

**DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN ENTEGRE BİR TESİSTE  
ATIK GAZLARLA ÇALIŞAN BUHAR KAZANININ  
TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ**

**Yılmaz YAKIŞIK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**OCAK 2010  
ANKARA**

Yılmaz YAKIŞIK tarafından hazırlanan DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN ENTEGRE BİR TESİSTE ATIK GAZLARLA ÇALIŞAN BUHAR KAZANININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Bu çalışma oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Nevzat ONUR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat Kadri AKTAŞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 28.01.2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yılmaz YAKIŞIK

**DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN ENTEGRE BİR TESİSTE  
ATIK GAZLARLA ÇALIŞAN BUHAR KAZANININ  
TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ  
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Yılmaz YAKIŞIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
Ocak 2010**

**ÖZET**

Sanayi sektöründeki enerji harcamaları yıllık işletme giderlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu da enerjinin verimli kullanılmasının önemini artırmaktadır. Enerji tasarrufu ile sağlanan kazanç birim üretim maliyetini düşüreceği için üretilen malın rekabet şansını da artırmaktadır. Bu bağlamda atık enerjilerin değerlendirilmesi ile ekonomik faydanın yanı sıra düşük emisyon değerleri ve doğal kaynakların da korunumu sağlanmış olur.

Bu yüksek lisans tezinde; demir çelik üretimi yapan entegre bir tesiste, üretim proseslerinin sonucunda yan ürün olarak ortaya çıkan atık gazların (kok gazı, yüksek fırın gazı ve çelikhane gazı) enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği incelenmiş, ayrıca bu atık gazları yakıt olarak kullanan bir buhar kazanı, teknik ve ekonomik yönden analiz edilmiştir. Kardemir Demir Çelik Tesislerindeki atık gazların miktarı, ısı değerleri, gaz yakan buhar kazanının verimi ve buhar üretim kapasitesi hesaplanmıştır. Aynı kalite ve miktardaki buharın, kömür kazanından elde edilmesi durumunda kullanılacak olan kömürün, miktarı ve maliyeti ile kıyaslanmıştır. Analizler, atık gazlarla çalışan karışık gaz yakan bir buhar kazanının, entegre tesisindeki buhar ihtiyacının büyük bir kısmının (45 ton/h) karşılanabileceğini göstermiştir. 45 (ton/h) buharın kömür kazanında üretilmesi durumunda, günde 119 ton kömürün

**kullanılacağı (elde edilen tasarruf miktarı) hesaplanmıştır. Ayrıca ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak, atık gazlarla çalışan karışık gaz yakan bir buhar kazanının sisteme kazandırılmasının ne kadar doğru olduğunun ispatı yapılmıştır.**

**Bilim Kodu : 914.1.038**

**Anahtar Kelimeler: Buhar kazanları, atık gaz, demir çelik, enerji tasarrufu**

**Sayfa adedi : 78**

**Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU**

**TECHNICAL AND ECONOMICAL ANALYSIS  
OF A WASTE GAS FIRED STEAM BOILER  
AT AN INTEGRATED IRON AND STEEL PRODUCTION WORK  
(M.Sc. Thesis)**

**Yılmaz YAKIŞIK**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**January 2010**

**ABSTRACT**

**Energy costs in the industrial sectors constitutes a significant portion of the annual operating expense. This, points out the importance of efficient use of energy. As well as energy savings, alternative energy opportunities will help reducing costs so increase productivity and competitiy capacity. Use of Waste energy provides not only economic benefit, but also low emissions and savings of natural energy sources.**

**In this thesis, the gases (coke oven gas, blast furnace gas and converter gas) released as a by-product during steel production processes at an integrated iron and steel works were analyzed an energy source option, and a steam boiler which use the waste gases as fuel was analyzed from technical and economical aspects. Can sidering Kardemir steel works, the amount of the waste gases, calorific values, efficiency of the waste gas fired boiler and steam production capacity were determined. Investment costs were calculated and compared with the a coal fired boiler to produce the same quantity and quality of steam. The Analysis revealed that the mixed gaz burning steam boiler may produce a large part of the steam needed (45 ton/h), in the integrated plant. In case, when 45 tonnes per hour steam produced in coal steam boiler, it has been calculated that**

**119 tonnes coal per day will be used (amount of optained saving). The economic analysis showed that, the mixed waste gas fired steam boiler investment is feasible.**

**Science Code : 914.1.038**  
**Keywords : Steam boiler, waste gas, iron and steel, energy saving**  
**Page Number : 78**  
**Adviser : Prof. Dr. Haşmet TÜRKOĞLU**

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmam sűresinde, beni yűnlendiren ve bana yardımcı olan tez danıőmanım Sayın Prof. Dr. Haőmet TÜRKOĐLU'na, benden yardımlarını esirgemeyen mesai arkadaşlarıma, bu çalıőma sırasında manevi desteėi ile bana gű veren aileme en içten duygularla teőekkűr ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xiv
1. GİRİŞ .....	1
2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ VE DEMİR ÇELİK ENTEGRE TESİSİ.....	7
2.1. Türkiye’de Demir Çelik Sektörü.....	9
2.2. Demir Çelik Entegre Tesisi.....	11
2.2.1. Yüksek fırın.....	13
2.2.2. Çelik üretimi.....	18
2.2.3. Kok üretimi.....	20
2.2.4. Kırma eleme ve sinter ünitesi.....	22
2.2.5. Haddehaneler.....	22
2.2.6. Kuvvet santrali.....	22
3. DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN ENTEGRE BİR TESİSTEKİ ATIK GAZLARLA İLGİLİ HESAPLAMALAR.....	24
3.1. Yanma ve Yanma Denklemleri.....	24
3.2. Yüksek Fırın, Çelikhane ve Kok Gazlarının Kimyasal Bileşimleri ve Isıl Değerlerinin Hesaplanması.....	25
3.2.1. Gaz karışımlarından oluşan yakıtların üst ısıl değerinin hesaplanması.....	25

**Sayfa**

3.2.2. Gaz karışımlarından oluşan yakıtların alt ısı değerinin hesaplanması.....	27
3.2.3. Yüksek fırın gazının hacimsel analize göre ısı değer hesabı.....	29
3.2.4. Çelikhane gazının hacimsel analize göre ısı değer hesabı.....	30
3.2.5. Kok gazının hacimsel analize göre ısı değer hesabı.....	32
3.3. Yanma Hesapları.....	33
3.3.1. Yüksek fırın gazı için özgül yakma havası ve yanma gazlarının hesaplanması.....	36
3.3.2. Çelikhane gazı için özgül yakma havası ve yanma gazlarının hesaplanması.....	37
3.3.3. Kok gazı için özgül yakma havası ve yanma gazlarının hesaplanması.....	38
3.4. Atık Gazların Enerji Miktarlarının Hesabı.....	39
4. DEMİR ÇELİK TESİSİ ATIK GAZLARI KARIŞIMINI KULLANAN BUHAR KAZANI VE ISIL HESAPLAMALAR.....	41
4.1. Buhar Kazanları.....	41
4.2. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması .....	43
4.2.1. Alev duman borulu kazanlar.....	43
4.2.2. Su borulu kazanlar.....	44
4.3. Buhar Kazanı Isıl Hesapları.....	47
4.3.1. Toplam yakma havası ve yanma gazı debileri.....	47
4.3.2. Yanma odası sıcaklığının hesaplanması.....	48
4.3.3. Yüksek fırın, kok ve çelikhane gazlarını yakan kazanın baca gazı özgül ısı değerlerinin hesabı.....	52
4.3.4. Baca gazı kaybı hesabı.....	53
4.3.5. Kazan ısı verim hesabı.....	54

	<b>Sayfa</b>
4.3.6. Kazanın yakıt debisi.....	55
4.3.7. Kazan ısııl yükün belirlenmesi.....	56
4.3.8. Üretilen buhar miktarının hesabı.....	57
<b>5. ATIK GAZ İLE ÇALIŞAN BUHAR KAZANININ EKONOMİK ANALİZİ.....</b>	<b>58</b>
5.1. Tasarruf Miktarının Eşdeğer Kömür Karşılığının Belirlenmesi.....	58
5.1.1. Mevcut kömür yakan buhar kazanı ile ilgili hesaplamalar.....	58
5.2. Ekonomik Analiz Yöntemleri.....	59
5.3. Buhar Kazanı Yatırım Maliyeti.....	61
5.4. Buhar Kazanının Ekonomik Ömrü.....	63
5.5. Tasarruf Maliyetinin Hesabı.....	63
5.6. Nakit Akım Çizelgesi.....	64
5.6.1. Geri ödeme süresi yöntemi.....	64
5.6.2. Net bugünkü değer yöntemi.....	65
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>68</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>72</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>74</b>
EK-1 Su buharı için Mollier diyagramı.....	75
EK-2 Su buharı için T-h diyagramı.....	76
EK-3 Sıcaklığın fonksiyonu olarak özgül ısı.....	77
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>78</b>

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Bazı AET ülkeleri ve Türkiye’de enerji tüketim düzeyleri.....	3
Çizelge 2.1. Dünya ham çelik üretimi.....	8
Çizelge 3.1. Değişik yakıtlar için tam yanma denklemleri.....	25
Çizelge 3.2. Yüksek fırın gazının ortalama hacimsel % analizi.....	29
Çizelge 3.3. Çelikhane gazının ortalama % hacimsel analizi.....	31
Çizelge 3.4. Kok gazının ortalama hacimsel % analizi.....	32
Çizelge 3.5. Karabük Demir Çelik Tesislerindeki atık gazların hesaplanan ısı değerleri.....	33
Çizelge 3.6. Karabük Demir Çelik Tesislerindeki atık gazların hesaplanan yakma havası ve yanmış gaz miktarları.....	39
Çizelge 3.7. Karabük Demir Çelik Tesisi atık gazların hesaplanan enerji miktarları.....	40
Çizelge 4.1. Yakma sistemleri ve özellikleri.....	42
Çizelge 4.2. Yakıt çeşitlerine göre pratik yanma odası sıcaklığı değerleri .....	51
Çizelge 4.3. Baca gazı bileşenlerinin özgül ısı değeri.....	52
Çizelge 5.1. Tasarruf edilen miktar ve maliyet.....	64
Çizelge 5.2. Buhar kazanının ekonomik analiz verileri.....	64
Çizelge 5.3. Geri ödeme süresi tablosu.....	64
Çizelge 5.4. Buhar kazanının nakit akım çizelgesi.....	66

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Demir çelik entegre tesisin şematik görünümü.....	12
Şekil 2.2. Yüksek fırın çalışma seyir şeması.....	15
Şekil 2.3. Yüksek fırın gaz yıkama kulesi.....	16
Şekil 2.4. Elektrikli gaz temizleme şeması.....	17
Şekil 2.5. Birincil ve yan ürün enerjilerin akış şeması.....	23
Şekil 4.1. Buhar kazanlarının iş akışkanına göre sınıflandırılması.....	43
Şekil 4.2. Doğal dolaşımli bir kazanın şeması.....	45
Şekil 4.3. Zorlanmış geçişli bir ( sulzer ) kazanın şeması.....	46

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>a</b>	Net nakit akım
<b>C<sub>P</sub></b>	Özgül ısı
<b>h<sub>GİRİŞ</sub></b>	Besleme suyu antalpisi
<b>h<sub>ÇIKIŞ</sub></b>	Doymuş buhar antalpisi
<b>H<sub>o</sub></b>	Yakıt üst ısıl değeri
<b>H<sub>u</sub></b>	Yakıt alt ısıl değeri
<b>i</b>	İskonto oranı
<b>K<sub>B</sub></b>	Baca gazı kaybı
<b>m<sub>b</sub></b>	Buhar debisi
<b>M<sub>Y</sub></b>	Yakıt debisi
<b>n</b>	Hava fazlalık katsayısı
<b>P<sub>B</sub></b>	Buhar basıncı
<b>T<sub>B</sub></b>	Buhar sıcaklığı
<b>T<sub>baça</sub></b>	Baca gazı çıkış sıcaklığı
<b>T<sub>BS</sub></b>	Besleme suyu sıcaklığı
<b>T<sub>HG</sub></b>	Hava giriş sıcaklığı
<b>T<sub>HÇ</sub></b>	Hava çıkış sıcaklığı
<b>T<sub>yo</sub></b>	Yanma odası sıcaklığı
<b>V<sub>g</sub></b>	Gerçek Özgül Yanmış gaz miktarı
<b>V<sub>go</sub></b>	Teorik Özgül Yanmış gaz miktarı
<b>V<sub>GO</sub></b>	Yanma gazı debisi
<b>V<sub>h</sub></b>	Gerçek Özgül Yakma havası miktarı
<b>V<sub>ho</sub></b>	Teorik Özgül Yakma havası miktarı
<b>V<sub>HO</sub></b>	Yakma havası debisi
<b>Q</b>	Isıl kapasite
<b>Q<sub>KAZAN</sub></b>	Kazan Isıl kapasite

**Simgeler** $\eta_K$  $\eta_Y$ **Açıklama**

Kazan verimi

Yanma verimi

**Kısaltmalar****B****EKO****HÖİ****K****NBD****YO****Açıklama**

Buharlaştırıcı

Ekonomizer

Hava ön ısıtıcı

Kızdırıcı

Net bugünkü değer

Yanma odası

## 1. GİRİŞ

Bir sanayi işletmesinin ana hedefi, daha çok mal üretmek, daha çok mal satmak ve daha çok kar etmektir. Daha çok kar etmenin bir yolu işletme giderlerini azaltmaktır. Günümüzde enerji harcamaları işletme giderlerinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bundan dolayı, enerjinin verimli kullanılması büyük önem arz etmektedir. Enerji tasarrufu ile sağlanan kazanç, birim üretim maliyetini düşürdüğü için üretilen ürünün iç ve dış pazarlardaki rekabet şansı artar. Aynı zamanda, enerjinin verimli kullanılmasıyla sınırlı doğal kaynaklar daha az tüketilmiş olur ve çevre daha az kirletilmiş olur.

1970’li yıllardaki petrol krizinin ardından, enerji verimliliğine yatırım yapan birçok ülke, birim ürün/hizmet başına tüketilen enerjiyi gittikçe azaltırken, Türkiye’de tam tersine bir gelişme gözlenmiştir. O yıllarda, enerji tüketiminde aramızda mevcut olan uçurum, 1990’lı yıllara gelindiğinde iyice derinleşmiştir. Türkiye, aynı ürünü ya da hizmeti ortalama bir Avrupa Ülkesinin iki katı enerji kullanarak üretir hale gelmiştir. Üretimde iki kat fazla enerji kullanmak demek, iki kat ekonomik kayıp, iki kat çevre kirliliği, iki kat işgücü kaybı demektir. Enerji verimliliği arttığında, hava, su, toprak kirliliği ve iklim felaketinden sorumlu olan sera gazları azalır, maliyetler düşer, doğa ve insan sağlığı yani yaşam kalitesi açısından olumlu gelişmeler sağlanır [Karabük Valiliği Enerji Verimliliği Raporu, 2008].

Enerji ihtiyacının sonsuz fakat enerji kaynaklarının sınırlı olması, enerji tasarrufunun önemini artırmaktadır. Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıt rezervlerinin kullanım hızı sürekli artmaktadır. Bu artış fosil kaynakların hızla azalması anlamına geldiği gibi çevre kirliliği açısından da önemli sorunlar yaratmaktadır. Üretim proseslerinin doğal sonucu olarak ortaya çıkan atık enerjinin değerlendirilmesi ve enerji kayıplarının azaltılması yoluyla, enerji tüketiminin ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesi olarak tanımlayabileceğimiz, enerji verimliliğinin artırılması, ülkelerin enerji tüketimini azaltmada ve çevresel sorunların çözümünde önemli katkıları olacaktır.



Dünyada birincil enerji kaynaklarının kullanım oranı şöyledir [TMMOB, 2005].

Petrol: %38,5

Kömür: %24,7

Doğalgaz: %23,7

Nükleer: %6,6

Hidrolik: %3

Yenilenebilir: %3,5

Türkiye’de ise birincil enerji kaynaklarının kullanım oranı şöyledir [TMMOB, 2005].

Petrol: %42

Taş kömürü: %14

Linyit kömürü: %16

Doğalgaz: %15

Diğer (Hidrolik, jeotermal vb.): %13

Bu rakamlara bakıldığında fosil yakıtların dünyada toplam enerji tüketimindeki payının %86,9 ve Türkiye’de %87 olduğu görülür. Birincil enerji kaynağı olarak petrol ve doğalgazda kendine yeterli olmayan ülkemizde, petrol ihtiyacının %90’ı, doğalgaz ihtiyacının tamamı ithalat yoluyla karşılanmaktadır. Bu ithalatın parasal olarak karşılığı 10 milyar ABD doları mertebesindedir [TMMOB, 2005].

Güneş, jeotermal, biokütle, rüzgâr ve hidrojen gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının, üretimde ve tüketimde payının artması enerji alanında fosil yakıtlara bağımlılığın azalmasına ve dolayısı ile daha temiz bir çevre, daha az sera etkisi anlamına gelmektedir. Ucuz bol ve yenilebilir olduklarından toplam enerji maliyetlerinde parasal olarak azalma demektir.

Enerji kaynaklarının büyük kısmı, yeryüzünün diğer kaynaklarında olduğu gibi, sanayileşmiş zengin ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Sanayileşmiş yedi büyük ülkenin (ABD, Almanya, Fransa, İngiltere, İtalya, Japonya ve Kanada) kişi başına

yıllık birincil ticari enerji tüketimleri ortalaması 4721 kEP (Kilogram Eşdeğer Petrol) veya 207,79 GJ (Giga Joule) düzeyinde iken, dünya ortalaması 1395 kEP/kişi-yıl (61,4 GJ/kişi-yıl) olmuştur. Yani dünya ortalaması yedi gelişmiş ülke ortalamasının % 30'u kadardır. Türkiye'de ise, kişi başına düşen yıllık birincil enerji tüketimi dünya ortalamasının %58'i olup, 809 kEP'dur (35,6 GJ/kişi-yıl).

Elektrik tüketimi açısından da benzer bir durum görülmektedir. Dünya ortalaması olarak kişi başına yıllık elektrik net tüketimi 2245 kWh/kişi-yıl iken, G7'lerin ortalaması 8885 kWh/kişi-yıl ve Türkiye ortalaması 1173 kWh/kişi-yıl düzeyindedir. Avrupa Ekonomik Topluluğu'nun bazı ülkelerinin enerji tüketimleri ile Türkiye'deki enerji tüketimleri karşılaştırmalı biçimde Çizelge 1.1'de verilmiştir [Ankara Üniversitesi Enerji Raporu, 1999].

Çizelge 1.1. Bazı AET Ülkeleri ve Türkiye'de enerji tüketim düzeyleri [Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi Enerji Raporu, 1997]

	İTALYA	İSPANYA	PORTEKİZ	YUNANİSTAN	TÜRKİYE
Birincil enerji (kEP/kişi-yıl)	2 764	2 109	1 494	2 257	855
Elektrik (kWh/kişi-yıl)	4 711	4 129	3 283	3 937	1 280

Türkiye'nin gelecekteki elektrik ihtiyacını belirlemek için Ankara Üniversitesi'nde yapılan bir simülasyon çalışmasında 2050 yılına kadar enerji tüketim düzeyi araştırılmıştır. Kullanılan metot ekonomik gelişme hızı, nüfus artış hızı, çevre etkisi parametrelerini içermekte olup, modelin çalıştırılmasında üç değişik senaryo üzerinde durulmuştur [Ankara Üniversitesi enerji raporu, 1999].

Birincil enerji tüketiminin yerli üretimle karşılanma oranı 1996 yılında %39,5 olarak gerçekleşmişken, 2000 yılında %34,2; 2005 yılında % 33,4; 2010 yılında %27,6; 2015 yılında %27,3 ve 2020 yılında %26,3 düzeyine düşecektir. Yerli üretim-talep açığını kapatmak için 1996 yılında  $41,148 \times 10^3$  TEP (Ton Eşdeğer Petrol) enerji ithali yapılmış olup; bu ithalatta  $27,264 \times 10^3$  TEP ile petrol,  $6,999 \times 10^3$  TEP ile doğalgaz ve  $4,178 \times 10^3$  TEP ile taşkömürü önemli kalemleri oluşturmaktadır.

Türkiye birincil enerji kaynakları bakımından zengin bir ülke değildir. Bilinen taşkömürü, linyit (Elbistan ve diğer), asfaltit, bitümlü şist, ham petrol, doğalgaz ve uranyum görünür, mümkün ve muhtemel rezervleri toplamının enerji eşdeğeri 3672,5 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) veya 161,78 EJ (Eşdeğer Joule) kadardır. Bu değer 2000, 2050 dönemi için kümülatif enerji tüketimimizin %20'sinden daha azdır. Birincil enerji rezervimiz, Cumhuriyetimizin 100. yılı olacak 2023 yılına dek kümülatif enerji tüketimimizin %76-79'unu karşılayacak düzeydedir [Ankara Üniversitesi Enerji Raporu, 1999].

Tükenebilir yerli fosil kaynaklarımızın rezervlerini tam olarak tüketerek sağlayabileceğimiz yerli enerji üretimi, 2000, 2050 periyodundaki birincil enerji minimum kümülatif tüketiminin ancak %20'sini karşılayabilecek düzeydedir. Geriye kalan %80'in ithal edilmesi gerekmektedir. Mamul mal ithali yerine enerji ithal ederek yerli mal üretimi sağlamak ulusal ekonomi açısından daha verimli olacaktır, enerji ithali daha uygun olacaktır. Enerji ucuz ve güvenilir her kaynaktan ithal olunmalıdır. Birincil enerji ithalinde güvenceyi sağlamak için, gerek enerji kaynağı çeşitlendirmesi ve gerekse enerji alınacak ülke çeşitlendirilmesine önem verilmesi gerekmektedir [Tüsiad Enerji Raporu, 2001].

Genel enerji sektörü içerisinde elektrik sektörünün durumu önemlidir. Genel enerjinin elektriğe dönüştürülerek kullanılma oranı bir gelişmişlik ölçütüdür. Türkiye'de birincil enerji tüketiminin %12'si elektrik üretimine gitmektedir. Ancak, kayıp ve kaçaklardan ötürü bunun %78,2'si net elektrik tüketimi biçiminde gerçekleşmektedir. Bu payların artırılması gerekmektedir [Tüsiad Enerji Raporu, 2001].

ABD'nin Kyoto protokolünü imzalamamış olması enerji tasarrufunu doğrudan etkilemez. Kyoto protokolünün amacı; 2008–2012 yılları arasında, 1990 yılına ait sera gazı emisyon oranlarını yüzde 5,2 seviyesinde azaltmaktır. Diğer bir deyişle, 2012'de sera gazları emisyonu 1990 değerlerinin yüzde 94,8'i olacak. Kyoto dahi dünyanın kendisini kurtarması için yetersiz kalabilir, 1800'lerden beri fosil yakıtları, kömür, petrol, doğalgazı yakıyoruz. Fosil yakıtların alternatifini bulmak ve

beraberinde enerjinin etkin ve verimli kullanımı teşvik etmek gerekiyor. AB Ülkeleri 2010 yılında enerji envanterlerindeki yenilenebilir enerji kaynaklarının payını %22'ye çıkarmak istiyorlar, sera gazı emisyonunun yüzde 25'ini veren ABD katkıda bulunmadan, dünyadaki küresel iklim değişikliği sorunu çözülemez. Kyoto protokolünü imzalamayan ABD, sera gazları emisyonunu düşürecek teknolojik yatırımlara da kaynak ayırmayacaktır. Kyoto protokolünün imzalanmamasının böyle bir etkisi olacaktır [TMMOB, 2005].

Kazanların ısı performans ve emisyon özelliklerinin ülke ekonomisi ve doğal çevre üzerine olan etkisi çok büyüktür. Bu nedenle tüm ülkeler enerji kaynaklarını sosyo-ekonomik yapılarına uygun biçimde, yakma sistemlerinin ısı performans ve emisyon özelliklerini öngörülen amaç doğrultusunda oluşturmaya çalışmaktadır. Yakma sistemlerinin, ısı performans ve emisyon özelliklerine uygun biçimde oluşturulmaması bir yönden ürün maliyetlerinin enerji paylarını aşırı biçimde artırmakta, diğer yönden hava, toprak ve su kirliliği gibi insan sağlığı yönünden oluşan çevresel etkilerin oluşmasına neden olmaktadır. Enerji tasarrufu yani enerjiyi verimli kullanmak hava kirliliğinin azaltılmasında da birinci faktördür. İkinci faktör ise, yakıtın kirlenme özelliğidir. Bundan dolayı yanma odası, yakma sistemi ve bu sistemlerin tekniğine uygun biçimde çalıştırılması hem yanma verimi ve hem de hava kirliliğinin kontrolü yönünden büyük önem taşımaktadır.

Demir çelik sektörü enerji yoğun bir sektördür. Demir çelik sektörünün, Türkiye'nin tüm sanayisindeki toplam enerji tüketimi içindeki payı %30 dur. Demir çelik entegre tesislerinde maliyetin %25'inin enerji gideri olduğu bilinmektedir. Çeliğin ergitilmesinde, dökümünde, haddelenmesinde, çelik ergitme ve tav ocaklarında, ocağı besleyen enerji sistemlerinde, toz tutma ve soğutma suyu sistemlerinde yapılabilecek tasarruflar hem tesis hem de Türkiye genelinde göz önüne alındığında küçümsenmeyecek boyutlardadır.

