

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ ISITMA SİSTEMİ  
KAZAN BACALARINDA ISI GERİ KAZANIM  
POTANSİYELİN ARAŞTIRILMASI**

**Meryem TERHAN**

**Y. Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI**

**2010**

**Her hakkı saklıdır.**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ ISITMA SİSTEMİ KAZAN  
BACALARINDA ISI GERİ KAZANIM POTANSİYELİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Meryem TERHAN**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ERZURUM**

**2010**

**Her hakkı saklıdır**

Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI danışmanlığında Meryem TERHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 20/05/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Doç.Dr.Kemal ÇOMAKLI

İmza : 

Üye : Doç.Dr.Bayram ŞAHİN

İmza : 

Üye : Yrd.Doç.Dr.Mehmet KAYA

İmza : 

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

Prof.Dr.Ömer AKBULUT

**Enstitü Müdürü**

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ ISITMA SİSTEMİ KAZAN BACALARINDA ISI GERİ KAZANIM POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Meryem TERHAN

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezindeki kazan bacalarından atılan kayıp enerjinin geri kazanımı ve geri kazanılan bu enerjinin kullanım potansiyelinin araştırılması amaçlanmıştır. Baca gazındaki kayıp enerjinin sistemde geri kullanımının kazan verimini artıracığı, yakıt tasarrufu sağlayacağı ve bu kayıp enerjiden mahal ısıtmasında ve sıcak su eldesinde yararlanılabileceği tespit edilmiştir. Bunun için birkaç yöntem önerilmiş, bu yöntemlerin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Her bir yöntem için sistem verileri kullanarak hesaplamalar yapılmış ve 50°C'ye soğutulmuş baca gazından enerji geri kazanım potansiyeli hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde bir yılda 413 763,07 m<sup>3</sup> yakıt tasarrufu yapılabileceği sonucuna varılmıştır.

**2010, 93 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** enerji, enerji verimliliği, ısı geri kazanımı, baca gazlarından enerji geri kazanımı, ekonomizerler, hava ön ısıtıcıları

## **ABSTRACT**

**Ms Thesis**

### **RESEARCH OF THE HEAT RECOVERY POTENTIAL IN BOILER FLUE GAS RELATING TO THE ATATÜRK UNIVERSITY HEATING SYSTEM**

Meryem TERHAN

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kemal ÇOMAKLI

In this study, the recovery of energy losses taken from the flue gas of the Atatürk University Heating Central and the researched of using potential of recovered this energy was aimed. The energy losses of flue gas back to use in system will be provided fuel savings and increased boiler efficiency and taken advantage of this energy losses in local heating and obtained hot water. For this purpose, several methods were proposed, applicability of these methods were investigated. Using of system data calculations were made for each method and were calculated potential of recovered energy from flue gas cooled at 50°C. As a result of calculations it was concluded that fuel savings could be made 413 763,07 m<sup>3</sup> per a year.

**2010, 93 pages**

**Keywords:** energy, energy efficiency, heat recovery, heat recovery from flue gas, economizers, air preheaters

## TEŐEKKÖR

Bu alıŐma sűresince her tűrlű yardım ve desteęini esirgemeyen tez danıŐmanım Sayın Do. Dr. Kemal ÇOMAKLI'ya itenlikle teŐekkűrlerimi sunarım.

Ayrıca her zaman ve her konuda yanımda olan, desteklerini hibir zaman esirgemeyen aileme de Őűkranlarımı sunarım.

Meryem TERHAN

Nisan 2010

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Literatür araştırması .....	7
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	16
2.1. Yakıtlar .....	16
2.1.1. Katı yakıtlar .....	18
2.1.2. Sıvı yakıtlar .....	18
2.1.3. Gaz yakıtlar .....	18
2.1.4. Yakıtlarda aranan özellikler .....	19
2.2. Yanma .....	19
2.2.1. Yanma çeşitleri .....	21
2.2.2. Yanma ürünleri .....	23
2.2.3. Yanma ısısı .....	25
2.2.3.a. Katı ve sıvı yakıtlar için ısı değer .....	25
2.2.3.b. Gaz yakıtlar için ısı değer .....	26
2.2.4. Çiğ noktası .....	26
2.2.5. Yanmanın neden olduğu hava kirliliği .....	27
2.3. Kazanlar .....	27
2.3.1. Kazanların sınıflandırılması .....	28
2.4. Kazanlarda enerji denkliği .....	30
2.4.1. Baca gazı enerji kaybı .....	31
2.4.2. Kazan verimi .....	35
2.5. Enerji geri kazanımı .....	35
2.5.1. Baca gazından enerji geri kazanımı .....	37

2.5.2. Ekonomizerler .....	37
2.5.3. Yoğuşmalı ekonomizer .....	43
2.5.4. Hava ısıtıcıları .....	44
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM</b> .....	48
3.1. Bölge ısıtma sistemleri .....	48
3.1.1. Kızgın sulu bölge ısıtma sistemi .....	49
3.2. Atatürk Üniversitesi merkezi ısı santrali .....	50
3.3. Yanmanın teorik analizi .....	54
3.4. Bacadan atılan ısıdan faydalanma .....	62
3.4.1. Sadece yakma havasının ısıtılması .....	63
3.4.2. Sadece sıcak su eldesi .....	64
3.4.3. Yakma havası ısıtılması ve sıcak su eldesi .....	65
3.4.4. Yakma havası ısıtılması ve mahal ısıtma .....	66
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA</b> .....	68
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER</b> .....	89
KAYNAKLAR .....	91
ÖZGEÇMİŞ .....	



## SİMGELER DİZİNİ

a	Teorik hava miktarı (kmol)
A	Yüzey alanı (m <sup>2</sup> )
C <sub>p</sub>	Sabit basınçta ısı kapasitesi (kJ/kg.K)
$\bar{C}_p$	Sabit basınçta molar ısı kapasitesi (kJ/kmol.K)
d	Uzaklık (m)
E	Enerji (kJ)
H <sub>FG</sub>	Suyun buharlaşma ısısı (kJ/kg)
H <sub>U</sub>	Yakıtın alt ısı değeri (kJ/m <sup>3</sup> )
m	Kütle (kg)
M <sub>A</sub>	Mol kütlesi (kg/kmol)
n	Mol sayısı (kmol)
η	Verim
λ	Hava fazlalık katsayısı
ρ	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
P	Basınç (kPa)
T	Sıcaklık (°C)
TEP	Ton eşdeğer petrol
T <sub>o</sub>	Çevre sıcaklığı (°C)
U	Isıl geçirgenlik katsayısı (W/m <sup>2</sup> .K)
x	Mol oranı
V <sub>GD</sub>	Gerçek molar duman miktarı (kmol)

### İndisler

CO <sub>2</sub>	Karbondiyoksit
H <sub>2</sub> O	Su
gd	Gerçek duman
N <sub>2</sub>	Azot

O <sub>2</sub>	Oksijen
Ort	Ortalama
SO <sub>2</sub>	Kükürt dioksit
sw	Yoğuşan su

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye’de enerjinin sektörlere göre dağılımı .....	5
Şekil 2.1. Yakıtların sınıflandırılması .....	17
Şekil 2.2. Fazla hava ile yapılan yanma ve ürünleri .....	24
Şekil 2.3. Eksik hava ile yapılan yanma ve ürünleri .....	24
Şekil 2.4. Kazanlarda enerji denkleği .....	30
Şekil 2.5. Ekonomizerin sisteme bağlanması.....	38
Şekil 2.6. Düz veya firkete borulu ekonomizerler .....	41
Şekil 2.7. Kanatlı borulu ekonomizerler .....	41
Şekil 2.8. Helezon ve spiral borulu ekonomizerler .....	42
Şekil 2.9. Duman borulu ekonomizerler .....	43
Şekil 2.10. Baca gazı sıcaklığına ve ısıtılan hava sıcaklığına bağlı olarak yakıt tasarrufunun değişimi.....	44
Şekil 2.11. Borulu hava ısıtıcısının şematik gösterimi.....	46
Şekil 2.12. Rejeneratif hava ısıtıcısının şematik gösterimi .....	47
Şekil 3.1. Çok merkezli bölge ısıtmasında boru dağıtım şebeke tipleri.....	50
Şekil 3.2. Atatürk Üniversitesi merkezi ısı santrali.....	51
Şekil 3.3. Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin yakma havasının ısıtılmasında kullanımı .....	64
Şekil 3.4. Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin sıcak su eldesinde kullanımı....	65
Şekil 3.5. Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin hem yakma havası hem de sıcak su eldesinde kullanımı .....	66
Şekil 3.6. Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin hem yakma havası hem de mahal ısıtmada kullanımı .....	67
Şekil 4.1. Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 2007 yılındaki yakıt sarfiyatları (m <sup>3</sup> ) .....	68
Şekil 4.2. Baca gazı miktarının hava fazlalık katsayısıyla değişimi .....	70
Şekil 4.3. Baca gazındaki su buharı mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi .....	70

Şekil 4.4. Baca gazındaki karbondioksit mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi .....	71
Şekil 4.5. Baca gazındaki oksijen mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi .....	71
Şekil 4.6. Baca gazındaki azot mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi .....	72
Şekil 4.7. Baca gazı duyulur enerjisinin baca gazı sıcaklığıyla değişimi .....	76
Şekil 4.8. Toplam yüzde baca kayıplarının baca gazı sıcaklığıyla değişimi.....	76
Şekil 4.9. Kazan veriminin hava fazlalık katsayısıyla değişimi.....	77
Şekil 4.10. Kazan veriminin baca gazı sıcaklığıyla değişimi.....	78
Şekil 4.11. 1.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve $\lambda=1,15$ için hesaplanan enerji ve kütle denklıkları.....	80
Şekil 4.12. 2.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve $\lambda=1,15$ için hesaplanan enerji ve kütle denklıkları.....	82
Şekil 4.13. 3.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve $\lambda=1,15$ için hesaplanan enerji ve kütle denklıkları.....	84
Şekil 4.14. 4.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve $\lambda=1,15$ için hesaplanan enerji ve kütle denklıkları.....	86

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Doğalgazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması .....	53
Çizelge 4.1. Erzurum'a gelen gazın kimyasal içeriği ve hacimsel yüzde değerleri....	69
Çizelge 4.2. Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 0,395 m <sup>3</sup> /s ortalama yakıt tüketimine göre baca kayıpları .....	73
Çizelge 4.3. Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 2007 yılı aylık yakıt tüketimine göre baca kayıpları .....	74
Çizelge 4.4. Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 2008 yılı aylık yakıt tüketimine göre baca kayıpları .....	75
Çizelge 4.5. Kazan yakma havasının 50°C'ye yükseltilmesi için baca gazından çekilmesi gereken enerji ve verim artışı.....	81
Çizelge 4.6. Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle sıcak su eldesi.....	83
Çizelge 4.7. Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle hem yakma havası ısıtılması hem de sıcak su eldesi.....	85
Çizelge 4.8. Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle hem yakma havası ısıtılması hem de mahal ısıtma .....	87
Çizelge 4.9. Önerilen yöntemlere ait veriler ve hesaplanan sonuçların bir kısmı.....	88

## 1. GİRİŞ

Enerji, insanoğlunun bugünkü sahip olduğu medeniyetin temel taşlarından biridir. Bu sebeple enerji üretimi ve tüketimi, üzerinde durulması ve strateji geliştirilmesi gereken konuların başındadır. Gelişme yolunda hızlı ilerleyen ve sanayileşen ülkelerin enerji ihtiyaçları da sürekli olarak artmaktadır. Enerji sektöründe temel amaç, artan nüfusun ve gelişen ekonominin enerji ihtiyaçlarının sürekli, kesintisiz ve mümkün olan en düşük maliyetle güvenli bir arz sistemi içinde karşılanmasıdır (Akdeniz vd 2007).

İhtiyaçların karşılanmasında bir araç olan enerjinin üretimi, dağıtımı ve tüketimi ancak bir ihtiyacın karşılanmasında bir anlam kazanır. Enerji tüketimine yol açan bu ihtiyaçlar;

1. Isıl ihtiyaçlar,
2. Mekanik güç ihtiyacı,
3. Hammadde ihtiyaçları,
4. Işık ihtiyacı,

olarak dört büyük bölüme ayrılabilir. Büyük miktarlarda enerjinin üretilmesi ve dağıtılması sonucu çevre bozulmaktadır. Dünyada enerji tüketiminin artmaya devam edeceği göz önüne alınırsa çevre sorunlarının da bu artışa paralel olarak büyümesi kaçınılmazdır (Terzi ve Arcaklıoğlu 2006).

Türkiye ürettiği toplam enerjinin yarıdan fazlasını ithalatla karşılamaktadır. 1998 yılı toplam enerji üretimi 29 milyon TEP (Ton Eşdeğer Petrol), tüketimi ise 74 milyon TEP olmuştur. Enerji açığı 45 milyon TEP olarak gerçekleşmiştir. Yapılan tahminlere göre 2010 yılında enerji açığı 96 milyon TEP, 2020 yılında ise yaklaşık 200 milyon TEP olacaktır. Giderek artan enerji açığının karşılanabilmesi için petrol, doğalgaz ve taşkömürü gibi enerji hammaddelerinin ithalatına da devam edilecektir (Olgun vd 2007). Enerji kaynaklarının en önemlisini oluşturan fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmekte oluşu ve enerji tüketimindeki hızlı artışa bağlı olarak bu kaynakların yol açtığı ozon tabakasının incilmesi, sera gazı emisyonları gibi çevresel sorunlar enerji

verimliliğini gündeme getirmiştir. Enerjiyi üretmek kadar, üretilen enerjiden verimli şekilde faydalanmak da artık ülkelerin önemli konularından biri haline gelmiştir

Enerji verimliliği; enerji girdisinin üretimdeki payının azaltılması, aynı üretimin daha az enerji tüketerek gerçekleştirilmesidir. Başka bir deyişle enerji verimliliği; binalarda yaşam standardı ve hizmet kalitesinin, endüstriyel işlemlerde ise üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan enerji tüketiminin azaltılmasıdır.

Ülkemizde enerji ihtiyacı, nüfus artışına ve sanayideki gelişmelere paralel olarak her geçen gün artmakta ve enerji kaynakları bu ihtiyacı karşılayamamaktadır. Enerji talebinin çoğunu ithalatla karşılayan ülkemizde bu durumun kalkınma ve sanayileşmede bir engel oluşturmaması için enerjinin verimli kullanılması önemli hale gelmiştir (Özgür 2008).

Enerji kaynaklarının sürekli azalması ve enerji talebinin artması sonucu yükselen birim enerji fiyatlarının üretim mallarına yansması, piyasa talebinde güçlükler doğurmuş ve enerjinin daha ekonomik olarak kullanılmasını zorunlu hale getirmiştir (Olgun vd 2007).

Enerjinin çeşitlenmesi ve endüstrinin her kesiminde, toplumun her katmanında yer alması önemli ekonomik faaliyetlerden biri olmasına neden olmuş ve böylece ekonominin bir dalı olan enerji ekonomisi doğmuştur. Enerji yatırımlarının ağır parasal yükü, uzun süre alması ve enerji ihtiyaçlarının belirtilmesinde kullanılan elemanlardaki belirsizlik genel olarak enerji planlamalarında çok dikkatli ve duyarlı davranmayı gerektirmektedir. Bu yüzden de enerji ekonomisi önem kazanmaktadır.

Enerji tasarrufu, enerjinin gereksiz kullanım sahalarını belirlemek ve bunları minimum düzeye indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için alınan önlemleri içerir. Bu amaçla proses gereği çeşitli şekillerde ortama atılan enerjilerin geri kazanılması; dizayn, proses geliştirme ve daha akılcı kullanımlarla sağlanacak tasarruflar; istenmeyen

kaçakların önlenmesiyle sağlanacak tasarruflar; ilk anda alakasız görünen ancak büyük enerji kayıplarına sebep olan uygulamaların değiştirilmesi; bakımın etkinleştirilmesi, verimin artırılması, hızlı ve yeterli ikmal vb. tedbirler alınmalıdır. Üretici aynı miktardaki mal ve hizmetleri daha az enerji veya aynı miktar enerji ile daha çok mal ve hizmet üretebilir. Bu yüzden birçok enerji tasarrufu projesinin çok az bir masrafla veya masrafsız uygulanması mümkündür. Enerji tasarrufu yatırımları genellikle mali açıdan diğer yatırımlara göre daha caziptir. Bütün dünyada olduğu gibi ülkemizde de enerji ekonomisi ve enerji verimliliği üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla çeşitli yönetmelikler çıkarılmış ve bu yönetmelik kapsamında enerji verimliliğini artırmak için aşağıdaki gibi bir takım önlemlerin alınması istenmektedir.

- Yakıtların, mevcut yakma sisteminin en verimli şekilde kullanılarak yakılması,
- Isıtma, soğutma, iklimlendirme ve ısı transferinde en yüksek verimin elde edilmesi,
- Isı yalıtımının standartlara uygun olarak yapılması, ısı üreten, dağıtan ve kullanan tüm ünitelerin yalıtılarak ısı kaybının en aza indirilmesi,
- Atık ısı geri kazanımı,
- Isının işe dönüştürülmesinde verimliliğin artırılması,
- Elektrik tüketiminde kayıpların önlenmesi,
- Elektrikten iş, ısı vb. dönüşümlerde verimliliğin artırılması, mümkün olduğu takdirde bileşik ısı- güç üretimine geçilmesi,
- Otomatik kontrol uygulamaları ile insan faktörünün en aza indirilmesi,
- Hava kirletici emisyonların minimuma çekilmesi ve tüketilen enerji atıklarının çevreyi en az kirletecek şekilde saklanması için çaba gösterilmesi (Terzi ve Arcaklıoğlu 2006).

Günümüzde, enerji kaynaklarının kullanımı giderek önem kazanmaktadır. Özellikle Türkiye gibi hızla gelişmekte olan ülkelerde enerji ihtiyacı da giderek artmaktadır. Geleneksel yakıtların kullanım şekilleri kendi içlerinde farklılıklar gösterdiği gibi gerek çevreye olan olumsuz etkileri gerekse rezervlerinin azalması sonucunda alternatif enerji kaynaklarına yönelmek zorunda kalınmıştır (Angın 2007).



Enerjinin daha etkili ve verimli bir şekilde kullanılmasına bugün için alternatif bir enerji kaynağı olarak yaklaşılmaktadır. Özellikle enerji tüketimi yüksek olan tesislerde, enerjinin verimli kullanılması enerji maliyetini düşürebileceği gibi, kayıp enerjiyi geri kazanmak için yapılan sistemlerin maliyetlerini de en aza indirmiş olacaktır. Ayrıca fosil yakıt yakılan sistemlerde enerji dönüşümü sırasında, çevreye atılan zararlı emisyonların minimum miktarda olması çevreyi de daha az kirletecektir (Çomaklı vd 2006).

Günümüzde enerji ihtiyacının önemli bir kısmı fosil yakıtlarla karşılanmaktadır ve bu yakıtların rezervleri sınırlı olduğundan maliyetleri yüksektir. Bu nedenle fosil yakıtlardan alternatif enerji kaynaklarına geçişte kaynaklar mümkün olduğunca verimli kullanılmalıdır. Sınırlı enerji kaynaklarının verimli kullanılmasında en dikkat çekici yöntemlerden biri de atık ısı enerjisinin geri kazanımıdır (Varol 1991).

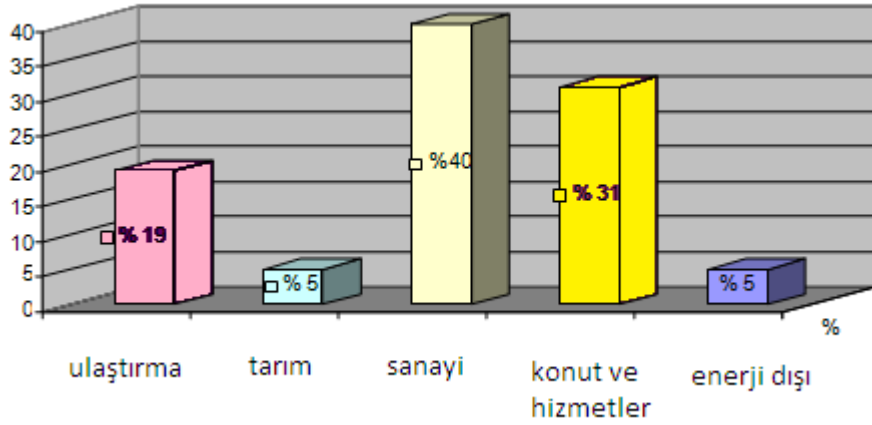
Atık ısı herhangi bir üretim işleminden çıkan ve çevre sıcaklığının üzerinde bulunan ısının geri kazanılması mümkün olan kısmıdır. Atık ısı sıcaklık derecelerine göre

- 650°C'nin üzerindeyse yüksek sıcaklıktaki atık ısı,
  - 120-650°C arası orta sıcaklıktaki atık ısı,
  - 120°C'nin altında ise düşük sıcaklıkta atık ısı
- şeklinde sınıflandırılabilir (Dalkılıç vd 2008).

Bugün birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp enerji atık ısı geri kazanımıyla önemli ölçüde azaltılabilir. Enerji fiyatlarındaki artış ısı geri kazanım ekipmanlarının yatırımlarını karlı ve çoğunlukla birkaç ayla birkaç yıl arasında değişen kısa sürelerde kendini geri öder hale getirmiştir. Bu imkândan yararlanmak için uygun ve etkili bir ısı geri kazanımı sisteminin geliştirilmesi önem taşımaktadır (Selbaş 1992). Geçmiş dönemlerde yatırım politikası olarak yatırım maliyeti az işletme maliyeti yüksek sistemler tercih edilmiştir. Dolayısı ile mevcut sistemlerin pek çoğunda önemli ölçüde ısı geri kazanma potansiyeli mevcuttur. Bu potansiyeli değerlendirmek üzere kurulacak

aktif ısı geri kazanma sistemlerinde çoğu zaman yatırım geri ödeme süreleri yukarıda sözü edilen makul süreler içerisinde kalabilmektedir (Arısoy 2001).

Türkiye’de enerjinin yaklaşık %40’ı sanayide, %31’i konutlarda, %19’u ulaşımda, %5’i tarımda ve %5’de enerji dışı kullanılmaktadır. (Özdabak 2008). Konut sektöründe kullanılan enerjinin büyüklüğü dikkati yakma sistemlerine yani kazanlara çekmiştir (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1.** Türkiye’de enerjinin sektörlere göre dağılımı (Özdabak 2008)

Genel olarak kazanlar, yakıtın kimyasal enerjisini yanma sonucu ısı enerjisine dönüştürüp taşıyıcı akışkana ileten ve yüksek basınç altında çalışan kapalı kaplar olarak tanımlanır (Şanlı vd 2006). Günümüzde ısı ihtiyacını karşılamak için kazanlar kullanılmaktadır. Çeşitli özelliklere sahip bu kazanlar, kullanım yerlerine göre sürekli gelişmiş ve hemen her yerde ısı ihtiyacı için kullanılır duruma gelmiştir (Aras 1991).

Endüstriyel işlemler açısından bakıldığında verimliliği artırıcı çalışmalar yakıttan tasarruf sağlar, kaynakların verimli kullanımına ve çevre kirliliğinin azaltılmasına önemli katkıda bulunurlar. Enerji verimliliğinin artırılması, ısıl kayıp yerlerinin ve miktarlarının belirlenmesi ile mümkündür (Ertem vd 2008). Sanayi tipi bir kazanda

kazan verimi %75 civarında, kayıp enerji ise borulardan oluşan kayıplar, radyasyon ve konveksiyon kaybı, sıcak baca gazı kayıpları olup %25 oranındadır (Willems 2006).

Baca gazı içerisindeki kompozisyonlar baca gazı ısı kaybında önemli bir rol oynamaktadır. Bu kompozisyonlar;

- Su buharı içermeyen kuru baca gazlarının atılmasıyla oluşan gizli ısı kaybı,
- Sıcak su buharının içerdiği ısının atılmasıyla oluşan ısı kaybı,
- CO ve is gibi tamamlanmamış yanma ürünleri ve yanmamış yakıt, olarak sınıflandırılabilir (Şanlı vd 2006).

Geleneksel bir buhar kazanında üretilen enerjinin yaklaşık %16–20 kadarı baca gazlarıyla sistemden ayrılır. Bu oranın çok yüksek olması nedeniyle ısı geri kazanım sistemlerindeki gelişmeler için baca kayıpları üzerinde durulmalıdır (Willems 2006).

Baca gazı ısı kayıplarını azaltmak için yapılması gereken şunlardır:

- İdeal hava fazlalık katsayısının üzerinde olan hava fazlalığını önlemek,
- Isı transfer yüzeylerini temiz tutmak,
- Ekonomizör veya reküperatör kullanarak baca gazı ısını besleme suyu veya yanma havası ısıtmada kullanmak,
- Hava filtresini belirli dönemlerde kontrol etmek (Şanlı vd 2006).

Kayıp enerji, kayıp ısıyı geri kazanma tertibatlarıyla azaltılır. Ekonomizerler ve hava ön ısıtıcıları, kayıp ısıyı geri kazanma ekipmanları olup ekonomizerler sadece kazanlarda kullanılırken hava ön ısıtıcıları ise kazan ve ocakların her ikisinde de kullanılır. Kayıp ısıyı geri kazanma da büyük bir potansiyele sahiptirler (Sinanoğlu vd 1996). Enerji üretim sistemlerindeki baca atık ısılarının en yüksek verimde geri kazanılıp kullanımını sağlayarak %25-35 yakıt tasarrufu gaz yakıtlı sistemlerde gerçekleştirilebilir (Alkan vd 2006).

## 1.1. Literatür Araştırması

Baca gazlarından enerji geri kazanımı ile ilgili çalışmaların özetleri aşağıda verilmiştir.

Gibbs (1987) yaptığı çalışmada paket bir kazana ilave edilen ekonomizer kullanımıyla meydana gelen yakıt tasarrufunu incelemiştir. Yakıt tasarrufu iki ana başlık altında incelenmiştir. Bunlar;

- Kazandan çıkan baca gazlarından direk ısı geri kazanımı yardımıyla elde edilen yakıt tasarrufu
- Kazan çekişinin azalması ve soğuma kayıplarının minimize edilmesiyle elde edilen yakıt tasarrufu

dur. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ortalama %6-16 arasında yakıt tasarrufu elde etmiştir.

Aras (1991) yaptığı çalışmada doğalgaz yakan sistemlerde yüksek sıcaklıklı baca gazları yardımıyla kazan yakma havasının ısıtılması veya 55°C'de sıcak su eldesi için reküperatör dizaynını ele almış ve reküperatör dizaynı için bir hesap yöntemi sunmuş, örnek bir proje hazırlamıştır. Dizayn edilen reküperatörleri teknik ve ekonomik yönlerden mukayese etmiştir. Aşağıdaki sonuçlara varmıştır.

- Doğalgaz yakan sistemlere reküperatör ilavesiyle baca gazları 194°C'den 60°C'ye soğutularak, baca gazından 1045000 kcal/h ısı çekileceği,
- Kazan veriminin %92'den %99,96'a yükseleceği,
- Baca gazında 19,57°C'lik soğumanın kazan verimini %1 artıracakını,
- Kazan besleme suyunu ısıtmak için reküperatör kullanıldığında 5 Nm<sup>3</sup>/h yakıt tasarrufu sağlanacağı,
- Kazan yakma havasının ısıtılması ile hızlı yanma ve ateşlemenin daha stabil olacağı

Selbaş (1992) çalışmasında atık ısı geri kazanım cihazlarını tanıtmış ve bu cihazların seçimindeki bazı kriterleri belirlemiştir. Atık ısı geri kazanım sistemi kurulmasına karar verildikten sonra, ne tip bir cihaz kullanılacağı ve diğer cihazlara göre üstünlüklerinin

belirlenmesi gerektiğini, ısı geri kazanım cihazı belirlendikten sonra geri kazanılabilecek ısı miktarı hesaplanıp cihazın maliyetinin bulunması, ekonomik analize ışık tutan geri ödeme süresinin belirlenmesini gerekliliklerini öne sürmüştür.

Bilgiç (1994) yaptığı çalışmada kazanlarda doğalgaz yakılmasıyla oluşan kayıpları ele almış ve bu kayıpları azaltmak için gerekli tedbirleri, yapılması gerekenleri açıklamıştır.

