

22167

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

KONİK HALKA YÜZEYLİ TÜRBÜLATÖRLERİN  
KAZAN VERİMİNE ETKİLERİ

Mak. Müh. Cevdet DEMİRTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce  
"Makina Yüksek Mühendisi"  
Ünvanının Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

Tezin Enstitüye Veriliş Tarihi :

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 28.8.1982

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Teoman AYHAN

Jüri Üyesi : Prof.Dr.Tahir YAVUZ

Jüri Üyesi : Doç.Dr.Orhan DURGUN

Enstitü Müdürü : Doç.Dr. Temel SAVAŞKAN

*T. Ayhan*  
*P. Yavuz*  
*O. Durgun*  
*T. Savaşkan*

TEMMUZ - 1992

TRABZON

F.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

## ONSÖZ

Çağımızda enerji tasarrufu üzerinde yapılan çalışmalar, azalan enerji kaynakları karşısında gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmalarda ısı ihtiyacını karşılayabilmek için kullanılan kazanlarda verim, çok önem kazanmıştır.

Ele alınan bu çalışma, kazanların daha verimli hale gelmesine yönelik yaklaşımları incelemekte, bu amaçla kurulu sistemlerdeki kazanların verimlerine ilave bir işletim masrafı getirilmeden, kazan duman boruları içerisine türbülötörler yerleştirilerek kazan verimini arttırmak, bu çalışmanın başlıca amacını teşkil etmektedir.

Dileğimiz, bundan sonraki çalışmalara ışık tutmak, eksiklik ve kusurlarının giderilmesi ile, yapılacak yeni araştırmaları daha ileri seviyelere götürerek, ülke ekonomisine katkıda bulunmaktır.

Sunulan bu çalışma süresince her türlü maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sayın danışman hocam Doç. Dr. Teoman AYHAN'a, Araş. Gör. Hasan KARABAY'a, Araş. Gör. Mustafa S. DUMAN'a ve ayrıca termodinamik laboratuvarı teknisyenlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Temmuz, 1992

Cevdet DEMİRTAŞ

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	11
İçindekiler.....	111
Notasyon Listesi.....	v1
Ek Listesi.....	v111
Özet.....	1x
Summary.....	x
BÖLÜM.1 GİRİŞ.....	1
BÖLÜM.2 BUHAR KAZANLARI.....	4
2.1. Buhar Kazanlarının Dizaynında ve Seçiminde Gözönünde Tutulması Gereken Etkenler.....	4
2.1.1. Emniyet.....	4
2.1.2. Şekil, Hacim ve Ağırlık.....	4
2.1.3. Temizleme İmkanları.....	4
2.1.4. Verim.....	4
2.1.5. Yakacak Karakteristikleri.....	5
2.1.6. Buhar Kapasitesi ve Buhar Şartları.....	5
2.1.7. Ekonomik Analiz.....	6
2.2. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması.....	6
2.2.1. Büyük Su Hacimli Kazanlar.....	7
2.2.1.1. Alev Borulu Kazanlar.....	8
2.2.1.2. Duman borulu Kazanlar.....	9
2.2.1.3. Alev-Duman Borulu Kazanlar.....	11
2.2.2. Su Borulu Kazanlar.....	13
2.2.2.1. Kasalı Az Eğimli Su Borulu Kazanlar.....	14
2.2.2.2. Seksiyonlu Az Eğimli Kazanlar.....	14
2.2.2.3. Dik Su Borulu Kazanlar.....	15
2.2.2.4. Radyasyonlu Kazanlar.....	16
2.2.2.5. Paket Tipi Su Borulu Kazanlar.....	18

2.2.2.6. Gemi Tipi Su Borulu Kazanlar.....	19
2.2.3. Özel Buhar Kazanları.....	19
<b>BÖLÜM.3 KAZAN VERİMİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>21</b>
3.1. Genel Bilgi.....	21
3.2. Isı Transferini İyileştirme Teknikleri.....	22
<b>BÖLÜM.4 DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>28</b>
4.1. Deneyin Amacı.....	28
4.2. Deney Düzenineğinin Tanıtılması.....	28
4.2.1. Deney Kazanı ve Özellikleri.....	28
4.2.2. Deney Tesisatının Diğer Elemanları.....	31
4.2.2.1. Yakıt Sistemi Elemanları.....	31
4.2.2.2. Baca ve Çekiş Sistemi.....	32
4.2.2.3. Kazan Suyu Sirkülasyon Sistemi.....	32
4.2.2.4. Ölçme ve Kontrol Sistemleri.....	33
4.3. Türbülatorlerin Tanıtılması.....	34
4.4. Deneylerin Yapılışı.....	36
4.5. Ölçümler.....	37
<b>BÖLÜM.5 HESAPLAMALAR.....</b>	<b>41</b>
5.1. Hava Fazlalık Katsayısının Hesabı.....	41
5.1.1. Kazan Yakıtı ve Özellikleri.....	41
5.1.2. Hava Fazlalık Katsayısı.....	42
5.1.3. Yanmaya İştirak Eden Hava ve Baca Gazı Miktarı	43
5.2. Termodinamiğin I. Kanun Verimi.....	43
5.3. Dolaylı Yoldan Verim ve Kayıpların Hesabı.....	44
5.3.1. Yanma Kaybı.....	44
5.3.2. Artık Kayıplar.....	44
5.3.3. Baca Gazı Kayıpları.....	46
5.4. Termodinamiğin II. Kanun Verimi.....	47
<b>BÖLÜM.6 SONUÇLAR.....</b>	<b>51</b>

KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	62



## NOTASYONLAR

$H_u$	[Kj/kg]	: Yakıtın alt ısıl değeri
$CO_{2max}$	[%]	: Baca gazındaki maksimum $CO_2$ oranı
$L_{min}$	[Nm <sup>3</sup> /kg]	: Yanma için minimum hava miktarı
$V_{min}$	[Nm <sup>3</sup> /kg]	: Minimum baca gazı miktarı
$L_u$	[Nm <sup>3</sup> /kg]	: Fazla hava miktarı
$L$	[m <sup>3</sup> /h]	: Yanmaya iştirak eden hava miktarı
$V_{hesap}$	[m <sup>3</sup> /h]	: Hesaplanan baca gazı miktarı
$V_{ölç}$	[m <sup>3</sup> /h]	: Ölçülen baca gazı miktarı
$\lambda$		: Hava fazlalık katsayısı
$m$	[kg/h]	: Sikülasyon suyunun kütleşel debisi
$c_p$	[kj/kg <sup>°</sup> K]	: Özgül ısı
$T_{ç}$	[°C]	: Kazan suyu çıkış sıcaklığı
$T_g$	[°C]	: Kazan suyu giriş sıcaklığı
$T_{cort}$	[°C]	: Kazan yüzeyi ortalama sıcaklığı
$T_0$	[°C]	: Ortam (referans) sıcaklığı
$T_a$	[°C]	: Baca gazı sıcaklığı
$B_h$	[kg/h]	: Yakıtın kütleşel debisi
$Q_x$	[kj/kg]	: Yüzey ısısı
$Q_{su}$	[kj/kg]	: Kazan suyu ısısı
$v_r$	[%]	: Artık kayıp
$v_f$	[%]	: Yanma kaybı
$v_a$	[%]	: Baca gazı kaybı
$\alpha_{ort}$	[kj/m <sup>2</sup> h <sup>°</sup> C]	: Ortalama yüzey ısı geçiş katsayısı
$Z$		: Baca kayıp faktörü
$F_x$	[m <sup>2</sup> ]	: Kazan toplam dış yüzeyi
$\Delta E_{BG}$	[kj/kg]	: Baca gazı ekserjisi
$\Delta E_{su}$	[kj/kg]	: Suyun ekserjisi
$\Delta E_{Qx}$	[kj/kg]	: Yüzey ısısı ekserjisi
$E_{kayıp}$	[kj/kg]	: Kayıp ekserji
$H$	[kj/kg]	: Entalpi

$H_0$	[kj/kg]	: Referans ısısının entalpisi
$S$	[kj/kgK]	: Entropi
$S_0$	[kj/kgK]	: Referans ısısının entropisi
$\eta_D$	[%]	: Dolaylı yoldan kazan verimi
$\eta_I$	[%]	: I. kanun verimi
$\eta_{II}$	[%]	: II. kanun verimi
$B$	[kj/kg]	: Kullanılabilirlik (Availability)
$E_H$	[kj/kg]	: Entalpinin ekserjisi
$E_k$	[kj/kg]	: Kimyasal ekserji
$\mu_{i0}$	[kj/kmol]	: Kimyasal potansiyel
$n_i$	[kmol]	: Mol sayısı
$P$	[Pa]	: Basınç



EK LİSTESİ

Ek.1. Ekserji Analizi..... 55





## ÖZET

Bu çalışmada, konik halka yüzeyli türbülatorlerin 90/70 lik buhar kazanlarındaki uygulamaları ele alınmıştır. Bu uygulamalarda kazan veriminin araştırılması ve enerji tasarrufunun gerçekleştirilmesi araştırmanın temel hedefi olmuştur.

K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Laboratuvarında bulunan duman borulu sıcak su kazanında türbülatorsüz olarak yapılan deneyler için kazan verimi ve termodinamiğin II. kanun verimleri hesaplandıktan sonra, aynı çalışma şartlarında kazanın türbülatorlü çalışmasına ait elde edilen kazan verimleri ile termodinamiğin II. kanun verimi hesaplanarak kazanın türbülatorlü ve türbülatorsüz çalışma şartlarındaki kazan verimi ve termodinamiğin II. kanun verimleri karşılaştırılmıştır.

Deneylerde kullanılan konik halka yüzeyli türbülatorlerin eğim açısı  $14^{\circ}$  ile  $20^{\circ}$  seçilmiştir. Kazanda duman borusu içine yerleştirilen türbülator sayısı 200 adet olup, yerleşim düzenleri akış istikametinde genişleyen pozisyonadadır.

## SUMMARY

### THE EFFECTS OF CONICAL TURBULATORS ON THE EFFICIENCY OF AN OIL-FIRED BOILER

In this study, the applications of conical "turbulator" inserts for (90/70) smoke tube boilers are studied. In all of these applications, improved efficiency and reduced energy consumption are continuing goals.

This thesis describes experiments conducted at the Karadeniz Technical University, Heat Transfer Laboratory, to determine the first law and the second law efficiencies of an oil-fired boiler, for the cases of with and without inserts (turbulators) in the same operating conditions, and the results compared.

The slope angles of the conical turbulators used in the experiments are chosen to be  $14^{\circ}$ - $20^{\circ}$ . The number of the turbulators which are inserted in the tube of smoke are 200. Their installation position in smoke tube, are kept in periodically enlarging construction, in accordance with flow direction.

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Tarihi belgelerden ilk buhar kazanının ve buhar türbininin 1.Y.Y. da İskenderiye'li Hero tarafından yapıldığı bilinmektedir. Bu cihaz o yıllarda teknik imkansızlıklar nedeniyle bir güç üretimi aracından çok oyuncak olmaktan ileri gide-memiştir. Buhar kazanı pratikte etkin olarak ilk defa 17.Y.Y. sonlarında, 18.Y.Y. başlarında görülmeye başlanmıştır. 1679'da Denis Papin'in, 1698'de Thomas Severy'in, 1720'de Haycock'un cihazları bu konuda ilk örneklerdir. 1769 yılında James Watt, 1766 yılında William Blaky'nin çalışmaları vardır, [1].

Buhar kazanları bir katı, sıvı veya gaz yakıtın yakılmasıyla meydana gelen ısıdan yararlanılarak su veya diğer sıvıdan istenilen sıcaklık ve basınçta buhar elde etmeye yarayan kapalı bir kaptır.

Elde edilen buharın ve suyun ısı enerjisi ısıtmada, endüstride (tekstil, kağıt, kimya, gıda vb.) pişirme ve kurutma gibi işlerde ya da sahip olduğu potansiyel enerji buhar makineleri veya buhar türbinlerinde mekanik enerjiye çevrilerek çeşitli işlerde kullanılır.

Isı transferi ve akışkanlar mekaniğindeki araştırmalar, büyük kapasitedeki yakacakların verimli bir şekilde yakılabilme imkanlarının doğması, çelik ve çelik alaşımlarındaki gelişmeler ve imalatın daha hassas kontrol edilebilmesi buhar kazanlarının son yıllardaki gelişmelerine büyük katkılar sağlamıştır. Günümüzde bu dallardaki araştırmalar ile çok yüksek basınç, sıcaklık ve buhar kapasitelerine çıkmak mümkün olabilmektedir.

Buhar kazanlarının imalatında ve işletilmesinde karşılaşılan üç ana problem, kazanların emniyetli, çevreyi

kirletmeden ve verimli çalıştırılabilmesidir. Buhar kazanı imalatçısı ve işletmecisi olan mühendisler, bu üç konuyu daima göz önünde tutmalı, bunların birbirine olan ters etkilerini azaltmaya çalışmalıdır.

Ülkemizin ihtiyaç duyduğu enerjinin önemli bir kısmı dış alımla sağlanmaktadır. 2010 yılında toplam enerji tüketimimizin %50'ye yakın kısmının dış alımla sağlanması beklenmektedir. Bu durumda enerjide ve yakıt tüketimindeki tasarrufun ülke ekonomisi açısından önemi tartışılmayacak kadar açıktır. Buna ek olarak bugün için kullanılan yakıtlar fosil kökenli olup dünyada belirli miktarlarda bulunmaktadır. Miktarlarındaki azalmaya paralel olarak fiyatlar da artmaktadır. Dolayısı ile yakıtların verimli kullanılmaları hem vatandaşlık hem de insanlık görevidir, [2].

Bu nedenle ülkelerin enerji tasarrufu ve enerji ekonomisi üzerinde yaptıkları çalışmalar çok önem kazanmıştır. Fosil kökenli yakıtların kullanıldığı kazanlarda, kazan veriminin iyileştirilmesiyle enerjinin daha ekonomik kullanılmasının sağlanması yanında, enerji tasarrufu da gerçekleşmiş olacaktır. Kurulu sistemlerdeki kazanlara ilave bir işletme masrafı getirmeden, kazan veriminin iyileştirilmesinin yollarından biri de kazan duman borularının içerisine türbülötörler yerleştirmektir, [3],[4].

Kazan verimini iyileştirme tekniklerinde uygulanan yöntemin, sadece enerji bilançosu yönünden değil, enerjinin kullanılabilir kısmından yararlanma açısından da analizi gerekli olmaktadır. Bu yolda harcanan her çaba makina boyutlarının büyümesi ve ilk yatırım harcamalarının artması ile sonuçlanır (örneğin; ısı alış verişlerinin tersinir bir şekilde gerçekleşebilmesi için ısı transfer yüzeylerinin sonsuz büyük olması gerekir). En ekonomik çözüm yolunun bulunabilmesi için işletme giderlerinin ilk yatırım harcamaları ile birlikte göz önünde bulundurulması ve sistemde yapılacak değişikliklerin en fazla etkili olduğu noktaların tespitinin zorunluluğu vardır. Bunun için de süreçlerdeki tersinmezliklerin belirlenmesi ve bunların kullanılabilir enerji kaybına ne ölçüde katkıda bulduklarının belirlenmesine ihtiyaç duymaktadır. Bunun

yapılabilmesi için herşeyden önce verilmiş halde bulunan sistemin iş potansiyelinin, diğer bir deyişle sistemden elde edilecek maksimum iş miktarının belirlenmesi gerekir, [5].

Buhar kazanlarında termik verim günümüzde termodinamiğin birinci kanununa göre hesap edilmektedir. Bütün bunları göz önünde bulundurarak gerçekte, enerjinin miktarı kadar kalitesinin ve kullanımının da önemli olduğu düşünülecek olursa, termodinamiğin ikinci kanununa göre de verim hesabı yapmak gerekir. Bütün proseslerde optimal tasarıma gidilmesi gerekir. Optimal tasarıma ise termodinamiğin ikinci kanununa göre analiz ile ulaşabilmek mümkündür.

Yapılan çalışmada K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarında geliştirilen türbülatorün, fosil yakıtlı sıcak su kazanının verimine etkileri termodinamiğin I. kanunu ve termodinamiğin II. kanunu açısından araştırılmıştır.

## BÖLÜM 2

### BUHAR KAZANLARI

#### 2.1. Buhar Kazanlarının Dizaynında ve Seçiminde Göz Önünde Tutulması Gereken Etkenler

##### 2.1.1. Emniyet

Diğer basınçlı kaplarda olduğu gibi, buhar kazanlarının projelendirilmesi, imalat ve işletmesi için çıkarılmış standartlara, şartnamelere ve kurallara kesin bir şekilde uyulmalıdır.

##### 2.1.2. Şekil, Hacim ve Ağırlık

Buhar kazanları konulacağı hacim ile uyum içinde, binanın mimarisine uygun olmalıdır.

##### 2.1.3. Temizleme İmkanları

Buhar kazanlarında hem su, hem de duman gazları tarafında zamanla biriken kireç taşı, kurum, kül gibi maddeler ısı transferine olumsuz etki eder. İşletmenin iyi olması ile bu birikintiler kısmen önlenebilirse de kazanların yüzeylerinin hem duman tarafından hem de su tarafından kolayca temizlenebilecek şekilde projelendirilmesi gerekir.

##### 2.1.4. Verim

İşletme giderlerine en büyük etkiyi yapan yakacak sarfiyatının küçük olması, kazan veriminin büyük olması ile

sağalanabilir. Buhar kapasitesinin çok değişken olduğu işletmelerde kullanılan kazanlarda, buhar kapasitesine göre kazan ısı veriminin fazla değişmemesi de tercih edilir.

### 2.1.5. Yakacak Karakteristikleri

Buhar kazanı tipinin seçiminde en önemli etkenlerden biri de yakacak karakteristikleridir. Sürekli temin edilebilecek yakacak ile birlikte bu esas yakacağın yerine geçebilecek ikinci bir yakacak da göz önüne alınmalıdır. Seçilen yakacağa göre sistemin ekonomiklik analizinin yapılmasından başka, yakacağın yakılmasındaki kolaylık, işletmede meydana getirebileceği sorunlar ve çevreye verebileceği olumsuz etkiler de incelenmelidir. Yakacak cinsi belirlendikten sonra bu yakacağın yakılabileceği en uygun ocak ve yakıcı sistemleri araştırılmalıdır.

### 2.1.6. Buhar Kapasitesi ve Buhar Şartları

Buhar kapasitesi, buhar kazanı tipini belirleyen en önemli etkenlerden biridir. Tablo 2.1, buhar kapasitesine ve buhar kızma sıcaklığına göre kazan tipinin seçiminde diğer etkenler de (basınç, verim ve kullanma alanı) göz önüne alınmak şartıyla bu konuda bir fikir verebilir, [1].

Tablo-2.1. Buhar kapasitesine, basınç, kızma sıcaklığına ve kullanma alanına göre çeşitli kazan tipleri.

Kazan Tipi	Buhar kapasitesi (t/h)	Maksimum tasarım basıncı (bar)	Maksimum buhar kızma sıcaklığı (°C)	Tipik verim	Kullanma alanı
Alev-duman borulu	0.1-10	> 20	Doymuş buhar	Katı yakacak: 0.7 Sıvı yakacak: 0.80 Gaz yakacak: 0.90	Isıtma, iklimlendirme, pişirme: $p \leq 1.5$ bar Fabrika proses buharı: $1.5 \leq p \leq 20$ bar
Az eğimli su borulu	0.5-15	>30	Doymuş veya 30-40°C kızmış	Katı yakacak: 0.75 Sıvı yakacak: 0.85	Fabrika proses buharı
Dik su borulu	0.5-100	<30	500°C	0.80-0.90	Fabrika proses buharı, buhar türbini
Radyasyonlu	20-1000	100-160	650°C	0.90	Termik santral, gemi, büyük işletmeler
Özel	6-1000	30-220	650°C	0.80-0.90	Özel kullanımlar için

### 2.1.7. Ekonomik Analiz

İşletmeye konulacak kazan tipi ve sayısı sistemin ekonomik analizini çok etkiler. Kazan verimini artırıcı yönde etki eden ancak bir yatırım masrafı gerektiren su ısıtıcısı, hava ısıtıcısı gibi elemanların kazana ilave edilip edilmemesi hususunda ekonomik bir analiz gereklidir. İşletmenin yük durumuna göre buhar kazanının sayısının seçimi önemlidir. Buhar yükünün zamanla fazla değiştiği işletmelerde birden fazla kazan konulması uygun bir çözümdür. Sistemde yedekleme ve pik durumlar göz önüne alındığında, kazan veriminin en uygun olduğu %60-100 yük durumları için; 1- her bir kazanın, işletmenin normal buhar ihtiyacının 2/3 değerini karşılayacak şekilde iki adet, 2- her bir kazanın, işletmenin maksimum buhar ihtiyacının 1/3 değerini karşılayacak şekilde üç adet, olarak kazan sayısı seçimi yapılır. İşletme açısından büyük kolaylıklar getiren bu seçimlerin, büyük kapasiteli tek bir kazan yerine aynı toplam kapasiteyi verecek iki kazan olması durumunda %15-25 daha pahalı olduğu unutulmamalıdır. Ayrıca 40 bar basınç, 400°C kızma sıcaklığında çalışan bu buhar kazanı, 15 bar basınçta, 250°C kızma sıcaklığında çalışan bir buhar kazanından %40-50 daha pahalıdır. Bu teknik hususlar, ekonomik analizde muhakkak göz önünde bulundurulmalıdır, [1].

