

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AVRUPA BİRLİĞİ'NE ÜYELİK SÜRECİNDE,
ENTEĞRE DEMİR ÇELİK TESİSLERİNDE
ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YÖNETİMİ**

Mustafa Emre ERTEM

Haziran, 2006

İZMİR

AVRUPA BİRLİĞİ'NE ÜYELİK SÜRECİNDE, ENTEĞRE DEMİR ÇELİK TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YÖNETİMİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı

Mustafa Emre ERTEM

Haziran, 2006

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

Mustafa Emre ERTEM, tarafından **Prof. Dr. Sabit GÜRGEN** yönetiminde hazırlanan “**AVRUPA BİRLİĞİ’NE ÜYELİK SÜRECİNDE, ENTEGRE DEMİR ÇELİK TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YÖNETİMİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sabit GÜRGEN

Yönetici

Prof. Dr. Halil KÖSE

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. Hasan ESKİ

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Prof. Dr. İ. Göktay EDİZ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ercüment YALÇIN

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada büyük pay sahibi olan ve daima olumlu yaklaşımları ile beni yönlendiren ve çalışmanın danışmanlığını yapan hocam Prof. Dr. Sayın Sabit GÜRGEN'e teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca çalışmanın tüm aşamalarında, gerek bilgi ve gerekse manevi desteklerini esirgemeyen, çalışmanın sistematik bir yapıyla yürütülüp tamamlanmasına katkı sağlayan tez izleme komitesi jüri üyesi hocalarım Prof. Dr. Sayın Halil KÖSE'ye ve Prof. Dr. Sayın Hasan ESKİ'ye çok teşekkür ederim.

Diğer yandan bu çalışmanın tamamlanabilmesindeki desteğin yanı sıra, tüm doktora eğitimim sırasında da maddi ve manevi olarak sürekli destek aldığım, kurulduğu günden bugüne Ülkemizin en nadide sanayi kuruluşları arasında yer alan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş (Erdemir)'ye kurumsal olarak teşekkür ederim.

Bununla birlikte çalışmanın başından itibaren hazırlık, veri toplama, analiz, yazım gibi değişik safhalarında bilgi ve deneyimleri ile yahut bizzat analizlerdeki yardımlarıyla yanımda olan Shigeru KOMIYAMA, Iwao ASADA, Abdulkadir ÖZDABAK, Gökhan Burak KARAKAYA, Kenan KES, Faruk Şahin ÖNER, Kerem DOĞAN, Özgür ÖZSOY, Gürcan YÜKSEL, Merve N. ÖZTÜRK, Kazım ERDOĞDU, Pınar ELMAS ve Ali SARIOĞLU'na teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarımın tamamlanmasında verdikleri destekle her zaman katkılarını hissettiğim sevgili Yaşar ÇETİN ve V. Taylan ENGİN'e de çok teşekkür ederim.

Son olarak ta çalışmanın her aşamasında maddi ve manevi desteğiyle her zaman yanımda olan sevgili eşim Eda ERTEM, annem Hülya ERTEM, babam Halil İbrahim ERTEM, kardeşim Eda Gül ERTEM'e sonsuz teşekkür ederim.

Mustafa Emre ERTEM

İzmir - 2006

AVRUPA BİRLİĞİ'NE ÜYELİK SÜRECİNDE, ENTEGRE DEMİR ÇELİK TESİSLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE YÖNETİMİ

ÖZ

Bu çalışma, Avrupa Birliği'ne üyelik sürecinde yer alan ülkemizin kalkınmasında en önemli parametrelerden biri olan enerjiyi, yoğun olarak tüketen entegre demir çelik tesislerinde enerji tasarrufu olanaklarını araştırmayı amaçlamaktadır.

Çalışmada, öncelikle değerlendirme analizlerinde temel alınacak “enerji verimliliği” ile “enerji denge analizi” tanımlamaları yapılmıştır. Denge analizi için Türkiye’de yerleşik üç adet entegre demir çelik tesisinden ton yarı mamul üretimi başına en düşük enerji tüketimi yapan tesis seçilmiştir.

Belirlenen tesiste genel enerji tüketimi ana üretim hatlarına paylaştırılmıştır. Bu paylaşımdan tesiste tüketilen toplam enerjinin %50-60 ve üzerini temsil eden, yoğun enerji tüketicisi (toplam paydan %59,2’lik pay alan tesisler) 4 ana üretim tesisine (kok fabrikaları, yüksek fırınlar ve slab fırınları) enerji denge analizi uygulanmıştır. Yapılan analizlerde kazanılabilir kayıp enerjilerin tespit edilmesi planlanmıştır.

Ancak yoğun tüketici olan bu tesislerden, buhar kazanları ve 2. slab fırını ölçüm problemleri (ölçüm cihazı eksikliği ve/veya hatalı ölçüm yapan cihaz mevcudiyeti) ve buna bağlı veri toplama zorlukları nedeniyle çalışmaya dahil edilmemiştir.

Enerji denge analizleriyle tespit edilen tesislere giren ve çıkan enerjiler eşitlenmiştir. Çıkan enerjiler içinde değerlendirilebilir olanlar için; değişik tesislerde süregelen olumlu uygulamalar (kok kuru söndürme tesisi, yüksek oranda sıcak şarj, yüksek verimli ısı değiştiricileri) ile kuramsal olarak uygulanabilir (kok gazı, yüksek fırın gazı ve yüksek fırın cürufunun duyulur ısısının değerlendirilmesi) görüşler önerilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Spesifik Enerji Tüketimi, Demir, Çelik, Enerji Analizi, Enerji Tasarrufu, Sera Gazı Emisyonları

ENERGY EFFICIENCY AND MANAGEMENT IN INTEGRATED STEEL PLANTS OF TURKEY IN THE PROCESS OF MEMBERSHIP TO EUROPEAN UNION

ABSTRACT

This study aims to show energy saving potential of integrated steel plants as part of energy intensive industry which is one of the important parameters for Turkey's development in the process of membership to European Union.

In this study, energy balance and energy efficiency definitions have been explained as a priority. For detailed energy balance analysis, the best specific energy consumer integrated steel plant that is the lowest energy consumer plant to produce per ton crude steel, has been determined as a model among the three integrated steel plants of our country. Energy consumptions for these steel plants were distributed to all production lines and from this distribution, the facilities which represent 50/60% of total energy consumption of steel plants have been chosen for detailed energy balance analysis. Three important production facilities (coke plant, blast furnaces and slab furnaces) which represent 59,2% of total energy consumption of the plant was analyzed as energy intensive facilities. Steam Boilers and Slab Furnace No. 2 have been ignored because of the difficulties occurred during their energy measurement and data collection.

Input and output energy for the investigated facilities was equalized. Potential energy saving opportunities among the output energy sources were determined and some theoretical and practical solutions were suggested.

Keywords: Specific Energy Consumption, Iron, Steel, Energy Analysis, Energy Saving, Energy Intensive, Green House Gases, Turkish Integrated Steel Sector

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
DOKTORA TEZİ SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
BÖLÜM BİR – GİRİŞ	1
1.1. Giriş	1
<i>1.1.1. Çalışmanın Amacı.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2. Çalışmanın Kapsamı ve Süresi</i>	<i>3</i>
<i>1.1.2. Çalışma Yöntemi</i>	<i>3</i>
1.2. Demir Çelik Sektörü ve Enerji.....	5
<i>1.2.1. Türkiye Demir ve Çelik Sektörü.....</i>	<i>5</i>
<i>1.2.1.1. Devlete Ait Entegre Tesisler</i>	<i>6</i>
<i>1.2.1.2. Özel Sektöre Ait Ark Ocaklı Tesisler</i>	<i>7</i>
<i>1.2.2. Çelik Sektöründe Enerji Tüketimi</i>	<i>9</i>
BÖLÜM İKİ – ENTEGRE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ENERJİ	
VERİMLİLİĞİ VE ENERJİ DENGİ ANALİZLERİ TANIMLARI	14
2.1. Enerji Verimliliği Konusunda Temel Kavramlar	14
<i>2.1.1. Fiziksel Enerji Verimliliği Göstergesi (Spesifik Enerji Tüketimi)</i>	<i>15</i>
<i>2.1.1.1. Entegre Demir Çelik Sektöründe Kullanılan Enerji Kaynakları</i>	<i>17</i>
<i>2.1.1.2. Entegre Demir Çelik Tesislerinde Proseslerin Verimlilik Tanımları.....</i>	<i>18</i>
<i>2.1.1.2.1. Çelik Ürünleri Üreten ve Enerji Kazanımı Olmayan Prosesler</i>	<i>22</i>
<i>2.1.1.2.2. Çelik Ürünleri Üreten ve Enerji Kazanımı Olan Prosesler</i>	<i>23</i>
<i>2.1.1.2.3. Çelik Ürünleri Üretmeyen Ancak Üretime Destek İçin Fabrika Bünyesinde Yer Alan ve Enerji Kazanımı Olan</i>	

<i>Prosesler</i>	<i>24</i>
<i>2.1.1.3. Spesifik Enerji Tüketimi Hesaplamalarında Kullanılan</i>	
<i>Değişik Enerji Kalemlerinin Tek Birim Olarak İfadesi</i>	<i>25</i>
<i>2.1.2. Enerji Denge Analizleri ve Spesifik Enerji Tüketiminin Kontrol</i>	
<i>Edilmesindeki Önemi</i>	<i>28</i>
<i>2.1.2.1. Enerji Denklığının Tanımı</i>	<i>28</i>
<i>2.1.2.2. Enerji Değişimi</i>	<i>29</i>
<i>2.1.2.3. Kontrol Hacmi</i>	<i>30</i>
<i>2.1.2.4. Referans Sıcaklık.....</i>	<i>30</i>
<i>2.1.2.5. Spesifik Enerji Tüketiminin Kontrol Edilmesindeki Önemi</i>	<i>30</i>
2.2. Entegre Demir Çelik Tesisleri Enerji Verimliliği İzleme Modeli	31
2.3. Spesifik Isıların Hesaplanması	32
BÖLÜM ÜÇ – TÜRKİYE’DEKİ ENTEGRE DEMİR VE ÇELİK	
FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN	
KARŞILAŞTIRILMASI	34
3.1. Giriş	34
3.2. Entegre Demir Çelik Tesislerinin Spesifik Enerji Tüketimlerinin	
Belirlenmesi.....	35
<i>3.2.1. KARDEMİR – Karabük Demir Çelik Fabrikaları A.Ş.</i>	<i>35</i>
<i>3.2.1.1. Kardemir Tesislerinin Tanıtımı.....</i>	<i>35</i>
<i>3.2.1.2 Kardemir’in Spesifik Enerji Tüketimi</i>	<i>42</i>
<i>3.2.2. İSDEMİR – İskenderun Demir Çelik Fabrikaları A.Ş.</i>	<i>45</i>
<i>3.2.2.1. İsdemir Tesislerinin Tanıtımı.....</i>	<i>45</i>
<i>3.2.2.2. İsdemir’in Spesifik Enerji Tüketimi</i>	<i>47</i>
<i>3.2.3. ERDEMİR – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.</i>	<i>51</i>
<i>3.2.3.1. Erdemir Tesislerinin Tanıtımı.....</i>	<i>51</i>
<i>3.2.3.2. Erdemir’in Spesifik Enerji Tüketimi</i>	<i>62</i>
3.3. Entegre Demir Çelik Tesisleri İçerisinde En Verimli Enerji	
Tüketimine Sahip Olan Tesisin Belirlenmesi.....	66

BÖLÜM DÖRT - EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARINDA	
ENERJİ VERİMLİLİKLERİ VE ENERJİ DENGİ ANALİZLERİ	67
4.1. Ereğli Demir ve Çelik Fabrikalarında Enerji Yapısı.....	67
4.2. Enerji Dengi Analizi Uygulanacak Ünitelerin Seçimi	70
4.3. Seçilen Ünitelere Uygulanan Enerji Dengi Analizleri ve Öneriler.....	78
4.3.1. Kok Fabrikaları	78
4.3.1.1. Kok Prosesi Genel Tanıtımı	78
4.3.1.2. Kok Bataryalarının Enerji Dengi Analizi.....	79
4.3.1.3. Önerilen Önemli Enerji Yatırım Projeleri	90
4.3.1.3.1. Kok Kuru Söndürme Tesisi	90
4.3.1.3.2. Üretilen Kok Gazının Duyulur Isısından Yararlanılması ..	97
4.3.2. Yüksek Fırınlar	100
4.3.2.1. Yüksek Fırın Prosesinin Genel Tanıtımı	100
4.3.2.2. Yüksek Fırınlar Enerji Dengisi İçin Enerji Dengisi Metodolojisi	
Seçimi.....	103
4.3.2.3. Yüksek Fırın I (Ayşe)	106
4.3.2.4. Yüksek Fırın II (Zübeyde)	117
4.3.2.5. Yüksek Fırınlarda Mevcut Durumda Değerlendirilen Enerji	
Potansiyeli.....	128
4.3.2.6. Yüksek Fırınlara Önerilen Enerji Tasarrufu Proje Ve Önlemleri	129
4.3.2.6.1. Cüruf Enerjisinin Geri Kazanılması	129
4.3.2.6.2. Yüksek Fırın Gazı Duyulur Isısının Geri Kazanılması	133
4.3.3. Slab Fırınları	137
4.3.3.1. Slab Fırını II Enerji Dengi Analizi Hesaplamaları.....	138
4.3.3.2. Slab Fırını III Enerji Dengi Analizi Hesaplamaları	139
4.3.3.2.1. III. Slab Fırınının Tanıtımı.....	139
4.3.3.2.2. III. Slab Fırınının İşletme Verileri Ve Dengi Analizi	141
4.3.3.3. Slab Fırınlarına Önerilen Enerji Tasarrufu Proje Ve	
Önlemleri.....	155
4.3.3.3.1. Sıcak Şarj Miktarının Arttırılması Ve Deşarj Sıcaklığının	
Kontrolü	155
4.3.3.3.2. Baca Atık Isılarının Geri Kazanılması.....	164

4.4. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi	168
SONUÇLAR	169
KAYNAKLAR	173
EK BİR – ENTEGRE DEMİR ÇELİK TESİSLERİNDE ÖRNEK BİR SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ HESABI.....	179
EK İKİ – ENTEGRE BİR DEMİR ÇELİK TESİSİ İÇİN SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ DETAY HESAPLARI VE TABLOLARI	181

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Endüstri dalları içerisinde entegre demir çelik tesislerinde, ortalama rakamlara göre 1 ton ham çelik başına tüketilen enerji 4.500 – 6.000 Mcal (18,8 – 25,1 GJ – Giga Joule) arasında değişmektedir. (IISI, 1998) Yoğun enerji tüketicisi konumundaki bu tesisler, yüksek enerji tüketim değerleri nispetinde aynı zamanda yüksek enerji tasarruf potansiyeline de sahiptirler. Üretim yapıları itibariyle birbirine benzer prosesler içerse de bu tesislerin üretim çeşitliliği, mamul grupları, teknoloji kullanımı vs. nedenlerden dolayı spesifik enerji tüketimlerinin birebir karşılaştırılması karmaşık bir yapıda olmaktadır. Genellikle karşılaştırmalar için kullanılan “Spesifik Enerji Tüketimi (SET)” çelik üretimi konusunda enerji verimliliğinin temel göstergesi olarak kabul edilmektedir. (IISI, 1998) Spesifik Enerji Tüketimi, toplam enerji tüketiminin bir ton yarı mamul üretim (slab, blum) başına oranı olarak bilinmekte ve tesisleri karşılaştırabilmek için ortak bir gösterge özelliği taşımaktadır.

Ülkemizde bulunan üç adet entegre demir çelik tesisinden Karabük Demir Çelik Fabrikaları A.Ş. (Kardemir) ve İskenderun Demir Çelik Fabrikaları A.Ş. (İsdemir) uzun mamul üretmektedir. Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (Erdemir) ise, ülkemizin yassı mamul üreticisi tek kuruluşu olarak faaliyetine devam etmektedir. 2001 yılından itibaren İsdemir’in, Erdemir’e devredilmesiyle İsdemir’de de yassı mamul üretme projeleri gündeme alınmıştır.

Bu çalışmada, Türkiye’deki üç entegre tesis içerisinde en verimli olanı seçmek ve en verimlisinde hatlar bazında enerji tüketim analizleri yapabilmek için, bu üç tesis spesifik enerji tüketimleri yönünden birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Tesislere ait veriler şirketlerin Enerji Yöneticiliği ve üretim ünitelerinden sağlanmıştır. 2003, 2004, 2005 yılları verileri hesaplamalar için baz alınmıştır. Detay analizler için 2003, 2005 yıllarındaki, tesislerin normal çalışma koşullarında faaliyet gösterdiği aylardaki değerler, aylık bazda seçilmiştir.

1.1.1 Çalışmanın Amacı

Çalışmanın amacı, ülkemizde yer alan üç adet entegre tesisten en verimlisini tespit etmek ve bu tesisteki potansiyel enerji kazanımlarının sağlayabileceği katkıyı çevresel etkilerini de göz önüne alarak belirlemektir.

Bu tespitleri yaparken uluslar arası bazda Uluslar arası Demir Çelik Enstitüsü (IISI) ve ulusal bazda Elektrik İşleri Etüt İdaresi Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (UETM) – JICA (Japan International Cooperation Agency) tarafından önerilen ve tüm dünyada sektör tarafından kullanılan spesifik enerji tüketim hesaplama metodundan (Enerji Tüketimi/Üretim) yararlanılmıştır.

Ekonomik küreselleşmenin yoğunlaşmasının yanı sıra, ülkemiz, Avrupa Birliği'ne üyelik sürecindeki olması nedeniyle, tüm alanlarda olduğu gibi demir-çelik sektöründe de rekabetçi bir yapıya ulaşmak zorundadır. Rekabet gücünün belirlenmesinde enerji maliyetleri (enerji verimliliği) oldukça önemlidir. Ayrıca enerji kullanımının bir sonucu olarak ortaya çıkan çevresel faktörlerde de (CO₂ emisyonları, vs.), Avrupa Birliği Normları'na ve 1997 yılında İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi kapsamında taraflarca kabul edilen Kyoto Protokolü ve Mekanizmalarına uyum, günümüzün önemli konuları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, 2005 yılı Ocak Ayı'nda Avrupa Birliği Emisyon Ticareti (EU ETS) başlamıştır. Bu ticaret, belirlenen hedeften daha yüksek CO₂ emisyonu üreten tesislere ek mali yükümlülükler getirmektedir.

Birliğe üyelik sürecinde CO₂ emisyonunu azaltıcı faaliyetlerin zorunlu olması beklenmektedir. Diğer yandan, emisyonların önlenmesi için de alınabilecek önlemler arasında en ön sırada enerji tasarrufu ve verimliliği artırma çalışmaları yer almaktadır. Tüm bu olguların ışığında bu çalışma, yoğun enerji kullanıcısı ve emisyon üreticisi olan demir entegre demir çelik tesislerinde alınabilecek önlemlere bir başlangıç kaynağı olmak üzere başlatılmıştır.

1.1.2 Çalışmanın Kapsamı ve Süresi

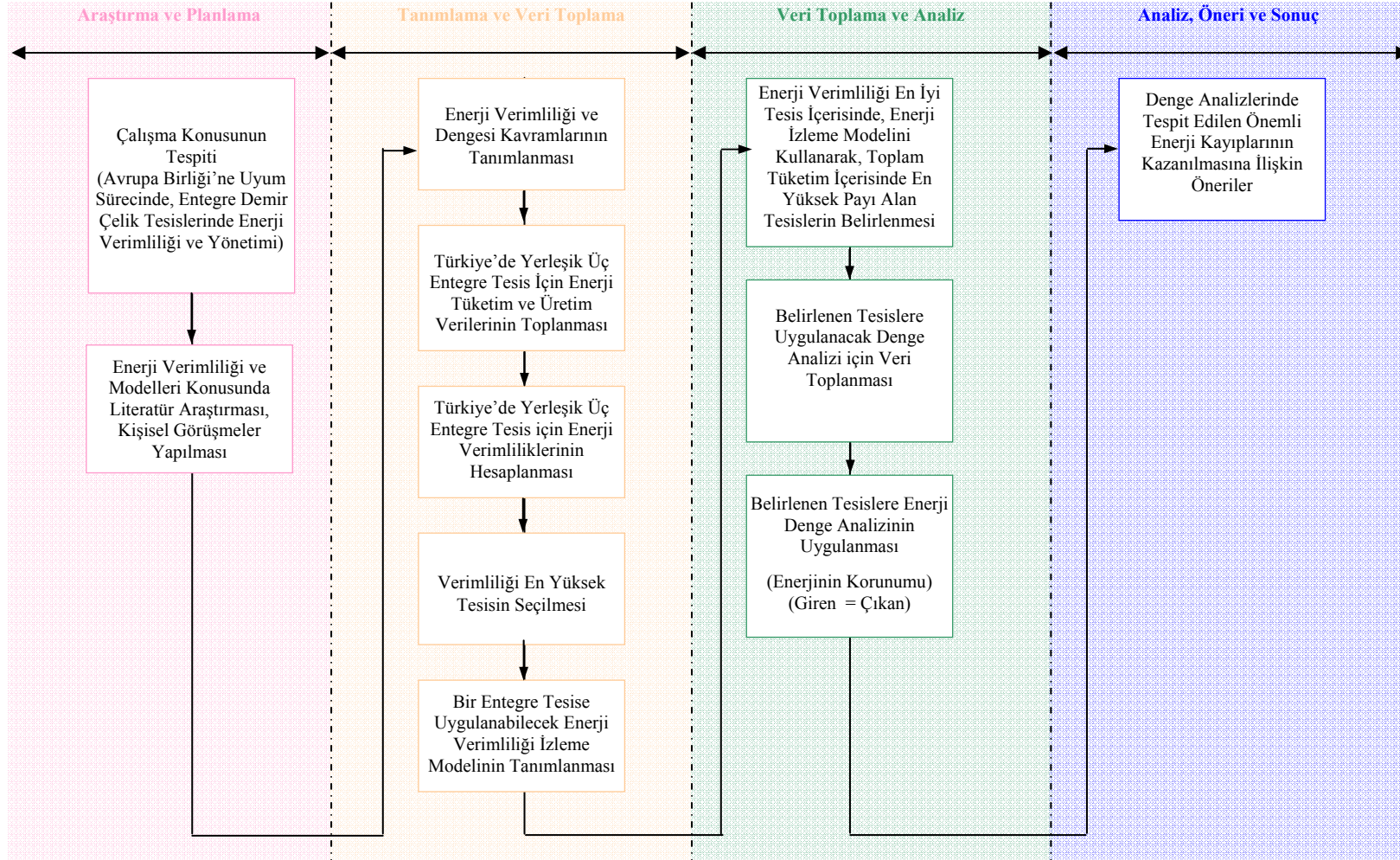
Bu çalışmanın kapsamı, seçilen entegre tesiste belirlenen hatlardaki enerji tasarrufu potansiyelini tespit etmektir. Yapılan çalışma, kaynak ve literatür araştırması, ölçme, veri toplama, analiz işlemleri de dahil olmak üzere Şubat 2002’de başlamış, Eylül 2005’de tamamlanmıştır. Eylül 2005 ile Mart 2006 tarihleri arasında ise, elde edilen sonuçlar raporlanmıştır.

1.1.3 Çalışma Yöntemi

Çalışmada genelden özele doğru detaylandırılan enerji verimliliği (spesifik enerji tüketimi) ve denge analiz yöntemleri kullanılmıştır. Spesifik enerji tüketimi yöntemi, birbirinden farklı üç entegre tesisi ortak bir bazda karşılaştırabilmek için seçilmiştir. Enerji denge analizi yönetimi ise, bir prosese giren enerjinin prosesi ne şekilde terk ettiğini net olarak belirlemek üzere seçilmiştir. Burada varılmak istenen nokta, prosesi terk eden enerjilerden olası kayıpları tespit etmek ve potansiyel kazançların elde edilmesi için önerilerde bulunmaktır.

Çalışmada, veri elde etme süresi ve yapılan analizin etkisi incelenerek, enerji yoğunluğu içerisindeki proseslerin etkinlik sıralaması yapılmıştır. Enerji kullanım oranı tesis geneli içerisinde en az %50–60 ve üstünü temsil eden proseslere detay analizler uygulanmıştır. Buna göre, spesifik enerji tüketimini azaltacak öneriler sunulmuştur.

Kullanılan yöntemler için; sürekli çalışma durumundaki demir çelik tesislerindeki dönemsel etkilerin en aza indirilebilmesi amacıyla, veriler ortalama (aritmetiksel ya da ağırlıklı ortalama) olarak alınmış, özellikle detay analizlerde ton başına ya da üretim periyodu başına oluşan dengeler irdelenmiştir. Çalışmanın yol haritası Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışma yöntemi ve yol haritası

1.2 Demir Çelik Sektörü ve Enerji

1.2.1 Türkiye Demir Çelik Sektörü

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerini belirleyen göstergelerden biri olan kişi başına demir çelik tüketiminin Dünya ve Avrupa Birliği değerlerini yakalaması amacıyla, sektör, Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulmasıyla beraber başlayan sanayileşme sürecinde her zaman önemli bir yere sahiptir. Bu değer, 2000 yılı için Avrupa Birliği'nde ortalama 385 kg/kişi, Türkiye'de ise aynı yıl için 196 kg/kişi, 2005 yılı için ise 230 kg/kişi'dir. (Gürgen S. ve diğer. 2002)

Ülkelerin gelişmişlik seviyelerini belirleyen diğer bir gösterge ise toplam çelik üretimi içinde yassı çeliğin payıdır. Makine imalatı, boru ve profil imalatı, ambalaj malzemesi imalatı, gemi ve konteynır yapımı, ev ve büro eşyaları imalatı, ısı gereçleri imalatı, otomotiv ve yan sanayi, elektrikli makine ve aletleri imalatı, tarım araçları imalatı, vs. gibi sanayi malları üretiminde kullanılan yassı çelik üretiminin toplam çelik üretimindeki payı, gelişmiş ülkelerde %54, gelişmekte olan ülkelerde %46, sanayileşme süreci devam eden Türkiye'de ise %23 seviyesindedir. Diğer yandan çelik üretiminin 2000-2010 yılları arasında gelişmiş ülkelerde %0,1 artacağı, gelişmekte olan ülkelerde ise bu artışın %4,1'ler seviyesinde olacağı tahmin edilmektedir. (Gürgen S. ve diğer. 2002)

Türk demir çelik sektörü 2000 yılında 14,3 milyon ton yıllık üretimi ve 7 milyon ton civarındaki toplam ihracatı ile, gelişmekte olan ülkeler arasında ilk sıralarda bulunmaktadır. Türkiye'de, her birinin yıllık kapasitesi 1.000.000 ton ile 3.000.000 ton arasında değişen üç adet entegre tesis ve kapasiteleri 400.000 ton ile 2.000.000 ton arasında değişen 17 adet elektrik ark ocaklı tesis bulunmaktadır. (Gürgen S. ve diğer. 2002)

19,8 milyon tonluk ülke ham çelik kapasitesinin, %31'ine tekabül eden 6,2 milyon tonu entegre tesislere (Erdemir, İsdemir, Kardemir), %69'una tekabül eden 13,6

milyon tonu ise 17 adet ark ocaklı tesislere aittir. (Gürgen S. ve diğer. 2002) Bu tesisler aşağıda kısaca incelenmiştir.

1.2.1.1 Devlete Ait Entegre Tesisler

Türkiye’de modern demir çelik endüstrisinin kuruluşunun ilk adımı Cumhuriyetin kuruluş yıllarına dayanmaktadır. I. Dünya Savaşı ve Kurtuluş Savaşının bitmesinden hemen sonra, ulusal bir demir çelik endüstrisine sahip olmanın gerekliliği anlaşılmıştır. Mart 1926’da yayınlanan 786 sayılı kanunla sektörün yapısının ilk temelleri atılmıştır.

Kurulan ilk tesis, Kırıkkale askeri tesisleri olmuştur. Bu tesiste, makine parçaları, el aletleri ve yapı sanayi için karbonlu çelik üretilmiştir.

Entegre boyutlarda ilk entegre demir çelik tesisinin kuruluşu 1937 yılında gerçekleşmiştir. Ulusal taşkömürü yataklarına yakınlığı, demir yolu hattı ve savaştan yeni çıkmış bir ülkenin korunması göz önünde tutularak bu stratejik tesis Karabük ilçesinde kurulmuştur. İlk üretim 1939 yılında 150.000 ton/yıl kapasite olarak gerçekleşmiştir.