Butcher and Litzke (1994) yaptıkları çalışmada küçük kömür yakıtlı kazanlarda kullanılan yoğuşmalı ekonomizerlerin verimliliği ve partikül emisyonlarının kontrolü açısından potansiyel kullanımını hesaplamışlardır. Isı transferi ve partikül mekanizmalarının analizini ve bu küçük kazanlara entegre edilen hava ve su soğutmalı ekonomizerlerle deneysel çalışmalar yapmışlardır.

Sinanoğlu vd (1996) yaptıkları çalışmada enerji geri kazanım aparatı olarak ekonomizer, reküperatör ve rejeneratörün önemi, endüstrideki yeri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Buhar kazanları için somut örneklemeler yaparak net enerji geri kazanımını ve buna bağlı olarak kazan büyüklükleri göz önünde tutularak amortisman sürelerini çıkartmışlardır.

Alkhamis *et al.* (1998) yaptıkları çalışmada Mutah Üniversitesi kampusunun ısı geri kazanımını incelemişlerdir. Isı geri kazanımı için öğrenci mutfağının iyi bir kaynak olacağını düşünmüşlerdir. Mutfak fırınından atmosfere atılan baca gazlarındaki enerjiyi geri kazanmak için bir ısı değiştiricisi dizayn etmişlerdir. Yaptıkları araştırmalar sonucunda ısı değiştiricisi sistemi yatırımıyla atık ısının %60'dan fazlasının geri kazanılabileceğini ve bu yatırımın oldukça ekonomik olacağını belirtmişlerdir.

İlbaş ve Yılmaz (2002) yaptıkları deneysel çalışmada üç farklı kazanda, iki farklı yakıt kullanarak, dört farklı hava fazlalık değeri için kazanlardaki yanma ve emisyon davranışlarını deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Deneysel çalışmalardan ısı veriminin hava fazlalık katsayısıyla değişmekle birlikte; kullanılan yakıtın ısı değerine

bağlı olarak da değiştiği gözlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan üç kazan için hem ekonomik hem de çevresel açıdan en uygun hava fazlalık değerinin  $\lambda=1,45-1,50$  arasında seçilmesinin kazanların işletme şartlarına uygun olacağı belirlenmiş ve kazanlar için en uygun hava fazlalık katsayısı seçilirken; kazan tipi ve kapasitesi, kullanılan yakıt, verimlilik, çevre faktörleri ve diğer işletme şartları dikkate alınarak bir seçim yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kolev and Kolev (2002) yaptıkları çalışmada doğalgaz yakan bir kazanda oluşan baca gazlarının ısısının geri kazanımı için lamelli yeni bir tip ısı değiştiricisi dizayn etmişlerdir. Kazanılan bu atık ısı, bölgesel ısıtma sistemindeki kazanların besleme suyunun ısıtılması için kullanılmaktadır. Isı ve kütle balanslarını içeren denge denklemlerinin hesaplanması için matematiksel bir model oluşturmuşlardır.

Alkan vd (2006) yaptıkları çalışmada günde 50 ton buhar kapasiteli, 7 bar basınçta ve 185°C sıcaklıkta buhar üreten bir buhar kazanını ele almışlardır. Buhar kazanına verilen yakma havası, baca gazı veya blöf ile ön ısıtılmasının analizlerini yaparak kazan verimi üzerine etkisini incelemişlerdir. Yakma havasının atıl olan kaynaklardan baca gazı veya blöf ile ısıtılması kazan verimini yaklaşık %2 oranında artırdığını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada buhar kazanı ve sistemlerinin yalnızca bir kısmındaki atıl ısıların geri kazanılmasıyla yapılacak tasarruf vurgulanarak mevcut sistemlerde enerji tasarrufu uygulamalarının öneminin üzerine bir kez daha değinilmiştir. Tasarlanan sistemlerden yaklaşık olarak 10000 \$'lık döviz tasarrufu sağlanarak, dışa olan enerji bağımlılığının azalmasına neden olacaktır.

Aydın ve Böke (2006) yaptıkları çalışmada bir sıcak su kazanının yanma odası hacminde yapılan değişikliklerin CO emisyonuna etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yanma odasının mevcut geometrisi değiştirilmeden, iç hacmine dolgu malzemesi yerleştirilmiştir. Deneylerde dolgu malzemesinin boyutları ile hava fazlalık katsayısı parametre olarak seçilmiştir. Gaz analizörü ile yanma odası boyunca farklı noktalardan ve kazanın bacasından emisyon ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları ocakta dolgu malzemesi kullanımının CO emisyonunu azalttığını ve stokiometrik hava

yakıt oranında yanma halinde, CO emisyonunun dolgu malzemesi kullanmadan yapılan deneylere kıyasla büyük ölçüde azaldığını ortaya koymuşlardır.

Bilgin (2006) çalışmasında baca gazı analizlerinin değerlendirilmesiyle kazanlar ve brülörlerde alınması gereken önlemler ile iç soğumaya neden olan faktörlere değinmiştir. Kazanlarda verimin yüksek tutulabilmesi için büyük tesislerde sürekli, küçük tesislerde periyodik olarak baca gazı analizörü kullanma alışkanlığının kazanılması, kazan suyu sıcaklığının gereğinden yüksek tutulmaması gibi sonuçlara ulaşmıştır.

Çayırılı (2006) yaptığı çalışma kapsamında sıvı yakıtların yanma performansını en uygun seviyeye getirecek bir otomasyon sistemi oluşturmayı amaçlamış ve yanma olayının gerçekleştiği yakıt kazanlarında belirli periyotlarla görüntüler almış, bu örneklemeler ile bir yakıt sisteminin kontrolünü sağlamıştır. Böylece yakıt ve oksijen miktarının en uygun karışımıyla tam yanma bilgisayar kontrolü sağlanarak, görüntü işleme metoduyla kimyasal enerjiden termik enerji dönüşümü için en yüksek performans şartlarını belirlemiştir.

Çomaklı vd (2006) yaptıkları çalışmada kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını incelemiştir. Örnek olarak fuel-oil kullanılan Atatürk Üniversitesi merkezi ısıtma istemi kazan bacalarındaki enerji ve ekserji kayıplarını analiz etmişlerdir. Baca gazının her 25°C sıcaklık artışında enerji veriminde yaklaşık %1,31, ekserji veriminde ise %0,4 düşme meydana geldiğini, bacadan atılan ısıdan faydalanılarak, kazan giriş havasının ısıtılması, tesisin sıcak su ihtiyacının karşılanması veya sanayi tesislerinde çeşitli proseslerin enerji ihtiyacının karşılanabileceği, baca gazı ısısının ısı pompaları için çok iyi bir kaynak olabileceğini belirtmişlerdir.

Çomaklı ve Yüksel (2006) çalışmalarında Atatürk Üniversitesinin ısı santralinde bulunan kızgın su kazanları için termoeconomik analiz yapmışlardır. Analiz sonucunda kazan için termoeconomik değişkenleri hesaplamışlardır. Kazanlarda ekserji verimleri

düşük olduğundan bu değişkenlerden yakıt maliyeti ile ürün maliyeti arasında büyük farklar elde etmişlerdir.

Durkin (2006) çalışmasında ekonomik ve çevresel nedenlerden dolayı yoğuşmalı kazan kullanan bir ısıtma sistemi dizaynına ve düşük sıcaklık ısıtmasına (maksimum 54°C) yer vermiş, kazan sistem verimi üzerine açıklayıcı bilgiler sunmuştur.

Kavaklı ve Özbay (2006) yaptıkları çalışmada Balkan ülkesinde yapılan ve işletilen sunta üretim tesisinde yakıt olarak kullanılan zımpara tozu, odun talaşı ve mazot karışımlarının yanma sonucu oluşan emisyonlarını incelemişler ve yanmadan kaynaklanan olumlu ve olumsuz emisyonları irdelemişlerdir. Ayrıca yanmanın hangi şartlarda oluştuğunu izleyip, kayıpların en az yanma veriminin ise en üst seviyede tutulması için yanmanın kontrol edilmesi, hava kirliliği ve yakıt tasarrufu açısından önemini ve eksik yanma nedeniyle oluşan olumsuzlukların giderilmelerine yönelik getirilen çözüm yaklaşımlarını sunmuşlardır.

Pene and Blanco (2007) yaptıkları çalışmada doğalgaz yakıtlı bir kazana bağlı ekonomizerdeki fiziksel çığlenme noktasını belirlemek amacıyla yeni bir metot geliştirmişlerdir. Yoğuşan suyun toplam miktarının hesaplanmasının yanında yoğuşmanın hangi bölgede oluştuğunu belirlemeyi başarmışlardır.

Şanlı vd (2006) yaptıkları çalışma 7 bar basınç, 185°C sıcaklıkta ve 50 ton/gün buhar üreten bir buhar kazanıyla ilgilidir. Kazanda yanma havasını sağlayan 8 kW gücünde bir fan motoru mevcut olup bu fan motoru buhar kazanının tüm yükleri için aynı devirde çalışmaktadır. Kazan düşük yükte çalıştığında alınan fazla hava miktarı termal enerji kayıplarından dolayı hem kazan verimini düşürmekte hem de fazladan elektrik enerjisi harcamaktadır. Baca gazı içerisindeki oksijen oranını esas alan sistem, değişken hızlı sürücü (DHS) sayesinde fanın devrini kazanın ihtiyacı olan hava miktarına göre ayarlamaktadır. Bu sistem sayesinde düşük kazan yüklerinde fan devri azaltılmış, baca gazı sıcaklığı da 195°C'den 145°C'ye düşmüştür. Oksijen-trim sistemi kullanılan



fabrikada kazan verimi %2,5 artarken, fan devrinin düşmesiyle elektrik enerjisinden de tasarruf sağlanmıştır. Bu çalışmada günümüzde kullanılan DHS'siz kazanlarda, oksijen-trim sistemi ve DHS ile elektrik enerjisinin ve yakıt tüketiminin azaldığı gösterilmektedir. Ayrıca sistemin uygulamaya geçirilme maliyetiyle amorti süresi de belirtilmektedir. Sonuçlar bu kazan için amorti süresinin 6 ay olduğunu göstermektedir.

Terzi ve Arcaklıoğlu (2006) yaptıkları çalışmada sanayide enerji geri kazanımı konusunda bilgiler vermiş, ayrıca AKG Yalıtım A.Ş.'de gerçekleştirilen enerji geri kazanımı örneğini anlatmışlardır. İlgili firmada enerji geri kazanımı için ikişer adet ekonomizer, eşanjör, flash buhar tankı ve plakalı eşanjör kullanılmıştır. Ayrıca toplam yakıt tasarrufu 15-18 bin TL arasında olup doğalgaza geçiş ve yapılan tasarruf çalışmaları sonucunda net kazanç ise 124 bin TL'dir. Geri kazanım için harcanan masrafın kısa sürede kendini amorti ettiği görülmektedir. AKG Yalıtım A.Ş. örneğinde ise geri ödeme süresinin 4 ay ile 1 yıl arasında değiştiği sonucuna varılmıştır.

Willems (2006) çalışmasında enerji tasarrufu sağlayan kazan dizaynı, kontrol sistemleri ve ısı geri kazanım sistemlerinin gelişmelerini incelemiştir. Kazan verimliliğinin sistem verimliliğinin tasviri için tek başına yeterli olmadığını ve sistem veriminin daha geniş kapsamlı değerlendirilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Ayrıca kazanlardaki kayıpların azaltılmasıyla verimin %80 ve üzerine çıkabileceğini ve yapılacak iyileştirmelerle her yıl 100,000 dolar değerinde yakıt tasarrufu elde edilebileceğini belirtmiştir.

Akdeniz vd (2007) yaptıkları çalışmada Süleyman Demirel Üniversitesi Merkez Kampusunun ihtiyaç duyduğu elektrik ve ısı enerjisini karşılayabilecek doğalgazlı kojenerasyon sisteminin projelendirilmesine yönelik analizin sunulması amaçlanmış ve yapılan termodinamik analiz sonucunda normal şartlar altında kampusun elektrik ve ısıtma enerji ihtiyacını verimli bir şekilde karşılayabileceği tespitine varmışlardır.

Angın (2007) yaptığı çalışmada Mersin Cam sanayinde kullanılan yakıtları incelemiş, üretim prosesinde kullanılan yakıtların karşılaştırmasını yapmıştır. Yakıt kullanım

miktarlarına göre işletme yakıt maliyetleri de hesaplanmış, hangi yakıtın işletmeye uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucu fuel-oil yerine doğalgazın kullanılmasıyla, işletme enerji tüketim maliyetlerinde yaklaşık 2 katı bir azalma olduğunu ve kayıp enerji bakımından ise doğalgaz kullanımı sonucu yaklaşık %25-40 oranında bir enerjinin dışarı atıldığı belirtilmiştir.

Dursun (2007) çalışmasında doğalgazın özellikleri, yanması, doğalgaz kazanları, brülörler v.b. gibi başlıklar altında açıklayıcı bilgiler sunmuş ve örnek proje hesaplaması da yaparak uygulamaya yönelik çalışmaya da yer vermiştir.

Olgun vd (2007) yaptıkları çalışmada bir meyve suyu hazırlama tesisinde doğalgaz ile çalışan, yüksek basınçlı buhar kazanının ve bu kazanın baca hattına bağlı iki adet ekonomizerin verim tespitlerini yapmış, uluslar arası benzer uygulamalarla karşılaştırmışlardır. Üretici firmanın kazan için verdiği %89,5 verim yerine %90,11, 1.ekonomizer için verdiği %5 verim yerine %4,18 ve 2.ekonomizer için verdiği %2,5 yerine %4,05 verim hesaplamışlardır. Sonuç olarak üretici firmanın taahhüt ettiği %97 sistem veriminin sağlandığını tespit etmişlerdir.

Bujak (2008) çalışmasında kazanlarda termal verimliliği araştırmak için kazan yanma odasının bir modelini yapmış ve kütle, ısı değişimlerini incelemiştir. Enerji dengesini hesaplamış ve bir buhar kazanının yanma odasında 18 ay boyunca deneyler yapmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda sistemdeki baca gazlarından ekonomizer yardımıyla %4-7 arasında ısı geri kazanımı sağlamıştır.

Çomaklı (2008) çalışmasında Erzurum'da kullanılan yoğuşmalı ve yoğuşmasız kombilerin yıllık yakıt miktarlarını hesaplayarak ekonomik analiz yapmıştır. Yapılan hesaplamalara göre, yoğuşmalı kombi kullanılması durumunda %8 yakıt tasarrufu kazanılacağı sonucuna varmıştır. Ayrıca ömür analizi sonucuna göre de yoğuşmalı kombinin daha ekonomik olduğu belirtmiştir.

Çomaklı ve Efe (2008) yaptıkları çalışmada Erzurum'da doğalgaz kullanılmaya başlanması ile ısıtma sistemlerinde yapılan yanlışlıkları araştırmışlardır. Bunun için altı farklı bina tipini ele almış ve ısıtma sistemi olarak doğalgazlı bireysel, merkezi ısıtma sistemlerini incelemişlerdir. Çalışmada yıllık eşdeğer metodu kullanılarak sistemlerin ekonomik analizini yapmışlardır. Sonuç olarak ısıtma sistemleri içinde merkezi ısıtma sisteminin daha ekonomik olduğunu tespit etmişlerdir.

Dalkılıç vd (2008) çalışmasında bir fabrikadaki fırına ait yüksek sıcaklıktaki atık baca gazı enerjisinden yararlanmak için örnek bir ısı değiştiricisi uygulaması yapmış ve hesaplamaları yapılan ısı değiştiricisi sayesinde tesisteki sıcak su ihtiyacının ya da mahal ısıtmasının atık baca gazı sıcaklığından yararlanarak sağlanmasının mümkün olacağı sonucuna varmışlardır.

Ertem vd (2008) yaptıkları çalışmada endüstriyel tav fırınlarında enerji kayıplarının görüldüğü başlıca kısımları incelemişler, enerji verimlilik analizi yapmışlardır. Termal verim bulunarak fırının enerji akışını gösteren Sankey diyagramı oluşturmuşlardır. Baca gazı bileşenleri yüzdesel olarak belirlenmiş, bu bilgilerden yola çıkarak baca gazından olan kayıp tespit edilmiştir. Fırının yüzey kayıpları belirlenmiş, tavlanan malzemeye aktarılan enerji bulunmuştur. Analiz sonucunda fırındaki kayıpların azaltılmasına yönelik görüş ve önerilere yer verilmiştir.

Bujak (2009) çalışmasında bir kazandaki enerji kayıplarını belirlemek için matematiksel bir model geliştirmiştir. Bu model buhar sistemli sıvı ya da gaz yakıtlı kazan grupları için oluşturulmuştur. Bu model enerji kayıplarındaki en büyük farklılığın kazan yükünün %10'dan %80'lere ulaşmasıyla oluştuğunu ve bu durumda elde edilen yöntemlerle yakıt tasarrufunun her yıl 40,300 Nm<sup>3</sup>'e ulaşacağını belirtmiştir.

Bu tez kapsamında Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezindeki kazan bacalarından atılan kayıp enerjinin geri kazanımı ve geri kazanılan bu enerjinin kullanımı amaçlanmıştır. Baca gazındaki kayıp enerjinin sistemde geri kullanımıyla kazan veriminin artırılması ve yakıtta tasarruf yapılabileceği ayrıca bu kayıp enerjiden mahal ısıtmasında ve sıcak su eldesinde yararlanılabileceği belirtilmiştir. Bunun için birkaç yöntem sunulmuş, bu yöntemlerin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

## 2. KURAMSAL TEMELLER

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bölümü termik santrallerde, sanayide, konutlarda ve diğer alanlarda harcanmakta ve ihtiyaç duyulan ısı enerjisi ise kazanlarda yakılan yakıtlardan elde edilmektedir. Kazanlar, içerisinde yakılan yakıtın yanma enerjisini, sistemde iş gören akışkana aktarmak için kullanılan elemanlardır. Kazanlarda gerçekleşen yanma sonucunda oluşan ısının tamamı akışkana aktarılamamakta, ısının bir kısmı kazanın yüzeylerinden, diğer kısmı ise baca gazı ile atmosfere atılmaktadır. Kullanılmayan ısının büyüklüğü, kazan verimini ve kazan verimine bağlı olarak değişen yakıt tüketimini etkileyen önemli bir parametredir. Isı elde etmek için kullanılan kazanların, enerji tasarrufu ve hava kirliliği açısından incelenmesi, tasarlanması ve kullanılacak sisteme uygun kazan ve yakıt türü seçilmesi gerekmektedir (Çomaklı vd 2006).

### 2.1. Yakıtlar

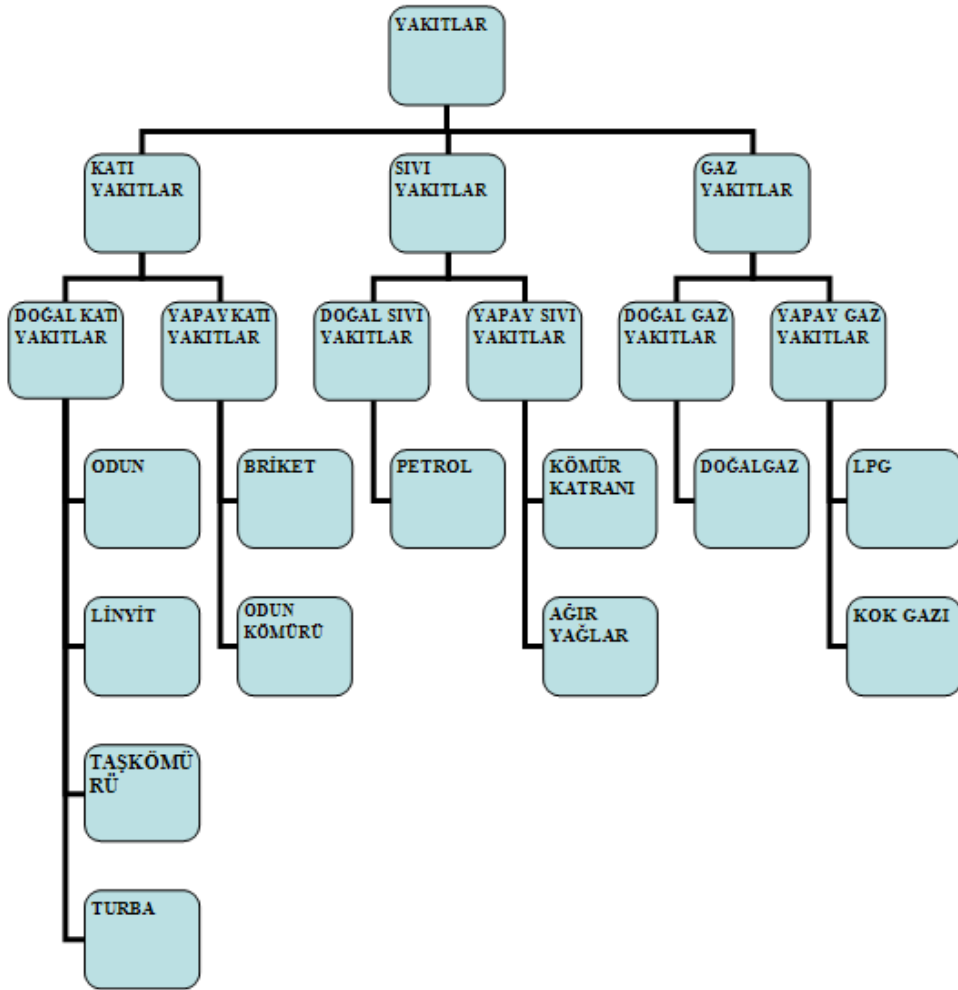
Günümüzde kişi başına düşen yıllık enerji tüketimi, gelişmiş ülkelerde 4721 kEP (207,9 GigaJoule) ve dünya ortalaması olarak 1395 kEP (61,4 GJ) seviyesine ulaşmıştır. Bu enerjii üretmek için yakıtlara, hidrolik ve nükleer tesislere, güneş enerjisine, rüzgârlara, jeotermal tesislere ve gel-git hareketlerine başvurulmaktadır. Bunlar içinde en önemli yeri yakıtlar almaktadır (Çayırılı 2006).

Genel anlamda yandığı zaman ısı açığa çıkartan maddelere yakıt denir. Yanma olayı ise yakacağın bileşimine giren karbon, hidrojen, karbon monoksit, hidrokarbonlar ve kükürt elemanlarının oksijenle birleşmesidir. Amaç kimyasal enerjinin termik enerjiye dönüşümü yoluyla ısı elde etmektir. Bu işlem genel olarak aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$\text{Yakıt} + \text{Oksitleyici} = \text{Tepkime Ürünleri} + \text{Isı} \quad (2.1)$$

Yakıtlar, yanıcı madde olarak karbon, hidrojen, az miktarda kükürt bazı hallerde ise yakıt içinde oksijen, su, azot ve yanıcı olamayan mineral maddeler de bulunabilir (Asiltürk 1999).

Yakıtlar fiziksel özelliklerine göre katı, sıvı ve gaz olarak üretildikleri kaynaklara göre de yapay ve doğal olarak Şekil 2.1’de görüldüğü gibi sınıflandırılır. En çok kullanılan katı yakıtlar; kömür ve odundur. Sıvı yakacak olarak petrol ve türevleri ile katran yağı kullanılmaktadır. Gaz yakıtlar ise doğalgaz, sıvılaştırılmış ve sıkıştırılmış doğalgaz, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı olarak sayılabilir (Çayırılı 2006).



Şekil 2.1. Yakıtların sınıflandırılması (Asiltürk 1999)

### **2.1.1. Katı Yakıtlar**

Katı yakıtlar denince ilk akla gelen kömür ve odundur. Kömür; katı yakıtlar içerisinde enerji üretiminde en çok kullanılan en önemli yakıtlardan birisi olup büyük ağaç ve bitki örtüsünün oksijensiz ortamda milyonlarca yıl beklemesiyle oluşur. Kömürler;

- Turba
- Linyit
- Taş kömürü
- Antrasit

olmak üzere dört grupta incelenir. Kömürler yanıcı kısım ile kül ve sudan oluşur. Linyitte maksimum nem miktarı %15-40 arasında, taşkömüründe %7, turbada ise %60'dır.

### **2.1.2. Sıvı Yakıtlar**

Sıvı yakıtlar genelde ham petrolün rafinerisi sırasında elde edilen çeşitli hidrokarbon karışımlarıdır. Ham petrol içerisinde %80-85 oranında karbon, %10-20 oranında hidrojen ve %1-10 oranında kükürt, azot v.b. gibi maddeler bulunmaktadır. Ayrıca küçük miktarda kükürt, oksijen, azot, vanadyumun yanında eser miktarda bazı metaller ile su ve tortu gibi maddeler de içerir.

Dizel yakıt (motorin), ham petrolün ayrışsal damıtılması sırasında 200-300°C kaynama aralığında alınan üçüncü ara ürünü olup daha çok dizel motor yakıtı olarak kullanılır. Fuel-oil ise genellikle ısıtma amaçlı kullanılır.

### **2.1.3. Gaz Yakıtlar**

Gaz yakıtlar genellikle temiz olmaları ve temiz yanmaları açısından, sıvı yakıtlar kadar kolay ve ucuz olmasa da depolanma, taşınma ve kullanımlarının yaygınlıkları açısından

önemli yakıtlardandır. Yanmalarının kontrolünün kolaylığı yine bu yakıtların avantajlarından biridir. Özellikle doğalgaz kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Doğalgaz bileşiminde ağırlıklı olarak metan (%55–98) bulunmaktadır. Etan, propan, bütan, hidrojen, azot, hidrojen sülfür, karbondioksit gibi birçok gazlarda bulunmaktadır (Angın 2007).

#### **2.1.4. Yakıtlarda Aranılan Özellikler**

Yakıtlarda aranılan belli başlı özellikler aşağıda sıralanmıştır.

- Fiyatı ucuz olmalı, bol bulunmalı,
- Tutuşma sıcaklığı düşük olmalı,
- Yanabilme kabiliyeti olmalı,
- Isıl kabiliyeti iyi olmalı,
- Yakma sırasında otomatik kontrolü kolay olmalı,
- Zararsız olmalı,
- Yakıtların alımı dış ülkelere bağımsız olmalı,
- Yangın ve patlama açısından emniyetli olmalı,
- Taşınma ve depolama kolaylığı olmalı, depolanma sırasında ufalanmamalı, çevre şartlarından etkilenmemelidir (Angın 2007).

#### **2.2. Yanma**

Yanma, yakıtların genellikle havadan sağlanan oksijen ile hızlı oksidasyonu sonucu ısı ve sıcak yanma ürünlerinin açığa çıktığı kimyasal reaksiyondur. Normal şartlarda ve yeterli yakıcı oksijen ortamında yakıtlar çoğunlukla CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O'ya dönüşür. Ayrıca az miktarda kükürt, azot ve diğer elementlerin oksitleri de oluşur.

Yanma, kimyasal tepkime gereği gaz fazında oluşur. Bu sebeple en kolay yanma gaz yakıtlarda, en zor yanma da katı yakıtlarda gerçekleşir. Yanmanın; karışım oluşturma süreci, tutuşma süreci ve yanmanın tamamlanma süreci olarak bilinen üç temel şartının



sağlanması gerekir. Bunların sağlanması için, yakıt ve havanın olabildiğince karıştırılarak yanıcı karışımın oluşturulması, karışım sıcaklığının tutuşma sıcaklığı üzerine çıkartılarak yanma tepkimesinin başlatılması, yanma tamamlanıncaya kadar yanıcı karışımın sıcaklığı, tutuşma sıcaklığı üzerinde olan yanma odasında kalmasını sağlanması gerekir (İlbaş ve Yılmaz 2002).

Yakıt ve oksijen yanma reaksiyonu sırasında değişik fazlardaysa yanma heterojen, aynı fazdaysalar yanma homojendir. Yakıt hava ya da saf oksijenle yakılabilir. Saf oksijenle yapılan yanma sıcak, hızlı ve konsantredir. Aynı miktar yakıtın hava ya da saf oksijenle yanması aynı miktar ısıyı açığa çıkarır. Ancak saf oksijenle yanma sırasında ortamda azot bulunmadığından açığa çıkan yanma ısı çok daha az yanma ürünü arasında dağılır (Kadırgan 1991).