### 2.2. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması

Buhar kazanlarını, kullanım yerlerine göre; sabit, hareketli, deniz tipi, kara tipi, yakacak tiplerine göre; katı, sıvı, gaz, toz kömür yakanlar ve basıncına göre; alçak, yüksek, kritik üstü basınçlı şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Tarihsel gelişme göz önüne alınırsa literatürde de belirtildiği gibi, buhar kazanları, büyük su hacimli kazanlar, su borulu kazanlar, özel kazanlar, döküm kazanlar ve artık ısı kazanları gibi gruplar altında incelenebilir.



### 2.2.1. Büyük Su Hacimli Kazanlar

Genel olarak bu tip kazanlar, küçük sanayide ve küçük gemilerde kullanılır. Kazan içindeki boruların dışında buharlaşan su, boruların içinde ise sıcak duman gazları bulunur.

Bu kazanların su borulu kazanlara göre üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

a) Konstrüksiyonları basittir. İmalatları ve işletmeleri kolaydır.

b) Kazan içindeki su miktarı fazla olduğundan, bu su bir ısı deposu görevi yapar, özellikle buhar yükünün zamanla fazla değiştiği işletmeler için uygundur.

c) Buharın sudan ayrılma yüzeyi büyük olduğundan, buhar ile suyun sürüklenmesi azdır. Bu yüzden buharın kuruluk derecesi yüksektir.

d) Zamanla kazanın su tarafındaki yüzeylerinde biriken ve ısı transferini güçleştiren kazan taşlarının temizlenmesi bu kazanlarda nispeten kolaydır. Bu yüzden besleme suyunun fazla arıtılmasına gerek yoktur.

Büyük su hacimli kazanların sakıncaları ise şunlardır:

a) Gövdeleri büyük olduğundan yüksek basınçlar için imalatları güçtür (en fazla 20 bar basınca kadar yapılabılır).

b) Isıl verimleri düşüktür. Isıl verim elle yüklemeli katı yakacak halinde 0.60-0.70, mekanik yükleme halinde 0.80, su ısıtıcısı kullanıldığında ise en fazla 0.85 olmaktadır.

c) Ağırdırlar ve hacimce büyüktürler, kazanın birim hacimde birim ısıtma yüzeyinde üretilen buhar miktarı (buhar yükü) azdır. Çeşitli büyük su hacimli kazan tipleri için buhar yükü 18-35 Kg<sub>buhar</sub>/m<sup>2</sup>h değerlerindedir. Bu değerler lokomotif ve gemi kazanları gibi hareketli olanlarda daha büyük miktarlara çıkabilir. Ağır kazan olduklarından imalat yerlerinden kullanma yerlerine taşınmaları masraflıdır.

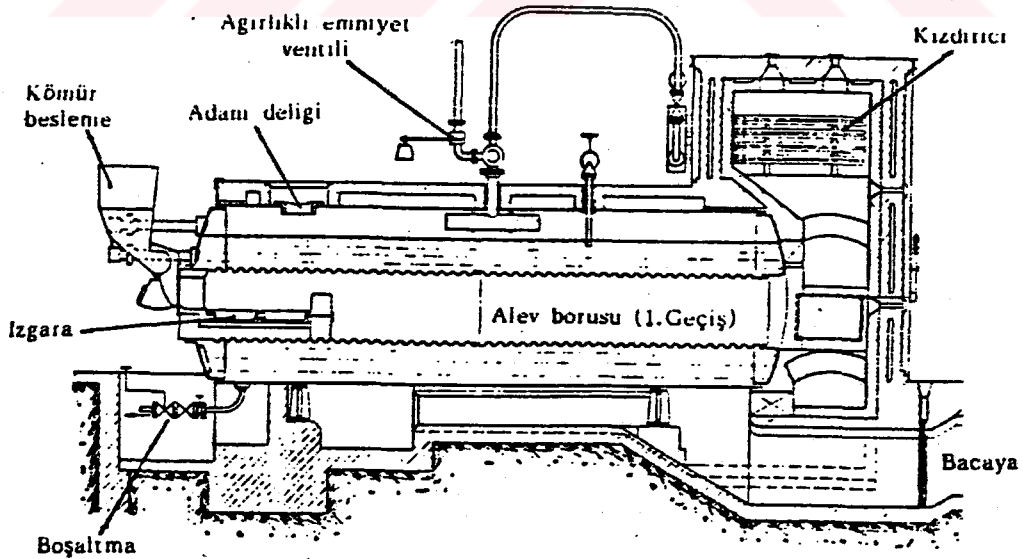
d) Su hacimleri büyük olduğundan ilk harekete geçmeleri uzun zaman alır. İşletmeden çıkarıldıklarında ısı kayıpları fazla olur.

e) Kazan içindeki su dolaşımı iyi değildir.

Bu kazanlar alev borulu, duman borulu ve alev-duman borulu olmak üzere üç kısma ayrılabilir, [1],[6],[7].

### 2.2.1.1. Alev Borulu Kazanlar

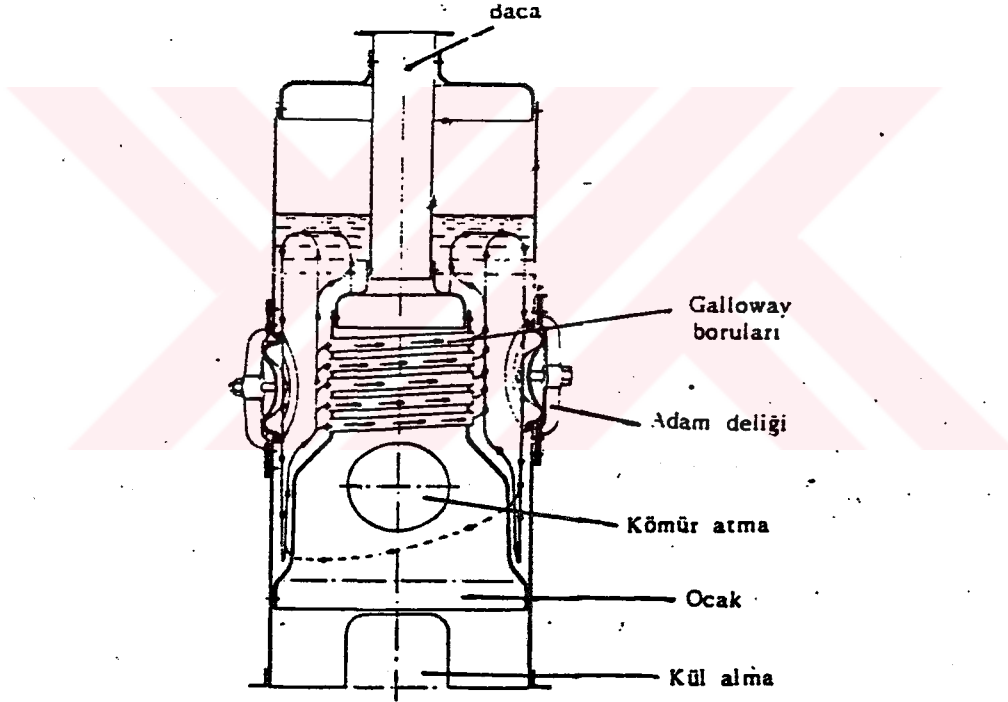
1- Yatay alev borulu kazanlar: Şekil-2.1'de gösterildiği gibi, silindirik bir gövde ile bu gövdenin içine yerleştirilmiş bir, iki, üç ve hatta dört alev borusundan meydana gelmiştir. Ocak alev borusunun başlangıç kısmındadır. Düşük ısı değerli yakacakların kullanılması halinde, alev borusunun ön kısmına kazanın dışına bir ön ocak ilave edilebilir. Elle yüklemeli veya otomatik yüklemeli bir ızgara üzerinde yanan katı yakacaktan veya doğrudan doğruya alev borusunun içinde yanan sıvı yakacaktan elde edilen sıcak duman gazları alev borusu içinden geçerken ısını suya verir (birinci geçiş). Sistemde kızdırıcı varsa duman gazları kızdırıcı içinden geçirilerek aşağı döndürülüp, kazanın yan tarafından öne doğru (ikinci geçiş) ve tekrar döndürülerek kazan alt tarafından arkaya doğru akıtılır (üçüncü geçiş). İstenirse duman gazları bacadan atılmadan önce bir su ısıtıcısı içinden de geçirilerek kazanının verimi biraz daha artırılır.



Şekil-2.1. Yatay alev borulu kazan.

2- Dik alev borulu kazanlar: Genellikle küçük güçler için kullanılırlar Şekil-2.2. Alev boruları düşey olduğu için yatay alandan kazanç sağlarlar. Kazanın ısıtma yüzeyini ve su sirkülasyonunu arttırmak için alev borusunu içine çapları 200-300 mm olan Galloway boruları konulabilir. Bu borular su sirkülasyonunu iyileştirmekten başka kazan ısıtma yüzeyini de artırırlar.

Bu kazanların işletmesinde görülen bir sakınca, bir tarafında duman gazları diğer tarafında buhar bulunan yüzeylerdeki korozyondur. Buhar tarafının ısı taşınım katsayısının kaynamakta olan su tarafındaki ısı taşınım katsayısından daha küçük olması nedeniyle, bu yüzeyler fazla ısınıp kısa zamanda tahrip olabilir.

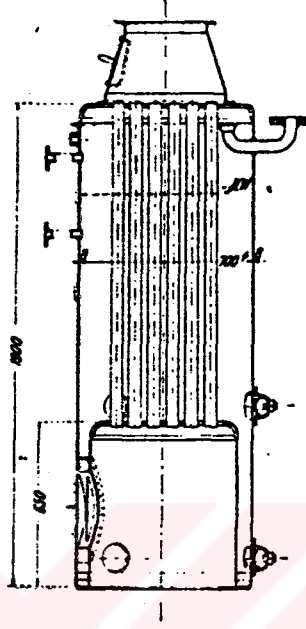


Şekil-2.2 Dik alev borulu kazan.

#### 2.2.1.2. Duman Borulu Kazanlar

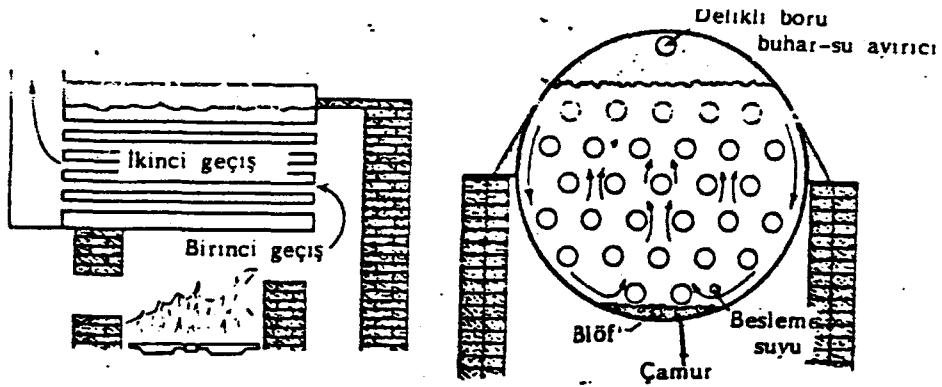
Bu kazanlarda, ocak adı verilen bir hacimde yakılan yakıttan elde edilen sıcak duman gazları, çapları alev borusuna göre küçük olan ve çok sayıdaki duman borularının içinden geçirilerek suyun buharlaşması sağlanır.

1. Dik duman borulu kazanlar: Buhar ihtiyacının az olduğu atölyelerde, küçük sanayide, boyahanelerde ve döner vinçlerde kullanılırlar (Şekil-2.3). Verimleri 0.65, ısıtma yüzeyleri en fazla 20 m<sup>2</sup> ve buhar kapasiteleri 500 kg/h dır.



Şekil-2.3. Dik duman borulu kazan.

2. Dönüş duman borulu kazanlar (Horizontal return tubular): Bu tip kazanlar; konstrüksiyonunun çok basit ve dış ocaklı olması nedeniyle her türlü yakacağı yakabilmesi, sökülüp başka yerlere kolayca taşınabilmesi nedeniyle küçük endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır, (Şekil-2.4).



Şekil-2.4. Dönüş duman borulu kazanın şematik kesiti.

Bunlar 15 bar basınçta 500-7000 kg/h kapasitelerine kadar kullanılabilirler. Kazan dışı ocaklı olduğundan ısı kayıpları fazladır. Verimleri katı yakacak halinde en fazla %70 düzeylerinde olmaktadır.

3. Lokomotif kazanları: Buhar makinasının veriminin küçük olması nedeniyle, bunlarla birlikte kullanılan lokomotif kazanları da bugün için önemini kaybetmiştir. Buhar yükü 55-60 kg/m<sup>2</sup>h tır.

Baca yüksekliği fazla olmadığından doğal çekiş yeterli değildir, bu nedenle buhar makinasından çıkan çürük buhar ile 1000-1200 Pa değerinde yapay bir çekiş sağlanır.

#### 2.2.1.3. Alev-Duman Borulu Kazanlar

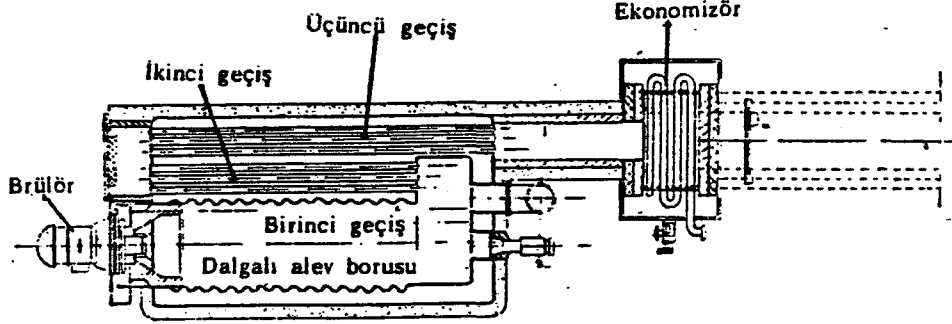
Hem alev borusundan, hem de duman borularından meydana gelen kazanlardır. Genellikle yakacak alev borusunun içinde ocak kısmında yanar. Sıcak duman gazları, alev borusunun ocak olmayan diğer kısmını geçtikten sonra duman borularına girer. Asıl ısıtmanın büyük kısmı duman borularından oluşur. Alev-duman borulu kazanların alev borularına göre daha küçük hacim kaplamaları bir üstünlüktür. Sakıncaları duman borularının temizlenme güçlüğüdür. Alev-duman borulu kazanlar başlıca aşağıdaki gruplara ayrılabilir.

1. Lokomobil kazanları: Güç üretim sistemleriyle ortak çalışabilirler. Ocaklarının küçük olması nedeniyle yanma iyi olmayabilir. Bir ön ocak ilavesi ile bu kazanda, düşük ısı değerli yakacaklarda (örnek olarak; kereste, zeytin yağı fabrika artıkları) yakılabilir.

2. İskoç tipi buhar kazanları: Duman gazlarının kazan içindeki geçiş sayısı iki veya üç olabilir. Alev boruları genellikle dalgalı tipten imal edilirler. Kazanda bir, iki ve bazen de üç alev borusu olabilir. Her bir alev borusu için bir ateş kutusu yapılması önerilir.

Katı yakacak yakan iskoç tipi kazanlarda ocak içine ızgara yerleştirilmesi, özellikle büyük kapasitelerde konstrüktif açıdan problemler doğurur. Linyit kömürü, bitki artıkları, yağ fabrikaları artıkları gibi nispeten ısı değeri az

olan yakacakların kullanılması halinde, bu tip kazanları ön ocaklı imal etmek, bu problemi çözebilir. Yakacak alev borusu dışında nispeten daha büyük bir hacimde yakılarak, hem yanmada iyileşme sağlanır hem de küllerin ocaktan alınması kolaylaşır, (Şekil-2.5).



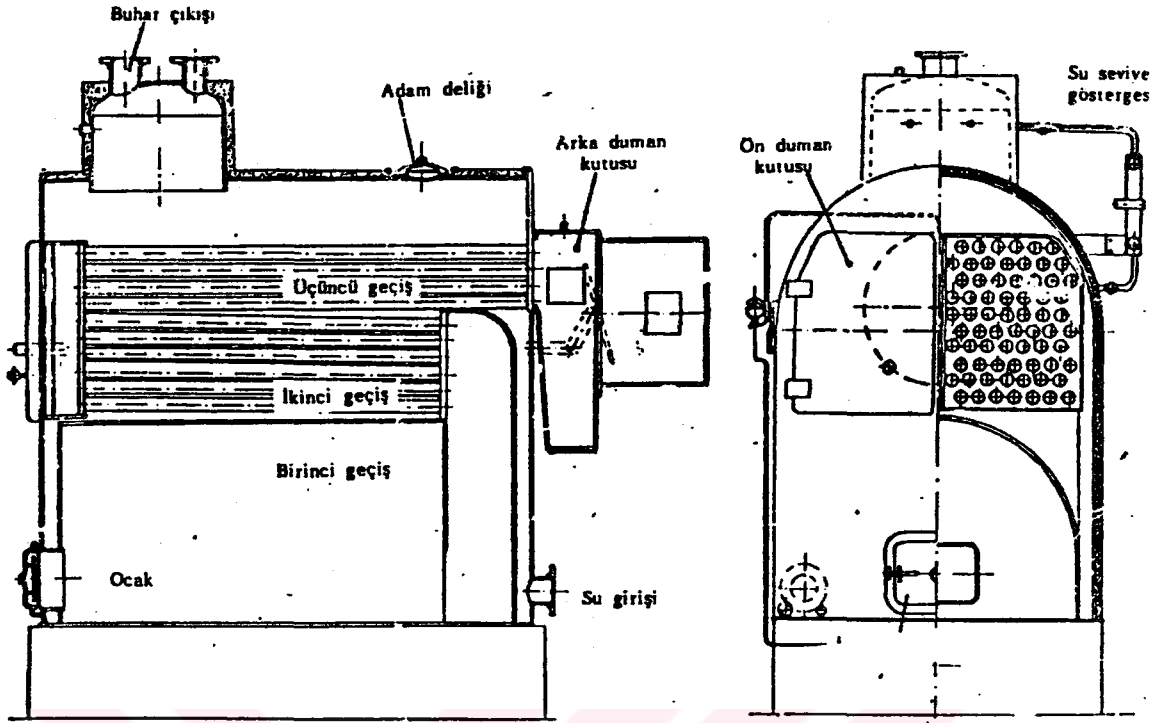
Şekil-2.5. Üç geçişli iskoç tipi buhar kazanı.

3. Kalorifer Kazanları: Bu kazan çeşiti, bugün yurdumuzda alçak basınçlı buhar üretimi için çok kullanılmaktadır. En büyük ütönlükleri, imalatının basit, katı yakacak yakılması halinde ızgara yerleştirilmesinin ve kül almasının kolay olmasıdır. Sakıncaları ise, ocağın alt kısmı su ile temasta olmadığı için ısı kaybı fazladır, 6 bar basınçtan yüksek işletme şartlarında kullanılması önerilmez.

3 m<sup>2</sup> den 150 m<sup>2</sup> ısıtma yüzeyine kadar geniş bir aralıkta imatları yapılmaktadır. Sıcak sulu veya kaynar sulu kalorifer tesisatlarında sıcak su veya kaynar su üretimi için aynı tip kazanlar kullanılabilir, (Şekil-2.6).

4. Alev Geri Dönüşlü Kazanlar: Son yıllarda kompakt buhar kazanları elde etmek için, ısı taşınım katsayısının hızı ile orantılı olması nedeniyle duman gazının hızının artırıldığı basınçlı ocaklı alev-duman borulu kazanların imalatı ön plana çıkmıştır. Ocaklardaki bu basınç, sıvı yakacaklarda brülörün vantilatörü, katı yakacaklarda ise ilave bir vantilatör ile sağlanır.