Başlangıçta Karabük Demir ve Çelik Fabrikalarının yönetimi Sümerbank tarafından üstlenilmiştir. 1955 yılında yayımlanan 6559 sayılı kanunla, Karabük Demir Çelik İşletmeleri, Türkiye Demir Çelik İşletmeleri olarak değişmiş ve bağımsız bir kuruluş haline gelmiştir.

1950’li yılların ikinci yarısında Karabük Demir Çelik İşletmeleri ülke demir-çelik gereksinimini karşılayamaz olmuştur. Bu nedenle çelik kullanıcıları uzun ve yassı ürün ithal etmeye başlamışlardır. Türkiye’nin demir çelik sektöründeki bu dışa bağımlılığı yüksek miktarda döviz gerektirmiş ve ihtiyacın giderek büyümesi ikinci bir tesisin kuruluşunu zorunlu kılmıştır. Bunun sonucunda, Sümerbank, Karabük Demir ve Çelik İşletmeleri, Türkiye İş Bankası ve Ankara Sanayi Odasının oluşturduğu bir konsorsiyumla 1960 yılında 7462 sayılı özel kanunla, hisselerinin

%50'sinde üstünde bir pay devlete ait olsa da özel statüde çalışacak Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.'nin kurulması kararlaştırılmış ve ilk inşaat çalışmalarına 1961 yılında başlanmıştır. Tesisler 1965 yılında 470.000 ton/yıl kapasite ile üretime geçmiştir.

Gelişen sanayi ile birlikte sektörde artan talebi karşılamak için yine devletin sahibi olduğu bir entegre demir çelik tesisi olan İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları 1970 yılında kurulmuş ve 1975 yılında üretime geçmiştir.

1.2.1.2 Özel Sektöre Ait Ark Ocaklı Tesisler

Devlet tarafından kurulan üç entegre demir çelik tesisinin yanında, 1956 yılında Özel sektör tarafından Metaş 20.000 ton/yıl kapasiteyle kurulmuş ve sektöre hizmet etmeye başlamıştır. Metaş'ın kuruluşundan on yıl sonra özellikle 1980'li yılların ikinci yarısında elektrik ark ocaklı tesislerin sayıları artmış ve özel sektör üretim pastasından yarı yarıya pay almaya başlamıştır. Bu zamandan sonra özel sektör çelik endüstrisinde önemli bir yere sahip olmuştur.

Bu yıllarda hem entegre tesislerin, hem de ark ocaklı tesislerin toplam kapasitesi 4,2 milyon ton/yıl seviyelerinden başlayarak sanayinin gelişimine paralel, 21 milyon ton/yıl seviyelerine kadar sürekli artmıştır.

Bugün, kapasiteleri 100.000 ton/yıl ile 2.000.000 ton/yıl arasında değişen 15'i özel sektör tarafından işletilen 17 elektrik ark ocaklı tesis, ve biri özel olmak üzere kapasiteleri 700.000 ton/yıl, 2.200.000 ton/yıl ve 3.000.000 ton/yıl olan 3 adet entegre demir çelik tesisi bulunmaktadır.

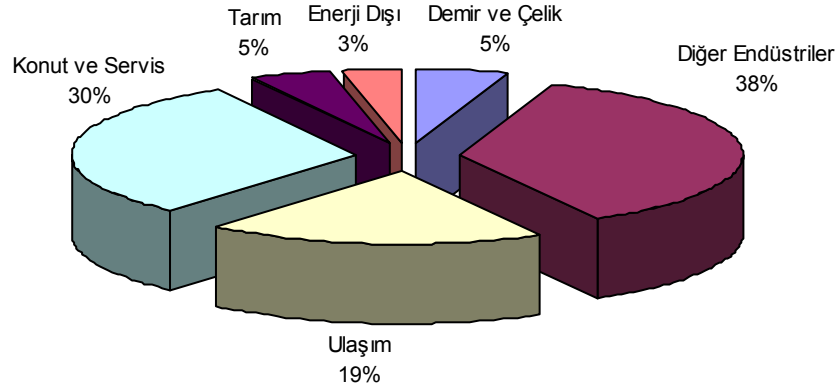
Türkiye toplam çelik üretiminde nihai ürün bazında, uzun ürünler %83, özel çelikler %2 ve sadece Erdemir'de üretilen yassı mamul %15 pay almaktadır. Tablo 1.1'de Demir Çelik Üreticileri Derneği'nden (DÇÜD) alınan ve Türkiye'de bulunan tüm demir çelik tesisleri kuruluş ve faaliyete geçiş tarihleriyle verilmiştir.

Tablo 1.1. Kronoloji sırasına göre Türkiye’de yerleşik demir çelik üreticileri (DÇÜD, 2003)

	Şirket İsmi	Yeri	Kuruluşu	İşletme
1	MKEK Çeliksın Çelik ve Ağır Silah San. Ve Tic. A.Ş.	Kırıkkale	1932	1932
2	KARDEMİR Karabük Demir ve Çelik San. Ve Tic. A.Ş. (Entegre)	Karabük	1937	1939
3	METAŞ İzmir Metalurji A.Ş.	İzmir	1956	1960
4	ERDEMİR Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. (Entegre)	Ereğli	1960	1965
5	KROMAN Çelik Sanayi A.Ş.	Gebze	1967	1969
6	ÇOLAKOĞLU Metalurji A.Ş.	Gebze	1968	1969
7	İcdaş Çelik Enerji Tersane ve Ulaşım San. A.Ş.	İstanbul	1970	1970
8	Cemtaş Çelik Makine San. Tic. A.Ş.	Bursa	1970	1972
9	ISDEMİR İskenderun Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş. (Entegre)	İskenderun	1970	1975
10	Asil Çelik Sanayi Tic. A.Ş.	Orhangazi	1974	1979
11	İzmir Demir Çelik Sanayi A.Ş.	Aliağa	1975	1987
12	Çukurova Çelik Endüstrileri A.Ş.	Aliağa	1978	1982
13	Ekinciler Demir Çelik A.Ş.	İskenderun	1978	1989
14	Diler Demir Çelik ve End. Ve Tic. A.Ş.	Gebze	1980	1984
15	Çebitaş Demir Çelik End. A.Ş.	Aliağa	1981	1989
16	Ege Metal Demir Çelik San. Tic. A.Ş.	Aliağa	1985	1994
17	Habaş Sınai ve Tic. A.Ş.	Aliağa	1985	1987
18	Yeşilyurt Demir Çekme Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.	Samsun	1985	1997
19	Sivas Demir Çelik İşletmeleri A.Ş.	Sivas	1985	1992
20	Yazıcı Demir Çelik Sanayi Tic. A.Ş.	İskenderun	1991	1994

1.2.2 Çelik Sektöründe Enerji Tüketimi

Dünya Enerji Konseyi, Türk Milli Komitesinin (DEK-TMK) değerlerine göre, Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi 2003 yılında Türkiye’nin toplam net enerji tüketimi içerisinde %5’lik payı demir çelik sektörü almıştır.



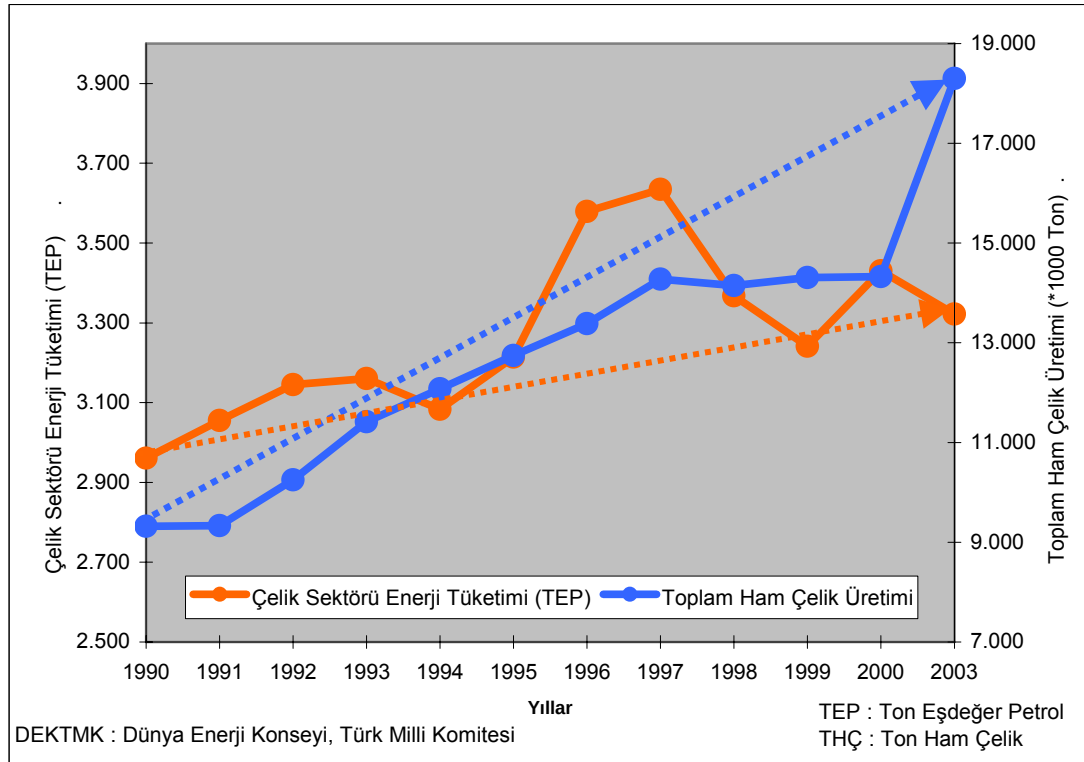
Şekil. 1.2. 2003 yılı Türkiye net enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımı (DEK-TMK, 2003)

Türkiye’nin genel tüketiminden böylesine önemli bir pay alan demir çelik sektöründe tüketilen birincil ve ikincil ana enerji kalemleri aşağıda sıralanmıştır;

- Elektrik (ark ocaklı ve entegre tesislerde),
- Doğal Gaz (ark ocaklı ve entegre tesislerde),
- Fuel Oil (ark ocaklı ve entegre tesislerde),
- Kömür (entegre tesislerde),
- Buhar (ark ocaklı ve entegre tesislerde),
- Kok (entegre tesislerde),
- Yüksek Fırın Gazı (entegre tesislerde),
- Kok Gazı (entegre tesislerde),
- Çelikhane Gazı (entegre tesislerde),
- Katran (entegre tesislerde),
- Alüminyum (ısıtma amaçlı - entegre tesislerde).

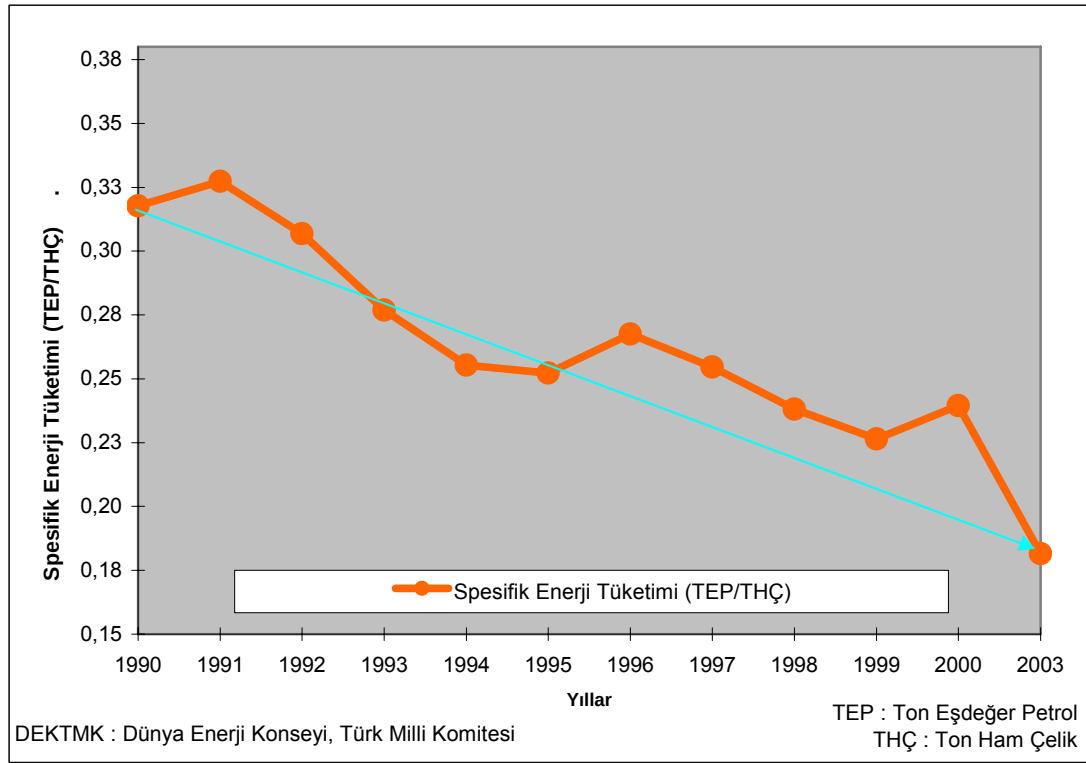
Bu sıralama içerisinde, tek tek enerji kalemleri bazında bakıldığında sektörün ülkenin genel enerji tüketimi içerisinde ulaştığı payın önemi ortaya çıkmaktadır.

Diğer yandan yıllara göre Türk Demir Çelik Sektörü'nün 1990-2003 yılları arasında ton ham çelik üretimi ve sektörün genel olarak enerji tüketimi Şekil 1.3.'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Türkiye ham çelik üretimi ve çelik sektörünün enerji tüketimi

Şekil 1.3.'ten de görüleceği üzere Türkiye'nin ham çelik üretimi yüksek ivmeli bir artış eğilimi içerisinde. Bununla birlikte, sektördeki üretim artışına rağmen sektörün tükettiği toplam enerji miktarındaki artış, ark ocaklı ve entegre tesislerdeki enerji verimliliği artırma çalışmalarının etkisi, tesislerdeki tasarruf çalışmaları ve verimli enerji tüketimi sağlayan teknoloji ve ekipmanların seçilmesi ile sınırlı oranda kalmıştır.

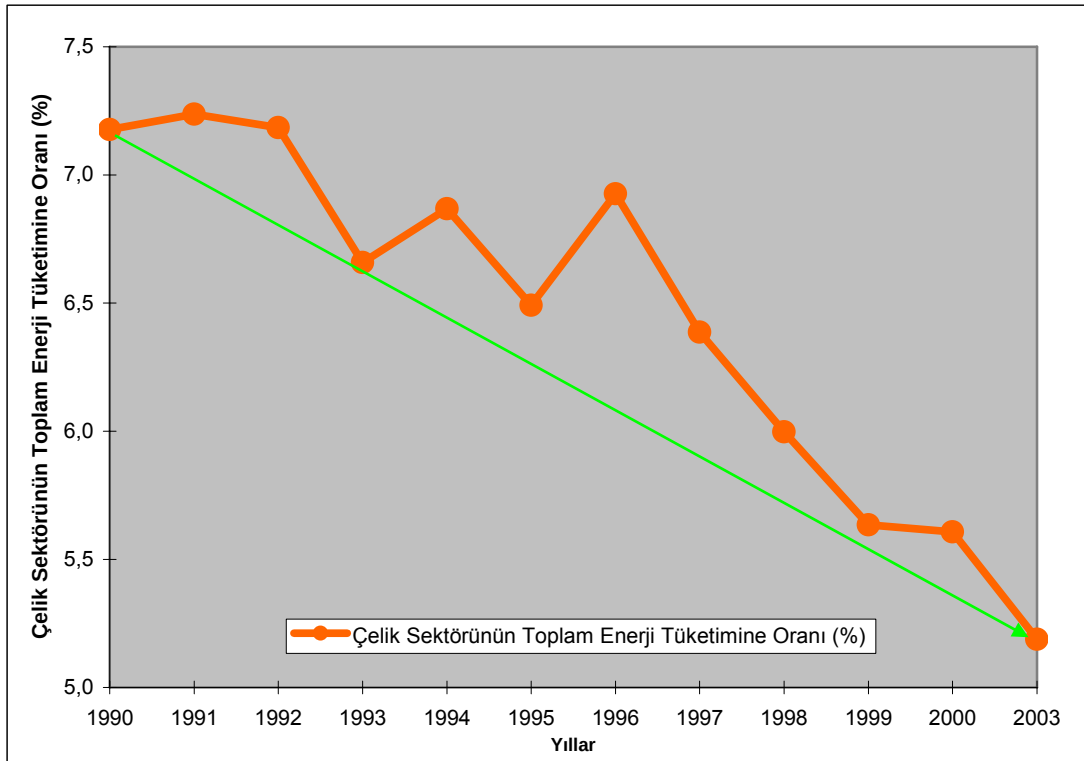


Şekil 1.4. Demir-Çelik sektöründeki spesifik enerji tüketimi (TEP/THÇ)

Şekil 1.4'te verilen enerji verimliliğinin önemli bir göstergesi olan spesifik enerji tüketimindeki düzenli azalış eğilimi Türk Demir Çelik sektörünün enerji tasarrufu konusunda gösterdiği çabaların açık bir kanıtı olarak görülmektedir.

Şekil 1.5'te görüleceği üzere ise, demir çelik sektörün payı, Türkiye'nin toplam enerji tüketiminde giderek azalan bir seyir izlemektedir. Toplam enerji tüketiminde sektör payının azalmasının nedeni, spesifik enerji tüketiminin düşmesidir. Spesifik enerji tüketimi ise; özellikle enerji tüketimi yoğun olan entegre tesislerde; sürekli dökümler, BOF (Bazık Oksijen Fırınları) gibi yeni nesil tesislerin inşa edilmesi ve kok kuru söndürme, atık ısıların geri kazanılması vs. gibi enerji verimliliğini artıran projelerin uygulanmasıyla düşürülmüştür.

Sonuç olarak, Türkiye'nin gelişme hızına bağlı olarak toplam enerji tüketimi artarken, demir-çelik sektörünün bu tüketim içinde aldığı pay düzenli olarak azalmaktadır.



Şekil 1.5. Demir-Çelik sektörünün toplam enerji tüketimindeki payının değişimi

Türkiye'nin 2001 yılı rakamlarına göre, 128 milyar kwh civarındaki elektrik enerjisi tüketiminin 8 milyar kwh (%6,25) civarındaki bölümü demir çelik sektörü tarafından tüketilmiştir. Söz konusu elektriğin 6 milyar kwh'lik bölümü ark ocaklı tesisler, geriye kalan 2 milyar kwh'lık miktar ise entegre tesisler tarafından tüketilmiştir. Ark ocaklı tesislerin elektrik tüketiminden aldıkları payın yüksek olmasının nedeni, bu tesislerin ana enerji tüketim kalemi olarak elektrik enerjisini kullanmalarıdır. (DEK-TMK, 2001)

Genel olarak incelendiğinde ark ocaklı tesislerde, ortalama olarak 1 ton ham çelik üretimi için ortalama olarak 500 Kwh elektrik enerjisi kullanıldığı görülmektedir. 1 ton nihai mamul üretimi için haddehanelerde harcanan elektrik enerjisi miktarı ise ortalama 100 kwh civarında olmaktadır.

Elektrik enerjisi kullanımında, entegre tesislere göre daha önde olan ark ocaklı tesisler, toplam enerji tüketiminde ise daha düşük bir paya sahiptir. Bunun en önemli nedeni, cevhere dayalı olarak üretim yapan entegre tesislerin toplam enerjilerindeki

%70-75’lik payın kömür ve türevlerinden oluşmasıdır. Tükettiği elektrik enerjisinin büyük bir bölümünü kendi bünyesinde üreten entegre tesislerin satın aldıkları elektrik enerjisinin payı, toplam birincil enerji tüketimi içerisinde %3-5 civarındadır.

Son olarak, Demir Çelik Üreticileri Derneği’nden alınan 2000 yılı verilere göre entegre tesislerin, demir çelik sektörünün toplam enerji tüketiminin %88’ini yaptığı, hurda prosesli çalışan ark ocaklı tesislerin ise toplamdan aldıkları payın %12 mertebesinde olduğu belirlenmiştir. Bu bulgulara göre, daha büyük miktarda enerji tasarruf potansiyelinin belirlenebilmesi açısından, yapılacak çalışmanın entegre tesislerde odaklanması kararlaştırılmıştır.

BÖLÜM İKİ

ENTEĞRE DEMİR ÇELİK SEKTÖRÜNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE ENERJİ DENGİ ANALİZLERİ TANIMLARI

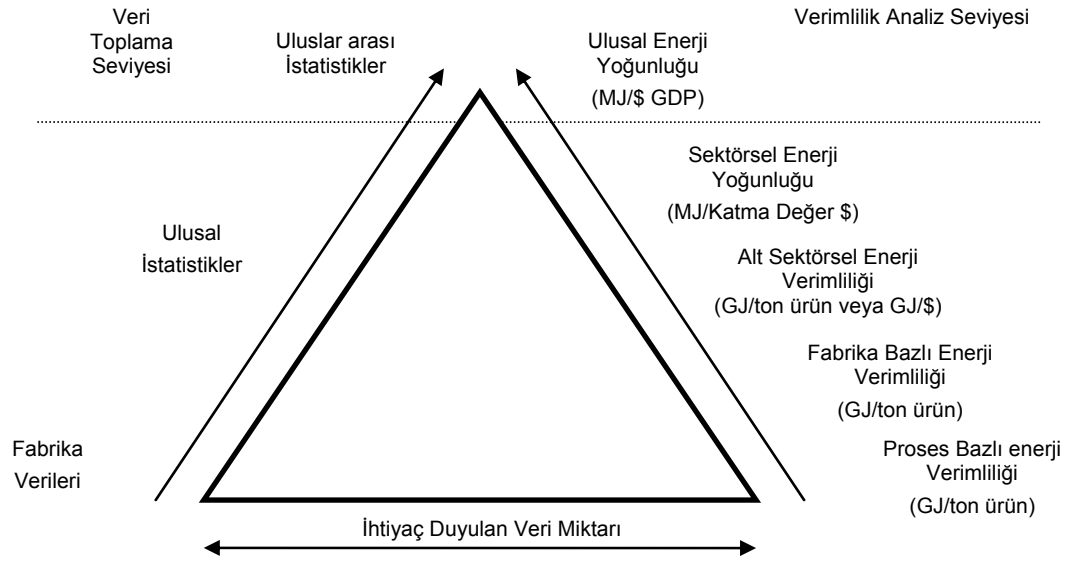
2.1 Enerji Verimliliği Konusunda Temel Kavramlar

Endüstriyel her sektörde bulunan “Enerji Verimliliği” kavramı toplumsal seviyelerde belirlendiği gibi en alt sektörler kadar tanımları yapılabilmektedir. Bu tanımlar;

- Ulusal Seviye,
- Ana Sektörler Seviyesi (Üretim Endüstrisi, Konut, Hizmet ve Ulaşım),
- Sektörler Seviyesi (Yiyecek Sektörü, Temel Metal Sektörü),
- Alt Sektörler Seviyesi (Süt Ürünleri, Demir Çelik),
- Alt Sektörler İçerisindeki Firmalar Seviyesi,
- Proses Hatları Seviyesi

kademelerinde olmaktadır.

Bir üçgen piramit şeklinde gösterilebilecek enerji verimliliğinin toplumsal yayılımı ve analiz seviyeleri Şekil 2.1’de verilmiştir. Buna göre proses bazında elde edilen veriler önce fabrika, daha sonra alt sektör ve sektör, son olarak da Ulusal enerji yoğunluğu olarak ülkelerin enerji stratejilerini belirlemelerinde rol oynamaktadır. (Phylipsen G.J.M, diğer., 1998)



Şekil 2.1. Enerji verimliliği gösterge piramidi (Phylipsen G.J.M, diğer., 1998)

Enerji verimliliğinin değişik analiz seviyelerinde olmak üzere farklı seviyelerde göstergesi bulunmaktadır. Şekil 2.1'deki piramitte verilen, tabana doğru azalan seviyede göstergelerin analiz edilebilme değerleri artmakta ve bu analizi etkileyecek yapısal etkiler (farklı proses ve/veya sektörlerin bir arada bulunması gibi) daha da azalmaktadır. Bu şekilde piramitte alt seviyelere inildikçe enerji tüketimini belirleyen faktörlerin anlaşılması kolaylaşmaktadır. Piramidin tabanına (proses seviyesine) inildikçe, veri toplama işlemi daha detaylı ve zor olmakta, ancak elde edilecek analizin kalitesi ve analizden elde edilecek kazanç büyümektedir. Alt seviyelerde proseslere doğru yapılacak direkt sorgulamalar, amaçlanan spesifik analizlerin verimliliğini artıran önemli faktörlerden biridir.

2.1.1 Fiziksel Enerji Verimliliği Göstergesi (Spesifik Enerji Tüketimi)

Birim enerji tüketimi ve/veya enerji yoğunluğu olarak da bilinen fiziksel enerji verimliliği göstergesi “spesifik enerji tüketimi” olarak adlandırılmaktadır. Bu tanım fiziksel bir dönem içerisinde enerji tüketiminde insan aktivitelerini ölçme oranı olarak da verilebilmektedir. Enerji verimliliğinin (Spesifik Enerji Tüketimi - SET) net olarak açılımı ise aşağıdaki formülde verildiği gibi birim üretim başına yapılan enerji tüketimi olarak açıklanabilmektedir. Sonuç olarak enerji verimliliğinin

geliştirilmesinde malzeme ve ürün kayıplarının da minimize edilmesi önemli rol oynamaktadır. SET'ini formüle edecek olursak;

$$\text{Spesifik Enerji Tüketimi} = \frac{\text{Toplam Enerji Tüketimi (Mcal)}}{\text{Toplam Üretim (Ton)}} \text{ ,dir.}$$

Bu tanımlamada ele alınan ilk faktör olan “Toplam Enerji Tüketimi” endüstrinin çeşitli dallarında kabul edilen enerji birimleri ile ilişkilendirilebilmektedir. Bu birimler;

- Mcal (Mega Kalori), Kcal (Kilo Kalori) veya Gcal (Giga Kalori),
- GJ (Giga Joule) veya MJ (Mega Joule),
- Btu (British Thermal Unit)

gibi enerji birimleri olabilmektedir.

Tanımlamada yer alan bir diğer faktör “Toplam Üretim” miktarı sektörün ve elde edilen ürünün yapısına göre;

- m (metre),
- ton,
- kg,
- m³,
- m²

gibi ölçü birimleri olabilmektedir.

Fiziksel enerji verimliliğinin önemli bir avantajı, enerji verimliliği teknolojilerinden elde edilen kazançlar ve enerji tasarrufu ölçümlerinin etkinliğini doğrudan doğruya spesifik enerji tüketiminin azaltılması biçiminde açıklayabilmesidir. Aynı zamanda bu gösterge, proseslerdeki aktivite seviyelerinin

hangi boyutta birbirlerini etkilediğini ve bu aktivitelerden herhangi birinin birim maliyetleri ne ölçüde artırdığını da doğrudan ve kolayca vermektedir.

2.1.1.1 Entegre Demir Çelik Sektöründe Kullanılan Enerji Kaynakları

“Entegre Demir Çelik Sektörü”, cevhere dayalı üretim yapan ve 2005 yılı verilerine göre dünyadaki toplam çelik üretiminin %63’ünü oluşturan bir endüstri koludur (IISI, 2005). Entegre demir çelik üretiminin bir diğer alternatifi “Ark Ocaklı” tesislerde elektrik enerjisi kullanarak hurdayı çeliğe çevirme yöntemidir. Enerji tüketimi yönünden incelendiğinde cevher bazlı üretim yapan entegre demir çelik tesislerinin, hurda bazlı üretim yapan ark ocaklı tesislere oranla daha fazla miktar ve çeşitte enerji kullandığı görülmektedir.

Buradan hareketle, yapılan çalışmadan elde edilecek sonuçların ve yapılacak önerilerin, Türkiye’nin enerji tüketiminden daha fazla pay alan diğer entegre tesisler için model olması amaçlanmıştır. Bu düşünce ile, entegreye göre çok daha düşük spesifik enerji tüketimiyle üretim yapan ark ocaklı tesisler bu çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır.

Ark ocaklı tesislerde ana enerji üretim kalemlerini elektrik ve oksijen oluştururken, entegre tesislerde kullanılan enerji kalemleri ve birincil enerji kullanılarak üretilen yardımcı enerji kaynakları şöyle sıralanabilir:

- Kömür,
- Kok,
- Elektrik,
- Fuel Oil,
- Doğal Gaz (DG),
- Yüksek Fırın Gazı (YFG),
- Kok Gazı (KG),
- Çelikhane Gazı (ÇG),
- Katran,

- Hafif Yağ,
- Su,
- Tuzlu Su,
- Isıtma Amaçlı Briket Alüminyum,
- Buhar,
- Oksijen,
- Diğerleridir.