Cevherden sıvı çelik üretimi yapan demir çelik tesislerinin toplam enerji tüketiminin %70-80'i taşkömürü, %8-10 elektrik, %10-15 petrol ve doğalgaz tüketiminden oluşmaktadır. Entegre tesislerde yan ürün olarak elde edilen kok gazı, yüksek fırın

gazı ve elikhane gazı enerji verimliliğini artırmak için tesis içinde yakıt olarak değerlendirilmelidir. Üretimde enerji verimliliği, hammadde başta olmak üzere birçok faktör, uygulama ve teknoloji ile bağıntılı olarak değişmektedir [T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Demir elik Sektör Raporu, Haziran, 2008].

Bu alışma kapsamında, demir elik üretimi yapan entegre bir tesisteki atık gazların enerjisinden yararlanılması yöntemleri araştırılmış ve analiz edilmiştir. İlk olarak demir elik üretimi yapan entegre bir tesis tanıtılmış olup, ana kısımlar hakkında detay bilgiler verilmiştir. İkinci olarak demir elik üretimi yapan entegre bir tesis olan Karabük Demir ve elik Fabrikaları'nda (KARDEMİR A.ř.) yüksek fırınlardan, elikhanedен ve kok fabrikalarından yan ürün olarak elde edilen yüksek fırın gazı, elikhane gazı ve kok gazı gibi atık gazların bacadan yakılarak atmosfere atılması yerine bir buhar kazanında yakıt olarak değerlendirilmesinin teknik ve ekonomik analizleri yapılmıştır.

## 2. DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜ VE DEMİR ÇELİK ENTEGRE TESİSİ

İnsanoğlu demir ve elik elde etmek için günümüze gelinceye dek pek çok yöntem geliştirmiştir. Kullanılan ilk yöntemde, odun kömürünün yakılması ile oluşan redükleyici karbon monoksit gazı aşağıdaki reaksiyonda görüldüğü gibi demir cevheri ile tepkimeye girerek demir elde edilmiştir. Bu reaksiyonun denklemi,  $Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$  şeklinde gösterilebilir.

1350’li yıllarda ilkel yüksek fırınlar kullanılarak pik veya ham demir üretilmeye başlanmıştır. 1800’l yıllarda elik üretiminde büyük ilerlemeler kaydedilmiştir. Özellikle, 1855 yılında uygulanmaya başlanan Bessemer yöntemi ve daha sonra uygulanan Siemens-Martin yöntemi sayesinde elik üretiminde büyük artışlar sağlanmıştır. Demir ve özellikle elik üretiminde meydana gelen hızlı gelişmeler sonucunda endüstri devrimi gerçekleşmiş, üretim aralarındaki niteliksel gelişmeler ile teknoloji alanında da ileriye doğru adımlar atılmıştır. Günümüzde ise demir ve elik sanayi sektörünün temel girdisi haline gelmiş, demir elik üretimi ve tüketimi ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir ls olarak kabul edilmiştir.

Dayanaklığı, güvenilirliliği, yaygın kullanım alanı, evre dostu özelliği ve birçok teknik üstünlüğü ile ağdaş toplum yaşantısının ayrılmaz bir parçası olan demir elik, geçmişten bu yana, sanayileşmenin temelini ve kalkınmanın itici gücünü oluşturan stratejik bir malzemedir. Bu önemli misyonu itibarıyla, uygulama alanlarını ve üretim teknolojisini geliştirerek kendisini sürekli yenileyen demir elik endüstrisi, bugün globalleşen yenedünya düzenine damgasını vuran en gcl sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir.

Dünyadaki demir üretiminin %95’i yüksek fırın yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Yüksek fırınlar, kok tüketimini azaltmak ve günlük üretim kapasitesini artırmak amacıyla sürekli olarak geliştirilmektedir. Gelişen teknoloji ile birlikte artan elik talebini karşılamak amacıyla büyük hacimli yüksek fırınlar yapılmış olup, bu fırınlarda günde 5000 tonluk üretime ulaşılmıştır. Ham demir (pik) yüksek fırında üretilir. Bu işlem için demir cevheri, katkı maddeleri, yakıt ve hava kullanılır. Demir

cevheri; demir oksitler, demir karbonatlar ile bunların içerdikleri SiO<sub>2</sub>, Mn, P, S ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi katkı maddelerinden oluşur. En önemli demir cevherleri; Hematit (%40-60 Fe içerir ve kırmızı renklidir), magnetit ( %50-70 oranında Fe içerir), limonit (%30-40 Fe içerir) ve siderit (%30-40 Fe içerir) dir.

Dünya ham çelik üretimi ülkelere göre Çizelge 2.1’de verilmiştir. Bu çizelgede görüldüğü gibi dünya çelik üretimi her geçen yıl artmaktadır. 1970 yılında 595 milyon ton olan dünya ham çelik üretimi 2007 yılına gelindiğinde 1 343 milyon tona ulaşmıştır. Dünya ham çelik üretiminde ilk üç sırayı Çin Halk Cumhuriyeti, Japonya ve Amerika Birleşik Devletleri almaktadır. Türkiye ise 2007 yılında 25,8 milyon metrik ton üretimiyle dünyanın en büyük ham çelik üreticileri arasında 11’inci sırada yer almıştır [T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Demir Çelik Sektör Raporu, Haziran, 2008].

Çizelge 2.1. Dünya ham çelik üretimi (bin ton) [Demir Çelik Üreticileri Derneği, Ekim, 2008]

		2007	2006	% değişim
1.	Çin	489 000	422 000	15,7
2	Japonya	120 199	116 226	3,4
3.	A.B.D.	97 212	98 557	1,4
4.	Rusya	72 220	70 830	2,0
5.	Hindistan	53 080	49 450	7,3
6.	Güney Kore	51 367	48 455	6,0
7.	F.Almanya	48 550	47 224	2,8
8.	Ukrayna	42 830	40 892	4,7
9.	Brezilya	33 784	30 901	9,3
10.	İtalya	31 990	31 624	1,2
11.	<b>TÜRKİYE</b>	<b>25 764</b>	<b>23 315</b>	<b>10,5</b>
12.	Tayvan	20 450	20 000	2,3
13.	Fransa	19 252	19 852	3,0
14.	İspanya	19 050	18 391	3,6
15.	Meksika	17 170	16 313	5,3
	Toplam	1 343 457	1 250 170	7,5

## 2.1. Türkiye’de Demir Çelik Sektörü

Sektörün başta inşaat, otomotiv ve demiryolu olmak üzere tüm mamul eşya üretimine doğrudan katkısı vardır. Özellikle altyapı sorunlarının henüz çözümlenmediği gelişmekte olan ülkelerde demir çelik sektörü ayrı bir öneme sahiptir. Türk demir çelik sektörünün tarihi 1920’lere dayanır. Türkiye de ilk demir çelik sanayi kuruluş çalışmalarına 1925 yılında Kırıkkale’de Askeri Fabrikalar Müdürlüğü’ne bağlı olarak başlanılmıştır. 50 000 ton üretim kapasitesi bulunan bu fabrika, her türlü takım çelikleri, makine yapı çelikleri ve az miktarda inşaat demirleri üretmeye başlamıştır. Demir çelik sanayinin temel alt yapısı da bu dönemde oluşturulmuştur. Türk ekonomisinin gelişmesinde de aynı doğrultuda büyük rolü bulunan sektörün modern anlamda temelleri ise 1930’lu yıllarda atılmıştır. İlk entegre tesis olan Karabük Demir Çelik İşletmeleri 1939 yılında 15 000 ton/yıl kapasiteyle üretime geçmiştir. Karabük, maden kömürü havzasına yakın oluşu, demiryolu güzergâhına yakın olması nedeniyle seçilmiştir. Bu fabrika, enerji gereksinimini Zonguldak kömür havzasından, demir cevherini ise Divriği’den almaktadır. Bunu, 1965 yılında yassı ürün üretmek üzere 470 000 ton/yıl kapasite ile ERDEMİR, 1977 yılında da İSDEMİR takip etmiştir [İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri, 2008].

Ülkemizde, demir çelik üretimi ve işlenmesi 3 entegre tesisimiz ile 20 civarında ark ocaklı tesis ve çok sayıda büyüklü küçüklü haddehane tipi sanayi tesislerinde gerçekleştirilmektedir. Entegre tesislerimizde yıllık üretim kapasitesi 6 milyon ton civarındadır. Mevcut kapasite artırımı çalışmaları ile kapasitenin yakın gelecekte artması beklenmektedir.

Demir çelik sektörünün sorunları içinde girdi maliyetleri ve özellikle enerji ilk sırada yer almaktadır. Elektrik ark ocaklı fırınlarda enerjinin toplam maliyetler içinde payının %20’lere vardığı göz önüne alındığında yoğun bir uluslararası rekabet yaşayan sektörün rakiplerinin yaklaşık iki katı bir bedel ödeyerek sahip olduğu enerji büyük bir engel olarak karşımıza çıkmaktadır. Dünya pazarlarına yapılmakta olan



ihracatın artan Uzakdoğu tehdidine rağmen sürdürülebilmesi ve daha geniş alanlara yayılabilmesi girdi maliyetlerinin düşürülmesi ile doğrudan ilişkilidir.

Demir çelik sektörü, yarattığı katma değer ve istihdamın yanı sıra, genel ihracatımızda da %11,6'lık payla önemli bir yere sahiptir. Ekonomideki olumlu gelişmelerin yanı sıra, demir ve çelik ürünleri fiyatlarının dünya piyasalarında yükselmesinin de etkisiyle, demir çelik sektörünün 2007 yılı ihracatı bir önceki yılın aynı dönemine kıyasla %30 artarak 12,5 milyar dolara ulaşmıştır. Demir çelik sektörü ihracatımız madde bazında incelendiğinde, 2007 yılında toplam ihracatının 8,4 milyar doları (%67) demir çelik, 4,1 milyar doları (%33) ise demir çelik eşyadan oluştuğu görülmektedir. Uzun ürünler demir çelik ihracatımızda %73,2 pay alırken, yassı ürünler %10,5 pay almaktadır. İhracatımızda diğer önem arz eden ürün grupları ise sırasıyla kütük, vasıflı çelik ürünler ve hurdadır [T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Demir Çelik Sektör Raporu, Haziran, 2008].

Türk demir çelik dış ticaretinde genelde ithalat, ihracattan her zaman yüksek olmuştur. Bunun başlıca nedeni; sektörde, hammadde, yassı mamul ve vasıflı çelik üretimlerinin yetersiz olmasıdır. Bu nedenle söz konusu bu ürün grupları, demir çelik ithalatımızda sürekli olarak ilk sıralarda yer almaktadır.

Demir çelik işletmeleri, esas itibarıyla demir cevherinin yüksek fırınlarda veya hurdaların ark ocaklarında eritilmesiyle elde edilen slab ve kütüğün değişik işlemlerden geçirilerek istenilen kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip mamuller üreten işletmelerdir. Demir çelik sektörü kapsamında yer alan ürünler aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır [T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Demir Çelik Sektör Raporu, Haziran, 2008].

#### I- Hammadde ve yarı mamul

Pik demir

Kütük demir

#### II- Uzun hadde mamulleri

Demir çelik çubuk

Demir çelik profil

Filmaşın

Tel

Çivi

### III- Yassı hadde mamulleri

Sıcak haddelenmiş yassı ürünler

Soğuk haddelenmiş yassı ürünler

Kaplanmış yassı ürünler

### IV- Demir çelikten mamul eşya

Boru

Boru bağlantı parçaları

İnşaat aksamı

Dövme taslak

Döküm mamul

Demet, tel ve halat

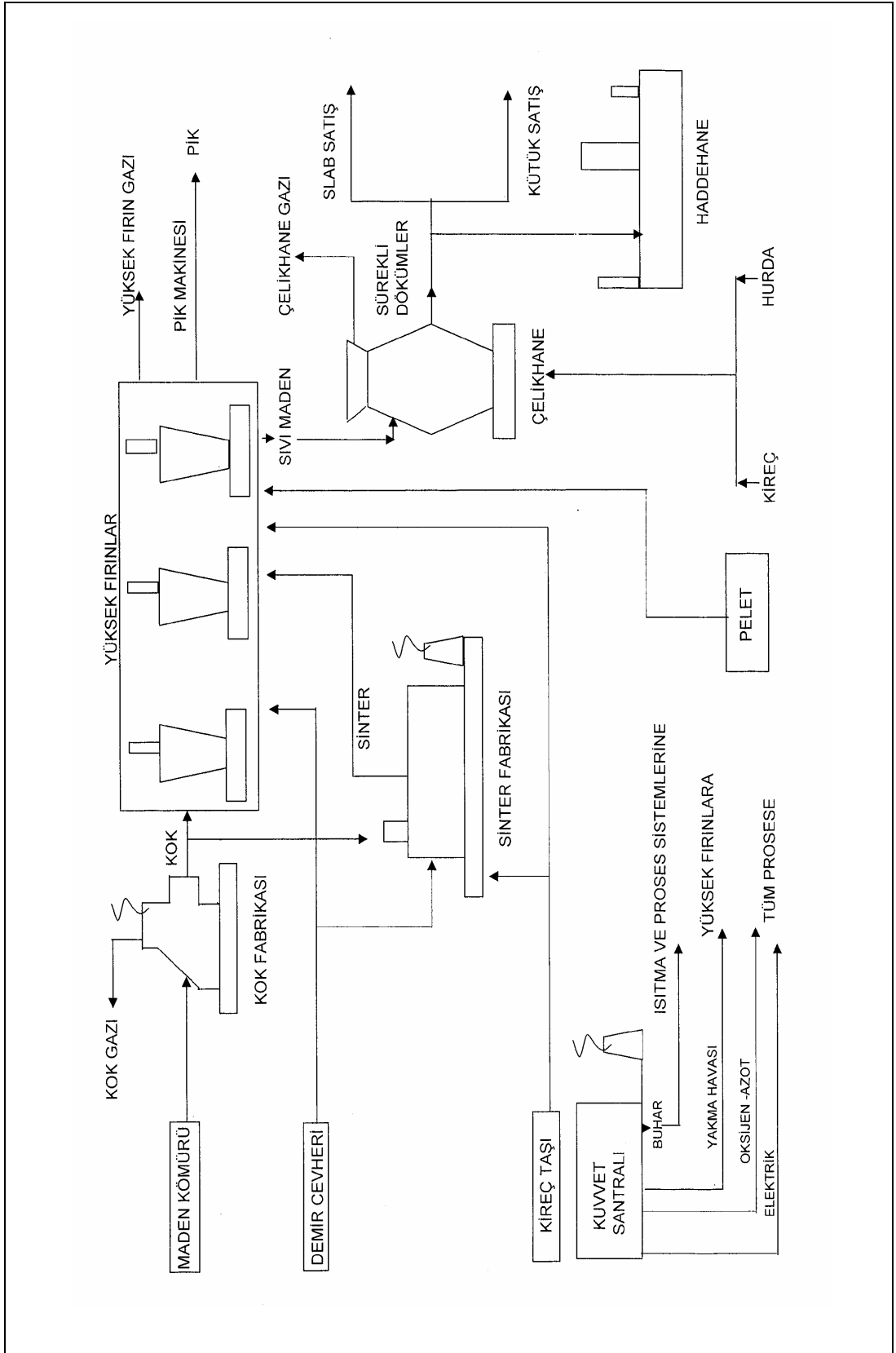
Zincir

Radyatör

Hurda

## 2.2. Demir Çelik Entegre Tesisi

Demir Çelik Entegre tesisi cevherden nihai ürün elde etmek için gerekli bütün ünitelerine sahiptir. Demir ve çelik üretiminde kullanılan ana hammaddeler demir cevheri, kireçtaşı ve maden kömürüdür. Ancak maden kömürü ve demir cevheri yüksek fırınlara verilmeden önce ara işlemlere tabi tutulur. Bir demir çelik entegre tesisindeki ana işletmeler Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, bir demir çelik entegre tesisi, kok fabrikası, yüksek fırınlar, sinter fabrikası, çelikhane ve haddehaneden oluşur. Bunlara ilave olarak bir entegre demir çelik tesisindeki diğer en önemli ünite ise enerji ihtiyacını karşılayan kuvvet santralidir.



Şekil 2.1. Demir çelik entegre tesisin şematik görünümü

### 2.2.1. Yüksek fırın

Yüksek fırın, yapı olarak 20-30 metre yüksekliğinde içi ateşe ve eriyen madenin kimyasal ve fiziksel tesirlerine dayanıklı tuğla ile örülmüş, şekil olarak ta tersine kapanmış iki kesik koniye benzeyen bir fırındır. Esas olarak iki parçadan ibaret olan bu fırınların üst kısmına gövde, alt konisine de durak adı verilir.

Yüksek fırın, bir demir çelik tesisinin en önemli ünitesidir. Yüksek fırında, demir cevheri katkı maddeleri (kok, kireçtaşı, sinter v.b) ile birlikte ısıtılmak suretiyle ergitilerek sıvı ham demir elde edilir. Yüksek fırında aşağıya doğru inen şarj malzemeleri (cevher, pelet, kok, kireçtaşı, sinter) ile yukarıya doğru çıkan gazlar (CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) arasındaki kimyasal reaksiyonlar gerçekleşir. Dolayısıyla yüksek fırına şarj edilen malzemelerin gaz geçirgenliğinin iyi olması gerekir. Üstten şarj edilen malzemeler, alttan üflenen hava basıncının etkisi ile hava yastığı üzerinde durmaktadır. Hava ile şarj edilen malzemeler arasındaki reaksiyonlar neticesi, damla damla eriyen demir cevheri ve cüruf fırının alt haznesinde sıcak maden olarak toplanmaktadır. Reaksiyon sonucu oluşan gazlar ise fırının tepesindeki borular vasıtasıyla gaz temizleme ünitesine alınır. Bu gaz karışımı CO, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> gibi gazlardan oluşur ve yüksek fırın gazı olarak adlandırılır.

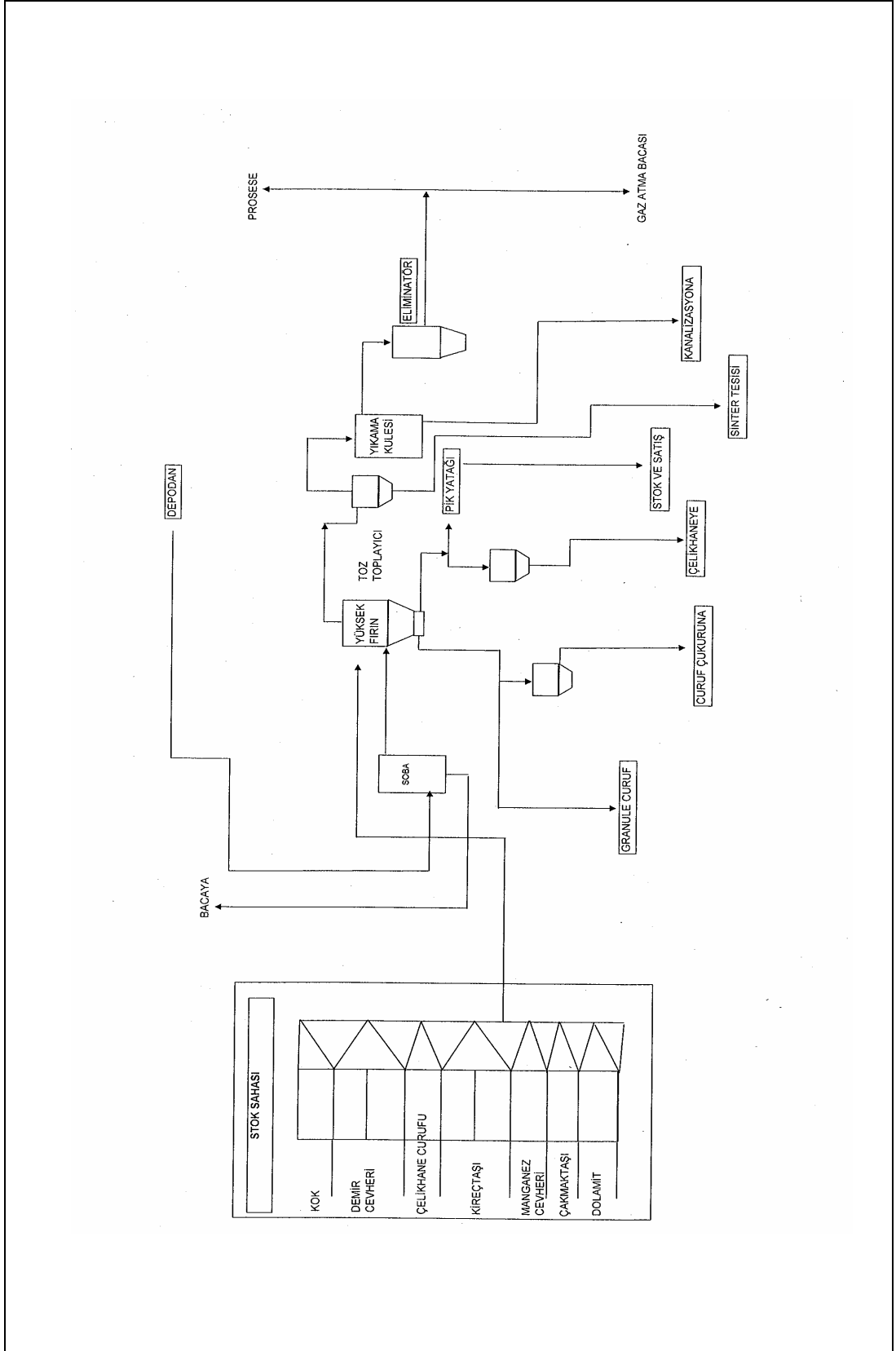
Yüksek fırın gazı sıcaklığı nedeniyle sezilebilir enerjiye sahiptir. Gaz temizleme ünitesinde sıcaklığı düştüğü için sezilebilir enerjiden yararlanılamaz. Ancak yüksek fırın gazı içeriğindeki H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub> nedeniyle önemli bir enerji kaynağıdır.

Yüksek fırınlarda demir cevherini ve katkı malzemesini eritebilmek için kullanılan kok kömürü miktarı fazladır. Ortalama olarak 1 ton ham demir elde etmek için Ocağa 780 – 1000 kg kok katmak gerekir. Büyük kapasitedeki bu çeşit fırınların, içine verilen tonlarca kok kömürünü yakabilmek ve keza ocak içindeki mukavemeti azaltarak bacası olmayan bu fırınlara cebri hava çekişi yaptırmak için bol havaya ihtiyaç vardır. Hava, fırına basınçla verilir ve miktarı da normal atmosfer basıncından 0,5-1,3 kadar fazladır. Kullanılan hava miktarı fırının kapasitesine ve havanın giriş basıncına göre değişir. Fırına giren 1 ton kokun yanması için, normal bir çalışmada ocağa verilen hava miktarı ortalama 3000 m<sup>3</sup> tür. Yüksek fırınlara lazım olan bu büyük ölçüdeki hava, kuvvet

santralında ki turbo körüklerle temin edilir. Geleneksel olarak yüksek fırın gazının bir kısmı, yüksek fırın sobaları, sinter fabrikaları, çelikhane fırınları, haddehane tav ocakları, laboratuvarlar ve dökümhane gibi entegre tesisin çeşitli ünitelerinde kullanılmaktadır. Ancak yüksek fırın gazının üretiminin tüketimden daha fazla olması dolayısıyla ve yüksek fırın gazının yüksek miktarlarda depolama imkânı olmadığından, ihtiyaç fazlası yüksek fırın gazı, gaz atma bacalarında yakılarak atmosfere atılmaktadır. Yüksek fırın gazının yakılarak atmosfere atılması önemli bir enerji kaybı oluşturur. Uygun tesisler yapılarak, bu enerjiyi atmosfere atmak yerine değerlendirmek mümkündür.

Karabük demir çelik fabrikalarında yan ürün olarak elde edilen ve yeterli depolama imkânı olmadığı için yakılarak bacadan atmosfere atılan yüksek fırın gazının debisi yaklaşık olarak 15 900 (Nm<sup>3</sup>/h) olarak tespit edilmiştir. Kalorisi ise 700-900 (kCal/Nm<sup>3</sup>) arasındadır. Bu atık gaz yakıldığında 1200-1300 °C sıcaklıklara ulaşmak mümkündür.

Yüksek fırın içindeki yanma hızını artırmak ve erimeyi kolaylaştırmak için fırına verilen havayı ısıtarak göndermek gerekir. Bu ısıtma işlemi yüksek fırın sobalarıyla yapılmaktadır. Sobalarda 850-1100 °C'ye kadar ısıtılan hava, yüksek fırının tüyer bölgesinden yüksek fırının içersine 1,5-3 paskal pozitif basınçla üflenir. Yüksek fırında ana ürün olarak demir cevheri üretilirken, yan ürün olarak ta yüksek fırın gazı ve granüle cüruf elde edilir. Ortalama olarak 1000 ton ham demir için 800 ton cüruf oluşur. Yüksek fırınların çalışma seyir şeması Şekil 2.2'de şematik olarak gösterilmiştir.