Bu kazanlarda alev borusunun arkası kapalı olduğundan, alevin ve duman gazlarının öne ve arkaya olan iki geçişi alev borusunun içindedir. Üçüncü geçiş ise alev borusunun dışındaki duman borularından oluşur. Borular içindeki duman gazı



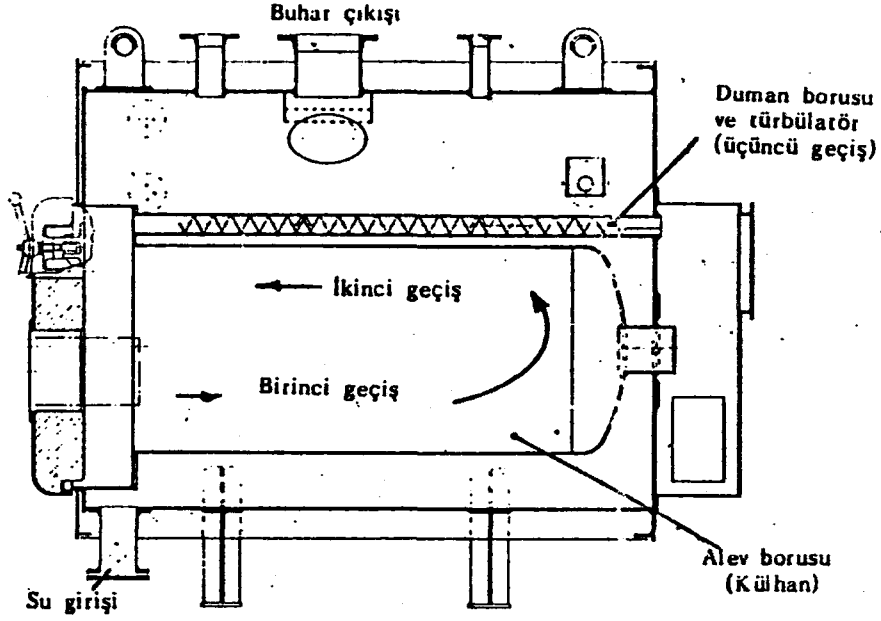
Şekil-2.6. Dansk tipi alçak basınçlı buhar üreten kalorifer kazanı.

hızı, diğer alev-duman borulu kazanlardan biraz daha fazla olarak 20-30 m/s değerindedir. Buhar yükü 40-80 kgbuhar/m<sup>2</sup>h, buhar kapasitesi ise 13 t/h değerine kadar çıkabilmektedir. Bu kazanlarda duman gazı hızının yüksek olması yük kaybını artırdığından doğal baca çekişi yeterli olmayabilir, (Şekil-2.7).

### 2.2.2. Su Borulu Kazanlar

Yüksek kızdırma sıcaklığında ve basınçlardaki büyük kapasitelerde buhar üretimi, su borulu kazanlar ile mümkün olabilmektedir. Bu kazanlarda genel özellik olarak, kaynamakta olan su nispeten küçük çaplı boruların içinde, sıcak duman gazları ise boruların dışında hareket etmektedir. Kazan taşını önlemek için besleme suyu çok iyi arıtılmalıdır, [1], [6],[7].

Su borulu kazanlar, depoların durumlarına göre boruların eğimli ve dik olmasına göre kollektörlerin kasalı veya seksiyonlu olmasına göre değişik şekillerde sınıflandırılabilir.



Şekil-2.7. Alev geri dönüşlü kazan.

#### 2.2.2.1. Kasalı Az Eğimli Su Borulu Kazanlar

Su borulu kazanların ilk örnekleridir. Bir depo ile irtibatlı olan kasa şeklindeki kollektörlerin arasında yatayla yaklaşık 10-15° eğimli borular bulunmaktadır. Yüksek basınç için (35 bar) uygun değildir.

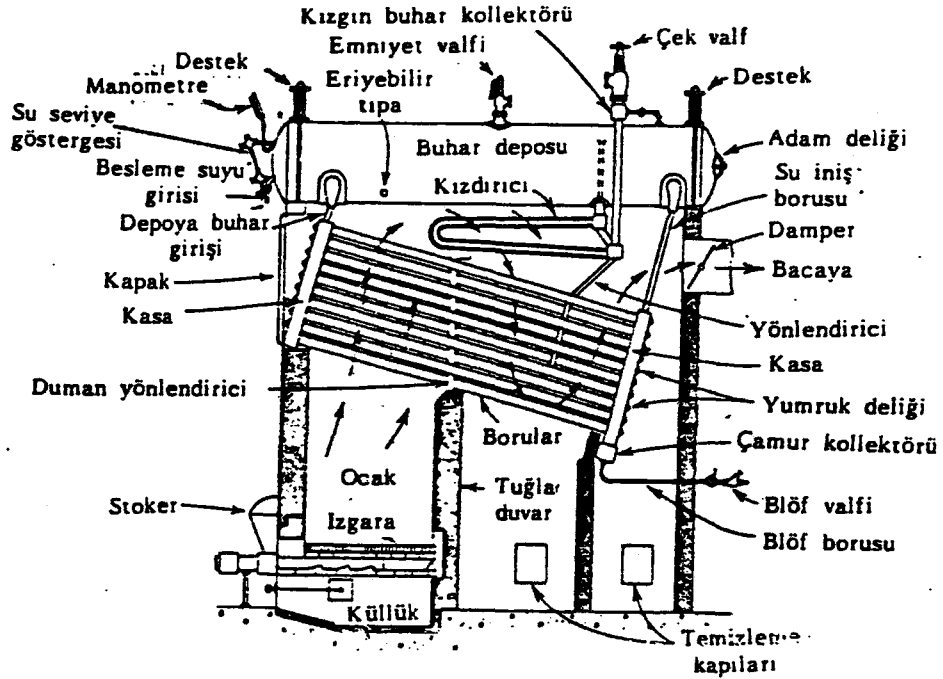
Sıcak duman gazları su borularınının arasından bir kaç kere borulara dik olarak geçebilir. Genellikle küçük güçlerde kullanılırlar. En fazla 15 ton/h buhar kapasitelerine kadar kullanılabilirler, (Şekil-2.8).

#### 2.2.2.2. Seksiyonlu Az Eğimli Kazanlar

Bu tip kazanlarda, borular seksiyon adı verilen gruplardan oluşurlar. Seksiyonlarda düşey doğrultuda boru sıraları vardır. Kasalı tiplere göre daha yüksek basıçlara çıkabilirler.

Pratikte bu tip kazanlar boyuna ve enine depolu olmak üzere iki şekilde yapılabilir. Boyuna depolu kazanlar daha çok küçük ve orta kapasitelerde buhar ihtiyacı olan işletmeler





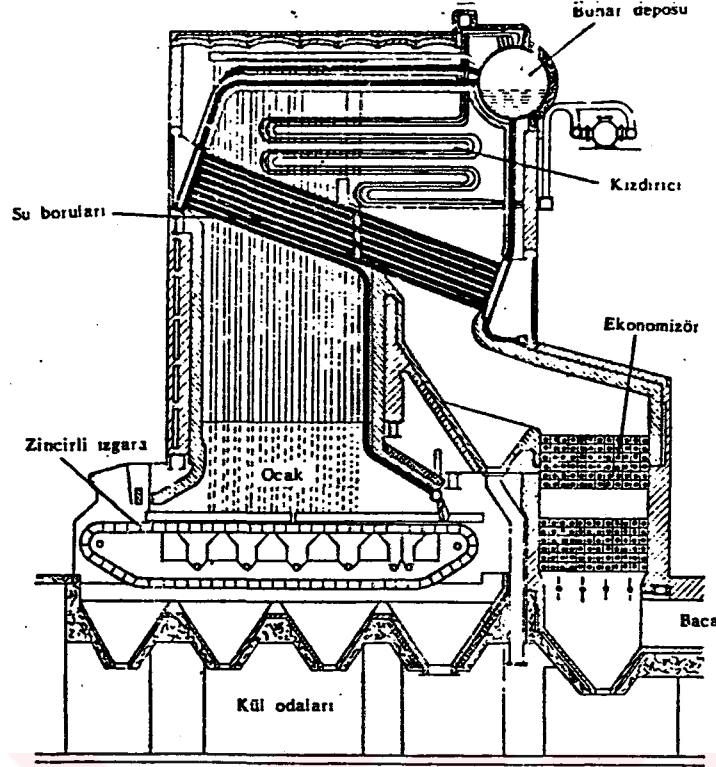
Şekil-2.8. Boyuna depolu üç geçişli kasalı, az eğimli su borulu kazan.

için uygundur. Enine depolu kazanlar ise büyük buhar kapasiteleri için uygundur.

Dumanların borulardan geçişi bir, iki, üç veya dört defa olabilir. Az geçiş sayısı olan kazanlarda, duman gazının yük kaybı küçüktür, duman gazları su ısıtıcısı gibi elemanlara girerken nisbeten yüksek sıcaklıkta olduğundan, bu elemanlar etkin olarak çalışabilir. Buna karşılık çok çekişli kazanların üstünlükleri ise duman gazları bacaya gelene kadar fazla soğutulduğu için bu kazanların ısıl veriminin artması, gaz hızları büyük olduğundan ısı transferlerinin iyi olmasıdır. Duman içindeki küllerin ısı transferi yüzeyleri üzerinde birikme tehlikesi azdır, (Şekil-2.9).

### 2.2.2.3 Dik Su Borulu Kazanlar

Az eğimli su borulu kazanlarda su sirkülasyonunun kötü olması nedeniyle, buhar depoya kadar sürüklenmeyerek, az eğimli borular içinde buhar cepleri oluşur. Buharın suya göre kötü bir ısı iletkeni olması nedeniyle, boru malzemesinin



Şekil-2.9. Seksiyonlu az eğimli kazan.

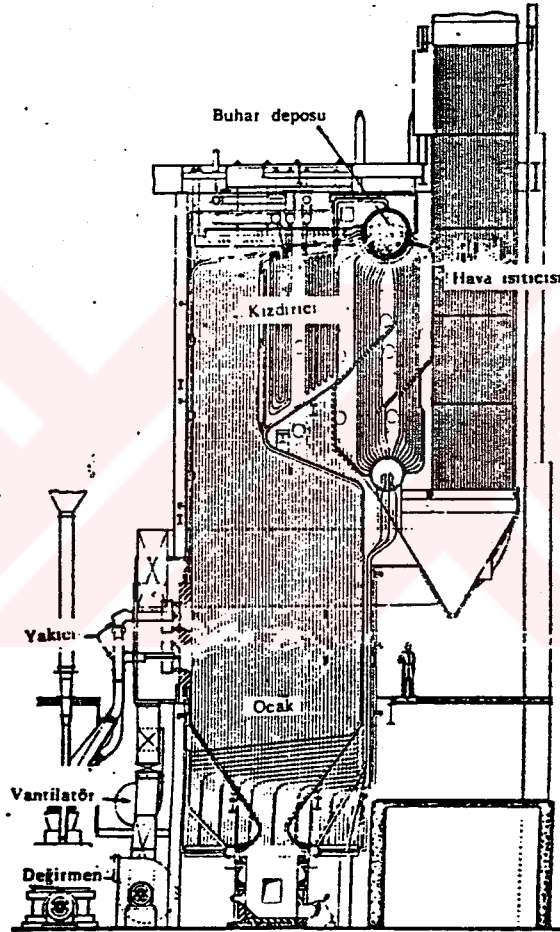
sıcaklığı artar ve borular çok kısa zamanda tahrip olurlar. Bu yüzden buhar yükü  $60 \text{ Kg/m}^2\text{h}$  değerini aşan su borulu kazanlarda su-buhar sirkülasyonunu artırmak için dik borulu olarak imal edilir. Kazanda iniş boruları genellikle soğuk borulardır. Çıkış boruları ise genellikle kazanın daha sıcak yerlerinde bulunurlar.

Kullanım yerlerine ve buhar kapasitelerine göre bu kazanlar çok değişik şekillerde yapılırlar. Bunlar depo yerleştiriliş şekli ve sayılarına göre adlandırılmaktadırlar (iki, üç, dört ve beş depolu). Depo sayısının fazla olduğu kazanlar genellikle boru yükünün düzensiz olduğu ve ısı depolaması istenen işletmeler için uygundur. Su sirkülasyonunun iyi olması özellikle kazan tam yükte çalışırken bütün borularda, yeterli dolaşımın sağlanabilmesi, birbirine paralel bağlanmış devrelerin dirençlerinin eşit olması ile gerçekleştirilebilir.

#### 2.2.2.4. Radyasyonlu Kazanlar

Dik su borulu kazanların ocak duvarlarının yüksek sıcaklıktan tahribini önlemek için boruların içine konulan soğutma

borularındaki ısı transferinin büyük değerlerde olması, su borulu kazanlarda buharlaşma borularının ocak hacmine kaydırılması fikrini doğurmuştur. Bu tip kazanlarda bütün su boruları ocak cidarlarındadır ve ısı transferi esas olarak radyasyon (ışınım) ile olmaktadır. Ocağı terk eden duman gazları kızdırıcı, su ısıtıcısı ve hava ısıtıcısı gibi elemanlardan geçtikten sonra bacadan dışarı atılır. Günümüzde büyük kapasitelerde ve yüksek basınçlardaki buhar üretimi, radyasyonlu kazanlarla sağlanabilmektedir, (Şekil-2.10.)



Şekil-2.10. Toz kömür ocaklı radyasyonlu kazan.

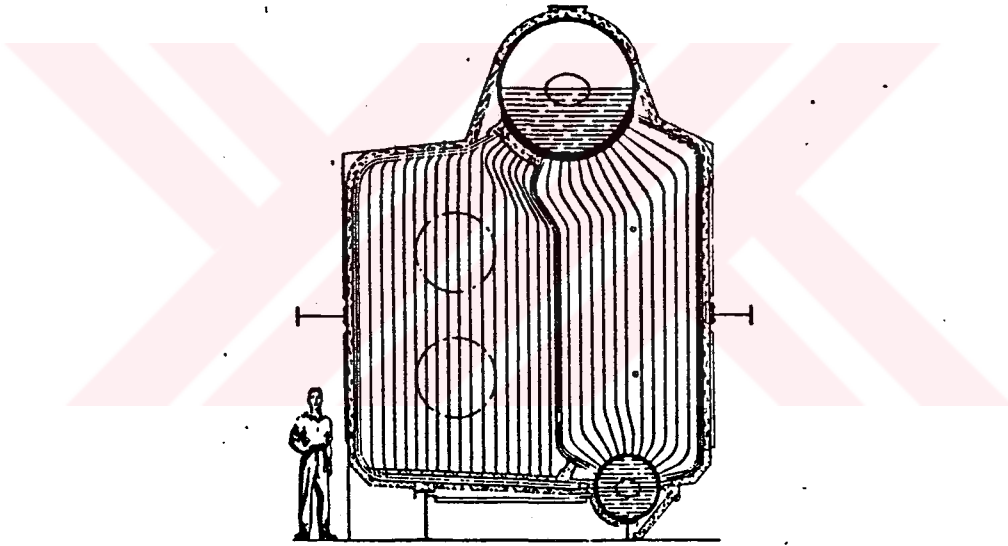
Pratikte; ocak, kızdırıcı, su ısıtıcısı, hava ısıtıcısı gibi elemanlar duman gazlarının yolları üzerine çeşitli şekillerde düzenlenebilirler. En yaygın düzenleme  $\pi$  tipi düzenlemelerdir. T tipi düzenlemeler ise büyük kapasitelerde kullanılır.

Radyasyonlu kazanlar pratik açıdan 30t/h buhar üretimine

kırdar otomatik yüklemeli ızgaralı ocaklı olarak, daha büyük kapasiteli kazanlar ise (100-150t/h) toz kömürlü, gaz veya sıvı yakıt yakan olarak imal edilmektedirler.

#### 2.2.2.5. Paket Tipi Su Borulu Kazanlar

Paket tipi su borulu kazanlarda yakma ve su besleme sistemlerinin, ölçme ve kontrol cihazlarının kazan üzerinde bir bütün olarak tek bir ünite halinde bulunması, fabrika işletim açısından büyük kolaylıklar sağlar. Genellikle diğer yakacaklara göre daha pahalı olmasına rağmen kullanma ve kontrol kolaylığının ağır basması nedeniyle, bu kazanlarda sıvı veya gaz yakacaklar tercih edilir, (Şekil-2.11).



Şekil-2.11. Paket tipi su borulu kazan kesiti.

Paket tipi su borulu kazanların diğer kazanlara göre üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

1. Kazan üzerindeki elemanlar imaltçı firmanın işletme garantisi altındadır.
2. Standart hale getirilmiş modellerde en iyi işletme, ekonomik şartlar ve yüksek yanma verimi sağlar.
3. Kazan işletmeye gönderilmeden önce basınç, yanma ve çalışma testleri yapılmaktadır.
4. Kazan az yer kaplar.

5. Sistem tam otomatiktir ve az elaman ile işletilebilir.

6. Kazan imalatı ve teslim süresi kısadır.

Bu kazanlar genellikle 5-100t/h buhar kapasiteli, 40-60 bar basınçlı ve 440-500°C kızdırma sıcaklıklı olarak imal edilebilirler.

#### 2.2.2.6. Gemi Tipi Su Borulu Kazanlar

Kapladıkları hacim, diğer tiplere nazaran küçük olmaktadır. Güvenirlilik birinci planda tutulmuş ve her türlü gemi sarsıntılarında çalışabilecek şekilde dizayn edilmişlerdir. Verimi artırmak ve yanmayı iyileştirmek için hava ısıtıcıları kullanılmaktadır.

Sıvı yakacaklı gemi tipi seksiyonlu az eğimli bir su borulu kazan 80t/h buhar debisine, 40 bar basınca kadar kullanılmaktadır.

#### 2.2.3. Özel Buhar Kazanları

Buhar kazanlarındaki verimin, buhar yükünün, basıncın ve sıcaklığın her geçen gün daha yüksek değerlere çıkarılmak istenmesi, klasik yakıtlardaki dar boğaz nedeniyle farklı kaynaklardan elde edilen ısı enerjisinin kullanılmak istenmesi ve bazı özel çalışma şartlarını yerine getirmek gayesi ile özel buhar kazanları geliştirilmiştir. Bunlardan bazılarının adları aşağıda verilmiştir, [1],[6],[7].

1. La Mont tipi buhar kazanı,
2. Sulzer tek borulu kazan,
3. Löffler kazanı,
4. Schmidt-Hartman kazanı,
5. Velox tipi kazan,
6. Artık ısı kazanları,
  - a) Sıcak gazların kullanıldığı artık ısı kazanları,
  - b) Kimyasal işlemlerle artık ısı kazanları,
  - c) Yanıcı artık ısı kazanları,
7. Benson kazanı,

8. Akışkan yataklı (Fluidizet Bed) kazanlar,
9. Elektro kazan,
10. Döküm kazanlar.



## BÖLÜM 3

### KAZAN VERİMİNİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

#### 3.1. Genel Bilgi

Kazan verimini iyileştirme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

##### 1. Kayıpların minimuma indirilmesi.

a- Yakıtların yanıcı gazla dönüştürülmesi ve yakma havası ile uygun bir biçimde karışımın sağlanması. Bunun gerçekleştirilmesi, yakma sisteminin ve yanma odasının tasarımı ve sistemin tekniğine uygun olarak işletilmesine bağlıdır.

b- Kazanda ısı kaybına maruz yüzeyler için gerekli izolasyon yapılmalıdır.

c- Bacadan çıkan gazların miktarı azaltılmalı ve CO<sub>2</sub> miktarı yüksek tutulmalıdır.

d- Baca gazı sıcaklığı düşük tutulmalı ancak yoğunlaşma sıcaklığının altına inilmemelidir, [6].

##### 2. Isıtma yüzeylerinde ısı transferinin artırılması.

a- Isıtma yüzeyi alanının büyütülmesi.

b- Sınır tabakanın yenileştirilmesi.

##### 3. Aşırı ve kademeli kızdırma işlemlerinin gerçekleştirilmesi.

Sunulan çalışmada; kazan duman boruları içerisine konik-halka yüzeyli türbülantörlerin yerleştirilmesiyle kazan veriminin iyileştirilmesi amaçlanmıştır ve genel olarak ısı transferini iyileştirme teknikleri incelenecektir. Bu nedenle, literatürde bu konuda yapılan çalışmalar geniş yer

tutmaktadır. Literatür çalışmasına ait özet bilgiler aşağıda verilmiştir.

### 3.2. Isı Transferini İyileştirme Teknikleri

Isı transferini iyileştirme teknikleri, dışardan bir etkiye ihtiyaç gösteren aktif, veya dışardan bir etkiye ihtiyaç göstermeyen pasif metodlar olarak sınıflandırılabilir.

Pasif tekniklerin özel tanımlamaları aşağıda verilmiştir.

İşlem gören yüzeyler, yüzeyin ince ölçekte değişimini veya (sürekli veya süreksiz) kaplanmasını içerir. Kaynama ve yoğunlaşma için kullanılırlar.

Kaba yüzeyler rastgele kum tanesi gibi pürüzlülüğünden ayrı çıkıntılara kadar değişen bir çok şekillerde oluşturulurlar. Düzenleme, genellikle ısı transfer yüzeyini artırmaktan çok türbülans artırımını hedef alır. Uygulama tek fazlı akışa doğru yönelmiştir.