Yanma işlemi yakıtın belli bir oranda hava ile karıştırılıp ateşlenmesi sonucu oluşan bir olay olmasından dolayı hava miktarının gerekenden az, çok veya gereken kadar olması yanmanın özelliklerini belirleyen temel bir unsurdur. Dolayısıyla oluşan ısı miktarını ve yanma ürünlerinin cins ve miktarını belirler (Cengizalp 2007).

Havanın mol oranı, kuru hava %20,9 oksijen, %78,1 azot, %0,9 argon ve az miktarda karbondioksit, helyum, neon ve hidrojen oluşur. Yanma işlemini çözümlerken, argon azotla birlikte düşünülür ve az miktardaki diğer gazlarda ihmal edilebilir. Bu durumda kuru havayı oluşturan karışanların mol oranları %21 oksijen ve %79 azot olarak kabul edilir. Böylece yanmaya giren her mol oksijenin yanında  $0,79/0,21 = 3,76$  mol azot bulunur. Havanın mol sayısı ise  $1 \text{ kmol } O_2 + 3,76 \text{ kmol } N_2 = 4,76 \text{ kmol hava}$  olur (Angın 2007).

Yanmanın gerçekleşmesi için kullanılan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiometrik hava miktarına olan oranına hava fazlalık katsayısı denir ve  $\lambda$  ile gösterilir. Yanmayı tam sağlamak için yanma odasına gönderilen gerçek hava miktarı daima teorik hava miktarından bir miktar fazladır (İlbaş ve Yılmaz 2002).

$$\lambda = \frac{\text{Gerçek hava miktarı}}{\text{Teorik hava miktarı}} \quad (2.2)$$

Kimyasal reaksiyonlar göz önüne alınarak hesaplanan oksijen ihtiyacına stokiometrik oksijen ihtiyacı denir. Stokiometrik oksijen ve hava, yakıtı yakmak için gereken teorik miktardır. 1 kg yakıtı yakmak için gerekli havanın kütle sine stokiometrik hava/yakıt oranı denir. Aynı oran 1 m<sup>3</sup> yakıtı yakmak için gerekli stokiometrik havanın m<sup>3</sup> olarak hacminin hesaplanmasıyla hacimsel olarak da bulunabilir (Asiltürk 1999).

$$\text{stokiometrik Hava / yakıt Oranı} = \frac{\text{hava kütlesi(kg)}}{\text{yakıt kütlesi(kg)}} \quad (2.3)$$

### 2.2.1. Yanma Çeşitleri

Bir yakıtın oksitlenebilen bütün bileşenlerinin yakılmasına göre;

- Tamamlanmamış yanma
- Tamamlanmış yanma

şeklinde iki tip yanma vardır. Tamamlanmış yanmada artıkların ısı değerleri sıfırken; tamamlanmamış yanma da kül, baca veya egzoz gazlarında yanmamış yakıt bulunmaktadır.

Reaksiyona giren yakıt moleküllerinin tam olarak oksitlenip oksitlenmediği bu ayrımlarda belli olmamaktadır. Bu nedenle oksidasyonun tam olarak tamamlanıp tamamlanmamasına göre yanma olayı;

- ✓ Teorik tam yanma,
- ✓ Tam yanma,
- ✓ Eksik yanma,
- ✓ Kısmi eksik yanma,

olarak dört kısımda incelenebilir.

**Teorik Tam Yanma;** reaksiyona giren yakıt moleküllerinin ürün olarak CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> verdiği ve minimum oksijen miktarı kullanılan, egzozda O<sub>2</sub> bulunmayan yanma şeklidir. Hava fazlalık katsayısı  $\lambda=1$  olan durumdur.

**Tam Yanma;** gerekli hava miktarı teorik tam yanma halinden fazla olduğunda egzozda O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> görülen yanma şekli olup hava fazlalık katsayısı  $\lambda>1$  olan durumdur. Bu durumda ocak sıcaklığı düşer, baca gazı sıcaklığı ise artar. Böylece aynı miktardaki suyu ya da buharı ısıtmak için daha fazla yakıt gerekir. Daha fazla yakıt daha fazla atık baca gazı demektir. Hem fazla yakıt yakarak verimsiz bir yanma elde edilir hem de daha fazla atık baca gazı, daha fazla çevre kirliliğine neden olur.

**Eksik Yanma;** oksidasyonun tam olmamasından dolayı egzozda CO, H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> görülen yanma şekli olup hava fazlalık katsayısı  $\lambda<1$  olan durumdur. Eksik yanmada baca gazı çok koyu renkli ve isli olup bu durum ısı geçiş yüzeylerinde is ve kurumun birikmesine dolayısıyla ısı geçişinin engellenmesine sebep olur. Hem bu sebepten hem de yakılan yakıtın kimyasal enerjisinin tamamının ısıya çevrilememesinden dolayı yakıt tüketimi artar, atık gazların fazla olması is ve kurumun bacadan atılması sonucu çevre kirliliğine neden olur.

**Kısmi Eksik Yanma;** yanma odasındaki karışım, sıcaklık değişimi ve kalış süresindeki yetersizlikler sonucu hava fazlalık katsayısı  $\lambda>1$  olmasına rağmen egzozda O<sub>2</sub>'nin yanında CO, H<sub>2</sub> gibi eksik yanma ürünleri de görülen yanma şeklidir. Yüksek sıcaklıkta CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O molekülleri ısıl ayrışma ile CO, H<sub>2</sub> gibi eksik yanma ürünleri oluştururlar. Bu moleküllerin düşük sıcaklığa hızlı bir şekilde getirilmeleri, yeniden birleşme reaksiyonlarına yeterli zaman bırakmamaktadır. Yani belirli bir sıcaklıkta reaksiyonlarda donma oluşmaktadır. Bu nedenden ötürü egzoz gazlarında eksik yanma ürünleri de görülmektedir (Çayırılı 2006; Cengizalp 2007).

### 2.2.2. Yanma ürünleri

Aşağıda başlıca yanma ürünleri ve özellikleri sıralanmaktadır.

**Hidrokarbon;** tam yanmanın gerçekleşmediği veya alev sıcaklığının düşük olduğu durumlarda oluşur. Birçoğu zehirleyici olup kansere yol açarlar. Yanma verimini düşürür ve çevreyi kirletirler.

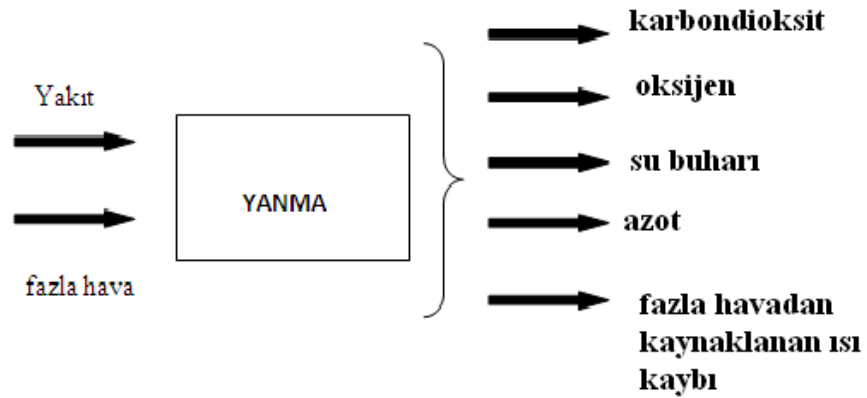
**Karbondioksit;** karbon yanma esnasında oksijenle birleşerek karbondioksit oluşur. Karbondioksitin çevreye salınması %50'ye varan iklim değişikliklerine neden olmaktadır. Karbondioksit emisyonunu azaltmak için, yanma prosesinin iyileştirilmesi ve petrol türevli yakıtların kullanımından kaçınılması gerekir.

**Karbon monoksit;** karbon monoksit kokusuz ve zehirleyici bir gaz olup eksik yanma sonucunda ve hidrokarbon gibi istenmeyen diğer yanma ürünleri de karbon monoksit ile birlikte oluşur, verimin düşmesine neden olur.

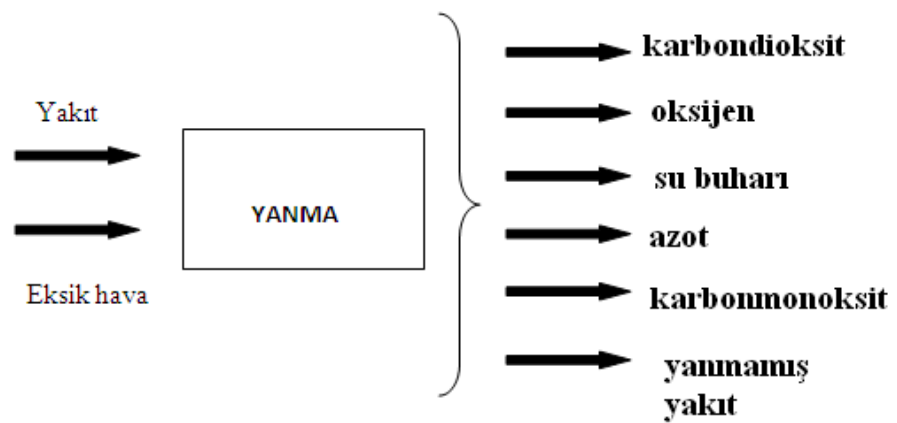
**Azot oksitler;** azot renksiz ve kokusuz bir gazdır. Çok yavaş reaksiyon gösterip yanma olayına katılmaz. Belirli sıcaklıklarda oksijen ile birleşerek çok zehirli olan azot oksitleri oluşturur (Keleşer vd 2008).

Pratikte stokiometrik hava ile tam yanma hiçbir zaman gerçekleşmez. Nasıl karıştırılmış olursa olsun, oksijenin bir kısmı yanma reaksiyonuna girmeden baca gazıyla dışarı çıkar. Bu nedenle genelde stokiometrik havadan daha fazla hava verilmesi gerekir. Fazla hava ile gerçekleşen yanmalarda baca gazında daima oksijen bulunur, baca gazındaki azot yüzdesi de artar. Bir yanma olayının fazla veya eksik hava miktarları, baca gazındaki karbondioksit, karbon monoksit ve oksijen yüzdeleri ile kontrol edilebilir (Asiltürk 1999).

Aşağıda Şekil 2.2’de fazla hava ile yapılan yanma ve ürünleri, Şekil 2.3’de ise eksik hava ile yapılan yanma ve ürünleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Fazla hava ile yapılan yanma ve ürünleri



Şekil 2.3. Eksik hava ile yapılan yanma ve ürünleri

### 2.2.3. Yanma Isısı

Yanma ısısı; tam yanma sonucunda birim miktar yakıttan elde edilen ısıdır ve genelde  $H_p$  ile gösterilir. Bu birim miktar katı ve sıvı yakıt için kg, gaz yakıtlar içinse norm metreküp ( $Nm^3$ )'tür. Norm metreküp bir gazın 1 atm basınç ve 273,154 K sıcaklık yani normal şartlar altındaki bir metreküpüdür. Genelde hacimsel debiler  $m^3$  olarak ölçülür ve  $Nm^3$  cinsinden ifade edilir. Isı değerinin boyutu katı ve sıvı yakıtlar için kcal/kg, gaz yakıtlar içinse kcal/kmol veya kcal/ $Nm^3$ 'tür.

Yakıt nemliyse veya bünyesinde hidrojen ve oksijen taşıyorsa, tepkime ürünleri arasında doğal olarak su bulunacaktır. Bu suyun buhar veya sıvı şeklinde oluşuna göre ısı değeri;

✓ Alt ısı değeri ( $H_{pa}$ )

✓ Üst ısı değeri ( $H_{pü}$ )

olmak üzere iki şekilde tanımlanır (Asiltürk 1999). Eğer yanma ürünlerinde su buhar halindeyse alt ısı değeri, sıvı halindeyse üst ısı değeri elde edilir. Alt ısı değeri ile üst ısı değeri arasındaki fark tepkime ürünlerindeki suyun buharlaşma ısısıdır (Kadırgan 1991). Yakıttaki yanıcı bileşenler oksijenle ayrı ayrı tepkimeye girdikleri için tüm yakıt için geçerli ısı değeri, bileşenlerin konsantrasyonları ilgili ısı değerleriyle çarpılıp toplanarak hesaplanır.

#### 2.2.3.a. Katı ve Sıvı Yakıtlar İçin Isıl Değer

Yakıtların ısı değeri katı yakıtlar için bomba kalorimetresi, sıvı yakıtlar için junkers kalorimetresi diye adlandırılan özel kalorimetreler yardımıyla tespit edilmektedir. Alt ısı değeri,

$$H_{pa} = 8100 \times c + 34250 \times \left(h - \frac{0}{8}\right) + 2500 \times s - 600 \times (w + 9 \times h) \quad (2.4)$$

formülüyle hesaplanır. Bu formüldeki üç terim üst ısı değerini belirtir. Alt ısı değer ile üst ısı değer arasında bağıntı ise aşağıdaki gibidir. Formüldeki ikinci terim yakıtın bünyesinde var olan veya yanmadan kaynaklanan suyun buharlaşma ısını temsil eder.

$$H_{pa} = H_{pü} - 600 \times (w + 9 \times h) \quad (2.5)$$

### 2.2.3.b. Gaz Yakıtlar İçin Isıl Değer

Gaz halindeki yakıtlar çeşitli gazların karışımından oluşur. Bir gazın hacmi basınç ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Gaz yakıtların alt ve üst ısı değerleri aşağıda verilmiştir (Asiltürk 1999).

$$H_{pü} = 30,2 \times CO + 30,5H_2 + 95,2CH_4 + 168,2C_nH_m \text{ (kcal / Nm}^3\text{)} \quad (2.6)$$

$$H_{pa} = 30,2 \times CO + 25,7H_2 + 85,5CH_4 + 153,7C_nH_m - H_2O \text{ (kcal / Nm}^3\text{)} \quad (2.7)$$

### 2.2.4. Çiğ Noktası

Çiğ noktası yanma ürünlerinin kondansasyona başladığı sıcaklığı verir. Kondansasyon, baca gazlarındaki suyun kısmi basıncının, o sıcaklıktaki suyun buhar basıncının üzerine çıktığı anda başlar. Kondansasyon ısısına kullanan düzenekler haricinde baca gazlarının çiğ noktasının üzerinde atılması gerekir. Çiğ noktası yakıtın içerisindeki kükürt ile orantılı olarak artar ve fuel-oil'e ve kömürde 140–160°C'ye ulaşır. Çiğ noktasının yükselmesi kWsaatte her kükürt miligramı için 0,2°C'dir (Kadırgan 1991).

### 2.2.5. Yanmanın Neden Olduğu Hava Kirliliği

Yanma işlemi sırasında bacadan çevreye atılan hava kirleticisi emisyonlar;

✓ Partikül emisyonları (toz, is, kurum, uçucu kok vb.)

✓ Gaz emisyonları (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO vb.)

olmak üzere iki gruba ayrılır. Hava kirliliği yönünden etkili emisyonlar, duman ve kükürt oksitlerdir. Atmosferi kirleten bu emisyonların önlenmesi için yanma sonrası baca gazı temizleme işlemleri gibi değişik yöntemler uygulanabilir (İlbaş ve Yılmaz 2002).

### 2.3. Kazanlar

Ülkemizde tüketilen enerjinin büyük bölümü termal sistemlerde harcandığı için termik santrallerde, sanayide, konutlarda ve diğer alanlarda ihtiyaç duyulan ısı enerjisi kazanlarda yakılan yakıtlardan elde edilmektedir (Çomaklı vd 2006).

Genel olarak kazanlar, yakıtın kimyasal enerjisini ısı enerjisine çevirip taşıyıcı akışkana ileten ve yüksek basınç altında çalışan kapalı kaplar olarak tanımlanmaktadır. Kazanları çalışırken dikkat edilmesi gereken en önemli husus kazan verimidir. Kazan verimi, yakıtın yanmasıyla oluşan ısının kazan içerisindeki suya ne oranda aktarılacağına bağlıdır. Kazanın verimini arttırmak ve güvenli çalışmasını sağlamak için bir kazanda yanma prosesinin, daima stokiometrik yanma şartlarını sağlayan hava miktarından biraz daha fazla olması gerekir. Eğer hava oranı çok düşük olursa hızlı bir şekilde karbon monoksit oluşumu başlayacak ve daha ileri safhalarda siyah duman oluşacaktır. Ayrıca CO, boru yüzeylerinde kurum tabakası oluşturarak suya ısı geçişini engelleyeceğinden kazan veriminin düşmesine sebep olur. Eğer hava oranı çok fazla olursa, baca gazı emisyonları arasında CO'nun düştüğü, oksijen miktarının arttığı, alev renginin çok açık ve parlak olduğu gözlenecektir. Yanmanın hava fazlalık katsayısı üzerinde veya altında olması atılan baca gazları arasındaki oksijen veya CO miktarının ölçülmesiyle



anlaşılabilir. Eğer oksijen belirlenen değerin altında ise bu durum eksik yanmanın işaretidir (Şanlı vd 2006).

### 2.3.1. Kazanların Sınıflandırılması

Kazanlar yanma şekli, malzeme, güç büyüklüğü vb. çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır.

✓ Yanma şekline göre

1. Özel
2. Değişim gereken çok yakacaklı
3. Değişim gerekmeyen çok yakacaklı

✓ Malzemesine göre

1. Dökme demir
2. Çelik
3. Korozyona dayanıklı malzeme

✓ Akışkan tipine göre

1. Sıcak sulu
  - 90 °C sıcaklığında sıcak sulu
  - Düşük sıcaklıkta sıcak sulu
2. Kaynar sulu
3. Buharlı
4. Yağlı
5. İki devreli

✓ Güç büyüklüğüne göre

1. Küçük güçlü
2. Orta güçlü
3. Büyük güçlü

✓ Yakacak tipine göre

1. Kok, linyit
2. Fuel-oil
3. Doğalgaz ve lpg

4. Odun, talaş
  - ✓ Basınca göre
    1. Tabii çekişli
    2. Yüksek basınçlı
  - ✓ Yakacak sayısına göre
    1. Aynı anda yanmayan çok yakacaklı
    2. Aynı anda yanan çok yakacaklı
    3. Bivalent
  - ✓ Yanma odası basıncına göre
    1. Tabii çekişli
    2. Üst basınçlı
  - ✓ Duman akışına göre
    1. İki veya üç yollu
    2. Kısmi akışlı
    3. Zıt akışlı
    4. Bileşik haller
  - ✓ Isıtma yüzeyi cinsine göre
    1. Dilimli
    2. Blok yapı
    3. Alev borulu
  - ✓ Sıcak su hazırlama yerine göre
    1. Su deposu kazan içinde
    2. Su deposu kazan üstünde
    3. Su deposu kazan yanında
    4. Akarken ısıtan
    5. Bileşik haller
    6. Bivalent sistemler
  - ✓ Yerleştirilen yere göre
    1. Binanın katlarında
    2. Bodrumda
    3. Çatıda
    4. Duvarda

✓ Isıl değerine göre

1. Alt ısı değer
2. Üst ısı değer (yoğuşmalı)(Cengizalp 2007)

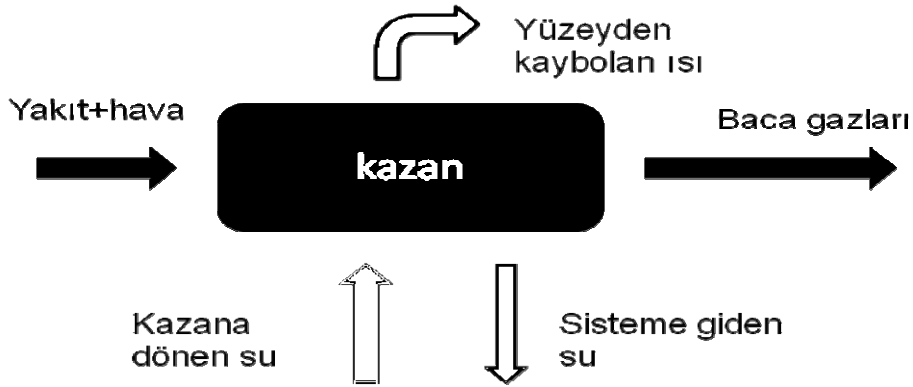
#### 2.4. Kazanlarda Enerji Denkliği

Kazanlarda enerji denkliği aşağıdaki gibidir (Şekil 2.4).

$$\dot{E}_Y = \Delta \dot{E}_S + \dot{E}_B + \dot{E}_K \quad (2.8)$$

Burada  $E_Y$  yakıt enerjisi olup yakıtın alt ısı değeri ile aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\dot{E}_Y = \dot{m}_Y \times Hu \quad (2.9)$$



Şekil 2.4. Kazanlarda enerji denkliği

Kazanda suya aktarılan enerji;

$$\Delta E_S = m_S \times C_P \times (T_{S,C} - T_{S,G}) \quad (2.10)$$

Denklemdaki  $E_k=Q_k$  olup, kazan yüzeylerinden çevreye olan ısı kayıplarını göstermektedir. Genellikle %0,5-1 civarındadır (Çomaklı 2003).

#### 2.4.1. Baca Gazı Enerji Kaybı

Kazanlarda meydana gelen enerji kayıplarını ikiye ayırabiliriz. Bunlar;

- ✓ Kazan dış yüzeylerinde oluşan ısı kaybı
  - ✓ Baca gazı ısı kaybı
- dır.

Bir kazanda en fazla ısı kaybı yaklaşık %18-22'lik bir oranla bacada oluşmaktadır. Kaybedilen bu oran, baca gazlarının sıcaklığına ve bacadan uzaklaştırılan gazların debisine bağlıdır.

Baca gazı ısı kayıplarını azaltmak için yapılması gerekenler;

- İdeal hava fazlalık katsayısının üzerinde olan hava fazlalığını önlemek,
  - Isı transfer yüzeylerini temiz tutmak,
  - Ekonomizer veya reküperatör kullanarak baca gazı ısını besleme suyu veya yanma havası ısıtmada kullanmak,
  - Hava filtresini belirli dönemlerde kontrol etmek,
- şunlardır (Şanlı vd 2006).

Kazan bacalarında ısı kaybı üç çeşittir:

- Duyulur ısı kaybı
- Gizli ısı kaybı

- Eksik yanma kaybı

**Baca gazları duyulur ısı kaybı;** baca gazı sıcaklığından ileri gelen kayıptır. Aşağıda verilen formülle hesaplanır.

$$\dot{E}_{BACA} = \sum_{i=1}^N n_i \times \bar{C}_{pi} \times (T_{BACA} - T_O) \quad (2.11)$$

$\sum_{i=1}^N n_i$  : Baca gazı bileşenlerinin mol sayısı(kmol)

$\bar{C}_{pi}$  : Baca gazı bileşenlerinin molar özgül ısı(kj/kmol.K)

$T_{BACA}$  : Baca sıcaklığı(K)

$T_O$  : Ortam sıcaklığı(K)

Kazanı terk eden baca gazlarının, yakıt cinsine ve içerisindeki kükürt oranına bağlı olarak, mümkün mertebe düşük sıcaklıkta olması istenmektedir. Gereğinden fazla yakıt debisi, yetersiz kazan ısıtma yüzeyi ile duman borularındaki kirlilik, yüksek baca gazı sıcaklığına neden olmaktadır. Yüksek baca gazı sıcaklığı verim kaybı demektir.

Baca gazı sıcaklıklarında düşülebilecek minimum değerler, baca gazlarının yoğuşma (çiğlenme) sıcaklığı ile ilgilidir. Yoğuşma sıcaklığı ise baca gazındaki kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), dolayısıyla yakıt içindeki kükürt (S) miktarına bağlıdır. Doğalgaz kullanımında 130–150°C, katı ve sıvı yakıt kullanımında 130–175°C baca gazı sıcaklıkları uygun değerler olarak kabul edilebilmektedir. Her 20°C baca gazı sıcaklık düşümü, verimde %1 artışa neden olmaktadır (Bilgin 2006).

**Baca gazları gizli ısı kaybı;** baca gazlarında bulunan su buharının taşıdığı ısıdan meydana gelen kayıptır. Bu kayıp enerjiyi geri kazandırmak için baca gazları çığ noktası sıcaklığı altına kadar düşürülüp buhar yoğunlaştırılır ve elde edilen ısı sistemde kullanılır. Aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\dot{E}_{H_2O} = n_{H_2O} \times \bar{h}_{fg} \quad (2.12)$$

$n_{H_2O}$  : Suyun mol sayısı(kmol)

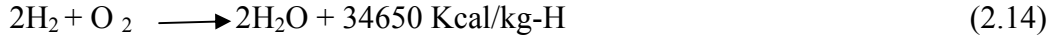
$\bar{h}_{fg}$  :Suyun buharlaşma ısısı(kj/kmol)

Baca gazı sıcaklığı yakıt cinsi ve yakıt bileşenlerine bağlıdır. Kükürt ve kükürtlü bileşikler içeren yakıtlarda baca gazı sıcaklığı 180°C altına düşürülmemeli, aksi takdirde kükürt havanın içindeki oksijen ve hidrojenle birleşerek sülfürik asit oluşturur. Doğalgaz içinde kükürt bulunmadığından doğalgaz ile çalışan cihazlarda baca gazı sıcaklığı 56°C'ye kadar düşürülebilir. Bunun için yoğunlaşmalı kazanlar kullanılmaktadır. Yoğunlaşmalı kazanlarda yoğunlaşma kabının içinden geçen yüksek sıcaklıktaki baca gazının enerjisinden yararlanılarak bir enerji temini sağlanır. Bu enerji ilave olarak ısıtma devresine veya sıcak kullanım suyu devresinde kullanılabilir. Enerjisi alınan baca gazının sıcaklığı 56°C'ye kadar düşürülebildiğinden yoğunlaşmalı kazan sistemlerinde kazan verimleri daha yüksek seviyelere çıkmaktadır (Cengizalp 2007).

**Eksik yanma kaybı;** yakıt tamamen yandığında, içerisindeki karbon(C) karbondioksit(CO<sub>2</sub>), hidrojen(H<sub>2</sub>) su buharına(H<sub>2</sub>O), kükürt(S) kükürt dioksit(SO<sub>2</sub>) dönüşmektedir.

Tam yanma halinde;





Eksik yanma halinde ise;



Buradan da görülebileceği gibi, yetersiz oksijen sonucu karbonun karbondioksit dönüşmeden, karbon monoksit halinde kalmasıyla kaybedilen enerji miktarı %70 mertebesinde olmaktadır. Bu kaygıyla, mükemmel yanmanın sağlanması için, genel bir kural olarak yakıtta verilen hava belirli oranda artırılmaktadır. Yakıt cinsine bağlı olarak değişen bu katsayının gereğinden az olması halinde,

✓ karbon monoksit oluşmakta,

✓ üretilen enerji azalmakta,

✓ islilik başlamakta,

✓ yanma verimi düşmekte,

söz konusu hava fazlalık katsayısının gereğinden fazla olması halinde ise,

✓ karbon monoksit azalırken,

✓ yanmaya iştirak etmeyen hava ocakta ısıtılarak bacadan atılmakta,

✓ yanma bozulmakta,

✓ yanma verimi düşmekte,

dir (Bilgin 2006).

Yanma odasında ateşleme şartlarından ileri gelen yanmamış gazlar nedeniyle ısı kayıp baca gazı içinde bulunan CO, hidrokarbondan meydana gelmektedir. Yanmamış gazlar nedeniyle ısı kayıp, büyük yanma odası, sekonder hava kullanımı yan taraftan hava üfleme ve yanma gazlarının girdaplı (türbülanslı) hareketleri ile azaltılabilir (Yakut 2009).

### 2.4.2. Kazan Verimi

Kazanlar ile ilgili farklı verim değerleri bulunmaktadır. Bunlar;

- ✓ Kazan (yanma )verimi (sistem çalışırken, cihaza özel),
  - ✓ Kullanma verimi (sistem çalışırken ve beklerken, tesisata özel),
  - ✓ Norm kullanma verimi (sistem çalışırken ve beklerken, cihaza özel),
- dır.