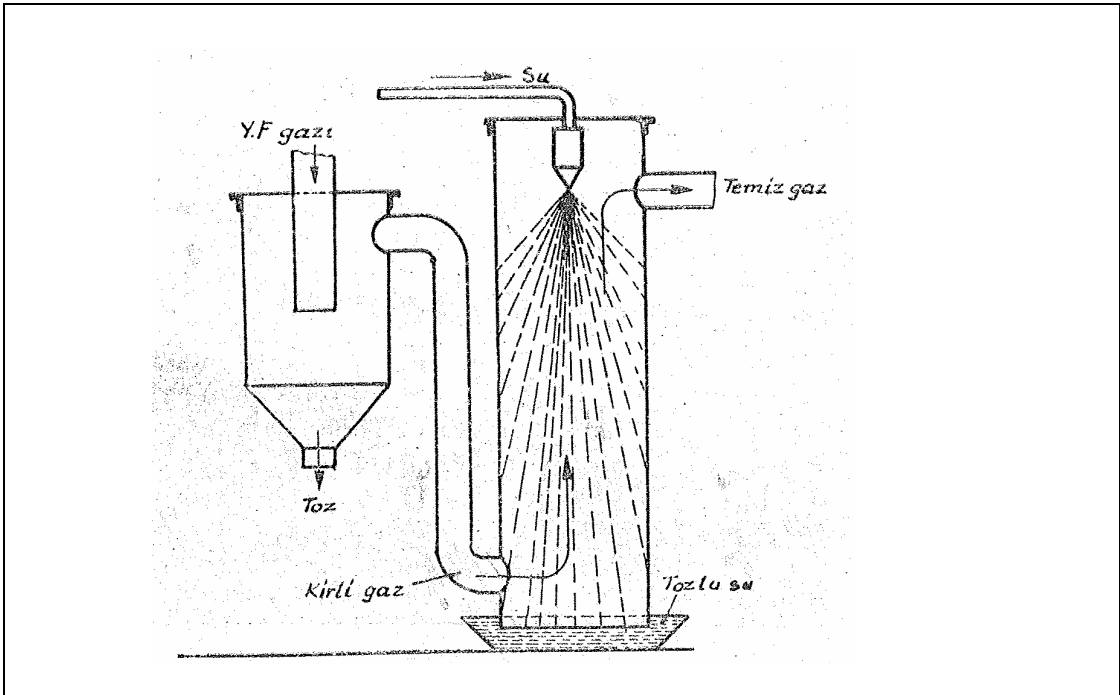
Şekil 2.2. Yüksek fırın çalışma seyir şeması

### Yüksek fırın gaz temizleme tesisleri

Yüksek fırınlardan çıkan gazlar kullanma yerlerine yollanmadan evvel hususi gaz temizleyicilerde yıkanır. Fırından çıkan gazda ortalama 15 (gr/m<sup>3</sup>) kadar toz bulunur. Eğer bu tozlar temizlenmeyecek olursa, kullanılan boru ve ocak tesisatı kısa bir zamanda tıkanarak işlemez hale gelir.

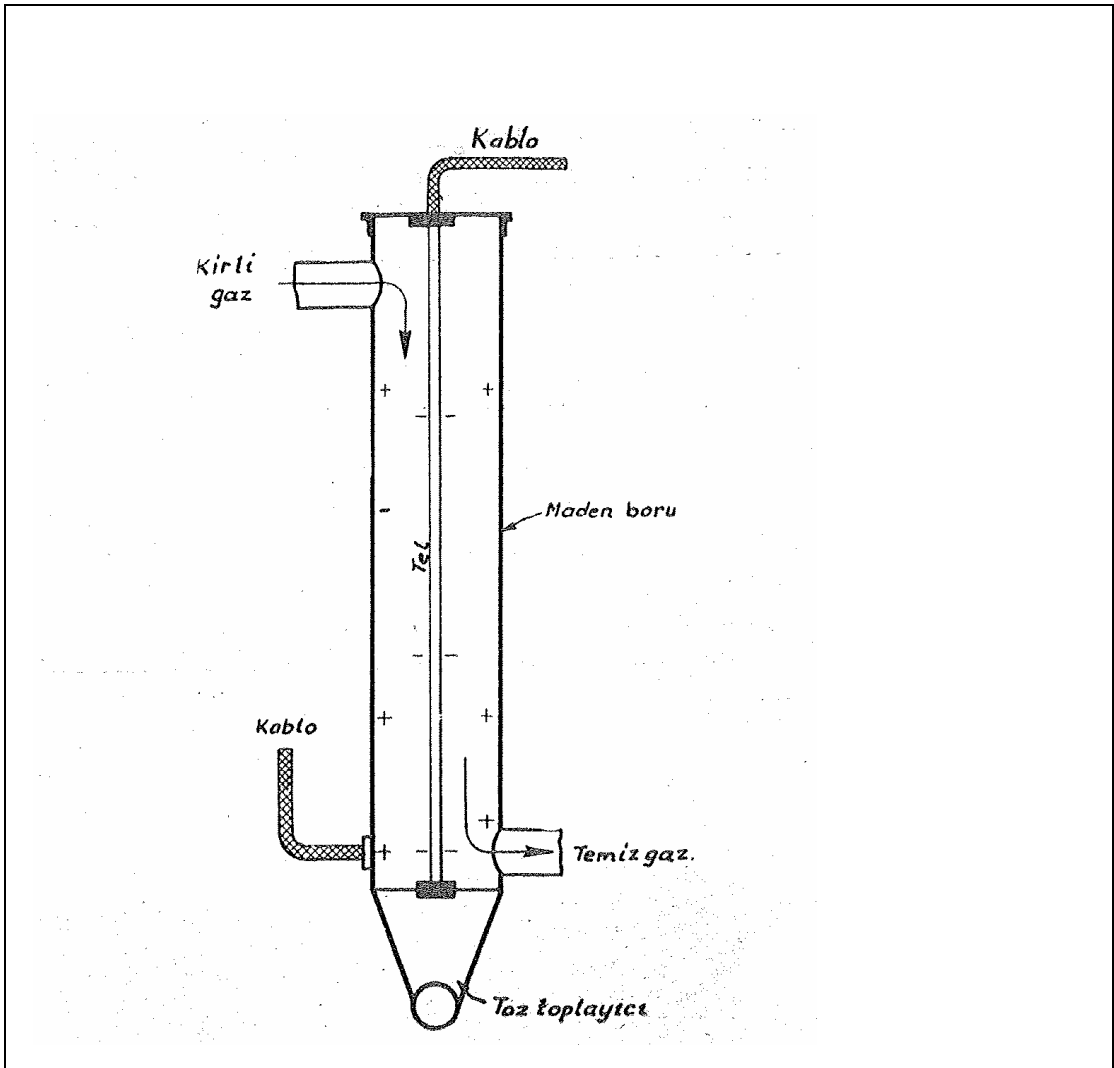
Büyük huni şekline olan toz toplayıcılara gaz yandan verilmek sureti ile içinde helezoni bir hareket verdirilerek tozların ayrışması kolaylaştırılır. Ayrışan tozlar, alt huni kısmında birikir ve zamanla alt kapak açılarak birikmiş tozlar alınır.

Toz toplayıcılarda mühim bir kısım tozu bırakan gaz, bilahare gaz yıkayıcılara gelir. Uzun kulelerden ibaret olan bu yıkayıcıların içi kat kat raflarla örülmüştür. Yukarıdan aşağı püskürtülen su, bu rafların gözlerinden dolaşırken alttan içeri verilen gazda yukarı yükselmeğe çalışır ve bu sırada su ile temasa gelip yıkanarak sıcaklığı da alınmış olur.



Şekil 2.3. Yüksek fırın gaz yıkama kulesi

Son zamanlarda, Şekil 2.4'de görülen elektrikli gaz temizleyiciler çok kullanılmaktadır. Gazlar, ortasında izoleli bir tel bulunan dik bir madensel boru içine sevk edilir. Bir kablo vasıtası ile tele verilen yüksek gerilimli doğru akım, bu telde bir negatif elektrot teşkil eder. Maden boru ise pozitif elektrottur. Negatif elektrot, boru içinden geçen gazları kuvvetle iyonlar. Negatif iyonlar, pozitif elektroda doğru akarken, gaz içindeki tozları da negatif elektrikler. Bu suretle toz zerrecikleri de madeni boruya doğru sürülür ve bunun civarında birikir. Boruya dışından çarpan otomatik bir çekicinin tesiri ile civarında biriken tozlar aşağı düşer ve oradan da toplama yerine yollanır.



Şekil 2.4. Elektrikli gaz temizleme şeması



Sıcak ve tozlu Yüksek fırın gazı ( $150-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $3-20\text{ gr/m}^3$ ), gaz temizleme ünitelerinde yıkama kulesi ve elektro filtrelerden geçirilmek suretiyle soğutulmuş ve tozu alınmış olarak ( $25-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $7-10\text{ gr/m}^3$ ) ortak bir kolektörde toplanıp tüketici ünitelere dağıtılır.

### 2.2.2. Çelik üretimi

Çelik; ham demir içinde bulunan karbon, silis, fosfor ve kükürt gibi elementlerin istenilen ölçüde ve oranda giderilmesi için gerekli alaşım maddelerinin ilâve edilmesiyle, Siemens-Martin ocaklarında üretilir.

Çelikhanede hurda, flaks malzemeler ve sıcak maden ve alaşım maddeleri konvertöre şarj edilir. Konvertör içerisine lanslar yardımı ile saf oksijen üflenerek, metal banyosundaki C, Mn, P, Si gibi elementler yakılarak sıvı çelik içerisinde istenilen yüzdelere indirgenir. Bu elementlerin oksijenle reaksiyonları ekzotermik reaksiyon olduğu için, elde edilen fazla ısı enerjisi hurda ergitmede kullanılır. Kimyasal reaksiyonlar sonucu elde edilen ürünlerden gaz halinde olanlar baca gazlarını oluşturur ve bacaya gider. Sıvı halinde olanlar ise, flaks maddeleri ile birleşerek cürufu teşkil ederler. Fırın analizi ile istenilen kalitede çelik elde edildiğinde, döküm işleri için konvertör döndürülür ve döküm deliğinden sıvı çelik döküm potasına alınır.

Çelik üretimi genel olarak Thomas, Bessemer, Siemens-Martin, Oksijen üfleme gibi metotlar kullanılarak yapılır.

#### Çelik ergitilmesine genel bakış

Alman DIN normuna göre çelik herhangi bir işlemde geçmeden dövülebilen ve genellikle %1,7'den fazla karbon ihtiva etmeyen bir demir karbon alaşımıdır. Bu tarife göre ince kesitler halinde dövülebilen temper dökümü çelik sayılmaz. İstisna olarak %2 karbon ihtiva eden yüksek alaşımlı çelikler, yüksek orandaki alaşım maddeleri nedeni ile çelik grubuna dâhildir.

Ham demir üretiminden çıktığında içerisinde büyük miktarda karbon, ayrıca kısmen de refakat elementleri bulunur. Bunlardan silisyum ve manganez %0,8'den fazla olmamak şartı ile çelikte istenir. Kükürt ve fosfor ise, her oranda zararlıdır ve mümkün olduğu miktarda uzaklaştırılmalıdır (otomat çelikleri istisnadır). Bütün çelik üretim usullerinde şu neticeye varılmaya çalışılır. Karbon miktarını istenilen değere düşürmek; demir refakat elementi olan fosfor ve kükürdü teknik ve ekonomik yönden mümkün olduğu kadar uzaklaştırmaktır. Demir refakat elementlerinin oksijene karşı olan afiniteleri, demire karşı afinitelerinden daha yüksek olduğundan; hava üflenerek ham demir içersinden yakılarak çıkarılmaları mümkündür. Bu oksidasyon işlemine üfleme işlemi denir. Oksidasyon için gerekli oksijen çeşitli şekillerde sisteme verilebilir. Hava üfleme usullerinde hava ile beraber fazla hava ile üretilen alevle beraber (Siemens-martin usulü bu şekilde çalışır). Ayrıca fırına cevher halinde demir oksit veya hurda da ilave edilerek, kimyasal olarak bağlanmış oksijen sıvı içerisinden geçirilir.

Oksijen üfleme usullerinde saf oksijen olarak; Oksijen ilk olarak, daha fazla miktarda bulunduğu için, demir ile reaksiyona girer ve demir oksit (FeO) teşekkül eder. Demir oksit demir içerisinde çözünür ve demir refakat elementleri ile reaksiyona girer. Oksijen, demir oksitten demir refakat elementlerine geçer. Demir redüklenir, demir refakat elementleri oksitlenir. Şöyle ki:

- |   |                      |
|---|----------------------|
| 1) $2FeO + Si \rightarrow Fe + SiO_2$   | CÜRUF                |
| 2) $FeO + Mn \rightarrow Fe + MnO$      | CÜRUF                |
| 3) $FeO + C \rightarrow Fe + CO$        | BACA GAZI            |
| 4) $2FeO + S \rightarrow 2Fe + SO_2$    | BACA GAZI, CÜRUF     |
| 5) $5FeO + 2P \rightarrow 5Fe + P_2S_5$ | BANYO İÇİNDE ÇÖZÜNÜR |

Ergitme banyosu içersindeki iç hareketler ne kadar iyi olursa, reaksiyonların vuku bulması da o kadar hızlı olur. Üfleme usulünde üflenen hava sıvıyı karıştırma vazifesi de gördüğünden, reaksiyonlar çok çabuk oluşur. Thomas usulündeki kısa üfleme süresinin nedeni budur. Siemens-martin usulünde banyo içinde hareket sadece eriyiğin kaynaması ile olur. Kaynama olayının nedeni 3 numaralı denkleme

göre teşekkül eden karbon monoksit CO gazının yüzeye çıkmasıdır. Yeni geliştirilen çelik üretim usullerinde döner ergitme banyoları çalışılarak daha iyi bir banyo iç hareketi elde edilmektedir.

1'den 5'e kadar olan reaksiyon denklemlerinden de görüldüğü gibi oksitlenen demir refakat elementlerinin en büyük kısmı cürufa veya baca gazlarına karışmaktadır. Sadece zararlı fosfor çelik içerisinde çözünmüş olarak kalmaktadır. Metal olmayan bir element olduğu için fosfor, bazik bir maddeye bağlanabilir. Bu nedenle fosforu eriyikten çıkararak kalsiyumtrifosfat halinde bağlayabilecek bazik bir cüruf teşkil ettirilmelidir. Kireç ilavesi ile bu tip bir bazik cüruf elde edilir. Ateşe dayanıklı fırın tuğlalarının bazik cüruf ile reaksiyona girip, ateşe dayanıklılık özelliğini kaybetmemesi için, tuğlaların da bazik karakterde olması gerekir.

Silisyum elemanı 1. reaksiyona göre oksit ( $SiO_2$ ) haline geldiğinden cürufa bazik bir karakter verilir. Bu özelliğin ilave kireçle bazik hale dönüştürülmesi gerektiğinden ham demirde yüksek miktarda silisyum istenmez. Aksi takdirde fazla miktarda cüruf üretilmesi lazımdır.

Çok az fosfor ve kükürt ihtiva eden ham demir çeşitlerinin cüruf ile üflenmesi ve ergitilmesi mümkündür. Bu elementler üfleme sırasında uzaklaştırılmazlar. Zira asit teşkil edici maddeler asidik cüruf ile reaksiyona giremezler.

Çelikhaneye, yüksek fırınlardan gelen sıvı maden girer ve sıvı çelik ile beraber yan ürün olarak ta çelikhane gazı çıkar. Karabük demir çelik fabrikalarında yan ürün olarak elde edilen ve yeterli depolama imkânı olmadığı için yakılarak bacadan atmosfere atılan çelikhane gazının debisi yaklaşık olarak 10 600 ( $Nm^3/h$ ) olarak tespit edilmiştir.

### **2.2.3. Kok üretimi**

Üretim de Kok fabrikası önemli bir üniteyi oluşturur. Kok fabrikasının ana işlevi maden kömürünü yüksek fırında kullanılacak kok haline getirmektir. Bu ünitenin

diğer önemli bir ürünü de kok gazıdır. Yan ürün olarak elde edilen kok gazı, üretim esnasında tav fırın ve çukurlarında, çelik ocaklarında ve diğer gerekli yerlerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kok gazının soğutulması ve temizlenmesi esnasında belli başlıları benzol, naftalin, amonyum sülfat, katran ve fenol gibi yan ürünlerde elde edilmektedir.

### Kok gazı

Taş kömürünün kok bataryalarında koklaştırılması sırasında uçucu kısımların ayrılması ile meydana gelen ham kok gazı, gaz karışımından amonyak, katran, benzol, toluol, ksilol, naftalin gibi kimyasal maddelerin yan ürünler sahasında temizlendikten sonra arta kalan gaz karışımı olarak tarif edilebilir. Fiziksel özellikleri ise şöyledir: Sarımtırak renkli, naftalin-sarımsak arası kokusu olan, havadan hafif bir gazdır. Kimyasal özellikleri bakımından ise CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> içerdiğinden yanıcı bir gazdır. Hava ile % 6-30 arasındaki oranlarda karışımı ise patlayıcıdır. Bu karışımın patlama sıcaklığı 600 °C dır. İnsan sağlığı açısından %6 oranında CO içerdiğinden zehirleyici bir gazdır.

Geleneksel olarak kok gazının da bir kısmı, yüksek fırın gazında olduğu gibi entegre tesisin çeşitli ünitelerinde Yüksek fırın sobalarında, sinter fabrikalarında, çelikhane fırınlarında, haddehane tav ocaklarında, laboratuvarlarda ve Dökümhane gibi ünitelerin çeşitli proseslerinde kullanılmaktadır. Kok gazının kalorifik değeri, yüksek fırın gazı ve çelikhane gazına göre daha yüksektir ve kullanım oranı daha geniştir. Gaz atma bacalarında yakılarak atmosfere atılma oranı daha düşüktür. Kok gazının yakılarak atmosfere atılması da önemli bir enerji kaybı oluşturur. Uygun tesisler yapılarak, bu enerjiyi atmosfere atmak yerine değerlendirmek mümkündür.

Karabük demir çelik fabrikalarında yan ürün olarak elde edilen ve yeterli depolama imkânı olmadığı için ihtiyaç fazlası kok gazı yakılarak bacadan atmosfere atılmaktadır. Yakılarak bacadan atmosfere atılan kok gazının debisi yaklaşık olarak 1300 (Nm<sup>3</sup>/h) olarak tespit edilmiştir.

#### **2.2.4. Kırma eleme ve sinter ünitesi**

Yüksek fırına yüklenecek demir cevherinin, bazı ön işlemlere tabi tutularak verimi artırılmaktadır. Bu ön işlemlerin uygulandığı yer kırma eleme ve sinter ünitesidir. Cevherde kükürt oranı artınca doğrudan doğruya yüksek fırına yüklenmesi büyük oranda kireç ve kok kaybına sebep olduğundan verimin düşmesine yol açmaktadır. Bu itibarla üretimi azaltan kükürdü ortadan kaldırmak için cevher, sinter tesislerinde saflaştırma işlemine tabi tutulmaktadır.

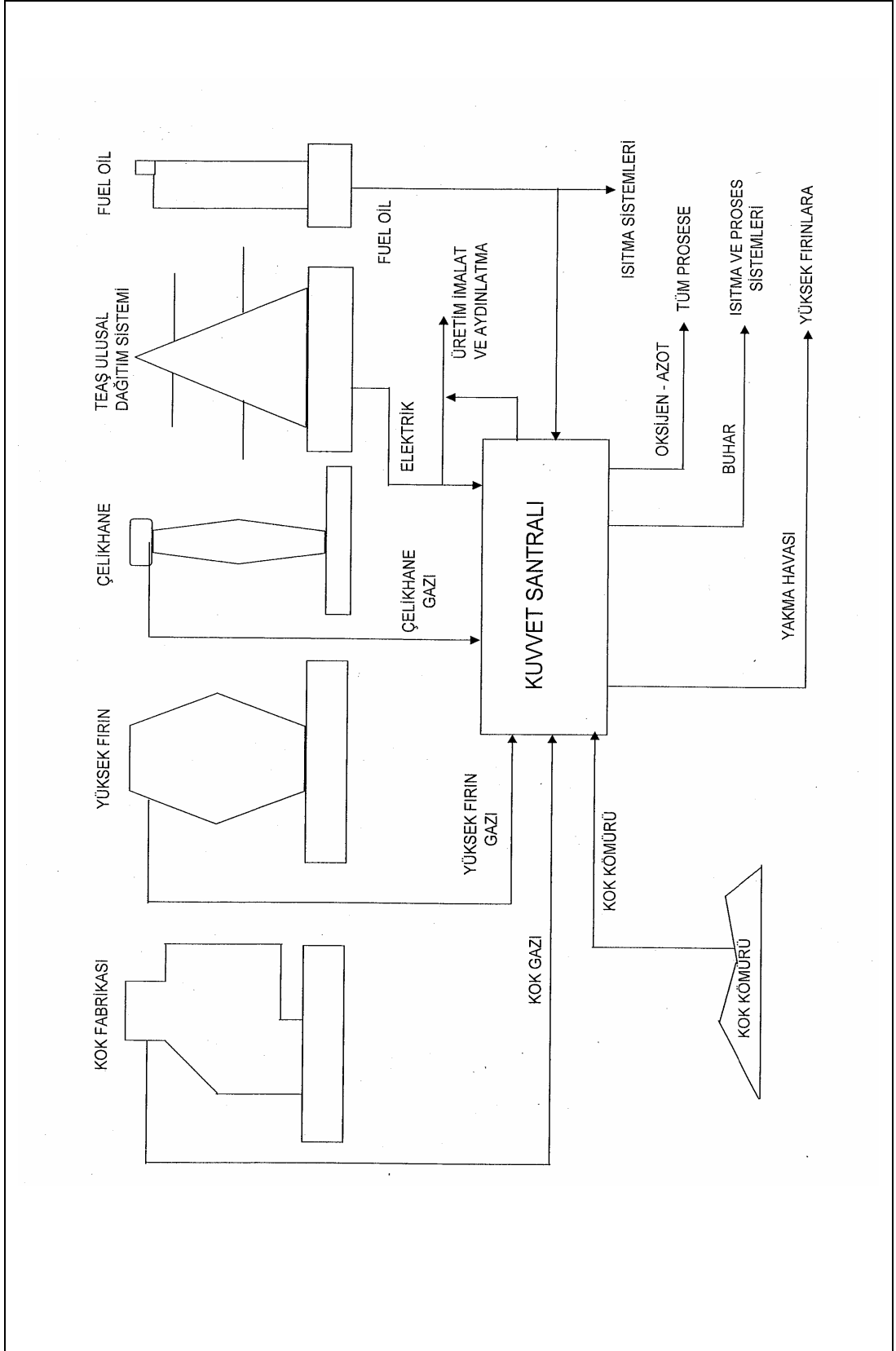
#### **2.2.5. Haddehaneler**

Haddehaneler Entegre demir çelik tesislerinin son ünitesidirler. Haddehanelerde çelik ünitesinden alınan ingotlar çok değişik kullanım yerleri için istenen boyut ve biçimlerde şekillendirilirler.

#### **2.2.6. Kuvvet santrali**

Kuvvet Santrali; Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nın (Kardemir A.Ş.) entegre üretim tesislerinde ihtiyaç duyulan elektriğin bir kısmını, proses buharını, kimyasal suyu, oksijen, azot, basınçlı hava ve yüksek fırınların ihtiyacı olan yakma havasını temin etmektedir. Ayrıca yan ürün olarak üretilen yüksek fırın, kok, çelikhane gazları ve katranın yakıt olarak değerlendirilmesi ve diğer ünitelere dağıtımının yapılması da kuvvet santralının da yapılmaktadır. Birincil ve yan ürün enerjilerin akış şeması Şekil 2.5'de şematik olarak gösterilmiştir.

Karabük Demir Çelik Fabrikaları (Kardemir A.Ş) her ay 20 milyon kWh enerji tüketmekte olup, bunun yaklaşık 10 milyon kWh'ini KEDAŞ'dan satın almaktadır [Karabük Valiliği Enerji Verimliliği ile İlgili Rapor, 2008].



Şekil 2.5. Birincil ve yan ürün enerjilerin akış şeması

### **3. DEMİR ÇELİK ÜRETİMİ YAPAN ENTEGRE BİR TESİSTEKİ ATIK GAZLARLA İLGİLİ HESAPLAMALAR**

Bu bölümde, KARDEMİR (Karabük Demir Çelik Fabrikaları A.Ş.) Demir Çelik tesislerinin sahip olduğu ünitelerde oluşan atık gazların enerji potansiyeli ve enerji kaynağı olarak kullanılabilirliği analiz edilmiştir. Bu atık gazların ısı değerlerinin ve enerji miktarlarının hesabı, teorik özgül ve gerçek yakma havalarının hesabı, teorik özgül ve gerçek yanma gazlarının hesapları her bir atık gaz için (yüksek fırın gazı, kok gazı, çelikhane gazı) ayrı ayrı yapılmıştır.