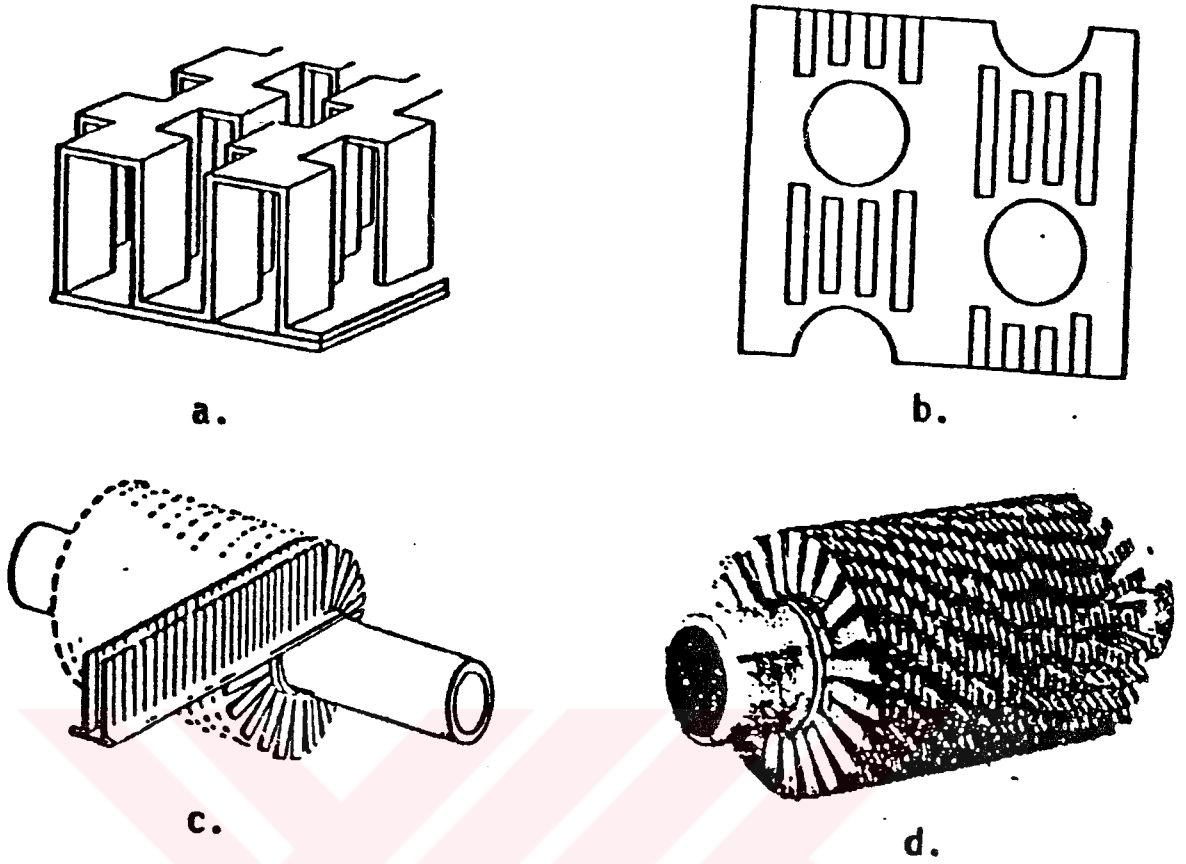
Büyütülmüş yüzeyler rutin olarak birçok ısı eşanjöründe kullanılır. Şekil-3.1.a da gösterilen çıkıntılı şerit omurga tipik olarak, aynı yüzeye sahip düz bir omurgadan %80-100 daha yüksek bir ortalama ısı transferi katsayısı sağlar. Bunlar Şekil-3.1.b deki gibi klima operatörleri ve yoğunlaştırıcılar, Şekil-3.1.c deki gibi tek borular, Şekil-3.1.d deki gibi artık ısı geri kazanan kazanlar için uygundur.

Yerdeğiştiren artırma aletleri (türbülatorler), ısıtılan yüzeyde enerji taşınımını direkt olarak iyileştirmek için akış kanalı içerisine yerleştirilirler. Zorlanmış akış ile kullanılırlar. Yerdeğiştiren artırma aletlerine bir örnek Şekil-3.2 de gösterilmiştir.

Boru içi iç yüzeyi artırımı da ısı transferini iyileştirmek için kullanılan bir tekniktir, Şekil-3.3. te dört ayrı boru içi artırım örneği verilmiştir.

Girdap akış aletleri, zorlanmış akışta dönme ve/veya ikincil akış oluşturmak için boru içerisine yerleştirilen parçaları ihtiva eder. Kangal şeklinde borular, giriş vorteks üreteçleri, bükülmüş bant parçaları ve vida tipi döndürme ile





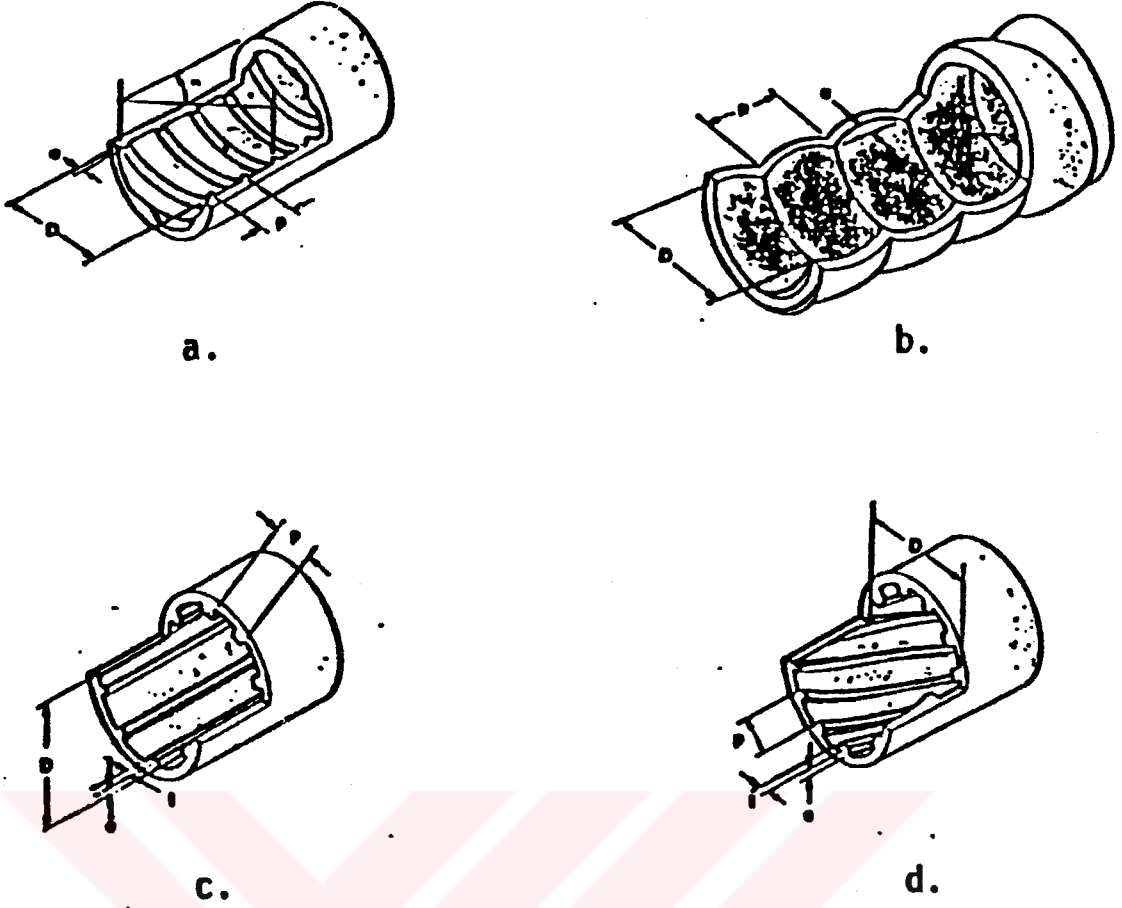
Şekil-3.1. Gazlar için büyütülmüş yüzeyler.  
a- Çıkıntılı şerit omurgalar,  
b- Panjurlu boru ve levha omurga,  
c- Bakır boruya yapıştırılmış testere dişli parçalı alüminyum omurga,  
d- Çelik boruya kaynak edilmiş testere dişli omurgalar.



Şekil-3.2. Tipik bir karıştırıcı.

birlikte aksenal merkezli parçalardan oluşurlar.

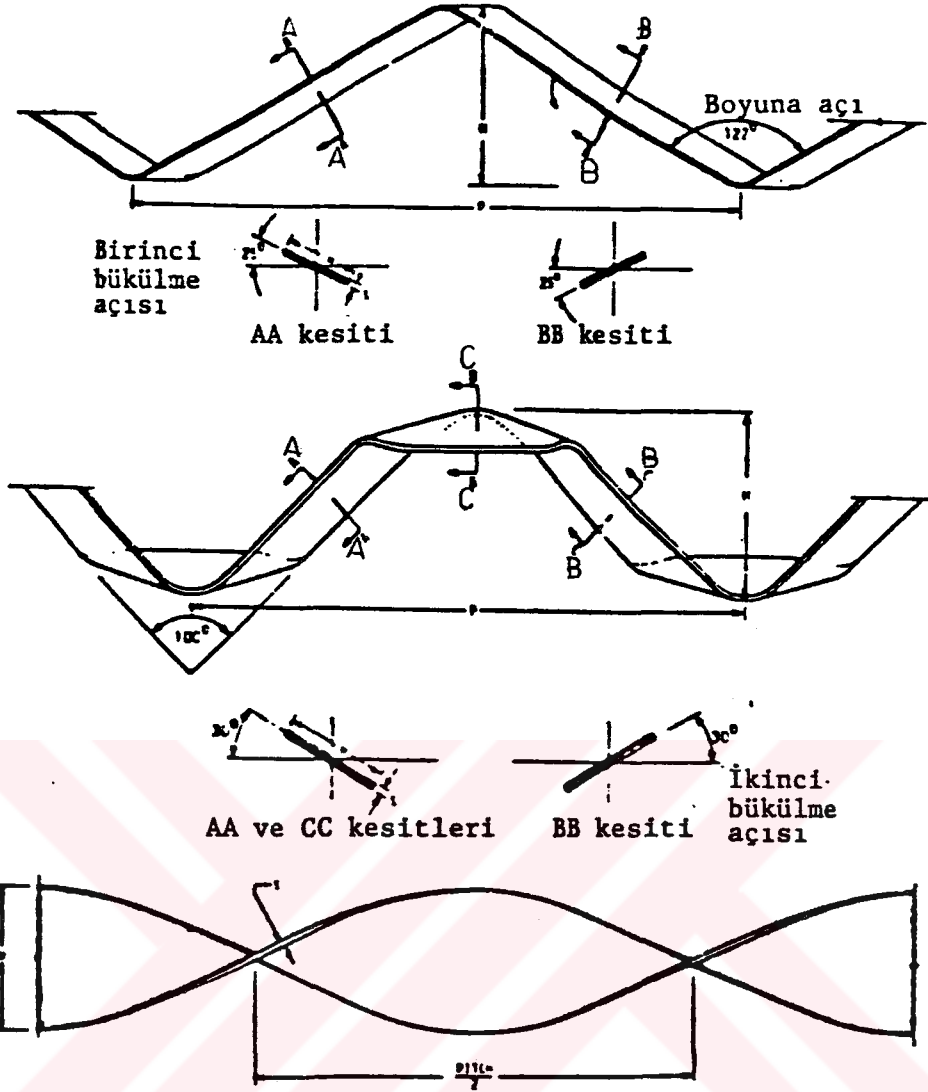
Daha yaygın olarak, alev borular için türbülatorlerdir ki bunlar etkili ısı direnç oluşturan türbülanslı ısı transfer katsayısını iyileştirirler. İki popüler kıvrılmış-şeritli



Şekil-3.3. Tipik boru içi arttırmaları.  
a- Helisel kaburga pürüzlü boru,  
b- Oluklu boru,  
c- Eksenel iç omurgalı boru,  
d-

parça ve bükülmüş bantlı bir parça (bir girdap akış aleti) Şekil-3.4 de gösterilmiştir, [3],[4]. Yüzey gerilim aletleri, kaynama ve yoğuşmada sıvı akışını yönlendirmek için yiv açılmış yüzeyler ve fitilden oluşurlar.

Isı transferini iyileştirmedeki pasif yöntemlerden bir diğeri de sınır tabakanın yenileştirilmesidir. Bu amaca yönelik literatürde tesbit edilen çalışmalarda ısı transfer katsayılarının önemli ölçüde iyileştirilebileceği gösterilmiştir. Sınır tabakanın yenilenmesine birkaç örnek Şekil-3.5 te gösterilmiştir, [8],[9].



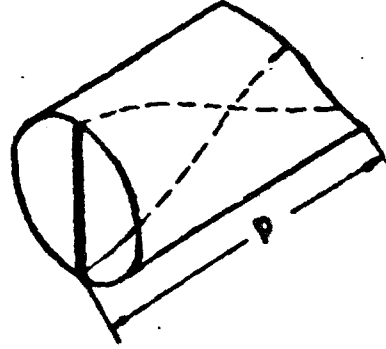
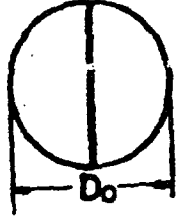
Şekil-3.4. Alev borulu kazanlar için türbülatoör geometrileri.

Aktif teknikler de aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

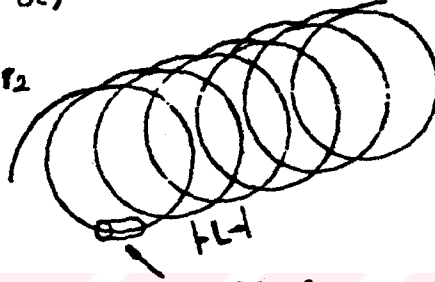
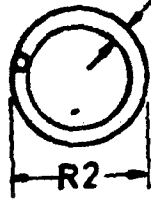
Mekanik yardımcılar, yüzeyin döndürülmesi ve mekanik araçlar yardımıyla akışı karıştırırlar. Yüzey kazıma, kimyasal işlem endüstrisinde viskoz sıvılar için yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu yöntem gazların kanal akışına uygulanabilir. Dönel ısı değıştirici kanallar ile birlikte teçhizat ticari uygulamalarda kullanılmaktadır.

Yüksek veya düşük frekanslı yüzey titreşimi esas olarak tek fazlı ısı transferini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Sıvı titreşimi birçok ısı eşanjörü kütlesine verilen titreşim artırımının en pratik tipidir.

Elektrostatik alanlar (doğru akım veya alternatif akım)

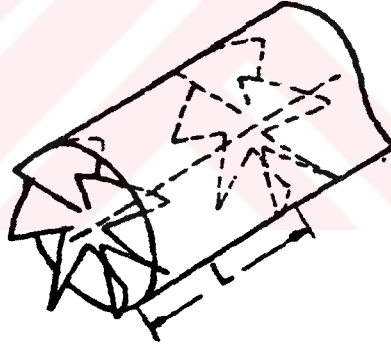


$D_0$  = Silindir çapı  
 $p$  = Adım ( $180^\circ$  de)

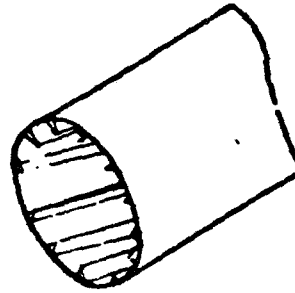
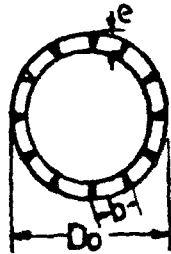


$r_2$  = H. Boru Çapı  
 $R_2$  = Helis çapı  
 $L$  = Helis adımı

Helisel yay



$D_0$  = Silindir iç çapı  
 $L$  = Pervane mesafesi



$D_0$  = Silindir iç çapı  
 $b_0$  = Set aralık mesafesi  
 $e$  = Kanat yüksekliği

Şekil-3.5. Sınır tabakanın yenilenmesi için dört yöntem.

yalıtkan akışkanlara birçok farklı yollarla uygulanır. Elektrostatik alanlar ısı transferi yüzeyi çevresinde, daha çok hacimde sıvı karışımı oluşturmayı amaçlamaktadır.

Sadece bir teknik vasıtasıyla elde edilenden daha büyük bir artırım elde etmek için aynı anda yukarıdaki tekniklerden iki veya daha fazlasından yararlanılabilir. Bu duruma birleşik artırım adı verilir, [3].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 4.1. Deneyin Amacı

Kazanlarda işletme ve enerji ekonomisi yönünden iyileşme sağlayacak çözümlerin belirlenebilmesi ve sağlıklı uygulamalara geçilebilmesi için genelde bir dizi kazan deneyinin yapılması gerekmektedir. Bu deneylerin başlıcaları kazan ısı verim deneyleri, kapasite deneyleri, yanma deneyleri ve belirli amaçlara yönelik diğer deneylerdir.

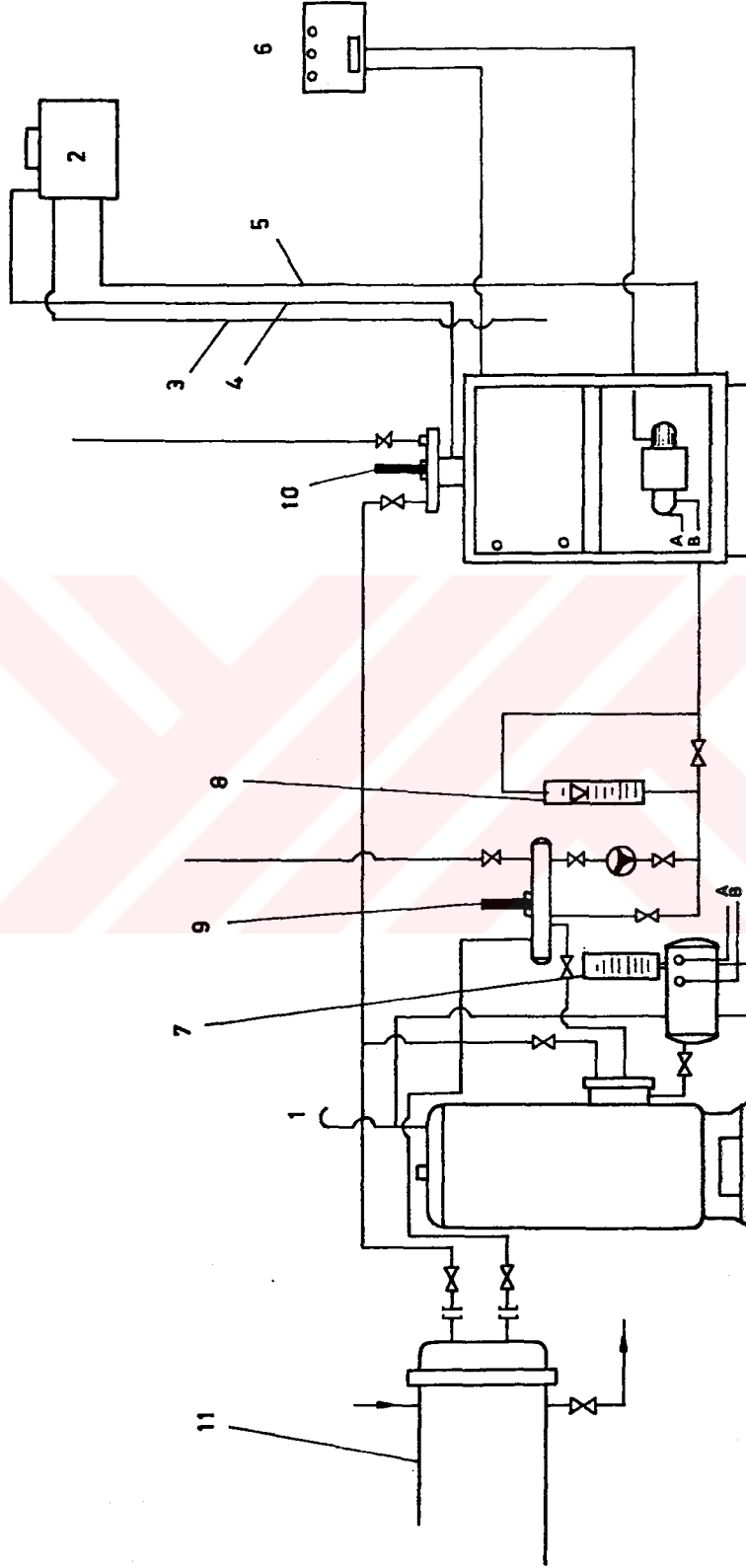
Sunulan bu çalışmada, literatürde Ayhan T. ve Karabay H. [8],[9] tarafından geliştirilen konik halka yüzeyli türbülötör tiplerinden seçilen 14° ve 20° lik türbülötörlerin kazan duman boruları içerisine yerleştirilmesinin kazan verimine etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

#### 4.2. Deney Düzeneğinin Tanıtılması

TS 4041'e uygun bir deney düzeneği K.T.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Termodinamik Laboratuvarı'nda monte edilmiştir. Deney düzeneği Şekil-4.1 de ve kazan Şekil-4.2 de gösterilmiştir.