2.1.1.2 Entegre Demir Çelik Tesislerinde Proseslerin Verimlilik Tanımları

Entegre bir demir çelik tesisinde fabrika genelinde yapılan işleri gösteren bir akış şeması Şekil 2.2’de sunulmuştur. Buradan görüleceği üzere entegre tesiste önce cevherden demir üretilmekte, döküm tesislerinden sonra haddeleme prosesleri ile kullanıma sunulabilir üretim yapılmaktadır.

Tüm bu kapsamlı üretim prosesleri tesislerin entegrelik özelliklerinden dolayı mamul üretimi, enerji ve malzeme tüketimleri açısından birbirlerine doğrudan doğruya bağlıdır. Bu bağlılık sonucu aynı entegre tesis içinde bulunan tüm hatların yaptıkları işler sonucu oluşan enerji parametrelerinin aynı tesisin başlangıç yada bir başka tesisin tetikleyici parametresi olduğu çoğu zaman gözlenmektedir. Bu da tesislerin verimlilik analizlerinin yapılması aşamasında hat bazlı değerlendirmelerin yanında tesis geneli bütünsel değerlendirmenin de bir ihtiyaç olduğunun önemli bir kanıtıdır.

Yukarıda genel verimlilik tanımlamasında açıklandığı gibi enerji verimliliği, bir ton üretim başına yapılan enerji tüketimi olarak ifade edilmektedir. Bu ifade sayısal olarak ise, enerji tüketimi için Mcal/ton; enerji maliyeti yönünden ise YTL (USD)/ton olarak gösterilmektedir. Entegre tesislerde ton üretim miktarı olarak, tesislerin yarı mamul çıktısı olan ham çelik, sıcak bobin veya nihai mamul ürünü olan soğuk bobin üretimi alınmaktadır.

Temel anlamda, entegre bir tesisin tümünün enerji verimliliği, içerisinde onu oluşturan tüm tesislerin kısmi enerji verimliliklerinin toplamıdır. Tesislerin kısmi bazda enerji verimliliklerinden söz edilirken ise temel alınan ölçüt, sadece o tesisin kendi üretimi için yaptığı enerji kullanımıdır. Aşağıda temel bir tesis bazında yapılabilecek enerji verimliliği hesabı örneği verilmiştir.

Ünitenin Adı	Üretim	Tüketilen Enerji	Kazanılan Enerji	Net Enerji	Spesifik Enerji
X Ünitesi	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)

Burada:

a : Tüketilen enerjinin kalorifik değeri (kcal/kg, m³, kwh),

b : Kazanılan enerjinin kalorifik değeri (kcal/kg, m³, kwh) alındığında,

Hesaplama da kullanılacak eşitlikler:

X Ünitesinde Tüketilen Net Enerji Miktarı : $D = B \times a - C \times b$,

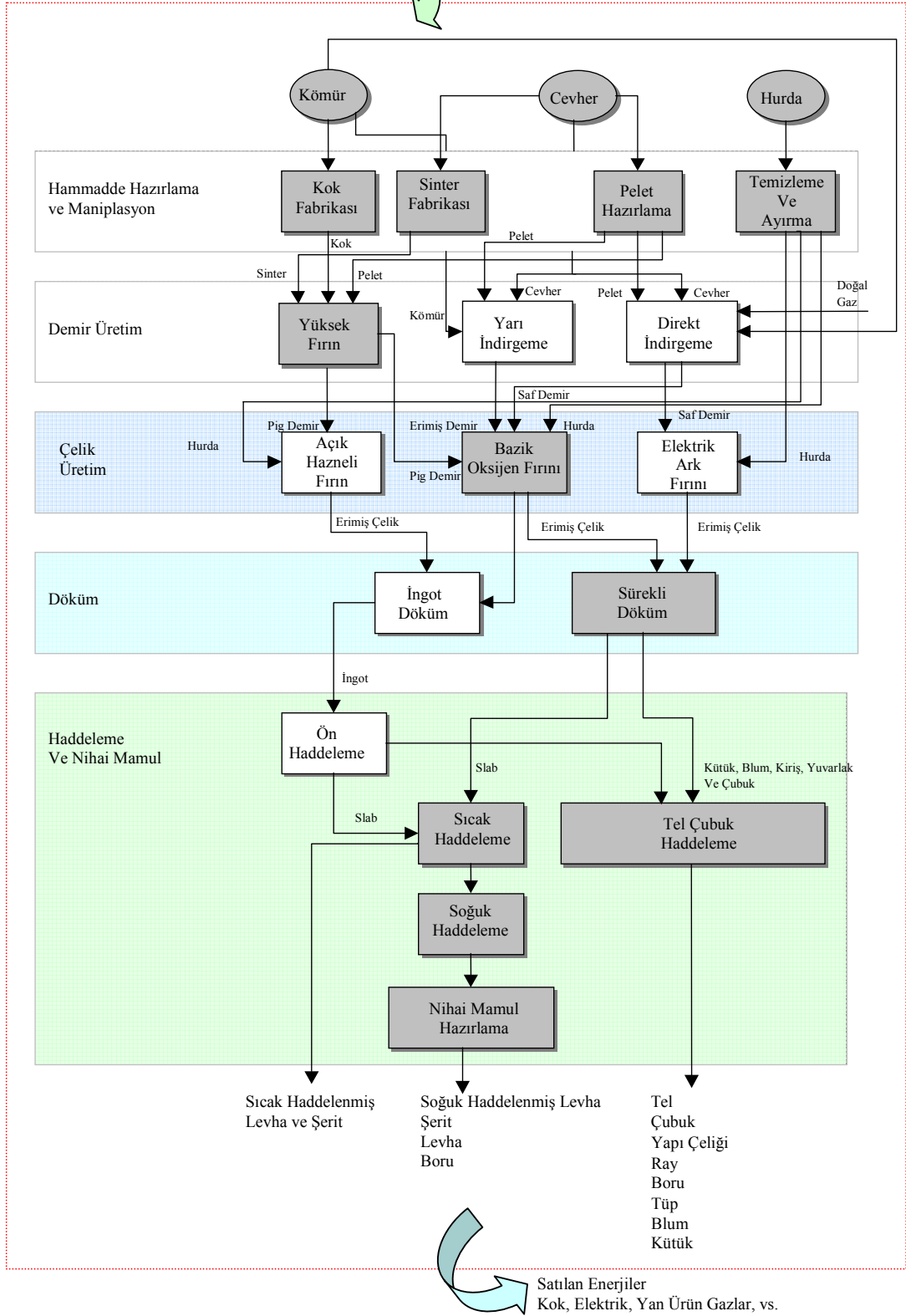
X Ünitesinin Spesifik Enerji Tüketimi : $E = \frac{(B \times a - C \times b)}{A} \left(\frac{kcal}{kg, m, m^2} \right)$,

X Ünitesinin Spesifik Enerji Kalem Tüketimi : $E = \frac{D}{A} \left(\frac{Nm^3, Sm^3, kg, kWh}{ton, kg, m, m^2} \right)$,

olacaktır.

Entegre bir demir çelik tesisinde enerji verimlilik göstergesi olan spesifik enerji tüketiminin hesaplanmasında, üç değişik proses tanımlamak mümkündür. Aşağıda ayrıntıları verilen bu üç ayrı proses, kendi yapıları gereği, temel olarak aynı ölçütleri kullanmaktadır.

Giren Birincil Enerjiler,
Kömür, Kok, Elektrik, Doğal Gaz ve Fuel Oil



Şekil 2.2. Entegre bir demir çelik tesisinde proses akışı

Şekil 2.2.'de entegre bir demir çelik tesisi için farklı proseslerden oluşan genel bir akış şeması verilmiştir. Entegre çelik üretim prosesi hammadde hazırlama ve manipulasyon, demir üretim, çelik üretim, döküm ve haddeleme ana proseslerinden oluşmaktadır. Entegre tesislerin günümüzde en çok kullanılan iki prosesi yüksek fırın teknolojisi ile demir cevherinden sıcak maden, akabinde bazik oksijen fırınları ile çelik üretme ve ark ocaklı tesislerde hurdadan çelik üretmektir.

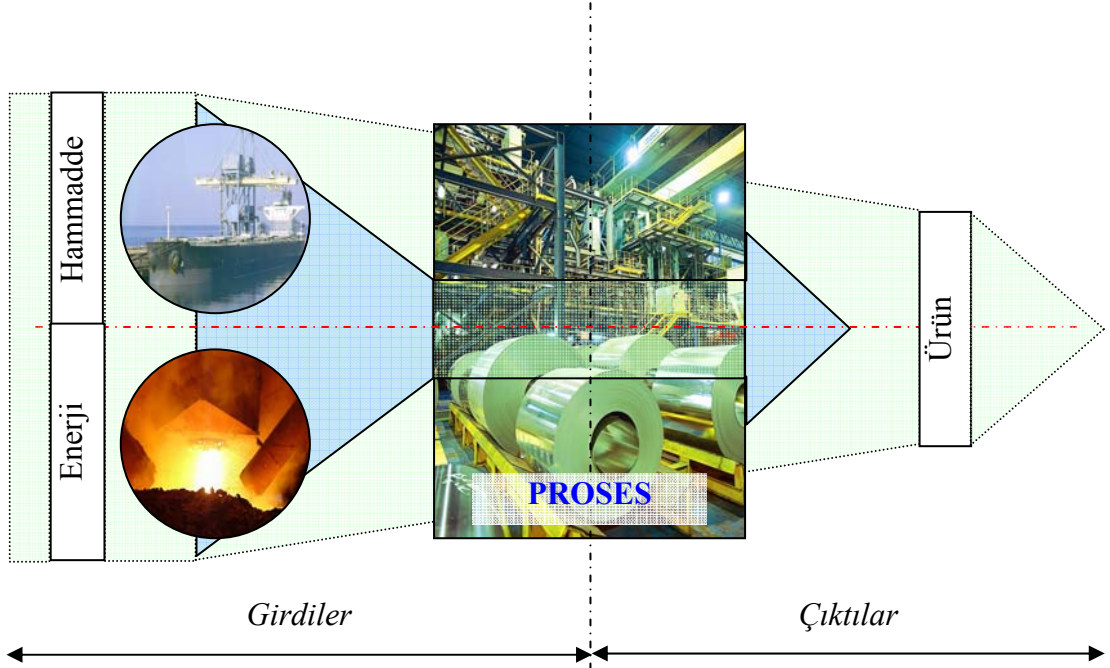
Demir üretim prosesindeki yarı indirgeme ve direkt indirgeme teknolojileri yeni geliştirilen teknolojiler olmakla beraber, çelik endüstrisinde pratik uygulama sayılarının artması için 2020'li yıllar ön görülmektedir.

Çelik üretim aşamasında ise, açık hazneli fırınlar sektörce bazik oksijen fırınların getirdiği üretim verimliliğindeki artışlar paralelinde terk edilen bir teknoloji konumuna gelmiştir. Çelik üretim aşamasının önümüzdeki dönemde ark ocaklı tesislerin, gerek çevresel faktörler (daha fazla enerji tüketimi nedeniyle sera gazı emisyonlarının yüksekliği) ve gerekse kaliteli demir cevherinin yeryüzünde keşfedilmiş rezervler ile sınırlı olması sonucu bazik oksijen fırınlı tesislere göre daha fazla tercih edilen bir proses olacağını göstermektedir.

Haddeleme ve nihai mamul aşaması ise temelde iki farklı prosesle ayrılmakta olup bu prosesler birbirinin ikamesi değildir. Daha çok demir yolu, köprü, bina, vs. gibi alt yapı işlerinde kullanılan uzun mamul üretim prosesi ile elektronik eşya, gemi, araba, basınçlı kap vs. gibi teknoloji bazlı ürünlerde kullanılan yassı mamul üretim proseslerinin geleceğini Dünya'nın gelişmişlik düzeyi belirleyecektir. Alt yapısını tamamlamış ülkeler için uzun mamullerin hakim olduğu çelik üretim piyasasının var olacağını düşünmek mümkün görülmemektedir.

2.1.1.2.1 Çelik Ürünleri Üreten ve Enerji Kazanımı Olmayan Prosesler

Bu tür proseslerde, prosese giren hammadde ve enerjinin sonucunda ürün, çıktı olarak alınmaktadır. En basit enerji verimlilik hesaplaması bu prosesler için yapılmaktadır.



Şekil 2.3. SET hesaplama biçimi - I

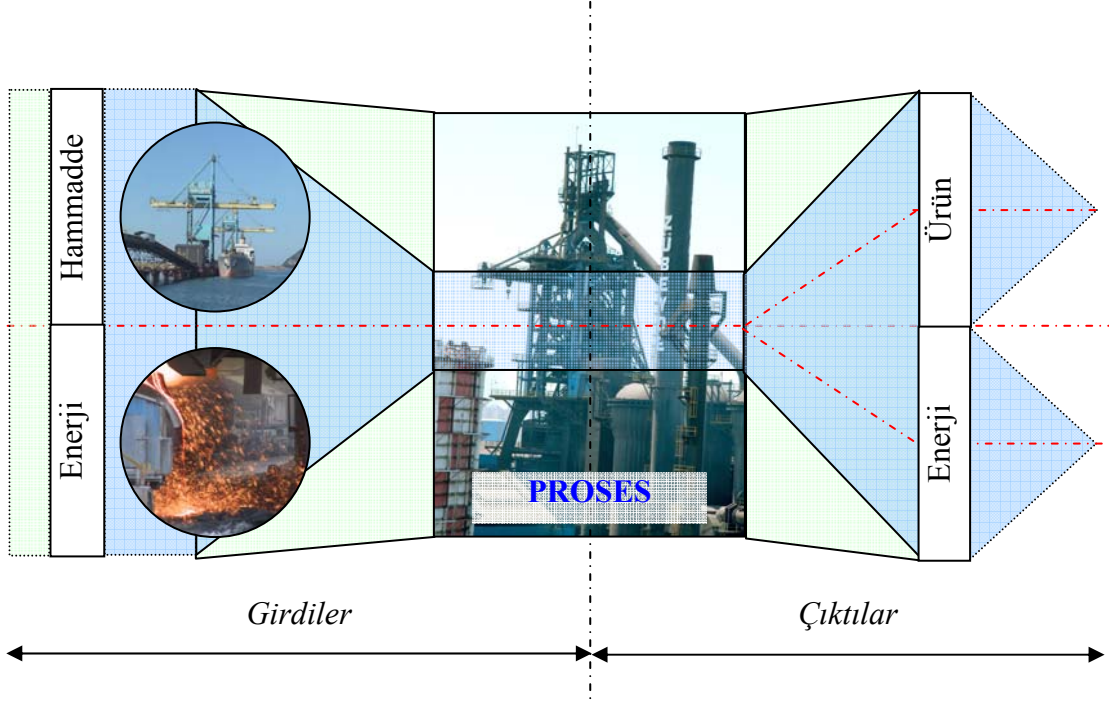
Burada;

$$\text{Spesifik Enerji Tüketimi (SET)} = \frac{\text{Enerji Tüketimi (Mcal)}}{\text{Toplam Üretim (ton)}}, \text{ dir.}$$

Genellikle haddehanelerde (teneke hattı, slab fırınları, kalay krom kaplama hattı, galvanizleme hattı, asitleme hattı, tavlama hattı, vs.) yer alan bu tür proses ve tesislerdeki enerji verimliliği Mcal/ton (ürün) cinsinden hesaplanmaktadır.

2.1.1.2.2 Çelik Ürünleri Üreten ve Enerji Kazanımı Olan Prosesler

Bu tür proseslerde esas çıktı olarak çelik ürünlerinin yanında, prosesin doğası gereği yan ürün olarak enerji kazanımı da sağlanmaktadır.



Şekil 2.4. SET hesaplama biçimi - II

Burada;

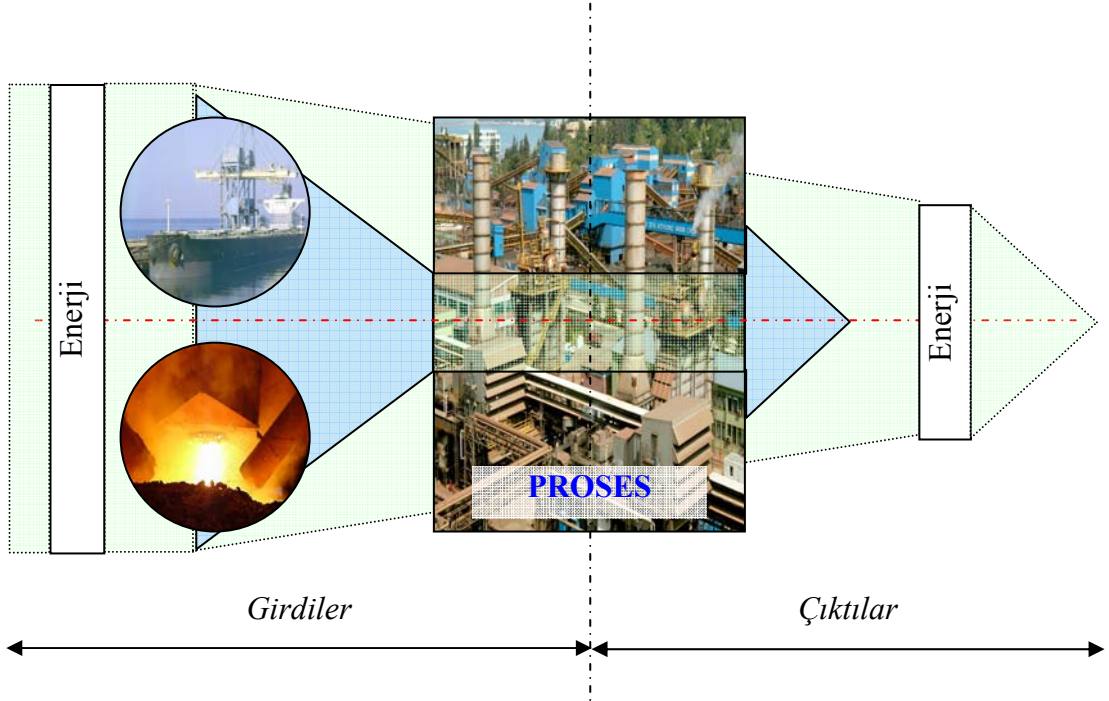
$$SET = \frac{\text{Giren Enerji (Mcal)} - \text{Çıkan Enerji (Mcal)}}{\text{Toplam Üretim (ton)}} \text{ ,dir.}$$

Bu tür tesislere örnek olarak yüksek fırınlar ve çelikhane verilebilir. Yüksek fırınlarda sıcak maden üretiminin yanı sıra, proses gereği yüksek fırın gazı yan ürün olarak üretilmektedir. Yüksek fırın gazının kalorifik değeri 700-800 kcal/Nm³ düzeyindedir. Çelikhane’de ise sıvı çelik üretiminin yanı sıra, yan ürün olarak çelikhane gazı üretilmektedir. Bu gazın kalorifik değeri ise 1500-2000 kcal/Nm³ arasındadır. Bu gazlar, entegre tesislerin enerji ihtiyacı olan herhangi bir yerinde birincil enerji kaynaklarını ikame olarak kullanılabilmektedir.

Bu tesislerde spesifik enerji tüketimi, Şekil 2.4’de gösterildiği gibi, birim üretim için proseste harcanan enerji miktarından, yan ürün olarak ortaya çıkan enerji miktarı çıkartılarak bulunmaktadır.

2.1.1.2.3 Çelik Ürünleri Üretmeyen Ancak Üretime Destek İçin Fabrika Bünyesinde Yer Alan ve Enerji Kazanımı Olan Prosesler

Üçüncü grubu oluşturan proseslerde, çelik ürünleri üretimi yapan tesislerde kullanılacak enerji kaynağı veya yardımcı kaynaklar üretilmektedir. Burada esas olarak enerji çevrimi veya yardımcı kaynak üretimi için enerji tüketimi yapıldığından proses üretimi başına tüketilen enerji miktarı yine net enerji olarak alınmaktadır.



Şekil 2.5. SET hesaplama biçimi - III

Burada;

$$SET = \frac{\text{Giren Enerji (Mcal)} - \text{Çıkan Enerji (Mcal)}}{\text{Toplam Üretim (ton)}} \text{ ,dir.}$$

Bu tesislere kuvvet santrali, kok fabrikası, oksijen fabrikası, su tesisleri örnek olarak verilebilir.

Yukarıda üç temel hesaplama biçimleri verilen entegre demir çelik sektöründe enerji verimliliğinin göstergesi; Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (1997) yılında yayınladığı “Sanayide Enerji Yönetimi Esasları” gibi yurt içi ve Phylipsen G.J.M., Blok K. ve Worrell E., (1998) “Handbook on International Comparisons of Energy Efficiency in the Manufacturing Industry”, Worrell E., Price L., Martin N., Farla J. ve Schaeffer R., (1997) “Energy Intensity in the Iron and Steel Industry: A Comparison of Physical and Economical Indicators”, Asia Pacific Energy Research Centre (2000) “Energy Efficiency Indicators”, Environment Directorate of European Commission (2000) “Study on Energy Management and Optimization in Industry”, Beer J., Harnisch J. ve Kerssemeeckers M. (2003) “Greenhouse Gas Emissions from Iron and Steel Production” ve Nippon Steel Cooperation (1982) “Final Report on Energy Conservation Program in Turkish Industry” gibi yurt dışı literatürlerde aynı biçimde bir tanımlama ile spesifik enerji tüketimi olarak kabul edilmektedir. Spesifik enerji tüketiminin demir çelik sektöründe kullanılan birimi genel fabrika bazında Mcal/ton Ham Çelik ya da GJ/ton Ham Çelik’tir. Esas olarak Mcal ve GJ birimleri enerji birimi olmakla birlikte birbirleri cinsinden ifade edebilmek için bir çevrim faktörü kullanılarak birbirine çevrimleri mümkün olmaktadır.

Sektörde kullanılan bu ana gösterge detaylandırıldığında ise ünite bazında enerji verimlilikleri çıkarılabilmektedir. Ünitelerin enerji verimlilik göstergesi ise Mcal/ton Proses Üretimi’dir (TÜ). Burada ton Proses Üretimi bir ölçüttür ve ünitenin ürettiği ürüne bağlı olarak, metre, Nm³, kwh gibi değerlerle tanımlanmaktadır.

2.1.1.3 Spesifik Enerji Tüketimi Hesaplarında Kullanılan Değişik Enerji Kalemlerinin Tek Birim Olarak İfadesi

Entegre demir çelik tesislerinde üretim yapılırken kullanılan enerjiler çok çeşitli ve çok boyutlu olabilmektedir. Ancak verimlilik hesaplamalarının yapılmasında tüm bu kalemlerin tek bir birim cinsinden gösterilmesi gerekmektedir. Bunun nedeni, farklı birimlerdeki enerji kaynaklarının (kwh, ton, Sm³, gibi), tek bir enerji birimiyle ifade ederek, ortak bir payda toplanabilmesini sağlamaktır. Ancak bu şekilde

birbirinden farklı enerjiler kullanan bir prosesin ortak bir payda ile enerji tüketiminin hesaplanması ve ölçülmesi mümkün olmaktadır.

Kömür, Kok, Yüksek Fırın Gazı, Kok Gazı, Çelikhane Gazı, Doğal Gaz gibi kalorifik ölçümü daha sık yapılan enerji kalemlerinin yanında Buhar, Oksijen, Elektrik, Su, Tuzlu Su, Alüminyum gibi kalorifik değeri sabit alınabilecek enerji kalemleri de bulunmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın (ETKB) 11 Kasım 1995 ve 22460 sayılı yönetmeliğinde verilen enerji kaynaklarından entegre demir-çelik sektöründe sıklıkla kullanılan alt ısı değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Demir-Çelik sektöründe kullanılan enerjilerin alt ısı değerleri (ETKB, 1995 ve Erdemir, 2004)

Miktar	Enerji Kaynağı	Isıl Değer	Birim	Açıklama
1 ton	Kok Kömürü	7200	kcal/kg	Koklaşabilir taşkömürünün kalorifik değeri kömürün kimyasal özellikleriyle direkt ilgili olup her tesis için ayrıca ölçülmelidir.
1 ton	Kok	7680	kcal/kg	Kokun kalorifik değeri kömürün ve prosesin fiziksel ve kimyasal özellikleriyle direkt ilgili olup her tesis için ayrıca ölçülmelidir.
1 ton	Fuel Oil No 6	9200	kcal/kg	Sınıfı belli olan fuel oil standart olarak üretilmektedir
Bin Nm ³	Çelikhane Gazı	1500 2000	kcal/Nm ³	Konvertörlerde toplanan gazın içerisindeki karbon oranıyla ilgilidir. Her tesis için ayrıca ölçülmelidir.
1 ton	Katran	9000	kcal/kg	Kimyasal kalorifik değerdir.

Tablo 2.1. Demir-Çelik sektöründe kullanılan enerjilerin alt ısı değerleri (Devamı)

Miktar	Enerji Kaynağı	Isıl Değer	Birim	Açıklama
1 ton	Hafif Yağ	10032	kcal/kg	Kimyasal kalorifik değerdir.
Bin Sm ³	Doğal Gaz	8250	kcal/Sm ³	Doğal Gazın kalorisi, içerisinde ihtiva ettiği Karbon ile değişmekle beraber Türkiye’de BOTAŞ bu değeri sabitlemekte, fazla/eksik kaloriyi miktar ile dengelemektedir.
Bin Nm ³	Yüksek Fırın Gazı	791	kcal/Nm ³	Yüksek fırınlara şarj edilen malzemelerin ve prosesin fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilgilidir. Her tesis için ayrıca ölçülmelidir.
Bin kwh	Elektrik	2300	kcal/kwh	Elektriğin ısı değeri 860 kcal/kwh olup, demir çelik sektöründe enerji olarak kullanılırken santraldeki çevrim verimleri göz önüne alınıp birincil enerjiye çevrilmektedir.
1 ton	Buhar	800	kcal/kg	Buharın kalorifik değeri basınç ve sıcaklığına bağlı olarak değişmekte olup her tesisin şartlarına göre yeniden belirlenmelidir.
Bin Nm ³	Kok Gazı	4028	kcal/Nm ³	Kok elde etmede kullanılan kömürün fiziksel ve kimyasal özellikleriyle direk ilgili olup her tesis için ayrıca ölçülmelidir.
Bin m ³	Oksijen	1600	kcal/Nm ³	Oksijen üretiminde kullanılan birincil enerji eşdeğeri olarak alınmıştır.
1 ton	Su	500	kcal/kg	Su üretiminde kullanılan birincil enerji eşdeğeri olarak alınmıştır.

Tablo 2.1'deki çevrim katsayılarından yararlanılarak bir prosese giren enerji miktarı ne kadar çeşitli olursa olsun Mcal olarak tek bir birim cinsinden ifade etmek mümkün olmaktadır. Bu çevrim katsayıları kullanılmadan farklı birimlerdeki enerji kalemlerinin ortak bir dilde ifade edilmesi mümkün olmayacaktır.

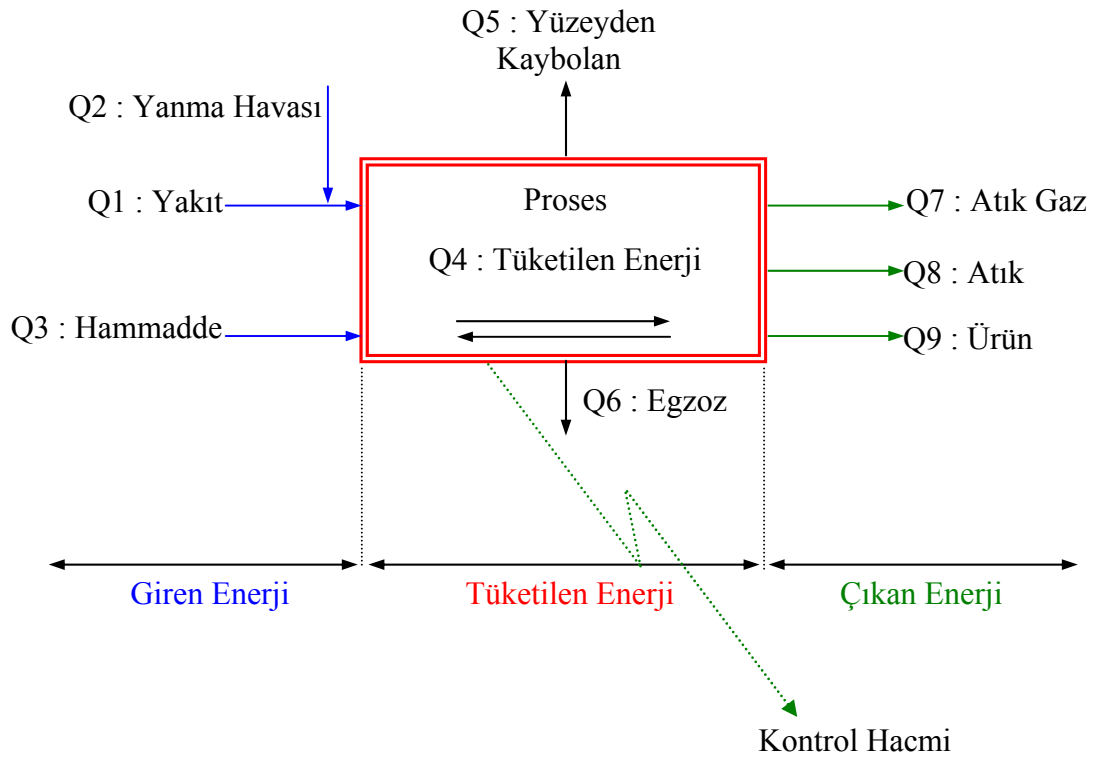
Spesifik enerji tüketiminin hesaplanmasıyla ilgili tesis bazlı ve tesis geneli sayısal bir örnek çalışmanın sonunda *Ek I*'de verilmiştir.