Demir çelik üretimi yapan entegre bir tesiste (KARDEMİR A.Ş.) üretim prosesleri sonucunda kalorifik değer taşıyan enerji hammaddesi olabilecek gazlar oluşmaktadır. Bu gazlar; koklaşma prosesinde açığa çıkan kok gazı, yüksek fırınlardan yüksek fırın gazı ve çelik üretim prosesinde oluşan çelikhane gazıdır.

Yüksek fırın gazı ve kok gazı fabrika içinde, kuvvet santrali buhar kazanlarında, haddehane tav fırınlarında ve diğer ünitelerin çeşitli proseslerinde kullanılmaktadır. Ancak bu gazların üretiminin, tüketimden daha fazla olması ve gazların yüksek miktarlarda depolanma imkânı olmadığından, ihtiyaç fazlası gaz, gaz atma bacalarında yakılarak atmosfere atılmaktadır. Çelikhane gazı ise hiçbir ünite kullanılmamakta ve direk bacada yakılarak atmosfere atılmaktadır. Bu gazların kullanılmaması, önemli miktarda enerjinin kaybedilmesi ve çevrenin kirletilmesi demektir.

#### **3.1. Yanma ve Yanma Denklemleri**

Yanma, belirli miktar yakıtın belirli miktar oksijenle birleşerek, yine belirli miktarda emisyon ve ısının açığa çıkması olayıdır. Bunu gösteren denklemlere yanma denklemleri denir. Değişik maddelerin yanma denklemleri Çizelge 3. 1'de verilmiştir. Yüksek fırın gazı, kok gazı ve çelikhane gazlarının ısı değerlerinin hesaplanmasında bu denklemler kullanılmıştır.

Çizelge 3.1. Değişik yakıtlar için tam yanma denklemleri

YAKIT	REAKSİYON	REAKSİYON ISISI	
		kJ/kg (RIK)	kJ/Nm <sup>3</sup> (RIH)
Karbon	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	32 796	
Hidrojen	$H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$	141 886	12 109
Kükürt	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	9 300	
Metan	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$	55 590	37 743
Etan	$C_2H_6 + 3,5 O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3 H_2O$	51 870	66 768
Propan	$C_3H_8 + 5 O_2 \rightarrow 3 CO_2 + 4 H_2O$	50 000	96 500
Bütan	$C_4H_{10} + 6,5 O_2 \rightarrow 4 CO_2 + 5 H_2O$	49 540	125 562
Karbonmonoksit	$CO + 0,5O_2 \rightarrow CO_2$	10 108	11 990

### 3.2. Yüksek fırın, Çelikhane ve Kok Gazlarının Kimyasal Bileşimleri ve Isıl Değerlerinin Hesaplanması

Hidrojen ve nem içeren bütün yakıtlarda yanma sonucunda su buharı oluşur. Suyun gaz (buhar) ve sıvı fazda bulunmasına göre yakıtın ısıl değeri alt ve üst ısıl değer olarak adlandırılır. Isıl değer hesapları hacimsel ve kütleli analiz olmak üzere iki şekilde yapılabilmektedir. Gaz yakıtlarda genelde hacimsel analize göre ısıl değerler hesaplanır. Burada da hesaplamalar hacimsel analize göre yapılacaktır.

#### 3.2.1. Gaz karışımlarından oluşan yakıtların üst ısıl değerinin hesaplanması (Ho)

Kalorimetre deneylerinde olduğu gibi yanma ürünleri başlangıç sıcaklığına kadar soğutulduğunda, bütün su buharı yoğuşmuş (sıvı) hale geldiğinde, suyun buharlaşma gizli ısısı da dâhil olacak şekilde ölçülen ısıya üst ısıl değer (Ho) denir. Üst ısıl değer hesaplamaları, hacimsel analize göre ve kütleli analize göre olmak üzere aşağıda anlatıldığı gibi yapılmaktadır.



### Hacimsel Analize Göre Üst Isıl Değerin Hesaplanması

Hacimsel analizi verilen bir gaz yakıtın üst ısıl değeri; her elementin hacim oranı ile reaksiyon ısısının ( $\text{kJ/Nm}^3$ ) çarpımlarının toplamından, ( $\text{kJ/Nm}^3$ ) olarak bulunur [Onat ve ark., 1988].

$$H_o = \sum(R_{IH} \times X_H) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte  $R_{IH}$  her bir gazın yanması sonucu açığa çıkan hacimsel orandaki reaksiyon ısısını (Bkz. Çizelge 3.1),  $X_H$  ise hacimsel oranını göstermektedir.

Buna göre  $\text{H}_2$  (hidrojen),  $\text{CO}$  (karbon monoksit),  $\text{CH}_4$  (metan),  $\text{C}_2\text{H}_6$  (etan),  $\text{C}_3\text{H}_8$  (propan) ve  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  (bütan) gazlarının karışımından oluşan bir yakıtın üst ısıl değeri şöyle ifade edilebilir.

$$H_o = 12109 \times X_{\text{H}_2} + 11990 \times X_{\text{CO}} + 37743 \times X_{\text{CH}_4} + 66768 \times X_{\text{C}_2\text{H}_6} + 96500 \times X_{\text{C}_3\text{H}_8} + 125562 \times X_{\text{C}_4\text{H}_{10}} \quad (3.2)$$

### Kütlesel Analize Göre Üst Isıl Değerin Hesaplanması

Gaz yakıtlarda, hacimsel analiz kullanılmakla beraber, nadir de olsa kütleli analize göre elde edilen değerler de kullanılmaktadır. Kütleli analizi verilen bir gaz yakıtın üst ısıl değerini; hacimsel analize göre yaptığımız hesaplama benzer şekilde yine yanma denklemlerinden faydalanarak hesaplayabiliriz.

Üst ısıl değeri hesaplarken; önce her elementin 1 kg yakıt içerisindeki oranını bulmak için elementin hacim oranı molekül ağırlığı ile çarpılıp gazın molekül ağırlığına bölünür ve reaksiyon ısıları ( $\text{kJ/kg}$ ) ile çarpımları toplanır. Aşağıdaki denklem de kütleli analiz sonuçları (kütle oranları) yazılarak bulunur [Onat ve ark., 1988].

$$H_o = \sum(R_{IK} \times X_K) \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte RIK her bir gazın yanması sonucu açığa çıkan kütleli orandaki reaksiyon ısını (Bkz. Çizelge 3.1), XK ise kütleli oranını gösterir.

Buna göre H<sub>2</sub> (hidrojen), CO (karbon monoksit), CH<sub>4</sub> (metan), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etan), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propan), C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bütan), S (kükürt) ve C (karbon) gazlarının karışımından oluşan bir yakıtın üst ısı değeri şöyle ifade edilebilir.

$$H_o = 141886 \times X_{K_{H_2}} + 10108 \times X_{K_{CO}} + 55590 \times X_{K_{CH_4}} + 51870 \times X_{K_{C_2H_6}} + 50000 \times X_{K_{C_3H_8}} + 49540 \times X_{K_{C_4H_{10}}} + 9300 \times X_{K_S} + 32796 \times X_{K_C} \quad (3.4)$$

### 3.2.2. Gaz karışımlarından oluşan yakıtların alt ısı değerinin hesaplanması (Hu)

Genelde buhar kazanlarında olduğu gibi yanma ürünlerinin tamamı gaz fazındadır. Suyun buharlaşma gizli ısısının kullanılmadığı (çıkarıldığı) durum alt ısı değeri (Hu) olarak tanımlanır.

#### Hacimsel Analize Göre Alt Isıl Değerin Hesaplanması

Alt ısı değeri, yukarıda hesaplanan üst ısı değerlerinden yanma sonucu oluşan suyun buharlaşma gizli ısısının çıkarılması ile bulunur. Hacimsel alt ısı değeri bulmak için 1 Nm<sup>3</sup> gaz karışımının yanması sonucu oluşan suyun buharlaşma gizli ısısının hacimsel üst ısı değerinden çıkarılması gerekir [Onat ve ark., 1988]. Bu şöyle ifade edilebilir

$$H_u = H_o - 2440 \times W_T \quad (3.5)$$

Bu eşitlikte 2440 suyun buharlaşma gizli ısısı, W<sub>T</sub> ise 1 Nm<sup>3</sup> yakıtın yanması sonucu oluşan su buharı kütesidir.

Gazların yanması sonucu oluşan buhar miktarları bulunur ve toplamları yazılır ise toplam su buharı miktarı aşağıdaki genel denklemden hesaplanır.

$$W_T = \sum 18,015 \times (MW \times XH)/22,4 \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte MW her bir yakıt elementinin yanması sonucu oluşan su molekülü sayısını (Bkz. Çizelge 3.1), XH ise hacimsel oranını göstermektedir.

Buna göre H<sub>2</sub> (hidrojen), CH<sub>4</sub> (metan), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etan), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propan) ve C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bütan) gaz karışımının üst ısıl değeri şöyle ifade edilebilir.

$$W_T = 18,015 \times (XH_{H_2} + 2 XH_{CH_4} + 3 XH_{C_2H_6} + 4 XH_{C_3H_8} + 5 XH_{C_4H_{10}})/22,4 \quad (3.7)$$

Eş. 3.7; Çizelge 3.1'deki yanma denklemlerinde, gazların yanmasıyla oluşan su buharı miktarının, yanmaya giren gazların ve yanma ürünlerinin ideal gaz oldukları, 1 kmol gazın 22,4 Nm<sup>3</sup> hacim işgal ettiğinden hareketle bulunur.

Örneğin; CH<sub>4</sub> + 2O<sub>2</sub> = CO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O denkleminde reaksiyon sonucu 2 mol su (H<sub>2</sub>O) oluştuğu için Eş. 3.7 'de CH<sub>4</sub> 'ün önündeki çarpım katsayısı 2 olur.

#### Kütlesel Analize Göre Alt Isıl Değerin Hesaplanması

1 kg suyun gizli buharlaşma ısısı 2440 (kJ/kg-buhar) ve yanma sonucu oluşan buhar kütlelerinin W<sub>T</sub> (kg-buhar/kg-yakıt) çarpımlarının (buharlaşma için harcanan enerjinin), üst ısıl değerden (H<sub>o</sub>) çıkarılmasıyla bulunur. Burada da Eş. 3.5 kullanılır.

$$H_u = H_o - 2440 \times W_T$$

Bu eşitlikte W<sub>T</sub> 1 kg karışımın yanması sonucu oluşan su buharının kütlelidir. Toplam su buharı kütlesi, W<sub>T</sub> hesabı için Eş. 3.9'dan yararlanılır. Yanma sonucu oluşan su buharı miktarını (kg olarak) bulmak için; yanma denkleminde aşağıdaki eşitlik yazılır [Onat ve ark., 1988].

$$W_T = \sum 18,015 \times [(MW \times XK)/M]/22,4 \quad (3.8)$$

Bu eşitlikte MW her bir yakıt elementinin yanması sonucu oluşan su molekülü sayısını (Bkz. Çizelge 3.1), XK kütle oranı ve M'de molekül ağırlığını göstermektedir.

Buna göre H<sub>2</sub> (hidrojen), CH<sub>4</sub> (metan), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etan), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propan) ve C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bütan) gaz karışımının alt ısı değeri şöyle ifade edilebilir.

$$W_T = 18,015 \times [(XK_{H_2} / 2,016) + (2 \times XK_{CH_4} / 16,043) + (3 \times XK_{C_2H_6} / 30,07) + (4 \times XK_{C_3H_8} / 44,097) + (5 \times XK_{C_4H_{10}} / 58,124)] / 22,4 \quad (3.9)$$

Eş. 3.9; Çizelge 3.1'deki yanma denklemlerinde, gazların yanmasıyla oluşan su buharı miktarının, yanmaya giren gazların ve yanma ürünlerinin ideal gaz oldukları varsayımıyla, örneğin; metan için 1 kmol metanın yanmasından 2 mol su buharının oluştuğu, suyun ve metanın mol ağırlıkları bilindiğine göre;

$W_T = 18,015 \times (2 \text{ CH}_4 / 16,043)$  [kg buhar/kg-yakıt] olarak bulunur. Benzer şekilde diğer gazlar içinde yazılır ve toplamlarını alır isek Eş. 3.9'dan toplam su miktarını buluruz.

### 3.2.3. Yüksek fırın gazının hacimsel analize göre ısı değeri hesabı

Yüksek fırın gazı; hidrojen, azot, karbonmonoksit, karbondioksit ve metan karışımından oluşur. Bu gazların Karabük Demir Çelik tesislerinin yüksek fırın gazının içindeki ortalama hacimsel oranı aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.2. Yüksek fırın gazının ortalama hacimsel % analizi

YÜKSEK FIRIN GAZLARI		ORAN (%)
HİDROJEN	H <sub>2</sub>	1,74
AZOT	N <sub>2</sub>	57,06
KARBON MONOKSİT	CO	24,10
KARBONDİOKSİT	CO <sub>2</sub>	16,80
METAN	CH <sub>4</sub>	0,3

### Üst Isıl Değer

Yüksek fırın gazının üst ısıl değeri; Eş. 3.2'deki genel denklemde, Çizelge 3.2'de hacimsel oranları verilen gazlar kullanılarak bulunur.

$$H_o = 12109 \times X_{H_2} + 11990 \times X_{CO} + 37743 \times X_{CH_4}$$

$$H_o = 12109 \times 0,0174 + 11990 \times 0,241 + 37743 \times 0,003 = 3213,5 \text{ (kJ/m}^3\text{-yakıt)}$$

$$H_o = 768,78 \text{ (kCal/Nm}^3\text{ - yakıt)}$$

### Alt Isıl Değer

Eş. 3.7'den hesaplanan toplam su miktarı ( $W_T$ ) ve yukarıda hesapladığımız üst ısıl değer miktarı ( $H_o$ ), Eş. 3.5 denkleminde yerine konularak alt ısıl değer ( $H_u$ ) hesaplanır.

$$W_T = 18,015 \times (X_{H_2} + 2 \times X_{CH_4}) / 22,4$$

$$W_T = 18,015 \times (0,0174 + 2 \times 0,003) / 22,4$$

$$W_T = 0,018 \text{ (kg- buhar/Nm}^3\text{ - yakıt)}$$

$$H_u = 3213,5 \text{ (kJ/Nm}^3\text{-yakıt)} - 2440 \text{ (kJ/kg)} \times 0,018 \text{ (kg- buhar/Nm}^3\text{ - yakıt)}$$

$$H_u = 3169,58 \text{ (kJ/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

$$H_u = 758 \text{ (kCal/Nm}^3\text{ - yakıt)}$$

#### **3.2.4. Çelikhane gazının hacimsel analize göre ısıl değer hesabı**

Çelikhane gazı hidrojen, azot, karbonmonoksit, karbondioksit ve oksijen karışımından oluşur. Bu gazların Karabük Demir Çelik tesislerinin çelikhane (konverter) gazı içindeki ortalama hacimsel oranı Çizelge 3.3'deki gibidir.

Çizelge 3.3. Çelikhane gazının ortalama hacimsel % analizi

ÇELİKHANE GAZLARI		ORAN ( %)
HİDROJEN	H <sub>2</sub>	0,78
AZOT	N <sub>2</sub>	3,16
KARBON MONOKSİT	CO	52,3
KARBONDİOKSİT	CO <sub>2</sub>	43,72
OKSİJEN	O <sub>2</sub>	0,04

### Üst Isıl Değer

Çelikhane gazının üst ısıl değeri; Eş. 3.2'deki genel denklemde, Çizelge 3.3'de hacimsel oranları verilen gazlar kullanılarak bulunur.

$$H_o = 12109 \times X_{H_2} + 11990 \times X_{CO}$$

$$H_o = 12109 \times 0,0078 + 11990 \times 0,5230 = 6365,2 \text{ (kJ/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

$$H_o = 1522,77 \text{ (kCal/Nm}^3\text{ – yakıt)}$$

### Alt Isıl Değer

Eş. 3.7'den hesaplanan toplam su miktarı ( $W_T$ ) ve yukarıda hesapladığımız üst ısıl değer miktarı ( $H_o$ ), Eş. 3.5 denkleminde yerine konularak alt ısıl değer ( $H_u$ ) hesaplanır.

$$W_T = 18,015 \times (X_{H_2} + 0)/22,4$$

$$W_T = 18,015 \times (0,0078 + 0)/22,4$$

$$W_T = 0,00627 \text{ (kg- buhar/Nm}^3\text{ – yakıt)}$$

$$H_u = 6365,2 \text{ (kJ/Nm}^3\text{-yakıt)} - 2440 \text{ (kJ/kg)} \times 0,00627 \text{ (kg- buhar/Nm}^3\text{ – yakıt)}$$

$$H_u = 6350 \text{ (kJ/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

$$H_u = 1519,1 \text{ (kCal/Nm}^3\text{ – yakıt)}$$

### 3.2.5. Kok gazının hacimsel analize göre ısı değer hesabı

Kok gazı hidrojen, azot, karbonmonoksit, karbondioksit, metan, oksijen, etilen ve etan karışımından oluşur. Bu gazların Karabük Demir Çelik tesislerinin kok gazının içindeki ortalama hacimsel % analizi aşağıdaki gibidir.

Çizelge 3.4. Kok gazının ortalama hacimsel % analizi

KOK GAZLARI		ORAN (%)
HİDROJEN	H <sub>2</sub>	59,1
AZOT	N <sub>2</sub>	3,34
KARBON MONOKSİT	CO	12,4
KARBONDİOKSİT	CO <sub>2</sub>	1,2
OKSİJEN	O <sub>2</sub>	0,36
METAN	CH <sub>4</sub>	21,9
ETİLEN	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	1,5
ETAN	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0,2

#### Üst Isıl Değer

Eş. 3.2 denkleminde hacimsel analiz değerleri (hacim oranları) yazılarak bulunur.

$$H_o = 12109 \times X_{H_2} + 11990 \times X_{CO} + 37743 \times X_{CH_4} + 66768 \times X_{C_2H_6} + 0$$

$$H_o = 12109 \times 0,591 + 11990 \times 0,124 + 37743 \times 0,219 + 66768 \times 0,002$$

$$H_o = 17042,43 \text{ (kJ/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

$$H_o = 4077,13 \text{ (kCal/Nm}^3\text{ - yakıt)}$$

#### Alt Isıl Değer

Eş. 3.7'den hesaplanan toplam su miktarı ( $W_T$ ) ve yukarıda hesapladığımız üst ısı değer miktarı ( $H_o$ ), Eş. 3.5 denkleminde yerine konularak alt ısı değer ( $H_u$ ) hesaplanır.

$$W_T = 18,015 \times (X_{H_2} + 2 X_{CH_4} + 3 X_{C_2H_6} + 0) / 22,4$$

$$W_T = 18,015 \times (0,591 + 2 \times 0,219 + 3 \times 0,002) / 22,4 = 0,213 \text{ (kg- buhar/Nm}^3 \text{ – yakıt)}$$

$$H_u = 17042,43 \text{ (kJ/Nm}^3 \text{-yakıt)} - 2440 \text{ (kJ/kg)} \times 0,213 \text{ (kg- buhar/Nm}^3 \text{ – yakıt)}$$

$$H_u = 16522,68 \text{ (kJ/Nm}^3 \text{-yakıt)}$$

$$H_u = 3952,8 \text{ (kCal/Nm}^3 \text{ – yakıt)}$$

Çizelge 3.5. Karabük Demir Çelik Tesislerindeki atık gazların ısı değerleri

Atık gazlar	Ho Üst ısı (kCal/Nm <sup>3</sup> -yakıt)	Hu Alt ısı (kCal/Nm <sup>3</sup> -yakıt)
Yüksek fırın gazı	768,78	758
Çelikhane gazı	1522,77	1519,1
Kok gazı	4077,13	3952,8

### 3.3. Yanma Hesapları

#### Teorik Özgül Yakma Havaasının Hesaplanması

Hacimsel analizi verilen bir gaz yakıt için gerekli özgül yakma hava miktarının hesaplanması aşağıdaki gibidir [Onat ve ark., 1988].

$$V_{ho} = 100 \times (MH_{H_2} \times XH_{H_2} + MH_{CO} \times XH_{CO} + MH_{CH_4} \times XH_{CH_4} + MH_{C_2H_6} \times XH_{C_2H_6} + MH_{C_3H_8} \times XH_{C_3H_8} + MH_{C_4H_{10}} \times XH_{C_4H_{10}}) / 21 \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte MH karışım içindeki her bir yanıcı elementin yanması için gerekli olan oksijen molekül sayısını (bunların değeri Çizelge 3.1'de verilen yanma denklemlerinden belirlenir), XH ise hacimsel oranını göstermektedir.

Buna göre H<sub>2</sub> (hidrojen), CO (karbon monoksit), CH<sub>4</sub> (metan), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etan), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propan) ve C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bütan) gaz karışımının teorik özgül yakma havası şöyledir.

$$V_{ho} = 100 \times (0,5 \times XH_{H_2} + 0,5 \times XH_{CO} + 2 \times XH_{CH_4} + 3,5 \times XH_{C_2H_6} + 5 \times XH_{C_3H_8} + 6,5 \times XH_{C_4H_{10}}) / 21 \text{ (Nm}^3 \text{-Hava/Nm}^3 \text{-yakıt)} \quad (3.11)$$



Kütlesel analizi verilen bir gaz yakıtın özgül yakma havası miktarı aşağıdaki ifadeden hesaplanabilir:

$$V_{ho} = 100 \times 32 \times [(MH_{H_2} \times XK_{H_2}/2,016) + (MH_{CO} \times XK_{CO}/28,011) + (MH_{CH_4} \times XK_{CH_4}/16,043) + (MH_{C_2H_6} \times XK_{C_2H_6}/30,07) + (MH_{C_3H_8} \times XK_{C_3H_8}/44,097) + (MH_{C_4H_{10}} \times XK_{C_4H_{10}}/58,124)]/23,3 \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte MH karışım içindeki her bir yanıcı elementin yanması için gerekli olan oksijen molekül sayısını (bunların değeri Çizelge 3.1'de verilen yanma denklemlerinden belirlenir), XK ise molekül oranını göstermektedir.

Buna göre H<sub>2</sub> (hidrojen), CO (karbon monoksit), CH<sub>4</sub> (metan), C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> (etan), C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> (propan) ve C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> (bütan) gaz karışımının teorik özgül yakma havası şöyle ifade edilebilir.

$$V_{ho} = 100 \times 32 \times [(0,5 \times XK_{H_2}/2,016) + (0,5 \times XK_{CO}/28,011) + (2 \times XK_{CH_4}/16,043) + (3,5 \times XK_{C_2H_6}/30,07) + (5 \times XK_{C_3H_8}/44,097) + (6,5 \times XK_{C_4H_{10}}/58,124)]/23,3 \quad (Nm^3/kg-yakıt) \quad (3.13)$$

Gerekli minimum oksijen miktarı O<sub>min</sub> ise aşağıdaki eşitlikten bulunur.

1 Nm<sup>3</sup> havada hacim olarak 0,21 Nm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> ve 0,79 N<sub>2</sub> olduğuna göre:

$$V_{ho} = (1/0,21) \times O_{min} \quad (Nm^3/Nm^3-yakıt) \quad (3.14)$$

### Gerçek Yakma Havaasının Hesaplanması

Teorik özgül yakma havası miktarı (V<sub>ho</sub>), yakıtın tamamının tam yanmasına göre yukarıdaki formüllerden hesaplanabilir. Gerçekte ise kullanılan yakıtta, yakma sistemine ve ihtiyaç duyulan enerji miktarına bağlı olarak tam yanma için gerekli havadan daha fazla hava kullanılmaktadır. Gerçek yakma havası miktarının (V<sub>h</sub>),

teorik özgül yakma havası miktarına oranı ( $V_{ho}$ ), hava fazlalık katsayısı ( $n$ ) ile ifade edilir.

$$n = V_h/V_{ho} \quad (3.15)$$

Gerçek yakma havası miktarı, hava fazlalık katsayısına bağlı olarak hesaplanır.

$$V_h = V_{ho} \times n \quad (\text{Nm}^3\text{-Hava/Nm}^3\text{-yakıt}) \quad (3.16)$$

Hava fazlalık katsayısı ( $n$ ) yakıt yakma sistemi ve işletme koşullarına bağlı olarak değişir. Azami kazan verimi elde edebilmek için hava fazlalığının belirli bir değeri aşmaması, mümkün olduğu kadar küçük tutulması gerekir. Hesaplarda pratikten tespit edilen değerler kullanılır. Gaz yakıt için  $n=1,1$  olarak alınabilir [Özkan, 1996].