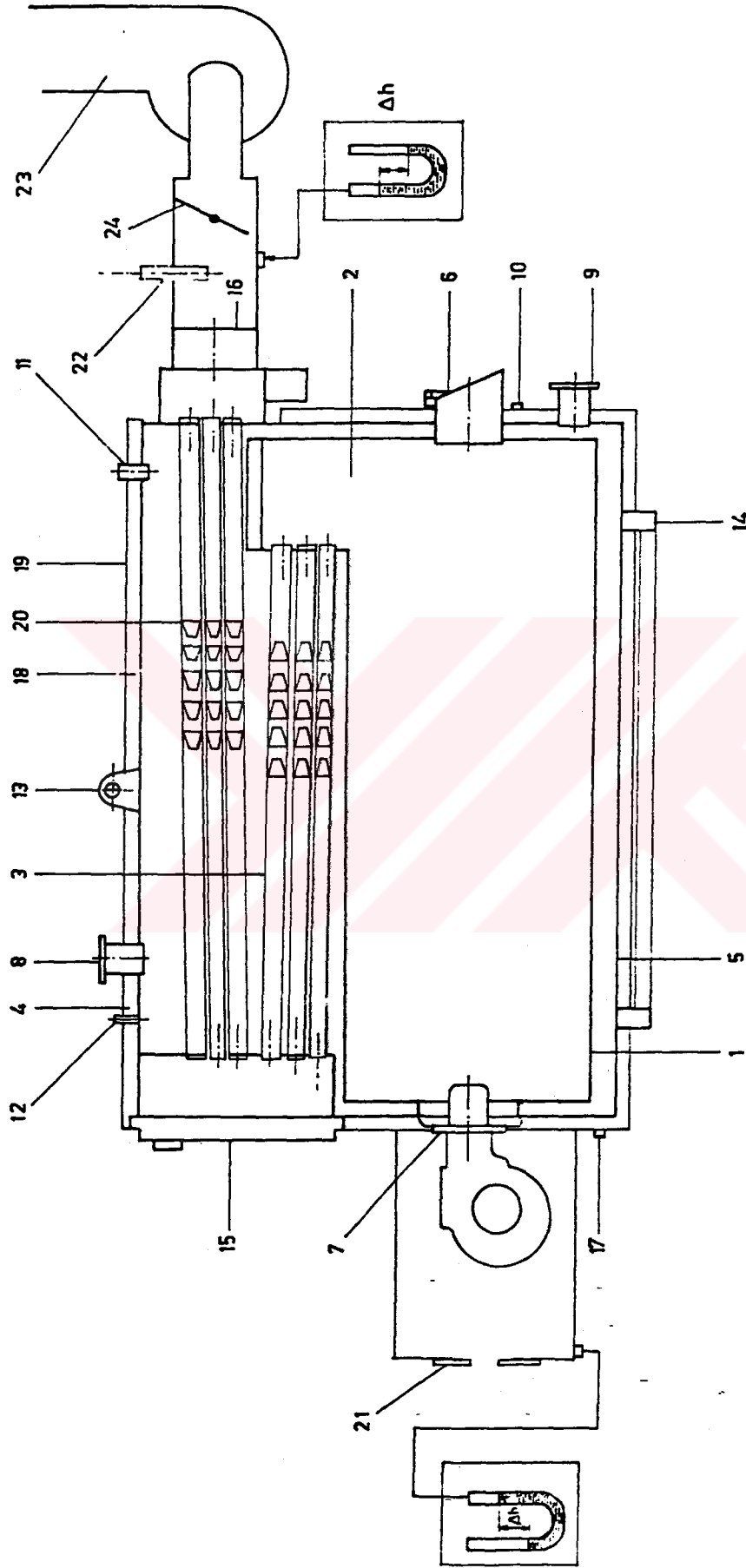
##### 4.2.1. Deney Kazanı ve Özellikleri

Kullanılan kazan 209000 Kj/h kapasiteli, duman borulu, alçak basınçlı, sıcak sulu kalorifer kazanıdır. Kazan deney basıncı 5.9 bar, toplam kazan dış yüzeyi 7.5 m<sup>2</sup> dir. Kazanın dış görünüşü Şekil-4.3 de gösterilmiştir. Şekil-4.2 de şematik görünüşü verilen kazan, ocak, cehennemlik, alt ve üst



- |                   |                     |                  |
|-------------------|---------------------|------------------|
| 1- Havalık        | 5- Dönüş Emniyet    | 9- Termometre    |
| 2- İmbisat Deposu | 6- Kumanda Tablosu  | 10- G.Termometre |
| 3- Uyarıcı        | 7- Yakıt Göstergesi | 11- Eşanjör      |
| 4- Gidiş Emniyet  | 8- Rotametre        |                  |

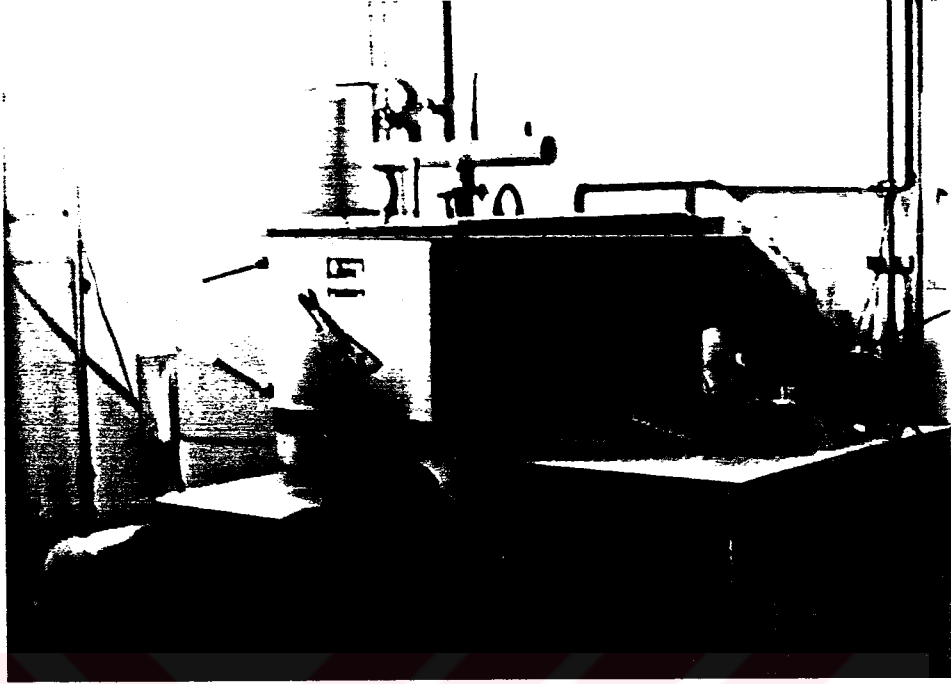
Şekil 4.1 DeneY Düzeneyinin Şematik Görünüşü.



- 1- Ocak
- 2- Cehennemlik
- 3- Alt duman boruları
- 4- Üst duman boruları
- 5- Dış gövde
- 6- Patlama kapağı
- 7- Brülör
- 8- Su çıkış bağlantı ağzı
- 9- Su giriş bağ. ağzı
- 10- Dönüş em. bağ. ağzı
- 11- Gidiş em. bağ. ağzı
- 12- Ölçü alt. bağ. ağzı
- 13- Askı çengeli
- 14- Kazan ayağı
- 15- Ön duman sandığı
- 16- Arka duman sandığı
- 17- Dol. boş. bağ. ağzı
- 18- Yalıtım maddesi
- 19- Yalıtım saçı
- 20- Türbülötör
- 21- Orifis
- 22- Gaz sondası
- 23- Fan
- 24- Kelebek vana

Şekil 4.2 Deneysel Kazanın Şematik Görünüşü





Şekil-4.3. Deney kazanının dış görünüşü.

duman boruları, dış gövde, patlama kapağı, ön ve arka duman sandığı gibi kısımlardan oluşmaktadır.

#### 4.2.2. Deney Tesisatındaki Diğer Elemanlar

##### 4.2.2.1. Yakıt Sistemi ve Elemanları

Bu sistem, yakıtın depo edilmesi, sevk edilmesi ve bir ocakta yakılabilmesi için uygun yakıt hava karışımını sağlayarak yanma olayını gerçekleştirmektedir. Yakıtın depo edildiği bir yakıt tankı, brülörün yakıt ihtiyacını karşılayan yakıt servis tankı ve yakıtın hava ile uygun bir şekilde karışımını sağlayarak yakıtı yakan bir brülörden oluşmaktadır. Şekil-4.1 ve Şekil-4.2 de bu elemanlar gösterilmiştir. Brülör elektrik enerjisi ile tahrik edilen ve sıvı yakıt yakabilen bir yakıt yakma ünitesidir.

Yakıt sistemi üzerinde yanma havasını ayarlayabilmek için kazan yanma odası girişi yani ocak brülörü de içine alabilecek bir kanal içerisine alınmıştır. Tüm sızdırmazlıklar

sağlanarak, bu kanal sayesinde yanmaya iştirak eden bütün havayı kontrol ederek yanmanın uygun bir şekilde gerçekleşmesi sağlanmıştır. Yanma havası debisinin ölçümü için kanal girişine kalibre edilmiş bir orifis yerleştirilmiştir.

#### 4.2.2.2. Baca ve Çekiş Sistemi

Baca, yanma sonucu oluşan duman gazlarının dışarı atıldığı kanaldır. Baca çekişi, ortalama baca içi sıcaklığı ile dış ortam sıcaklığı arasındaki farkla gerçekleşmektedir. Bu durum doğal çekiş olarak adlandırılmaktadır. Kazan duman borularında türbülötörler yokken baca çekişinin doğal çekişle gerçekleştirilebilmesine rağmen türbülötörlerin kullanılması durumunda doğal çekiş yeterli olmadığından Şekil-4.2 de -23- ile gösterilen fan, bacaya takılarak baca çekişi sağlanmıştır. Baca girişine takılan -24- nolu kelebek vana ile de baca gazının debisi ayarlanmaktadır. Bu kelebek vana sayesinde yanmaya iştirak eden hava miktarı da ayarlanarak yanma kontrol altına alınmış olur.

#### 4.2.2.3. Kazan Suyu Sirkülasyon Sistemi

Kazanda ısınan su sistemde bir sirkülasyon pompasıyla dolaştırılmaktadır. Kazanda zamanla eksilen suyu tamamlamak, kazanın emniyetini sağlamak için kazan seviyesinden yukarıda Şekil-4.1 de -2- ile gösterilen bir imbisat deposu yerleştirilmiştir. Deponun dolu olup olmadığını kontrol etmek amacıyla imbisat deposuna bir uyarıcı takılmıştır. Kazan suyu çıkışı ve girişi üzerinde gidiş ve dönüş kollektörleri bulunmaktadır. Gidiş kollektörleri, kazanda ısınarak çıkan suyun depolandığı ve dağıtımının yapıldığı yerdir. Dönüş kollektörü ise ısıtıcılarda ısınıp verip soğumuş olan suyun kazana dönmek üzere toplandığı yerdir. Sistemde dolaşan suyun debisini ayarlamak için kazan giriş ve çıkışına vanalar konulmuştur. Aynı şekilde sirkülasyon pompasının giriş ve çıkışına da vanalar konulmuştur. Kazanda ısınan ve ısıtıcılarda soğuyan suyu gidiş ve dönüş kolonları taşımaktadır. Sirkülasyon

suyunun debisini ölçmek amacıyla dönüş kollektörü ile kazan arasına bir rotametre yerleştirilmiştir. Sistemde bulunan ısı dönüştürücü, paralel akışlı U borulu olup, serpantin borularının boyu 3200 mm, çapı 1/2" tir. Serpantinde bulunan boru sayısı 30 adettir. Kazanda suya aktarılan ısı, sisteme bağlı olan bu ısı dönüştürücüsünden veya binayı ısıtma amacıyla kurulu bulunan radyatörlerden çevreye atılmaktadır.

#### 4.2.2.4. Ölçme ve Kontrol Sistemleri

Sistemde sıcaklık, debi, baca gazı analizi, baca çekişi, yakıt sarfiyatı ölçme ve yanma havası, yanma ve kazan basıncı kontrol elemanları bulunmaktadır.

Kazan suyu sıcaklıklarının ölçümünde, derece taksimatlı ve 1° duyarlıklı sıvılı termometreler kullanılmıştır. Ölçümler gidiş ve dönüş kollektörleri üzerinde yapılmıştır, (Şekil-4.1). Sirkülasyon suyunun debisinin ölçümünde, dönüş kollektörü ile kazan arasına yerleştirilen m<sup>3</sup>/h kalibreli bir sıvı rotametresi kullanılmıştır.

Kazan yakıt sarfiyatını tespit edebilmek için, servis tankı üzerine yerleştirilen ve kg biriminde kalibre edilmiş bir yakıt debisi ölçerle yakıt miktarı ölçülmüştür.

Baca gazı analiz ölçümleri ise baca girişi ile kazan arasında açılmış bulunan bir sonda deliğine yerleştirilen baca gazı analiz cihazıyla yapılmıştır, (Şekil-4.4). Kazan çıkışına (baca girişi) yerleştirilmiş bir ölçme deliğine U manometresi yerleştirilmesiyle baca çekişi tespiti amaçlanmıştır.

Kontrol sistemlerinde ise yanma havası kontrolü için ocağın girişine takılan hava kanalı ve bu kanal üzerindeki kalibre edilmiş bir orifis kullanılmıştır. Yanma havası kontrolü için kanala takılmış bir U manometresi bulunmaktadır. Kazan suyu basıncının kontrolü için kazan üzerinde bir basınç göstergesi kullanılmıştır.

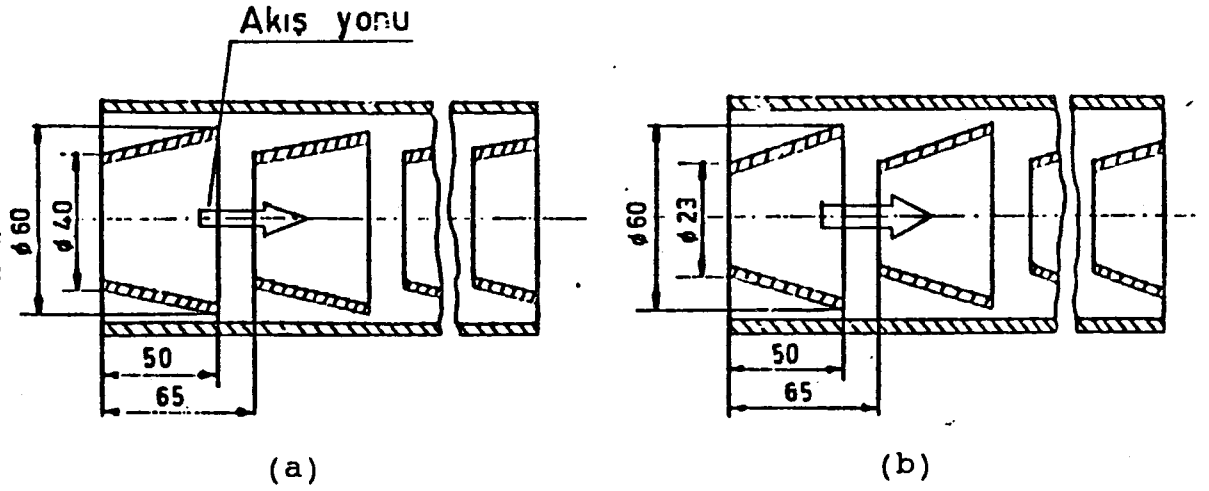


Şekil-4.4. Baca gazı değerlerinin ölçüm yeri.

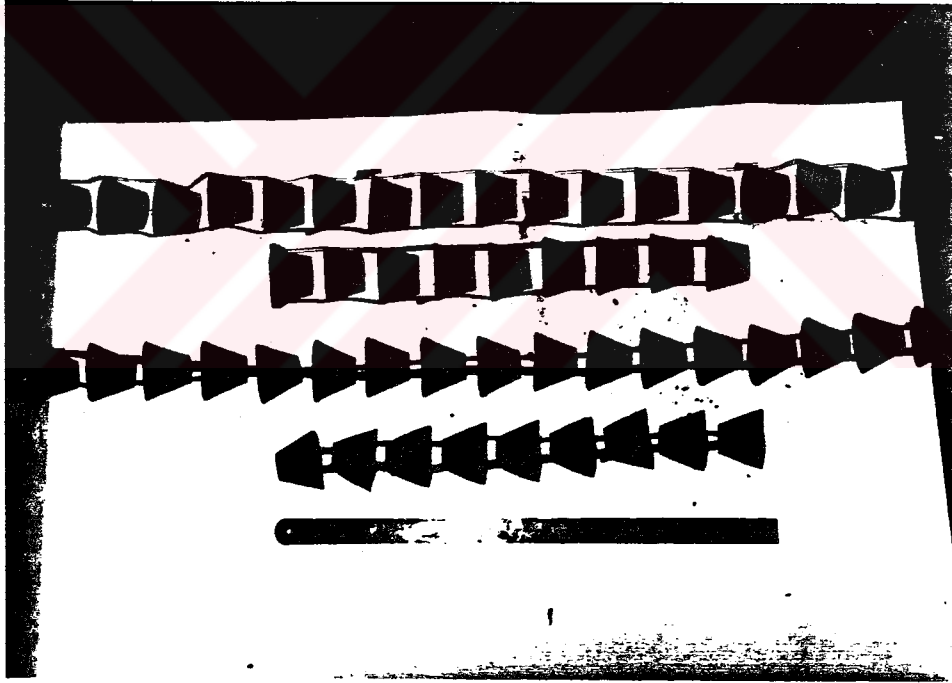
#### 4.3. Türbülatorlerin Tanıtılması

Sunulan çalışmada, literatürde Ayhan T. ve Karabay H. [8],[9] tarafından geliştirilmiş olan konik halka yüzeyle türbülator tiplerinden seçilen  $14^\circ$  ve  $20^\circ$  lik türbülatorler, 0.5mm kalınlığında sacdan imal edilmiştir. Kullanılan konik-halka yüzeyle türbülatorlerin boyutları Şekil-4.5 de, yerleşim düzenleri Şekil-4.6 da gösterilmiştir.Yapılan deneylerde ele alınan konik-halka yüzeyle elemanlar, kendi aralarında belirli bir düzene göre dizilmişlerdir. Kısa (1. geçiş) ve uzun (2.geçiş) duman borularına yerleştirilen türbülatorlerin sayısı 200 adettir. Türbülatorler duman boruları içerisine, duman gazlarının akışı istikametinde genişleyecek şekilde yerleştirilmişlerdir, (Şekil-4.7). Kullanılan konik-halka yüzeyle elemanlardan, A tipinin koniklik açısı  $14^\circ$  ve B tipinin ki ise  $20^\circ$  dir.

Tam türbülanslı akışta daralan-genişleyen konik-halka yüzeyle elemanların (türbülatorlerin), literatür [3], [4] ve [10] da belirtildiği gibi, ısı transferinin iyileştirilmesi açısından, bazı tip türbülatorlerden çok daha etkili olduğu ve imalat ve işletme açısından da kolaylık getirebileceği



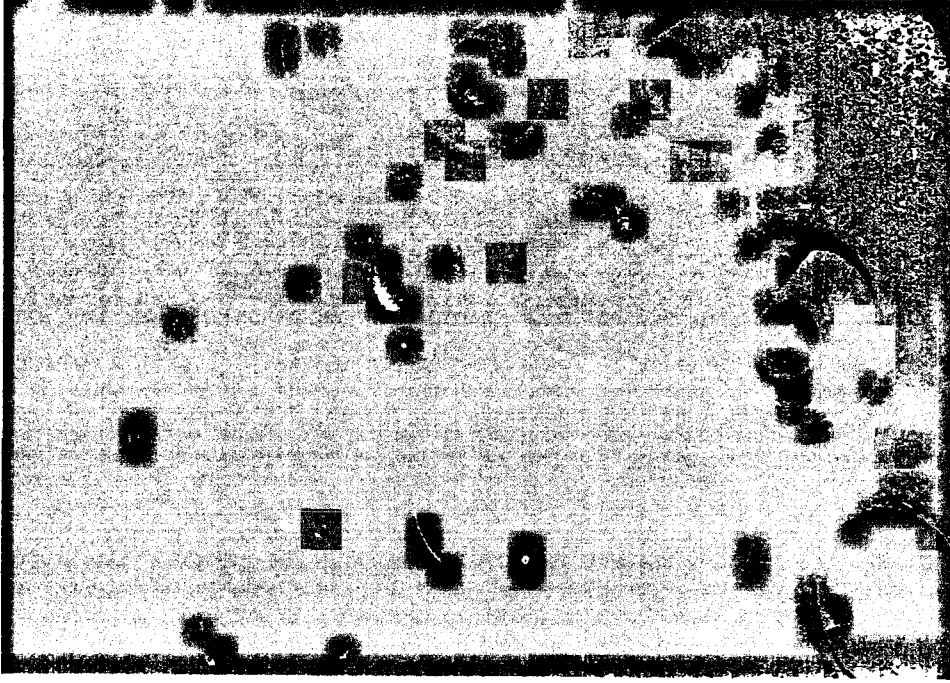
Şekil-4.5 Konik-halka yüzeyleli türbülatoörler.  
a- Koniklik açısı 14°, b- Koniklik açısı 20°.