Kazan verimi bir kazanın aldığı enerji ile verdiği arasındaki farktır ve çalışma kapasitesine, çalışma sıcaklığına bağlıdır. Yoğuşmaya izin verilmeyen kazanlarda kazan çıkış suyu belli bir değer altına düşürülemez. Bu yüzden yıllık işletme verimi düşük kalır. Yoğuşmalı kazanlarda ise su sıcaklığı o anda gerekli olan en düşük sıcaklıklara düşürülür ve verim artar. Yoğuşmalı kazan verimleri özellikle dönüş suyu sıcaklıkları yoğuşma sınırının altına düşürüldüğünde yoğuşma enerjisinden de yararlandığı için oldukça yüksektir.

Kazan verimi aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir.

$$\eta_{KAZAN\ VERIMI} = \frac{m_{KAZAN\ SU} \times C_{PKAZAN\ SU} \times (T_{CIKIS} - T_{GIRIS\ 2})}{v_{YAKIT} \times Hu} \quad (2.17)$$

$$\eta_{KAZAN\ VERIMI} = 1 - (kazan\ kayiplari) \quad (2.18)$$

### 2.5. Enerji Geri Kazanımı

Atık ısı herhangi bir üretim işleminden çıkan ve çevre sıcaklığının yeter derecede üzerinde bulunan ısının geri kazanılması mümkün olan kısımıdır. Atık ısı sıcaklık derecelerine göre sınıflandırılabilir;

- 650°C'nin üzerinde yüksek sıcaklıkta atık ısı,



- 120-650°C arası orta sıcaklıkta atık ısı,
- 120°C'nin altında düşük sıcaklıkta atık ısı, olarak kabul edilebilir.

Atık ısının geri kazanılmasının ekonomikliği çeşitli unsurlara bağlıdır.

- Atık ısı için aynı tesiste kullanma yeri olmalıdır.
- Atık ısının sıcaklığı çok önemlidir.
- Isı kaynağı ile kullanma yeri arasındaki uzaklığın fazla olması, geri kazanma işlemini gereksiz hale sokabilir.
- Isı geri kazanma sisteminin enerji kullanımı ihmal edilmemelidir.

Atık ısıdan yararlanma sistemleri genel olarak iki grupta incelenebilir.

- Atık ısıdan direk yararlanma sistemleri; bu yöntem de atık ısıdan herhangi bir ısı değiştirici sistemi kullanmaksızın direkt olarak yararlanır. Bu tür sistemler diğer atık ısı sistemlerine göre hem daha ucuz, hem de uygulaması daha kolaydır. Ancak bu sistemlerin birçok yerde kullanılabilmesini sınırlayan önemli sakıncaları da vardır.
- Atık ısıdan dolaylı olarak yararlanma sistemleri; doğrudan kullanımın mümkün olmadığı hallerde, ısı transferini sağlayan çeşitli ısı değiştirici sistemler kullanılabilir (Dalkılıç vd 2008).

Endüstride yüksek ısı üreten, tüketen birçok ünite, prosesin özelliğine göre mutlaka dışarı atılması gerekli ve her türlü yöntemle önüne geçilemeyen bir enerji oluşur. Bu şekilde birçok ülkede endüstriyel enerji tüketiminin yaklaşık %26'sı sıcak gazlar ve sıvılar şeklinde atılarak kaybolmaktadır. Bu kayıp atık ısı geri kazanım sistemleriyle önemli ölçüde azaltılabilir.

Isı geri kazanımı ekipmanlarının seçimini etkileyen bazı faktörler şunlardır:

- ✓ Isıtılan akışkanın sıcaklık ve kompozisyonu
- ✓ Atık ısı taşıyan akışkanın sıcaklık ve kompozisyonu
- ✓ Isıtılan akışkanın ısıtılacağı maksimum sıcaklık (Terzi ve Arcaklıoğlu 2006)

### **2.5.1. Baca Gazından Enerji Geri Kazanımı**

Geleneksel bir buhar kazanında üretilen enerjinin yaklaşık olarak %16-20 kadarı baca gazlarıyla sistemden ayrılır. Baca gazlarından atık ısının geri kazanımı, bu oranın çok yüksek olması nedeniyle ısı geri kazanım sistemlerindeki gelişmeler için en büyük adaydır. Bu ısı kaybını geri kazanmak için birçok ısı geri kazanım cihazı kullanılabilir (Willems 2006).

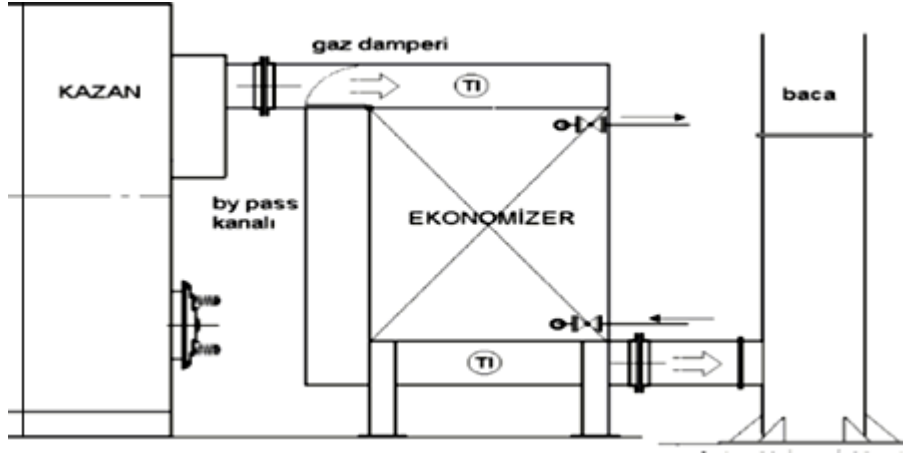
Ekonomizerler ve hava ön ısıtıcıları, kayıp ısıyı geri kazanma ekipmanları olarak endüstride kullanılır. Ekonomizerler sadece kazanlarda kullanılırken hava ön ısıtıcıları, kazanların ve ocakların her ikisinde de kullanılır. Besleme suyu veya yakma havası, ekonomizer veya hava ön ısıtıcısından geçen baca gazındaki kayıp ısıyı emdiği için toplam verimde önemli bir artış sağlanır (Sinanoğlu vd 1996).

### **2.5.2 Ekonomizerler**

Kazanı terk eden duman gazlarının sıcaklığının kazandaki suyun doyma sıcaklığından daha yüksek olması ısı geçişi için şarttır. Isı geçişinin pratik ve ekonomik olabilmesi için su ile duman gazı sıcaklıkları arasındaki fark eski yaklaşımda 100 ile 150°C iken, günümüzde bu fark 50 ile 75°C'lere kadar indirilebilmektedir. Bu duruma herhangi bir önlem alınmazsa buhar kazanlarında 200 ile 350°C arasında bir değerde dışarı atılmaktadır. Aradaki bu farktan yararlanmak için su ısıtıcıları yani ekonomizerler kullanılır. Ekonomizerde baca gazları kanatlı borulardan oluşan bir ısı değiştirgecinde soğutulur, ısıları kazana giden besi suyuna aktarılır. Böylece dışarı atılan ısı geri döndürülmüş veya kazanılmış olur (Arısoy 2001; Ünlü 2008).

Büyük su borulu kazanlarda çoğunlukla ekonomizerler kazanın integral bir elemanıdır. Orta büyüklükteki endüstriyel tesislerdeki alev duman borulu kazanlarda ise genellikle bir ekonomizer yoktur. Bu gibi tesislerde ekonomizer sonradan ilave edilerek önemli

ölçüde yakıt tasarrufu mümkündür (Ünlü 2008). Şekil 2.5’de ekonomizerin sisteme bağlanması gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Ekonomizerin sisteme bağlanması (Demir Makine 2003)

Kazan besleme suyu, kazanın asıl ısıtma yüzeylerine girmeden önce, ekonomizer içinde duman gazları ile ısıtılabilir. Böylece kazana gönderilen su ile buharlaşmakta olan su arasındaki fark küçüldüğünden,

- Kazandaki ısı gerilimleri azalır,
- Su içindeki gazların çıkışı kolaylaşır,
- Kazanın ısı verimi artar.

Alt ısı değeri 30000 kJ/kg olan kömür kullanan ve duman gazında %13 mertebesinde CO<sub>2</sub> bulunan bir buhar kazanında, duman gazının yaklaşık her 15°C değerinde fazladan soğutulması, yakıtta %1 ekonomi sağlar. Bu cihazlar kazan verimini arttırmaktan ve ısı gerilmeleri azaltmaktan başka, ocak yükü değiştiğinde verim eğrisinin oldukça sabit kalmasını da sağlarlar. Bütün tasarruf sağlayan cihazlarda olduğu gibi ekonomizerlerde de ilk yatırım ile işletme masrafları arasında optimum bir çözüm aramak gerekir.

Bir buhar kazanında ekonomizer veya hava ısıtıcısı yakıt tasarrufu açısından aynı görevi görürler. Küçük buhar basınçlarında ve debilerinde, ekonomizerler hava ısıtıcılarına

göre daha ekonomiktir. 25 lt/h buhar debisinden büyük değerlerde hava ısıtıcısı ekonomizerlerle rekabet edebilmekte, ancak büyük işletmelerde hem ekonomizer hem de hava ısıtıcısı aynı anda kullanılabilir (Sinanoğlu vd 1996).

Isı, buhar ve güç üretim tesislerinde ekonomizer kullanılmasıyla sağlanacak yararlar aşağıda verilmiştir.

- Kazan duman gazı çıkış sıcaklığı ve yakıt cinsine bağlı olarak kazan veya tesis veriminde %3 ile %7 arasında verim artışı sağlanır.
- Sağlanan verim artışına paralel olarak, aynı kapasite için daha az yakıt harcanması veya aynı miktarda yakıt için daha fazla ısı üretimi gerçekleşir.
- Kazanılan ısının kazan besleme suyuna verilmesi sonucu, kazanın maksimum yüklerde bile zorlanmadan çalışması, değişik yüklerle 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 ekonomizer ilavesiyle kazan kapasitesi ve verimi optimum düzeylere çıkarılabilir.

Başlıca ekonomizer uygulama alanları şunlardır:

✓ **Buhar kazanlarında**

- Kazan besleme suyunun ön ısıtılmasında,
- Taze kazan besleme suyunun ısıtılmasında, degazör ısı ihtiyacının karşılanmasında,
- Tesiste herhangi bir amaçla kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında,
- Tesiste herhangi bir mahallin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemi suyunun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde.

✓ **Kaynar su kazanlarında**

- Tesisat dönüş suyunun ön ısıtılmasında,
- Taze sistem besleme suyunun ısıtılmasında, degazör ısı ihtiyacının karşılanmasında,

- Tesiste herhangi bir amaçla kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında,
- Tesiste herhangi bir mahallin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemi suyunun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde.

✓ **Kızgın yağ kazanlarında**

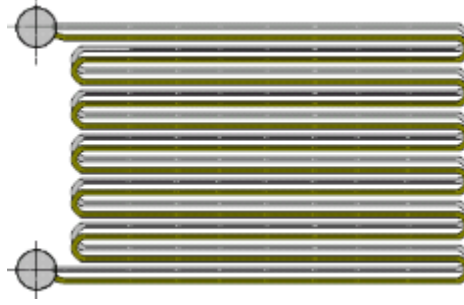
- Tesiste herhangi bir amaçla kullanılan sıcak suyun ısıtılmasında,
- Tesiste herhangi bir mahallin ısıtılması amacıyla kullanılan kalorifer sistemi suyunun ısıtılmasında veya ısı takviyesinde.
- Tesiste ihtiyaç duyulacak 2-4 atm gibi düşük basınç ve kapasiteli buhar ihtiyacının sağlanmasında

Ekonomizerler; işletme basıncı, yakıt cinsi, sıcaklıklar, gazın kirlilik durumu, işletme koşulları vb. faktörler dikkate alınarak, dikişli, dikişsiz siyah ve paslanmaz borudan düz, U firkete, spiral, helezon veya kanatlı borulu olarak dizayn ve imal edilebilirler (Demir Makine 2003).

Aşağıda belli başlı ekonomizer tipleri verilmiştir. Bunlar,

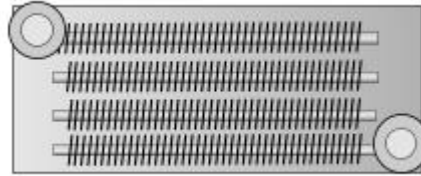
- Düz veya firkete borulu ekonomizerler
- Kanatlı borulu ekonomizerler
- Helezon ve spiral borulu ekonomizerler
- Duman borulu ekonomizerler

**Düz veya firkete borulu ekonomizerler;** kömür, fuel-oil vb. yakıtlardan elde edilen nispeten kirli duman gazlarından ısı geri kazanımı amacıyla kullanılıp düşük basınçlarda düz borulu, yüksek basınçlarda firkete (U) borulu tipleri kullanılır. Şekil 2.6'da düz veya firkete borulu ekonomizer tipi gösterilmektedir.



**Şekil 2.6.** Düz veya firkete borulu ekonomizerler (Demir Makine 2003)

**Kanatlı borulu ekonomizerler;** doğal gaz, LPG vb. yakıtlardan elde edilen nispeten temiz duman gazları ve sıcak hava gibi ısı kaynaklarından ısı geri kazanımı amacıyla kullanılıp, düşük basınçlarda düz borulu, yüksek basınçlarda firkete (U) borulu tipleri kullanılır. Çok küçük hacimler içine çok büyük yüzeyler sığdırılabildiğinden, kapasite/hacim oranları yüksektir. Maliyet/kapasite oranları düşüktür. Şekil 2.7’de kanatlı borulu ekonomizer tipi gösterilmektedir.



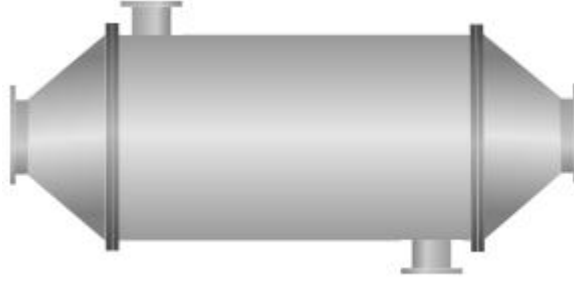
**Şekil 2.7.** Kanatlı borulu ekonomizerler (Demir Makine 2003)

**Helezon ve spiral borulu ekonomizerler;** duman gazlarının kirlilik durumlarından etkilenmeyen yapıda olduklarından, her türlü atık gazlarda kullanılabilirler. Genelde kanal veya baca arası veya içlerine yerleştirilirler. Şekil 2.8’de helezon ve spiral borulu ekonomizer tipi gösterilmektedir.



**Şekil 2.8.** Helezon ve spiral borulu ekonomizerler (Demir Makine 2003)

**Duman borulu ekonomizerler;** duman gazlarının kirlilik durumlarından etkilenmeyen yapıda olduklarından, her türlü atık gazlarda kullanılabilirler. Eşanjör tipinde olup ısı geçiş katsayıları düşük olduğundan yüzeyleri ve kapladıkları alan ve hacim diğer tiplere göre çok yüksektir. Çok özel durumlarda kullanılırlar. Şekil 2.9’da duman borulu ekonomizer tipi gösterilmektedir (Demir Makine 2003).



**Şekil 2.9.** Duman borulu ekonomizerler (Demir Makine 2003)

### **2.5.3. Yoğuşmalı Ekonomizer**

Yoğuşmalı ekonomizerler, kazandan çıkan baca gazının enerjisini geri kazandıran ısı değiştircileridir. Bu sistemlerde baca gazı sıcaklığı su buharının çiğlenme noktasının altına dūřurulur. Duyulur ve gizli ısının her ikisi de baca gazlarından geri kazanılır ve kazanın termal verimliliği gözle görülür Őekilde artar. Günümüzde yoğuşmalı ekonomizerlerin gaz yakıtlı sistemlerde kullanımı daha yaygınlaşmıştır. nk diğer yakıtlara oranla doğalgazda yoğuşma daha az koroziftir ve yanma ürünlerindeki nem miktarı daha fazla olduğu için enerji verimliliği daha yüksektir. Yoğuşmalı ısı değiştircilerinin yüzeylerindeki korozyon üzerinde durulması gereken önemli bir problemdir ve bunun için paslanmaz elik, teflon kaplamalı ve cam ısı değiştircileri kullanılır (Butcher and Litzke 1994).

Büyük kapasiteli buhar kazanlarında olduğu gibi bazı buhar kazanlarında da entegre ekonomizer bulunmaktadır. Bu tip kazanlarda kullanılabilecek bir ilave imkan yoğuşmalı tip ekonomizerdir. Bu ekonomizer üç sıralı serpantin Şeklinde kıvrılmış borulardan oluşmaktadır. Kazandan çıkan ve 150°C'ye kadar soğutulmuş baca gazları bu serpantin boruları üzerinden geçerken yoğuşma sıcaklıkları altına kadar soğutulur. Baca gazları içindeki buhar yoğuşarak taşıdığı gizli ışıyı da boruların içindeki suya verir (Arısoy 2001).

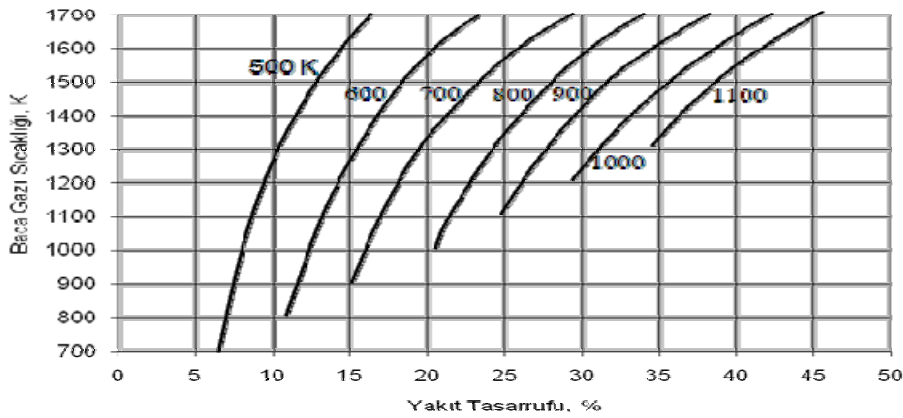


#### 2.5.4. Hava Isıtıcıları

Hava ısıtıcıları; ısı, buhar veya güç üretim tesislerinde kazandan çıkan baca 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. Hava ısıtıcısı uygulama alanları şunlardır:

- Kazan yakma havasının ön ısıtılmasında,
- Kazan dairesine yakın bir mahallin ısıtılmasında,
- Tesiste ısıtma, pişirme ve kurutma vb. gibi amaçlar için kullanılacak sıcak havanın ön ısıtılmasında veya ısıtılmasında (Demir Makine 2003).

Ekonomizerlerde olduğu gibi hava ısıtıcılarında da baca gazları bir miktar daha soğutulurken hem daha fazla yakıt ekonomisi, hem de yakma havasının ısıtılması ile ocakta daha iyi bir yanma sağlanır. Yaklaşık olarak havanın her 50°C fazladan ısıtılması, yakıtta %2,5 değerinde bir ekonomi sağlar (Genceli 1992). Baca gazı sıcaklığına ve ısıtılan hava sıcaklığına bağlı olarak yakıt tasarrufunun değişimi Şekil 2.10'da verilmiştir.



**Şekil 2.10.** Baca gazı sıcaklığına ve ısıtılan hava sıcaklığına bağlı olarak yakıt tasarrufunun değişimi (Yakut 2009)

Hava ısıtıcılarının üstünlükleri şöyledir:

- Hava ısıtıcısına giren hava sıcaklığı, ekonomizere giren su sıcaklığından düşük olduğundan baca gazları, hava ısıtıcısında daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulabilir.
- Hava ısıtıcısında basınçlar, ekonomizere göre çok daha azdır. Daha küçük hava fazlalık katsayısı ile tam yanmaya yaklaşıldığından yanma verimi artar.
- Küçük yüklerde dahi yakıtın tutuşması kolaydır.
- Tutuşmanın hızlanması, daha geniş yük aralığında çalışmayı sağlar.
- Sıcak hava ile toz kömür kurutulduğundan taşınması, beslenmesi ve yakılması kolaylaşır.
- Çok nemli testere talaşı, odun, zeytinyağı ve pancar artıkları sıcak hava ile kurutulabilir.
- Ayrıca çeşitli bölgelerin ısıtılmasında ve bazı maddelerin kurutulmasında sıcak havadan yararlanılabilir.

Hava ısıtıcılarının sakıncaları ise şunlardır:

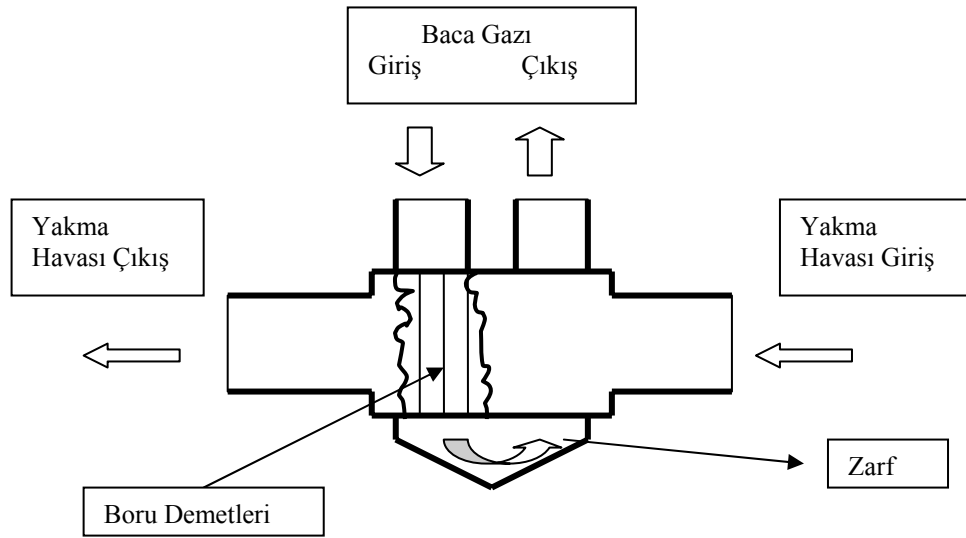
- Havanın ısınması ocak duvarlarının refrakterlerinde çabuk bozulmalara neden olur.
- Sıcak hava içine karışabilen yanıcı tozlar tutuşarak önemli derecede bir tahribat yapabilir.
- Hava kaçaklarını karşılamak için vantilatör kapasitesi artırılır (Sinanoğlu vd 1996).

Hava ısıtıcıları çalışma prensibine göre ikiye ayrılır:

- Reküparatif hava ısıtıcıları
  1. Duman gazı ile çalışanlar
    - a. Borulu hava ısıtıcıları
    - b. Levhalı hava ısıtıcıları
  2. Buharlı hava ısıtıcıları
- Döner rejeneratif hava ısıtıcıları

**Rekuperatif hava ısıtıcıları;** bu tiplerde sıcak akışkan ile soğuk akışkan genellikle metal olan bir ısı transferi yüzeyiyle ayrılmıştır. Bu yüzeyler boru veya levha şeklinde yapılabilir.

**Borulu hava ısıtıcıları;** çelik veya dökme demir boruların bir demet haline getirilmesi ile yapılır. Isı transferini iyileştirmek için düzenleme genellikle ters akımlı, tek veya çok geçişli yapılabilir. Şekil 2.11’de borulu tip hava ısıtıcısı gösterilmektedir.



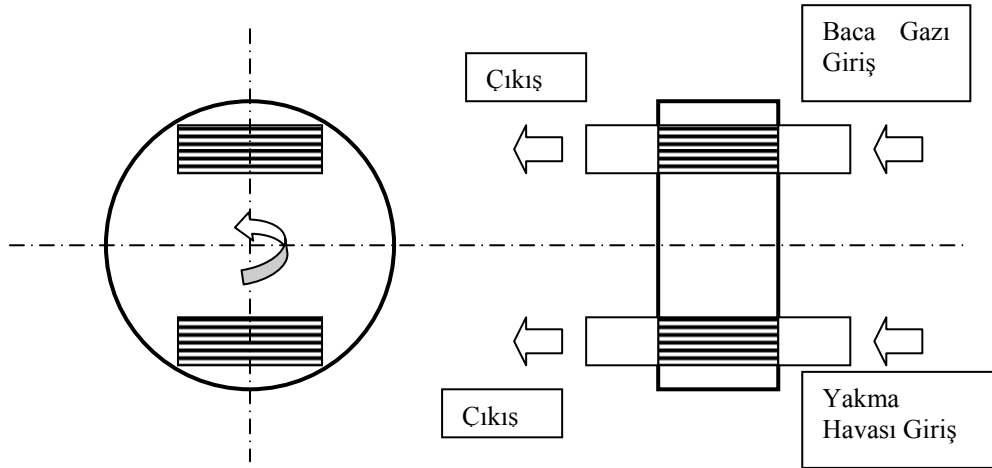
**Şekil 2.11.** Borulu hava ısıtıcısının şematik gösterimi(Yakut 2009)

**Levhalı hava ısıtıcıları;** çelik levhalardan yapılmış olup kalınlıkları 1,5-4 mm’dir. Baca gazları ile hava birbirine dik olarak akar. 400°C değerinin yukarısında, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanıklı alaşımlı çelikler kullanmak gerekir.

**Buharlı hava ısıtıcıları;** baca gazı ile çalışan hava ısıtıcıları için uygun bir yer bulunamaması halinde bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Genellikle baca gazı ile çalışan hava ısıtıcılarında korozyonu azaltmak için yakma havası önce buharlı

ısıtıcılardan geçirilir. Isı transferini iyileştirmek için hava tarafını kanatlı yapmak uygundur.

**Rejeneratif hava ısıtıcıları;** bu tiplerde ısıtma doğrudan değildir. Sıcak akışkandan alınan ısı önce bir ortamda depo edilir, daha sonra soğuk akışkana verilir. Buhar kazanlarında kullanılan konstrüksiyonlarda ısı depo eden ortam genellikle döner bir sistem olarak yapılır. Bir bölümden baca gazları geçerken diğer bölümden ters yönde hava geçer. Yavaşça dönen bir rotor, baca gazları tarafından ısınarak ısıyı tutar ve hava tarafında ise soğuyarak havaya ısı verir. Döner tipten rejeneratif hava ısıtıcılarının diğer hava ısıtıcılarına göre üstünlükleri; kompakt, hafif ve korozyona dayanıklı malzemeden yapılabilmeleridir. Bu üstünlüklerine karşılık bir döndürme gücüne ihtiyaç duyulması ve sızdırma problemlerinden dolayı hava ile baca gazı arasındaki kaçaklar bu tiplerin sakıncalarıdır (Genceli 1992). Şekil 2.12.'de rejeneratif hava ısıtıcısı gösterilmektedir.



**Şekil 2.12.** Rejeneratif hava ısıtıcısının şematik gösterimi(Yakut 2009)

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3. 1. Bölge Isıtma Sistemleri

Isıtma sistemlerini boyutlarına göre;

- ❖ Lokal ısıtma
- ❖ Merkezi ısıtma
- ❖ Bölgesel ısıtma

olarak sınıflandırılabilir.

Bölgesel ısıtma ise sistemde kullanılan akışkanın özelliğine, ısı dağıtım şebeke tipine ve üretilen ısının kullanım maksadına göre gruplara ayrılır.

- Akışkan sıcaklığına göre;
  1. Sıcak sulu ısıtma sistemleri
  2. Kızgın sulu ısıtma sistemleri
  3. Buharlı ısıtma sistemleri
- Isı taşıyıcı akışkanın ve boru şebekesinin binalara bağlanma şekillerine göre;
  1. Direkt sistem; kazandan çıkan sıcak akışkan doğrudan radyatörlere verilir.
  2. İndirekt sistem; kızgın su ve sıcak su devresi olmak üzere iki devre mevcuttur. Birinci devrede kazanda üretilen kızgın su, ikinci devrede ise sıcak su dolaşır.
- Isı merkezinin türüne göre;
  1. Yalnızca ısıtma amaçlı ısı üretimine dayalı bölgesel ısıtma
  2. Bileşik ısı güç santralli bölgesel ısıtma (Çomaklı vd 2006)

Bölge ısıtmasını; endüstri tesisleri, toplu konut uygulamaları, mahalle ve şehir ısıtmaları gibi büyük ölçekli ısıtma olarak tanımlamak mümkündür. Klasik bölge ısıtmasında bir ısı merkezinde üretilen ısı boru şebekesi ile primer devre akışkanı tarafından ısıtılacak binalara taşınır. Her binanın altında bir ısı değiştirgecinde sekonder devrede dolaşan ısıtıcı akışkan ısıtılır. Primer devrede genellikle sıcak su, kızgın su veya buhar; sekonder devrede ise 90/70°C sıcak su dolaşır. Sekonder devre klasik sıcak sulu merkezi ısıtma

sistemi olup bina altındaki eşanjör dairesine yerleştirilecek boilerle merkezi kullanma sıcak suyu da elde edilebilir.