#### Teorik Özgül Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması

Hacimsel analizi verilen bir gaz yakıtın birim hacminin yanması sonunda oluşan gazlar aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanabilir [Onat ve ark., 1988].

$$V_{go} = (C_0 + H_2 + 3 \times CH_4 + 5 \times C_2H_6 + 7 \times C_3H_8 + 9 \times C_4H_{10} + CO_2 + N_2 + 0,79 \times V_{ho}) \quad (3.17)$$

( $\text{Nm}^3\text{-Hava/Nm}^3\text{-yakıt}$ )

Kütlesel analize göre özgül duman gazlarının miktarını ise kütlesel analiz değerleri ve yanma denklemlerinden yararlanarak aşağıdaki gibi bulabiliriz.

$$V_{go} = [CH_4 \times (44,011 + 2 \times 18,015)/16,043] + [C_2H_6 \times (2 \times 44,011 + 3 \times 18,015)/30,07] + [C_3H_8 \times (3 \times 44,011 + 4 \times 18,015)/44,097] + [C_4H_{10} \times (4 \times 44,011 + 5 \times 18,015)/58,124] + CO_2 + N_2 + 0,767 \times V_{ho} \quad (\text{kg-eksozt/kg-yakıt}) \quad (3.18)$$

### Gerçek Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması (Vg)

Yakma havasının bulunmasında olduğu gibi, hava fazlalık katsayısına bağlı olarak hesaplanır.

$$V_g = V_{go} + (n-1) \times V_{ho} \quad (3.19)$$

### **3.3.1. Yüksek fırın gazı için özgül yakma havası ve yanma gazlarının hesaplanması**

#### Teorik Özgül Yakma Havasının Hesabı

Hacimsel analizi verilen yüksek fırın gazının özgül yakma havası hesabı Eş. 3.11'den hesaplanır.

$$V_{ho} = 100 \times (0,5 \times X_{H_2} + 0,5 \times X_{HCO} + 2 \times X_{CH_4}) / 21$$

$$V_{ho} = 100 \times (0,5 \times 0,0174 + 0,5 \times 0,2410 + 2 \times 0,003) / 21$$

$$V_{ho} = 0,643 \text{ (Nm}^3\text{-hava/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Gerçek Yakma Havasının Hesaplanması

Yüksek fırın gazının yanması için gerekli olan gerçek hava miktarı Eş. 3.16'dan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_h = 1,1 \times 0,643 = 0,7 \text{ (Nm}^3\text{-hava/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Teorik Özgül Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması

Yüksek fırın gazının gerekli özgül yanmış gaz miktarı Eş. 3.17'den aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$V_{go} = (CO + H_2 + 3 \times CH_4 + CO_2 + N_2 + 0,79 \times V_{ho})$$

$$V_{go} = 0,2410 + 0,0174 + 3 \times 0,003 + 0,1680 + 0,5706 + 0,79 \times 0,643$$

$$V_{go}=1,51 \text{ (Nm}^3\text{-eksozt/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

### Gerçek Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması (V<sub>gh</sub>)

Yüksek fırın gazının gerçek yanmada özgül yanmış gaz miktarı Eş. 3.19'dan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_g = 1,51 + (1,1 - 1) \times 0,643 = 1,57 \text{ (Nm}^3\text{-eksozt/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

### **3.3.2. Çelikhane gazı için özgül yakma havası ve yanma gazlarının hesaplanması**

#### Teorik Özgül Yakma Havaasının Hesabı

Hacimsel analizi verilen yüksek fırın gazının özgül yakma havası hesabı Eş. 3.11'den hesaplanır.

$$V_{ho}=100 \times (0,5 \times X_{H_2} + 0,5 \times X_{H_{CO}} + 0)/21$$

$$V_{ho}=100 \times (0,5 \times 0,0078 + 0,5 \times 0,5230)/21$$

$$V_{ho}=1,263 \text{ (Nm}^3\text{-hava/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Gerçek Yakma Havaasının Hesaplanması

Çelikhane gazının yanması için gerekli olan gerçek hava miktarı Eş. 3.16'dan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_h = 1,1 \times 1,263 = 1,39 \text{ (Nm}^3\text{-hava/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Teorik Özgül Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması

Çelikhane gazının gerekli teorik özgül yanmış gaz miktarı Eş. 3.17'den aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_{go}=(H_2 + C_0 + CO_2 + N_2 + 0,79 \times V_{ho})$$

$$V_{go}=0,0078 + 0,5230 + 0,4372 + 0,0320 + 0,79 \times 1,263$$

$$V_{go}=2 \text{ (Nm}^3\text{-eksozt/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Gerçek Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması (V<sub>gh</sub>)

Çelikhane gazının gerçek yanmada özgül yanmış gaz miktarı Eş. 3.19'dan aşağıdaki gibi hesaplanabilir

$$V_g = 2 + (1,1 - 1) \times 1,263 = 2,12 \text{ (Nm}^3\text{-eksozt/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

### **3.3.3. Kok gazı için özgül yakma havası ve yanma gazlarının hesaplanması**

#### Teorik Özgül Yakma Havaasının Hesabı

Hacimsel analizi verilen kok gazının özgül yakma havası hesabı Eş. 3.11'den hesaplanır.

$$V_{ho}=100 \times (0,5 \times X_{H_2} + 0,5 \times X_{H_{CO}} + 2 \times X_{H_{CH_4}} + 3,5 \times X_{H_{C_2H_6}})/21$$

$$V_{ho}=100 \times (0,5 \times 0,5910 + 0,5 \times 0,124 + 2 \times 0,219 + 3,5 \times 0,002)/21$$

$$V_{ho}=3,82 \text{ (Nm}^3\text{-hava/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Gerçek Yakma Havaasının Hesaplanması

Kok gazının yanması için gerekli olan gerçek hava miktarı Eş. 3.16'dan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_h=1,1 \times 3,82=4,2 \text{ (Nm}^3\text{-hava/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

#### Teorik Özgül Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması

Kok gazının gerekli özgül yanmış gaz miktarı Eş. 3.17'den hesaplanabilir.

$$V_{go} = (C_0 + H_2 + 3 \times CH_4 + 5 \times C_2H_6 + CO_2 + N_2 + 0,79 \times V_{ho})$$

$$V_{go} = 0,124 + 0,591 + 3 \times 0,219 + 5 \times 0,002 + 0,012 + 0,0334 + 0,79 \times 3,82$$

$$V_{go} = 4,44 \text{ (Nm}^3\text{-eksozt/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

### Gerçek Yanmış Gazların (baca gazı) Miktarının Hesaplanması (V<sub>gh</sub>)

Kok gazının gerçek yanmada özgül yanmış gaz miktarı Eş. 3.19'dan aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$V_g = 4,44 + (1,1 - 1) \times 3,82 = 4,82 \text{ (Nm}^3\text{-eksozt/Nm}^3\text{-yakıt)}$$

Çizelge 3.6. Karabük Demir Çelik Tesisindeki atık gazların hesaplanan özgül yakma havası ve yanmış gaz miktarları

Atık gazlar	Teorik Özgül Yakma Havası miktarı (V <sub>ho</sub> ) (Nm <sup>3</sup> hava/Nm <sup>3</sup> yakıt)	Gerçek Özgül Yakma Havası miktarı (V <sub>h</sub> ) (Nm <sup>3</sup> hava/Nm <sup>3</sup> yakıt)	Teorik Özgül Yanmış Gaz miktarı (V <sub>go</sub> ) (Nm <sup>3</sup> eksozt/Nm <sup>3</sup> yakıt)	Gerçek Özgül Yanmış Gaz miktarı (V <sub>g</sub> ) (Nm <sup>3</sup> eksozt/Nm <sup>3</sup> yakıt)
Yüksek fırın gazı	0,643	0,7	1,51	1,57
Çelikhane gazı	1,263	1,39	2	2,12
Kok gazı	3,82	4,2	4,44	4,82

### 3.4. Atık Gazların Enerji Miktarlarının Hesabı

KARDEMİR A.Ş.'nin yüksek fırın, kok fabrikaları ve çelikhaneğinde üretim proseslerinin doğal sonucu olarak önemli ölçüde enerjiye sahip gazlar (atık gazlar) oluşmaktadır. Bu gazlar işletme faaliyetinde olduğu sürece sürekli oluşur. Bu gazların atmosfere atılmasının ne kadar enerji kaybına ve dolayısıyla çevre kirliliğine sebep olduğunu ortaya koymak için enerji kapasiteleri hesaplanmıştır. Atık gazların sahip olduğu enerji aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır.

$$Q = m_Y \times H_u \quad (\text{kCal/h}) \quad (3.20)$$

$m_Y$  (Nm<sup>3</sup>/h): Saat'te işletmelerde oluşan atık gaz miktarı

$H_u$  (kCal/Nm<sup>3</sup>): Atık gazların alt ısıl değeri (Bkz. Çizelge 3.5)

Çizelge 3.7’de, işletmelerde oluşan ve tespiti yapılmış olan atık gaz miktarları ( $m_Y$ ), yukarıda hesapları yapılan atık gazların alt ısı değerleri ve atık gazların sahip olduğu enerji miktarları gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Karabük Demir Çelik Tesisi atık gazların hesaplanan enerji miktarları

Atık gazlar	İşletmelerde oluşan atık gaz miktarı ( $m_Y$ ) Nm <sup>3</sup> /h	Atık gazların alt ısı değeri ( $H_u$ ) kCal/Nm <sup>3</sup>	Atık gazların enerji miktarı $Q = m_Y \times H_u$ kCal/h
Yüksek fırın gazı	15 900	758	12 052 200
Çelikhane gazı	10 600	1 519,1	16 102 460
Kok gazı	1 300	3 952,8	5 138 640
Atık gazların toplam enerji miktarı (kCal/h) [ $\sum Q = Q_{\text{kok}} + Q_{\text{yüksek fırın}} + Q_{\text{Çelikhane}}$ ]			33 293 300

#### **4. DEMİR ÇELİK TESİSİ ATIK GAZLARI KARIŞIMINI KULLANAN BUHAR KAZANI VE ISIL HESAPLAMALAR**

Bu bölümde, buhar kazanları kısaca tanıtılacak ve kullanılacak olan buhar kazanı belirlenecektir. Isıl hesaplamalar kısmında buhar kazanı yanma odası sıcaklığının hesabı, yanma odası sıcaklığının hesaplanması için gerekli olan toplam yakma havası ve yanma gazı debileri, kazan ısı verim hesabı, ısı verim hesabı için gerekli olan özgül ısı değeri ve baca gazı kaybının hesabı, son olarak da üretilen buhar miktarının hesabı yapılacaktır.

##### **4.1. Buhar Kazanları**

Yakıtın kimyasal enerjisini yanma yoluyla ısı enerjisine dönüştüren ve bu ısı enerjisini iş akışkanına aktaran sistemlere ‘kazan’ denir. Kazanlar; sıcak su veya istenilen basınç, sıcaklık ve miktarda buhar elde etmek amacı ile kullanılan cihazlardır. Kazanların verimi, yanma sonucu oluşan ısı enerjisinin hangi oranda iş akışkanına veya kullanma mahalline taşınmasına bağlıdır. Yanma sonucu oluşan ısı enerjisinden ne kadar yüksek verimle yararlanırsak, o oranda yakıt tüketimi ve atmosfere atılan atık gazlar az olur.

Yakıtta depolu bulunan kimyasal enerji, kazan yanma odasında meydana gelen yanma süreci ile ısı enerjisine dönüşür. Yanma sonucu oluşturulan yanma gazları (baca gazları) ısılarını konveksiyon ve radyasyon yoluyla kazan borularına vererek boruların içersinden geçmekte olan suyun sıcaklığının yükselmesini sağlarlar. Su sıcaklığı kazan basıncının karşılığı olan buharlaşma sıcaklığına eriştiğinde buharlaşma başlar. Bu biçimde meydana gelen su-buhar karışımı genellikle ayırım deposu (dom) denilen bir haznede doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Ayırıştırılan doymuş buhar kızdırıcıya gönderilerek kızgın buhara dönüştürülür. Su ise soğuk düşme boruları üzerinden tekrar buharlaştırıcıya gönderilir. Kazanların yanma odası bölümünde alev ile kazan boruları arasındaki ısı transferinin tamamına yakını radyasyon ile olur. Bu tip kazanlara “radyasyon kazanları” denir. Yanma gazlarının sıcaklığı ne kadar yüksek ise, kazandaki ısı transferinin, radyasyon yolu ile



meydana gelen bölümü o kadar büyük olur. Kazanların son kızdırıcı bölümünde ve ön ısıtıcılarında ısı transferi özellikle konveksiyon yolu ile olmaktadır.

Kazanların yanma odası sıcaklıkları, yanma odası tipleri ile yakından ilgilidir. Izgaralı ocaklarda bu değer 1200 °C, katı cürüflü tip ocaklarda 1400 °C, sıvı cürüflü pulverize tip ocaklarda ise 1600 °C dolaylarındadır [Heper, 1993].

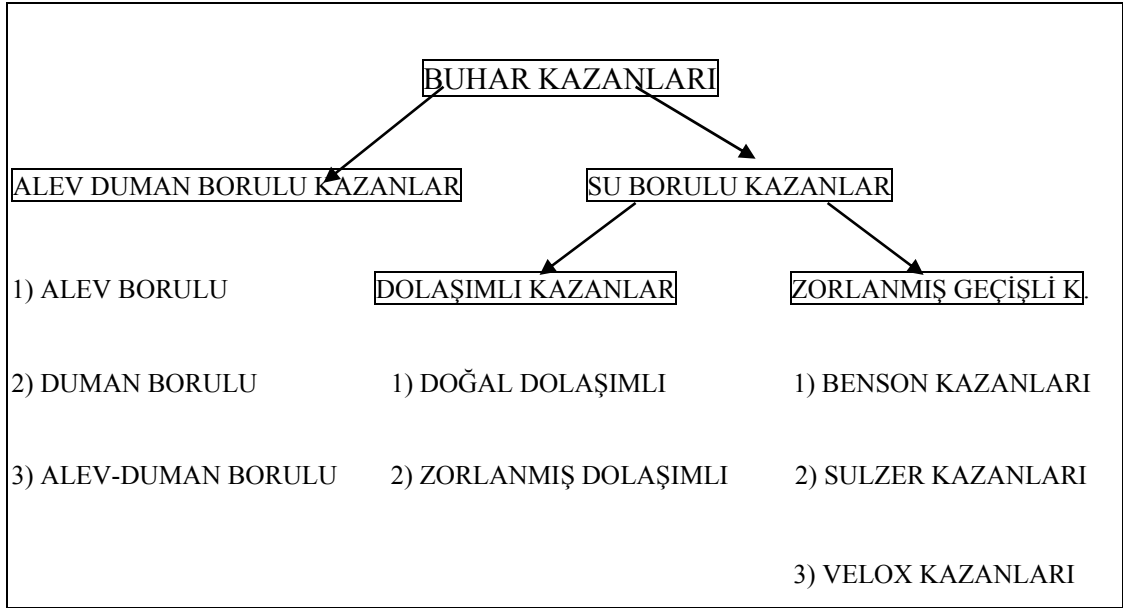
Kazanların yakma sistemleri, yanma biçimlerine göre değişmektedir. Yüzeyde, akışkanlaştırılmış ortamda ve hacimde yanmalı olarak üç grup altında toplanırlar. Yüzeyde yanmalı, ızgaralı yakma sistemleri; akışkanlaştırılmış ortamda yanmalı, akışkan yataklı yakma sistemleri; hacimde yanmalı ise brülörlü yakma sistemleri olarak isimlendirilir. Yakma sistemleri ve bazı özellikleri aşağıda Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yakma sistemleri ve özellikleri

SİSTEM ÖZELLİKLERİ	YAKMA SİSTEMLERİ		
	IZGARALI	AKIŞKANYATAKLI	BRÜLÖRLÜ
YANMA BİÇİMİ	Yüzeyde yanmalı	Akışkanlaştırılmış ortamda yanmalı	Yanma odası hacminde askıda yanmalı
YAKIT TANE BÜYÜKLÜĞÜ	150–5 mm	10–0,5 mm	200–0µm
YANMA ISIL KAPASİTESİ	Küçük	Orta	Büyük
YANMA EVRELERİNDE YAKIT DİNAMİĞİ	Yüzeyde hareketsiz	Akışkanlaştırılmış ortamda yoğun türbülanslı	Hacimde askıda
KÖMÜR GAZLAŞMA VE TUTUŞMA ISI DEPOSU	Kor tabakası	Akışkan yatak	Alev
YAKIT	Kok, taşkömürü, Briket, standart kömür	Her türlü kömür ve atıklar	Toz kömür, sıvı ve gaz yakıtlar
YAPISAL EMİSYON FİLTRELEME	Yok	Var	Çok sınırlı
EMİSYON KONTROLÜ	Baca gazı arıtma sistemleri gerekli	Baca gazı arıtma Sistemleri gereksiz	Baca gazı arıtma sistemleri gerekli

## 4.2. Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması

Kazanlar değişik şekillerde sınıflandırılabilir. İş akışkanını akış düzenine göre yapılan en yaygın kazan sınıflandırılması Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Buhar kazanlarının iş akışkanına göre sınıflandırılması

### 4.2.1. Alev – duman borulu kazanlar

Bu kazanlar silindirik bir gövde ve bu gövdenin içersinde uzanan duman borularından meydana gelir. Kazanın yanma odası bölümü, ya duman borularının başlangıç kısmında ya da kazanın ön veya altındaki bir bölmededir. Kömür ızgara üzerinde yakılmakta ve baca gazları boruların içersinden geçerek duman hücrelerine gelmekte buradan da bacaya verilmektedir. Duman gazları boruların içinden geçerken çevresindeki suyu ısıtarak buharlaştırmaktadır. Buharlaşan su, borularla alınmakta ve duman hücrelerinde kızdırılarak kullanma yerlerine gönderilmektedir.

Duman borulu kazanların, çok yüksek kalitede besleme suyuna ihtiyaç göstermemeleri ve büyük su hacimlerine sahip olması nedeniyle ani yük değişimlerine uyum sağlama avantajları bulunmaktadır. Bununla birlikte kapasitelerinin çok küçük olması, işletmeye alma ve yük değiştirme sürelerinin çok

uzun olması, çok yer kaplamaları ve en çok 20 bar basınç için dizayn edilebilmeleri gibi dezavantajları bulunmaktadır. Günümüzde bu kazanlar termik santrallerde ve büyük entegre tesislerin kuvvet santrallerinde kullanılmamaktadır.

#### **4.2.2. Su borulu kazanlar**

Büyük sanayi ve termik santral kazanları su borulu kazanlardır. Bu kazanlar, duman borulu kazanlara oranla, aynı miktardaki kazan gücü için çok daha az yer kaplarlar, işletmeye alma ve yük değiştirme süreleri daha kısadır. Ancak, boruların temizlenebilme olanakları zayıf olduğundan, son derece temiz bir besleme suyuna ihtiyaç gösterirler. Diğer bir dezavantaj ise, su hacimlerinin az olması nedeniyle değişen yüklere ayak uydurabilmeleri için çok hassas otomatik kontrol sistemlerine ihtiyaç göstermeleridir. Termik santral kazanları ve kuvvet santral kazanları su borulu kazanlar sınıfına girmektedir.

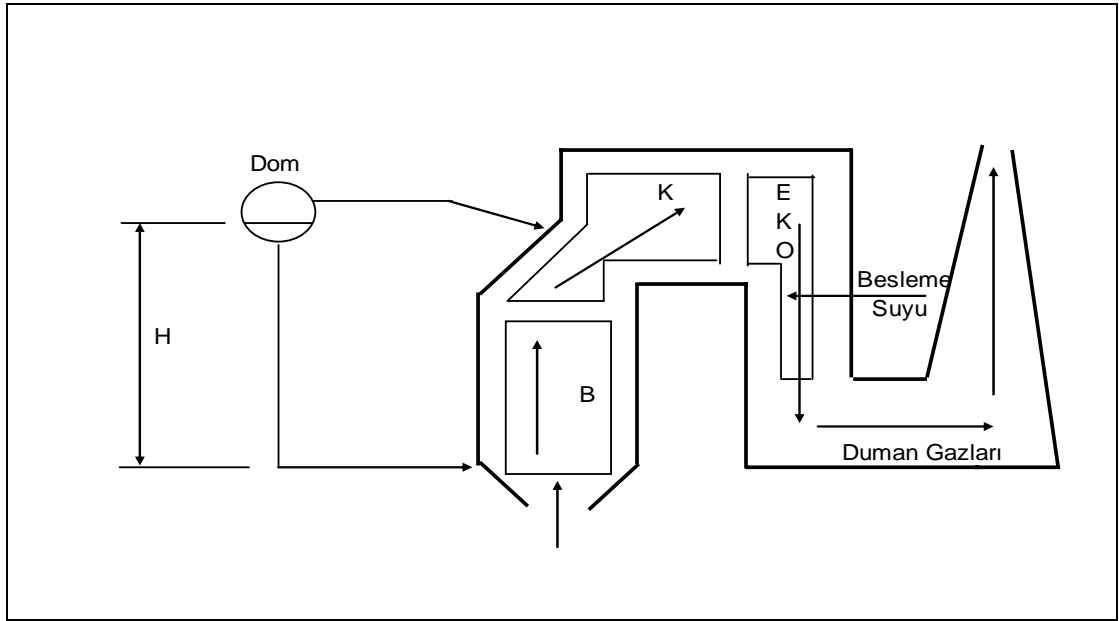
#### Dolaşımli kazanlar

Dolaşımli kazanlarda, iş akışkanının dolaşımı, dolaşım kuvveti vasıtasıyla sağlanmaktadır. Bu tip kazanlarda buhar debisini artırmak için dolaşım hızını artırmak gerekmektedir. Yanma odasında, yanan yakıt baca gazlarını meydana getirir. Sıcak baca gazları Şekil 4.2’de görüldüğü gibi ısılarını kazan borularındaki suya vererek kazanı baştanbaşa kat ederler.

Dom (Ayırım deposu), iş akışkanının üç fazını birleştiren düğüm noktasıdır. Bu özelliği, kazan tasarımı ve ısı transferi hesaplarını kolaylaştırırken diğer taraftan kazan otomatik kontrolünü kolaylaştırır. Bir şamandıra vasıtasıyla sistemde su seviyesi kontrol edilebilmekte ve kütle dengesi sağlanmaktadır. Ayrıca buhar basınç kontrolü yapılarak enerji dengesi de kontrol edilebilir.

Doğal dolaşımli kazanlarda besleme suyu, önce besleme suyu ön ısıtıcısına gelir. Burada bir ön ısıtmaya tabi tutulan su, yoluna devam ederek doma girer. Daha sonra domdan çıkarak, kazan örtüsünün dışında kalan iniş borularından aşığıya dökülür.

Burada kolektörlerde toplanan buharlaştırıcı borularda ısınarak yükselir ve tekrar doma döner. Domdan başlayıp domda son bulan bu dolaşım tamamen doğal bir dolaşımdır. Doma dönen su-buhar karışımı burada doymuş buhar ve su olmak üzere ikiye ayrılır. Su, iniş borularından aşağı inerek yeni bir dolaşıma başlarken, doymuş buhar kızdırıcılara gönderilerek kızdırılır ve daha sonrada türbine gönderilir.



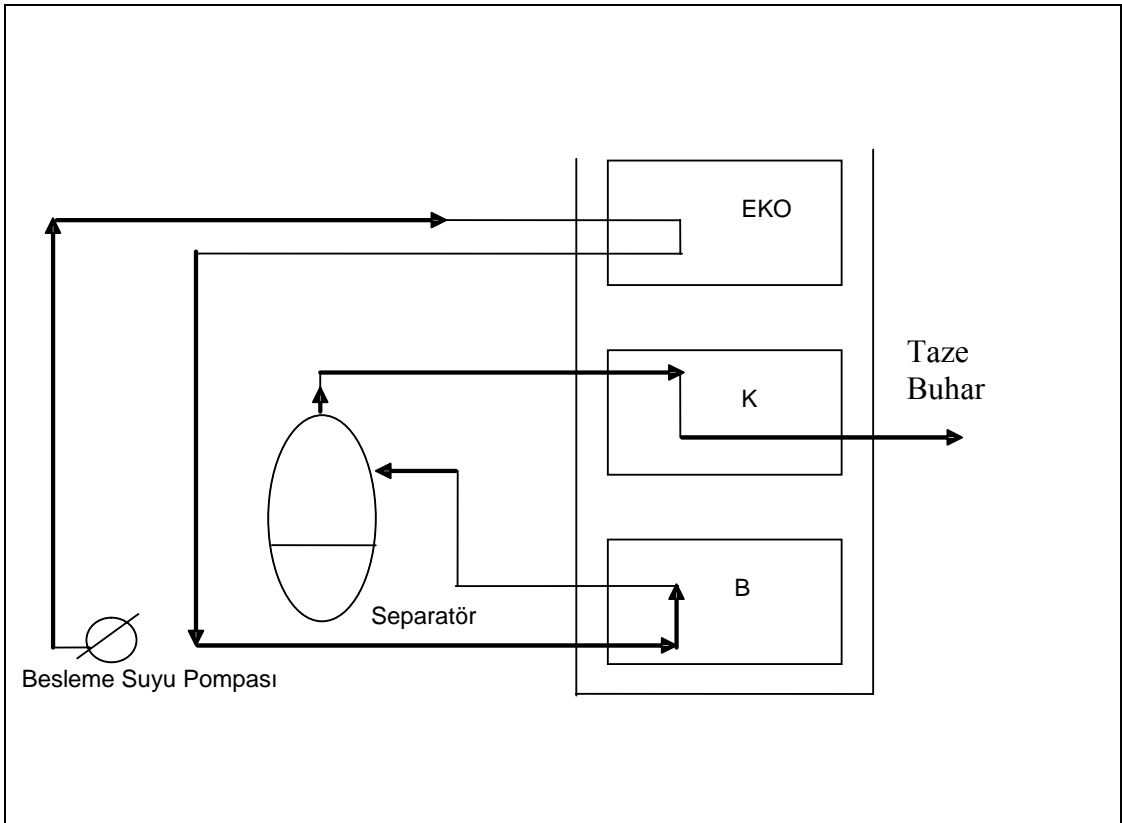
Şekil 4.2. Doğal dolaşimli bir kazanın şeması  
B: Buharlaştırıcı, K: Kızdırıcı, EKO: Ekonomizer

Doğal dolaşimli kazanlarda basınç artırıldığında iniş borularındaki suyun özgül ağırlığı ile buharlaştırıcı borulardaki su-buhar karışımının özgül ağırlığı arasındaki fark gittikçe küçülür. Bu ise dolaşımın sağlanabilmesine engel olur. Zorlanmış dolaşimli kazanlar bu fiziksel sınırlamadan dolayı ortaya çıkmıştır. Besleme suyu bir pompa vasıtasıyla buharlaştırıcı borulara basılmaktadır. Doğal dolaşimli ve zorlanmış dolaşimli olmak üzere iki çeşit olan bu kazanlar, maksimum 180 bar basınçta ve 1000 (t/h) debide buhar üretebilmektedir.