Şekil-4.6 Türbülatoörlerin diziliş şekli.

saptanmıştır. Isı transferini iyileştirmesi açısından kullanılması önerilen iyi türbülatoörler, A ve B tipi türbülatoörlerdir.

Kullanılan bu türbülatoörlerle hava kanalında yapılan deneyler sonucunda ısı transferinin iyileştiği ve türbülatoörsüz duruma göre yaklaşık beş kat arttığı görülmüştür, [9],[11].



Şekil-4.7. Türbülatorlerin duman borularının içine yerleştirilme şekli.

#### 4.4. Deneylerin Yapılışı

Deneylere başlamadan önce kazan bir süre çalıştırılarak sistemin kararlı hale (90/70) gelmesi sağlandı. Kazan anma ısı gücünü verecek çıkış suyu sıcaklığındaki değişimin 10 dakikada bir %1'in altına inmesi halinde kararlı çalışma durumuna erişilmiş olur.

Sıvı yakıtlı kazanların anma ısı gücü deney süresi en az 60 dakikadır, [12].

Kazanda ısınarak çıkan suyun ısısı, bir ısı değiştirgeci vasıtasıyla çevreye atıldı. Eşanjöre giren ve çıkan soğutma suyunun debisi şehir şebekesine bağlı vanayla ayarlandı. Kazan giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları arasındaki fark eşanjörün soğutma suyu debisiyle sağlandı. Isınan kazan suyunun debisi ise gidiş ve dönüş kollektörleri üzerinde bulunan vanalar ile ayarlandı. Yanma havası ve baca gazı miktarı, baca girişinde bulunan kelebek vana ile ayrılarak yanma kontrol edildi.

Deneyler önce kazan duman borularında türbülatorler yokken yapıldı. Yapılan deneylerle kazanın verimi termodinamiğin

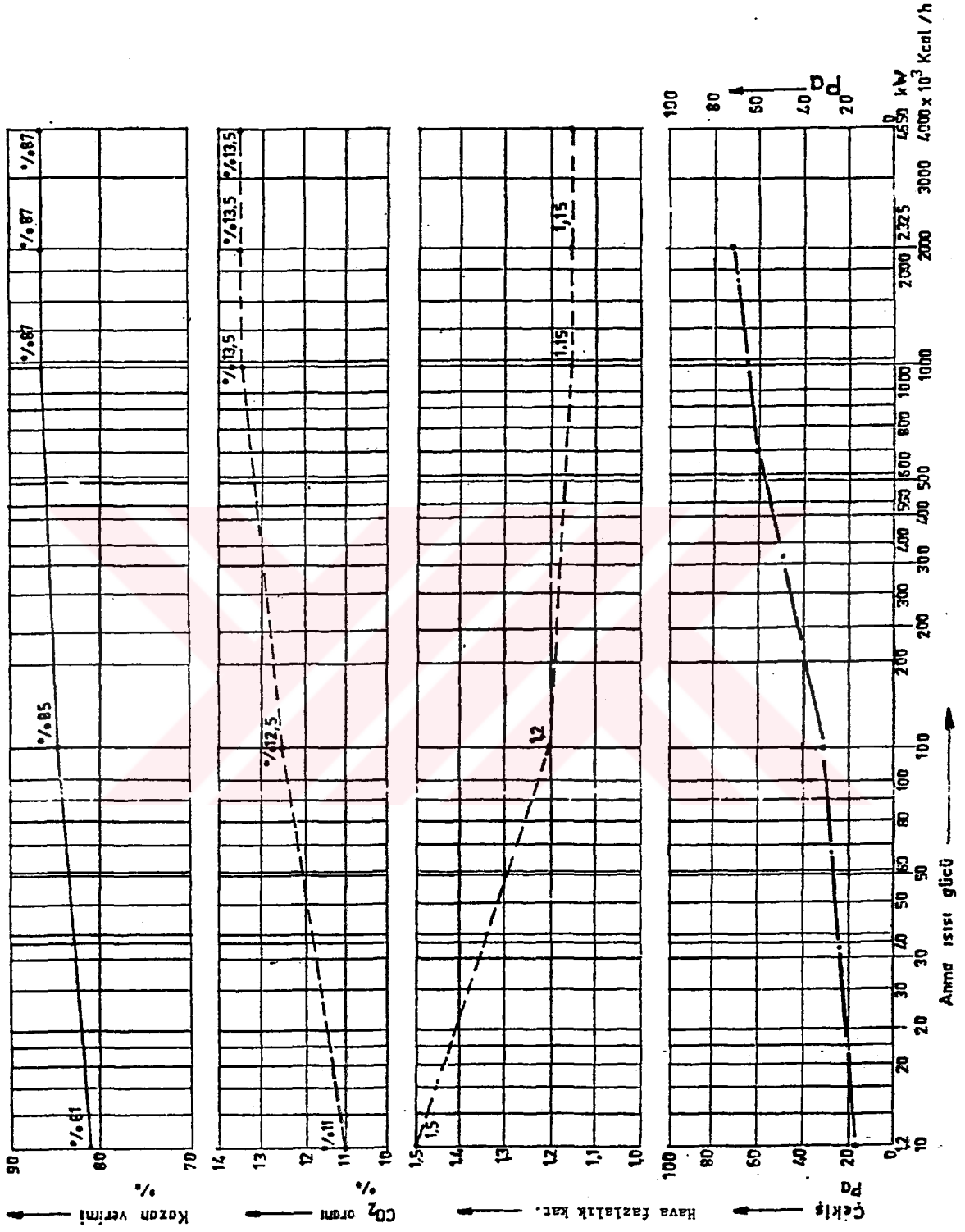
I. kanununa göre tesbit edilerek TS 4040 da verilen kazan değerlerine uygun olup olmadığı araştırıldı, (Şekil-4.8). Daha sonra duman borularına konik-halka yüzeyle türbülatorler yerleştirildi. Şekil-4.2'de kazan duman borularına türbülatorlerin yerleştirme düzeni görülmektedir. Tüm deneyler kazan 90/70 lik rejim haline getirilerek yapıldı. Deneylerde yakıt miktarı sabit tutularak kazan sirkülasyon suyunun debisi değiştirilerek sistem dengelendi. Kazan duman boruları içerisinde türbülatorler yokken baca çekişi doğal sirkülasyonla sağlandığı halde türbülatorlü deneyler esnasında doğal çekiş yeterli olmadığından, baca çekişi bir fanla gerçekleştirildi. Fandan dolayı fazla hava çekişi meydana geldiğinden, baca sıcaklığında düşüş tespit edildi. Bu durumun kazan verimi testlerindeki etkisini düzeltmek için yanmaya iştirak eden hava miktarının tüm deneyler boyunca eşit olması sağlandı. Bunu gerçekleştirebilmek için yanma odasına giren ve yanmaya iştirak eden hava kontrol altında bulunduruldu. Bundan dolayı kazanın brülör kısmı bir kanal içerisine alındı. Hava sızdırmazlıkları sağlanarak yanmaya iştirak eden hava sadece bu kanal içerisinden geçirildi. Kanal girişine de kalibre edilmiş bir orifis yerleştirildi. Hava debisi baca girişindeki kelebek vana ile ayarlandı.

#### 4.5. Ölçümler

Deneylerde ölçüm aralıklarınının 10 dakika olarak alınmış olduğu ve her bir deney için 1 saatlik sürenin belirlenmiş olduğunu daha önce belirtilmişti.

Kazan giriş ve çıkış suyu sıcaklıkları, giriş ve çıkış kollektörleri üzerine yerleştirilen 1°C duyarlıklı sıvılı termometrelerle ölçüldü. Baca gazı sıcaklığı kazan çıkışında (baca girişi) açılmış olan bir sonda deliğine yerleştirilen termoelemenle ölçüldü.

Kazan suyu basıncı, kazan üzerinde bulunan basınç göstergesinden sürekli kontrol edildi ve böylece kazan basıncında düşüş olup olmadığı gözlemlendi. Sayet kazan basıncında bir düşüş varsa demek ki besleme suyu seviyesinin düşmüş olduğu



Şekil 4.8 Sıvı Yakıt Kazanlarından İstenilen Değerler.



anlaşılır. Ayrıca, türbülantör ve çekiş kayıpları da baca girişindeki bir U manometresi ile tesbit edildi.

Kazan sirkülasyon suyunun debisi dönüş kollektörü üzerine yerleştirilen bir rotametre ile ölçüldü. Çıkışında bulunan vana ile suyun debisi ayarlandı.

Yakıt miktarı yakıt sevk deposu üzerine yerleştirilmiş olan kalibre edilmiş olan bir yakıt debisi ölçerle ölçüldü.

Baca gazlarının yapısı, bacaya takılan bir baca gazı analiz sondası ile tesbit edilmiş olup, bu ölçümlerde CO<sub>2</sub>, CO ve O<sub>2</sub> yüzde miktarları belirlendi. Yanmaya iştirak eden hava miktarı da yanma odası girişine yerleştirilmiş bir orifisle ölçüldü.

Deney düzeneğinde belirlenen fiziksel büyüklüklere ait ölçüm değerleri Tablo-4.1, 4.2 ve 4.3 de verilmiştir.

Tablo-4.1. Birinci deney ölçüm değerleri.

Tablo-4.1.a. Kazan ölçüm değerleri.

	m[kg/h]	T <sub>ç</sub> [°C]	T <sub>g</sub> [°C]	B <sub>n</sub> [Kg/h]	T <sub>cort</sub> [°C]
Boş	1906.71	88	66	4.845	34
Tip A	2102.27	88.5	66.2	4.91	36
Tip B	2248.94	86.4	65.1	4.935	40

Tablo-4.1.b. Baca gazı ölçüm değerleri.

	Ta	YCO <sub>2</sub>	YO <sub>2</sub>	YCO	YN <sub>2</sub>	P	V <sub>ölç</sub>
	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Pa]	[m <sup>3</sup> /h]
Boş	237.14	9.73	7.5	0.12	82.59	0.058	84.9
Tip A	113.6	9.43	8.6	0.09	81.88	0.137	86.5
Tip B	102	9.09	8.46	0.14	82.31	0.264	86.7

Tablo-4.2. İkinci deney ölçüm değerleri.

Tablo-4.2.a. Kazan ölçüm değerleri.

	m[kg/h]	T <sub>ç</sub> [°C]	T <sub>g</sub> [°C]	B <sub>h</sub> [Kg/h]	T <sub>c_ort</sub> [°C]
Boş	1902.5	85	63	4.865	33.5
Tip A	2021.6	88	68	4.975	38
Tip B	2254	88.6	68.4	4.945	39

Tablo-4.2.b. Baca gazı ölçüm değerleri.

	Ta	YCO <sub>2</sub>	YO <sub>2</sub>	YCO	YN <sub>2</sub>	P	Völç
	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Pa]	[m <sup>3</sup> /h]
Boş	234.7	9.95	7.3	0.12	82.7	0.065	84.9
Tip A	117.7	10.10	7.1	0.10	82.75	0.15	84.6
Tip B	102.5	10.17	7	0.12	82.7	0.258	84.8

Tablo-4.3. Üçüncü deney Ölçüm Değerleri.

Tablo-4.3.a. Kazan deney değerleri.

	m[kg/h]	T <sub>ç</sub> [°C]	T <sub>g</sub> [°C]	B <sub>h</sub> [Kg/h]	T <sub>c_ort</sub> [°C]
Boş	1908	86.5	66	4.870	34
Tip A	2120	87	66	4.89	35
Tip B	2235	86	65	4.92	38

Tablo-4.3.b. Baca gazı ölçüm değerleri.

	Ta	YCO <sub>2</sub>	YO <sub>2</sub>	YCO	YN <sub>2</sub>	P	Völç
	[°C]	[%]	[%]	[%]	[%]	[Pa]	[m <sup>3</sup> /h]
Boş	236	10.02	7.2	0.12	82.57	0.058	81.2
Tip A	115	10.17	7	0.09	82.35	0.14	83.7
Tip B	101	9.88	7.4	0.27	82.05	0.26	83.9

## BÖLÜM 5

### HESAPLAMALAR

#### 5.1. Hava Fazlalık Katsayısının Hesabı

##### 5.1.1. Kazan Yakıtı ve Özellikleri

Deney kazanında yakıt olarak ön ısıtma gerektirmeyen ince bir yakma yağı (motorin) kullanılmıştır. Kullanılan yakıtın özellikleri aşağıda verilmiştir.

Yakıtın alt ısı değeri,  $H_u=42636$  Kj/kg

Kuru baca gazındaki maksimum  $Y_{CO_2}$  miktarı,

$Y_{CO_2max}=15.4$

Minumum hava ihtiyacı,  $L_{min}=11.04$  m<sup>3</sup>/Kg<sub>y</sub>

Kuru baca gazı miktarı,  $V_{min}=11.73$  m<sup>3</sup>/Kg<sub>y</sub>

Yakıtın kütlesele (elemansel) bileşimi:

$c=0.85$

$h=0.13$

$o=0.017$

$s=0.003$

olarak alınmıştır, [6],[13],[14],.

Yakıtın elemansel bileşimi belli olduktan sonra yukarıdaki  $L_{min}$  ve  $V_{min}$  değerleri belirlenebilir. Bu belirleme sıvı yakıtlara göre yapılmıştır.

Bir kilogram yakıtın alt ısı değeri yakıtın elemansel analizine dayanarak aşağıdaki amprik formüle göre yaklaşık bir şekilde elde edilebilir, [13].

$$H_u = 8100c + 29000\left(h - \frac{O}{8}\right) + 2500s - 600w \quad (1)$$

$$L_{min} = \frac{0.85}{1000} H_u + 2 \quad (2)$$

$$V_{min} = \frac{1.11}{1000} H_u \quad (3)$$

### 5.1.2. Hava Fazlalık Katsayısı

Hava fazlalık katsayısı, gerçekte yakıtın yanması için kullanılan hava miktarının ( $L_n$ ), teorik yanma için kullanılan hava miktarına ( $L_{min}$ ) oranı olarak tanımlanır, [13].

$$\lambda = \frac{\text{Verilen hava miktarı}}{\text{Lüzümlü teorik hava miktarı}} = \frac{L_n}{L_{min}} \quad (4)$$

Yanma odasındaki basınç genellikle atmosfer basıncından küçüktür. Kazan kaplamasının sızdırgan olması ve cebri çekiş yanlış miktarda havanın sağlanmasına yol açar bu da kazan sonuna doğru hava fazlalık katsayısında bir artışa sebebiyet verir.

Hava fazlalık katsayısının tam olarak bulunabilmesi için, hava oksijeninin fazla kısmının yanmaya bir katkısının olmadığı göz önüne alınması gerekir. Fazla olan oksijen yanmada baca gazı içinde kazanı terk ederken baca gazı analiz cihazı ile ölçülmektedir. Baca gazındaki azot miktarı yanma başındaki toplam azottur. Böylece tam yanma için hava fazlalık katsayısı aşağıdaki formülle hesaplanır. Burada kullanılan  $Y_{O_2}$ ,  $Y_{CO}$ ,  $Y_{CO_2}$  ve  $Y_{N_2}$  baca gazındaki hacimsel oranlardır.

$$(\lambda - 1) = \frac{Y_{O_2}}{\frac{21}{79} Y_{N_2} - Y_{O_2}} \quad (5)$$

Yanmanın tam olmadığı durumda  $Y_{O_2}$  hacimsel oranında  $0.5Y_{CO}$  kadar bir azalma meydana geleceğinden geri kalan kısım

$$Y'_{O_2} = Y_{O_2} - 0.5Y_{CO} \quad (6)$$

kadar fazla oksijendir.

Aynı zamanda ölçülen  $YCO_2$ 'in hacimsel oranı da  $YCO$  büyüklüğü kadar fazlalaşır.

$$Y'CO_2 = YCO_2 + YCO \quad (7)$$

Yanmadan dolayı azotun hacimsel oranında aşağıdaki gibi değişmiş olur.

$$Y'N_2 = \%100 - Y'CO_2 - Y'O_2 \quad (8)$$

Sonuçta bu değerlerle, hava fazlalık katsayısı şu şekilde hesaplanır, [15].

$$(\lambda-1) = \frac{Y'O_2}{\frac{21}{79} Y'N_2 - Y'O_2} \quad (9)$$

Hava fazlalık katsayısının hesaplanmasındaki amaç, kazan verim deneylerinin aynı yanma şartlarında gerçekleşip gerçekleşmediğini kontrol etmektir. Hesaplanan hava fazlalık katsayısı değerleri Tablo-5.2, 5.3 ve 5.4 de verilmiştir. Sonuçta bütün deneylerde aynı hava fazlalık katsayısının yaklaşık olarak hesaplanmış olduğu görülmektedir.

### 5.1.3. Yanmaya İştirak Eden Hava ve Baca Gazı Miktarları

Minimum hava miktarı	$L_{min}$	
Fazla hava miktarı	$L_u = (\lambda-1)L_{min}$	
Toplam hava miktarı	$L = L_{min} + L_u$	(10)

Toplam baca gazı miktarı, saf baca gazı miktarı ile fazla hava miktarının toplamına eşittir.

$$V_{hesap} = V_{min} + L_u \quad (11)$$

### 5.2. Termodinamiğin I. Kanun Verimi

Kazan verimi, ısıtıcı akışkanın saatte aldığı ısı miktarının, yanma ısı yüküne oranıdır.

Termodinamiğin I. kanununa göre kazan verimi şu şekilde hesap edilir, [12],[16].

$$\eta_I = \frac{\text{Isıtıcı Akışkana Geçen Isı}}{\text{Yakıtın Alt Isıl Değeriyle Hesaplanan Isı}}$$
$$\eta_I = \frac{m c_p (T_c - T_g)}{B_h H_u} \quad (12)$$

Yakma havası ısıtılmış olsaydı havanın taşıdığı ısı yakıt ısısına ilave edilecekti.

### 5.3. Dolaylı Yoldan Verim ve Kayıpların Hesabı

Yakıt hangi cins olursa olsun, yakıtın yanması sonucu vereceği tüm ısıdan faydalanma imkanı yoktur. Bu nedenle çeşitli kayıplar meydana gelmektedir. Kayıplar gözönüne alınarak kazan verimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir, [13].

$$\eta_D = 100 - \Sigma \text{kayıplar} \quad (13)$$

Toplam kayıplar şu kısımlara ayrılmaktadır.

- a- Yanma kayıpları ( $v_f$ ),
- b- Işıma ve kondüksiyon kaybı (artık kayıplar,  $v_r$ ),
- c- Ekzos kaybı ( $v_a$ ).

Böylece (13) nolu denklem şu şekli alır.

$$\eta_D = 100 - (v_f + v_r + v_a) \quad (14)$$

#### 5.3.1. Yanma Kaybı

Yanma kaybı yakıtın yandığı yere ve yanma şekline bağlı olarak değişmektedir. Sıvı yakıtların yanmasında, yanma kaybı çok küçük olup,  $v_f \leq 0.01$  değerindedir. Yanma kaybı pratik değerler için Tablo-5.1 den alınabilir, [13].