### 3.1.1. Kızgın Sulu Bölge Isıtma Sistemi

Kızgın sulu tesislerde su sıcaklığı 120°C ve üzerinde olup üst sınır değeri 180°C'dir. Bu sistemlerde su gidiş ve dönüş sıcaklıkları arasındaki fark 30-80°C arasında değişir. 150/180°C ve 160/120°C kızgın su sıcaklık seçiminde sık karşılaşılan değerlerdir. Su sıcaklıklarının yükselmesi; boru ve eşanjör boyutlarını azaltırken, basıncın artmasına bağlı olarak daha dayanıklı ve kaliteli boru, fittings ve cihaza gereksinimi artırır. Kızgın sulu tesislerin buharlı tesislere göre avantajları aşağıdaki gibidir.

- ❖ Kızgın sulu şebekede belli koşullarda daha fazla ısı taşınabilir.
- ❖ Buharlı tesislerde kondens hattı ve kondens kayıpları mevcuttur.
- ❖ Buharlı tesislerde büyük ısı kaybı olur.
- ❖ Boru şebekesinin düzenlenmesinde kızgın suda yüksek basınç dışında bir sınırlama yoktur.
- ❖ Kızgın su sistemini merkezi olarak kontrol etmek mümkündür.
- ❖ Kızgın su ile 10-15 km gibi uzak mesafeleri beslemek mümkündür.
- ❖ Kızgın suda boru şebekesi bir ısı güç oluşturmaktadır.
- ❖ İlk yatırım maliyeti %10, işletme maliyeti %20-30 ve onarım, bakım maliyeti ise %50-60 daha azdır.

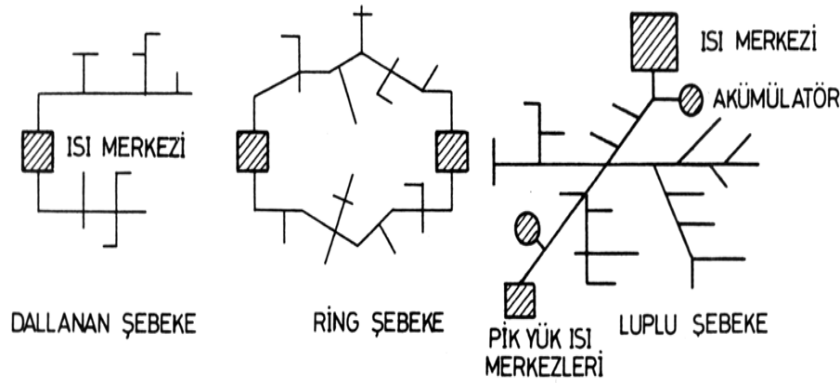
Buna karşın dezavantajları ise şöyledir:

- ❖ Toplam su hacmi çok büyüktür ve suyun yumuşatılmış olması ve dozajlama gerekir.
- ❖ Sistem kapalı devre olduğundan kaçaklar ve arızalara müdahalesi zordur.
- ❖ Her yeni ilave su kireçlenme ve korozyon sorunlarına neden olur.
- ❖ Arazide 50 m ve üzeri gibi büyük kot farkları sonucunda artan basınca bağlı olarak sistem çok pahalı hale gelir.
- ❖ Buhar ısıtma yüzey sıcaklıkları daha homojendir.

- ❖ Sıcaklık kontrolü buharlı sistemde çok daha hassas bir şekilde yapılabilir.
- ❖ Boru hatlarında genleşmeler için kompensatör kullanılmalı, üst kotlarda hava tahliyesi, alt kotlarda ise boşaltma imkânı sağlanmalıdır.

Büyük şehir ısıtmalarında sistemin kullanım güvenliği açısından aynı kullanım noktasına farklı santrallerden besleme yapabilmek esastır. Çok merkezli bölge ısıtmasında boru dağıtım şebekesi Şekil 3.1’de görüldüğü gibi iki çeşittir.

- Ring şebeke
- Luplu (alt bölge) şebeke (Isısan 2000)



**Şekil 3.1.** Çok merkezli bölge ısıtmasında boru dağıtım şebeke tipleri (Isısan 2000)

### 3.2. Atatürk Üniversitesi Merkezi Isı Santrali

Atatürk Üniversitesi merkezi ısı santrali, 1972 yılında Selnikel A.Ş. tarafından kurulmuş olup; santral, kızgın su kazanları, yakıt depoları, tamir ve bakım atölyesinden oluşmaktadır. Üretilen kızgın su ile kampus içerisindeki lojman, fakülte ve sosyal tesis binalarının ısıtma ve sıcak su ihtiyacı karşılanmaktadır. Bu amaçla santralde üretilen kızgın su, ana dağıtım hatları ve ana hatlara bağlanan yan hatlar ile kampus içerisinde 53 adet eşanjör dairelerine gönderilip santralden 180°C sıcaklığında ve 15 atm basıncında çıkan kızgın su 140°C’de geri dönmektedir. Kazanlarda 200°C’ye kadar

ısınan kızgın su, genişleme tankında toplanmaktadır. Şebeke dönüş kolektöründen gelen 110°C'deki su ile üç yollu motorlu vanalar ile karıştırılarak sıcaklığı 180°C'ye dönüştürülüp pompalar vasıtasıyla gidiş kolektöründe toplanmaktadır. Şekil 3.2'de Atatürk Üniversitesi merkezi ısı santrali gösterilmiştir.



**Şekil 3.2.** Atatürk Üniversitesi merkezi ısı santrali

Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminde yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz, %95 metan, az miktarda etan, propan, bütan ve karbondioksitten oluşan renksiz, kokusuz, zehirsiz ve havadan hafif bir gazdır. Metan molekülünün kimyasal yapısının basit olması nedeniyle yanma işlemi kolay olup yanma tam gerçekleşir. Bu nedenle duman, is, kurum ve kül oluşturmaz. Yanması en kolay ayarlanabilen ve yanma verimliliği en yüksek olan yakıttır (Börekçioğlu 2009). Doğalgazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Doğalgazın belli başlı avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Doğalgaz zehirsizdir
- Doğalgaz havadan hafiftir
- Doğalgaz kuru bir gazdır
- Doğalgazın birim kütle başına ısı değeri, diğer yakıtlardan daha yüksektir.
- Doğalgaz çevreyi kirletmeyen bir yakıttır.
- Doğalgazın yakılması için ön hazırlama ve depolama gerekmez.
- Otomatik kontrole uygundur.
- Doğalgaz kazanları yüksek verimlidir.
- Doğalgaz ekonomiktir.
- Ocak yükü fazla, gerekli ocak hacmi küçüktür; alev boyu fuel-oil'e göre daha kısadır.
- Ocak sıcaklığı yüksektir.
- Baca gazlarındaki su buharı oranı yüksektir.
- Baca gazlarındaki gizli ısıdan yararlanılabilir.
- Gerekli hava fazlalığı düşüktür.

Yukarıda belirtilen avantajlara karşın doğalgazın bazı dezavantajları şöyledir:

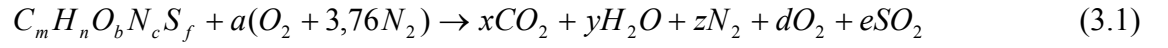
- Ulusal doğalgaz yataklarımız yok denecek kadar az olmasından dolayı dışa bağımlılık yaratan bir yakıttır.
- Doğalgaz kullanımında güvenlik, kalite, bilinç ve organizasyon çok önemli olup bu konularda ülkemizin önemli eksiklikleri bulunmaktadır.
- Doğalgaz yakan kazan bacalarında, baca gazlarından dolayı %18-20 gibi yüksek oranda su buharı ve doğalgazın yapısındaki azotun oksijenle birleşiminden azot oksitlerin oluşumu, bacalarda ve çevrede tahribatlara yol açar.
- Doğalgaz kapalı hacimlerde %5-15 oranında hava ile bir karışım oluşturduğundan küçük bir kıvılcımla patlayabilen ve büyük hasar yaratabilen bir yakıttır (Dursun 2007; Tunç 2007).

**Çizelge 3.1.**Doğalgazın diğer yakıtlarla karşılaştırılması (Dursun 2007; Tunç 2007)

	<b>Kömür</b>	<b>Fuel-oil</b>	<b>Doğalgaz</b>
<b>Karbon oranı %</b>	77,4	84,58	73,98
<b>Hidrojen oranı %</b>	1,4	10,9	24,57
<b>Kükürt oranı %</b>	1	4	-
<b>Kül oranı %</b>	8	-	-
<b>Nem oranı %</b>	7	-	-
<b>Isıl değeri kJ/kg(kcal/kg)</b>	29,600(7080)	39,220(9380)	49,085(11780)
<b>Baca gazındaki buhar oranı %</b>	1,8	8,1	16,9
<b>Baca gazındaki SO<sub>2</sub> oranı (ppm)</b>	1,644	5,5	-
<b>Baca gazı su çığ noktası °C</b>	35	49	56
<b>Ocak sıcaklığı °C</b>	900	1200	1500
<b>Teorik özgül hava miktarı(Nm<sup>3</sup>/kg)</b>	6,3	10,4	9,3
<b>Gerçek özgül hava miktarı(Nm<sup>3</sup>/kg)</b>	10,1	13	10,3
<b>Teorik özgül duman miktarı(Nm<sup>3</sup>/kg)</b>	6,7	0,8	10,7
<b>Gerçek özgül duman miktarı(Nm<sup>3</sup>/kg)</b>	10,5	13,4	11,6
<b>Hava fazlalığı</b>	1,4-2	1,2-1,3	1,05-1,1
<b>Alev ışımm katsayısı</b>	0,55-9,8	0,45-0,8	0,3-0,5

### 3.3. Yanmanın Teorik Analizi

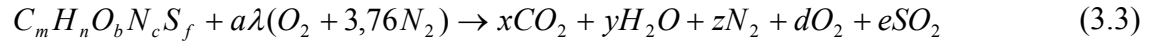
Yakıtın hava ile teorik tam yanması reaksiyonu sonucunda meydana gelen yanma ürünleri aşağıda gösterilmiştir.



Teorik hava miktarı oksijen denkliğinden hesaplanır.

$$a = x + e + \frac{y}{2} - \frac{b}{2} \quad (3.2)$$

Yakıtın hava ile tam yanması sonucunda ise



Karbon denkliği;

$$C \Rightarrow m = x \quad (3.4)$$

Hidrojen denkliği;

$$H \Rightarrow y = \frac{n}{2} \quad (3.5)$$

Azot denkliği;

$$N \Rightarrow z = \frac{c}{2} + 3,76 \times a \times \lambda \quad (3.6)$$

Kükürt denkliği;

$$S \Rightarrow e = f \quad (3.7)$$

Oksijen denkliği;

$$O \Rightarrow d = \frac{b}{2} + a \times \lambda - x - \frac{y}{2} - e \quad (3.8)$$

kurularak baca gazı mol miktarları kmol cinsinden bulunur.

Toplam baca gazı miktarı ise

$$V_{GD} = x + y + z + d + e \quad (3.9)$$

şeklinde kmol cinsinden hesaplanır.

Baca gazlarını oluşturan bileşenlerin her birinin mol oranları ise

$$\text{Karbondioksit oranı} \quad : x_{CO_2} = \frac{x}{V_{GD}} \quad (3.10)$$

$$\text{Su buharı oranı} \quad : x_{H_2O} = \frac{y}{V_{GD}} \quad (3.11)$$

$$\text{Azot oranı} \quad : x_{N_2} = \frac{z}{V_{GD}} \quad (3.12)$$

$$\text{Oksijen oranı} \quad : x_{O_2} = \frac{d}{V_{GD}} \quad (3.13)$$

$$\text{Kükürt dioksit oranı} \quad : x_{SO_2} = \frac{e}{V_{GD}} \quad (3.14)$$

şeklinde hesaplanır.

Baca gazlarını oluşturan bileşenlerin her birinin molar özgül ısıları ise

$$\overline{C_{pCO_2}} = 22,26 + 5,981 \cdot 10^{-2} \times T_{BACA} - 3,501 \cdot 10^{-5} \times T_{BACA}^2 + 7,469 \cdot 10^{-9} \times T_{BACA}^3 \quad (3.15)$$

$$\overline{C_{pH_2O}} = 32,24 + 0,1923 \cdot 10^{-2} \times T_{BACA} + 1,055 \cdot 10^{-5} \times T_{BACA}^2 - 3,595 \cdot 10^{-9} \times T_{BACA}^3 \quad (3.16)$$

$$\overline{C_{pO_2}} = 25,48 + 1,520 \cdot 10^{-2} \times T_{BACA} - 0,7155 \cdot 10^{-5} \times T_{BACA}^2 + 1,312 \cdot 10^{-9} \times T_{BACA}^3 \quad (3.17)$$

$$\overline{C_{pN_2}} = 28,90 - 0,1571 \cdot 10^{-2} \times T_{BACA} + 0,8081 \cdot 10^{-5} \times T_{BACA}^2 - 2,873 \cdot 10^{-9} \times T_{BACA}^3 \quad (3.18)$$

$$\overline{C_{pSO_2}} = 25,78 + 5,795 \cdot 10^{-2} \times T_{BACA} - 3,812 \cdot 10^{-5} \times T_{BACA}^2 + 8,612 \cdot 10^{-9} \times T_{BACA}^3 \quad (3.19)$$

şeklinde hesaplanır. Yukarıdaki formülde  $T_{\text{baca}}$ , baca gazlarının sıcaklığını göstermektedir ve birimi K'dir.

Baca gazlarının ortalama özgül ısısı ise

$$\overline{C}_{pORT} = x_{CO_2} \times \overline{C}_{PCO_2} + x_{O_2} \times \overline{C}_{PO_2} + x_{H_2O_2} \times \overline{C}_{PH_2O} + x_{N_2} \times \overline{C}_{PN_2} + x_{SO_2} \times \overline{C}_{PSO_2} \quad (3.20)$$

formülüyle hesaplanır (Çengel and Boles 2006).

Yakıtın yanmasıyla elde edilen yakıt enerjisi ise

$$\dot{E}_{YAKIT} = m_{YAKIT} \times H_u \quad (3.21)$$

şeklinde hesaplanır. Bu formülde  $E_{\text{yakıt}}$ ; yakıtın yanması sonucu elde edilen enerjiyi (kJ/s),  $m_{\text{yakıt}}$ ; yakıtın birim zamandaki sarfiyatı olup katı yakıtlar için kg, gaz ve sıvı yakıtlar için  $m^3$ 'tür.  $H_u$  ise yakıtın alt ısıl değeridir ve katı yakıtlar için kJ/kg, gaz ve sıvı yakıtlar için kJ/ $m^3$ 'tür.

Yakıtın, havanın ve baca gazlarının mol kütleleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

Yakıtın mol kütlesi,

$$Ma_{YAKIT} = m \times Ma_C + n \times Ma_H + b \times Ma_O + c \times Ma_N + f \times Ma_S \quad (3.22)$$

şeklinde hesaplanır. Formüldeki  $Ma_{\text{yakıt}}$ ; yakıtın mol kütlesi,  $Ma_C$ ; karbonun mol kütlesi,  $Ma_H$ ; hidrojen atomunun mol kütlesi,  $Ma_O$ ; oksijen atomunun mol kütlesi,  $Ma_N$ ; azot atomunun mol kütlesi ve  $Ma_S$  ise kükürdün mol kütlesidir ve birimleri kg/kmol'dur.

Havanın mol kütlesi,

$$Ma_{HAVA} = Ma_{O_2} \times x_{O_2} + Ma_{N_2} \times x_{N_2} \quad (3.23)$$

şeklinde hesaplanır. Formüldeki  $Ma_{hava}$ ; havanın mol kütlesi,  $Ma_{O_2}$ ; oksijenin mol kütlesi ve  $Ma_{N_2}$  ise azotun mol kütlesidir. Birimleri kg/kmol'dur.  $x_{O_2}$  ve  $x_{N_2}$  havadaki oksijen ve azotun mol oranları olup sırasıyla 0,21 ve 0,79'dır.

Baca gazlarının mol kütlesi ise

$$Ma_{BACAGAZI} = x_{CO_2} \times Ma_{CO_2} + x_{H_2O} \times Ma_{H_2O} + x_{O_2} \times Ma_{O_2} + x_{N_2} \times Ma_{N_2} + x_{SO_2} \times Ma_{SO_2} \quad (3.24)$$

şeklinde hesaplanır. Formüldeki  $Ma$  baca gazı; baca gazlarının mol kütlesi;  $Ma_{CO_2}$ ; karbondioksitin mol kütlesi,  $Ma_{H_2O}$ ; suyun mol kütlesi,  $Ma_{O_2}$ ; oksijenin mol kütlesi,  $Ma_{N_2}$ ; azotun mol kütlesi ve  $Ma_{SO_2}$  ise kükürt dioksitin mol kütlesidir ve birimleri kg/kmol'dur.

Kütlenin korunumu kanundan yola çıkarak baca gazlarının birim zamandaki kütlesi, yakıtın ve havanın birim zamandaki kütleleri toplamına eşittir.

$$\dot{m}_{YAKIT} + \dot{m}_{HAVA} = \dot{m}_{BACAGAZI} \quad (3.25)$$

Formüldeki  $m_{yakıt}$ ; yakıtın birim zamandaki kütlesini,  $m_{hava}$ ; havanın birim zamandaki kütlesini ve  $m_{bacagazi}$  ise baca gazlarının birim zamandaki kütlesini göstermektedir ve birimleri kg'dır.

Havanın birim zamandaki kütlesi (kg)

$$\dot{m}_{HAVA} = \frac{\dot{m}_{YAKIT} \times 4,76 \times \lambda \times Ma_{HAVA}}{Ma_{YAKIT}} \quad (3.26)$$

Yakıtın birim zamandaki kütlesi (kg)

- Gaz ve sıvı yakıtlar için

$$\dot{m}_{YAKIT} = V_{YAKIT} \times \rho_{YAKIT} \quad (3.27)$$

şeklinde hesaplanır. Formüldeki  $V_{yakıt}$ ; yakıtın birim zamandaki sarfiyatı olup birimi  $m^3$ 'tür.  $\rho_{yakıt}$  ise yakıtın ortam şartlarındaki yoğunluğudur.

Gaz yakıtlar için yakıtın ortam şartlarına göre (1 atm basınç ve  $T_o$  ortam sıcaklığı (K) ndaki) yoğunluğunun hesaplanması şu şekildedir.

$$\rho_{YAKIT} = \frac{Ma_{YAKIT} * 273}{22,4 * T_o} \quad (3.28)$$

Baca gazlarının birim zamandaki kütlesi (kg) ise

$$\dot{m}_{BACA GAZI} = \dot{m}_{YAKIT} + \frac{\dot{m}_{YAKIT} \times 4,76 \times \lambda \times Ma_{HAVA}}{Ma_{YAKIT}} \quad (3.29)$$

şeklinde hesaplanır. Baca gazlarının birim zamandaki mol miktarı da aşağıdaki gibi hesaplanır.



$$\dot{n}_{BACA\ GAZI} = \frac{\dot{m}_{BACA\ GAZI}}{Ma_{BACA\ GAZI}} \quad (3.30)$$

Yukarıdaki formülde  $n_{bacagazi}$ ; baca gazlarının birim zamandaki mol sayısını gösterir ve birimi kmol'dur.

Yakıtın yanmasıyla elde edilen yakıt enerjisinin bir kısmı baca gazlarıyla dışarı atılmaktadır. Baca gazlarının taşıdığı enerji; baca gazları sıcaklığından ileri gelen duyulur enerji ve baca gazlarındaki su buharının taşıdığı gizli enerjidir.

Baca gazlarının duyulur enerjisi

$$\dot{E}_{BACA\ DUYULUR} = \dot{n}_{BACA\ GAZI} \times \overline{C_{PORT}} \times (T_{BACA} - T_O) \quad (3.31)$$

Baca gazlarındaki su buharının gizli enerjisi ise

$$\dot{E}_{BACA\ GIZLI} = (\dot{n}_{BACA\ GAZI} \times x_{H_2O}) \times h_{fg} \times Ma_{H_2O} \quad (3.32)$$

şeklinde hesaplanır. Formülde  $h_{fg}$ , suyun buharlaşma ısısı olup birimi kJ/kg'dır.

Baca gazlarının belirli bir T sıcaklığına kadar soğutulmasıyla bir miktar su yoğuşur. Suyun yoğuşan miktarı ( $n_{SW}$ ) ise şöyle hesaplanabilir (Çengel and Boles 2006).

$$\frac{\dot{n}_{SU}}{\dot{n}_{BACA\ GAZI}} = \frac{P_{SU}}{P_{BACA\ GAZI}} \quad (3.33)$$

$$\frac{(\dot{n}_{BACA\ GAZI} \times x_{H_2O}) - \dot{n}_{SW}}{\dot{n}_{BACA\ GAZI} - \dot{n}_{SW}} = \frac{P_{SU}}{P_{BACA\ GAZI}}$$

$$n_{SW} = \frac{P_{BACA\ GAZI} \times (n_{BACA\ GAZI} \times x_{H_2O}) - P_{SU} \times n_{BACA\ GAZI}}{P_{BACA\ GAZI} - P_{SU}} \quad (3.34)$$

Yukarıdaki formülde  $n_{sw}$ ; yoğuşan suyun birim zamandaki mol sayısını (kmol),  $P_{bacagazi}$ ; baca gazlarının toplam basıncını (kPa),  $P_{su}$  ise baca gazlarının soğutulduğu sıcaklıktaki doymuş buhar basıncıdır (kPa).

Baca gazlarının soğutulmasıyla geri kazanılan enerji;

- Çiğlenme noktasının üzerindeki bir sıcaklığa (T) soğutulması,

$$\dot{E}_{GER\ İKAZANILAN} = n_{BACA\ GAZI} \times \overline{C}_{PORT} \times (T_{BACA} - T) \quad (3.35)$$

- Çiğlenme noktasının altındaki bir sıcaklığa (T) soğutulması,

$$\begin{aligned} \dot{E}_{GER\ İKAZANILAN} &= n_{BACA\ GAZI} \times \overline{C}_{PORT} \times (T_{BACA} - T_{CİĞLENME}) \\ &+ n_{SW} \times h_{fg} \times Ma_{H_2O} \end{aligned} \quad (3.36)$$

durumlarına göre hesaplanır. Formüldeki  $T_{çiğlenme}$ ; yakıtın çiğlenme noktasındaki sıcaklığıdır. Birimi K'dir.

Toplam baca kayıpları ve yüzde baca kaybı;

$$E_{TOP\ BACA\ KAYBI} = E_{BACA\ DUYULUR} + E_{BACA\ GIZLI} \quad (3.37)$$

$$\%baca\ kayiplari = \frac{E_{TOP\ BACA\ KAYBI}}{E_{YAKIT}} \times 100 \quad (3.38)$$

şeklinde hesaplanır. Kazan verimi de şu formülle hesaplanır.

$$\eta_{YUZDE\ KAZAN\ VERIMI} = 100 - (\%kazan\ kayiplari) \quad (3.39)$$

Kazan kayıpları ise

$$\%kazan\ kayiplari = \%baca\ kayiplari + \%diger\ kayiplar \quad (3.40)$$

şeklinde hesaplanır.

### 3.4. Bacadan Atılan Isıdan Faydalanma

Bacadan atılan ısıdan faydalanmak için dört yöntem düşünülmüştür. Bu yöntemler;

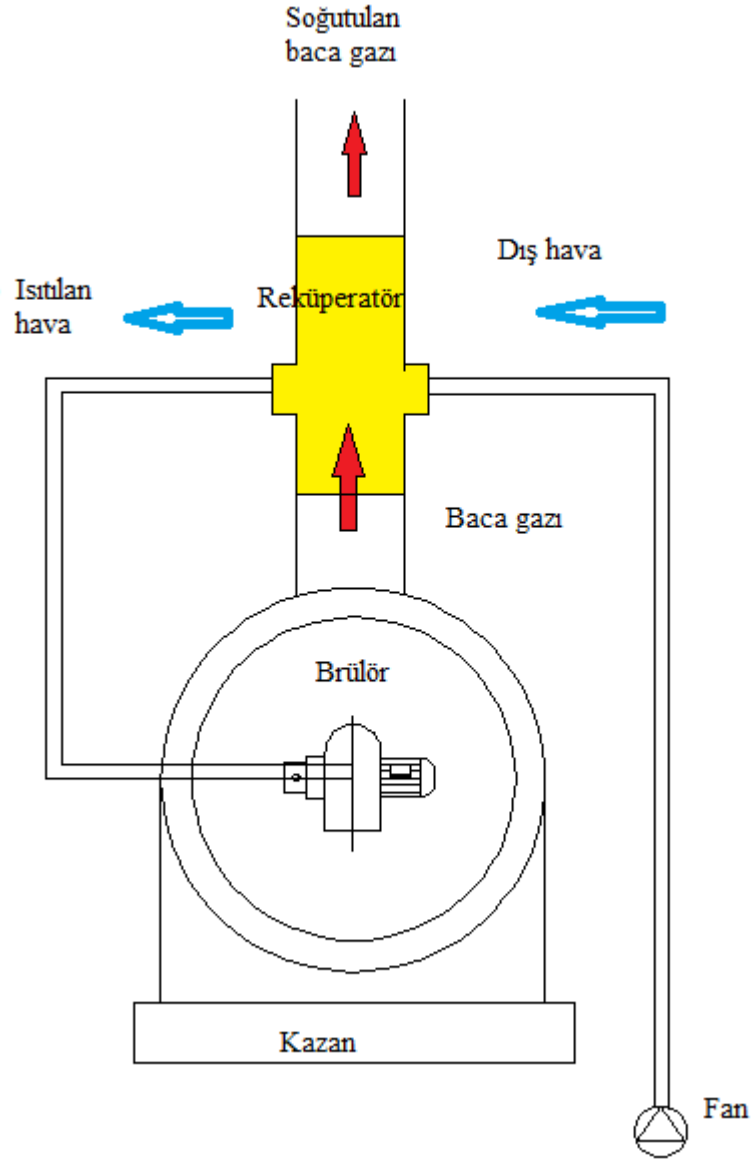
- Sadece yakma havasının ısıtılması,
  - Sadece sıcak su eldesi,
  - Hem yakma havası ısıtılması hemde sıcak su eldesi,
  - Hem yakma havası ısıtılması hemde mahal ısıtması,
- dır.

### 3.4.1. Sadece Yakma Havaasının Isıtılması

Baca gazlarının soğutulmasıyla geri kazanılan enerjinin kullanımı için düşünülen yöntemlerden biri yakma havasının ön ısıtılmasıdır. Bu yöntemde kazandan çıkan baca gazları hava ön ısıtıcısına girer ve baca gazları soğutulurken kazana giren havanın sıcaklığı artırılmış olur. Yaklaşık olarak havanın her 50°C fazladan ısıtılması yakıtta %2,5 değerinde bir ekonomi sağlamaktadır.

Hava ön ısıtıcılarında, yakılan havanın müsaade edilebilir maximum sıcaklığı, brülörün dizaynıyla sınırlanır. Genellikle iyi brölürler, 100°C'nin üzerindeki yanma havası sıcaklığı ile verimli çalışabilir. Bunun ötesinde daha yüksek sıcaklıklarda, bu brülörlerin değiştirilmesi gerekir. Giriş havası tarafından kabul edilebilir sıcaklık artışı;  $T_{max}(\text{brülör}) - \text{çevre sıcaklığı}$ ndan elde edilir. Çevre sıcaklığı genellikle 40°C alınır (Toklu vd 1995). Dolayısıyla doğalgaz yakma sistemlerinde üfleli tip tek, iki veya kademesiz ayarlanabilen brülör kullanıldığından yakıtın yakılması için gerekli olan hava miktarı havanın sıcaklığına bağlıdır. Burada hava/yakıt oranı sabit olarak ayarlandığında yakma havasının sıcaklığı 60°C'nin üzerine çıkmayacak şekilde ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır (Özgür 1993).