2.1.2 Enerji Denge Analizleri ve Spesifik Enerji Tüketiminin Kontrol Edilmesinde Önemi

2.1.2.1 Enerji Denkliğinin Tanımı

Yukarıdaki bölümlerde tanımlanan spesifik enerji tüketim değerinin kontrol edilmesinde ve iyileştirilmesinde enerji denge analizi temel araç olarak kullanılmaktadır. Böylece tesislere giren ve çıkan enerjilerden yararlanılabilecek yönler belirlenebilmektedir.

Enerji denkliği analizi, en basit anlamda giren ve çıkan enerji kaynaklarının belirlenip birbirine eşitlenmesidir. Şekil 2.6'da enerji denkliği analizinin temel fonksiyonu verilmiştir;



$$Q1+Q2+Q3 = Q4+Q5+Q6+Q7+Q8+Q9$$

(Denge Koşullarında)

Şekil 2.6. Enerji denkliği analizi (EİE/UETM, 1997)

Yukarıdaki şekilde belirtildiği gibi denge koşullarında giren enerjinin tamamı kaynağı belli olmak üzere proses dışına çıkmıştır. Burada proses dışına çıkan enerjilerin belirlenmesinden sonra, bu enerjilerin ne kadarının kullanılabilir enerjiye dönüşebileceği saptanabilmektedir. Yapılan saptama ile prosesi terk eden enerjileri belirlemesinin yanı sıra bu enerjilerin içerisinde kayıp olarak ortama çıkanların kazanılması ve tesisin enerji verimliliğinin artırılması mümkündür.

2.1.2.2 Enerji Değişimi

Enerji denkliği, enerjilerin bir sistem içerisinde birbirlerine dönüşümleri ile ilgilenmekten çok, enerji girdisini belirleyen, bir sistemden çıkan miktarların bağlı dağılımlarını gösterir. Bununla birlikte, bir sistem içerisinde enerjinin ne kadar verimli kullanıldığının görülebilmesi için, sistem içindeki enerji dönüşümlerine de bakılması önem kazanmaktadır. (EİE/UETM, 1997)

2.1.2.3 Kontrol Hacmi

İçinden enerji akışlarının oluştuğu sınırlar tarafından çevrelenmiş bir sistem “Kontrol Hacmi” olarak tanımlanmaktadır. Enerji denkliği, yukarıda da belirtildiği gibi, bu ölçülmesi veya hesaplanması gereken sınırlardan oluşan enerji akış miktarlarıyla ilgilidir. Bunlar, sistemi çalıştıran yönetimce olabildiğince kontrol altında tutulması ve miktarları bilinmesi gereken enerji akışlarıdır. (EİE/UETM, 1997)

Enerji denkleğinin gerçeğı yansıtmaması ve bir anlam taşıyabilmesi için, kontrol hacmi içerisinde bulunan sistemin, sabit denge koşullarında çalıştırılıyor olması gerekir. Ancak sabit denge koşullarında, kontrol hacmine giren toplam enerji miktarı, bu hacimden çıkan toplam enerji miktarına eşit olacaktır. (EİE/UETM, 1997)

Eğer denge koşulları sağlanmazsa, giren enerji, çıkan enerjiye eşit olmayacağından enerji denkleğinde bir hata oluşması kaçınılmazdır. Enerji denkleğindeki önemli hataların ortak nedeni, yukarıda da belirtildiği gibi, sistemin sabit denge koşullarından sapması durumudur. (EİE/UETM, 1997)

2.1.2.4 Referans Sıcaklık

Enerji denkleğinin yapılabilmesi için, duyulabilir ısıların dayandırıldığı bir temel sıcaklığın belirlenmesi gereklidir. 0 °C sıcaklık, bir temel değeri olarak kabul edilmekle birlikte, genel bir eğilim olarak, kolaylık sağlanması amacıyla, bulunan ortam ve ölçümlerin yapıldığı zamana bağlı olarak, ortam sıcaklığı seçilmelidir. (EİE/UETM, 1997)

2.1.2.5 Spesifik Enerji Tüketiminin Kontrol Edilmesindeki Önemi

Enerji Denkleğı’nin amacı, normal sabit çalışma koşullarında (denge şartlarında) bir sisteme verilen enerji (sistemde tüketilen enerji) miktarı ile sistemden çıkan enerji

miktarı arasında denkliğin denetlenmesidir. Bu analizin kullanılması aşağıdaki konuların gerçekleştirilmesine olanak vermektedir. Bunlar;

- Gerçekten kullanılan veya tüketilen enerji miktarının hesaplanması,
- Tesis verimliliğinin, performansının düzenli olarak izlenmesi,
- Malzeme, tesis ve proses konularında yapılabilecek değişikliklerin, enerji tüketimine etkilerinin değerlendirilmesi,
- Enerji tüketimini azaltmak amacıyla yapılabilecek iyileştirme çalışmaları planında öncelik verilmesi gereken yerlerin tespit edilmesi,
- Tesislerin modifikasyonlarında veri sağlanması,
- Mümkün olan en düşük enerji tüketimi ile maksimum üretimin sağlanması gibi prosesin temel amacının gerçekleştirilmesidir. (EİE/UETM, 1997)

Spesifik enerji tüketiminin azaltılması ise ancak, denklik analizi yapılmış bir proseste belirlenen kaçak enerji noktalarında yapılacak iyileştirme çalışmasıyla mümkün olabilecektir.

2.2 Entegre Demir Çelik Tesisleri Enerji Verimliliği İzleme Modeli

Entegre tesisler, çelik üretimini, genellikle demir cevherinden yapan ve cevherin çeliğe dönüştüğü süreçte birçok farklı üretim ünitesinin eşgüdüm içerisinde çalışmasıyla sonuç elde eden fabrikalardır. Fabrikanın özelliklerine bağlı olarak doğrudan üretim proseslerinin yanı sıra, elektrik, buhar, oksijen, su, kireç, vs. üretimleri yapan birçok yardımcı tesis de bu entegre üretim döngüsü içerisinde yer alabilmektedir.

Yukarıdaki bölümlerde verilen enerji verimliliği ve enerji verimliliğini arttırmak için kullanılacak enerji verimliliği denge analizlerinden önce, enerji dengelerinin tek bir yöntemle toplanarak gösterilmesi önemlidir. Çünkü tüm üretim ve üretime yardımcı ünitelerin, tesisin toplam enerji tüketimi içerisinde aldığı payların bilinmesi ve bu ünitelerin tükettiği enerji toplamının benzer şirketlerle karşılaştırma

yapılabilmesi için tek bir değer üzerinden ifade edilebilmesi ancak böyle bir yaklaşımla sağlanmaktadır.

Oluşturulmak istenen modelde, entegre tesislerin üretim sürecine uygun olarak cevherin fabrikaya girişinden, sırasıyla, demir üretim, çelik üretim, haddeleme ve nihai mamul üretim ile yardımcı tesislerin tek bir tabloda yer almaları sağlanmaktadır. Böylece yapılan genel enerji tüketimi her bir tesisin, şirketin yarı mamul üretimindeki payına oranlanabilmektedir. *Ek II* Tablo 1’de üretim hatlarının üretimlerinin ve enerji tüketimlerinin günlük, haftalık, aylık ve yıllık verilerle gösterilebileceği biçim model tablo şeklinde verilmektedir. Bu tabloda alınan enerji tüketim verileri ile üretim verileri her bir ünitenin karşısına işlenmekte, ünitelerin entegre tesis dizilimleri içerisindeki enerji haritası oluşturulmaktadır. Aynı zamanda tüketilen her bir enerji kaleminin tek bir enerji birimi cinsinden ifade edilebilmesi için kalorifik değerler tabloda gösterilerek kullanılmaktadır.

Ek II Tablo 2’de ise her bir üniteye her bir enerji kaleminin üretime oranı esas alınarak, birim üretim başına yapılan bu tüketimler ilgili enerjinin kalorifik değerleri ile çarpılmakta ve homojen bir enerji değeri elde edilmektedir. Bölüm 2.1.1.2’de verilen ünite enerji tüketim yapısına göre, enerji kazanımı olan prosesler için de aynı işlem yapılarak net enerji tüketimi bulunmaktadır.

Son olarak, ünitelerin toplam enerji tüketimleri kendi üretimleri yerine şirketin genelini temsil eden yarı mamule (ton ham çelik) oranlandıklarında, toplam enerji tüketiminden aldıkları pay spesifik olarak hesaplanmaktadır.

2.3 Spesifik Isıların Hesaplanması

Enerji denge analizlerinde girdi ve çıktıların taşıdıkları ısıların hesaplanmasında, giren ve çıkan kalemlere ait spesifik ısılar çeşitli kaynaklardan yararlanılarak bulunmuştur. Özellikle gazlara ait değişik sıcaklıklardaki spesifik ısılar ise Gordon J. V. W., Richard E. S., (1985). *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd Edition’da verilen hesaplama tablolarından yararlanılmıştır. Tablo 2.2’de verilen

referans gazlara bağılı olarak, baca gazı ve yanma havası gibi farklı gaz kompozisyonlarına ait gazların spesifik ısıları hesaplanmıştır.

Hesaplamalarda kullanılan diğerkalemlerin spesifik ısılarının hesaplanmasında ..., (1953). *Koppers Handbuch der Brennstoff Technik*, Perry J.H, (1963). *Chemical Engineers' Handbook*, 4th Edition, Kogakusha Company Ltd, Tokyo ve Shigeru Komiya (Kişisel İletişim, 2004)'den alınan spesifik değerler kullanılmıştır.

Tablo 2.2. Gazların değişik sıcaklardaki spesifik ısıları (Gordon J. V. W ve Richard E. S., 1985)

Gaz		Aralık (Kelvin)	Maks. Hata %
N ₂	$\hat{C}_{po} = 39,060 - 512,79\theta^{-1,5} + 1072,7\theta^{-2} - 820,40\theta^{-3}$	300–3.500	0,43
O ₂	$\hat{C}_{po} = 37,432 - 0,020 102\theta^{-1,5} + 178,57\theta^{1,5} - 236,88\theta^{-2}$	300–3.500	0,30
H ₂	$\hat{C}_{po} = 56,505 - 702,74\theta^{0,75} + 1165,0\theta^{-1} - 560,70\theta^{-1,5}$	300–3.500	0,60
CO	$\hat{C}_{po} = 69,145 - 0,704 63\theta^{-0,75} + 200,77\theta^{-0,5} - 176,76\theta^{-0,75}$	300–3.500	0,42
OH	$\hat{C}_{po} = 81,546 - 59,350\theta^{-0,25} + 17,329\theta^{-0,75} - 4,266\theta$	300–3.500	0,43
NO	$\hat{C}_{po} = 59,283 - 1,7096\theta^{0,5} + 70,613\theta^{-0,5} - 74,889\theta^{-1,5}$	300–3.500	0,34
H ₂ O	$\hat{C}_{po} = 143,05 - 183,54\theta^{0,25} + 82,751\theta^{-0,5} - 3,6989\theta$	300–3.500	0,43
CO ₂	$\hat{C}_{po} = -3,7357 - 30,529\theta^{0,5} + 4,1034\theta - 0,024 198\theta^2$	300–3.500	0,19
NO ₂	$\hat{C}_{po} = 46,045 - 216,10\theta^{-0,5} + 363,66\theta^{-0,75} - 232,55\theta^{-2}$	300–3.500	0,26
CH ₄	$\hat{C}_{po} = -672,87 - 439,74\theta^{0,25} + 24,875\theta^{0,75} - 323,88\theta^{-0,5}$	300–2.000	0,15
C ₂ H ₄	$\hat{C}_{po} = -95,395 - 123,15\theta^{0,5} + 35,641\theta^{0,75} - 182,77\theta^{-3}$	300–2.000	0,07
C ₂ H ₆	$\hat{C}_{po} = 6,895 - 17,26\theta - 0,6402\theta^2 + 0,007 28\theta^{-3}$	300–1.500	0,83
C ₃ H ₆	$\hat{C}_{po} = -4,042 + 30,46\theta - 1,571\theta^2 + 0,031 71\theta^{-3}$	300–1.500	0,40
C ₄ H ₁₀	$\hat{C}_{po} = 3,954 + 37,12\theta - 1,833\theta^2 + 0,034 98\theta^{-3}$	300–1.500	0,54

BÖLÜM ÜÇ

TÜRKİYE’DEKİ ENTEGRE DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

3.1 Giriş

Ülkemizde bulunan üç adet entegre demir çelik tesisinden Kardemir ve İsdemir uzun mamul üretmektedir. Erdemir ise tek yassı mamul üreticisi olarak faaliyetine devam etmektedir. 2001 yılından itibaren İsdemir’in, Erdemir’e devriyle birlikte, İsdemir’de de yassı mamul üretme projeleri gündeme alınmıştır.

Entegre demir çelik tesisleri yapıları yönünden, benzer enerji tüketim potansiyeline sahip fabrikalar olarak bilinmektedir. Ancak, bu fabrikaların spesifik enerji tüketimlerinin birebir karşılaştırılması, üretim çeşitliliği, mamul grupları, teknoloji kullanımı vs. nedenlerden dolayı sağlıklı olmayabilir. Bununla birlikte daha önceki bölümlerde verildiği gibi, demir çelik sektöründe enerji verimliliğinin kabul edilmiş göstergesi olan spesifik enerji tüketimi de bir ton yarı mamul üretiminin enerji tüketimine oranı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu göstergeyle en azından entegre tesislerin genel bazda karşılaştırılması kolaylaşmaktadır.

Türkiye’deki üç entegre tesis içerisinde en verimli olanı seçmek ve hatlar bazında enerji tüketim analizleri yapabilmek için bu üç tesis spesifik enerji tüketimleriyle karşılaştırılmıştır. Tesislere ait veriler şirketlerin Enerji Yöneticiliği biriminden temin edilmiştir. Her üç tesis için de hesaplamalarda 2003 yılı değerleri baz alınmıştır. Hesaplamalar spesifik enerji tüketimi yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

3.2 Entegre Demir Çelik Tesislerinin Spesifik Enerji Tüketimlerinin Belirlenmesi

3.2.1 Kardemir – Karabük Demir Çelik Fabrikaları A.Ş.

3.2.1.1 Kardemir Tesislerinin Tanıtımı

Türkiye Cumhuriyeti'nin Sanayi Devriminin başlama döneminde, Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nın yeri büyüktür. Yıllarca "Fabrikalar yapan fabrika" unvanını alan Kardemir, 30.03.1995 tarihinde özelleştirilerek, çalışanları ve Karabük halkı tarafından kurulan Kardemir Karabük Demir Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ne devredilmiştir.

1995 yılından bu güne faaliyetlerini özel şirket statüsünde sürdüren şirkette, kok fabrikaları, yüksek fırınlar, çelikhane, sürekli döküm tesisleri, haddehaneler, enerji santrali, makina fabrikaları, döküm fabrikaları, çelik yapı fabrikaları, kireç fabrikası, oksijen fabrikası ve Filyos'ta inşa aşamasına gelen liman ana tesisleri bulunmaktadır.



Şekil 3.1. Kardemir kok fabrikaları (Kardemir, 2004)

Şekil 3.1’de verilen Kardemir Kok Fabrikaları, yüksek fırınların kok ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuş olup, kok üretiminin yanı sıra kok gazı, katran, naftalin, hafif yağlar ve amonyum sülfat gibi yan ürünlerin de elde edildiği tesislerdir. Tesisin kömür şarj kapasitesi 908 000 ton/yıl, kok ve kok tozu üretim kapasitesi ise 700 000 ton/yıl’dır. Tablo 3.1’de özellikleri verilen kok fabrikaları 4 kısımdan oluşmaktadır.

Tablo 3.1. Kardemir kok fabrikalarının özellikleri (Kardemir, 2004)

Kapasite	1-2 Nolu Batarya	3-4 Nolu Batarya
Fırın Sayısı	44	56
Faydalı Hacim m ³	24,3	24,3
Koklaşma Saati	20	18
İşletmeye Alma	1968	1986
Isıtma Sistemi	İkiz Çekişli	Grup Isıtmalı
Kapasite	375.000 ton/yıl	533.000 ton/yıl

Aynı zamanda 1.350.000 ton/yıl kömür hazırlama kapasitesine sahip tesislerde; 100.000 tonluk stok sahası, 3 × 400 tonluk harman silosu, 2 × 2.000 tonluk şarj silosu, 2 adet 300 ton/saatlik bant konveyörler mevcuttur.

Fırınlardan çıkan kok, 180 ton/saat kapasiteli kok kırma eleme tesisinde kırılmakta ve eleme işlemleriyle yüksek fırınlar için istenen boyuta getirilip piyasaya sunulacak olan döküm koku, metalurjik kok, ceviz kok ve kok tozunu hazırlanmaktadır.

Koklaşma sırasında meydana gelen ham kok gazının temizlenerek şebekeye verilecek kaliteye getirildiği yan ürün tesislerinde, 600.000 m³/günlük iki kok gazı hattı, amonyum sülfat, katran, benzol, baskı ve saf naftalin fabrikaları mevcuttur.

Şirketteki cevher hazırlama ve harmanlama tesisleri, yüksek fırınların ihtiyacı olan parça cevherlerin uygun ebatlarda (10-50 mm) hazırlanmasını, sinter tesisi için gerekli olan demir cevheri (0-10 mm), kireçtaşı tozu (0-3 mm) ve kok tozunun (0-3

mm) istenilen fiziksel özelliklerde hazırlanmasını sağlamaktadır. Tesis 5.500 ton/gün kapasiteye sahiptir. Harmanlama sahasında 4 adet sinterlik harman sahası mevcut olup, 1-2 nolu sahalar 140.000 ton, 3-4 nolu sahalar 70.000 ton cevher kapasitelidir.

Sinter Fabrikasında, 2 adet sinter makinesi mevcut olup, 1 no'lu sinter makinesinin emiş alanı 90 m², kapasitesi 890.000 ton/yıldır. 2 no'lu sinter makinesinin emiş alanı ise 60 m², kapasitesi ise 450.000 ton/yıldır.

Kardemir'de Şekil 3.2'de verilen üç adet Yüksek Fırın (YF) bulunmaktadır. 1 no'lu Yüksek Fırın (Fatma) ve 2 no'lu Yüksek Fırın (Zeynep)'in kuruluş kapasiteleri 135.000 ton/yıl'dır. Farklı zamanlarda yapılan modernizasyon çalışmalarıyla iki fırının kapasiteleri toplam 525.000 ton/yıl'a çıkarılmıştır Yapımları aynı zamanda gerçekleşmekle beraber işletmeye alınış tarihleri zamanın taleplerine göre 1 no'lu yüksek fırın için 9 Eylül 1939, 2 No'lu yüksek fırın için 7 Ocak 1950 olmuştur. Her iki fırın da 351 m³ hacme sahiptir ve 8 tüyerlidir.



Şekil 3.2. Kardemir yüksek fırınları (Kardemir, 2004)

3 No'lu Yüksek Fırın (Ülkü) 10 Aralık 1962 tarihinde işletmeye alınmıştır. Kuruluş kapasitesi 325.000 ton/yıldır. Yapılan modernizasyonlarla tesisin günümüz kapasitesi 625.000 ton/yıl'a çıkarılmıştır. 3 no'lu Yüksek Fırın 818 m³ hacme

Tesiste bulunan çelikhane gazı (OG) toplama sisteminin gaz debisi 57.000 Nm³/saat, emiş fanı kapasitesi 150.000 m³/saat (68 °C) ve gaz atma bacasından çıkan maksimum toz miktarı 50 mg/Nm³'dir.

Şirketteki sürekli döküm kütük makinası Danieli 2 BLC 706 ile, 6 yollu, 7 m radyusludur ve 100 × 100 mm, 120 × 120 mm , 130 × 130 mm kesitler dökülebilmektedir. 0.7 – 7.0 m/dakika olan döküm hızına sahip makina, seviye kontrolü radyoaktif (Co 60) olup, kütük kesme LPG'li şalome ile yapılmaktadır. Kesme boyu 6 – 12 metre arasında olan tesis 26.05.1998 tarihinde işletmeye alınmıştır. Kardemir sürekli döküm tesislerinin genel görünüşü Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4 Sürekli döküm makinası (Kardemir, 2004)

10 metre radyuslu, üç yollu, elektromanyetik karıştırıcı bulunan sürekli döküm blum makinesi ile 150 × 150 mm kütük açık döküm, 260 × 360 mm blum açık ve tam kapalı döküm, 280 × 360 × 90 mm hazır profil taslağı dökülebilmektedir. Tesis 23.02.2000 tarihinde işletmeye alınmıştır.

Şirkette bulunan kireç fabrikaları D-tipia çift şaftlı, İtalyan Cimprogetti Firması tarafından dizayn edilmiştir ve 260 ton/gün kapasitelidir. Tesisler, 22.03.1999 tarihinde işletmeye alınmıştır.

Kardemir’de entegre tesisin son halkasını oluşturan haddehanelerin yarı mamul ve net mamul üreten üç ana üretim hattı bulunmaktadır. 1940 tarihinde İngiliz Davy United firması tarafından kurulan 28” Trio Haddehane, 380 NPI profile kadar üretim yapabilen Türkiye'nin ilk ve tek ağır profil ve ray haddehanesidir. Trio sistemde çalışan haddehanenin net mamul kapasitesi 100.000 ton/yıl’dır.

Haddehanenin Üretim Çeşitleri :

Köşebent $120 \times 120 - 150 \times 150$ mm,
 NPU 160- 300 mm - NPI 160- 380 mm,
 Ray (46.3 kg/m – 47 kg/m – 49 kg/m – 59 kg/m),
 Platina, kütük ve GI maden direği’dir.

1960 yılında kurulan kütük ve profil haddehanesi grubu; tav çukurları, 34” blok haddesi (İngiliz Brigtside), 28” duo haddehaneler (İngiliz Davy United), Ara tav fırını ve Haddehane İkmal hatlarından oluşmaktadır. Yaklaşık olarak 2 ton ağırlığındaki sürekli döküm blumları tav çukurlarında tavlansarak haddeleme işleminde tabi tutulmaktadırlar. Tesisin haddeleme kapasitesi yarı mamul ve net mamul olmak üzere yaklaşık olarak 600.000 ton/yıl’dır. Bu haddehanenin üretim çeşitleri; özel kütükler ve GI maden direkleri, NPU 140- 200 mm profilleri, 180×180 köşebentler’dir.

1965 yılında Alman Demag AG. firması tarafından kurulan kontinü haddehane 80 ton/saat kapasiteli itmeli tav fırınında $100 \times 100 \times 9000$ mm boyutlarındaki sürekli döküm kütükleri tavlansaktadır. Haddeleme kapasitesi 350.000 ton/yıl olan haddehanede düz ve nervürlü çelik çubuklar Ø 12 mm' den Ø 32 mm' ye kadar kangal üretilmektedir.

Diğer yandan şirkette yer alan yardımcı tesislerden; kuvvet santrali tesisi, Kardemir’in enerji, proses buharı, yüksek fırınlar yakma havası ihtiyacını karşılamaktadır. Su işleri ünitesi, kuvvet santrali, kok, yüksek fırın, haddehane, çelikhane ve diğer tesislerin soğutma ve içme suyu ihtiyacını gidermektedir. Çelikhane ve diğer ünitelerin oksijen, azot ve argon ihtiyacı ise hava ayrıştırma tesisi

ile sağlanmaktadır. Gaz dağıtım ünitesi ise diğer ünitelerin kok gazı, yüksek fırın gazı ihtiyacını karşılamak için çalışmaktadır.

3 Nisan 1937 yılında temeli atılan, 1939 yılında devreye alınan Kuvvet Santrali 1960 ve 1990 yıllarında modernize edilerek teknolojisi yenilenmiş, üretim kapasitesi artırılmıştır. Kuvvet santralinin 3 adet 100 ton/saat kapasiteli OPG - 100 buhar kazanı, 2 adet 30 ton/saat kapasiteli BORSIG buhar kazanı ile 25 bar 385 °C ve 65 bar 500°C olmak üzere, buhar üretimi kapasitesi toplam 360 ton/saat'tir. Ayrıca santralde, 51.000 Nm³/saat kapasiteli 3 adet G.E.C turbo-körüklerle, 110.000 Nm³/saat kapasiteli 2 adet A.E.G. turbo-körüklerle, 115.000 Nm³/saat kapasiteli 1 adet Sulzer turbo-körükle yüksek fırınların yakma havası ihtiyacı kesintisiz olarak karşılanmaktadır. Şirketin, 10 MW kapasiteli 1 adet turbo jeneratör, 12,5 MW kapasiteli 2 adet turbo jeneratör olmak üzere toplam 35 MW elektrik üretim kapasitesi bulunmakta ve Kardemir'in elektrik enerji ihtiyacının büyük bir bölümü bu tesislerden (%80) karşılanmaktadır.

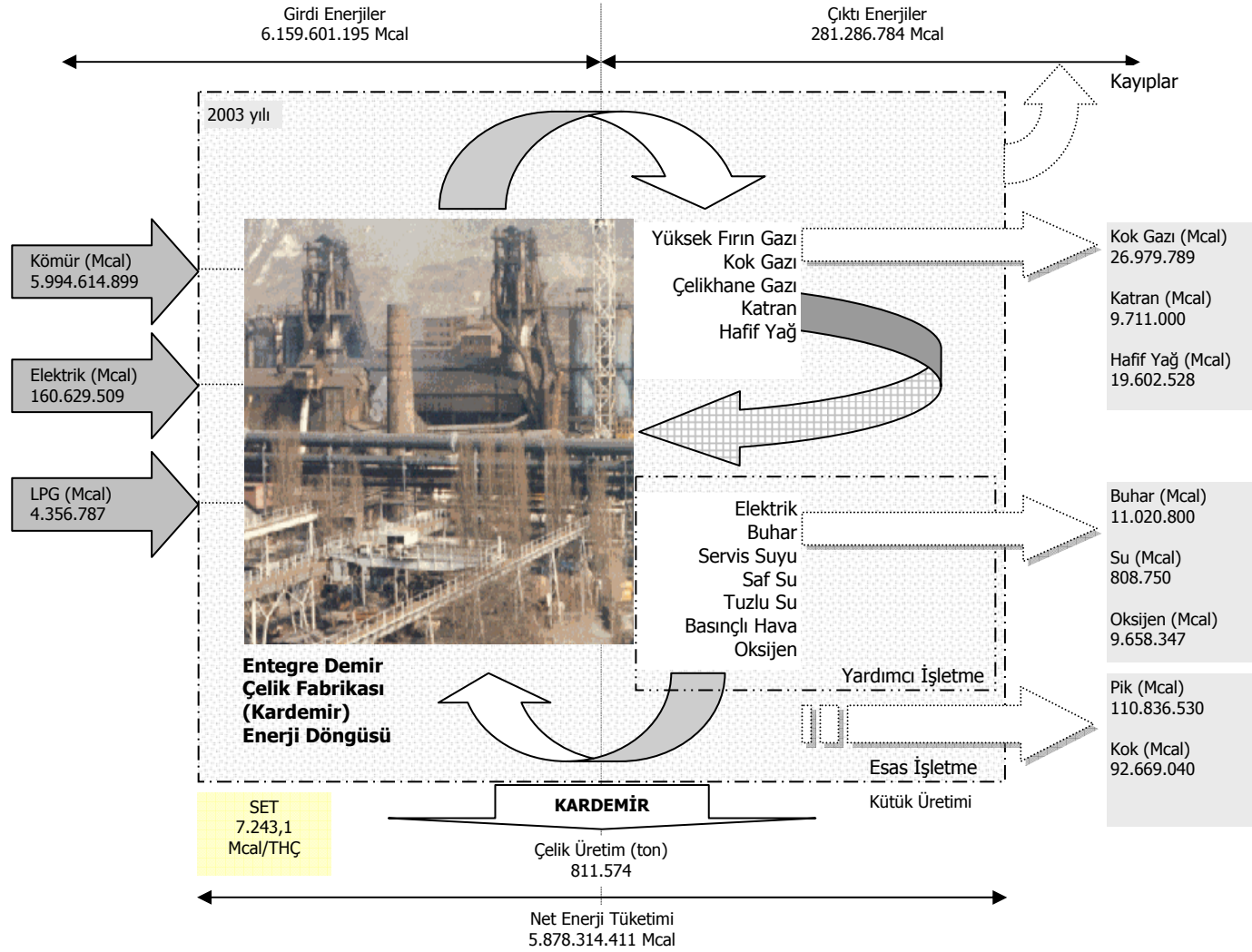
Soğanlı Çayı, Meşeler Düzü Mevki sahasında açılmış bulunan kuyulardan, fabrika, lojman ve sosyal tesislerin bulunduğu Yenişehir'in içme ve kullanma suyu temin edilmektedir. Buraya fabrika sahası da dahildir. Çelikhane, kontinü kütük-bloom ve pota fırını tesislerinin soğutma kuleleri, kapalı devre ve spre y suyu sistemleri 1998 yılında devreye alınmıştır. Bu tesis, teknolojik olarak bilgisayar kontrollü, dozajlı, filtreli vb. sistemleri kapsayan gelişmiş ve modern bir tesistir. Soğanlı Çayından alınan çamurlu suyun durultulduğu tesisler 1998 sonu itibariyle devreye girmiştir. Tesis, ön çöktürme, flokülasyon ve durultma sistemleri gibi gelişmiş bir çöktürme sistemine sahiptir.