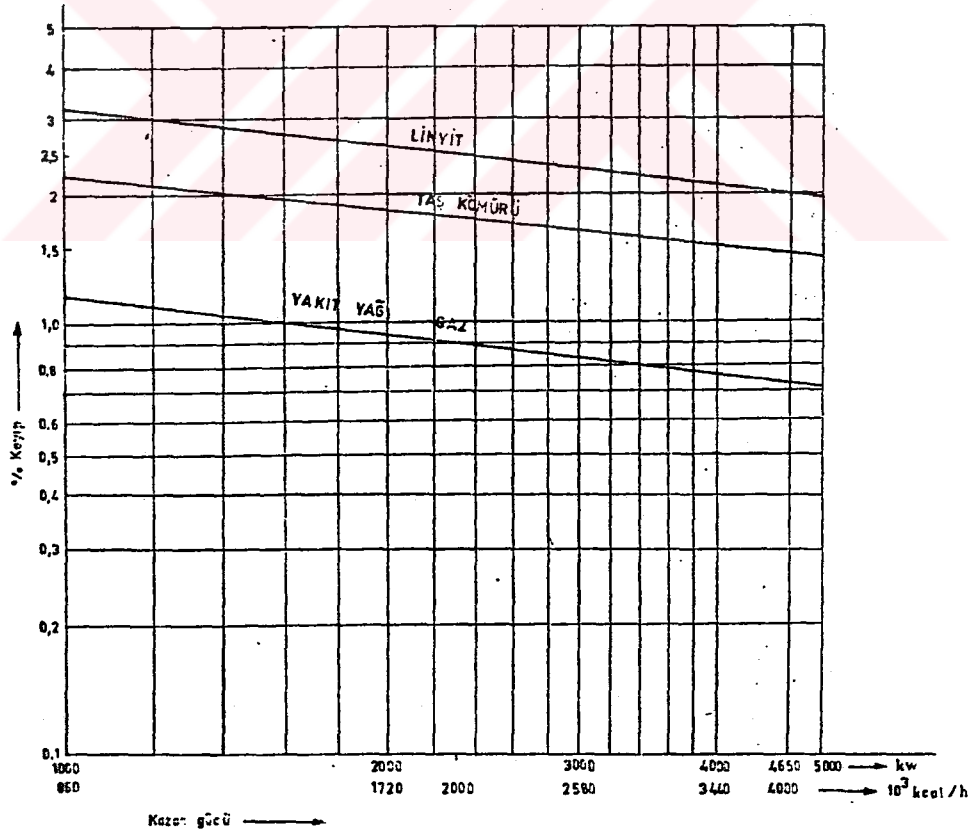
#### 5.3.2. Artık Kayıplar

Artık kayıplar, kazandan ışıma ve konveksiyon yoluyla dış ortama iletilen ısı miktarı olarak tanımlanır. Bu değer

Tablo-5.1. Yanma kayıpları.

Yakıt	Yanma	% Yanma kaybı
Sıvı yakıt	Tüm yakıtın yanması	0÷1
İri taneli kömür	İnsan gücü ile ızgarada yak.	2÷6
Küçük taneli kö.	İnsan gücü ile ızgarada yak.	3÷5
	Yarım mekanik ızgarada yak.	2÷4
	Tam otomatik ızgarada yak.	1÷3

kazan yapım şekli ile ısıl izolasyonuna bağlıdır. Kazanın normal işletmesi sırasında kazan dış yüzeylerinde tutulması gereken kısımların sıcaklığı, kazan dairesi sıcaklığından, metal ve benzeri malzemelerde 40°C yi geçmemelidir, [12]. Pratikte kullanılan çeşitli artık kayıp değerleri Şekil-5.1 den belirlenebilir.



Şekil-5.1. Artık kaybın nominal güç ve yük parametresine bağlı olarak değişimi.

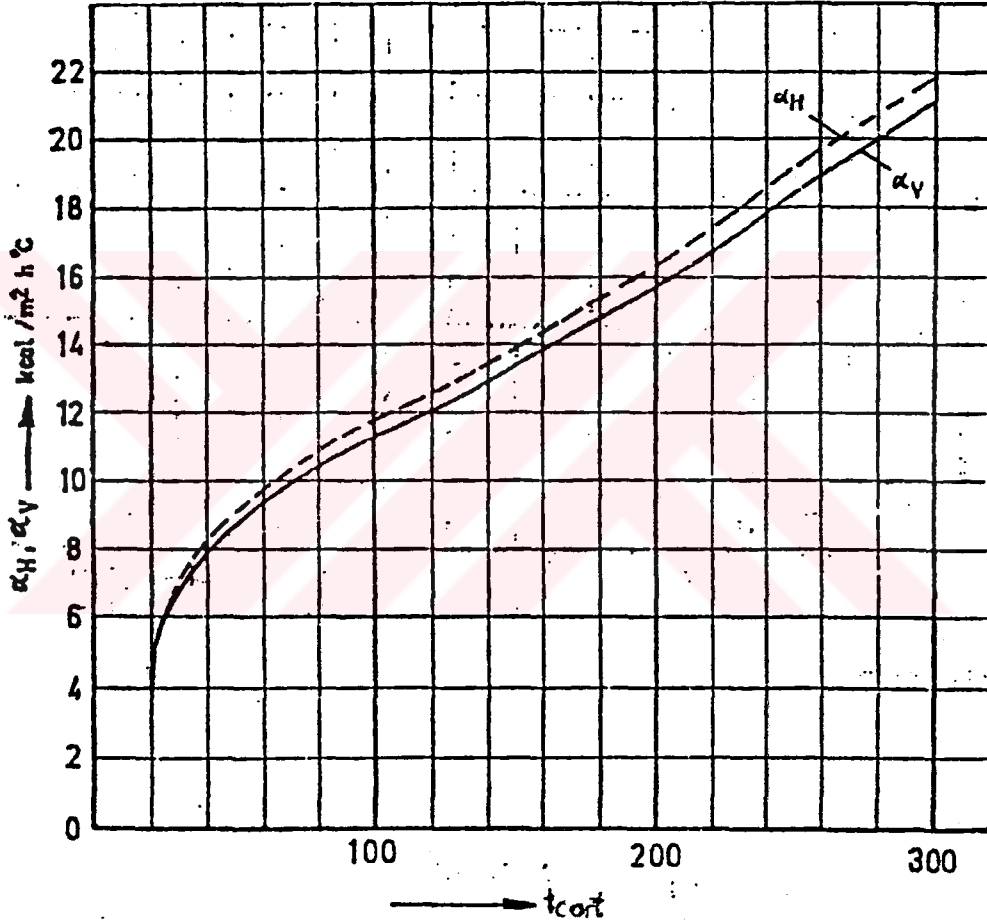
(17)

Artık kayıplar kazan ortalama yüzey sıcaklığına bağlı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$Q_x = F_x \alpha_{ort} (T_{Cort} - T_0) \quad (15)$$

$$v_r = \frac{\Sigma Q_x}{Q_{su}} \quad (16)$$

Kazanın kısımlara ayrılmış yüzeylerindeki ortalama ısı geçirme katsayısı yüzey sıcaklığına bağlı olarak Şekil-5.2 den alınmıştır, [12].



Şekil-5.2. Yüzey ortalama sıcaklığına bağlı olarak  $T_0=20^\circ\text{C}$  çevre sıcaklığında yatay yüzeylerde  $\alpha_H$ , düşey yüzeylerde  $\alpha_V$ , serbest konveksiyon, kondüksiyon ve radyasyon toplam ısı geçiş katsayısı.

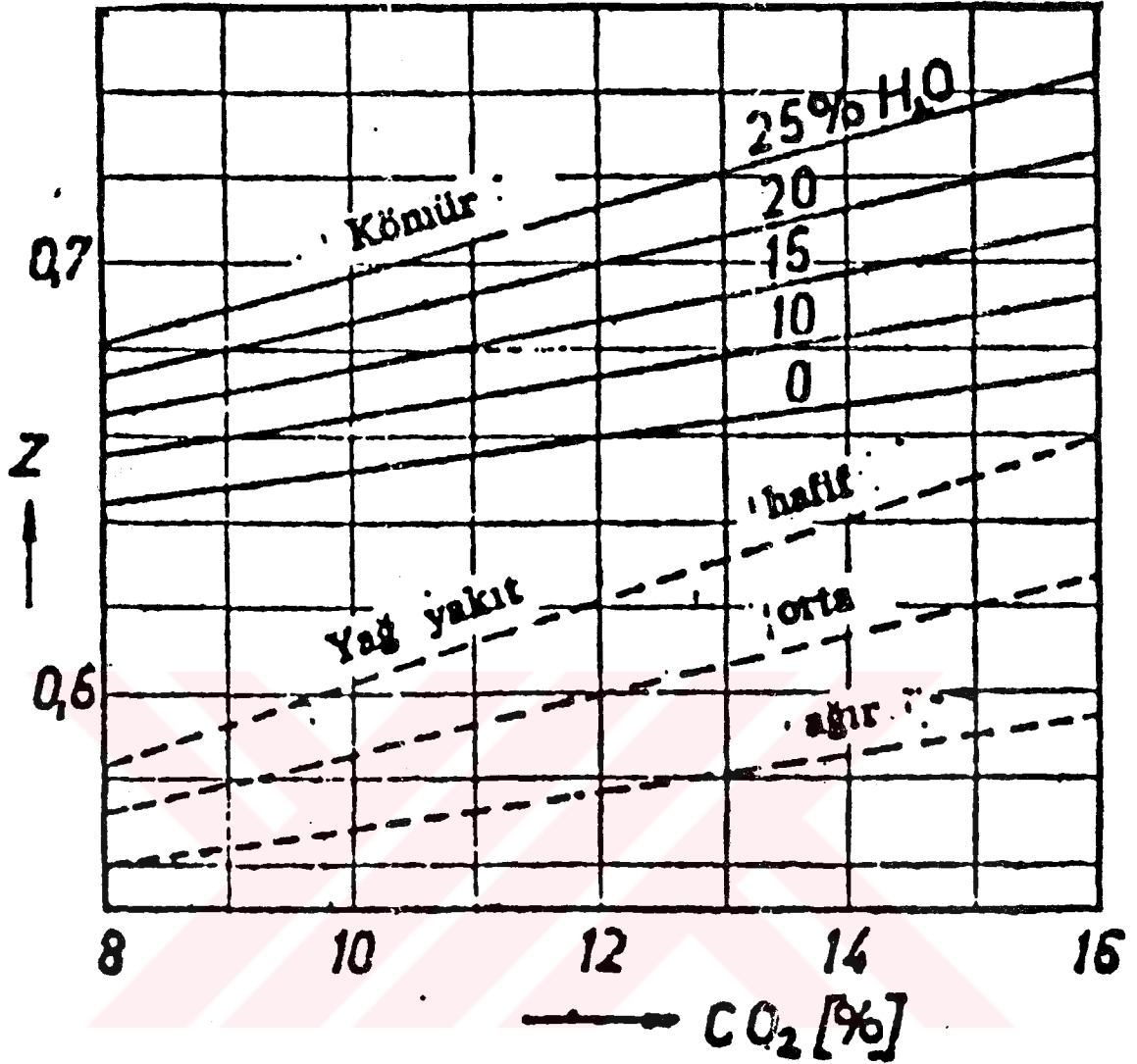
### 5.3.3. Baca Gazı Kayıpları

(18)

Baca gazı kaybı (17) formülünden yararlanılarak yaklaşık olarak belirlenebilir. Buradaki Z kayıp faktörü Şekil-5.3 den alınır. Bu faktör yakıt tipi, yakıt bileşeni ve CO<sub>2</sub> miktarına bağlıdır, [12].



$$v_a = z \frac{T_a - T_0}{YCO_2} \quad (17)$$



Şekil-5.3. Baca gazı kayıp faktörü.

#### 5.4. Termodinamiğin II. Kanun Verimi

Termodinamiğin II. kanun verimi için literatürde verilen tanımlar Ek.1 de verilmiştir.

Bu çalışmadaki hesaplamalarda kullanılan ekserji dengesi için bağıntılar aşağıda verilmiştir.

Baca gazının ekserji kaybı, [17], [18]

$$\Delta E_{BG} = m \left[ C_p (T_a - T_0) - T_0 C_p \ln \frac{T_a}{T_0} \right] \quad (18)$$

Yakıtın ekserjisi,

$$E_{\text{yakıt}} = H_u \left( 1.0374 + 0.0159 \frac{H}{C} + 0.0567 \frac{O}{C} \right) \quad (19)$$

Buradaki H/C ve O/C oranları elementlerin atomik oranlardır, [17].

Yüzeyden kaybolan ısının ekserjisi, [16]

$$\Delta E_Q = Q_x \left( 1 - \frac{T_0}{T_{\text{cort}}} \right) \quad (20)$$

Kazan suyunun ekserjisi, [18]

$$\Delta E_{\text{su}} = (H - H_0) - T_0 (S - S_0) \quad (21)$$

Kayıp ekserji, [16]

$$E_{\text{kayıp}} = E_g - E_{\text{ç}} = E_{\text{yakıt}} + \Delta E_{\text{su}} - \Delta E_{\text{BG=Ta}} - \Delta E_{\text{Q=T0}} \quad (22)$$

Bu hesaplamalarla birlikte bacadaki fanın ve kazan suyu sirkülasyon pompasının sisteme vermiş olduğu ek ekserji ( $E_{\text{fan}}$ ,  $E_{\text{sp}}$ ), hesaplanarak verim ifadesinin paydasındaki yakıtın ekserjisine ilave edilmiştir.

$$\eta_{\text{II.kazan}} = \frac{\Delta E_{\text{su}}}{E_{\text{yakıt}} + E_{\text{fan}} + E_{\text{sp}}} \quad (23)$$

Hesaplamalar sonucu elde edilen değerler, Tablo-5.2, 5.3 ve 5.4 de verilmiştir.

Tablo-5.2. Birinci deney sonuç değerleri.

Tablo-5.2.a. Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri.

	Yanma havası ve baca gazı			Isıl kayıplar		
	$\lambda$	L	$V_{\text{hesap}}$	$v_f$	$v_r$	$v_a$
		$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{m}^3/\text{h}$	[%]	[%]	[%]
Boş	1.52	81.43	82.12	0.5	1.9	13.3
Tip A	1.56	84.89	85.56	0.5	2.3	6
Tip B	1.55	84.44	85.11	0.5	2.8	5.4

Tablo-5.2.b. Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri.

	$Q_s$	$\Delta E_{BG}$	$E_y$	$\Delta E_Q$	$\Delta E_s$	$E_{\text{kay}}$	$\eta_I$	$\eta_D$	$\eta_{II}$
	$\text{kJ}/\text{kg}_y$	$\text{kJ}/\text{kg}_y$	$\text{kJ}/\text{kg}_y$	$\text{kJ}/\text{kg}_y$	$\text{kJ}/\text{kg}_y$	$\text{kJ}/\text{kg}_y$	%	%	%
Boş	36252	2303	47436	308	-11269	33556	85	84	24
Tip A	39939	847.7	47436	398.1	-12667	33556	93	91	27
Tip B	40602	728	47436	508	-12643	33558	95	92	27

Tablo-5.3. İkinci deney sonuç değerleri.

Tablo-5.3.a. Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri.

	Yanma havası ve baca gazı			Isıl kayıplar		
	$\Delta$	L	$V_{\text{hesap}}$	$v_f$	$v_r$	$v_a$
		$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{m}^3/\text{h}$	[%]	[%]	[%]
Boş	1.49	80.02	83.45	0.5	1.83	13.09
Tip A	1.47	80.73	84.17	0.5	2.29	6.55
Tip B	1.46	79.7	83.12	0.5	2.15	5.9

Tablo-5.3.b. Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri.

	$Q_s$	$\Delta E_{BG}$	$E_y$	$\Delta E_Q$	$\Delta E_s$	$E_{kay}$	$\eta_I$	$\eta_D$	$\eta_{II}$
	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	%	%	%
Boş	35135	2131	47436	299	-12053	32952	85	85	23
Tip A	36509	856.3	47436	442.5	-13081	32326	90	91	26
Tip B	41325	684	47436	481	-13699	32571	95	92	27

Tablo-5.4. Üçüncü deney sonuç değerleri.

Tablo-5.4.a. Yanma havası ve baca gazı miktarları ve kazan ısı kayıplarının değerleri.

	Yanma havası ve baca gazı			Isıl kayıplar		
	$\lambda$	L	$V_{hesap}$	$v_f$	$v_r$	$v_a$
		$\text{m}^3/\text{h}$	$\text{m}^3/\text{h}$	[%]	[%]	[%]
Boş	1.48	80.11	83.46	0.5	1.95	13
Tip A	1.46	79.57	82.73	0.5	1.98	5.66
Tip B	1.49	79.57	82.79	0.5	2.29	4.98

Tablo-5.4.b. Deney sonucu bulunan enerji, ekserji ve verim değerleri.

	$Q_s$	$\Delta E_{BG}$	$E_y$	$\Delta E_Q$	$\Delta E_s$	$E_{kay}$	$\eta_I$	$\eta_D$	$\eta_{II}$
	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	$\text{kJ/kg}_y$	%	%	%
Boş	33733	2051	47436	341	-11200	33844	80	84	23
Tip A	38238	769	47436	401	-12570	33696	89	92	26
Tip B	40066	623	47436	540	-12987	33286	94	93	27

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Kazanlar üzerinde enerji ve işletme ekonomisini incelemeye yönelik bir çok çalışmalar yapılmıştır. Kazanların ısı verimi, kapasiteleri ve diğer karakteristiklerinin sınırları Türk Standartları Enstitüsü tarafından belirlenmiştir [12], [19]. Kazanların ekonomik potansiyelinin belirlenmesi ve ekonomik analizlerin yapılması konusunda, türlü kuruluşlarda bulunan çeşitli kapasitelerdeki kömürle çalışan kazanlarda yapılan incelemeler ve testler, işletme şartlarına bağlı olarak kazan ısı verimlerinin %50-60 dolayında bulunduğunu, tekniğe uygun, özenle yakma ile bu verimin %70-73 düzeylerine çıkarılabileceğini göstermiştir. Ayrıca ön ısıtılmış ikincil havalı (sekonder yakıtlı) on kazanda yapılan inceleme ve testlerde ise kazan ısı veriminin hiç özen gösterilmeyen yakma şartlarında %65-75 dolayında olduğunu, özenle yakma ile bu verimin %80-87 düzeyine çıkarılabileceğini kanıtlamıştır. Endüstriyel enerji tasarrufu ile ilgili olarak 19 fabrikadaki 80'e yakın çeşitli tip ısı kapasitelerdeki kazanlarda yapılan inceleme ve testler kömürlü kazanların ısı verimi genelde %60-65, fuel-oil'li kazanların ise %70-75 dolayında bulunduğunu göstermiştir, [20].

Kazan verimini artırmak için, yanma veriminin iyileştirilmesi konusu üzerinde yapılan çalışmalarda, tam yanmanın eksik yanmaya göre, kazan verimini %5 iyileştirdiği belirtilmiştir, [15].

Farklı yakıt kullanılması durumunda, fuel-oil ve doğal gaz kullanabilen kazanlardaki çalışmalar sonucunda, aynı sonucu veren şartlar için saatte 427 Kg fuel-oil'e karşılık saatte 370 Kg doğal gaz yakılmaktadır. Baca gazı sıcaklığının

düşürülmesi ile her iki kanuna göre verim artacak, ekserji kaybı ve yakıt miktarının azalacağı görülmüştür, [16]. Pratik ve az yatırım gerektiren önlemlerin alınmasıyla kömür yakan kazanlarda %15, fuel-oil yakan kazanlarda %10 dolayında yakıt tasarrufu sağlanabilmektedir, [15].

Sunulan çalışma sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi sıralanabilir:

a-) Kazan duman borularında türbülötör yerleştirilmediği zaman kazan verimi % 84-85 olarak hesap edildi. Böylece kazan veriminin TS 4040'da verilen kazan verim değerlerine uygunluğu tespit edilerek bir anlamda deney sisteminin kalibrasyonu gerçekleştirildi. A tipi ve B tipi türbülötörlerin, kazan duman borularına yerleştirilerek yapılan deneylerde ise kazan veriminin % 93 ve % 95'e yükseldiği izlendi.

b-) Isıl kayıpların tespit edilmesiyle dolaylı yoldan hesaplanan kazan veriminin de yaklaşık aynı sonuçları verdiği gösterildi.

c-) Kazan duman boruları içerisine yerleştirilen türbülötörlerin kazan verimini iyileştirmesi yanında, doğrudukları basınç kayıpları nedeniyle baca çekişini azaltmaları, sisteme ilave bir fan yerleştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Kazan veriminde elde edilen iyileşmeye karşılık, baca çekişini yükseltmek için fana verilen enerjinin değerlendirilmesinin yapılabilmesi için sistemin termodinamiğin ikinci kanun verimi hesaplanmıştır. Duman borularına türbülötör yerleştirilerek termodinamiğin ikinci kanununa dayalı kazan verimleri deneyleri sonucunda, ikinci kanun verimlerinin, türbülötörsüz kazan verimlerine göre % 12.5 daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

d-) Termodinamiğin ikinci kanununa dayalı, kazan verimleri deneylerinde kullanılan türbülötör tiplerinin birbirlerine göre kazan verimlerinde % 4'lük bir iyileştirme meydana gelmektedir.