Bu yöntemde Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezi kazanlarından 180°C'de çıkan baca gazları bir hava ön ısıtıcısına girer. Burada baca gazları aylık dış sıcaklıklara göre 131,97–155,26°C arasında soğumaya uğrarken dış hava sıcaklığında hava ısıtıcısına giren yakma havasını 50°C'ye yükseltmiş olur. Bu yöntemin sisteme kazandırdığı tasarruf ise %0,58–1,14 arasında değişmektedir. Aşağıda Şekil 3.3'te bu yöntemin şematik resmi verilmiştir.

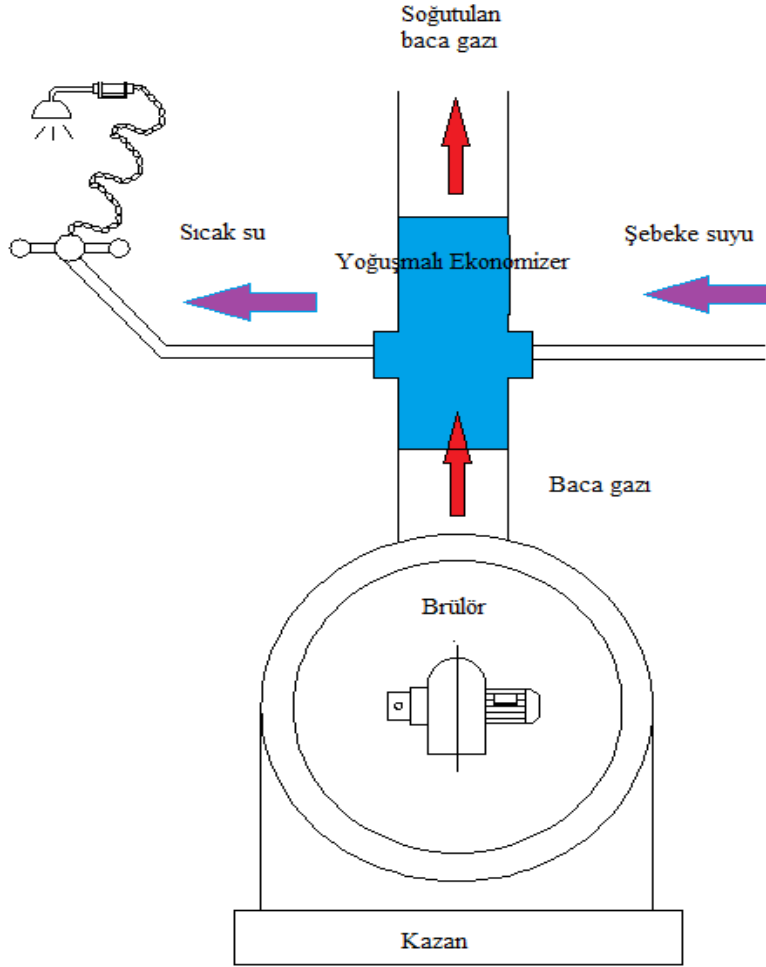


**Şekil 3.3.** Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin yakma havasının ön ısıtılmasında kullanımı

### 3.4.2. Sadece Sıcak Su Eldesi

Baca gazları soğutulurken elde edilen enerjiyle daha düşük sıcaklıktaki suyun sıcaklığı artırılır. Sıcaklığı artırılan su, ihtiyaç görülen banyo, duş vb. gibi kısımlarda kullanılabilir. Bu yöntemde Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezi kazanlarından  $180^{\circ}\text{C}$ 'de çıkan baca gazları bir ekonomizere girerek  $10^{\circ}\text{C}$ 'deki şebeke suyunu  $60^{\circ}\text{C}$ 'ye

kadar ısıtmış olur. Isıtılan suyun konutlarda kullanılmasıyla enerji tasarrufu sağlanmış olur. Bu yöntemin sisteme kazandırdığı tasarruf ise ortalama %3,37 değerindedir. Aşağıda Şekil 3.4'te bu yöntemin şematik resmi verilmiştir.

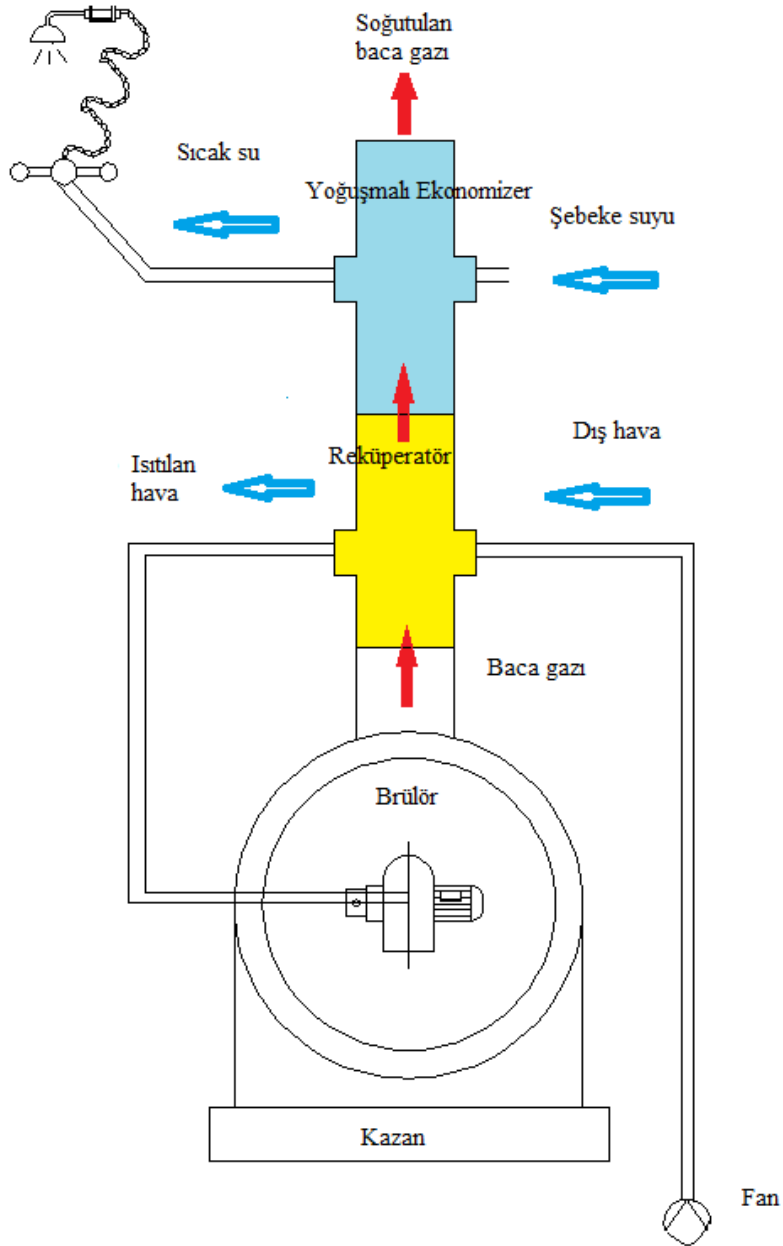


**Şekil 3.4.** Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin sıcak su eldesinde kullanımı

### 3.4.3. Yakma Havaısı Isıtılması ve Sıcak Su Eldesi

Bu yöntemde kazandan  $180^{\circ}\text{C}$ 'de çıkan baca gazları önce hava ön ısıtıcısına girer, burada yakma havaısı  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılır. Hava ön ısıtıcısında  $131,97\text{--}155,26^{\circ}\text{C}$ 'e civarına kadar soğutulan baca gazları, ekonomizere girerek sıcaklığı  $50^{\circ}\text{C}$ 'e kadar düşürülürken  $10^{\circ}\text{C}$ 'deki şebeke suyu da  $60^{\circ}\text{C}$ 'e kadar ısıtılmış olur. Bu yöntemde hem

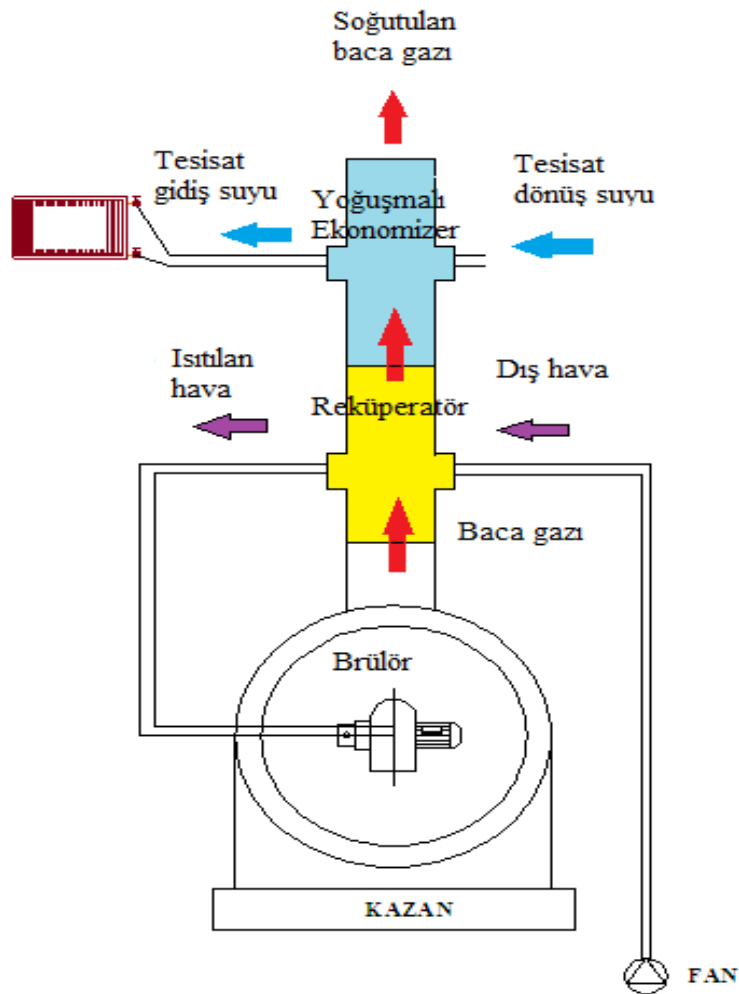
hava ön ısıtıcısında yakma havasının ısıtılması sonucu daha stabil bir yanma elde edilir dolayısıyla kazan verimi artar, yakıt tasarrufu elde edilir, hemde ekonomizerde elde edilen 60°C'lik sıcak suyla konutların sıcak su ihtiyacı karşılanmış olur. Bu yöntemin sistemde sağlayacağı tasarruf ise ortalama %3,37 civarındadır. Aşağıda Şekil 3.5'te bu yöntemin şematik resmi verilmiştir.



**Şekil 3.5.** Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin hem yakma havası ısıtılmasında hem de sıcak su eldesinde kullanımı

### 3.4.4. Yakma Havası Isıtılması ve Mahal Isıtma

Bu yöntemde ise  $180^{\circ}\text{C}$ 'de kazandan çıkan baca gazları önce hava ön ısıtıcısına sonra ekonomizere girer ve ekonomizerde elde edilen  $90^{\circ}\text{C}$ 'deki tesisat suyu ile mahal ısıtması yapılır. Hava ön ısıtıcısına giren dış hava  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılmış olur. Burada belli bir sıcaklığa kadar soğuyan baca gazları bu sefer ekonomizere girerek kalan enerjisini buradaki tesisat suyuna aktarır. Böylece mahal ısıtması ve yakma havası ısıtılması birlikte yapılmış olur. Bu yöntemin de sistemde sağlayacağı tasarruf ise ortalama %3,37 civarındadır. Aşağıda Şekil 3.6'da bu yöntemin şematik resmi verilmiştir.



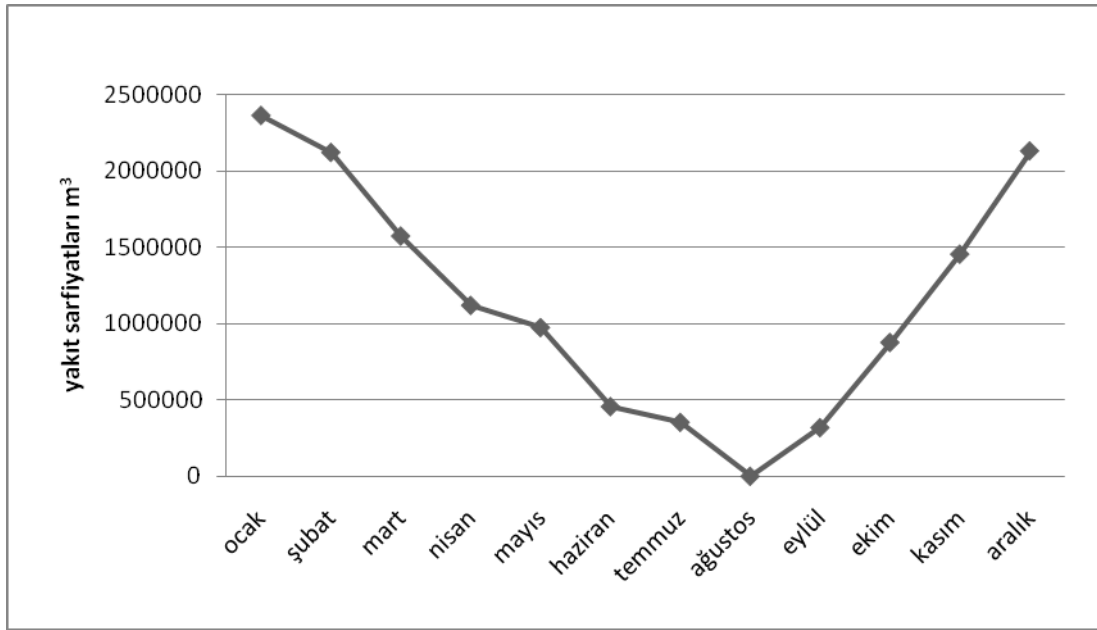
**Şekil 3.6.** Baca gazlarından geri kazanılan enerjinin hem yakma havası ısıtılmasında hem de mahal ısıtmada kullanımı



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada Atatürk Üniversitesi ısıtma sistemindeki kazan bacalarından enerji geri kazanımı ve kazanılan bu enerjinin kullanım potansiyeli araştırılmış, bu maksatla elde edilen veriler üzerinden yapılan hesaplamalarda matlab bilgisayar programı kullanılmıştır.

Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminde yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır. Isıtma sisteminin 2006, 2007 ve 2008 yıllarındaki günlük doğalgaz yakıt tüketim verilerinin ortalaması alındığında yıllık toplam yakıt tüketiminin, 12 276 151 m<sup>3</sup> olduğu hesaplanmıştır. Bu değerden yola çıkarak yapılan hesaplamalara göre saniyedeki yakıt tüketimi ise 0,395 m<sup>3</sup>'tür. Ayrıca Şekil 4.1'de 2007 yılında tüketilen aylık yakıt miktarları grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 4.1. Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 2007 yılındaki yakıt sarfiyatları(m<sup>3</sup>)

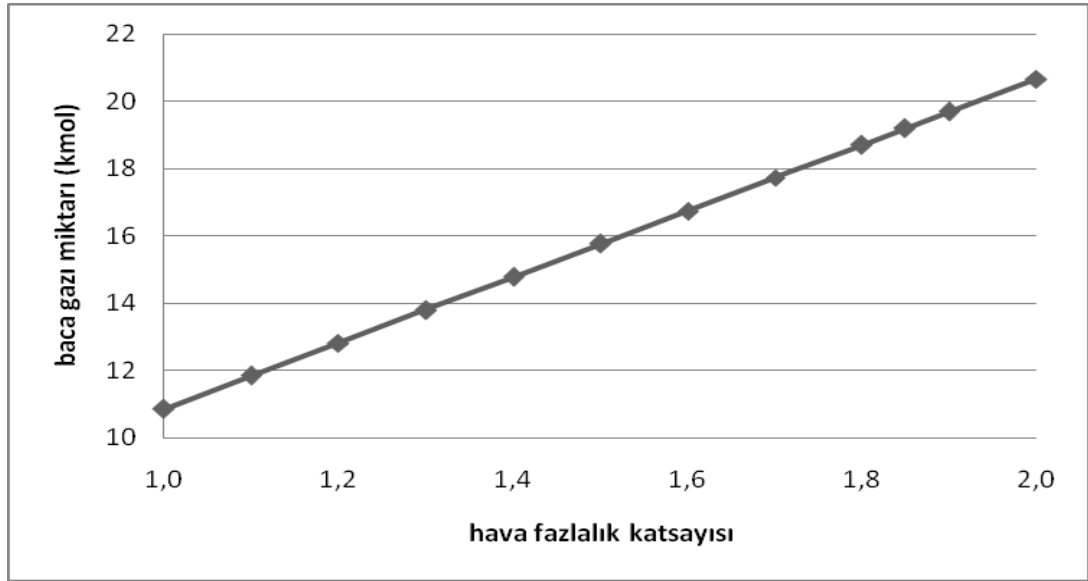
Hesaplamalarda kullanılan yakıtın kimyasal içeriği için PALEN A.Ş.'nin Erzurum'a gelen doğalgazda yaptığı ölçümler dikkate alınmış ve Çizelge 4.1'de ortalamaları gösterilmiştir. Alınan bu verilere göre doğalgazın kapalı formülü,  $C_{1,0548} H_{4,0456} N_{0,0464} O_{0,0088}$  olarak hesaplanmıştır.

Kapalı formülü oluşturulan yakıtın farklı hava fazlalık katsayılarındaki tam yanması sonucu oluşan baca gazı miktarları ve baca gazlarının mol oranları, baca sıcaklığına bağlı olarak molar özgül ısıları hesaplanmış, hava fazlalık katsayısıyla değişimini içeren grafikleri Şekil 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da gösterilmiştir.

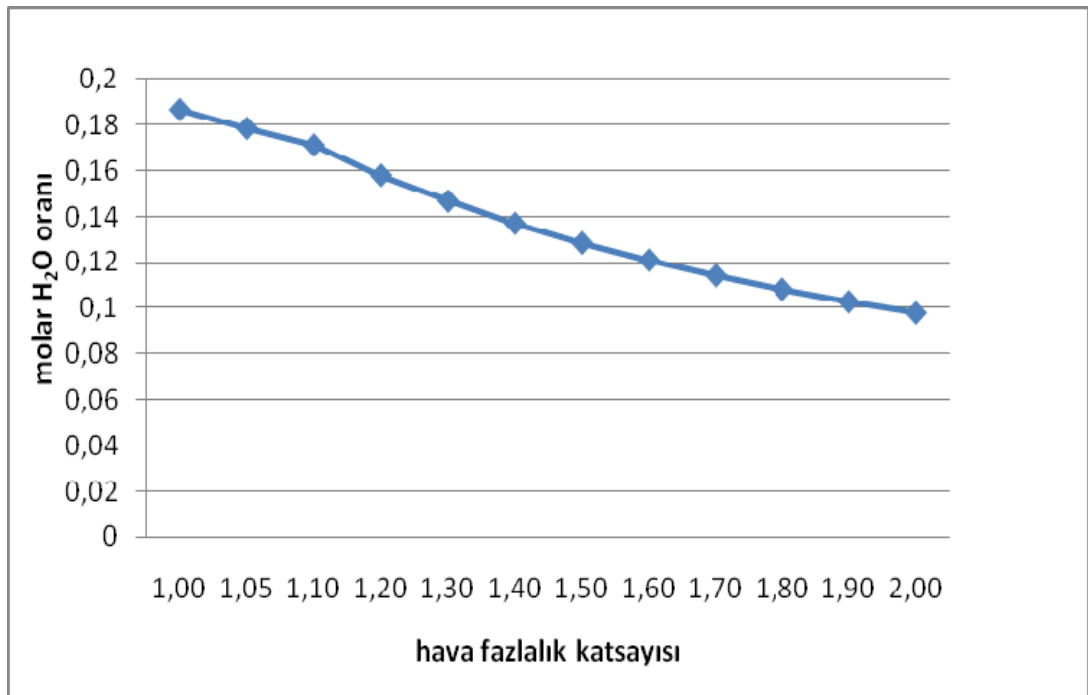
**Çizelge 4.1.** Erzurum'a gelen gazın kimyasal içeriği ve hacimsel yüzde değerleri

Çalışma Basıncı (bar)	65
Çalışma Sıcaklığı (°C)	15
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	0,7431
Metan(%)	92,08
Etan(%)	3,51
Propan(%)	0,97
İ Bütan(%)	0,19
N Bütan(%)	0,26
İ Pentan(%)	0,09
N Pentan(%)	0,06
Hekzan(%)	0,08
Nitrojen(%)	2,32
Karbondioksit(%)	0,44
Atmosferik basınç (bar)	0,8250

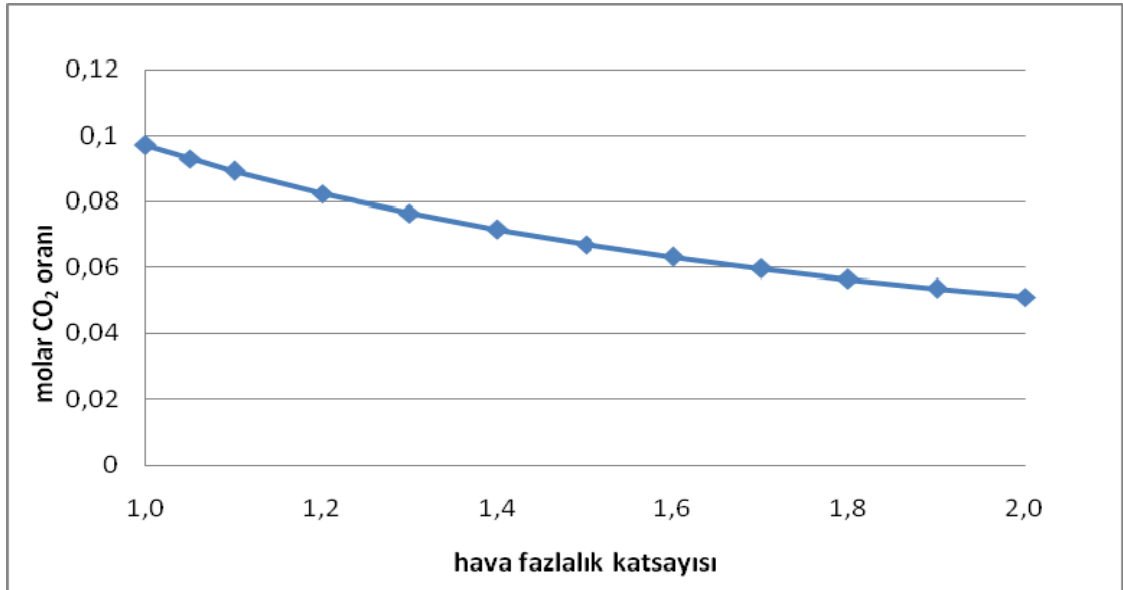
Aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi hava fazlalık katsayısıyla baca gazı miktarı, oksijen ve azot miktarları doğru orantılıyken, su buharı ve karbondioksit miktarları ters orantılı olarak değişmektedir.



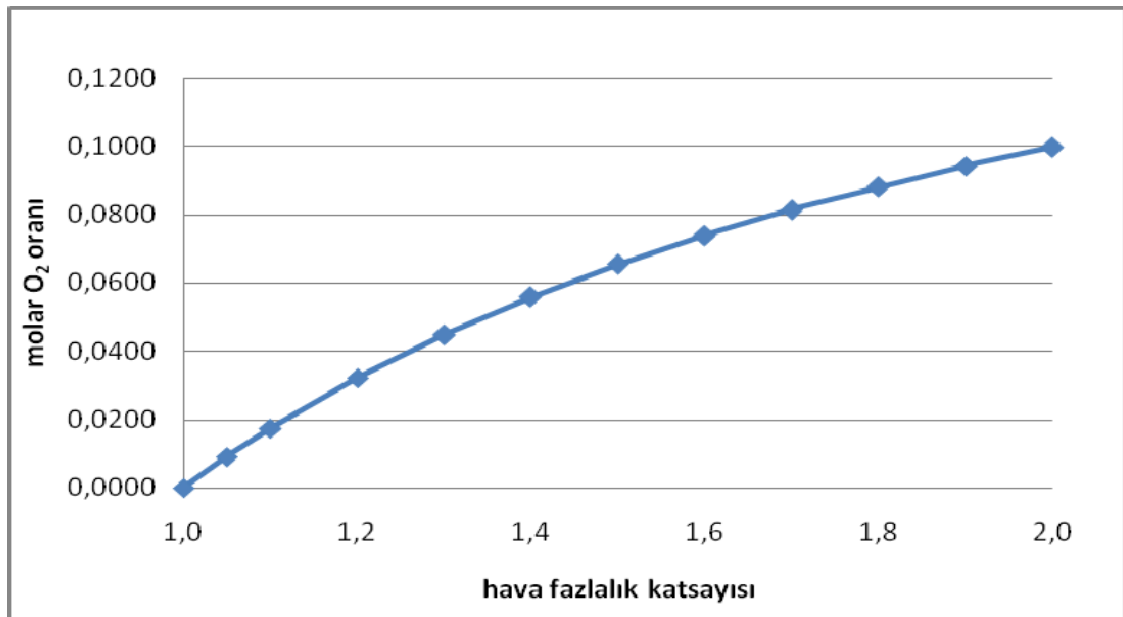
Şekil 4.2. Baca gazı miktarının hava fazlalık katsayısıyla değişimi



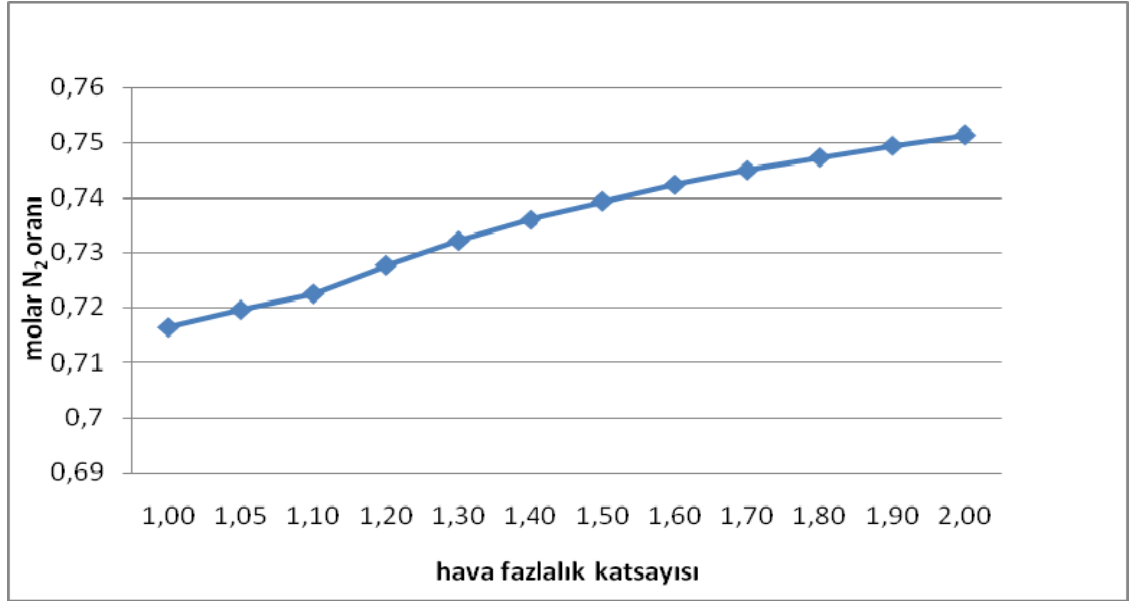
Şekil 4.3. Baca gazındaki suyun mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi



Şekil 4.4. Baca gazındaki karbondioksit mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi



Şekil 4.5. Baca gazındaki oksijen mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi



**Şekil 4.6.** Baca gazındaki azot mol oranının hava fazlalık katsayısıyla değişimi

Farklı baca gazı sıcaklık ( $T_{\text{baca}}$ ) ve farklı hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) değer aralıklarında baca gazı duyulur ve gizli ısı kayıpları hesaplanmış, elde edilen veriler Çizelge 4.2’de verilmiştir. Buradaki hesaplamalarda yakıt tüketimi ortalama değer olan  $0,395 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak alınmıştır. Çizelge 4.3 ve 4.4’te ise sırasıyla 2007 ve 2008 yılları aylık yakıt tüketim sarfiyatları dikkate alınarak baca kayıpları hesaplanmıştır. Doğalgazda yanmanın gerçekleşmesi için hava fazlalık katsayısının  $1,05-1,15$  arasında olması gerekliliği nedeniyle ve Atatürk Üniversitesi ısıtma sistemindeki kazan baca gazı sıcaklığı ise ortalama  $180-200^\circ\text{C}$  olduğu için bu değer aralıklarında çalışılmıştır.