#### Zorlanmış geçişli (Benson ve Sulzer) kazanlar

Dünya enerji gereksinimi hızla arttığından ve bu ihtiyaç genelde buhar kazanları ile karşılandığından, buhar kapasitesi önündeki sınırların kaldırılması gerekiyordu.

Dolaşımli kazanlardaki dom'dan kaynaklanan basınç ve buhar debisindeki sınırlamaların giderilmesi amacıyla zorlanmış geçişli kazanlar tasarlanmıştır. Devreye alma süresi daha kısa ve domsuz olan bu kazanlarda faz değişimi noktaları sabit değil yani ısıtma yüzeyleri alanları değişkendir. Dolayısıyla buhar eldesi için fiziksel sınırlar ( $P_B$ ,  $M_B$ ) ortadan kalkmış sadece ekonomik sınırlamalar ile bu kazanlar oluşturulmuştur. Bu kazanların dezavantajlarından biri dom olmamasıdır. Dom olmadığından dolayı besleme suyunun kalitesinin çok duyarlı yani arı su olması gerekir. Daha sonra bu kazanlara, Şekil 4.3'de görüldüğü gibi separatör eklenmesiyle domun sağladığı avantajlar kazanılmıştır. Böylece kazan otomatik kontrolü kolaylaşmıştır.



Şekil 4.3. Zorlanmış geçişli bir (sulzer) kazanın şeması  
B: Buharlaştırıcı, K: Kızdırıcı, EKO: Ekonomizer

### 4.3. Buhar Kazanı Isıl Hesapları

Bu bölümde yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazı karışımı ile çalışan bir buhar kazanının ısı hesapları yapılacaktır. Üretilen buhar miktarının hesaplanabilmesi için kazan ısı yükünün bilinmesi gerekmektedir. Bölüm 3’de KARDEMİR Demir Çelik İşletmelerinde yan ürün olarak açığa çıkan yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazının debisi, ısı değerleri vb. hususlar detaylı olarak verilmiştir. Burada bu gaz karışımını kullanan kazanın üretebileceği buhar miktarı ve ilgili diğer hesaplamalar yapılmıştır.

#### 4.3.1. Toplam yakma havası ve yanma gazı debileri

Toplam yakma havası ve yanma gazı debileri, her bir gaz için (yüksek fırın, çelikhane ve kok gazı) Bölüm 3’de verilen değerler kullanılarak yakma havası debisi ve yanma gazı debisi, Eş. 4.1 ve Eş.4.2’den faydalanarak hesaplanabilir.

$$V_{HO} (\text{Nm}^3 \text{hava/h}) = My (\text{Nm}^3 \text{yakıt/h}) \times V_h (\text{Nm}^3 \text{hava/Nm}^3 \text{yakıt}) \quad (4.1)$$

$$V_{GO} (\text{Nm}^3 \text{gaz/h}) = My (\text{Nm}^3 \text{yakıt/h}) \times V_g (\text{Nm}^3 \text{gaz/Nm}^3 \text{yakıt}) \quad (4.2)$$

Toplam yakma havası debisi ( $\sum V_{HO}$ ) ve yanma gazı debisi ise ( $\sum V_{GO}$ ), kazanda kullanılan üç farklı yakıt olan yüksek fırın, çelikhane ve kok gazları için yukarıdaki formüllerle hesaplanan değerler toplanarak aşağıdaki gibi bulunur

$$\sum V_{HO} = \sum_{i=1}^N V_{Hi} \quad (4.3)$$

$$\sum V_{GO} = \sum_{i=1}^N V_{Gi} \quad (4.4)$$

Buhar kazanının yanma odası sıcaklığının hesaplanmasında toplam yakma havası debisi ( $\sum V_{HO}$ ) ve toplam yanma gazı debisi ( $\sum V_{GO}$ ) kullanılır. Yüksek fırın gazı,

çelikhane gazı ve kok gazı için hesaplanan yakma havası debileri ve yanmış gaz miktarları Çizelge 3.6'dan, işletmelerde oluşan atık gaz miktarları da Çizelge 3.7'den alınarak toplam yakma havası ve yanmış gaz miktarları Eş. 4.3 ve Eş. 4.4'den aşağıdaki gibi hesaplanırlar.

$$\sum V_{HO} = 15\,900 \times 0,7 + 10\,600 \times 1,39 + 1300 \times 4,2$$

$$\sum V_{HO} = 31\,324 \text{ (Nm}^3 \text{ hava/h)}$$

$$\sum V_{GO} = 15\,900 \times 1,57 + 10\,600 \times 2,12 + 1300 \times 4,82$$

$$\sum V_{GO} = 53\,701 \text{ (Nm}^3 \text{ gaz/h)}$$

Herhangi bir T ( $^{\circ}\text{C}$ ) sıcaklığındaki kazan bölgesinde, yakma havası ve yanma gazı debilerinin hesabı Eş. 4. 5 ve Eş. 4. 6 kullanılarak yapılabilir.

$$V_{HO}(\text{Nm}^3 \text{ hava/h}) = V_{HO}(\text{Nm}^3 \text{ hava/h}) (273 + T) / 273 \quad (4.5)$$

$$V_{GO}(\text{Nm}^3 \text{ gaz/h}) = V_{GO}(\text{Nm}^3 \text{ gaz/h}) (273 + T) / 273 \quad (4.6)$$

#### 4.3.2. Yanma odası sıcaklığının hesaplanması

Yanma odası sıcaklığının tespiti için, yanma odasına verilen ısı toplamının belirlenmesi gerekir. Yanma odasının ısı kaynakları ise yakıt ve sıcak havadır. Bu bilgiler ışığında yanma odasının ısı yükünün hesabı için Eş. 4.7 kullanılır.

$$Q_{YO} = Q_{YAKIT} + Q_{HAVA} \quad (4.7)$$

$$V_{GO} \times C_{PG} \times T_{YO} = M_y \times H_u + V_{HO} \times C_{PH} \times T_H \quad (4.8)$$

$$T_{YO} = [M_y \times H_u + V_{HO} \times C_{PH} \times T_H] / (V_{GO} \times C_{PG}) \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'dan görüldüğü gibi yanma odası sıcaklığının hesaplanabilmesi için gazın özgül ısı değerinin de bilinmesi gerekir. Bu nedenle çözüm için, yanma odası sıcaklığını ve özgül ısı ifadesini içeren ikinci bir denklem gerekmektedir. Bunun içinde Eş. 4.10'daki genel üçüncü derecedeki eşitlikten faydalanılır [Çengel, 1994].

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (\text{kJ/kmol-K}) \quad (4.10)$$

Eş. 4.10’da belirtilen ortalama özgül ısı değeri, yanma gazını oluşturan diğer gazlar için teker teker bulunur ve bu gazların hacimsel oranları dikkate alınarak ağırlıklı ortalama yoluyla, gazın o sıcaklık için bir fonksiyonu olacak şekilde özgül ısı belirlenmiş olur. Bütün gazlar için katsayı değerleri EK-3’deki çizelgeden belirlenerek Eş. 4.10’daki genel denkleme uyarlanırsa aşağıdaki eşitlikler oluşur.

$$C_{P\ CO2@T} = 22,26 + 0,05981 \times T - 3,501 \times 10^{-5} \times T^2 + 7,469 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.11)$$

$$C_{P\ SO2@T} = 25,78 + 0,05795 \times T - 3,812 \times 10^{-5} \times T^2 + 8,612 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.12)$$

$$C_{P\ NO@T} = 29,34 - 9,395 \times 10^{-4} \times T + 9,747 \times 10^{-6} \times T^2 - 4,187 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.13)$$

$$C_{P\ NO2@T} = 22,9 + 0,05715 \times T - 3,52 \times 10^{-5} \times T^2 + 7,87 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.14)$$

$$C_{P\ H2O@T} = 32,24 + 0,001923 \times T + 1,055 \times 10^{-5} \times T^2 - 3,595 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.15)$$

$$C_{P\ HAVA@T} = 28,11 + 0,001967 \times T + 4,802 \times 10^{-6} \times T^2 - 1,966 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.16)$$

$$C_{P\ H2@T} = 29,11 - 0,001916 \times T + 4,003 \times 10^{-6} \times T^2 - 8,704 \times 10^{-10} \times T^3 \quad (4.17)$$

$$C_{P\ N2@T} = 28,9 - 0,00157 \times T + 8,081 \times 10^{-6} \times T^2 - 2,873 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.18)$$

$$C_{P\ CO@T} = 28,16 + 0,001675 \times T + 5,372 \times 10^{-6} \times T^2 - 2,222 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.19)$$

$$C_{P\ O2@T} = 25,48 + 0,0152 \times T - 7,155 \times 10^{-6} \times T^2 + 1,312 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.20)$$

$$C_{P\ CH4@T} = 19,89 + 0,05024 \times T + 1,269 \times 10^{-5} \times T^2 - 1,101 \times 10^{-8} \times T^3 \quad (4.21)$$

$$C_{P\ C2H4@T} = 3,95 + 0,1564 \times T - 8,344 \times 10^{-5} \times T^2 + 1,767 \times 10^{-8} \times T^3 \quad (4.22)$$

$$C_{P\ C2H6@T} = 6,9 + 0,1727 \times T - 6,406 \times 10^{-5} \times T^2 + 7,285 \times 10^{-9} \times T^3 \quad (4.23)$$

$$C_{P\ C2H2@T} = 21,8 + 0,092143 \times T - 6,527 \times 10^{-5} \times T^2 + 1,821 \times 10^{-8} \times T^3 \quad (4.24)$$

Bu yaklaşımın gerçek değere nazaran hata payları EK – 3’deki çizelgede verilmiştir. Bu değerlerden de anlaşıldığı gibi bulunacak özgül ısı değerleri gerçek değer için kullanılabilir.

Hava ısıtıcıya havanın giriş ve çıkış sıcaklıkları [ $T_{HG}-T_{HC}=285-40$  ( $^{\circ}C$ )] tasarım değerleri olarak kabul edilebilir.

Yanma odasına giren havanın giriş sıcaklığındaki [ $(T_{HG}=285(^{\circ}C)=558(^{\circ}K))$ ] özgül ısı değeri Eş. 4.16’ dan gerekli birim dönüşümü yapılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{P\ HAVA@285^{\circ}C} = C_{P\ HAVA@558^{\circ}K} = 30,4 \text{ (kJ/kmol } ^{\circ}K) = 0,324 \text{ (kCal/Nm}^3\text{ } ^{\circ}K)$$



Yanma gazını oluşturan bütün gazların özgül ısı değerleri, gazların toplam yanma gazı içindeki hacimsel oranı dikkate alınarak ortalama tek bir özgül ısı değerine dönüştürülmüş olunur.

$$C_{PG@T} = \sum_{i=1}^N (C_{P i@T} \times X_i) \quad (4.25)$$

Eş. 4.25 kullanılarak denklemler çözülür ve gerekli birim dönüşümleri yapılırsa yanma odası sıcaklığındaki özgül ısı ve bu değere bağlı olarak yanma odası sıcaklığı Eş. 4.9'dan aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$T_{YO} = [My \times Hu + V_{HO} \times C_{PH} \times T_H] / (V_{GO} \times C_{PG})$$

$\sum My \times Hu$  değeri Çizelge 3.7'den alınabilir. Toplam yakma havası debisi ( $V_{HO}$ ) ve toplam yanma gazı debisi ( $V_{GO}$ ) Eş. 4.3 ve Eş. 4.4'den hesaplanır. Yanma odasına giren havanın sıcaklığı [ $T_H=285-40$  ( $^{\circ}C$ )] yukarıda tasarım değerleri olarak kabul edilmişti. Özgül ısı değeri de yukarıda [ $C_{PHAVA}=0,324$  ( $kCal/Nm^3 \text{ } ^{\circ}K$ )] hesaplandı. Bütün bu değerler Eş. 4.9'da yerlerine konularak çözülürse aşağıda görüldüğü gibi Eş. 4.26 elde edilir.

$$T_{YO} = [33\,293\,300 \text{ (kCal/h)} + 31\,324 \text{ (Nm}^3 \text{ hava/h)} \times 0,324 \text{ (kCal /Nm}^3 \text{ } ^{\circ}K) \times 245 \text{ (}^{\circ}K)] / [(53\,701 \text{ (Nm}^3 \text{ gaz/h)} \times C_{PG})]$$

$$T_{YO} \times C_{PG} = 666,278 \text{ (kCal/Nm}^3) \quad (4.26)$$

Eş. 4.25'den, hacimsel oranları belli olan yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazının ısı değerleri bulunur. Yanma odasındaki karışımının değerleri ise şöyle bulunur. Her bir gazın mol kütlelerinin toplam gazın mol kütlelerine oranından karışımdaki oranları bulunur. Örneğin yüksek fırın gazı için; yüksek fırın gazının mol kütleleri 30,15 ve yüksek fırın, çelikhane ve kok gazının toplam mol kütleleri ise 75,16 olduğundan yüksek fırın gazının mol oranı  $Y_{YF}=m_{YF}/\sum m=0,41$  olarak bulunur. Benzer şekilde  $Y_{\text{ÇELİKHANE}}=0,46$  ve  $Y_{\text{KOK}}=0,13$  olarak hesaplanırlar. Eş. 4.25'den

hesaplanan yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazının ısı değerleri, karışımdaki mol oranlarıyla çarpılarak toplanırsa,  $T_{YO}$  (yanma odası sıcaklığı)'na bağlı bir denklem de buradan bulunur.

$$C_{PG} = [20,44 + 0,0184 (T_{YO}) - 6,71 \times 10^{-6} (T_{YO})^2 + 0,7508 \times 10^{-9} (T_{YO})^3]$$

(kJ/kmol-K)

Eş. 4.10'daki gibi gerekli birim dönüşümleri yapılırsa;

$$C_{PG} = [0,218 + 0,0001965 (T_{YO}) - 0,0716 \times 10^{-6} (T_{YO})^2 + 0,00801 \times 10^{-9} (T_{YO})^3]$$

(kCal/Nm<sup>3</sup> °K) (4.27)

Eş. 4.26 ve Eş. 4.27'nin çözümünden; yanma odası sıcaklığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{PG@T_{YO}} = 0,457 \text{ (kCal/Nm}^3 \text{ °C)} = 1,910 \text{ (kJ/Nm}^3 \text{ °C)}$$

$$T_{YO} = 1730 \text{ (°K)} = 1457 \text{ (°C)}$$

Yanma odası sıcaklığı için, yakıt çeşitlerine göre standart pratik değerler mevcuttur. Bu değerler aşağıdaki Çizelge 4.2'de görüldüğü gibidir. Çizelgeden de görüldüğü gibi gaz yakıtların yanma odası sıcaklık değeri, hesap yolu ile bulduğumuz değerle uygunluk sağlamaktadır.

Çizelge 4.2. Yakıt çeşitlerine göre pratik yanma odası sıcaklığı değerleri (°C) [Onat ve ark., 1988]

Izgaralı Yanma Odaları					Toz kömür Yanma Odaları	Sıvı yakıt Yanma Odaları	Gaz yakıt Yanma Odaları	
Taş kömür	Linyit	Turba	Kok	Antrasit			Zengin yakıt	Fakir yakıt
1000–1350	1000–1200	900–1200	1150–1400	1200–1400	1300–1400	1100–1600	900–1300	1100–1500

### 4.3.3. Yüksek fırın, kok ve çelikhane gazlarını yakan kazanın baca gazı özgül ısı değerlerinin hesabı

Kazan ısı veriminin hesabı yapılırken ihtiyaç olacak donelerden biride yüksek sıcaklıkta salınan baca gazı ile kaybedilen ısıdır ( $K_B$ ).  $K_B$ 'nin hesaplanabilmesi için baca gazının özgül ısısının bilinmesi gerekir. Yanma gazının kullanılabilirliğinin artırılması, genel enerji verimliliğinin de artırılmasını sağlamaktadır. Ancak yanma gazının kullanılmasının da belli bir alt sınırı bulunmaktadır. Yanma gazının dış ortam sıcaklığında değil de yaklaşık  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  civarında salınması gerekmektedir. Aksi takdirde düşük sıcaklıktaki gazın geçtiği bölümlerde kükürt kaynaklı asit korozyonu görülecektir. Bu da işletme ömrünü kısaltacağından istenmeyen bir durum teşkil edecektir.

Baca gazının özgül ısı değerini hesaplayabilmek için baca gazı içerisinde bulunan  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ , ve  $\text{C}_2\text{H}_2$  gazlarının  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  derecedeki özgül ısı değerlerinin hesaplanması gerekir. Bu değerler yukarıda verilen Eş. 4.11–4.24'den hesaplanabilir. Örneğin Eş. 4.11'den;  $150\text{ }^{\circ}\text{C} = 423\text{ }^{\circ}\text{K}$  deki  $\text{CO}_2$ 'nin özgül ısı değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$C_{P\text{ CO}_2@150} = 22,26 + 0,05981 \times 423 - 3,501 \times 10^{-5} \times 423^2 + 7,469 \times 10^{-9} \times 423^3$$

$$C_{P\text{ CO}_2@150} = 0,447 \text{ (kCal/m}^3 \text{ }^{\circ}\text{K)}$$

Benzer şekilde diğer baca gazı bileşenlerinin  $150\text{ }^{\circ}\text{C} = 423\text{ }^{\circ}\text{K}$  deki özgül ısı değerleri de hesaplanıp tablo halinde aşağıdaki Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Baca gazı bileşenlerinin özgül ısı değeri

	BACA GAZI BİLEŞENLERİ								
	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{N}_2$	$\text{CO}$	$\text{O}_2$	$\text{CH}_4$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_2$
ÖZGÜL ISIL DEĞER $C_p$ (kCal/m <sup>3</sup> °K) 150 °C	0,447	0,309	0,314	0,316	0,328	0,454	0,603	0,737	0,539

Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'deki yüksek fırın gazı, kok gazı ve çelikhane gazının ortalama hacimsel analiz değerleri ve yukarıda Çizelge 4.3'deki baca gazı bileşenlerinin özgül ısı değerleri kullanılarak yüksek fırın gazı, kok gazı ve çelikhane gazlarının Eş. 4.25'den hesaplanan özgül ısı değerleri aşağıdaki gibidir.

Yüksek fırın gazı:  $C_{P_{YF@150}} = 0,337$  (kCal/m<sup>3</sup> °K)

Kok gazı:  $C_{P_{kok@150}} = 0,348$  (kCal/m<sup>3</sup> °K)

Çelikhane gazı:  $C_{P_{çelikhane@150}} = 0,372$  (kCal/m<sup>3</sup> °K)

#### 4.3.4. Baca gazı kaybı hesabı

Birim hacimdeki bir yakıtın yanması sonucu açığa çıkan ısının baca gazı ile kaybedilen miktarının, yakıtın toplam ısı değerine yüzdesi ( $K_B$ ), Eş. 4.28'den aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$K_B = \{ [ V_g \times C_{PG} \times ( T_B - T_{KD} ) ] / H_u \} \cdot 100 \quad ( \% ) \quad (4.28)$$

$V_g$  (Nm<sup>3</sup> gaz/ Nm<sup>3</sup> yakıt): Özgül yanmış gaz miktarı

$C_{PG}$  (kCal/m<sup>3</sup> °K): Yanma gazı özgül ısısı

$T_B$  (°C) (Baca gazı çıkış sıcaklığı): 150+273=423 °K

$T_{KD}$  (°C) (Kazan dairesi sıcaklığı): 25+273=298 °K değerlerini seçebiliriz.

Demir çelik tesisi atık gazlarının alt ısı değerlerini( $H_u$ ) Çizelge 3.5'den, gerçek özgül yanmış gaz miktarlarını( $V_g$ ) Çizelge 3.6'dan alabiliriz. Yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazının baca gazı sıcaklığındaki (150 °C) özgül ısı değerleri de Bölüm 4.3.3'de hesaplandı. Bu bilgiler ışığında bulunan değerler Eş. 4.28'de yerlerine konulursa yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazı için baca gazı kayıpları aşağıdaki gibi bulunurlar.

Yüksek fırın gazı için baca gazı kaybı( $K_B$ )<sub>YF</sub> = 8,72 ( % )

Çelikhane gazı için baca gazı kaybı( $K_B$ )<sub>ÇELİKHANE</sub> = 6,48 ( % )

Kok gazı için baca gazı kaybı ( $K_B$ )<sub>KOK</sub> = 5,30 ( % )

### Toplam baca gazı kaybı

Bölüm 4.3.2’de her bir gazın mol kütlelerinin, toplam gazın mol kütlelerine oranından gazların yanma odasındaki karışımının oranları bulunmuştu. Bu oranlar yüksek fırın gazı için  $Y_{YF}=0,41$ ; çelikhane gazı için  $Y_{\text{ÇELİKHANE}}=0,46$  ve kok gazı için de  $Y_{\text{KOK}}=0,13$  olarak bulunmuştu. Toplam baca gazı kaybını hesaplariken, her bir gazın baca kaybının karışımındaki kütle oranıyla çarpımları, gazın gerçek baca kaybını vermektedir. Bu bilgiler ışığında atık gaz karışımının yanması sonucu oluşan ısının baca gazı ile kaybedilen toplam yüzdesi aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sum K_B = Y_{YF} \times (K_B)_{YF} + Y_{\text{ÇELİKHANE}} \times (K_B)_{\text{ÇELİKHANE}} + Y_{\text{KOK}} \times (K_B)_{\text{KOK}}$$

$$\sum K_B = 7,20 (\%)$$

### **4.3.5. Kazan ısı verim hesabı**

Kazan ısı verimi, kazanda üretilmesi istenen ısı yükün, yakıtın kayıpsız verebileceği maksimum ısıya oranıyla bulunur.

$$\eta_K = [Q_{\text{kazan}} / M_y \times H_u] \times 100 \quad (\%) \quad (4.29)$$

$M_y$  ( $\text{Nm}^3$  yakıt /h): Yakıt debisi

Kazan çıkışında istenilen ısının elde edilebilmesi aşamasında temel kayıplar söz konusu olmaktadır. Bu kayıplar, yanma kaynaklı ve kazan kaynaklı olmak üzere iki grupta incelenebilir. Bu kayıplar göz önünde bulundurularak yanma verimi Eş. 4.30’den hesaplanır [Onat ve ark., 1988].

$$\eta_Y = 100 - (K_{IA} + K_{CO} + K_{CH} + K_{UK}) \quad (\%) \quad (4.30)$$

$K_{IA}$ : Izgara altında toplanan cürufta yakılmadan atılan kok parçaları

$K_{CO}$ : Eksik yanan karbon

$K_{CH}$ : Eksik yanan yanıcı uçucular

$K_{UK}$ : Filtrelerde toplanan küçük taneli yanmamış kok partiküller

Buradaki konuda bahsi geçen yakıtlar gaz yakacak olduğundan yanmamış yakacak kaybı yoktur, yani  $K_{IA} + K_{CO} + K_{CH} + K_{UK}$  değerlerinin toplamı sıfırdır. Fakat ihtiyatlı davranmak açısından % 0,5 mertebesinde bir kayıp kabul da edilebilir [Onat ve ark., 1988].

Yanma kaynaklı kayıplara kazan kaynaklı kayıplar da dâhil edildiğinden kazan verimi Eş. 4.31'deki gibi hesaplanır.

$$\eta_K = \eta_Y - (K_B + K_{KK} + K_I) \quad (\%) \quad (4.31)$$

$K_B$ : Yüksek sıcaklıkta salınan baca gazı kaybı

$K_{KK}$ : Yalıtım ısı kaybı: 0,5–2 (%) arasında bir değer alınabilir [Durmaz, 2001a].

$K_I$ : İşletme ısı kaybı: 0,5–1 (%) arasında bir değer alınabilir [Durmaz, 2001a].

Bu çalışmada, tasarımda standart kayıplar olarak hesaba katılan yalıtım ısı kaybı 0,5 (%) ve işletme ısı kaybı 0,5 (%) olarak alındı.