KAYNAKLAR

1. Genceli, O.F., Buhar Kazanları, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1985.
2. Sanayi Kazanları ve Ek Donatım İşletme El Kitabı, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No:110, Bursa.
3. Bergles, A.E., Nirmalan, V., Junkhan, G.H., and Webb, R.L., Bibliography on Augmentation of Convective Heat and Mass Transfer, Part II, HTL-31, ISU-ERI-Ames-8422 2, DE-84018484, Iowa State University, Ames, December, 1983.
4. Junkhan, G.H., Bergles, A.E., Nirmalan, V., Raviguru-rajén, T., Investigation of Turbulators for Fire Tube Boilers, Transactions of the ASME, May, 107, 1985, 354-360.
5. Büyüktür, A. R., Termodinamik, Cilt.I, 2. Baskı, Uludağ Üniversitesi Basımevi, Bursa, 1986.
6. Eker, A., Kazanlar, Ankara, 1975
7. Özkan, M., Buhar Kazanları, cilt.I, Ankara, 1983.
8. Karabay, H., Ayhan, T., Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Konik-Halka Yüzey Elemanlarının Isı Transferine Etkisi, 6. Mühendislik Haftası, Isparta, 1990, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 5, 57-67, Isparta Mühendislik Fak. Matbaası, 1991.
9. Karabay, H., Ayhan, T., Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Daralan-Genişleyen Konik Yüzeylerin Isı Transferine Etkisi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Cilt.11, 4, Aralık, 1988, 39-43.

10. Ayhan, T., Arıcı, M.E., İçten Yapay Dirençli Dairesel Borularda Isı Transferi, Isı Bilimi ve Tekniği 5. Ulusal Kongresi, İstanbul, 18-22 Eylül, 1985, Bildiriler Kitabı, Cilt.I, O.T.D.Ü., Mühendislik Fak. Baskı İşliği, Ankara, 1986.
11. Genç, E., Silindirik Boru İçerisine Yerleştirilen Konik-Halka Yüzey Elemanlarının Isı Transferine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Müh. Mim. Fak. Makina Müh. Bölümü, Trabzon, 1991.
12. TSE 4041, Ankara, Ekim, 1983.
13. Özge, A., Buhar Kazanları, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 1989.
14. Telli, K., Yakıtlar ve Yanma, Akdeniz Üniversitesi, Yayın No:17, Isparta, 1989.
15. Tüter, H., Akaryakıt Yakar Üç Çekişli Bir Kazanın Tam Yükte ve Yarım Yükte Baca Gazı Kaybı, Mühendis ve Makina, Cilt 5, 213, Ekim, 1974, 394-399.
16. Tenir, G., Kıncay, O., Fuel-Oil Yakan Gaz Borulu Kazanların Doğal Gaza Dönüşmesi Halinde Termodinamiğin İkinci Kanununa Göre Verimlilik Analizi, Uluslararası Enerji Tasarrufu Semineri, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, İstanbul, 14-15 Ocak, 1992.
17. Szargut, S., Morris, D. R., Stewart, F. R., Exergy Analysis of Thermal, Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1988.
18. Arikol, M., Ekserji Analizine Giriş, TÜBİTAK, Proje No: 6630048401, 1985.
19. TSE 4040, Ankara, Ekim, 1983.
20. Durmaz, A, Özkan, M., Kazanların Enerji Ekonomisi Yönünden İncelenmesi, Isı Bilimi ve Tekniği 4. Ulusal Kongresi, Gaziantep, 22-23 Eylül, 1983, Bildiriler Kitabı, O.T.D.Ü. Gaziantep Müh. Fak. Basım Atölyesi, Gaziantep, 1983.



EK.1

## EKSERJİ ANALİZİ

### 1. Ekserji

Verilmiş bir ortamda bütün enerji türlerine dönüştürülebilen enerjiye, kullanılabilir enerji veya ekserji denir. Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkansız olan enerjiye ise kullanılamaz enerji veya anenerji denir,[5].

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anenerji}$$

Herhangi bir enerji türünün (ısı, entalpi, vb) ne kadarının işe yarayan enerji olduğunun belirlenmesi için ekserji şu şekilde tanımlanmıştır. "Ekserji, tersinir bir süreç sonunda çevre ile denge sağlandığı takdirde kuramsal olarak elde edilen maksimum iş miktarıdır."

Bu tanıma uygun olarak ekserjinin hesaplanabilmesi için

i) Çevrenin sıcaklık, basınç ve kimyasal yapısı kesinlikle bilinmesi gerekir.

ii) Tersinir bir sürecin var olduğunun kabul edilmesi gerekir.

Ekserji analizi, değişik süreçlerin ortak bir temele dayandırılarak tutarlı bir şekilde değerlendirilmesine imkan sağladığı gibi, her süreçteki en verimsiz aşamaları ve bunların nedenlerini de ortaya çıkarmaktadır.

Diğer tüm termodinamik analizler gibi ekserji analizi için de tersinir sürecin nasıl olduğunun bilinmesi gerekli değildir. Sadece sürecin başlangıç/giriş noktaları ile bitiş/çıkış noktaları için geçerli olan şartların bilinmesi yeterlidir.

Kararlı haldeki açık bir sistem için ekserji dengesi

Şekil-1.'e göre şu şekilde yazılabilir.

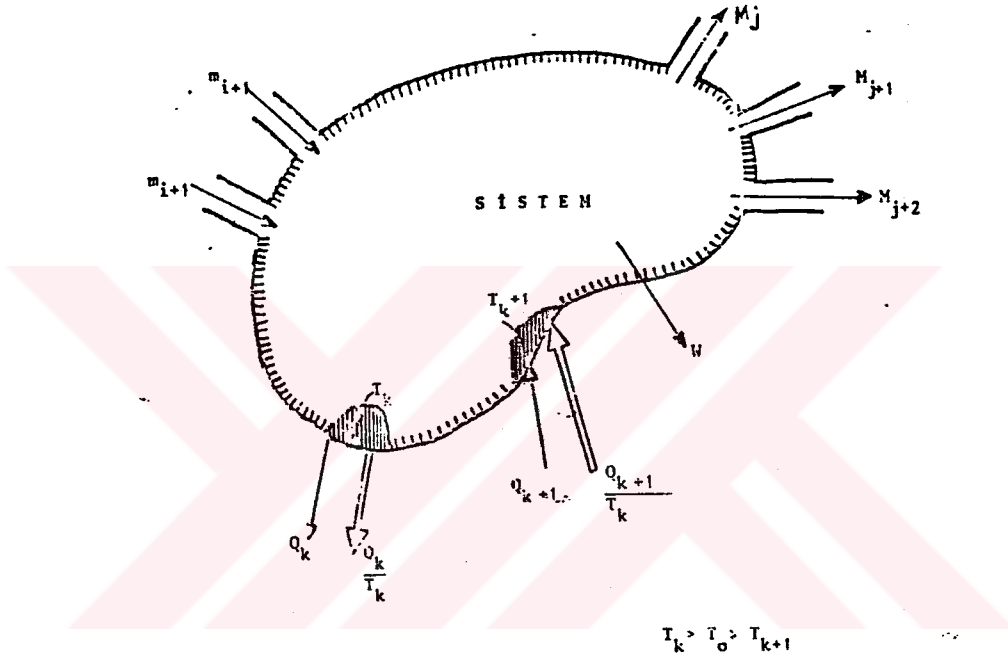
$$\left\{ \begin{array}{c} \text{Sisteme giren} \\ \text{toplam} \\ \text{ekserji} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{c} \text{Sistemden çıkan} \\ \text{toplam} \\ \text{ekserji} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{c} \text{Sistemde} \\ \text{üretilen} \\ \text{ekserji} \end{array} \right\} = 0$$

$$\Sigma E_g - \Sigma E_{\check{c}} + E_{\text{kayıp}} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Sisteme giren} = \Sigma m_i e_{hi} + \Sigma E_{Qk}$$

$$\text{Sistemden çıkan} = \Sigma m_j e_{hj} + E_w$$

$$\text{Sistemde üretilen} = -E_{\text{kayıp}}$$



Şekil-1. Ekserji dengesi.

Burada,  $e_{hi}$  birim kütle başına ekserjiyi,  $E_{Qk}$ ,  $T_k$  sıcaklığındaki ısının ekserjisini göstermektedir. Doğal süreçler tersinir olmadığı için maksimum iş elde edilemez. Bu nedenle bir ekserji kaybı sözkonusudur. Bu kayıp, eksi değerli bir üretim olarak yorumlanmıştır.

$$e_{hi} = (h_i - h_0) - T_0(s_i - s_0) \quad (2)$$

$$E_w = W \quad (3)$$

$$E_{Qk} = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T_k} \right) \quad (4)$$

Kararlı durumda bir açık sistem için ekserji kaybını aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$E_{\text{kayıp}} = \sum m_i (h_i - T_0 s_i) - \sum m_j (h_j - T_0 s_j) + \sum Q_k \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) - W \quad (5)$$

Maksimum iş, hiç ekserji kaybı olmadığı zaman elde edileceği için,

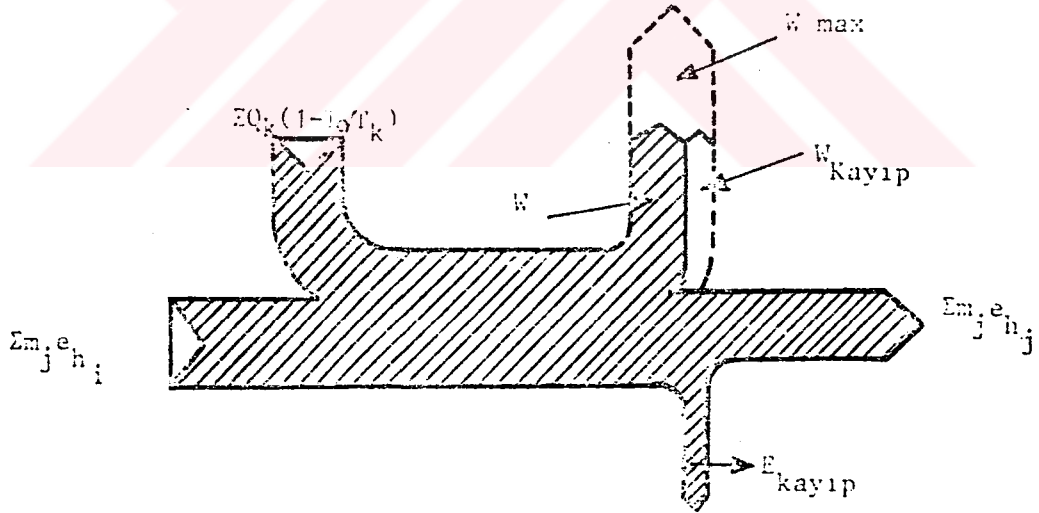
$$W_{\text{max}} = \sum m_i (h_i - T_0 s_i) - \sum m_j (h_j - T_0 s_j) + \sum Q_k \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \quad (6)$$

elde edilir.

Kayıp iş, maksimum iş ile gerçek iş arasındaki fark olarak tanımlandığından aynı zamanda ekserji kaybına eşittir.

$$W_{\text{kayıp}} = W_{\text{max}} - W = E_{\text{kayıp}} \quad (7)$$

Kararlı haldeki açık sistemlerde ekserji, maksimum iş ve kayıp iş arasındaki ilişki Şekil-2. de gösterilmiştir.



Şekil-2. Açık sistemlerde maksimum iş ile kayıp iş arasındaki ilişki.

Ekserji kaybı ile sistem içindeki entropi üretimi arasında çok yakın ilişki vardır. Şekil-1. deki açık sistem için termodinamiğin I. ve II. kanunları şu şekilde ifade edilir.

$$\sum m_i h_i - \sum m_j h_j + \sum Q_k - W = 0 \quad (8)$$

$$\sum m_j s_j - \sum m_i s_i - \sum \frac{Q_k}{T_k} = \text{Sür} \quad (9)$$

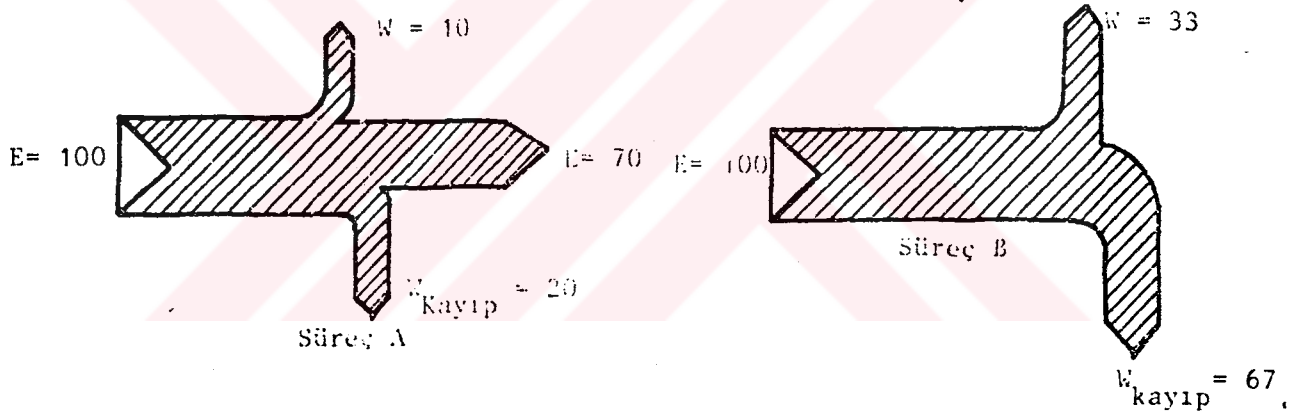
Ekserji kaybı ifadesi düzenlendiğinde,

$$E_{\text{kayıp}} = T_0 \text{Sür} \quad (10)$$

olduğu görülmektedir.

Açık sistemlerde gerçekleştirilen herhangi bir süreç için ekserji kaybı sisteme giriş değerleri ile çevre sıcaklığına bağlıdır.

Değişik süreçler, enerjinin verimli kullanımı açısından karşılaştırılırken sadece ekserji kayıplarının hesaplanması yanıltıcı olabilir. Girdileri aynı olan (A) ve (B) sistemlerinin ekserji analizleri aşağıda verilmiştir, Şekil-3.



Şekil-3. İki sistemin ekserji analizi.

Verim,  $\eta$ ,

$$\eta = \frac{W}{W_{\text{max}}} \quad (11)$$

olarak tanımlanırsa, her iki süreç eşdeğer kabul edilebilir. Termodinamiğin ikinci kanununa göre verim aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\eta_2 = \frac{W}{E_{\text{giren}}} \quad (12)$$

İkinci tanıma göre, A sürecinin verimliliği %10, B sürecinin verimliliği ise %33' tür. 2 nin hesaplanabilmesi, ekserji kaybına değil, ekserji girdisinin bilinmesine bağlıdır. Ekserji girdisinin bulunabilmesi için de çevrenin tam bir tanımının yapılması gerekir.

Ekserji analizleri için çevrenin tanımı yapılırken temel ilke, çevrenin tam bir denge durumunda olmasıdır. Ancak o zaman referans noktası olarak çevrenin ekserjisi sıfır kabul edilebilir.

Genellikle sıcaklık ve basınç, atmosfer sıcaklık ve basıncı olarak kabul edilmektedir,[18].

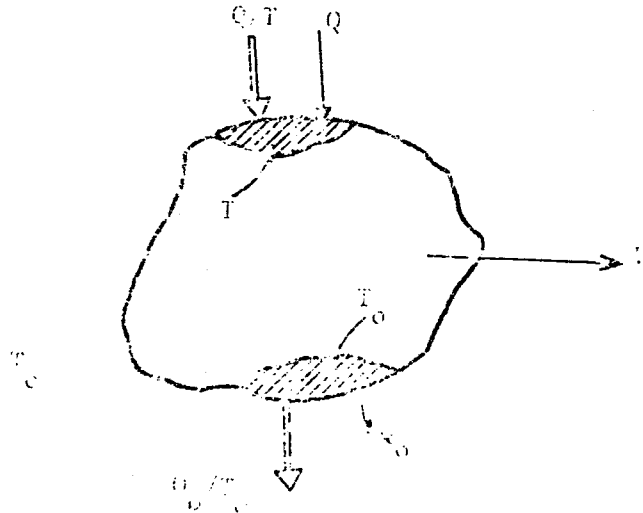
## 2. Değişik Enerji Türlerinin Ekserjileri

Daha önceki bölümlerde verilen ekserji tanımlarıyla birlikte termodinamiğin I. ve II. kanunlarından faydalanılarak, iş, ısı ve entalpi gibi değişik enerji türlerinin ekserjileri hesaplanabilir,[18].

Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi çok kolay olan işin tamamı ekserjidir.

$$E_W = W \quad (13)$$

Aşağıdaki kararlı sistem ele alınarak ısının ekserjisi hesaplanabilir, Şekil-4.



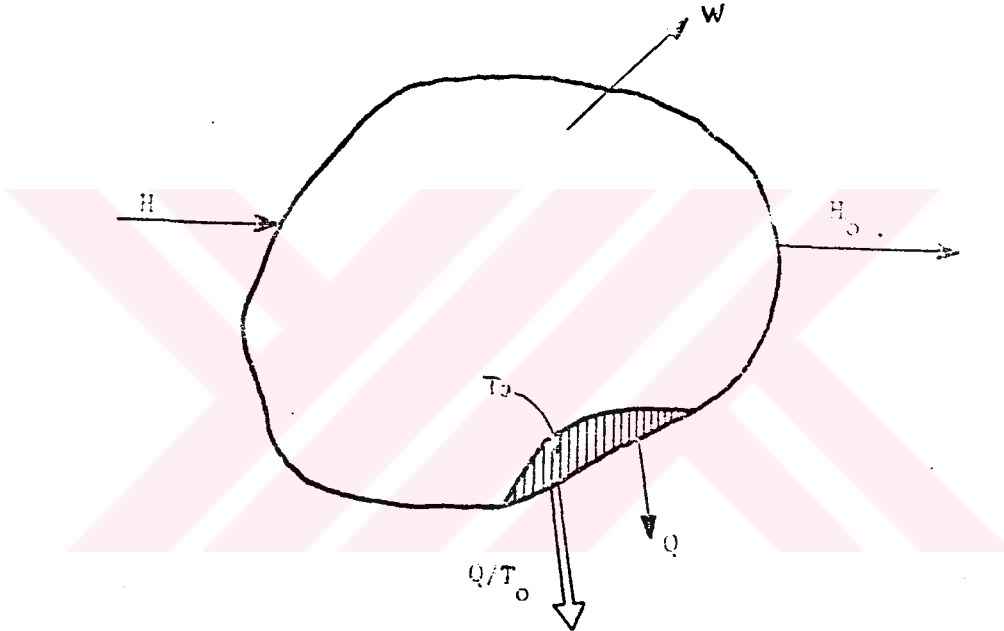
Şekil-4. Isının ekserji dengesi.

$Q$  ve  $Q_0$  ısılarının geçtiği noktalarda sistemin sınırlarındaki sıcaklıklar  $T$  ve  $T_0$  ise herhangi bir  $T$  sıcaklığında  $Q$  ısısının ekserjisi,

$$E_Q = Q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (14)$$

olmaktadır.

Şekil-5.'e termodinamiğin I. ve II. kanunları tatbik edilirse entalpinin ekserjisi benzer şekilde bulunabilir.  $H_0$  ve  $S_0$ , çevre ile denge sağlandıktan sonraki entalpi ve entropi değerleridir.



Şekil-5. Entalpinin ekserji dengesi.

$$W = H - H_0 + T_0(S_0 - S) \quad (15)$$

Bu ifade tersinir bir süreç için ( $S_{ür}=0$ ) geçerlidir.  $T_0$  sıcaklığında ısının ekserjisi sıfır olduğuna göre, bu ifade entalpinin ekserjisine eşit olacaktır.

$$E_H = (H - H_0) - T_0(S - S_0) \quad (16)$$

$H_0$  ve  $S_0$  değerlerinin hesaplanabilmesi için çevrenin sıcaklık, basınç ve kimyasal yapısı açık olarak hesaplanmalıdır. Bu durumda kullanılabilirlik (availability) ile ekserji

arasındaki çok yakın ilişki daha iyi anlaşılacaktır. Kararlı haldeki açık sistemler için kullanılabilirlik şöyle ifade edilmiştir.

$$B = H - T_0S \quad (17)$$

Bu durumda,

$$E_H = B - B_0 \quad (18)$$

olduğu görülmektedir. Kararlı açık sistem söz konusu olduğunda ekserji ve kullanılabilirlik değişiklikleri birbirine eşittir,[18].

$$E_H = (E_H)_2 - (E_H)_1 = B_2 - B_1$$

$$E_H = B \quad (19)$$

Kimyasal reaksiyonun olduğu açık sistemlerdeki ekserji ise aşağıdaki ifade ile tanımlanmıştır,[16],[17].

$$E = H - T_0S - \sum_{i=1}^k \mu_{i0} n_i \quad (20)$$

## ÖZGEÇMİŞ

1959 yılında Trabzon'un Of ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı yerde tamamladı. 1980 yılında girdiği İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü, 1985 yılında başarıyla bitirdi. 1989 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Ana Bilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. 1992 yılında girdiği K.T.Ü. Makina Bölümünde Araş. Gör. olarak çalışmakta olup halen yüksek lisans öğrenimini sürdürmektedir.