**Çizelge 4.2.** Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin  $0,395 \text{ m}^3/\text{s}$  ortalama yakıt tüketimine göre baca kayıpları

$\lambda$	$T_{\text{baca}}$ °C	$E_{\text{bacaduyulur}}$ kJ/s	$E_{\text{bacaduyulur}}$ %	$E_{\text{bacagizli}}$ kJ/s	$E_{\text{bacagizli}}$ %	$E_{\text{bacatoplam}}$ %
1,05	180	478,5785	3,5134	693,1500	5,0886	8,6020
	190	508,4896	3,7330	693,1500	5,0886	8,8216
	200	538,4008	3,9526	693,1500	5,0886	9,0412
1,1	180	498,0937	3,6567	691,5022	5,0765	8,7332
	190	529,2245	3,8852	691,5022	5,0765	8,9617
	200	560,3554	4,1137	691,5022	5,0765	9,1902
1,15	180	517,6125	3,7999	689,9904	5,0654	8,8653
	190	549,6897	4,0374	689,9904	5,0654	9,1028
	200	582,3140	4,2749	689,9904	5,0654	9,3403

**Çizelge 4.3.** Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 2007 yılı aylık yakıt tüketimlerine göre baca kayıpları ( $\lambda=1,05$  ve  $T_{\text{baca}}=180^{\circ}\text{C}$ )

<b>2007</b>	<b>E<sub>baca</sub> duyulur Gj/ay</b>	<b>E<sub>baca</sub> duyulur %</b>	<b>E<sub>baca</sub> gizli Gj/ay</b>	<b>E<sub>baca</sub> gizli %</b>	<b>E<sub>baca</sub> toplam %</b>
Ocak	2 707,9	3,5134	3 922,1	5,0886	8,6020
Şubat	2 264,5	3,5134	3 278,6	5,0886	8,6020
Mart	2 135,6	3,5134	3 089,4	5,0886	8,6020
Nisan	1 774,9	3,5134	2 564,6	5,0886	8,6020
Mayıs	817,5	3,5134	1 179,5	5,0886	8,6020
Haziran	380,3	3,5134	547,7	5,0886	8,6020
Temmuz	357,8	3,5134	514,4	5,0886	8,6020
Ağustos	54,3	3,5134	77,9	5,0886	8,6020
Eylül	318,4	3,5134	455,7	5,0886	8,6020
Ekim	1 036,7	3,5134	1 480,1	5,0886	8,6020
Kasım	2 060,1	3,5134	2 933,9	5,0886	8,6020
Aralık	2 321,1	3,5134	3 297,0	5,0886	8,6020
<b>Toplam</b>	<b>16 229,7</b>	-	<b>23 341,5</b>	-	-

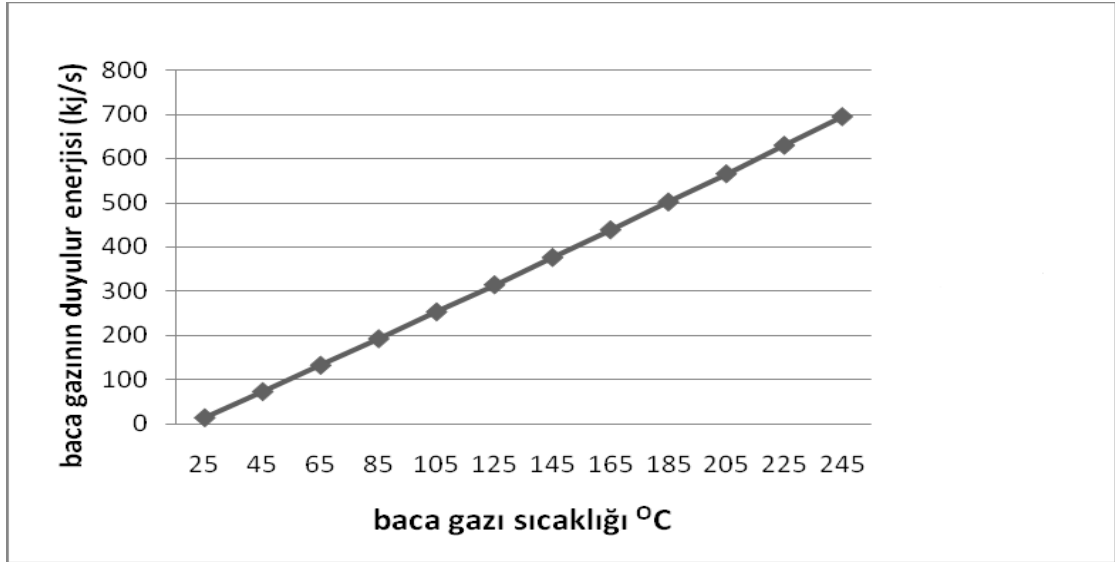
**Çizelge 4.4.** Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin 2008 yılı aylık yakıt tüketimlerine göre baca kayıpları ( $\lambda=1,05$  ve  $T_{baca}=180^{\circ}\text{C}$ )

<b>2008</b>	<b>E<sub>baca duyulur</sub> Gj/ay</b>	<b>E<sub>baca duyulur</sub> %</b>	<b>E<sub>baca gizli</sub> Gj/ay</b>	<b>E<sub>baca gizli</sub> %</b>	<b>E<sub>baca toplam</sub> %</b>
Ocak	2 864,3	3,5134	4 148,6	5,0886	8,6020
Şubat	2 572,0	3,5134	3 723,7	5,0886	8,6020
Mart	1 909,4	3,5134	2 762,1	5,0886	8,6020
Nisan	1 359,7	3,5134	1 964,6	5,0886	8,6020
Mayıs	1 184,7	3,5134	1 709,2	5,0886	8,6020
Haziran	556,1	3,5134	801,0	5,0886	8,6020
Temmuz	430,9	3,5134	619,4	5,0886	8,6020
Ağustos	0	0	0	0	0
Eylül	390,9	3,5134	559,5	5,0886	8,6020
Ekim	1 077,8	3,5134	1 538,9	5,0886	8,6020
Kasım	1 793,2	3,5134	2 553,9	5,0886	8,6020
Aralık	2 633,8	3,5134	3 741,2	5,0886	8,6020
<b>Toplam</b>	<b>16 773,3</b>	-	<b>24 122,6</b>		

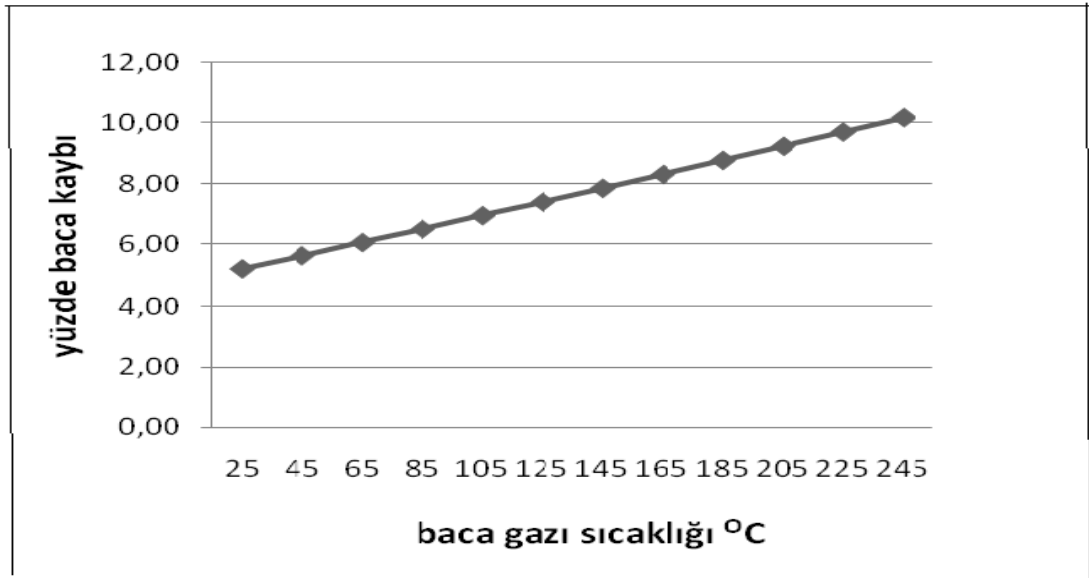
Çizelgelerde de görüldüğü gibi baca gazı kayıp enerjisi, baca gazı sıcaklığıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Artan baca gazı sıcaklığı ile duyulur baca gazı kayıp enerjisi artış gösterirken baca gazındaki su buharından kaynaklanan baca gazı gizli kayıp enerjisi, değişmemektedir. Çünkü bu baca gazı kaybı, baca gazındaki su buharı miktarıyla doğru orantılıdır. Çizelgelerde de görüldüğü gibi yüzde baca gazı gizli ısı kaybı, artan baca gazı sıcaklığına rağmen gittikçe azalmaktadır. Bunun sebebi hava fazlalık katsayısının artmasıdır. Hava fazlalık katsayısı, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi



baca gazındaki su buharı miktarıyla ters orantılıdır. Şekil 4.7, ve 4.8'de bu durumla ilgili grafikler verilmiştir.

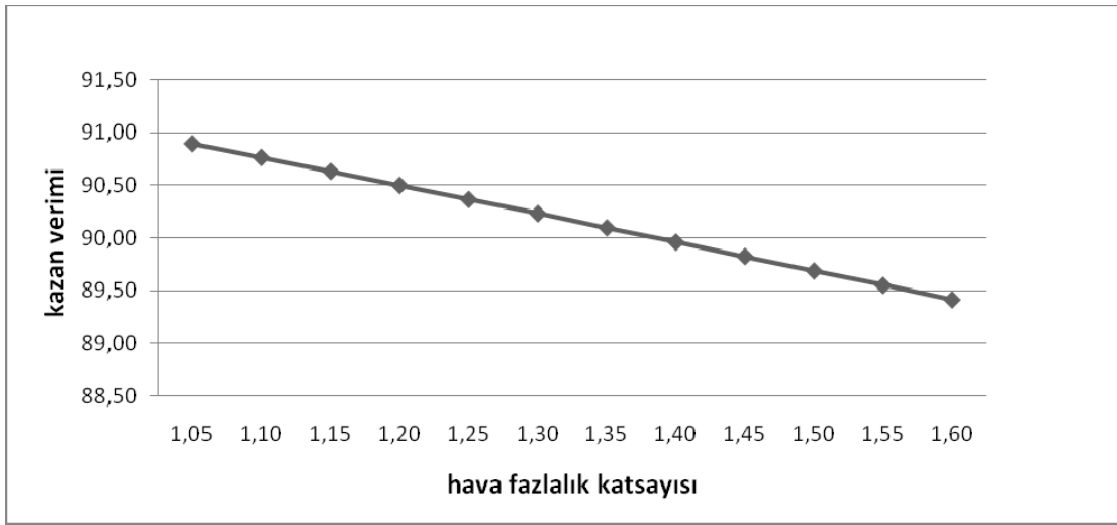


Şekil 4.7. Baca gazı duyulur enerjisinin baca gazı sıcaklığıyla değişimi



Şekil 4.8. Toplam yüzde baca kaybının baca gazı sıcaklığıyla değişimi ( $\lambda=1,05$ )

Kazan verimi ise baca gazı sıcaklığıyla ters orantılı olarak değişmektedir. Şöyle ki, baca gazı sıcaklığıyla beraber baca gazı ısı kayıpları artmakta, kayıpların artmasıyla kazandan elde edilen verim düşmektedir. Ayrıca hava fazlalık katsayısının artması, toplam baca gazı miktarını artırmakta ve buna bağlı olarak duyulur baca gazı ısı kaybındaki artış kazan verimini düşürmektedir. Aşağıda ilgili grafik, Şekil 4.9'da gösterilmektedir.



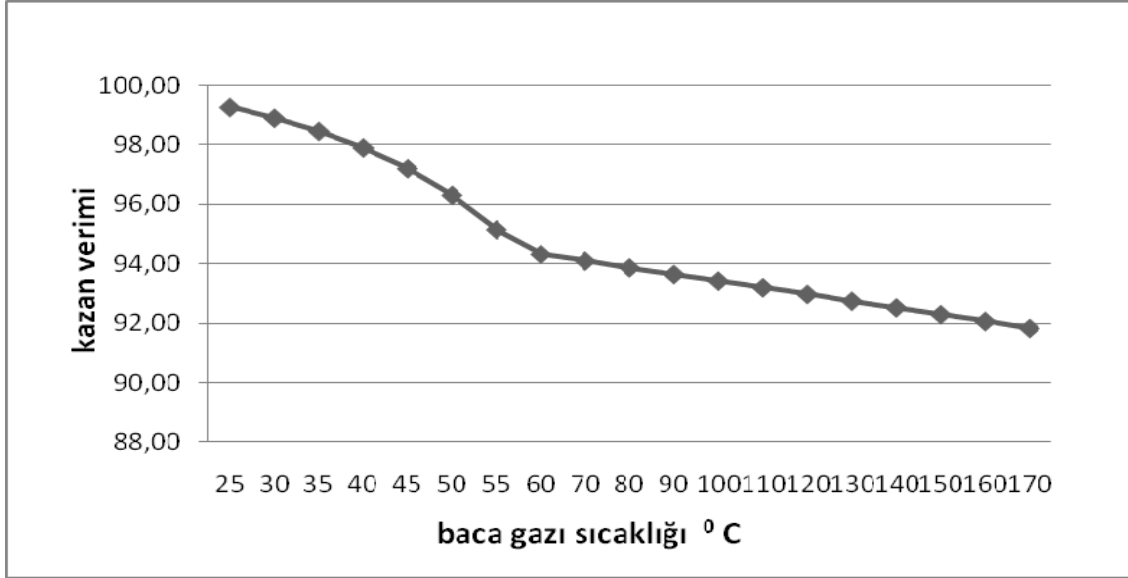
**Şekil 4.9.** Kazan veriminin hava fazlalık katsayısıyla değişimi ( $T_{\text{baca}}=180^{\circ}\text{C}$  için)

Yukarıda bahsedilen baca gazı kayıp ısıları, baca gazının soğutulmasıyla ve baca gazındaki su buharının yoğuşturulmasıyla büyük bir kısmı geri kazanılabilir. Baca gazındaki su buharının yoğuşması için çığlenme noktası sıcaklığının altına kadar soğutulması gerekir. Deniz seviyesinden yüksekliği 1859 m Erzurum'un atmosfer basıncı ise 80,90 kPa dır.  $\lambda=1,05-1,16$  arasında su buharının kısmi basıncı ise 14,43-13,17 kPa arasında değişmektedir. Bu basınca karşılık gelen Erzurum için çığlenme noktası sıcaklığı ise  $51-53^{\circ}\text{C}$  arasında değişmektedir.

Baca gazı çığlenme noktası üzerindeki bir sıcaklığa kadar soğutulduğunda yoğuşma başlamayacağı için geri kazanılan ısı, sadece duyulur baca gazı kayıp ısısının bir

kısımudur. Ancak baca gazı sıcaklığı, çığlenme noktası altına düşürüldüğü zaman duyulur baca gazı kayıp ısısı yanında baca gazının gizli kayıp ısısından da yararlanılmış olur.

Baca gazı çıkış sıcaklığı düştükçe geri kazanılan ısı artmakta ve geri kazanılan bu ısının sistemde kullanılmasıyla birlikte kazan verimi de artmaktadır. Hava fazlalık katsayısı 1,15 için yapılan hesaplamalar sonucunda baca gazındaki her 10°C'lik soğuma kazan verimini %0,16–0,19 değer aralıklarında artırır. Hesaplanan bu sonuçlara göre oluşturulan grafik Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



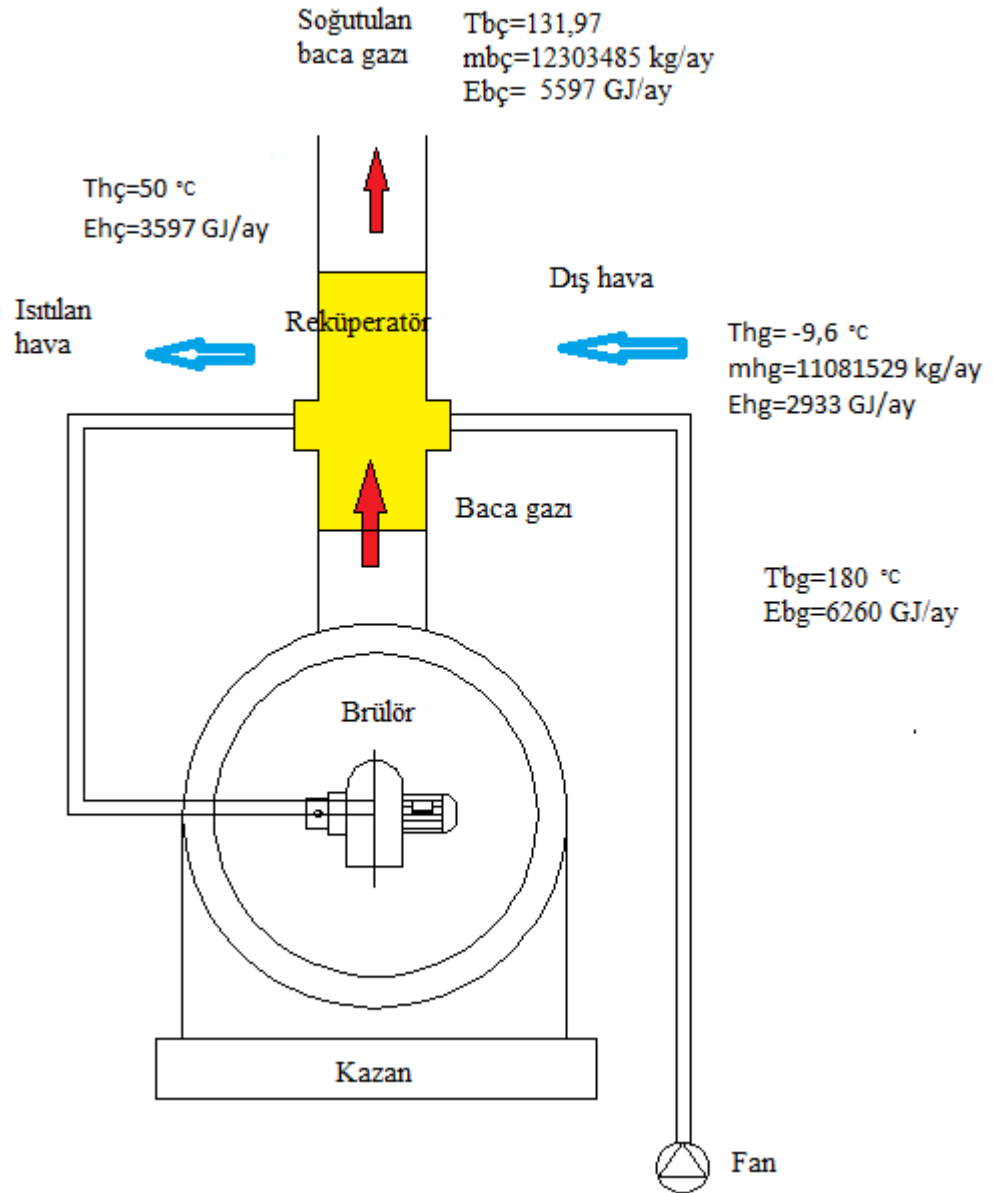
**Şekil 4.10.** Baca gazı çıkış sıcaklığının kazan verimine etkisi

Yukarıdaki grafikte görüldüğü gibi baca gazı sıcaklığı, çığlenme noktası sıcaklığına kadar düşürüldüğünde kazan verimi doğrusal bir şekilde artmaktadır. Hâlbuki çığlenme noktası sıcaklığının altındaki sıcaklıklara inildiğinde yoğuşmada etkili olduğundan kazan verimindeki artış doğrusallıktan sapmaktadır.

Atatürk Üniversitesi ısıtma sistemindeki baca kayıp ısısını geri kazanmak için yaptığımız bu çalışmada dört yöntem düşünülmüştür. Bunlar;

- Sadece yakma havasının ısıtılması,
  - Sadece sıcak su eldesi,
  - Hem yakma havası ısıtılması hemde sıcak su eldesi,
  - Hem yakma havası ısıtılması hemde mahal ısıtması,
- dır.

**Yöntem 1;** ısıtma sistemimizde kazandan  $180^{\circ}\text{C}$  sıcaklığında çıkan baca gazı, hava ön ısıtıcısına girer. Hava ön ısıtıcısında dış ortam havası, baca gazının enerjisiyle  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseltilir. Sıcaklığı artan hava kazana verilir. Bunun sonucunda kazan verimi artar ve yakıt tasarrufu sağlanır. Daha iyi bir yanma sağlanmış olur. Baca gazı sıcaklığı ise  $180^{\circ}\text{C}$ 'den  $131,97-155,26^{\circ}\text{C}$ 'ye düşmüş olur. Ocak ayı ortalama verileri kullanılarak  $\lambda=1,15$  için hesaplanmış kütle ve enerji balansları Şekil 4.11'de ve aşağıda Çizelge 4.5'te de kazana giren havanın  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılması için baca gazından çekilmesi gereken enerji ve sağladığı verim artış oranları verilmiştir.

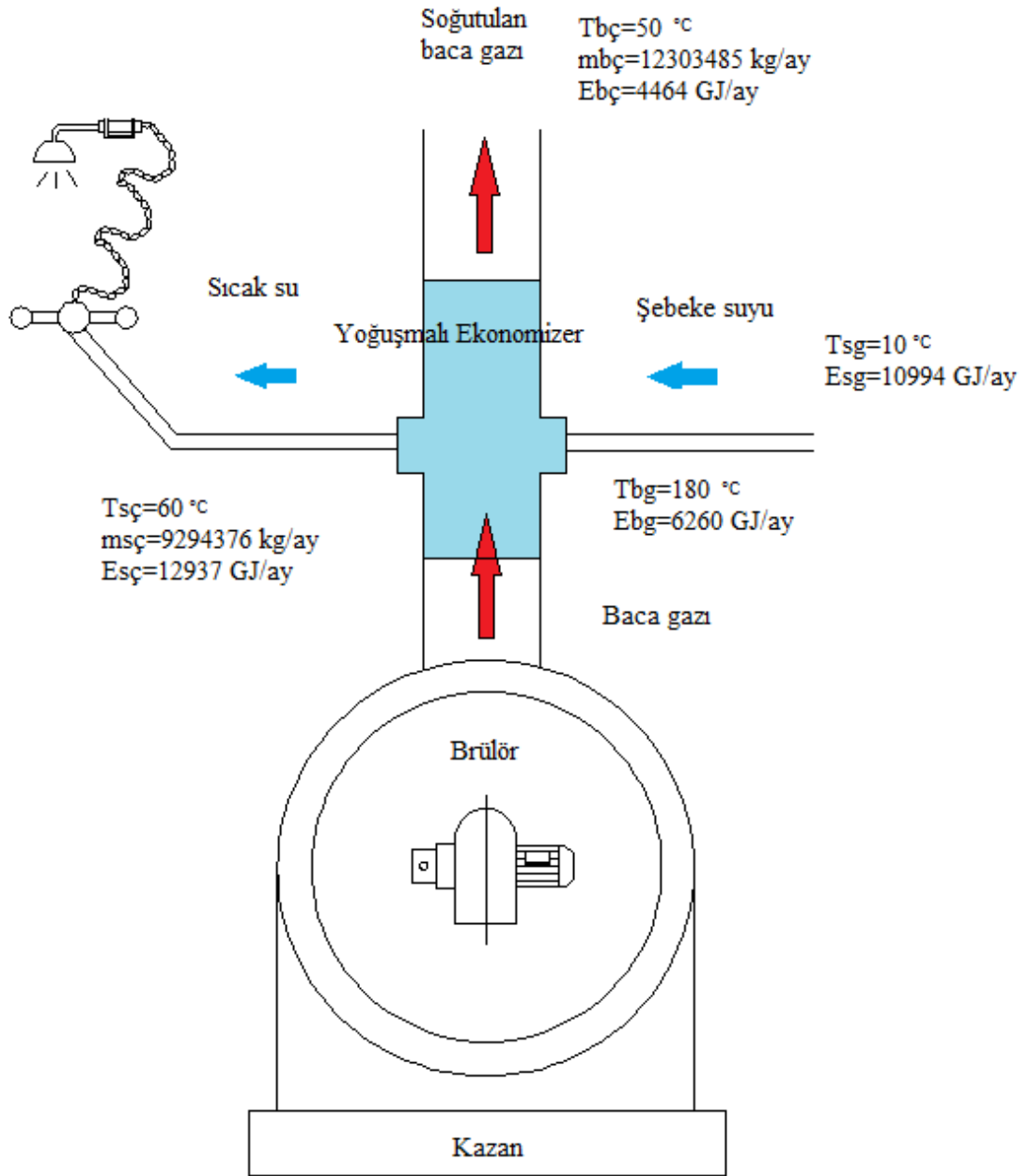


**Şekil 4.11.** 1.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve  $\lambda=1,15$  için hesaplanan enerji ve kütle denklikleri

**Çizelge 4.5.** Kazan yakma havasının 50°C'ye yükseltilmesi için baca gazından çekilmesi gereken enerji ve verim artışı

	Baca gazı çıkış sıcaklığı °C	Dış hava giriş sıcaklığı °C	Baca gazından çekilen enerji Gj/ay	% verim artışı
<b>Ocak</b>	131,97	-9,60	663,7	1,14
<b>Şubat</b>	132,78	-8,60	560,4	1,12
<b>Mart</b>	137,37	-2,90	561,0	1,01
<b>Nisan</b>	144,06	5,40	367,8	0,85
<b>Mayıs</b>	148,01	10,30	214,3	0,76
<b>Haziran</b>	151,64	14,80	83,3	0,67
<b>Temmuz</b>	155,26	19,30	62,7	0,58
<b>Ağustos</b>	155,26	19,30	5,2	0,58
<b>Eylül</b>	151,23	14,30	72,9	0,68
<b>Ekim</b>	145,75	7,50	252,2	0,81
<b>Kasım</b>	139,87	0,20	509,1	0,95
<b>Aralık</b>	134,55	-6,40	748,8	1,079

**Yöntem 2;** bu yöntemde kazandan çıkan 180°C'deki baca gazları ekonomizere girer. Burada baca gazları 50°C'ye kadar soğutulurken 10°C'deki şebeke suyu sıcaklığı da 60°C'ye kadar ısıtılır. Buradan elde edilen sıcak su konutlardaki duş, lavabo ve banyodaki sıcak su ihtiyacını karşılamış olur. Burada ekonomizer kullanımıyla sıcak su eldesi yapılmıyadı konutların sıcak su ihtiyacı sistem tarafından sağlandığı için bu yöntemle birlikte sistemde sağlanan verim artışı ortalama %3,37 civarındadır. Elde edilen sıcak su ile ortalama olarak 3 apartmanın sıcak su ihtiyacı karşılanmış olur. Her apartmanın 20 daireden oluştuğu varsayılmıştır. Ocak ayı ortalama verileri kullanılarak  $\lambda=1,15$  için hesaplanmış kütle ve enerji balansları Şekil 4.12'de ve aşağıda Çizelge 4.6'da da baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiden 60°C'de sıcak suyun elde edilmesine ait sonuçlar verilmiştir.