Yanma verimi ( $\eta_Y=100-0,5=99,5$  olarak alınabilir), toplam baca gazı kaybı ( $K_B$ ), yalıtım ısı kaybı ( $K_{KK}$ ), işletme ısı kaybı ( $K_I$ ) değerleri Eş. 4.31'de yerine konursa kazan verimi aşağıdaki gibi bulunur.

$$\eta_K = 0,995 - (0,005 + 0,005 + 0,072)$$

$$\eta_K = 91,30 (\%)$$

#### 4.3.6. Kazanın yakıt debisi

Kazanın istenilen ısı yükü karşılayabilmesi için ihtiyaç duyduğu yakıt debisi Eş. 4.32'den hesaplanır.

$$M_y(\text{Nm}^3 \text{ yakıt/h}) = Q_{\text{kazan}} / (H_u \times \eta_K) \quad (4.32)$$

Bu çalışmada, debisi belli olan ihtiyaç fazlası atık gazlar (yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazı) proje hesaplamalarının temelini oluşturmaktadır. Bu atık gazların ölçüm değerleri Çizelge 3.7’de verilmiş olup aşağıdaki gibidirler.

Yüksek fırın gazı: 15 900 (Nm<sup>3</sup>/h)

Çelikhane gazı: 10 600 (Nm<sup>3</sup>/h)

Kok gazı: 1300 (Nm<sup>3</sup>/h)

#### 4.3.7. Kazan ısı yükün belirlenmesi

Karabük demir çelik fabrikasındaki kuvvet santralında mevcut gaz yakan buhar kazanlarının işletme parametreleri aşağıdaki gibidir. Buhar, toplama kolektöründe toplanarak dağıtım yapıyor, yoğuşan buhar ise dönüş kolektöründe toplanarak kazana geri dönüyor. Atık gazları yakıt olarak kullanan buhar kazanının, giriş ve çıkış şartları mevcut sistemle aynı olup aşağıdaki gibidir.

##### Mevcut gaz yakan kazanın işletme parametreleri

Kazan giriş (Besleme suyu parametreleri):

$$T_{BS} = 104 \text{ (}^{\circ}\text{C)} \text{ [Besleme suyu sıcaklığı]}$$

$$h_{GİRİŞ} = C_p \times T_{BS} = 4,18 \text{ (kJ/kg }^{\circ}\text{C)} \times 104 \text{ (}^{\circ}\text{C)} = 434,72 \text{ (kJ/kg)}$$

Kazan çıkış (Buhar parametreleri)

$$T_B = 385 \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

$$P_B = 25 \text{ (bar)}$$

$$h_{ÇIKIŞ} = 3207 \text{ (kJ/kg) [Mollier'den]}$$

Bacadan yakılarak atmosfere atılma yerine, ihtiyaç fazlası gazları (yüksek fırın gazı, çelikhane gazı, kok gazı) yakıt olarak kullanan bir buhar kazanının verimi Bölüm 4.3.5’de 91,30 (%) olarak hesaplandı. Üretim fazlası atık gazların toplam enerji miktarı Çizelge 3.7’de  $\sum Q=33\ 293\ 300$  (kCal/h) olarak hesaplandı. Bu bilgiler ışığında Eş. 4.33’den faydalanarak kazan ısı yükü aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{KAZAN} = \sum Q \times \eta_K \quad (4.33)$$

$$Q_{KAZAN} = 30\,396\,782 \text{ (kCal/h)}$$

$$Q_{KAZAN} = 127\,058\,552 \text{ (kJ/h)} = 35\,294 \text{ (kW)}$$

#### 4.3.8. Üretilen buhar miktarının hesabı

Karabük demir çelik fabrikalarında yan ürün olarak üretilen ihtiyaç fazlası atık gazların (yüksek fırın gazı, çelikhane gazı, kok gazı), bir buhar kazanında yakıt olarak kullanılması kaydıyla üretilen buhar miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{KAZAN} = m_b \times (h_{ÇIKIŞ} - h_{GİRİŞ}) \quad [\text{kW}] \quad (4.34)$$

Kazanın ısı kapasitesi ile kazanın giriş ve çıkış entalpi değerleri Bölüm 4.3.5'de hesaplandı. Eş. 4.34'den buhar debisi aşağıdaki gibi bulunur.

$$m_b = 126\,863\,720 \text{ (kJ/h)} / \{ [3207 \text{ (kJ/kg)} - 434,72 \text{ (kJ/kg)}] \}$$

$$m_b = 12,73 \text{ (kg/s)}$$

$$m_b = 45,831 \text{ (ton/h)} \text{ olarak bulunur.}$$



## 5. ATIK GAZ İLE ÇALIŞAN BUHAR KAZANININ EKONOMİK ANALİZİ

Bu bölümde, Karabük demir çelik fabrikaları kuvvet santralının buhar kazanında, yakıt olarak kömürün değil de, fabrikada yan ürün olarak elde edilen atık gazların (yüksek fırın gazı, kok gazı, çelikhane gazı) kullanılmasıyla, yapılan tasarruf miktarı eşdeğer kömür ile karşılaştırıldı ve buna bağlı olarak yıllık kazanç hesabı yapıldı. Bununla birlikte buhar kazanının yatırım maliyeti ile buhar kazanından üretilen buharın sağladığı gelir miktarı (eşdeğer kömür olarak) hesaplanarak buhar kazanının sisteme kazandırılmasının ne kadar doğru olduğunun ispatı, ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak analiz edildi.

### 5.1. Tasarruf Miktarının Eşdeğer Kömür Karşılığının Belirlenmesi

Karabük demir çelik fabrikalarında yan ürün olarak elde edilen ihtiyaç fazlası atık gazlar, buhar kazanında yakıt olarak kullanılarak yaklaşık 45 ton/h buhar üretildiği yukarıda hesaplandı. Buradan şu anlaşılmaktadır, kuvvet santralının kömür yakan kazanlarında 45 ton/h daha az buhar üretileceği için kömür sarfiyatı düşecektir. Burada 45 ton/h buharın ne kadar eşdeğer kömür ile üretileceği hesaplanarak sağlanan tasarruf miktarı eşdeğer kömür cinsinden hesaplanacaktır.

#### 5.1.1. Mevcut kömür yakan buhar kazanı ile ilgili hesaplamalar

Karabük demir çelik fabrikalarının kuvvet santralında, kömür yakıt olarak kullanılmaktadır. Atık gazların değerlendirilmesi amacıyla, kömür kazanı ile birlikte gaz karışımını yakıt olarak kullanan yeni bir kazanın santrale ilave edildiği düşünülerek, atık gazların değerlendirilmesinin ekonomik analizi yapılmıştır.

Karışık gaz yakan buhar kazanının verimi Bölüm 4.3.5'de  $\eta_{KAZAN}=\%91,30$  olarak hesaplandı. Karabük demir çelik fabrikalarının kuvvet santralındaki, kömür yakan kazanın verimi ise  $\eta_{KAZAN}=\%87$  ve kömürün alt ısıl değerinin de  $H_u= 6989$  (kCal/kg) oldukları bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında karışık gaz yakan buhar kazanının giriş ve

çıkış şartları esas alınarak, kömür yakan kazanın 45,831 (ton/h) buhar üretebilmesi için ihtiyacı olan enerji miktarı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\Sigma Q = Q_{\text{KAZAN}} / \eta_{\text{KAZAN}} \text{ eşitliğini kullanarak}$$

$$\Sigma Q = 34\,938\,830,46 \text{ (kCal/h)} = 40\,567,86 \text{ kW}$$

Hesaplanan Q değerine (ısı miktarı) eşdeğer kömür miktarının hesabı

$$\Sigma Q = m_y \times H_u \text{ idi. Buradan;}$$

$$M_y = m_{\text{KÖMÜR}} = 34\,885\,255,17 \text{ (kCal/h)} / 6989 \text{ (kCal/kg)}$$

$$M_y = m_{\text{KÖMÜR}} = 4999,11 \text{ (kg/h)} = 119\,978,8 \text{ (kg/gün)}$$

Karabük demir çelik fabrikalarında yan ürün olarak elde edilen atık gazların (yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazı), buhar kazanında yakıt olarak kullanılması suretiyle saatte yaklaşık 45 ton buhar üretildiği Bölüm 4.3.5’de hesaplandı. Bu 45 ton/h buhar, atık gazları yakıt olarak kullanan karışık gaz yakan buhar kazanından değil de, eski santralde kömür yakan buhar kazanında üretilseydi, yaklaşık olarak günde 119 ton eşdeğer kömür kullanılacaktı. Bunun yerine atık gazlar kullanıldığı için günde 119 ton kömür tasarruf edilir.

## 5.2. Ekonomik Analiz Yöntemleri

Bir projenin uygulanabilir olması için, teknik olduğu kadar ticari, ekonomik ve/veya sosyal olarak da verimli (karlı) olması gerekir. Gerek bir tek projenin ekonomik yönden irdelenmesi, gerekse projeler arasında ekonomik yönden sıralama yapmak için birçok yöntem bulunmaktadır. Genel olarak ekonomik analiz yöntemleri statik ve dinamik yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. En yaygın olarak uygulanan yöntemler; dinamik yöntemler grubundan “Net bugünkü değer yöntemi” ile statik yöntemler grubundan “Geri ödeme süresi yöntemidir”. Bu çalışmada bu yöntemler kullanılmıştır [Ayanoğlu ve ark., 1996 ].

### Dinamik yöntemler

Dinamik yöntemler, paranın zaman değerini dikkate alan yöntemlerdir. Yatırım projesi için yapılacak tüm harcamalar, genellikle bir yıl içinde gerçekleşmez, projenin ekonomik ömrü içinde, çeşitli dönemlerde parça parça ortaya çıkar. Aynı şekilde projeden beklenen hâsılat akımları da yararlı ömür içinde peyderpey tahsil edilmektedir. Farklı zamanlarda ortaya çıkan bu fayda ve maliyetlerin, değerlemeye temel olacak şekilde karşılaştırılabilmeleri için belirli bir zaman kesitine indirgenmeleri gerekmektedir. Paranın zaman değerini hesaba katan dinamik değerlendirme yöntemleri gelecekteki nakit giriş ve çıkışlarının bugünkü değere indirgenmesini esas almaktadır. Dinamik değerlendirme yöntemleri şu başlıklar altında toplanmaktadır.

- 1) Net bugünkü değer yöntemi
- 2) İç karlılık yöntemi
- 3) Fayda maliyet oranı yöntemi
- 4) Dinamik geri ödeme yöntemi

### Statik yöntemler

Statik yöntemler, paranın zaman değerini dikkate almayan yöntemlerdir. Birbirinden bağımsız ve kısa dönemli yatırım kararları için kullanılan ve zaman değişkenini hesaba katmayan, kullanımı kolay olan yöntemlerdir. Statik yöntemler paranın zaman değerini dikkate almaması eksikliğinin yanında, bir döneme ait verilerin gelecekte de aynen devam edeceği gibi gerçekçi olmayan bir varsayıma dayanmaktadır. Geçmişe veya bugüne ait verilerin gelecekte aynen devam edeceği varsayımı ekonominin en istikrarlı olduğu dönemlerde bile kabul edilemez. Bu sebeplerden dolayı statik yöntemleri kullanarak uzun dönemli yatırım kararlarının alınması doğru olmaz. Statik değerlendirme yöntemleri de şu başlıklar altında toplanmaktadır.

- 1) Karlılık oranı yöntemi
- 2) Geri ödeme süresi yöntemi
- 3) Ortalama ve net verimlilik oranı yöntemi

### 5.3. Buhar Kazanı Yatırım Maliyeti

Karabük demir çelik fabrikalarında, yan ürün olarak elde edilen atık gazları değerlendirmek için düşünülen, atık gaz karışımı yakan buhar kazanı ile ilgili hesaplamalar Bölüm 4'de yapıldı. Bu hesaplamalardan yaklaşık 50 ton/h kapasiteli buhar kazanının seçileceği anlaşılmaktadır. Yapılan araştırmalar neticesinde buhar kazanının satın alınması ve diğer masraf giderleri yaklaşık olarak aşağıdaki gibidirler.

#### Buhar kazanı (montaj ve testler dâhil)

- 1) Besleme depoları, besleme pompaları ve gaz alıcılar mevcut olup bu ekipmanlar kullanılacaktır.
- 2) Mevcut besleme suyu sistemi kullanılacağından, kazan besleme suyu sistemi mevcut besleme suyu kolektöründen karşılanacaktır.
- 3) Kazanın ürettiği buhar, mevcut buhar kolektörüne bağlanacaktır.
- 4) Gaz yakma tesisatı yanma odasının sağ ve sol duvarına gaz börneri teçhiz edilmiş olacaktır.
- 5) Kazan dom'u silindirik yapıda olacak ve kazan destek yapısına asılı rotları ile asılacaktır. Tek dom'lu olacaktır. Kazan dom'u siklonlar ve perde ayırıcıları ile dom'un dâhili aksesuarları kızdırıcı çıkışında saf ve kuru buhar elde etmeyi sağlayacak kapasitede olacaktır.
- 6) Dom'dan su ve buhar numunesi alınabilmelidir.
- 7) Kazanın, dış izolasyonu 200 mm kaya yünü ve en dışı 1 mm kalınlığında galvanizli sac ile muhafaza edilmiş olacaktır.
- 8) Kazan, taban alanı 11 m x 18 m ile sınırlandırılmış alana kurulacaktır.

Bu bilgiler ışığında 50 ton/h lik gaz yakan buhar kazanı projesinin uygulamaya sokulması halinde, yapılacak masrafın, buhar kazanının kendisi, montajı ve testleri dâhil yaklaşık 4 750 000 \$ (dolar) olacağı, araştırmalar neticesinde tespit edilmiştir.

### İnşaat işi

Kazanın, 11 m x 18 m lik alana kurulacağı varsayımından yola çıkılarak, bu kadar bir kısımda gerek temel çalışmaları gerek diğer inşaat çalışmaları için yaklaşık 900 ile 1000 ton arasında beton olacağı, yapılan etüt çalışmalarından anlaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında inşaat işi yaklaşık 960 ton beton olarak alınabilir. 1 ton beton için inşaat işinin piyasa fiyatı 110 ile 120 dolar arasında değiştiği araştırmalar neticesinde anlaşılmıştır. Bu bilgiler ışığında 1 ton beton işçiliği ortalama olarak 115 dolar alınabilir, bu takdirde 960 ton beton için inşaat işi  $960 \text{ ton} \times 115\$ \approx 110\,000\$$  (dolar) olarak bulunur.

### Çelik işi

50 ton/h kapasiteli buhar kazanının, 11 m x 18 m lik alana yerleştirileceği varsayımının etüt edilmesi durumunda, çelik konstrüksiyon destek yapıları ve platformlarının, yaklaşık 140 ile 145 ton çelik olacağı yapılan araştırmalar neticesinde anlaşılmaktadır. Bu bilgiler ışığında çelik işi de ortalama olarak 142 ton çelik olarak alınabilir. Piyasa araştırmaları neticesinde, 1 ton çelik işi yaklaşık olarak 4100 \$ civarında olduğu tespit edilmiştir. Buna göre 142 ton çelik için çelik işi  $142 \text{ ton} \times 4100\$ \approx 585\,000\$$  (dolar) olarak bulunur.

### Toplam yatırım tutarı

$4\,750\,000\$$  (Buhar kazanı işi montaj ve testler dâhil) +  $110\,000\$$  (İnşaat işi) +  $585\,000\$$  (Çelik işi) =  $5\,445\,000\$$  (dolar)

### Beklenmeyen harcamalar

Toplam yatırım tutarının %10'u beklenmeyen harcamalar olarak alınabilir.

Toplam yatırım tutarı x (%10) =  $544\,500\$$  (dolar)

### Toplam tahmini yatırım tutarı

Toplam yatırım tutarı ile beklenmeyen harcamaların toplamıdır.

$$5\,445\,000 \$ + 544\,500 \$ \approx 5\,990\,000 \$ \text{ (dolar)}$$

#### Yıllık bakım masrafı

Yıllık bakım masrafı buhar kazanı ve montaj fiyatının %5'i olarak alınabilir.

$$4\,750\,000 \$ \times \%5 = 237\,500 \$ \text{ (dolar)}$$

#### **5.4. Buhar Kazanının Ekonomik Ömrü**

Bu tür buhar kazanların ekonomik ömrü, 20-30 yıl olarak değişmektedir. Bu çalışmada kuvvet santral buhar kazanının (yatırım dönemi hariç) 25 yıl ekonomik ömrü olduğu kabul edilmektedir.

#### **5.5. Tasarruf Maliyetinin Hesabı**

Üretilen buhar, atık gazları yakıt olarak kullanan gaz yakan kazanda değil de, kömür yakan kazanda üretilseydi yaklaşık olarak 119 ton eşdeğer kömürün kullanılacağı Bölüm 5.1'de hesaplandı.

Karabük demir çelik fabrikalarındaki kömür maliyetinin yaklaşık 60 (dolar/ton) olduğu bilinmektedir. Bu bilgiler ışığında günlük tasarruf miktarı ve buna bağlı olarak yıllık kazanç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Günlük tasarruf} = 119\,794,8 \text{ (kg/gün)} \times 60 \text{ (dolar/ton)} = 7\,187,68 \text{ (dolar/gün)}$$

$$\text{Yıllık kazanç} = 7\,187,68 \times 365 = 2\,623\,506 \text{ (dolar/yıl)}$$

Kazanılan ısı enerjisi 33 293 300 (kCal/h) olarak Çizelge 3.7'de, üretilen buhar miktarı 45,831 (t/h) olarak Bölüm 4.3.8'de hesaplandı. Bütün bu hesaplamalar tablo halinde aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Çizelge 5.1. Tasarruf edilen miktar ve maliyet

Üretilen buhar miktarı (Ton/h)	Kazanılan ısı enerjisi (kCal/h)	Eşdeğer kömür miktarı (kg/gün)	Tasarruf miktarı (dolar/yıl)
45,831	33 293 300	119 978,8	2 632 506

### 5.6. Nakit Akım Çizelgesi

Buhar kazanının ekonomik analiz verileri tablo halinde Çizelge 5.2'deki gibidir. Projenin, iskonto oranı %5 alınarak bugünkü değerlere göre 25 yıllık nakit akım tablosu oluşturulup, projenin net bugünkü değeri ve geri ödeme süresi hesaplanabilir.

Çizelge 5.2. Buhar kazanının ekonomik analiz verileri

<b>1. İŞLETME GELİRLERİ</b>	
Toplam Yıllık Gelir	2 632 506 dolar
<b>2. YATIRIMLAR</b>	
Sabit Yatırım	5 990 000 dolar
Buhar Kazanı	4 750 000 dolar
Proje, inşaat ve diğer	1 240 000 dolar
İşletme Sermayesi	59 375 dolar
Toplam Yatırım	6 049 375 dolar
<b>3. İŞLETME GİDERLERİ</b>	
Bakım ve Diğer Giderler	237 500 dolar
Amortisman	239 600 dolar
Toplam İşletme Gideri	477 100 dolar

Çizelge 5.2'deki işletme sermayesi ve amortisman miktarları aşağıdaki gibi bulunurlar.

#### Amortisman

Sabit yatırım maliyetinin, buhar kazanının ekonomik ömrüne bölümüdür.

### İşletme sermayesi

Toplam işletme giderinin (amortisman miktarı hariç) %25'i kadar harcama yapılacağı varsayılarak bulunmuştur.

#### **5.6.1. Geri ödeme süresi yöntemi**

Bir yatırımın ekonomik olup olmadığını değerlendirmek için birkaç metot vardır. Bunlardan en basiti geri ödeme süresi metodu dur. Geri ödeme süresi, yatırımda sarf edilen tüm paranın geri alınması için geçen süre olup Eş. 5.1'den hesaplanır.

$$\text{Geri ödeme süresi (yıl)} = \text{Yatırım maliyeti} / \text{yıllık tasarruflar} \quad (5.1)$$

Çizelge 5.3. Geri ödeme süresi tablosu

	Yatırım Dön.	İşletme Dönemi		
	1	1	2	3...25
AMORTİSMAN(USD)		239 600	239 500	239 500
YATIRIM (USD)	5 990 000			
BAKIM (USD)		237 500	237 500	237 500
FAYDA -ENERJİ TASARRUFU (USD)		2 632 506	2 632 506	2 632 506
TOPLAM (USD)	-5 990 000	2 155 406	2 155 406	2 155 406

$$\text{Geri Ödeme Süresi} = 5\,990\,000 / 2\,155\,406 = 2,7 \text{ YIL}$$

#### **5.6.2. Net bugünkü değer yöntemi**

Bir projenin bugünkü değeri, proje için yapılan yatırım tutarı ile projeden elde edilecek net nakit akımlarının bugünkü değerleri arasındaki farktır. Bu yöntemle göre net bugünkü değer pozitif ise (NBD>0) yatırım yapılır, net bugünkü değer negatif ise (NBD<0) yatırım yapılmaz. Eğer net bugünkü değer sifira eşitse (NBD = 0) bu noktada yatırımcı, yatırımın diğer avantajları ya da dezavantajlarına göre yatırım



hakkında kararını verir. Projenin net bugünkü değeri (NBD), her t dönemindeki nakit akım değeri ( $NA_t$ ) ve iskonto oranı ( $i$ ) olmak üzere Eş. 5.2'den hesaplanır.

$$NBD = \sum_{t=1}^N (NA_t)/(1+i)^t \quad (5.2)$$

Çizelge 5.4'de, buhar kazanının nakit akım çizelgesi oluşturulmuş olup projenin Net Bugünkü Değeri (NBD) = 27 993 761 \$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4'deki sabit giderler, işletme sermayesinin yaklaşık %10'u kadar harcama yapılacağı varsayılarak bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Buhar kazanının nakit akım çizelgesi

	Yatırım Dönemi	İşletme Dönemi		
	1	1	2	3
NAKİT GİRİŞLER(\$)	0	2 632 506	2 632 506	2 632 506
NAKİT ÇIKIŞLAR(\$)	6 049 375	237 500	237 500	237 500
A Toplam Yatırım	6 049 375			
Sabit Sermaye Yatırımı	5 990 000			
İşletme Sermayesi	59 375			
B Yıllık İşletme Giderleri		237 500	237 500	237 500
a. Sabit Giderler		5 937,5	5 937,5	5 937,5
b. Değişken Giderler		231 562	231 562	231 562
Bakım ve Diğer Giderler		231 562	231 562	231 562
NET NAKİT AKIM(\$)	-6 049 375	2 395 006	2 395 006	2 395 006
İndirgenmiş Nakit Akımı	-5 761 309	2 280 958	2 172 341	2 068 896
Kümülatif Nakit Akımı	-5 761 309	-3 480 351	-1 308 010	760 886

Çizelge 5.4 (Devam). Buhar kazanının nakit akım çizelgesi

İşletme Dönemi	Net Nakit Akım	İndirgenmiş Nakit Akımı	Kümülatif Nakit Akımı
4	2 395 006	1 970 377	2 731 263
5	2 395 006	1 876 549	4 607 812
6	2 395 006	1 787 190	6 395 002
7	2 395 006	1 702 086	8 097 088
8	2 395 006	1 621 034	9 718 122
9	2 395 006	1 543 842	11 261 964
10	2 395 006	1 470 325	12 732 289
11	2 395 006	1 400 310	14 132 599
12	2 395 006	1 333 628	15 466 227
13	2 395 006	1 270 122	16 736 349
14	2 395 006	1 209 640	17 945 989
15	2 395 006	1 152 038	19 098 027
16	2 395 006	1 097 179	20 195 206
17	2 395 006	1 044 933	21 240 139
18	2 395 006	995 174	22 235 313
19	2 395 006	947 785	23 183 098
20	2 395 006	902 652	24 085 750
21	2 395 006	859 669	24 945 419
22	2 395 006	818 732	25 764 151
23	2 395 006	779 745	26 543 896
24	2 395 006	742 614	27 286 510
25	2 395 006	707 251	27 993 761

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, entegre tesislerde yan ürün olarak elde edilen atık gazların, ihtiyaç fazlasının, kullanılmadan atmosfere atılması yerine bu atık gazların enerjisinden yararlanılabilmenin irdelenmesi idi. Bunun için, Karabük demir çelik fabrikaları (KARDEMİR A.Ş.) bu çalışmada örnek alındı. Üretim prosesleri sonucunda oluşan atık gazların (yüksek fırın gazı, kok gazı ve çelikhane gazı) bir buhar kazanında yakıt olarak kullanması neticesinde elde edilen enerjinin teknik ve ekonomik analizi yapıldı.

Karışık gaz yakan (yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazı) bir buhar kazanı, Karabük demir çelik fabrikalarındaki mevcut kuvvet santralına kazandırılarak, işletmelerin ihtiyaç duyduğu 45 ton/h buharın güvenli ve ekonomik olarak karşılanabileceği görüldü.

Buhar kazanının Maliyeti, tasarruf miktarı, geri ödeme süresi ve net bugünkü değeri aşağıda görüldüğü gibi hesaplanmıştır.

