ilgili aşağıda bazı bilgilere yer verilmiştir:

- D Tipi Kazanlar; D tipi kazanlar altta bir dom ve üstte bir domdan oluşmaktadırlar. Kazan taban kısmında borulardan oluşmaktadır ve daha küçük ebatlarda daha yüksek kapasite sağlanabilmektedir.

- A Tipi Kazanlar; A tipi kazanlarda altta iki adet dip dom ve üstte bir adet dom bulunmaktadır. Ocak büyüklüğü gerektiği gibi artırılabilir. Alt kısmındaki açıklıkta refrakter ve izole malzeme kullanılmaktadır.

- O Tipi Kazanlar; üstte ve altta aynı düzlemde iki dom bulunmaktadır. O tipi kazanlar ebatları bakımından daha küçük kazanlar olup özellikle nakliye kolaylığı bakımından kiralık kazan sistemlerinde tercih edilmektedirler. Yüksek verimli ve kompakt yapıları sayesinde tercih edilen kazanlardır.

- Alev Duman Borulu Kazanlar; alev duman borulu kazanlarda, yanma sonucu ortaya çıkan sıcak alev ve duman gazları boruların içerisinden sevk edilir ve bu esnada boruların etrafındaki suyun sıcaklığı yükseltilir ve kaynama ile birlikte buhar elde edilir. Genelde 30 t/h ve 30 bar işletme değerlerinin üzerine çıktığında bu tip kazanların kullanılması yaygın değildir. Piyasada yaygın olarak kullanılan alev duman borulu kazan tiplerinden, üç geçişli (skoç tip) ve üç geçişli yarım silindirik kazanlardan ve iki geçişli radyasyon tipi kazanlardan aşağıda kısaca bahsedilmiştir.

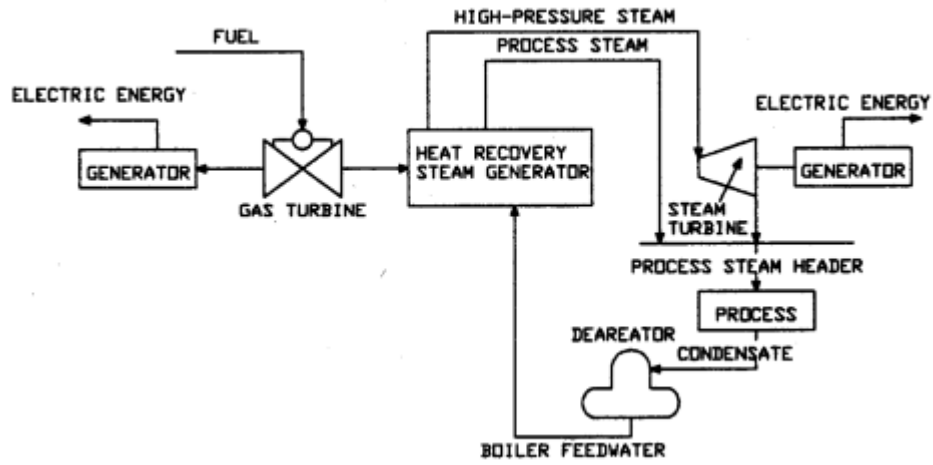
- Üç Geçişli Skoç Tip Buhar Kazanları; işletme verimi ve uzun dayanıklılığı ile bu tip kazanlar bütün dünyada yıllardır en yaygın olarak kullanılan ve tercih edilen kazanlar olmuşlardır. Alev duman gazlarının kazan içerisinde üç geçiş yapması dolayısıyla baca çıkış gazları sıcaklığının düşürülmesi ve ısıtma yüzeyinin yeterli büyüklükte olması bu kazanların verimliliğini ön plana çıkarmıştır. Ayrıca cehennemlikli yapısı ile kazanın tamir edilebilme özelliği vardır. Bu sayede yıllar içerisinde oluşacak eskime

ve aşınmalar giderilmekte ve kazan çalışmaya devam edilebilmektedir. Bu tip kazanlarda katı, sıvı ve gaz yakıt kullanmak mümkündür.

- Yarım Silindirik Tip Buhar Kazanları; özellikle katı yakıt kullanılan tesislerde ve işletme basıncı 5 bar'a kadar olan yerlerde en uygun kazan tipi, yarım silindirik kazanlardır. Geniş yanma ocağı ve ızgara yüzeyi ile katı yakıtta sorunsuz ve verimli yanma sağlar. Ayrıca sıvı veya gaz yakıtı çevrilmeleri mümkündür.

## **6.6. Kojenerasyon**

Primer yakıt rezervlerinin azaldığı ve global rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak, kaçınılmaz olmuştur. Kojenerasyon, yada birleşik ısı güç üretimi (CHP sistemleri) birincil enerjinin aynı anda sırasıyla iki enerji formunun ısı ve elektrik üretiminde kullanılmasıdır. Bu birliktelik, iki enerji formunun da tek tek kendi başlarına ayrı yerlerde üretilmesinden daha ekonomik neticeler oluşturmaktadır. Basit çevrimde çalışan, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motoru kullandığı enerjinin %30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Bu sistemin kojenerasyon şeklinde kullanılması halinde sistemden dışarıya atılacak olan ısı enerjisinin bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülebilir. Ya da ısı enerjisi olarak kullanılması durumunda toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilmektedir. Bu tekniğe "birleşik ısı-güç sistemleri" ya da kısaca "kojenerasyon" diyoruz.



Birleşik Isıl Güç Çevirimi (Kojenerasyon) Örneği

## 6.7. Referanslar:

SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6.Cilt, 2.Sayı Temmuz 2002

Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları Kitabı, Birsen Yayınevi, 2007

Selçuk Üniversitesi, İkincil Yakma Havaasının Katı Yakıtlı Kazanın Isıl Performans Ve Emisyonuna Etkilerinin Araştırılması, Aralık 2013

AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2009-01 71-77

Masaryk Üniversitesi Industrial Energy Management Ders Notları

Türk Tesisat Mühendisleri Derneği Dergisi, Sayı 8

Helsinki University of Technology Department of Mechanical Engineering, Energy Engineering and Environmental Protection Publications Steam Boiler Technology eBook, 2008

Journal of the Air Pollution Control Association, Technical Manual on Single Retort Underfeed Stokers, 2012

The Design And Operation Of Underfeed Stokers By H. F. Lawrbnch, Philadelphia, Pa.

Steam, Its Generation and Use, Babcock & Wilcox, McDermott Company.

Steam Turbine Cogeneration, Keith Quach Gordon Robb PERRL Manager President Environment Canada COGEN CHP Canada Association Ottawa, Ontario 2015

The Economics Of Back-Pressure Steam Turbines, Ewan Choroszylow and Joseph R. Wagner, Mechanical Technology Incorporated, Latham, New York

Boiler (Engineering Design Guideline), KLM Technology Group, December 2011.



## **7. EKLER**

## Ek 7.1. Mollier Tablosu