1 No'lu hava ayrıştırma tesisinde; gaz oksijen 5.000 Nm³/saat, sıvı Oksijen 500 Nm³/saat, gaz azot 1.200 Nm³/saat, sıvı argon 180 Nm³/saat üretilmektedir. 2 No'lu hava ayrıştırma tesisinde; gaz oksijen 6.400 Nm³/saat, sıvı oksijen 600 Nm³/saat, gaz azot 4.000 Nm³/saat, sıvı azot 150 Nm³/saat, sıvı argon 245 Nm³/saat üretilmektedir.

3.2.1.2 Kardemir'in Spesifik Enerji Tüketimi

Kardemir'de kullanılan birincil enerjiler, proses sınırları dışına verilen enerjiler ve üretilen yarı mamul üretim akışı Şekil 3.5'te verilmiştir. 2003 yılı değerlerine göre yapılan hesaplamalarda, kontrol hacmi olarak tesis sınırları seçilmiş, tesisin içine giren tüm enerji kalemleri birim kalorifik değerleri ile ilişkilendirilerek “Mega Kalori” olarak tek birimde ifade edilmiştir.

Şekilde de görüleceği üzere, Kardemir'in ana enerji girdilerini kömür, elektrik ve LPG oluşturmaktadır. Yıllık 800.000 ton civarında yarı mamul üretimi yapan tesisten kullanım fazlası olarak dışarıya verilen enerjileri ise; kok gazı, katran, hafif yağ, buhar, su, oksijen ve kok oluşturmaktadır. Yüksek fırınlar yarı mamulu olarak satılan miktardaki pik demiri üretmek için harcanan enerji de proses sınırları dışına çıkan enerjiler arasında kabul edilmektedir.



Şekil 3.5. Kardemir spesifik enerji tüketimi

Şekil 3.5’te Kardemir sınırları kontrol hacmi olarak alınmıştır. Buna göre kontrol hacmine giren ve çıkan enerji dengelenmiş, net enerji tüketimi fabrikanın ara mamulü olan ham çelik üretimine bölünerek spesifik enerji tüketimi bulunmuştur. Kardemir’de nihai ürünler olarak çubuk, tel, profil, ray demiri vs. üretilmektedir. Nihai ürün üretimi her entegre tesisi için farklı olduğundan nihai ürünlere göre karşılaştırma yapılması mümkün görülmemektedir. Karşılaştırma yapılırken kullanılan yarı mamul çelik üretimi, Uluslar arası Demir Çelik Enstitüsünün kabul ettiği bir gösterge niteliğindedir. Kardemir Enerji Yöneticiliği’nden alınan 2003 yılı değerlerine göre;

Giren Enerjiler,

Enerji Kalemi	Miktarı	Birim Kalori	Toplam Kalori (Mcal)
Kömür (Kok İçin)	697.220.874 kg	7.499 kcal/kg	5.228.103.225
Santral Kömürü	105.843.758 kg	7.242 kcal/kg	766.511.674
Elektrik	69.838.917 kwh	2.300 kcal/kwh	160.629.509
LPG	400.440 kg	10.880 kcal/kg	4.356.787
Toplam (A)			6.159.601.195

Çıkan Enerjiler,

Enerji Kalemi*	Miktarı	Birim Kalori	Toplam Kalori (Mcal)
Kok	13.560.000 kg	6.834 kcal/kg	92.669.040
Katran	1.079.000 kg	9.000 kcal/kg	9.711.000
Oksijen	6.036.000 Nm ³	1.600 kcal/Nm ³	9.658.347
Su	1.618.000 m ³	500 kcal/m ³	808.750
Hafif Yağ	1.954.000 kg	10.032 kcal/kg	19.602.528
Kok Gazı	6.905.500 Nm ³	3.907 kcal/Nm ³	26.979.789
Buhar	13.776.000 kg	800 kcal/kg	11.020.800
Pik	27.033.000 kg	4.100 kcal/kg	110.836.530
Toplam (B)			281.286.784
G. Toplam (A-B)			5.878.314.411

* Çıkan enerji kalemleri satılan veya o yıl içerisinde kullanılmayarak stoklanan miktarlardır.

Şekil 3.5'te verilen ve tabloda özetlenen 2003 yılı değerlerine göre Kardemir'in 2003 yılı Spesifik Enerji Tüketimi = $\frac{5.878.314.411 \text{ Mcal}}{811.574 \text{ Ton}} = 7.243,1 \text{ Mcal/THÇ}$ olarak hesaplanmıştır.

3.2.2 İsdemir – İskenderun Demir Çelik Fabrikaları A.Ş.

3.2.2.1 İsdemir Tesislerinin Tanıtımı

Kuruluş tarihi itibarıyla ülkemizin üçüncü entegre demir çelik fabrikası, uzun ürün üretim kapasitesine göre ise en büyük entegre demir ve çelik fabrikası olan İsdemir, 3 Ekim 1970 tarihinde İskenderun'un 17 km kuzeyinde Payas yöresinde yaklaşık 6,8 milyon m² alan üzerine kurulmuştur. 1975 yılında 1,1 milyon ton/yıl çelik blum üretim kapasitesi ile işletmeye alınan İsdemir yapılan I. genişletmeyle 1985 yılından itibaren 2,2 milyon ton/yıl üretim kapasitesine çıkarılmıştır. Uluslararası kalite standartlarında pik, blum, kütük, inşaat çelikleri vb uzun mamul üretmek üzere kurulan İsdemir'de ülkemizde üretilen toplam ham çeliğin yaklaşık %14'ü üretilmektedir.



Şekil 3.6. İsdemir tesisleri (İsdemir, 2003)

Şekil 3.6'da genel görünüşü verilen İsdemir tesislerinde kok, sinter, yüksek fırın, çelikhane, sürekli döküm ve sıcak haddeleme prosesleri ile üretim yapılmaktadır.

Ürünler iç piyasa yanında başta Orta Doğu ülkeleri olmak üzere Avrupa ve Asya ülkelerine ihraç edilmektedir. İsdemir hisselerinin tamamı, 31.01.2002 tarihli Hisse Devir Sözleşmesi ile Özelleştirme İdaresi Başkanlığı tarafından İsdemir'de yassı üretimine geçilmesine yönelik yatırımların yapılması şartı ve 50 milyon USD karşılığında Erdemir'e devredilmiştir. 750 Trilyon TL ödenmiş sermayeye sahip olan İsdemir hisselerinin %89'u Erdemir'e, %11'i ise çalışanlarına aittir. Sürekli gelişmeyi, yeni teknolojileri kullanarak çevreye olan duyarlılığı ile ürün ve hizmetlerde fark yaratmayı ana ilke kabul eden İsdemir'de, modernizasyon ve yassıya dönüşüm çalışmaları sürmektedir.

İsdemir'de 3 adet Yüksek Fırın bulunmaktadır. Fırınlara Cemile, Ayfer ve (büyük hacimli olanı) Gönül olarak adlandırılmaktadır. Üç fırının toplam kapasitesi 7.000 ton/gün, yıllık ise 2.450.000 ton'dur.

08.03.1977'de kurulan Çelikhanenin, kapasitesi 1984 yılında 2.200.000 ton ham çelik/yıl'a ulaşmıştır. Tesiste, yüksek fırınlar üretimi sıvı ham demirin homojenliğini sağlamak için depolandığı 2 adet 1300 tonluk mikser ile çelik üretiminin yapıldığı 3 adet 130 tonluk LD tipi, üstten üflemlili bazik oksijen konverteri (BOF) bulunmaktadır. Proses gereği açığa çıkan sıcak konverter gazının yakılarak buhar elde edildiği her konvertöre ait bir artık ısı kazanı vardır. Çelik üretiminde kullanılan metalürjik kirecin üretildiği her biri 100 ton/gün kapasiteli 6 adet dikey (sabit) fırın bulunmaktadır. Fabrika içinden ve piyasadan temin edilen hurdaların kullanıma hazır hale getirildiği ve depolandığı 3 adet tesis mevcuttur.

İsdemir'de başlatılan Modernizasyon Dönüşüm Yatırımları (MDY) ile 2008 yılında 5.250.000 ton/yıl sıvı çelik kapasiteli modern bir Çelikhane kurulması planlanmaktadır.

Sürekli Dökümler tesisi pota hazırlama kısmında, konverterden sürekli dökümlere çelik transferlerini sağlayan toplam 26 adet çelik potası bulunmaktadır. Tandış hazırlama kısmında, pota ile makine arasında çeliği 4 kanala ayıran ve istenen miktarda akmasını stoperlerle sağlayan toplam 34 adet Tandış bulunmaktadır.

Konverterden çıkan sıvı çeliğin kalite ve sıcaklığını istenen değerlere göre ayarlayan, kapasiteleri 1,1 milyon ton olan elektrikli pota istasyonu ve kimyasal istasyon bulunmaktadır.

Sürekli Dökümler kısmında 3 adet radyal kontinü döküm makinesi bulunmaktadır. Makinelerden biri 260×260 kare kesit; diğer ikisi ise 260×335 dikdörtgen kesit olup, blum boyları sipariş durumuna göre 6 m ile 10 m. arasında gazlı kesme ile kesilir. Makinelerin toplam kapasitesi 1,9 milyon ton/yıl'dır.

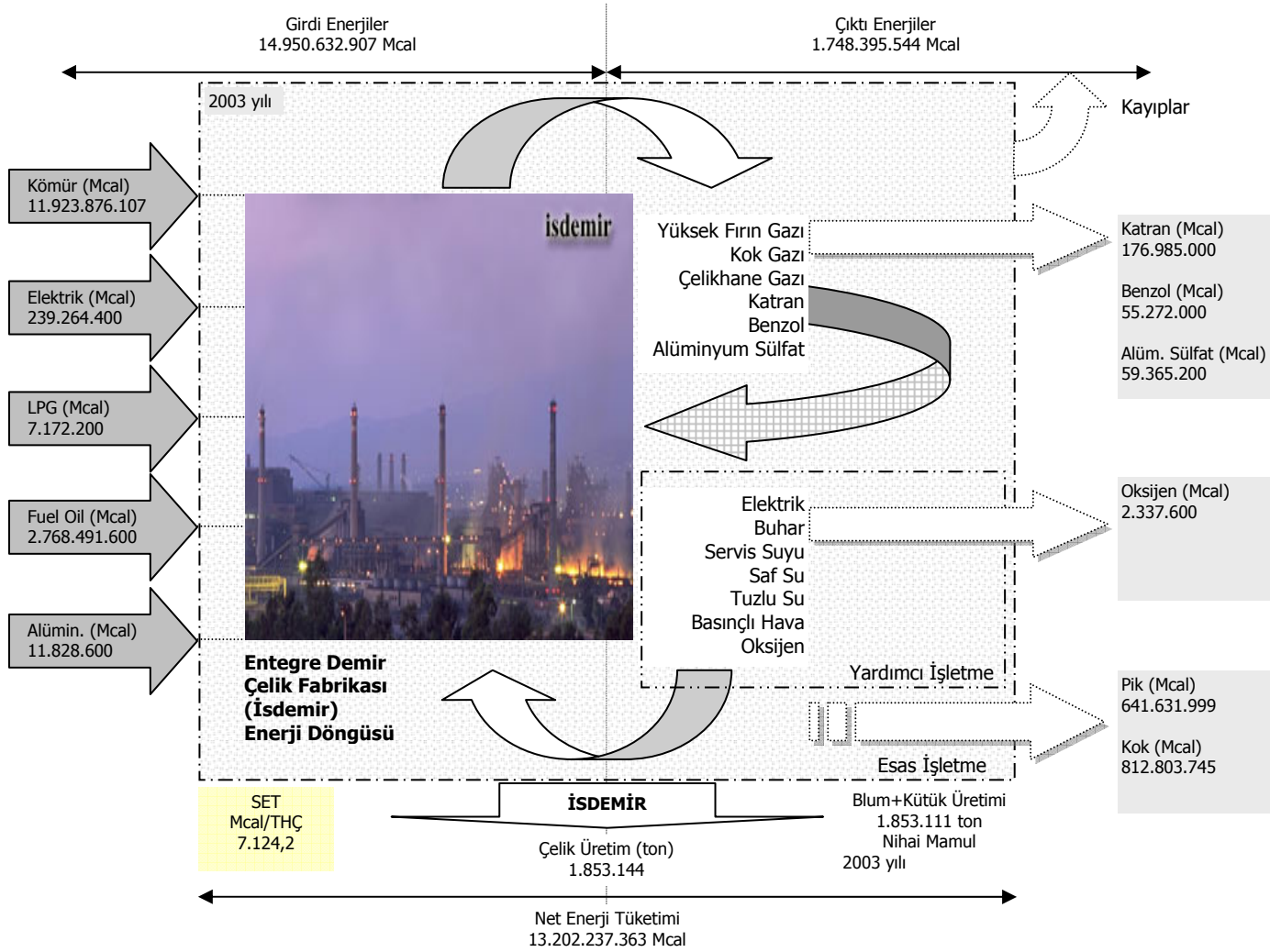
İsdemir Haddehanesi başlangıçta $\varnothing 6 - \varnothing 16$ mm'ye kadar olan ebatları 80×80 mm.kesitteki ve 12 metre uzunluktaki kütükleri (600 kg'lık kangal) haddelemek üzere dizayn edilmiştir. 1991 yılında yapılan 1. modernizasyonla 100×100 mm (930 kg'lık kangal) kütük haddelemeye başlamıştır. 1997 yılında yapılan kalibre değişikliği ile 110×110 mm kesitinde kütük kullanımına başlanmıştır. Böylece kangal ağırlığı 1 tona çıkarılmıştır. 2004 yılı şubat ayında gerçekleştirilen 2. modernizasyonla kütük kesiti 130×130 'a ve kangal ağırlığı da 1.500 kg'a çıkarılmıştır. Bu arada kalite iyileştirme çalışmaları çerçevesinde fırın otomasyon sistemi yenilenmiş, sisteme yeni descaler (tufal temizleyici), otomatik kesit ölçme cihazı ve yeni yolluk sistemleri eklenmiş, malzemenin mekanik özelliklerini iyileştiren soğutma sistemleri otomatik hale getirilmiş ve bunun sonucunda katma değeri yüksek çeliklerin üretimine (elektrotluk çelikler, yaylık çelikler) olanak sağlanmıştır.

3.2.2.2 İsdemir'in Spesifik Enerji Tüketimi

İsdemir için, kullanılan birincil enerjiler, proses sınırları dışına verilen enerjiler ve üretilen yarı mamul üretim akışı Şekil 3.7'de verilmiştir. 2003 yılı değerlerine göre yapılan hesaplamalarda, kontrol hacmi olarak tesis sınırları seçilmiş, tesisin içine giren tüm enerji kalemleri birim kalori değerleri ile ilişkilendirilerek Mega Kalori olarak tek birim ifade edilmiştir.

Şekilde de görüleceği üzere, İsdemir'in ana enerji girdilerini kömür, elektrik, fuel oil, ısıtma amaçlı alüminyum ve LPG oluşturmaktadır. Yıllık 1.8500.000 ton civarında yarı mamül üretimi yapan tesisten kullanım fazlası olarak dışarıya verilen enerjileri ise; katran, benzol, alüminyum sülfat, oksijen ve kok oluşturmaktadır. Yüksek fırınlar yarı mamulu olarak satılan miktardaki pik demiri üretmek için harcanan enerji de proses sınırları dışına çıkan enerjiler arasında kabul edilmektedir.

Ana birincil enerji girdilerinden türeyen ve proseslerde üretim yan ürünü olarak ortaya çıkan yüksek fırın gazı, kok gazı, çelikhane gazı, katran'ın ve tesislerde üretilen ikincil enerji kaynaklarının (elektrik, buhar, saf su, servis suyu, tuzlu su ve basınçlı hava) tesis içindeki tüketimi de önemli bir yer tutmaktadır.



Şekil 3.7. İsdemir spesifik enerji tüketimi

Şekil 3.7’de İsdemir sınırları kontrol hacmi olarak alınmıştır. Buna göre kontrol hacmine giren ve çıkan enerji dengelenmiş, net enerji tüketimi fabrikanın ara mamulü olan ham çelik üretimine bölünerek spesifik enerji tüketimi bulunmuştur. İsdemir’de de nihai ürünler olarak çubuk, tel, profil, ray demiri yani uzun mamuller üretilmektedir. Karşılaştırma yapılırken kullanılan yarı mamul çelik üretimi, Uluslar arası Demir Çelik Enstitüsünün kabul ettiği bir gösterge niteliğindedir. İsdemir Enerji Yöneticiliği’nden alınan 2003 yılı değerlerine göre;

Giren Enerjiler,

Enerji Kalemi	Miktarı	Birim Kalori	Toplam Kalori (Mcal)
Kömür (Kok İçin)	1.708.047.000 kg	6.981 kcal/kg	11.923.876.107
Elektrik	104.028.000 kwh	2.300 kcal/kwh	239.264.400
LPG	658.000 kg	10.900 kcal/kg	7.172.200
Fuel Oil	300.923.000 kg	9.200 kcal/kg	2.768.491.600
Alüminyum	1.666.000 kg	7.100 kcal/kg	11.828.600
Toplam (A)			14.950.632.907

Çıkan Enerjiler,

Enerji Kalemi*	Miktarı	Birim Kalori	Toplam Kalori (Mcal)
Kok	121.043.000 kg	6.715 kcal/kg	812.803.745
Katran	19.665.000 kg	9.000 kcal/kg	176.985.000
Benzol	4.606.000 kg	12.000 kcal/kg	55.272.000
Alüminyum Sülfat	9.732.000 kg	6.100 kcal/kg	59.365.200
Oksijen	1.461.000 Nm ³	1.600 kcal/Nm ³	2.337.600
Pik	149.879.000 kg	4.281 kcal/kg	641.631.999
Toplam (B)			1.748.395.544

* Çıkan enerji kalemleri satılan veya o yıl içerisinde kullanılmayarak stoklanan miktarlardır.

G. Toplam (A-B) **13.202.237.363**

Şekil 3.7’de verilen ve tabloda özetlenen 2003 yılı değerlerine göre Kardemir’in

$$2003 \text{ yılı Spesifik Enerji Tüketimi} = \frac{13.202.237.363 \text{ Mcal}}{1.853.144 \text{ Ton}} = 7.124,2 \text{ Mcal/THÇ}$$

olarak hesaplanmıştır.

3.2.3 Erdemir – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş.

3.2.3.1 Erdemir Tesislerinin Tanıtımı

Liman Tesisleri, 1964 yılında, Erdemir’in üretimde kullandığı cevher, kömür, kireç taşı vb. hammaddelerin deniz yolu ile getirilmesi ve ürünlerin sevk edilmesi amacıyla hizmete açılmış ve ikinci kademe kapasite artırımı ve modernizasyon çalışmaları sırasında genişletilmiştir. 1.245 m ana mendirek, 684 m yardımcı mendirek vardır. Burada, dökme yük tahliyesi ve genel kargo hizmetlerinin yanı sıra cüruf ve Ro-Ro rıhtımları da mevcuttur. Şekil 3.8’de verilen Eski Liman; 295 m yükleme rıhtımı ve 405 m kömür ve cevher boşaltma rıhtımı ile 60.000 DWT kapasitesinde gemilerin yanaşmasına uygun bir yapıdadır. Boşaltma rıhtımında 1.000, 1.400 ve 1.500 ton/saat kapasiteli 3 adet hammadde boşaltma vinci; yükleme rıhtımında ise 3 adet 15’er ton, 1 adet 25 ton kaldırma kapasiteli yükleme ve boşaltma vinci bulunmaktadır.



Şekil 3.8. Erdemir limanı (Erdemir, 2004)

150.000 DWT kapasiteli gemilerin yanaşabildiği Yeni Liman Tesisleri ise, Eylül 1998’de hizmete girmiştir. Batı Karadeniz’in en büyük limanıdır. 20 m su derinliğinde 350 m boşaltma iskelesi ile, 70.000 tonluk gemilerin yanaşacağı 200 m yükleme boşaltma iskelesi ve ekipmanları bulunmaktadır. Boşaltma iskelesi üzerinde 1.500 ton/saat kapasiteli 2 adet boşaltma vinci, 2.500 ton/saat kapasiteli cevher ve 1.500 ton/saat kapasiteli kömür konveyör hatları ile yükleme boşaltma doku üzerinde 40 tonluk 2 adet kargo vinci mevcuttur. Liman tesislerinde ayrıca, 2.700 beygir motor gücünde 2 adet schottel tip ile, 800 beygir motor gücünde 2 adet klasik tip römorkör, kılavuzluk hizmeti vermektedir.

Erdemir’e getirilen cevher ve kömür, taşıyıcı bantlarla (konveyör) stok alanlarına ulaştırılmaktadır. Bantların cevher taşıma kapasitesi 2.500 ton/saat, kömür taşıma kapasitesi ise 1.500 ton/saat’tir. Cevher stok sahaları 500.000 ton, sınıflandırma ve harman stok sahaları 600.000 ton kapasitelidir. Kireçtaşı ve dolomit sahaları ise, ihtiyaca göre 500.000 ton stok yapmaya elverişlidir.

Kok Fabrikaları, yüksek fırınların metalürjik kok ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. Fabrikaların kok üretme kapasitesi 1.022.000 ton/yıl’dır.

Bu tesiste, maden kömürü, kömür hazırlama tesislerinde cinslerine göre ayrılır, tartılır ve karıştırılarak taşıyıcı bantlar sayesinde kömür silosuna doldurulur. Bu kömür daha sonra koklaştırılmak üzere bataryalara gönderilir. Kok Fabrikaları’nda Koppers Becker tipi üç batarya vardır. 37’şer fırınlık iki batarya 1964’te, 85 fırınlık batarya ise 1978’de üretime geçmiştir.

Şekil 3.9’da kok tarafı görünüşü verilen tesiste toplam 159 fırın (kamara) bulunmaktadır. Bu fırınlar birbirinden bağımsız olarak bilgisayar kontrolünde çalışmaktadır. Kömür silosundan kömürü alan şarj arabası, yaklaşık 22 ton kömürü fırına yukarıdan boşaltır. Bir fırının iç sıcaklığı yaklaşık 1.600°C’dir. Kömür oksijensiz bir ortamda yaklaşık olarak 18 saat kalır. Bu süre içerisinde kömürün içindeki istenmeyen elementler yüksek ısı sayesinde alınarak metalürjik kok kömürü elde edilir. Kömür koklaşırken ortaya çıkan yan ürünler yine fabrikada

değerlendirilir. Bu ürünle, katran, benzol, amonyum sülfat, gübredir. Fırına boşaltılan bu 22 ton maden kömürünün damıtılması sonunda yaklaşık 20 ton kok kömürü elde edilir. Fırının kapağı açıldıktan sonra, kömür itme vinciyle vagonlara boşaltılır. Kapak açılırken oksijensiz bir ortamda olan kömür oksijenle temasa geçtiği için yanmaya başlar. Bu yanmayı durdurabilmek için, lokomotif soğutma kulelerine yanaşır ve soğutma kulesinden yaklaşık 3.000 m³/araba tatlı su boşaltılarak kömür soğutulur.



Şekil 3.9. Erdemir kok fabrikası (Erdemir, 2004)

Hammadde kullanımı ve enerji tasarrufu açısından yarar sağlayan, 1.750.000 ton/yıl üretim kapasiteli sinter fabrikası'nda,

- Yüksek kükürtlü cevherler işlenerek kullanılabilir hale getirilir,
- Toz halindeki çeşitli hammadde, işlenerek, kullanılabilir boyutlara getirilir,
- Yüksek Fırınlara ve Çelikhanenin demir tozları ile Haddehanelerde ve slab sahasında açığa çıkan tufal, kireçtaşı ve kok tozları işlenerek değerlendirilir.

Koktan tasarruf sağlamak ve koklaşmaya uygun olmayan daha ucuz kömürlerden de yararlanmak amacı ile Temmuz 1995'te kömür enjeksiyon tesisi kurulmuştur. Yüksek fırınlara enjekte edilebilen toz kömür miktarı 150 kg/ton sıcak madendir.

Erdemir’de iki adet Yüksek Fırın bulunmaktadır. Yüksek Fırın I (Ayşe) 1965 yılında hizmete girmiştir. Fırın, 1971, 1977 ve 1986’da modernize edilmiş; en son 1998 sonlarında 68 gün gibi kısa bir sürede, refrakter tuğlalarının yenilenmesi yapılmıştır. Ayşe’nin hazne çapı 8,99 m, çalışma hacmi 1.505 m³’dür. Tesisin günlük üretim kapasitesi 3.000 ton, kapasitesi ise 1.065.000 ton/yıl’dır.

Yüksek Fırın II (Zübeyde) 1978 yılında hizmete girmiştir. Fırın, 1987 ve 1995’de modernize edilmiş; en son Ekim 2000’de re-line yapılmıştır. Oksijen enjeksiyonlu, yüksek tepe basınçlıdır. Zübeyde’nin Hazne çapı 9,70 m, çalışma hacmi 1.707,7 m³’dür. Tesisin günlük üretim kapasitesi 4.000 ton, kapasitesi ise 1.420.000 ton/yıl’dır.



Şekil 3.10. Yüksek fırınlar ve sıcak maden

Şekil 3.10’da genel görünüşleri verilen her iki yüksek fırının çalışma sistemi aynıdır. Yüksek fırınlara atmosferden alınan hava refrakter tuğlayla örülü 3 adet dev sobada yaklaşık 1.200 °C ısıtılarak tüyerler (sıcak hava üfleyen borular) vasıtasıyla 3.000–3.500 Nm³/dak basınçta fırın içine verilmektedir. İki Yüksek Fırın da bilgisayarlı sistemle kumanda edilmektedir. Ancak herhangi bir bilgisayar arızasında manuel kontrol sistemi de mevcuttur. Yüksek fırınlara gelen hammadde ve kömür (cevher, pelet, sinter, kuvarsit, dolomit, çakmaktaşı, kireç ve kok kömürü) tartıldıktan sonra fırınların en tepesinden şarj edilir. İçerdeki basınçlı sıcak hava bu karışımı askıda tutar ve kok kömürü, yanma sonucu açığa çıkan enerji ile madenin ergime sıcaklığına, yaklaşık 2.700°C’ye ulaşmaktadır. Maden, yağmur damlacıkları gibi eriyik bir biçimde hazneyi doldurur. Hazne deliği, dev matkaplar sayesinde

delinerek maden dışarıya alınır. Basınçlı sıcak hava ise yüksek fırın gazı olarak dışarıya çıkar, dev tanklarda çelikhane gazıyla harmanlanarak kuvvet santrali'ne gönderilir; orada yakılarak buhar haline getirildikten sonra türbünlerden geçirilerek elektrik enerjisine dönüştürülür. Maden, yüksek fırınların altına yanan torpidolara doldurulur. Belli bir süre sonra, madenle beraber cüruf da hazneden gelmeye başlar. Cüruf, madenden yoğunluk olarak daha hafif olduğu için kendine ayrı bir yol çizerek madenden ayrılır. Cüruf, su püskürtülerek granüle (kristal) hale getirilir. Granüle cüruf çimento hammaddesi olarak değerlendirilmektedir.