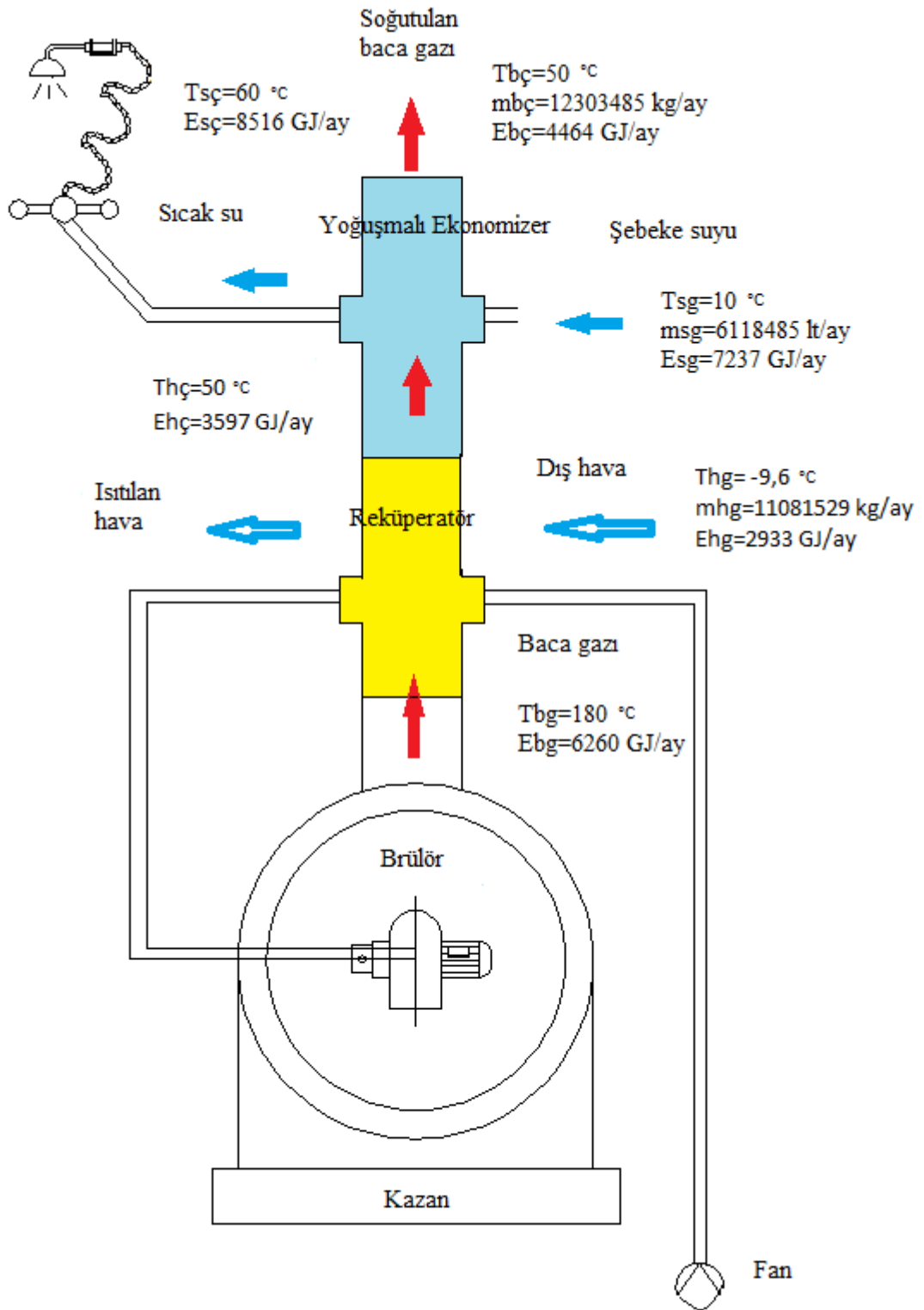
**Şekil 4.12.** 2.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve  $\lambda=1,15$  için hesaplanan enerji ve kütle denklikleri

**Çizelge 4.6.** Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle sıcak su elde edilmesi

	Baca gazından çekilen enerji Gj/ay	Elde edilen sıcak su debisi lt/ay	Elde edilen yakıt tasarrufu m <sup>3</sup> /ay
<b>Ocak</b>	1 942	9 294 376,97	56 877,71
<b>Şubat</b>	1 669	7 989 235,48	48 841,98
<b>Mart</b>	1 807	8 647 252,77	54 163,50
<b>Nisan</b>	1 404	6 721 858,71	42 118,03
<b>Mayıs</b>	918	4 392 812,2	27 578,10
<b>Haziran</b>	404	1 935 613,57	12 094,72
<b>Temmuz</b>	348	1 667 997,1	10 443,88
<b>Ağustos</b>	28	137 605,93	873,31
<b>Eylül</b>	345	1 653 264,14	10 433,28
<b>Ekim</b>	1 005	4 810 416,93	30 308,37
<b>Kasım</b>	1 738	8 319 758,69	52 219,06
<b>Aralık</b>	2 255	10 794 158,9	67 811,12

**Yöntem 3;** bu yöntemde 180°C'deki baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjinin bir kısmıyla yakma havasının 50°C'ye ısıtılması geri kalan enerjiyle de 10°C'deki şebeke suyunun 60°C'ye kadar ısıtılması düşünülmüştür. Bunun için kazandan çıkan baca gazları önce hava ısıtıcısına sonra da ekonomizere girmektedir. Bu yöntemle hem kazan yakma havasının ısıtılmasıyla kazan verimi artırılmış, daha iyi bir yanma sağlanmış ve sıcak su eldesiyle birlikte tasarruf sağlanmış olacaktır. Sistemde sağlanan verim artışı aylık olarak değişmekle birlikte hava ısıtıcısındaki ortalama %0,86 iken toplam verim ortalama %3,37 civarında olup elde edilen sıcak su ortalama olarak her biri 20 daireden oluşan 2 apartmanın ihtiyacını karşılamaktadır. Ocak ayı ortalama verileri kullanılarak  $\lambda=1,15$  için hesaplanmış kütle ve enerji balansları Şekil 4.13'de ve aşağıda Çizelge 4.7'de de baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiden yakma havasının 50°C'ye ısıtılması ve 60°C'de sıcak suyun elde edilmesine ait sonuçlar verilmiştir.





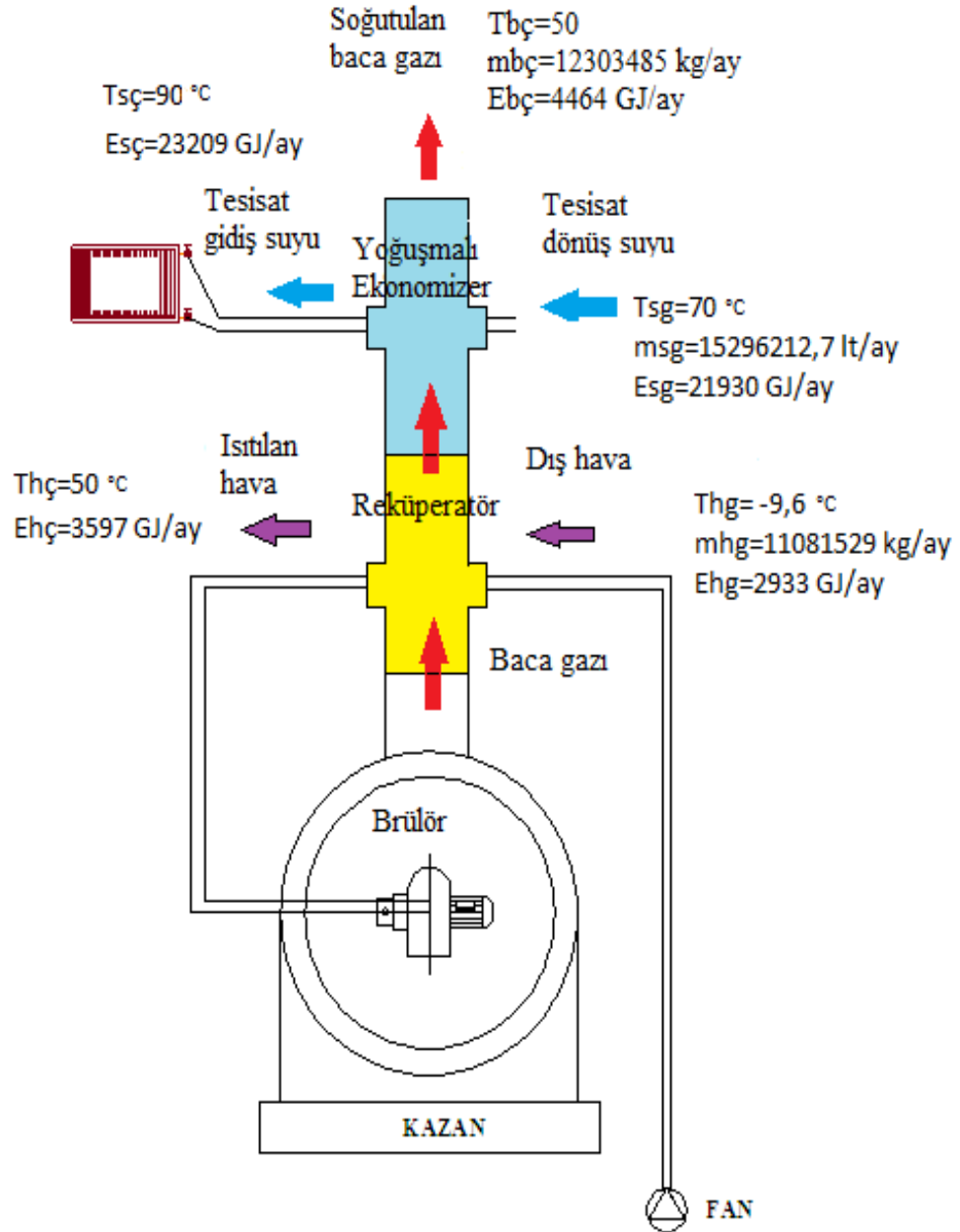
**Şekil 4.13.** 3.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve  $\lambda=1,15$  için hesaplanan enerji ve kütle denklilikleri

**Çizelge 4.7.** Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle hem yakma havası ısıtılması hem de sıcak su elde edilmesi

	<b>Baca gazından çekilen enerji Gj/ay</b>	<b>Elde edilen sıcak su debisi lt/ay</b>	<b>Elde edilen yakıt tasarrufu m<sup>3</sup>/ay</b>
<b>Ocak</b>	1 942	6 118 485	37 629,88
<b>Şubat</b>	1 669	5 307 795	32 590,82
<b>Mart</b>	1 807	5 962 899	37 894,69
<b>Nisan</b>	1 404	4 961 990	31 452,16
<b>Mayıs</b>	918	3 367 084	21 361,57
<b>Haziran</b>	404	1 536 758	9 677,417
<b>Temmuz</b>	348	1 367 612	8 623,371
<b>Ağustos</b>	28	112 488	721,0794
<b>Eylül</b>	345	1 304 312	8 318,414
<b>Ekim</b>	1 005	3 603 635	22 994,54
<b>Kasım</b>	1 738	5 883 431	37 453,44
<b>Aralık</b>	2 255	7 211 072	46 095,44

**Yöntem 4;** bu yöntemde ise 180°C'deki baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjinin bir kısmıyla yakma havasının 50°C'ye ısıtılması geri kalan enerjiyle de mahal ısıtılması düşünülmüştür. Yine yöntem 3'te olduğu gibi kazan baca gazları önce hava ısıtıcısına sonra da ekonomizere girmektedir. Hava ısıtıcısından sonra 131,97-155,26°C'ye düşen baca gazları ekonomizere girerek 70°C'deki tesisat dönüş suyunu 90°C'ye yükseltirler. Bu yöntemle hava ısıtıcısında sağlanan tasarruf ortalama %0,86 iken ekonomizerde sağlanan tasarruf ise ortalama %2,41 değerindedir. Ayrıca ekonomizerde baca gazlarının 50°C'ye kadar soğutulmasıyla birlikte elde edilen enerjiden aylık değerleri değişmekle birlikte ortalama olarak 100 m<sup>2</sup>'lik 13 dairenin ısıtma ihtiyacı karşılanabilir. Ocak ayı ortalama verileri kullanılarak  $\lambda=1,15$  için hesaplanmış kütle ve enerji balansları Şekil 4.14'te verilmiştir.

Aşağıda Çizelge 4.8'de de baca gazlarının  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiden yakma havasının  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye ısıtılması ve geri kalan enerjiden mahal ısıtmasında faydalanılmasına ait sonuçlar verilmiştir.



**Şekil 4.14.** 4.Yöntemin ocak ayı ortalama verileri ve  $\lambda=1,15$  için hesaplanan enerji ve kütle denklikleri

**Çizelge 4.8.** Baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjiyle hem yakma havası ısıtılması hem de mahal ısıtma

	<b>Baca gazından çekilen enerji Gj/ay</b>	<b>Hava ısıtıcısında sağlanan % verim artışı</b>	<b>Ekonomizerde sağlanan % verim artışı</b>	<b>100 m<sup>2</sup>, lik daire adedi</b>
<b>Ocak</b>	1 942	1,14	2,23	20
<b>Şubat</b>	1 669	1,12	2,25	17
<b>Mart</b>	1 807	1,01	2,36	19
<b>Nisan</b>	1 404	0,85	2,52	16
<b>Mayıs</b>	918	0,76	2,61	11
<b>Haziran</b>	404	0,67	2,70	5
<b>Temmuz</b>	348	0,59	2,78	4
<b>Ağustos</b>	28	0,59	2,78	0
<b>Eylül</b>	345	0,68	2,69	4
<b>Ekim</b>	1 005	0,81	2,56	12
<b>Kasım</b>	1 738	0,95	2,42	19
<b>Aralık</b>	2 255	1,08	2,29	23

Aşağıda Çizelge 4.9'da her bir yönteme ait veriler ve sonuçlar bir kısmı gösterilmiştir. Ekonomizer ve hava ısıtıcısındaki yakıt tasarruf değerleri ile sıcaklık, enerji ve kütle değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.9. Önerilen yöntemlere ait veriler ve hesaplanan sonuçların bir kısmı

		1.Yöntem	2.Yöntem	3.Yöntem	4.Yöntem
<b>Ekonomizer</b>	$T_{su\ giriş} (^{\circ}C)$		10	10	70
	$T_{su\ çıkış} (^{\circ}C)$		60	60	90
	$m_{su\ giriş} (lt/ay)$		9 294 376	6 118 485	15 296 212
	$m_{su\ çıkış} (lt/ay)$		9 294 376	6 118 485	15 296 212
	$E_{su\ giriş} (GJ/ay)$		503	7 237	21 930
	$E_{su\ çıkış} (GJ/ay)$		12 937	8 516	23 209
	<b>Yakıt tasarrufu (%)</b>		3,37	2,23	2,23
	<b>Yakıt tasarrufu (<math>m^3/yıl</math>)</b>		413 763,07	294 812,8	294 812,8
<b>Hava ısıtıcısı</b>	$T_{hava\ giriş} (^{\circ}C)$	-9,6		-9,6	-9,6
	$T_{hava\ çıkış} (^{\circ}C)$	50		50	50
	$m_{hava\ giriş} (lt/ay)$	11 081 529		1 108 1529	11 081 529
	$m_{hava\ çıkış} (lt/ay)$	11 081 529		1 108 1529	11 081 529
	$E_{hava\ giriş} (GJ/ay)$	2 933		2 933	2 933
	$E_{hava\ çıkış} (GJ/ay)$	3 597		3 597	3 597
	<b>Yakıt tasarrufu (%)</b>	1,14		1,14	1,14
	<b>Yakıt tasarrufu (<math>m^3/yıl</math>)</b>	139 948,12		139 948,12	139 948,12
<b>Hava fazlalık katsayısı (<math>\lambda</math>)</b>	1,15	1,15	1,15	1,15	
$T_{baca} (^{\circ}C)$	180	180	180	180	
$T_{baca\ çıkış} (^{\circ}C)$	131,97	50	50	50	
$m_{baca} (lt/ay)$	12 303 485	12 303 485	12 303 485	12 303 485	
$m_{baca\ çıkış} (lt/ay)$	12 303 485	12 303 485	12 303 485	12 303 485	
$E_{baca} (GJ/ay)$	6 260	6 260	6 260	6 260	
$E_{baca\ çıkış} (GJ/ay)$	5 597	4 464	4 464	4 464	
<b>Toplam yakıt tasarrufu (%)</b>	1,14	3,37	3,37	3,37	
<b>Toplam yakıt tasarrufu (<math>m^3/yıl</math>)</b>	139 948,12	413 763,07	413 763,07	413 763,07	

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Atatürk Üniversitesi Isıtma Sistemindeki kazanlardan 180°C’de çıkan baca gazlarının enerjisinin geri kazanımıyla ilgili olan çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Atatürk Üniversitesi ısıtma sisteminin yıllık yakıt tüketimi ortalama 12 276 151 m<sup>3</sup>/yıl civarındadır. Bunun parasal değeri ise yıllık 5 774 223,81 TL’dir.
- Sistemdeki kazan bacalarında ısı kaybı  $\lambda=1,15$  için, %8,87’dir. Kazan bacalarından atmosfere atılan ısı miktarı ise yıllık ortalama 37 530 923 564,58 kJ/yıl’dır.
- Kazandan 180°C’de çıkan baca gazlarının 50°C’ye kadar soğutulmasıyla baca gazından geri kazanılan ısı miktarı ise 13 870 149 443 kJ/yıl’dır. Bu da kayıp enerjinin %37’si civarındadır. Tasarrufun parasal değeri ise yıllık ortalama 189 504,25 TL’dir.
- Kazandan 180°C’de çıkan baca gazlarının 50°C’ye kadar soğutulması kazan verimini %90,63’ten ortalama %93,90’a yükseltir.
- Kazandan çıkan baca gazlarının soğutulmasıyla geri kazanılan enerjiden yararlanmak için dört farklı yöntem düşünülmüştür.

✓ 1. Yöntemle kazandan 180°C’de çıkan baca gazlarının enerjisinden faydalanılarak dış hava sıcaklığında kazana giren yakma havası 50°C’ye yükseltilerek daha iyi ve hızlı bir yanmanın sağlanabileceği, kazan verimi ve yakıttan %0,59-1,14 arasında tasarruf elde edilebileceği hesaplanmıştır.

✓ 2.Yöntemde yine kazandan çıkan baca gazlarının enerjisi kullanılarak 10°C’deki şebeke suyunun sıcaklığı 60°C’ye yükseltilmiştir. Isıtılan su kampus içerisindeki konutlardaki sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanımı düşünüldüğünde sağlayacağı tasarruf ise %3,37 civarındadır. Elde edilen sıcak su ile ortalama yıllık 413 763,07 m<sup>3</sup> yakıt tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır.

✓ 3.Yöntemde bu sefer kazandan çıkan baca gazlarının 50°C’ye soğutulmasıyla elde edilen enerjinin bir kısmı yakma havasının 50°C’ye yükseltilmesi için kalan kısmı da 10°C’deki şebeke suyunun sıcaklığının 60°C’ye yükseltilmesi için harcanmıştır. Bu

durumda ise elde edilen sıcak su ile ortalama yıllık 294 812,8 m<sup>3</sup> yakıt tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır.

✓ 4.Yöntemde ise baca gazlarının 50°C'ye soğutulmasıyla elde edilen enerjinin bir kısmı yakma havasının 50°C'ye yükseltilmesi için kalan kısmı da mahal ısıtmasında kullanılabilceği düşünölmüş, bu durumda ise yine kampus içerisindeki ortalama 100 m<sup>2</sup>'lik 13 dairenin ısınma ihtiyacı karşılanabileceği hesaplanmıştır.

- Yukarıdaki yöntemler için sistemin tümüne ekonomik analiz yapılması önerilmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Akdeniz, N., İlhan C.D., Üçgül İ., Acar M. ve Bayhan M., 2007. Doğal gazlı kojenerasyon sisteminin termodinamik analizi ve Süleyman Demirel Üniversitesi örneği. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Alkan, A., Sayın C. ve Kılıçaslan İ., 2006. Yakma havası ön ısıtılmasının kazan verimine etkisi. 9.Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale.
- Alkhamis, T.M., Alhusein M.A. ve Kablan M.M., 1998. Utilization of waste heat from the kitchen furnace of an enclosed campus. *Energy Conversion and Management*, 10, 1113-1119.
- Angın, B., 2007. Cam Sanayinde Geleneksel Yakıtlar Yerine Doğal Gaz Kullanımının Enerji Ekonomisi Açısından İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Aras, H., 1991. Doğal Gaz Yakan Sistemlerde Baca Gazından Isı Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Arısoy, A., 2001. Duman gazlarından ısı geri kazanımı. *Tesisat Mühendisliği*, 64, 58-61.
- Asiltürk, İ., 1991. Katı Yakıt Ocaklarında (soba) Isıl Verim Ve Emisyon Davranışının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Aydın, Ö. ve Böke Y.E., 2006. Doğal gaz yakıtlı bir yakma sisteminde karbonmonoksit emisyonunun azaltılması üzerine deneysel bir çalışma. 9.Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale.
- Bilgiç, M., 1994. Doğal gaz yakan kazanlarda kayıplar ve kazan verimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 17, 21-22.
- Bilgin, A., 2006. Kazanlarda baca gazı analizlerinin değerlendirilmesi, iç soğuma kayıplarının irdelenmesi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 95, 13-18.
- Börekçiöğlü, S.S., 2009. Doğalgaz ve altyapı. TBMOB İzmir Kent Sempozyumu, İzmir.
- Bujak, J., 2008. Mathematical modelling of a steam boiler room to research thermal efficiency. *Energy*, 33, 1779-1787.
- Bujak, J., 2009. Optimal control of energy losses in multi- boiler steam systems. *Energy*, 34, 126000-1270.
- Butcher, T.A. and Litzke W., 1994. *Condensing Economizers For Small Coal- Fired Boilers And Furnaces*, New York.
- Cengizalp, B., 2007. Sıcak Sulu Çelik Kalorifer Kazan Projesi. Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Çayırılı, M., 2006. Yanma Olayının Modellenmesi Ve Görüntü İşleme Yoluyla Yanma Performansının Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çengel, Y.A. and Boles M.A., 2006. *Thermodynamics An Engineering Approach*. McGraw- Hill, 963 s, USA.
- Çomaklı, K., 2003. Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji Ve Ekserji Analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çomaklı, K., Yüksel B. ve Bakırcı K., 2006. Bölgesel ısıtma sistemleri boru hatlarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 91, 33-38.



- Çomaklı, K., Yüksel B., Şahin B. ve Karagöz Ş., 2006. Kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıpları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 92, 12-16.
- Çomaklı, K., ve Yüksel B., 2006. Kazanlarda tersinmezlik analizi. 9. Uluslararası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale.
- Çomaklı, K. ve Efe Ş., 2008. Doğalgaz yakıtlı merkezi ve bireysel ısıtma sistemlerinin karşılaştırılması. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 106, 13-18.
- Çomaklı, K., 2008. Economic and environmental comparison of the natural gas fired conventional and condensing combi- boilers. Journey of the Energy Institute, 18, 242-246.
- Dalkılıç, A.S., Alpay N. ve Demir H., 2008. Bir fırına ait bacadan ısı değiştirici yardımıyla atık ısı geri kazanımı. Tesisat Mühendisliği Dergisi, 108, 5-11.
- Demir Makine, 2009. Ekonomizerler. İstanbul, [http://www.demirmakina.com/DEMİR % 20 MAKİNA Ekonomizerler. htm](http://www.demirmakina.com/DEMİR%20MAKİNAEkonomizerler.htm) (24.12.2009)
- Durkin, T.H., 2006. Boiler system efficiency. Ashrae Journal, 48, 51-57.
- Dursun, M.E., 2007. Binalarda Doğalgaz Isıtma Sistemleri. Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Eere, 2004. Waste heat reduction and recovery for improving furnace efficiency, productivity and emissions performance. Washington, <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/pdfs/35876.pdf> (07.10.2009).
- Ertem, G., Çelik B. ve Yeşilyurt S., 2008. Endüstriyel tav fırınlarında ısı dengeliği hesaplamaları ve enerji verimliliğinin belirlenmesi. IV. Ege Enerji Sempozyumu, İzmir.
- Genceli, O., 1992. Enerji ekonomisi. İstanbul, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/11041.pdf> (01.10.2009)
- Gibbs, B.M., 1987. Boiler fuel savings by heat recovery and reduced standby losses. Heat Recovery Systems and CHP, 7, 151-157.
- Isısan, 2000. Isıtma Sistemleri. Isısan Çalışmaları No:265, 568 s, İstanbul.
- İlbaş, M. ve Yılmaz İ., 2002. Farklı ısıl güçlerdeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18, 18-27.
- Kadırgan, N., 1991. Doğal gazın fiziksel özellikleri, yanması, yanma ürünleri ve hava kirliliği. İstanbul, <http://arsiv.mmo.org.tr/pdf/10971.pdf> (02.10.2009).
- Kavaklı, M. ve Özbay İ., 2006. Yanma olayının çevre ortamına etkilerinin incelenmesi. 9. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale.
- Keleşer, S., Say S.S. ve Akgüngör A.A., 2008. Doğalgaz dönüşümünde yanma ve baca uyumu. VIII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul.
- Kolev, D. ve Kolev N., 2002. Performance characteristics of the a new type of lamellar heat exchanger for the utilization of flue gas heat. Applied Thermal Engineering, 22, 1919-1930.
- Olgun, B., Batur B., Batur H., Tüter H. ve Heperkan H., 2007. Bir gıda işletmesinde fonksiyon kalite kontrol uygulaması. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.
- Özdabak, A., 2008. Sanayide enerjinin verimli kullanılması. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul.
- Özgür, N., 2008. Enerji Verimliliği Ve Suyun Verimli Kullanılması, Ankara.

- Pena, F. and Blanco J.M., 2007. Evaluation of the physical dew point in the economizer of a combined cycle burning natural gas. *Applied Thermal Engineering*, 27, 2153-2158.
- Selbaş, R., 1992. Atık Isı Enerjisinden Yararlanma Yöntemleri Ve Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Sinanoğlu, U., Esen D.Ö. ve Karakaş E., 1996. Enerji ekonomisi açısından geri kazanım sistemleri. TMMOB 1. Enerji Sempozyumu, Ankara.
- Şanlı, A., Sayın C. ve Kılıçaslan İ., 2006. Buhar kazanlarında değişken hızlı sürücü (DHS) uygulanmasının verime etkisi. 9. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale.
- Terzi, S.O. ve Arcaklıoğlu E., 2006. Sanayide enerji geri kazanımı ve AKG Yalıtım A.Ş. örneği. 9. Uluslar arası Yanma Sempozyumu, Kırıkkale.
- Thermgard, 2009. Flue gas heat recovery and draft control. Australia, [http: www.thermgard. com. au /index. php?pageid=2292](http://www.thermgard.com.au/index.php?pageid=2292) (22.09.2009)
- Toklu, E., Kılıçaslan İ., Yiğit K.S. ve Korkmaz Y., 1995. Tesisatlarda ekonomizer ve hava ön ısıtıcılarının seçimi. II. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Kocaeli.
- Tunç, S., 2007. Isıtma Sisteminin Doğal Gaza Dönüştürülmesi. Bitirme Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir.
- Ünlü, C., 2008. Buharlı sistemlerde enerji geri kazanımı. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 108, 53-63.
- Varol, Y., 1991. Rejeneratif Isı Değiştirgeçleri Yardımıyla Enerji Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Willems D., 2006. Advanced system controls and energy savings for industrial boilers. *Transactions of the Citrus Engineering Conference*, 52, 11-22.
- Yakut, A. K., 2009. Enerji ekonomisi. Ankara, [http: // websitem. gazi. edu. tr/ ramazan. ayan/ Dosyaindir? DosyaNo=26162fc9f9033338099ff80efd186166](http://websitem.gazi.edu.tr/ramazan.ayan/Dosyaindir?DosyaNo=26162fc9f9033338099ff80efd186166) (18.12.2009).

## ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Trabzon'da doğdu. İlkokulu Trabzon'da, orta ve lise tahsilini İstanbul'da tamamladı. 2006 yılında Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği ve Makine Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 2007 yılında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans öğrenimine başladı.

Erzurum İl Sağlık Müdürlüğünde 2007 yılından beri Makine Mühendisi olarak görev yapmaktadır.