Maliyeti:	5,99 Milyon \$
Tasarruf miktarı:	2,632 Milyon \$
Geri ödeme süresi:	2 yıl 8 ay
Net bugünkü değeri NBD:	27,993 Milyon \$

Net bugünkü değeri (NBD) > 0 olduğundan buhar kazanı (yatırım) projesinin uygun olduğu söylenebilir.

Üretilen buhar, kuvvet santralındaki diğer kazanların (kömür yakan) daha düşük yüklerde çalışmasını sağlar ve böylece kömür tüketiminde azalma olur. Kömür tüketimindeki azalma da buhar maliyetlerini düşürür. Ve çevresel olarak ta gaz emisyonlarında ve baca gazı toz miktarında düşme sağlar. Bunun da çevreye olumlu etkileri olmuş olur.

Enerji tasarrufu ile ilgili yatırımlar, sanayi tesislerine getireceği karlılık unsurunun yanı sıra, ülke ekonomisine de olan katkısına rağmen ne yazık ki ülkemizde teşvik edilmemektedir. Buna karşın ABD ve Japonya başta olmak üzere Avrupa'nın birçok ülkesinde devlet, enerji tasarrufu için sanayiye parasal katkıda bulunmaktadır. Bu katkı enerji tasarrufu yatırımları için hibe, kredi olanağı veya vergi indirimi şeklinde olmaktadır. Ayrıca enerji tasarrufunda kullanılan makine ve teknolojilerin pazarlarının genişletilmesi için bunları üretecek tesislerin yatırımları da finanse edilmektedir. Mali teşvikler enerji tasarrufu teknolojisi ve ekipmanlarının sanayiye girmesini hızlandırmaktadır.

Enerji fiyatındaki yükselmeler, kurulu tesislerde enerji tasarrufu önlemlerinin alınmasına, tasarruf sağlayıcı yatırımların yapılmasına ve kurulacak tesislerde enerji verimliliğinin göz önünde tutulmasına yardımcı olacak bir etkidir. Ancak yinede enerji tasarrufu yatırımları kısıtlı kaynak koşullarında diğer yatırım seçenekleriyle rekabet halindedir. Örneğin, mali olanakları bir tek yatırıma uygun olan bir şirket, atık ısının geri kazanılması için yapılan bir yatırımın yerine bir darboğaz giderme yatırımını tercih edebilmektedir. Bunun önlenmesi için devletin kurulu tesisleri, enerji tasarrufu ile ilgili yatırım tutarlarında bir limit aramaksızın ve kuruluş yerine bakmaksızın, yapacakları enerji tasarrufu yatırımları için azami teşvik tedbirlerinden yararlandırılması şarttır. Bu teşvik tedbirleri ile tesislerin, gümrük muafiyeti, yatırım indirimi, kaynak kullanımı destekleme primi vb. gibi teşviklerden yararlandırılması durumunda ancak bu gibi yatırımlara yönelmesi mümkündür.

Türkiye de bugüne kadar izlenen politika, enerji ihtiyacını esas alarak yeni enerji arzı ile karşılamaya çalışmaktır. Dağıtımda kaçaklarla birlikte %18'e ulaşmış kayıplar ve nihai sektörlerde yer yer %50'nin üzerine çıkabilen enerji tasarrufu imkânları göz ardı edilmiştir. Enerji ihtiyacını karşılamak üzere çok pahalı yatırımlar devlet eliyle ve daha sonra desteklerle özel sektör eliyle yapılırken, tasarruf için hiçbir projeye destek olunmamıştır. Böylece bu kayıpların devamı ile birlikte enerjideki dışa bağımlılık Türkiye için ciddi boyutlara ulaşmıştır.

2009 yılının sonlarına doğru baş göstermesi beklenen enerji açığını karşılamak üzere, yine kapsamlı bir enerji tasarrufu planı yerine, en kısıyası birkaç yıl sonra devreye girebilecek rüzgârdan nükleere geniş bir yelpazede yer alan yeni santrallerin ihale edilmesi için hazırlık çalışmalarının hızlandırıldığını kamuoyu bilmektedir. Oysa Türkiye'nin bundan sonra izlemesi gereken politika önce enerji tasarrufu için yeni yatırım yapılması, bu yatırımlarla sağlanan tasarruflar yeterli olmaz ise yeni enerji üretim tesisi yatırımı olmalıdır. Önümüzdeki yıllarda yaşanması beklenen enerji sıkıntısının aşılması için yapılması gereken en önemli uygulama, tasarrufa yatırımdır.

İhtiyaç olduğu halde enerjinin kullanılmaması veya az kullanılması enerji tasarrufu değildir. Enerji verimliliği ve tasarrufu, enerji içeriği olan atıkların değerlendirilmesi, teknik ve teknolojik önlemlerle enerji verimliliğinin artırılması ve mevcut enerji kayıplarının önlenmesi yoluyla tüketilen enerji miktarının ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden, çevre için olumlu etki yaratan en aza indirilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu anlayış gelişmiş Dünya ülkelerinde yeni enerji politikasının ana unsurunu oluşturmuştur.

Enerji tasarrufu çalışmalarında, bütün gelişmiş ülkelerde sağlanan başarı, devletin çok çeşitli şekillerde çalışmaları mali olarak desteklemesiyle sağlanmıştır. Bu nedenle Hazine Müsteşarlığı tarafından yayınlanan ülkemizdeki teşvik mevzuatı, enerji verimliliği kanunu çerçevesinde gözden geçirilmeli, enerji verimliliği proje desteği ayrı bir kalem olarak mevzuatta yer almalı, yıllık mali destek miktarı enerji planında öngörülen yıllık tasarrufun karşılığını aşmayacak şekilde veya bu miktarın bir oranı olarak belirlenmelidir. Küçük sanayici/KOBİ'ler ve halk için basit bürokratik işlemlerle enerji verimliliğini destekleyecek mali teşvikler, yine arz planına konan enerji tasarrufu miktarı ile uyumlu yönlendirilmelidir.

Türkiye'nin uzun erimde enerji planlaması yapması, yeni ve yenilebilir enerji kaynakları ile çeşitlendireceği öz kaynaklarını değerlendirmesi gerekmektedir. Öz kaynaklar açısından potansiyelimiz; hidrolik, kömür, rüzgâr, jeotermal, güneş ve diğer yenilebilir kaynaklar dikkate alındığında, kurulu güç potansiyelimiz 115 000 ile 120 000 MW arasında değişmektedir. Bir başka ifade ile üretim potansiyelimiz 482-

569 milyar kWh'i bulmaktadır. Görüleceği üzere öz kaynaklarımız açısından 2030 yılında dahi talebi karşılayacak potansiyel mevcuttur. Yeter ki enerji planlamasını yapalım, yeter ki bu potansiyeli kullanmasını bilelim. Ayrıca yine tahminlere göre 2030 yılında kişi başına elektrik tüketimi 3880 kWh olacaktır. Bugün AB ortalaması 4000 kWh/kişi dir. 2030 yılında bugünkü AB ortalamasını yakalayabileceğimiz gözükmektedir [TMMOB, 2005].

Genel olarak, enerji tasarrufu yatırım projelerinin seçimi için gerekli olan uygun ekonomik analiz ve planlama organlarını geliştirmek ve bu projelerin gerçekleştirilmeleri için farklı otoriteler arasında etkin bir koordinasyon sağlamak, devletin başta gelen önlemleri arasında olmalıdır. Ayrıca yakıt ikamesi ve enerji verimliliğini artırmak için sanayinin gösterdiği çaba ve yatırımları aktif olarak desteklemenin ve vereceği teşviklerin dışında enerji yönetimi ve teknik faaliyetleri genişletmek için deneyimli eleman yetiştirmek üzere eğitim programları düzenlenmelidir.

Yeni yapılacak çalışmalarda, doğalgazın da Karabük de kullanılmaya geçilmesiyle dörtlü karışık gaz (doğal gaz, yüksek fırın gazı, çelikhane gazı ve kok gazı) yakan buhar kazanı projesi düşünülebilir. Karabük demir çelik tesisi, rekabet gücünü artırabilmek için sürekli kendini yenileyerek kapasite artırımına gitmektedir. Her büyüme neticesinde ana ürünlerle beraber yan ürünlerinde miktarları artmaktadır. Yan ürün olarak elde edilen bu atık gazlara doğalgazın da eklenmesiyle daha yüksek kapasitede elektrik üretimine gidilerek kedaş'dan elektrik almadığı gibi elektrik satar duruma gelebilir.

Bu çalışmanın sonucunda, hesaplanan tasarruf miktarına bakıldığı zaman enerji tasarrufu ile ilgili yatırım projelerinin önemi çok daha iyi anlaşılmaktadır. Sonuç olarak, İleriki kuşaklara ucuz enerji ve temiz çevre bırakabilmek için enerji tasarrufu ile ilgili yatırımlar şarttır.

## KAYNAKLAR

Ayanoğlu, K., Düzyol, M.C., İlter, N., Yılmaz, C., “Kamu Yatırım Projelerinin Planlanması Ve Analizi”, *İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü*, Ankara, 150-230 (1996).

Babcock, G.H., Wilcox, S., “Steam/Its Generation and Use”, *The Babcock & Wilcox Company*, 67-245 (1972).

Basu, P., Kefa, C., Jestin, L., “Boiler and Burners: Design and Theory”, *Springer Verlag*, 128-211 (2000).

“Boiler Plant Handbook”, *Sulzer Brothers Limited, Switzerland*, 1-65 (1982).

Çengel, Y., Boles, M., “Thermodynamics: An Engineering Approach”, *McGraw Hill College Div.*, 116-129 (1994).

“Energy Efficiency In Steam Distribution System”, *National Energy Conservation Centre*, 45-78 (1987).

“V. Enerji Sempozyumu”, *TMMOB*, İstanbul, 21-23 (2005).

“Enerji Raporu”, *Ankara Üniversitesi*, Ankara, 1-10 (1999).

“VII. Enerji Kongresi ”, *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi*, Ankara, 197-284 (1997).

“Enerji Verimliliği Raporu”, *Karabük Valiliği*, Karabük, 1-10 (2008).

“Demir Çelik Sektör Raporu”, *T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı*, Ankara, 1-40 (2008).

“Demir Çelik Sektörü”, *İstanbul Maden ve Metaller İhracatçı Birlikleri*, İstanbul, 1-5 (2008).

“Dünya Ham Çelik Üretimi”, *Demir Çelik Üreticiler Derneği*, Ankara, 1-9 (2008).

Heper, Y., “Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması”, *ODTÜ Yayınları*, Ankara, 33-114 (2001).

“Introduction to Industrial Energy Management”, *RCG / Hagler-Bailly Inc.*, 5-28 (1989).

“Improving Steam Boiler Operating Efficiency”, *National Energy Conservation Centre*, 1-25 (1987).

Kakaç, S., Arınç, F., “Örneklerle Mühendislik Isı Transferinin Esasları”, *Pelikan Yayıncılık*, 249-383 (2004).

Ledinegg, M., “Dampferzeugung, Dampfkessel und Feurungen”, *Springer-Verlag*, 1-255 (1966).

“Makine Mühendisliği El Kitabı”, *TMMOB Yayın no:100*, Ankara, 9-47 (1997).

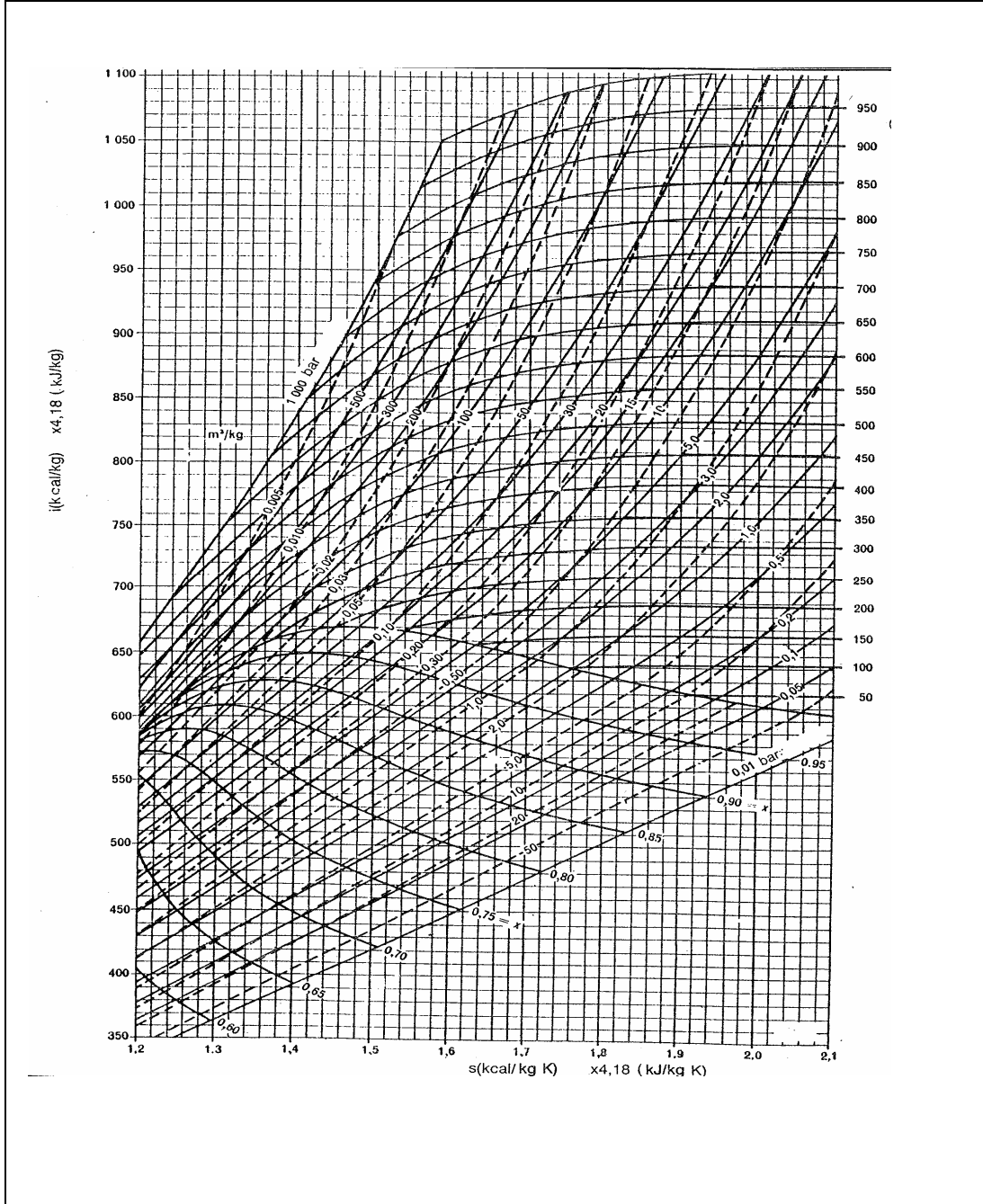
Onat, K., Genceli, O.F., Arısoy, A., “Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları”, *Denklem Matbaası*, İstanbul, 227-241 (1988).

Özkan, M., “Buhar Kazanları Isıl Hesaplar”, *Gazi Üniversitesi Kütüphanesi*, Ankara, 1-28 (1996).



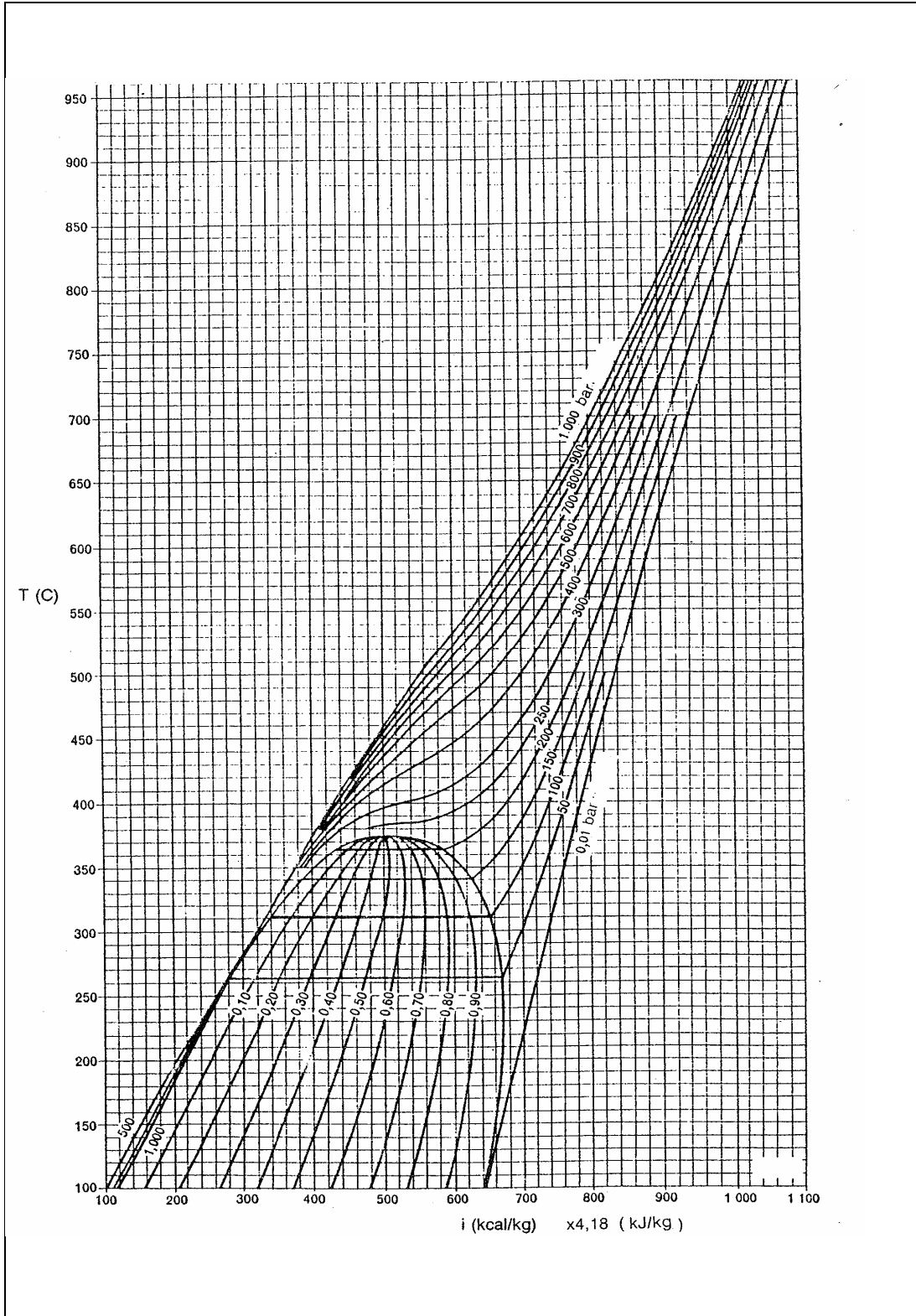
**EKLER**

## EK-1 Su buharı için Mollier diyagramı



Kemal Onat "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları" kitabından alınmıştır

EK-2 Su buharı için T-h diyagramı



Kemal Onat "Buhar Kazanlarının Isıl Hesapları" kitabından alınmıştır

## EK-3 Sıcaklığın fonksiyonu olarak özgül ısı

$$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(TK ve  $c_p$  kJ/kmol · K birimlerinde)

Madde	Kimyasal formülü	T <sub>1</sub> , K	a	b	c	d	Sıcaklık aralığı, K	% hata	
								Maks.	Ort.
Azot	N <sub>2</sub>	28.90	-0.1571 × 10 <sup>-2</sup>	0.8081 × 10 <sup>-5</sup>	-2.873 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.59	0.34	
Oksijen	O <sub>2</sub>	25.48	1.520 × 10 <sup>-2</sup>	-0.7155 × 10 <sup>-5</sup>	1.312 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	1.19	0.28	
Hava	—	28.11	0.1967 × 10 <sup>-2</sup>	0.4802 × 10 <sup>-5</sup>	-1.966 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.72	0.33	
Hidrojen	H <sub>2</sub>	29.11	-0.1916 × 10 <sup>-2</sup>	0.4003 × 10 <sup>-5</sup>	-0.8704 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	1.01	0.26	
Karbon monoksit	CO	28.16	0.1675 × 10 <sup>-2</sup>	0.5372 × 10 <sup>-5</sup>	-2.222 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.89	0.37	
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	22.26	5.981 × 10 <sup>-2</sup>	-3.501 × 10 <sup>-5</sup>	7.469 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.67	0.22	
Su buharı	H <sub>2</sub> O	32.24	0.1923 × 10 <sup>-2</sup>	1.055 × 10 <sup>-5</sup>	-3.595 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.53	0.24	
Azot oksit	NO	29.34	-0.09395 × 10 <sup>-2</sup>	0.9747 × 10 <sup>-5</sup>	-4.187 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.97	0.36	
Azot oksit	N <sub>2</sub> O	24.11	5.8632 × 10 <sup>-2</sup>	-3.562 × 10 <sup>-5</sup>	10.58 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.59	0.26	
Azot dioksit	NO <sub>2</sub>	22.9	5.715 × 10 <sup>-2</sup>	-3.52 × 10 <sup>-5</sup>	7.87 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.46	0.18	
Amonyak	NH <sub>3</sub>	27.568	2.5630 × 10 <sup>-2</sup>	0.99072 × 10 <sup>-5</sup>	-6.6909 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.91	0.36	
Kükürt	S <sub>2</sub>	27.21	2.218 × 10 <sup>-2</sup>	-1.628 × 10 <sup>-5</sup>	3.986 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.99	0.38	
Kükürt dioksit	SO <sub>2</sub>	25.78	5.795 × 10 <sup>-2</sup>	-3.812 × 10 <sup>-5</sup>	8.612 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.45	0.24	
Kükürt trioksit	SO <sub>3</sub>	16.40	14.58 × 10 <sup>-2</sup>	-11.20 × 10 <sup>-5</sup>	32.42 × 10 <sup>-9</sup>	273-1300	0.29	0.13	
Asetilen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	21.8	9.2143 × 10 <sup>-2</sup>	-6.527 × 10 <sup>-5</sup>	18.21 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	1.46	0.59	
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	-36.22	48.475 × 10 <sup>-2</sup>	-31.57 × 10 <sup>-5</sup>	77.62 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.34	0.20	
Metanol	CH <sub>4</sub> O	19.0	9.152 × 10 <sup>-2</sup>	-1.22 × 10 <sup>-5</sup>	-8.039 × 10 <sup>-9</sup>	273-1000	0.18	0.08	
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	19.9	20.96 × 10 <sup>-2</sup>	-10.38 × 10 <sup>-5</sup>	20.05 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.40	0.22	
Hidrojen klorür	HCl	30.33	-0.7620 × 10 <sup>-2</sup>	1.327 × 10 <sup>-5</sup>	-4.338 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.22	0.08	
Metan	CH <sub>4</sub>	19.89	5.024 × 10 <sup>-2</sup>	1.269 × 10 <sup>-5</sup>	-11.01 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	1.33	0.57	
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6.900	17.27 × 10 <sup>-2</sup>	-6.406 × 10 <sup>-5</sup>	7.285 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.83	0.28	
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-4.04	30.48 × 10 <sup>-2</sup>	-15.72 × 10 <sup>-5</sup>	31.74 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.40	0.12	
n-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3.96	37.15 × 10 <sup>-2</sup>	-18.34 × 10 <sup>-5</sup>	35.00 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.54	0.24	
i-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-7.913	41.60 × 10 <sup>-2</sup>	-23.01 × 10 <sup>-5</sup>	49.91 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.25	0.13	
n-Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	6.774	45.43 × 10 <sup>-2</sup>	-22.46 × 10 <sup>-5</sup>	42.29 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.56	0.21	
n-Heksan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6.938	55.22 × 10 <sup>-2</sup>	-28.65 × 10 <sup>-5</sup>	57.69 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.72	0.20	
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3.95	15.64 × 10 <sup>-2</sup>	-8.344 × 10 <sup>-5</sup>	17.67 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.54	0.13	
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3.15	23.83 × 10 <sup>-2</sup>	-12.18 × 10 <sup>-5</sup>	24.62 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.73	0.17	

Yunus A. Çengel, Micheal A. Boles "An Engineering Approach, Thermodynamics" kitabından alınmıştır

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Yılmaz YAKIŞIK  
Uyruğu : T.C.  
Doğum tarihi ve yeri : 01.01.1969, Karabük  
Medeni Hali : Evli bir çocuk babası  
Telefon : 0537 964 69 27 / 0 370 418 51 17  
e- mail : [yyakisik@kardemir.com](mailto:yyakisik@kardemir.com)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Uludağ Üniversitesi Mak. Müh. Böl.	1992
Lise	Demir Çelik Lisesi Karabük	1986

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009	Karabük Demir Çelik Fabrikaları	Yüksek Fırınlr Mak. Bak. Müh.
2002	Yatağan/Muğla Termik Santral	Montaj ve İşletme müh.
2000	Çayırhan/Ankara	Montaj ve İşletme müh
1997	Orhaneli/Bursa	Montaj ve İşletme müh
1994	Ankara	Tesisat Müh.

### Yabancı Dil

Almanca

### Hobiler

Masa tenisi, yüzme