Şekil 3.11'de verilen kükürt giderme tesisinde yüksek fırınlarda üretilen sıcak madenin içindeki kükürt en alt düzeylere indirilmektedir. Buradan çelikhane'nin istediği özellikteki sıcak maden hazırlanmaktadır. Kükürt gidermede oksijen ve azot gazı kullanılmaktadır. Tesis, üretilen tüm sıcak madenin kükürdünü giderecek kapasiteye sahiptir. 1993'te devreye girmiştir. 2 adet istasyonu vardır. Üretim kapasitesi 7.000 ton/gün sıcak madendir. 25 adet 160-180 tonluk torpido mevcuttur. Burada, manipülasyon lokomotiflerle sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. Kükürt giderme tesisi

Mevcut çelikhane 1993-1995 döneminde modernize edilmiş ve kapasitesi 3.000.000 ton/yıl'a çıkarılmıştır. Yüksek fırınlarda elde edilen sıcak madene 120 ton kapasiteli üç konverterde belli oranlarda hurda ve alaşım elementleri (alüminyum, silisyum, mangan, kireç, vb.) eklenir. Üzerine saf oksijen üfleyen özel borular

sayesinde alaşım karıştırılır ve uluslararası standartlarda çeşitli elik kaliteleri üretilir. Erdemir, dünya çapında 150 adet elik standardının tamamını üretmektedir.

Sürekli döküm işlemi, yarı mamul üretiminde kullanılan ileri bir teknolojidir. elikhanede üretilerek potaya doldurulan sıvı elik, burada “tandış” adı verilen bir ara potaya (döküm boyunca 25 ton net sıvı elik) aralıksız olarak bindirme yapılmak suretiyle sürekli biçimde bakır bir kalıba dökülür. Kalıptan geçen elik suyla soğutulurak “slab” halinde katılaştırılır. Katılaşan slab 6,9 ve 12 metre boylarında kesildikten sonra sıcak haddehane n stok sahalarına işlenmek için gönderilir. Kurulu dört adet sürekli döküm tesisinden ilk ikisinin kapasiteleri 550.000 ton/yıl, 1993-1994 döneminde yapılan diğerk iki tesisin kapasiteleri ise 850.000 ton/yıl’dır.

Sürekli döküm tesislerinden elde edilen veya ithal edilen slablar, slab stok sahasında yüzey temizliğı yapıldıktan sonra slab ısıtma fırınlarına şarj edilerek haddeleme sıcaklıklarına kadar tavlannmaktadır. şekil 3.12’de yer alan Erdemir sıcak haddehanesinde bir adet 110 ton/saat, iki adet 320 ton/saat kapasiteli itici tip slab ısıtma fırını, 1. ve 2. şerit haddelerini beslemektedir. Normalizasyon şartı aranan veya gemi sacı olarak kullanılacak özel kalite sıcak haddelenmiş sac ve levhalar Normalizasyon fırınında 930 C sıcaklığıkadar ısıtılarak tavlannır. Tesisin kapasitesi 45.000 ton/yıl’dır.



şekil 3.12. Sıcak haddehane (Erdemir, 2004)

Kombine haddede 20 mm'ye kadar şerit ön malzemesi haline getirilen slablar 1. şerit haddede 2 mm kalınlık ve 1.525 mm genişliğe kadar şerit halinde haddelenmektedir. Hat 1965'te devreye girmiş ve 1992'te modernize edilmiştir. Tek ayaklıdır ve kapasitesi 450.000 ton/yıl'dır.

Slablar, yedi ayaklı 2. şerit hadde tesisine sıcak olarak haddelenerek burada 1,5 mm kalınlık ve 1.525 mm genişliğe kadar sıcak rulo haline getirilmektedir. Tüm üretim hattı bilgisayar kontrollüdür. Otomatik genişlik kontrolü, F5-F7 ayaklarında kaydırma sistemi, hadde bükme sistemi ve hidrolik otomatik kalınlık kontrolü ile bobin sarmada otomatik sıçrama kontrolü mevcuttur. 1978 senesinde devreye girmiş, 1986 ve 1995'te modernize edilmiştir. Hattın kapasitesi 3.500.000 ton/yıl'dır.

Sıcak haddehanelerden gelen bobinlerin işlenerek nihai ürün haline getirildiği yer soğuk haddehane tesisleridir. 2 adet soğuk haddehane ve ayrıca sıcak ve soğuk dilme ile makas hatları ve kalay, krom ve çinko kaplama hatlarının yer aldığı ikmal tesisleri mevcuttur.

1. soğuk haddehane 1965 yılında devreye girmiş, 1978 ve 1992'te modernize edilmiştir. Ürün kompozisyonuna bağlı olarak değişen üretim kapasitesi yaklaşık 1.100.000 ton/yıl'dır.

1. soğuk haddehane'de yer alan asitleme hattında, sıcak haddelenmiş bobinlerin kenarları kesilmekte yüzeylerindeki oksit ve pas tabakası sülfürik asit havuzlarından geçirilerek temizlenmekte ve yağlanmaktadırlar. 1,525 mm genişliğe kadar bobinleri dekape eden hatlardan birincisi 300.000 ton, 1992'de modernize edilen ikincisi 800.000 ton/yıl kapasiteye sahiptir.

Asitleme hatları'ndan gelen temizlenmiş ve yağlanmış bobinler beş ayaklı tandem hadde girişinde açılır, soğuk olarak belirli hız ve gergi altında ezme suretiyle inceltilerek bobin halinde tekrar sarılır. Tandem hattının kapasitesi 750.000 ton/yıl'dır.

Soğuk haddeleme sırasında bobinlerin yüzeylerine bulaşan haddeleme yağının giderilmesi için ince sac ve teneke üretiminde kullanılacak bobinler tavlansadan önce temizleme işlemine tabi tutulur. Temizleme hattının kapasitesi 130.000 ton/yıl'dır.

Soğuk haddeleme işleminin doğal sonucu olarak saclarda meydana gelen ve arzu edilmeyen yapısal değişikliklerin giderilmesi amacıyla, bobinler, oksitlenmeyen (redüktif) bir ortamda tavlama sıcaklığına kadar ısıtılır ve tav fırınlarında (64 adet tavlama fırını) belirli bir programa göre soğutulur. Tavlama hattın kapasitesi 750.000 ton/yıl'dır.

Temper hatlarında soğuk haddelenmiş ve tavllanmış bobinler temperlenerek belirli yüzey sertliği ve düzgünlüğü verilir. 1. ve 2. temper haddeleri'nin kapasitesi sırasıyla 500.000 ve 300.000 ton/yıl'dır.

Temperlenmiş bobinler, temizlenip kenar kesimleri yapılarak elektrolitik yolla istenilen kalınlıkta kalayla kaplanıp yağlanır. Bu bobinler siparişe uygun ebatlarda teneke hattında kesilmektedir. 1972'de modernize edilen teneke hattı'nın kapasitesi 100.000 ton/yıl'dır.

Ekim 1999'da hizmete giren yeni tesis ile birlikte, Erdemir'in kalay kaplamalı sac (teneke) üretim kapasitesi 100.000 ton/yıl dan 300.000 ton/yıl'a yükseltilmiştir. Ayrıca, ülkemizde ilk kez 50.000 ton/yıl'lık krom kaplamalı sac kapasitesi yaratılmıştır. Ana tesis olan kalay ve krom kaplama hattında kalay veya krom kaplanacak çelik yüzeyinin son derece temiz olması gerekmektedir. Bu temizliğin sağlanması amacıyla, 300.000 ton/yıl kapasiteli bir elektrolitik temizleme hattı kurulmuştur. Diğer yandan, teneke hattında üretilecek ruloların bir kısmının kesilerek sac şeklinde müşteriye sunulması amacıyla, 100.000 ton/yıl kapasiteli bir teneke makas hattı kurulmuştur.

Temperlenmiş, soğuk haddelenmiş bobinler müşteri taleplerine göre kenar ve boy kesimleri yapılarak paketlenmektedir. 1965 ve 1977’de hizmete giren 1. ve 2. soğuk makasın kapasiteleri sırasıyla 155.000 ve 145.000 ton/yıl’dır.

Sıcak haddelenmiş bobinler ve asitle temizlenmiş dekape bobinler, müşteri taleplerine göre kesilip paketlenmektedir. 1965 ve 1982’de hizmete giren 1. ve 2. sıcak makasın kapasiteleri sırasıyla 130.000 ve 350.000 ton/yıl’dır.

Dilme hattında bobinlerin kenarlarının kesilip boyuna dilindikten sonra tekrar sarılmaktadır. 1965’de hizmete giren dilme hattın kapasitesi 180.000 ton/yıl’dır.

Bobinlerin baş ve sonlarındaki tolerans harici kısımlarının kesilmesi ve yüzey düzgünlüğü için temperleme işlemleri, sıcak temperleme ve bobin hazırlama hattında yapılmaktadır. 1992’de hizmete giren bu hattın kapasitesi 600.000 ton/yıl’dır.

KAM (Kapasite Artırımı ve Modernizasyon) Projesi’nin en büyük ve en önemli yatırımı olan 2. soğuk haddehane tesisleri, dünyanın en modern proses teknolojilerinden birine sahiptir. Geleneksel soğuk haddehanelerde beş ayrı hattın oluşan üretim akışı, 2. soğuk haddehanede iki ayrı hatla sürekli hale getirilmiş; kullanılan ileri teknoloji ile ürün kalitesi ve verimlilikte önemli gelişmeler sağlanmıştır.

2. soğuk haddehane’nin önemli hatlarından olan sürekli asitleme tandem hattında, sıcak haddelenmiş bobinler, kenarları kesildikten sonra kaynak makinasıyla birbirlerine eklenmektedir. Asitleme hattında, üzerindeki tufal tabakası temizlendikten sonra tandem haddeye girmekte ve giriş kalınlığı 1,8-4,5 mm olan sac, soğuk haddelenerek, siparişe göre 0,4–2,0 mm kalınlığa kadar inceltilmektedir. 1996’da hizmete giren tesisin kapasitesi 1.500.000 ton/yıl’dır.

Şekil 3.13’te verilen ve Avrupa’nın ikinci büyük sürekli tavlama hattı olan tesis, genel amaçlı sacların tavlانmasının yanında başta otomotiv ve beyaz eşya endüstrileri olmak üzere, kaliteli ve derin çekilebilir özellikte saca ihtiyaç duyan

sektörlerin talebini karşılamaktadır. Sürekli asitleme ve tandem hattından gelen bobinler, önce alkali ve elektrolitik temizleme ünitesinden geçirilerek yüzeyindeki yağ ve tozlardan arındırılır. Fırın bölümünde malzeme üzerine ısıtma ve soğutma işlemleri uygulanarak tavlama gerçekleştirilir. Daha sonra şeridin fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi, şekil ve düzgünlüğünün sağlanması için bobinler, temper haddeden geçirilir. Hattın sonunda, yarı otomatik bir paketlenme ünitesi mevcuttur ve 1996 yılında hizmete giren tesisin kapasitesi 900.000 ton/yıl'dır.



Şekil 3.13. Sürekli tavlama hattı (Erdemir, 2004)

2001 yılı ortalarında hizmete giren galvanizleme hattında, dünyada uygulanmakta olan başlıca iki tip sürekli galvanizleme teknolojisinden biri olan sıcak daldırmalı (hot dip) galvanizleme prosesi kullanılmaktadır. Tesiste, düşük karbonlu ticari (CQ), çekme (DQ), derin çekme (DDQ), ekstra-derin çekme (EDDQ), fırın boyama ortamında sertleşebilir (BH) ve düşük alaşımlı yüksek dayanımlı (HSLA) çelik kaliteleri galvanizlenmektedir. Tesis bünyesinde, temizleme, tavlama, galvaniz kaplama, temperleme, gergili düzeltme ve kromatlama olmak üzere beş ayrı prosesin aynı hat üzerinde ve kesintisiz olarak yapılması sağlanmaktadır. Tesisin kapasitesi 250.000 ton/yıl'dır.

Soğuk haddelenmiş sac ve galvanizli çelik ürünlerinin, tüm kalite ve ebatlarda yüzey kontrollerinin yapılması ve boyuna dilinerek paketlenmesi soğuk dilme hattında sağlanır. 1999'da hizmete giren tesisin kapasitesi 150.000 ton/yıl'dır.

Çelikhane konverterlerinde kullanılan, metalürjik yanmış kireç ve dolomitin üretilmesi sağlayan kireç fabrikalarıdır. 1987 ve 1998'de hizmete giren 1. ve 2. kireç fabrikaları'nın kapasitesi sırasıyla 300 ve 600 ton/gün'dür.

Hava ayrıştırma tesisleri, çelikhane'nin oksijen ihtiyacını sağlamaktadır. 1965, 1971, 1978, 1993 ve 1997'de kurulan beş fabrikanın kapasiteleri sırasıyla 160, 200, 200, 440 ve 420 ton/gün'dür. Likit argon üretim kapasitesi, 730 m³/saat, hidrojen ünitesinin 30 m³/saattir. Sıvı ve gaz oksijen kapasitesi 28.400 m³/saat, sıvı ve gaz azot üretim kapasitesi 24.800 m³/saat, sıvı oksijen ve sıvı gaz üretim kapasitesi ise 2.500 m³/saat'tir.

Erdemir, $1,3 \times 10^9$ kwh düzeyindeki elektrik enerjisi ihtiyacının tamamını kuvvet santralinde üretme potansiyeline sahiptir. Ancak, proses gereği meydana gelen darbeli yükleri karşılamak üzere, otoprodüktör statüde bağlı olduğu TEAŞ (Türkiye Elektrik A.Ş.) Ulusal Sistemi'nden, toplam üretim kapasitesinin %20'si düzeyinde elektrik enerjisi almaktadır. Hedef, bu gereksinimi %10 düzeyine indirmektir.

Erdemir'in kurulu enerji üretim kapasitesi;

- 1965'de hizmete giren her biri 10 MW gücünde iki adet buhar türbini jeneratörü,
- 1978'de hizmete giren 30 MW gücünde buhar türbini jeneratörü,
- 1997'de hizmete giren her biri 40 MW gücünde doğal gaz yakıtlı iki adet gaz türbini jeneratörü,
- Son olarak, Nisan 2001'de hizmete giren 25 MW gücünde buhar türbini jeneratörü/motor blower olmak üzere toplam 155 MW'tır.

Buhar üretim kapasitesi; beş adet buhar kazanında 600 ton/saat, iki adet kojenerasyon tesisi'nde 160 ton/saat olmak üzere 760 ton/saat düzeyindedir. Ayrıca,

yüksek fırınlara yanma havası sağlanmakta; fabrika genelinde ise, denizden soğutma suyu pompalanması, yangın şebekesi su sisteminin işletimi, basınçlı hava, kok gazı, yüksek fırın gazı, çelikhane OG gazı, doğal gaz ve diğer yakıt ihtiyaçlarının temini ve dağıtımı gibi hizmetler verilmektedir.

Erdemir’de üretim sürecinde elde edilen bir ton sıvı çelik için yaklaşık 92 ton su kullanılmaktadır. Bu suyun yaklaşık 14 tonu servis suyu olup, kalan kısım arıtıldıktan sonra sistemde yeniden kullanılan resirküle suyudur. Bu su, fabrikanın yanında denize dökülen Gülüş Irmağı üzerindeki toplam aktif rezerv kapasitesi 35 milyon m³ olan Gülüş ve Kızılcapınar Barajları’ndan sağlanır. Fabrikanın toplam su gereksinimi 11.800 m³/saat arıtma kapasitesi olan çökertme havuzlarından çıkan arıtılmış servis suyu ile sağlanır. İçme suyu ise, yine aynı havuzlardan gelen 600 m³/saat kapasiteli içme suyu arıtım tesisinde arıtıldıktan sonra elde edilir. Ayrıca, çevre kirliliğini önlemek ve su kullanımını azaltmak için çeşitli kapalı devre sirkülasyon sistemleri ile kimyasal ve kirli su arıtma tesisleri bulunmaktadır.

3.2.2.2 Erdemir’in Spesifik Enerji Tüketimi

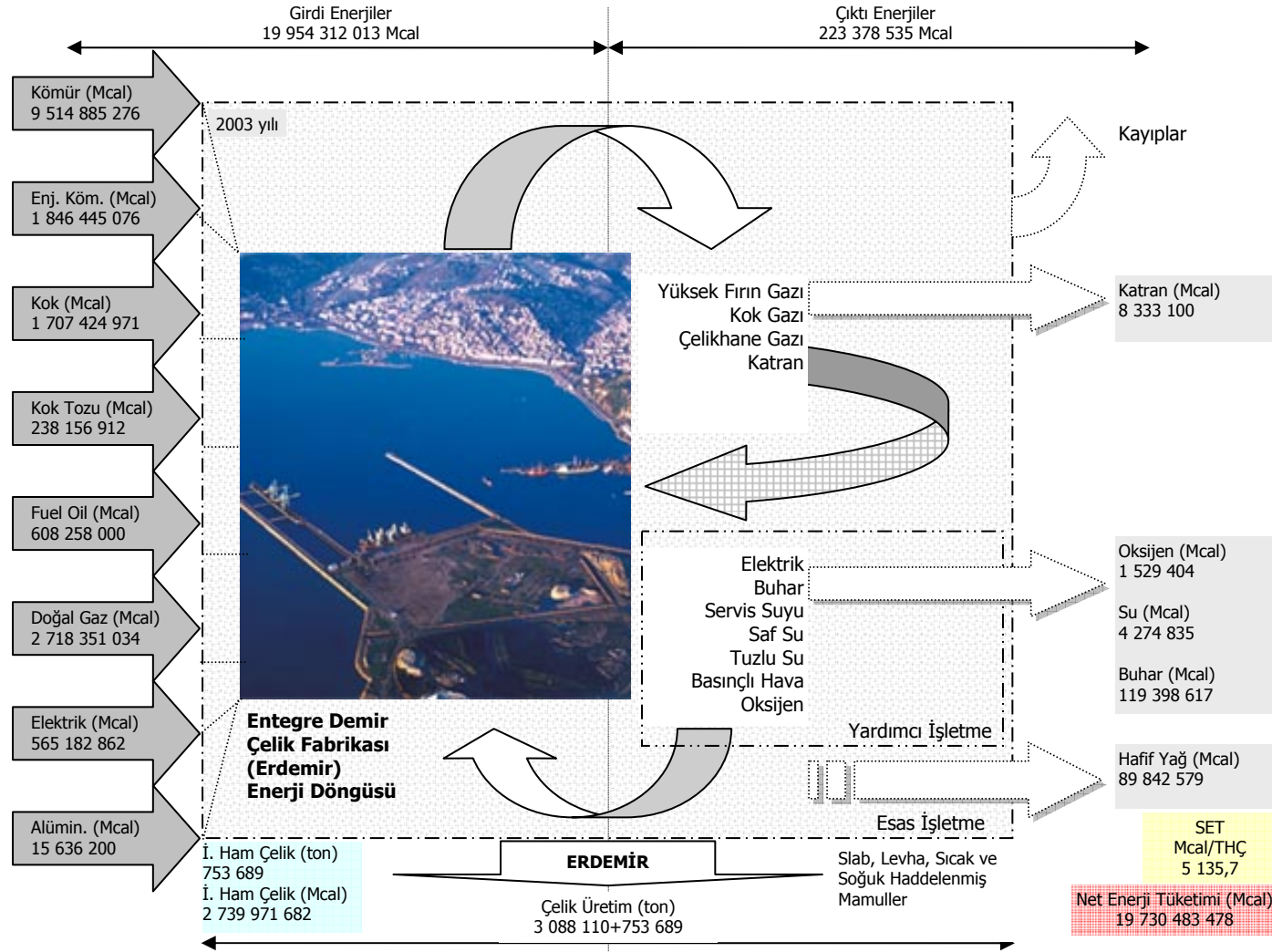
Erdemir’de kullanılan birincil enerjiler, proses sınırları dışına verilen enerjiler ve üretilen yarı mamul üretim akışı Şekil 3.14’te verilmiştir. Kontrol hacmi olarak tesis sınırları seçilmiş, tesisin içine giren tüm enerji kalemleri birim kalori değerleri ile ilişkilendirilerek Mega Kalori olarak tek birimde ifade edilmiştir.

Şekil 3.14’te Erdemir sınırları kontrol hacmi olarak alınmıştır. Buna göre kontrol hacmine giren ve çıkan enerji dengelenmiş, net enerji tüketimi fabrikanın ara mamulü olan ham çelik üretimine bölünerek spesifik enerji tüketimi bulunmuştur. Karşılaştırma yapılırken kullanılan yarı mamul çelik üretimi, Uluslar arası Demir Çelik Enstitüsünün kabul ettiği bir gösterge niteliğindedir.

Şekilde de görüleceği üzere, Erdemir'in ana enerji girdilerini kömür, yüksek fırınlarda kullanılan koku ikame etmek için kullanılan enjeksiyon kömürü, kok, kok tozu, fuel oil, doğal gaz, elektrik ve ısıtma amaçlı alüminyum oluşturmaktadır. Yıllık 3.000.000 ton civarında yarı mamul üretimi yapan tesisten kullanım fazlası olarak dışarıya verilen enerjileri ise; katran, hafif yağ, buhar, su ve oksijen oluşturmaktadır.

Çelik üretim kapasitesi haddeleme kapasitesinden daha düşük olan Erdemir'de eksik olan bu kapasiteyi tamamlayabilmek için dışarıdan slab ithal edilmektedir. İthal edilen bu slab ta haddeleme prosesi esnasında enerji tüketimi yapmaktadır. Ancak üretilen yarı mamul miktarı içerisinde görülmemektedir. Enerji tüketimine katkı sağlayan ancak yarı mamul üretimi içerisinde görülmeyen ithal slabın spesifik enerji tüketimine etkisi, ithal edilen miktarın Erdemir tesislerinde üretilmiş gibi kabul edilmesiyle hesaplanmaktadır. Bunun için, Erdemir tesislerinde üretilen slab başına enerji tüketimi ithal edilen slabla çarpılarak elde edilen değer sanki o slab ta Erdemir'de üretilmiş gibi Erdemir'in toplam enerji tüketimine ilave edilmiştir. Enerji tüketimin ilave edilmesi ile beraber, ithal edilen slabın miktarı da yarı mamul üretimine dahil edilmiş ve Erdemir spesifik enerji tüketimi hesaplanmıştır.

Erdemir Enerji Yöneticiliği'nden alınan 2003 yılı değerlerine göre;



Şekil 3.14. Erdemir spesifik enerji tüketimi

Giren Enerjiler,

Enerji Kalemi	Miktarı	Birim Kalori	Toplam Kalori (Mcal)
Kömür (Kok)	1.241.504.820 kg	7.664 kcal/kg	9.514.885.276
Enjeksiyon Kömürü	279.468.000 kg	6.607 kcal/kg	1.846.445.076
İthal Kok	199.331.070 kg	6.849 kcal/kg	1.365.218.498
Stoktan Kok	49.104.100 kg	6.969 kcal/kg	342.206.473
İthal Kok Tozu	36.008.000 kg	6.614 kcal/kg	238.156.912
Fuel Oil	66.115.000 kg	9.200 kcal/kg	608.258.000
Doğal Gaz	329.497.095 Sm ³	8.250 kcal/Sm ³	2.718.351.034
S.A. Elektrik	245.731.679 kwh	2.300 kcal/kwh	565.182.862
Alüminyum	2.113.000 kg	7.400 kcal/kg	15.636.200
Toplam (A)			17.214.340.331

İthal Edilen Slab (B)	753.689 ton	3.635,4 Mcal/ton*	2.739.971.682
----------------------------------	-------------	----------------------	----------------------

* 1 ton yerli slab üretmek için harcanan enerji miktarı

Çıkan Enerjiler,

Enerji Kalemi*	Miktarı	Birim Kalori	Toplam Kalori (Mcal)
Katran	925.900 kg	9.000 kcal/kg	8.333.100
Buhar	149.248.271 kg	800 kcal/kg	119.398.617
Su	9.449.670 m ³	500 kcal/m ³	4.274.835
Oksijen	955.878 Nm ³	1.600 kcal/Nm ³	1.529.404
Hafif Yağ	8.955.600 kg	10.032 kcal/kg	89.842.579
Toplam (C)			223.828.535

* Çıkan enerji kalemleri satılan veya o yıl içerisinde kullanılmayarak stoklanan enerjiyi ve miktarlarını gösterir.

G. Toplam (A+B-C)	19.730.483.478
--------------------------	-----------------------

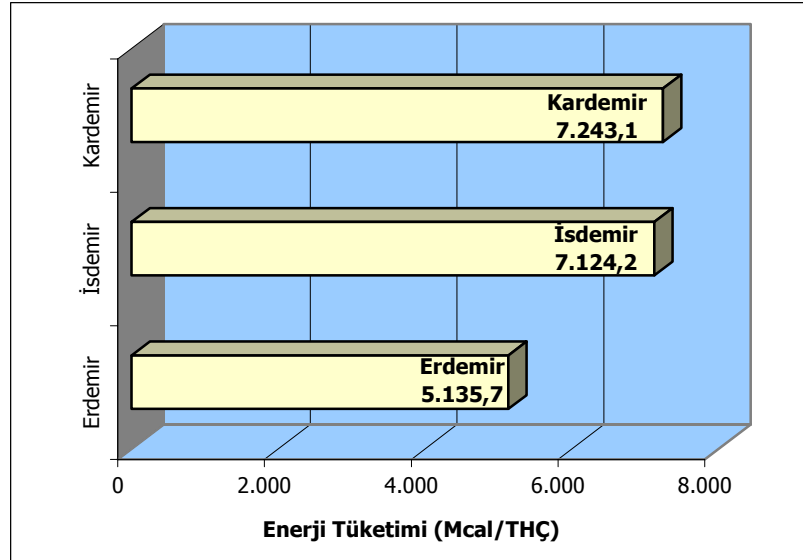
Yukarıda verilen şekil ve tabloda özetlenen 2003 yılı değerlerine göre Erdemir'in

$$2003 \text{ yılı Spesifik Enerji Tüketimi} = \frac{19.730.483.478 \text{ Mcal}}{3.841.799 \text{ Ton}} = 5.135,7 \text{ Mcal/THÇ}$$

olarak hesaplanmıştır.

3.3 Entegre Demir Çelik Tesislerinin İçerisinde En Verimli Enerji Tüketimine Sahip Olan Tesisin Belirlenmesi

Türkiye’de bulunan üç adet entegre demir çelik tesisinin yarı mamul üretimleri olan ton ham çelik başına yaptıkları enerji tüketimleriyle (Mcal) karşılaştırılması sonucu, detay analizlerde kullanılmak üzere seçilecek fabrika Şekil 3.15’te verildiği gibi birim üretim başına en az enerji tüketimini yapan tesis Erdemir olarak belirlenmiştir. Tesislerin 2003 yılı değerlerine göre yaptıkları enerji tüketimleri Şekil 3.15’te verilen grafikte gösterilmiştir. Buna göre uzun mamul üreten Kardemir ve İsdemir’in 2003 yılı spesifik enerji tüketim değerleri birbirine yakın olarak 7.000 Mcal/THÇ düzeyinde belirlenmiştir. Türkiye’nin yassı mamul üreten tek tesisi olan Erdemir’de ise yarı mamul bazındaki spesifik enerji tüketiminin 5.100 Mcal/THÇ civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 3.15. Türkiye’deki entegre demir çelik tesislerinin spesifik enerji tüketimleri (2003 yılı)

BÖLÜM DÖRT

EREĞLİ DEMİR VE ÇELİK FABRİKALARINDA ENERJİ VERİMLİLİKLERİ VE ENERJİ DENGESİ ANALİZLERİ

4.1 Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları'nın Enerji Yapısı

Dışarıdan satın alınarak tüketilen beş kalem enerjinin toplamı, Erdemir'de tüketilen enerji olarak baz alınmıştır. Proses gereği ortaya çıkan ikincil enerji olarak adlandırılabilen enerjiden ise satın alınacak bu birincil kaynakları en az miktarda kullanmak üzere yararlanılmaktadır. Enerji tüketim potansiyeli yönünden ülkemizin en büyük tesisleri arasında yer alan Erdemir, Türkiye'nin toplam yıllık enerji tüketiminden yaklaşık %2,5 oranında pay almaktadır. Şirketin tamamını kapsayan enerji akışının ana hatları Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Burada, kullanılan birincil enerji kaynakları olan kömür, doğal gaz, fuel oil ve elektrik enerjisinin temin şekli ve ana kullanıcıları gösterilmektedir. Bunun yanı sıra kok, sıcak maden ve sıvı çelik üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilen ikincil enerji kaynakları olan yüksek fırın gazı, kok gazı, çelikhane gazı ve katranın üretildikleri ve kullanıldıkları tesisler de şekilde belirtilmiştir.

Bu enerji kullanım şemasına göre Erdemir'in satın aldığı birincil enerjinin 2004 yılı fiili ve 2005 yılı programının miktar ve TEP (Ton Eşdeğer Petrol) değerleri Tablo 4.1'de, bu birincil enerjinin proseste kullanılması sonucu ortaya çıkan yan ürün yakıtların (ikincil enerji) 2004 yılı değerleri ise Tablo 4.2'de sunulmuştur.

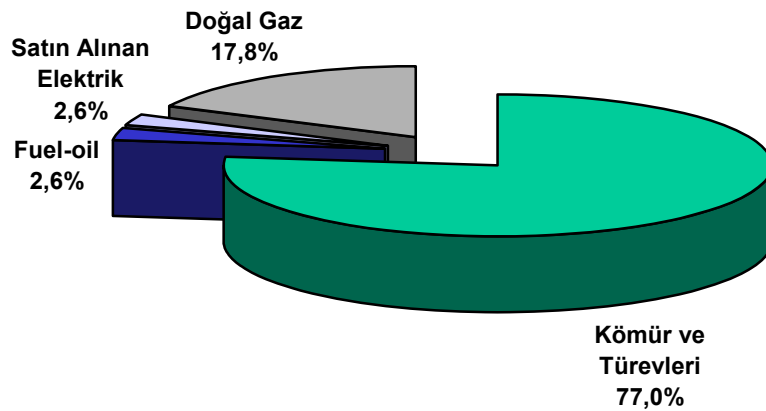
Tablo 4.1. 2004 yılı fiili ve 2005 yılı program enerji tüketimleri

Satın Alınan Enerjiler	2004(Fiili)		2005 (Program)	
	Tüketim	TEP	Tüketim	TEP
<i>Kömür (ton)</i>	1.615.203	1.313.269	1.575.556	1.279.831
<i>D. Gaz (Sm³)</i>	361.994.000	324.614	379.538.000	340.347
<i>Kok (ton)</i>	230.530	170.943	222.278	164.824
<i>Fuel oil (ton)</i>	46.934	46.943	27.285	27.285
<i>Elektrik (kwh)</i>	211.140.000	19.737	233.070.000	21.787
<i>Top. Enerji Tük. (TEP)</i>	1.875.506		1.834.074	
<i>Nihai Ürün Üretimi (ton)</i>	3.619.156		3.500.000	

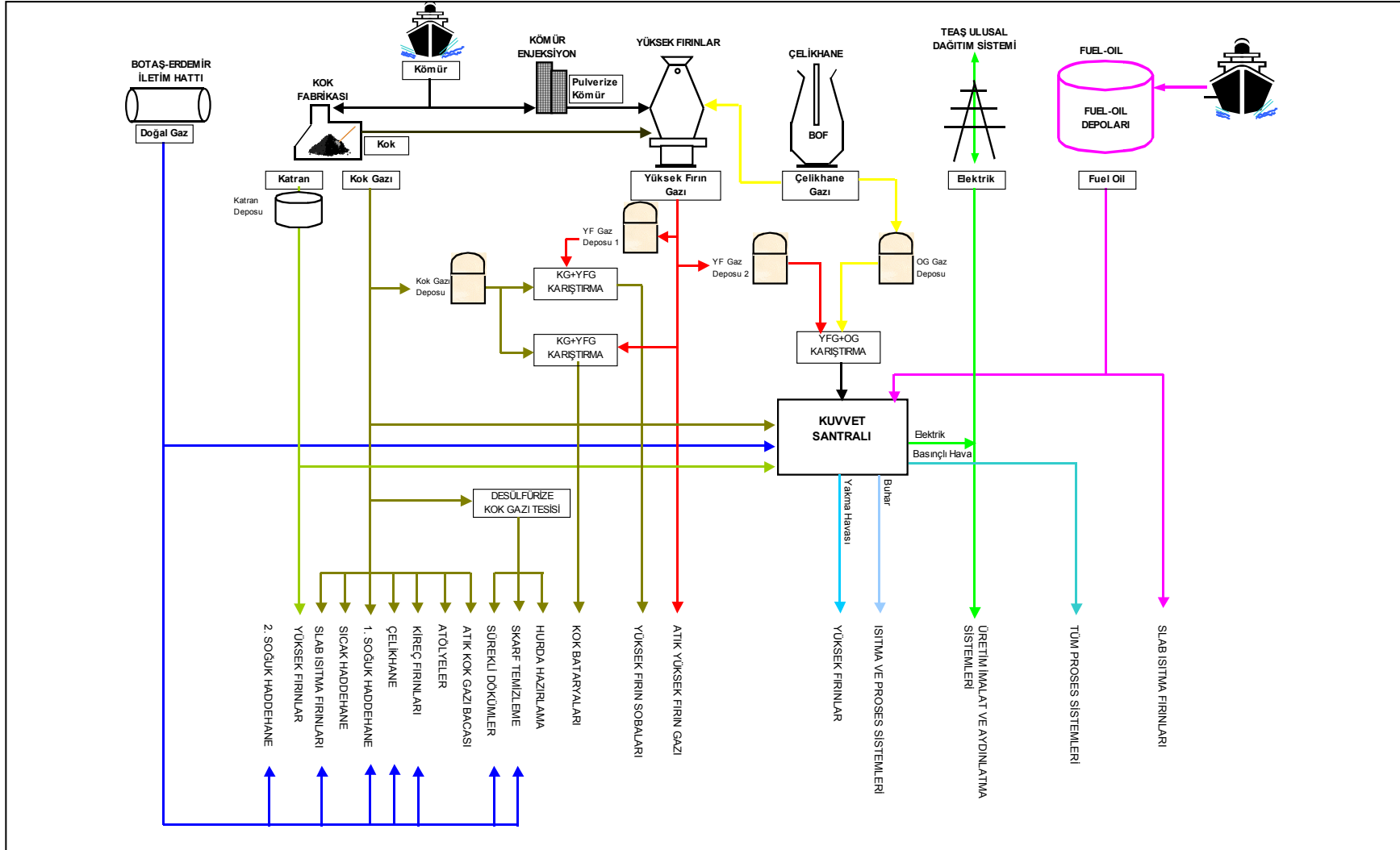
Tablo 4.2. 2004 yılı ikincil enerji üretim ve tüketimleri

		Üretim (m ³ , ton)	Üretim (TEP)
2004	<i>Yüksek Fırın Gazı</i>	4.522.637.000	429.479
	<i>Kok Gazı</i>	432.870.000	211.101
	<i>Çelikhane Gazı</i>	290.562.000	56.849
	<i>Katran (Tüketilen)</i>	40.439	39.560
	Toplam		736.989

Şekil 4.1’de, 2004 yılında, toplam birincil enerji tüketiminde en önemli kaynağı teşkil eden koklaştırılabilir taş kömürü ve türevleri %77,1, diğer birincil enerji kaynaklarından fuel oil %2,6, doğal gaz %17,8 ve elektrik enerjisi %2,6 pay almıştır.



Şekil 4.1. 2004 yılında satın alınan birincil enerji kaynaklarının dağılımı



Şekil 4.2. Erdemir birincil ve yan ürün enerjilerin akış şeması (Kimsesiz E. ve diğer. 2001)

Detay analizler yapılacak olan tesisin Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş. olarak seçilmesinden sonra, entegre bir tesis olması itibarıyla birçok üretim hattından oluşan tesise uygulanacak enerji denge analizlerinin sınırlandırılmasında veri toplama ve değerlendirme süreleri ile yapılacak analizlerin ait olduğu tesislerin genel tüketim içerisinde aldıkları payın etkisi belirleyici rol oynamıştır. Tüm üretim hatları içerisinde yer alan ve tüketilen toplam enerjinin %50 ve üzerinde temsil eden, enerji yoğun birkaç tesise uygulanması düşünülen enerji dengesi analizi ile hatta giren enerjinin hangi biçimlerde çıktığının ve çıkan enerjiler içerisinde değerlendirilebilecek atık enerji potansiyelinin hesaplanması hedeflenmiştir.

4.2 Enerji Denge Analizi Uygulanacak Ünitelerin Seçimi

Toplam enerji tüketimlerinin şirket içerisinde dağılımını hesaplayabilmek için 2003 yılı genel enerji tüketimleri Bölüm 2.2’de verilen izleme modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Tablo 4.3’te toplanan üretim ve tüketim değerleri ve Tablo 4.4’te hesaplama işlemine tabi tutularak kullanılabilir veriye dönüştürülmüştür. Belirlenen bu tabloya göre şirkette ana üretim üniteleri ve toplam tüketim içerisinde aldıkları paylar Tablo 4.5’te özetlenmiştir.

Tablo 4.3 ve 4.4’den yararlanılarak hazırlanan Tablo 4.5’de görülebileceği gibi, entegre bir tesiste ağırlıklı olarak enerji tüketimi, cevherden sıvı çelik üretimine kadar olan proseste yapılmaktadır. Özellikle prosesleri gereği yoğun karbon kullanıcısı olan yüksek fırınlar, tesisin yarı tüketimi kadar paya sahip olmaktadır. Bu yoğun enerji tüketimine rağmen mevcut yüksek fırında enerji kaynağı olarak kullanılan kok ve kömürün (karbon), bir görevinin de hematit ve manyetit cevherini indirgemektir. Bu durumda kok ve kömürün belli oranlarda kullanımları kaçınılmazdır. Cevherden sıcak madene giden yolculukta, en önemli görevi üstlenen yüksek fırınlar, aynı zamanda, bir enerji çeviricisi olarak çalışmakta ve ürünlerinden de diğer prosesler için enerji üretmektedir.

Tablo 4.3. Erdemir 2003 yılı proses üretim, enerji tüketim ve üretimleri tablosu

2003 / 12 AYLIK TOPLAM			ENERJİ TÜKETİMİ (I)																		Alüminyum	
			Kömür	Enjeksiyon Kömürü	İthal Kok	Üretilen Kok	Kok Tozu Yerli	Kok Tozu İthal	Fuel Oil	Doğal Gaz	Çelikhane Gazı	Kok Gazı	YF Gazı	Katran	Atık Yağ	Elektrik	Buhar	Oksijen	T.su	Su		
Kalaniler(kcal/ko, kcal/Nm³, kcal/kwh)			7664	6607	6849	6969	6614	6614	9200	8250	1800	4334	873	9000	10.646	2300	800	1600	125	500	7400	
THÇ: Ton Ham Çelik, TU: Ton Ürün			KG	KG	KG	KG	KG	KG	KG	Sm³	Nm³	Nm³	Nm³	KG	KG	kwh	KG	Nm³	m³	m³	KG	
Ü N İ T E L E R	Üretim (ton, kwh, Nm³)		*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	*1000	
D	Hammadde Manipülasyon		3.088.110													10.349				799		
	Kok ve Yan Ürünler	1.241.504	936.469								60.996	611.301				21.630	113.469		14.400	4.393		
E	Sinter Fabrikası		2.035.475				60.378	36.008			7.129					73.540				1.316		
R	Yüksek Fırın I		1.168.046		117.119	83.826	386.912				35.465	526.196				16.837	307.120	29.431	70.184	4.735		
Ü	Yüksek Fırın II		1.668.363		162.349	115.505	538.283				37.879	809.829				20.538	548.406	47.757	68.272	5.073		
R	Yüksek Fırınlar Toplam		2.836.409		279.468	199.331	925.195				73.344	1.336.025				37.375	855.526	77.188	138.456	9.808		
T	Kömür Enjeksiyon		279.468								1.425	19.449				17.766	2.288			504		
C	Kireç Fabrikası III		108.535								20.913					3.526				389		
E	Kireç Fabrikası IV		181.180							19.685						6.519				446		
L	Kireç Fabrikaları Toplam		289.715							19.685	20.913					10.045				835		
I	Çelik Üretim		3.189.339							2.024	21.544					34.596		165.337		86.660		
K	İkincil Metalurji		3.189.339							1.629	9.429					36.009	7.956	18.250	13.318	2.113		
Ü	Süreklî Döküm I+II		1.500.575								20.622					16.805		1.573		6.765		
R	Süreklî Döküm III+IV		1.587.536								20.397					15.306		1.648		7.995		
T	Süreklî Döküm Toplam		3.088.110								41.019					32.111		3.221		14.760		
Ham Çelik Toplam Enerji (THÇ)			3.088.110	1.241.504	279.468	199.331	925.195	60.378	36.008	23.338	235.799	1.966.775				273.420	979.239	263.997	152.856	132.393	2.113	
S	Slab Sahası+Scarfing		3.875.313								480					3.540		17.587				
I	Kombine Hadde		723.873									419				29.769	6.777			7.510		
C	I. Slab Fırını		732.877						5.500			34.645				1.315	3.044			9.102		
A	Normalize Fırını		18.287									2.863				113						
K	I. Şerit Hadde		640.048									7.859				38.131	6.777	348		7.510		
H	II. Slab Fırını		1.580.619									31.946				4.730	25.878			13.929		
A	III.Slab Fırını		1.561.817									60.745				3.743				14.684		
D	Ön hadde		3.034.131													143.334				30.229		
	II. Şerit Hadde		3.034.138													77.188	22.044	511		35.155		
	Asitleme		564.412													7.815	63.471			3.465		
S	Sıcak Makas I		140.577													469				486		
O	Sıcak Makas II		275.358													2.447				486		
G	Dilme		10.020													2.006						
U	Tandem		309.408													35.300	15.812			7.020		
K	Temizleme toplam		251.897													7.009	35.083			998		
	Tavlama		294.402								534		21.174			3.938				660		
H	Temper I		151.739													3.705	1.129			654		
A	Temper II		153.053													3.804	3.388			1.811		
D	Temper Toplam		304.792													7.509	4.518			2.465		
D	Soğuk Makaslar		84.287													654				704		
E	Teneke Makası		41.539													274						
H	Teneke		195.005													20.697	36.142			4.119		
A	Bobin Hazırlama		388.039													1.895				352		
N	Süreklî Asitleme+Tandem		1.155.132								5.302					119.305	11.386			8.193		
E	Süreklî Tavlama		776.807								22.767					41.497	32.810			31.117		
	Galvanizleme		233.916								6.194					20.944	21.231			7.831		
	Buhar Kazanlar		3.820.328							23.960	20.591	266.878	95.930	2.565.854	36.297	454	32.626	492.475	60.618	4.363		
Y	Buhar (Atık Isı Kazanı)		1.068.764																			
A	Buhar Toplam		4.889.092																			
R	Elektrik (Konvansiyonel)		519.500													3.398	2.077.759		115.547			
D	Elektrik (Kojenerasyon)		553.040								189.059					3.034	164.030		1.614			
	Basınçlı Hava		381.452.767													39.662				1.935		
	Oksijen		297.321.580													155.958	648			758		
	Azot+Argon+Hidrojen		221.705.459													74.005				254		
	Tuzlu su		330.635.000													19.175				13		
	Su tesisleri		348.620.414													107.153	664					
	Refrakter Atelyesi		3.088.110								212					215				582		
	Merkez Bakım		3.088.110													3.648	124.483	45		325		
	Diğer		3.088.110								277					24.894	615.574	2.060		12.534		
	Kayıp+Ölçüm Farkı		3.088.110													7.461		11.818				
TOPLAM I			THÇ	1.241.504	279.468	199.331	925.195	60.378	36.008	66.115	329.497	266.878	449.223	4.689.911	36.297	454	1.318.272	4.739.844	296.366	330.635	339.171	2.113
Stok ve Satılan			THÇ				-84.044								926		-245.732	149.248	956		9.450	
TOPLAM II			THÇ	1.241.504	279.468	199.331	841.151	60.378	36.008	66.115	329.497	266.878	449.225	4.689.911	37.223	397	1.072.540	4.889.092	297.322	330.635	348.620	2.113

Tablo 4.3. Erdemir 2003 yılı proses üretim, enerji tüketim ve üretimleri tablosu (devamı)

2003 / 12 AYLIK TOPLAM		E N E R J İ K A Z A N I M I (II)													
Kaloniler(kcal/kg, kcal/Nm³, kcal/kwh)		Üretilen Kok	Kok Tozu	Kok Gazı	Yüksek Fınn Gazı	Çelikhane Gazı	Katran	Hafif Yağ	Atık Yağ	Elektrik	Buhar	Oksijen	Tuzlu su	Su	
THÇ: Ton Ham Çelik, TU: Ton Ürün		KG	KG	Nm³	Nm³	Nm³	KG	KG	KG	kwh	KG	Nm³	m³	m³	
Ü N İ T E L E R		Üretim (ton, kwh, Nm³)													
D	Ham madde Manipulasyon	3.088.110													
E	Kok ve Yan Ürünler	936.469	876.091	60.378	449.225		37.223	8.956	301						
M	Sinter Fabrikası	2.035.475													
R	Yüksek Fınn I	1.168.046				2.111.139									
Ü	Yüksek Fınn II	1.668.363				2.578.772									
R	Yüksek Fınnlar Toplam	2.836.409				4.689.911									
T	Kömür Enjeksiyon	279.468													
C	Kireç Fabrikası III	108.535													
E	Kireç Fabrikası IV	181.180													
L	Kireç Fabrikaları Toplam	289.715													
i	Çelik Üretim	3.189.339				266.878									
K	İkincil Metalurji	3.189.339													
Ü	Sürekli Döküm I+II	1.500.575													
R	Sürekli Döküm III+IV	1.587.536													
T	Sürekli Döküm Toplam	3.088.110													
Ham Çelik Toplam Enerji (THÇ)		3.088.110	876.091	60.378	449.225	4.689.911	266.878	37.223	8.956	301					
S	Slab Sahası+Scarfing	3.875.313													
I	Kombine Hadde	723.873													
C	I. Slab Fınnı	732.877													
A	Normalize Fınnı	18.387													
K	I. Şerit Hadde	640.048													
H	II. Slab Fınnı	1.580.619													
A	III. Slab Fınnı	1.561.817													
D	Ön hadde	3.034.131													
D	II. Şerit Hadde	3.034.138													
S	Asitleme	564.412													
O	Sıcak Makas I	140.577													
G	Sıcak Makas II	275.358													
U	Dilme	10.020													
K	Tandem	309.408													
H	Temizleme toplam	251.897													
A	Tavlama	294.402													
D	Temper I	151.739													
A	Temper II	153.053													
D	Temper Toplam	304.792													
E	Soğuk Makaslar	84.287													
H	Teneke Makası	41.539													
E	Teneke	195.005													
A	Bobin Hazırlama	388.039													
N	Sürekli Asitleme+Tandem	1.155.132													
E	Sürekli Tavlama	776.807													
	Galvanizleme	233.916													
	Buhar Kazanlar	3.820.328									3.820.328				
Y	Buhar (Atık Isı Kazanı)	1.068.764													
A	Buhar Toplam	4.889.092													
R	Elektrik (Konvansiyonel)	519.500								519.500					
D	Elektrik (Kojenerasyon)	553.040								553.040	1.068.764				
	Basınçlı Hava	381.452.767													
	Oksijen	297.321.580										297.322			
i	Azot+Argon+Hidrojen	221.705.459													
S	Tuzlu su	330.635.000											330.635		
L	Su tesisleri	348.620.414												348.620	
T	Refrakter Atölyesi	3.088.110													
	Merkez Bak.	3.088.110													
	Diğer	3.088.110							96						
	Kayıp+Ölçüm Farkı	3.088.110													
TOPLAM I		THÇ	876.091	60.378	449.225	4.689.911	266.878	37.223	8.956	397	1.072.540	4.889.092	297.322	330.635	348.620
Stok ve Satılan		THÇ													
TOPLAM II		THÇ	876.091	60.378	449.225	4.689.911	266.878	37.223	8.956	397	1.072.540	4.889.092	297.322	330.635	348.620

Tablo 4.4. Erdemir üretim üniteleri 2003 yılı spesifik enerji tüketim ve üretim tablosu

2003 / 12 AYLIK		ENERJİ TÜKETİMİ (1)																				
TÜ BAŞINA TÜKETİMLER		Kömür	Enjeksiyon Kömürü	İthal Kok	Üretilen Kok	Kok Tozu Yerli	Kok Tozu İthal	Fuel Oil	Doğal Gaz	Çelikhane Gazı	Kok Gazı	YF Gazı	Katran	Atık Yağ	Elektrik	Buhar	Oksijen	Tuzlu su	Su	Alüminyum	Toplam	
Kcaloriler (kcal/kg, kcal/Nm³, kcal/kwh)		7664	6607	6849	6969	6614	6614	9200	8250	1800	4334	873	9000	10646,46	2300	800	1600	125	500	7400	(1)	
THÇ: Ton Ham Çelik, TÜ: Ton Ürün		kg/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	Sm³/TÜ	Nm³/TÜ	Nm³/TÜ	Nm³/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kwh/TÜ	kg/TÜ	Nm³/TÜ	m³/TÜ	m³/TÜ	Kg/TÜ	Mcal/TÜ	
ÜNİTELER		Üretim (ton, kwh, Nm³)																				
D	Hammadde Manipulasyon	3.088.110													3,4				0,3		7,8	
E	Kok ve Yan Ürünleri	936.469	1325,7								65,1	652,8			23,1	121,2		15,4	4,7		11167,1	
M	Sinter Fabrikası	2.035.475					29,7	17,7			3,5				36,1				0,6		411,8	
Ü	Yüksek Fırın I	1.168.046		100,27	71,8	331,2					30,4	450,5			14,4	262,9	25,2	60,1	4,1		4280,9	
R	Yüksek Fırın II	1.668.363		97,3	69,2	322,6					22,7	485,4			12,3	328,7	28,6	40,9	3,0		4231,6	
R	Yüksek Fırımlar Toplam	2.836.409		98,5	70,3	326,2					25,9	471,0			13,2	301,6	27,2	48,8	3,5		4251,9	
T	Kömür Enjeksiyonu	279.468									5,1	69,6			63,6	8,2			1,8		236,5	
C	Kireç Fabrikası III	108.535									192,7				32,5				3,6		911,5	
E	Kireç Fabrikası IV	181.180							108,7						36,0				2,5		980,4	
L	Kireç Fabrikaları Toplam	289.715							67,9		72,2				34,7				2,9		954,6	
K	Çelik Üretim	3.189.339							0,6		6,8				10,8		51,8		27,2		156,0	
I	İkincil Metalurji	3.189.339							0,5		3,0				11,3	2,5		5,7	4,2	0,7	61,1	
Ü	Sürekli Döküm I+II	1.500.575									13,7				11,2		1,0		4,5		89,2	
R	Sürekli Döküm III+IV	1.587.536									12,8				9,6		1,0		5,0		82,0	
T	Sürekli Döküm Toplam	3.088.110									13,3				10,4		1,0		4,8		85,5	
Ham Çelik Toplam Enerji (THÇ)		3.088.110	402,0	90,5	64,5	299,6	19,6	11,7		7,6	76,4	636,9			88,5	317,1	85,5	49,5	42,9	0,7	7991,8	
S	Slab Saha.+Scarfing	3.875.313								0,1		0,1			0,9		4,5				10,9	
I	Kombine Hadde	723.873													41,1	9,4			10,4		107,3	
C	I. Slab Fırını	732.877						7,5			47,3				1,8	4,2			12,4		287,6	
A	Normalize Fırını	18.287									156,6				6,2						692,7	
K	I. Serit Hadde	640.048									12,3				59,6	10,6	0,5		11,7		205,4	
A	II. Slab Fırını	1.580.619						23,2			20,2				3,0	16,4			8,8		325,3	
H	III. Slab Fırını	1.561.817							38,9						2,4				9,4		331,1	
D	On hadde	3.034.131									47,2				47,2				10,0		113,6	
D	II. Serit Hadde	3.034.138									25,4				25,4	7,3	0,2		11,6		70,4	
A	Asitleme	564.412													13,8	112,5			6,1		124,9	
S	Sıcak Makas I	140.577									3,3				3,3				3,5		9,4	
O	Sıcak Makas II	275.358									8,9								1,8		21,3	
G	Dilme	10.020													200,2						460,4	
U	Tandem	309.408									114,1				114,1	51,1			22,7		314,6	
K	Temizleme Toplam	251.897									27,8				27,8	139,3			4,0		177,4	
D	Tavlama	294.402							1,8		71,9				13,4				2,2		358,5	
H	Temper I	151.739									24,4				24,4	7,4			4,3		64,3	
A	Temper II	153.053									24,9				24,9	22,1			11,8		80,8	
D	Temper Toplam	304.792													24,6	14,8			8,1		72,6	
E	Soğuk Makaslar	84.287									7,8				7,8				8,4		22,0	
D	Teneke Makası	41.539													6,6						15,2	
H	Teneke	195.005													106,1	185,3			21,1		402,9	
A	Bobin Hazırlama	388.039													4,9				0,9		11,7	
N	Sürekli Asitleme+Tandem	1.155.132							4,6						103,3	9,9			7,1		286,8	
E	Sürekli Tavlama	776.807								29,3					53,4	42,2			40,1		418,5	
A	Galvanizleme	233.916								26,5					89,5	90,8			33,5		513,7	
D	Buhar Kazanlar	3.820.328						6,27	5,4	69,9	25,1	671,6	9,5	0,1	8,5	128,9		15,9	1,1		1135,4	
Y	Buhar (Atık Isı Kazanı)	1.068.764																				
A	Buhar Toplam	4.889.092																				
R	Elektrik (Konversiyonel)	519.500													6,5	3999,5		222,4			3242,5	
D	Elektrik (Kojenerasyon)	553.040								341,9					5,5	296,6		2,9			3070,5	
	Basınçlı Hava	381.452.767													0,1040				0,005		0,2	
	Oksijen	297.321.580													0,5245	0,002			0,003		1,2	
	Azot+Argon+Hidrojen	221.705.459													0,3338				0,001		0,8	
I	Tuzlu su	330.635.000													0,0580				0,0000		0,1	
S	Su tesisleri	348.620.414													0,3074	0,002					0,7	
L	Refrakter Atölyesi	3.088.110							0,1		0,6				0,0697				0,19		3,4	
T	Merkez Bakım	3.088.110									0,6				1,2	40,3			0,11		37,6	
	Diğer	3.088.110							0,1		0,5				8,1	199,3	0,7		4,1		183,9	
	Kayıp+Ölçüm Farkı	3.088.110									4,4	50,9			2,4		3,8				75,1	
TOPLAM I		THÇ	402,0	90,5	64,5	299,6	19,6	11,7	21,4	106,7	86,4	145,5	1518,7	11,8	0,1	426,9	1534,9	96,0	107,1	109,8	0,7	12149,1
Stok ve Satılan		THÇ						-27,2						0,3		-79,6	48,3	0,3		3,1		-329,3
TOPLAM II		THÇ	402,0	90,5	64,5	272,4	19,6	11,7	21,4	106,7	86,4	145,5	1518,7	12,1	0,1	347,3	1583,2	96,3	107,1	112,9	0,7	11819,6

Tablo 4.4. Erdemir üretim üniteleri 2003 yılı spesifik enerji tüketim ve üretim tablosu (devamı)

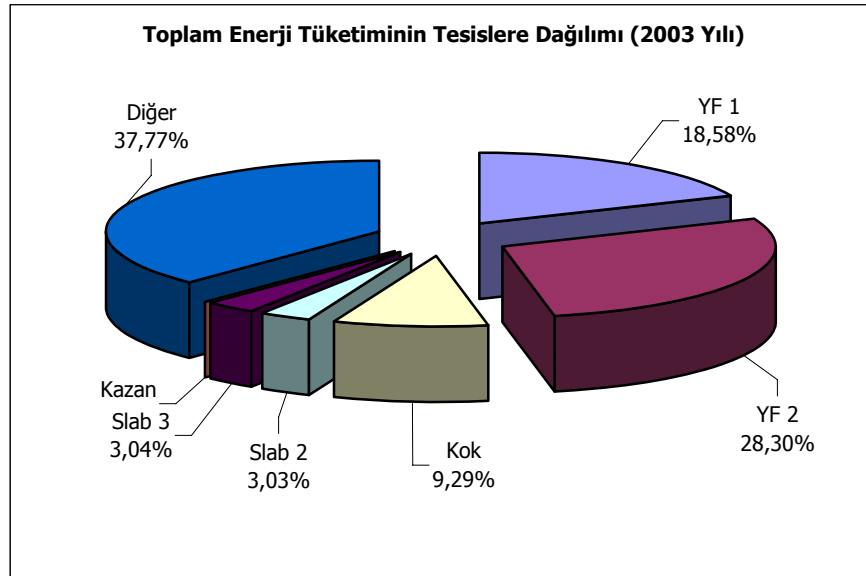
2003 / 12 AYLIK		E N E R J İ K A Z A N I M I (II)													THÇ İÇİN TOPLAM
TÜ BAŞINA TÜKETİMLER		Kok	Kok Tozu	Kok Gazı	YF Gazı	Çelikhane Gazı	Katran	Hafif Yağ	Atık Yağ	Elektrik	Buhar	Oksijen	Tuzlu su	Su	
THÇ: Ton Ham Çelik, TÜ: Ton Ürün		6969	6614	4334	873	1800	9000	10032	10646,5	2300	800	1600	125	500	
Ü N İ T E L E R	Üretim (ton, kwh, Nm³)	kg/TÜ	kg/TÜ	Nm³/TÜ	Nm³/TÜ	Nm³/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kg/TÜ	kwh/TÜ	kg/TÜ	Nm³/TÜ	m³/TÜ	m³/TÜ	THÇ İÇİN TOPLAM
D	Ham madde Maniplasyonu	3.088.110													7,8
E	Kok ve Yan Ürünleri	936.469	935,5	64,5	479,7		39,7	9,6	0,32						1685,1
M	Sinter Fabrikası	2.035.475													411,8
R	Yüksek Fırın I	1.168.046				1807,4									2702,3
Ü	Yüksek Fırın II	1.668.363				1545,7									2881,7
R	Yüksek Fırınlr Toplam	2.836.409				1653,5									2807,8
T	Kömür Enjeksiyonu	279.468													236,5
C	Kireç Fabrikası III	108.535													911,5
E	Kireç Fabrikası IV	181.180													980,4
L	Kireç Fabrikaları Toplam	289.715													994,6
I	Çelik Üretim	3.189.339				83,7									5,4
K	İkincil Metalurji	3.189.339													61,1
Ü	Sürekli Döküm I+II	1.500.575													89,2
R	Sürekli Döküm III+IV	1.587.536													82,0
T	Sürekli Döküm Toplam	3.088.110													85,5
Ham Çelik Toplam Enerji (THÇ)		3.088.110	283,7	19,6	145,5	1518,7	86,4	12,1	2,9	0,10					4357,4
S	Slab Sahası+Scarfing	3.875.313													10,9
I	Kombine Hadde	723.873													107,3
C	I. Slab Fırını	732.877													287,6
A	Normalize Fırını	18.287													692,7
K	I. Şerit Hadde	640.048													205,4
H	II. Slab Fırını	1.580.619													325,3
A	III. Slab Fırını	1.561.817													331,1
D	Ön hadde	3.034.131													113,6
D	II. Şerit Hadde	3.034.138													70,4
A	Asitleme	564.412													124,9
S	Sıcak Makas I	140.577													9,4
O	Sıcak Makas II	275.358													21,3
G	Dilme	10.020													460,4
U	Tandem	309.408													314,6
K	Temizleme Toplam	251.897													177,4
H	Tavlama	294.402													358,5
A	Temper I	151.739													64,3
D	Temper II	153.053													80,8
D	Temper Toplam	304.792													72,6
E	Soğuk Makaslar	84.287													22,0
H	Teneke Makası	41.539													15,2
A	Teneke	195.005													402,9
N	Bobin Hazırlama	388.039													11,7
E	Sürekli Asitleme+ Tandem	1.155.132													286,8
	Sürekli Tavlama	776.807													418,5
	Galvanizleme	233.916													513,7
Y	Buhar Kazanlar	3.820.328									1000,0				800,0
A	Buhar (Atık Isı Kazanı)	1.068.764													335,4
R	Buhar Toplam	4.889.092													
D	Elektrik (Konvansiyonel)	519.500								1000,0					942,5
	Elektrik (Kojenerasyon)	553.040								1000,0	1932,5				-775,5
	Basınçlı Hava	381.452.767													0,2
	Oksijen	297.321.580										1,0			1,6
I	Azot+Argon+Hidrojen	221.705.459													0,8
S	Tuzlu su	330.635.000											1,0		0,1
L	Su tesisleri	348.620.414												1,0	0,5
T	Refrakter Atılımı	3.088.110													3,4
	Merkez Bakım	3.088.110													37,6
	Diğer	3.088.110							0,03						0,33
	Kayıp+Ölçüm Farkı	3.088.110													75,1
TOPLAM I		THÇ	283,7	19,6	145,5	1518,7	86,4	12,1	2,9	0,1	347,3	1583,2	96,3	107,1	6647,0
Stok ve Satılan		THÇ													-329,3
TOPLAM II		THÇ	283,7	19,6	145,5	1518,7	86,4	12,1	2,9	0,1	347,3	1583,2	96,3	107,1	6647,0

Tablo 4.5. Erdemir ünitelerinin toplam enerji tüketiminden aldıkları pay

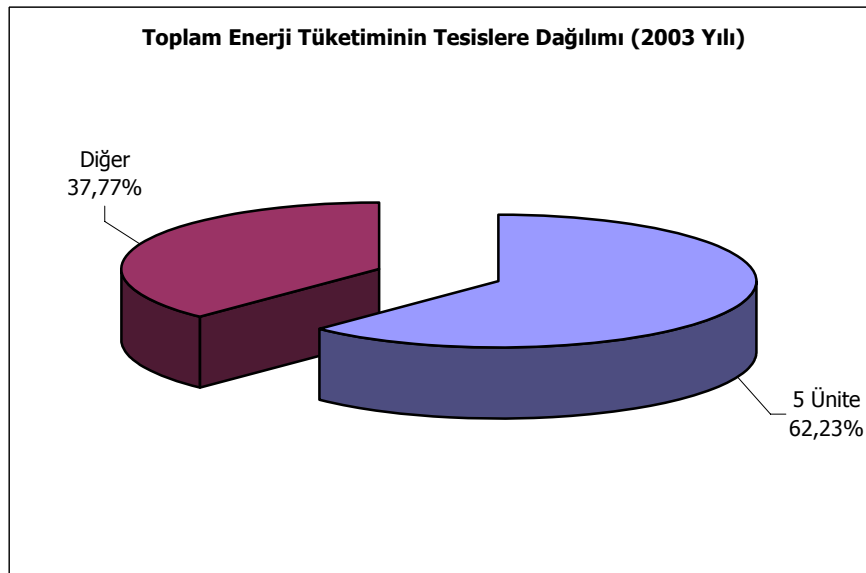
2003 / 12 AYLIK		Tükettiği Enerji (Mcal)	Toplam İçindeki Payı (%)	Kümülatif	
Kaloriler(kcal/kg, kcal/Nm ³ , kcal/kwh) THÇ: Ton Ham Çelik ; TÜ: Ton Ürün					
Ü N İ T E L E R	Üretim (Ton)				
D	Hammadde Manüplasyon	3.088.110	24.201.886	0,14%	0,14%
E	Kok ve Yan Ürünleri	936.469	1.578.032.856	9,29%	9,43%
M	Sinter Fabrikası	2.035.475	838.191.802	4,93%	14,36%
R	Yüksek Fırın I	1.168.046	3.156.381.565	18,58%	32,94%
Ü	Yüksek Fırın II	1.668.363	4.807.644.001	28,30%	61,23%
R	Yüksek Fırınlr Toplam	2.836.409	7.964.025.566	46,87%	61,23%
T	Kömür Enjeksiyonu	279.468	66.106.514	0,39%	61,62%
C	Kireç Fabrikası III	108.535	98.932.309	0,58%	62,21%
E	Kireç Fabrikası IV	181.180	177.620.964	1,05%	63,25%
L	Kireç Fb. Toplam	289.715	276.553.273	1,63%	63,25%
İ	Çelik Üretim	3.189.339	17.115.815	0,10%	63,35%
K	İkincil Metalurji	3.189.339	194.983.518	1,15%	64,50%
Ü	Sürekli Döküm I+II	1.500.575	133.917.816	0,79%	65,29%
R	Sürekli Döküm III+IV	1.587.536	130.230.719	0,77%	66,05%
T	Sürekli Döküm Toplam	3.088.110	264.148.535	1,55%	66,05%
Ham Çelik Toplam Enerji		3.088.110	11.223.359.764	66,05%	66,05%
S	Slab Sahası+Scarfig	3.875.313	42.052.871	0,25%	66,30%
I	Kombine Hadde	723.873	77.645.867	0,46%	66,76%
C	I. Slab Fırını	732.877	210.747.737	1,24%	68,00%
A	Normalize Fırını	18.287	12.666.800	0,07%	68,07%
K	I. Şerit Hadde	640.048	131.490.767	0,77%	68,85%
H	II. Slab Fırını	1.580.619	514.210.250	3,03%	71,87%
A	III. Slab Fırını	1.561.817	517.097.297	3,04%	74,92%
D	Ön hadde	3.034.131	344.782.339	2,03%	76,95%
	II. Şerit Hadde	3.034.138	213.561.730	1,26%	78,20%
	Asitleme	564.412	70.483.971	0,41%	78,62%
S	Sıcak Makas I	140.577	1.320.947	0,01%	78,63%
O	Sıcak Makas II	275.358	5.870.119	0,03%	78,66%
Ğ	Dilme	10.020	4.613.621	0,03%	78,69%
U	Tandem	309.408	97.350.893	0,57%	79,26%
K	Temizleme Toplam	251.897	44.686.064	0,26%	79,52%
	Tavlama	294.402	105.549.340	0,62%	80,14%
H	Temper I	151.739	9.752.493	0,06%	80,20%
A	Temper II	153.053	12.364.780	0,07%	80,27%
D	Temper Toplam	304.792	22.117.273	0,13%	80,27%
D	Soğuk Makaslar	84.287	1.857.132	0,01%	80,29%
E	Teneke Makası	41.539	630.621	0,00%	80,29%
H	Teneke	195.005	78.575.250	0,46%	80,75%
A	Bobin Hazırlama	388.039	4.534.101	0,03%	80,78%
N	Sürekli Asitleme+Tandem	1.155.132	331.346.847	1,95%	82,73%
E	Sürekli Tavlama	776.807	325.074.643	1,91%	84,64%
	Galvanizleme	233.916	120.173.401	0,71%	85,35%
	Buhar Kazanlar	3.820.328	1.281.423.756	7,54%	92,89%
Y	Buhar (Atık Isı Kazanı)	1.068.764			92,89%
A	Buhar Toplam	4.889.092			92,89%
R	Elektrik (Konvansiyonel)	519.500	489.616.862	2,88%	95,77%
D	Elektrik (Kojenerasyon)	553.040	-428.866.846	-2,52%	93,25%
	Basıncılı Hava	381.452.767	92.189.794	0,54%	93,79%
	Oksijen	297.321.580	-116.114.148	-0,68%	93,11%
İ	Azot+Argon+Hidrojen	221.705.459	170.337.895	1,00%	94,11%
Ş	Tuzlu su	330.635.000	2.780.801	0,02%	94,13%
L	Su tesisleri	348.620.414	72.672.620	0,43%	94,55%
T	Refrakter Atölyesi	3.088.110	10.414.555	0,06%	94,62%
	Merkez Bakım	3.088.110	116.039.447	0,68%	95,30%
	Diğer	3.088.110	566.929.736	3,34%	98,64%
	Kayıp+Ölçüm Farkı	3.088.110	231.820.467	1,36%	100,00%
TOPLAM I		THÇ	16.991.116.583	100,00%	

Seçilen Ünitelerin Toplam İçindeki % Payları	69,77%
Kazanların Kapsam Dışı Bırakılmasıyla Seçilen Ünitelerin % Payları	62,23%

Tablo 4.5'te ve Şekil 4.3'te görüleceği gibi Erdemir'in toplam enerji tüketimi içerisinde kok fabrikası, I ve II nolu yüksek fırınlar, II ve III nolu slab fırınları ile buhar kazanları %69,77'lik pay almaktadır. Ancak, buhar kazanları ölçüm noktasında yaşanan veri elde etme problemi nedeniyle çalışma dışında tutulmuş ve Şekil 4.4'te görüleceği üzere fabrikanın %62,23'ünü temsil eden ve Şekil 4.5'te fabrika sınırları içerisinde yerleşimi görülen 5 tesise *Enerji Denge Analizleri* uygulanmıştır.

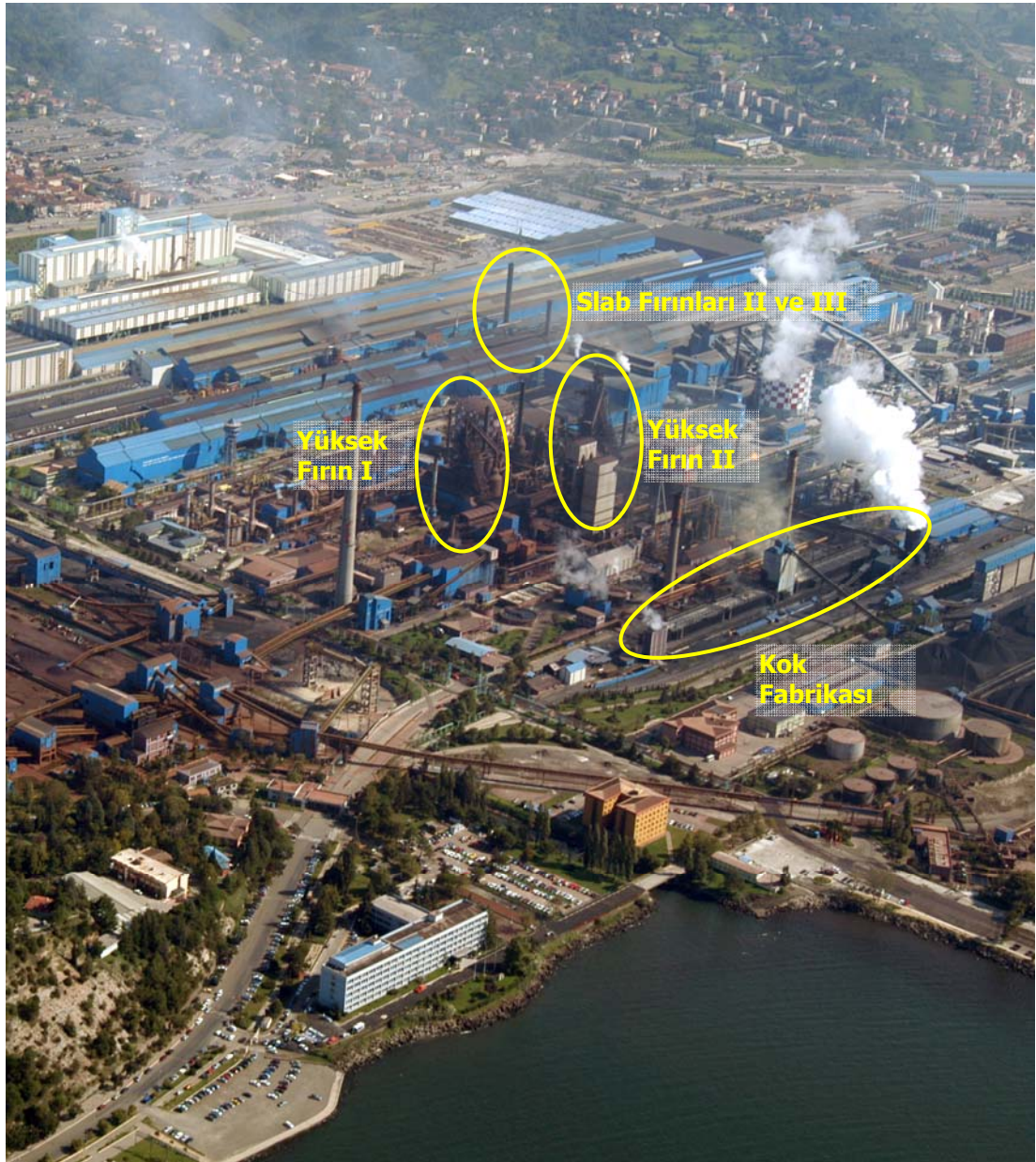


Şekil 4.3. Tesislerin enerji tüketim dağılımı



Şekil 4.4. Seçilen tesislerin toplam tüketim içerisinde aldıkları toplam pay

Enerji analizlerinde yoğun enerji tüketimine sahip tesislerde, proses sınırları içerisinde giren ve çıkan enerji miktarları belirlenmiştir. Burada, giren ve çıkan kalemler içerisinde önemli yer tutan bileşenler ortaya konulmuştur. Enerji analizlerinin yapılmasında toplanan bir aylık verilerin ortalamaları dikkate alınmıştır. Hesaplamalar, zaman bazlı proseslerde belli bir dönem için, üretim bazlı proseslerde ise belli bir üretim miktarı için yapılmıştır.



Şekil 4.5. Denge analizi için seçilen tesislerin genel yerleşimleri

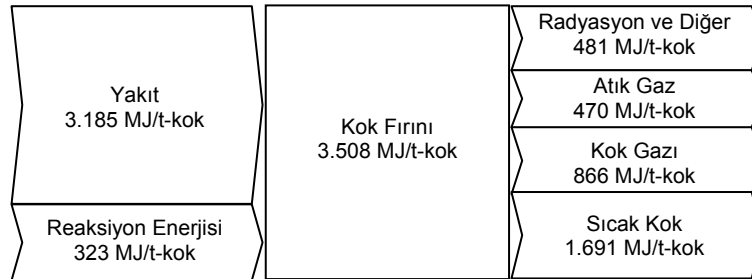


Şekil 4.7. Kamaralardan kokun boşaltılması

4.3.1.2 Kok Bataryalarının Enerji Denge Analizi

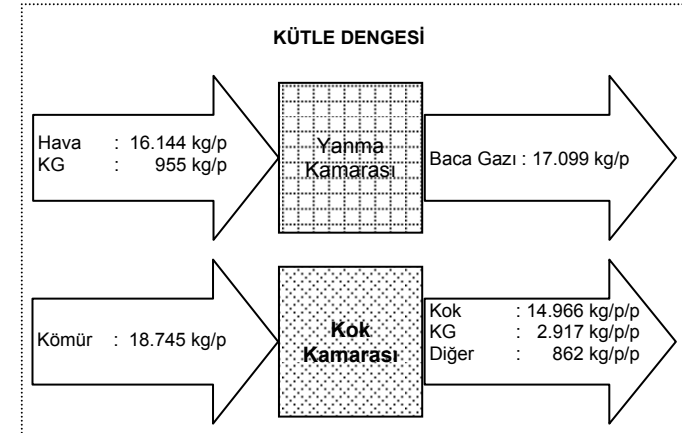
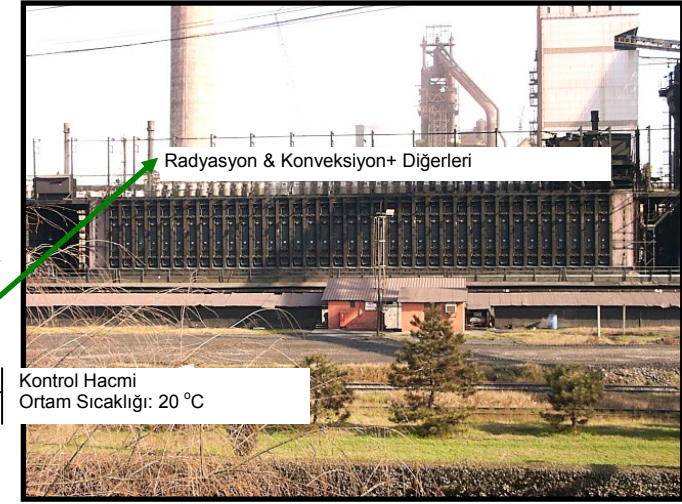
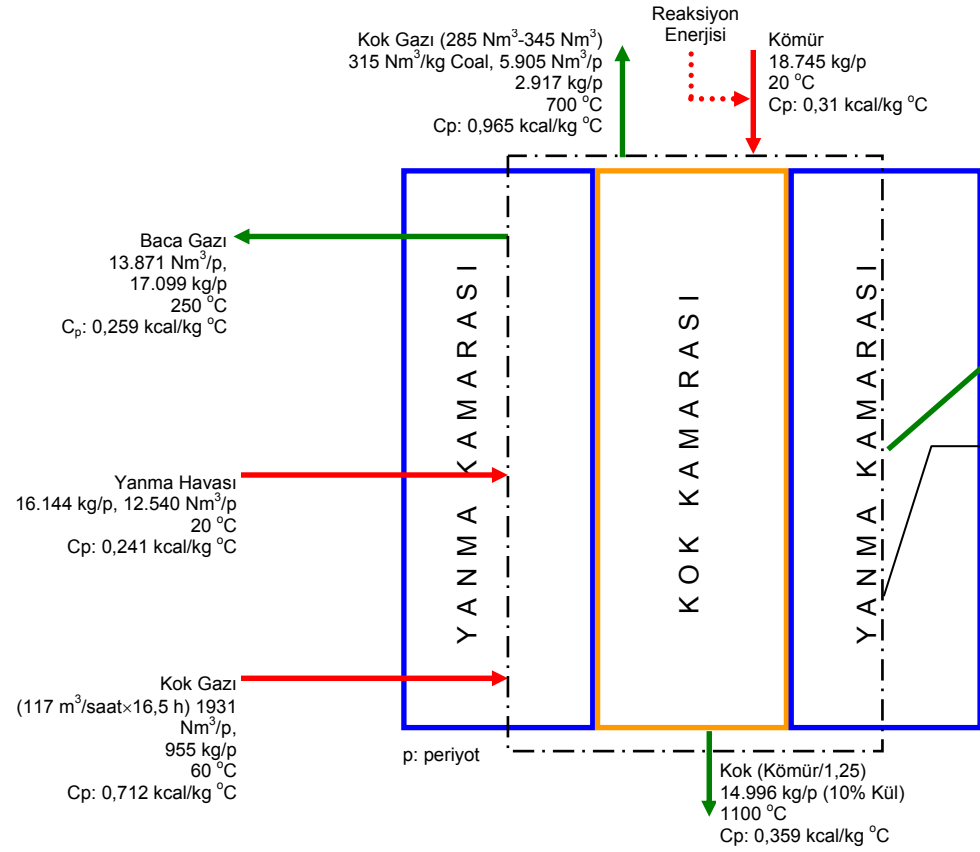
Kok fabrikalarında birimsel enerji tüketim verimliliğinin yanı sıra enerjinin tesislerde en yoğun tüketildiği yer olan kok kamaraları için de Şekil 4.9’da verilen bir enerji dengesi uygulanmıştır. Enerji dengesinde baz alınan birim, koklaşma süresinin gerçekleştiği 18 saatlik periyot (P) olarak belirlenmiştir.

Kok Fabrikası hesaplamaları için uygulanan yöntem, Uluslararası Demir Çelik Enstitüsü tarafından 1998 yılında yayınlanan “Energy Use in Steel Industry” kitabında da model olarak kullanılmıştır. Genel bir kok fabrikası için verilen enerji dengesi modeli Şekil 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.8. Kok prosesinde genel ısı dengesi (IISI, 1998)

Dengeleme ile ilgili hesaplamalar ve tablolar aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.9. Kok bataryaları enerji ve kütle dengesi (2003 yılı değerleri ile)

Enerji Girdisi

A. Kok gazının yanması

Koklaşma prosesi sırasında yine kok fabrikası tarafından bir yan ürün olarak üretilen kok gazının kimyasal bileşimi ve kalorifik değeri Tablo 4.6’da ve kok fabrikası yanma kamaralarındaki reaksiyonlar Tablo 4.14’te verilmiştir.

Tablo 4.6. Kok gazının kimyasal bileşimi

Atom Ağırlığı	Bileşim	Kok Gazı Hacimsel	Alt Kalorifik Değeri kcal/Nm ³	Üst Kalorifik Değeri kcal/Nm ³
2	H ₂	0,590		
16	CH ₄	0,222		
28	CO	0,080		
28	N ₂	0,043		
44	CO ₂	0,030		
56	C ₄ H ₈	0,020		
30	C ₂ H ₆	0,010		
32	O ₂	0,005		
Toplam		1,000	4.354	4.895

Gazın yanması sonucu : $1.931 \text{ Nm}^3/\text{p} \times 4.354 \text{ kcal/Nm}^3$,

Q₁ : 8.407.574 kcal/p.

B. Kok gazının duyulur ısısı

Kok gazı miktarı : 955 kg/p,

Kok gazı C_p : 0,693 kcal/kg °C (20 °C’de, Tablo 4.7),
0,712 kcal/kg °C (60 °C’de, Tablo 4.8),

Ortam sıcaklığı : 20 °C,

: $955 \text{ kg/p} \times (0,712 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 60 - 0,693 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C} \times 20)$,

Q₂ : 27.561 kcal/p.

Tablo 4.7. Kok gazının spesifik ısısı (20 °C’de)

GAZLARIN SPESİFİK ISILARI					KOK GAZI			
GAZLAR		C_p (Kj/kg-°K)	C_p (KCal/kg-°K)	C_p (kcal/KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K	
	H ₂	2	14,1496	3,3789	6,7579	0,5900	1,1800	3,9871
	CH ₄	16	2,2419	0,5354	8,5658	0,2220	3,5520	1,9016
	CO	28	1,0426	0,2490	6,9715	0,0800	2,2400	0,5577
	N ₂	28	1,0406	0,2485	6,9581	0,0430	1,2040	0,2992
	CO ₂	44	0,8340	0,1992	8,7635	0,0300	1,3200	0,2629
	C ₃ H ₈	44	1,6445	0,3927	17,2789	0,0200	0,8800	0,3456
	C ₂ H ₆	30	1,7344	0,4142	12,4254	0,0100	0,3000	0,1243
	O ₂	32	0,9225	0,2203	7,0496	0,0050	0,1600	0,0352
	C ₂ H ₄	28	1,5275	0,3648	10,2134	0,0000	0,0000	0,0000
	NO	30	0,9386	0,2241	6,7241			
	OH	17	1,6781	0,4007	6,8124			
	H ₂ O	18	1,8722	0,4471	8,0476			
	NO ₂	48	0,8043	0,1921	9,2187			
	C ₄ H ₁₀	58	1,6836	0,4021	23,3190			
	Sıcaklık °K	293	2,9300			1,0000	10,8360	7,5136
	Sıcaklık °C	20				Cp=	0,693	kcal/Kg-°K

Tablo 4.8. Kok gazının spesifik ısısı (60 °C’de)

GAZLARIN SPESİFİK ISILARI					KOK GAZI			
GAZLAR		C_p (Kj/kg-°K)	C_p (KCal/kg-°K)	C_p (kcal/KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/ KMol-°K	
	H ₂	2	14,3886	3,4360	6,8720	0,5900	1,1800	4,0545
	CH ₄	16	2,3269	0,5557	8,8908	0,2220	3,5520	1,9738
	CO	28	1,0386	0,2480	6,9447	0,0800	2,2400	0,5556
	N ₂	28	1,0421	0,2488	6,9677	0,0430	1,2040	0,2996
	CO ₂	44	0,8766	0,2093	9,2105	0,0300	1,3200	0,2763
	C ₃ H ₈	44	1,8400	0,4394	19,3336	0,0200	0,8800	0,3867
	C ₂ H ₆	30	1,9136	0,4570	13,7087	0,0100	0,3000	0,1371
	O ₂	32	0,9228	0,2204	7,0518	0,0050	0,1600	0,0353
	C ₂ H ₄	28	1,6548	0,3952	11,0647	0,0000	0,0000	0,0000
	NO	30	0,9310	0,2223	6,6694			
	OH	17	1,6602	0,3965	6,7399			
	H ₂ O	18	1,8763	0,4481	8,0652			
	NO ₂	48	0,8242	0,1968	9,4477			
	C ₄ H ₁₀	58	1,8672	0,4459	25,8615			
	Sıcaklık °K	333	3,3300			1,0000	10,8360	7,7188
	Sıcaklık °C	60				Cp=	0,712	kcal/Kg-°K

C. Reaksiyon enerjisi (RE)

Q₃ : 8% CO 473 Nm³ → 591 kg,
 3% CO₂ 177 Nm³ → 348 kg,

CO'dan gelen reaksiyon enerjisi : $591 \text{ kg} \times 943 \text{ kcal/kg}$, Koppers Handbuch der Brennstoff Technik (1953),
 $= 557.313 \text{ kcal/p}$,

CO₂'dan gelen reaksiyon enerjisi $348 \text{ kg} \times 2.316 \text{ kcal/kg}$, Koppers Handbuch der Brennstoff Technik (1953) , $= 743.328 \text{ kcal/p}$,

Q₃ : 1.300.641 kcal/p.

D. Yanma havasının duyulur ısısı

Q₄ : 0 (Referans ve ortam sıcaklığı eşit).

E. Kömürün duyulur ısısı

Q₅ : 0 (Referans ve ortam sıcaklığı eşit).

Toplam Enerji Girdisi

$Q_1+Q_2+Q_3+Q_4+Q_5$: $8.407.574 \text{ kcal/p} + 27.561 \text{ kcal/p} + 1.300.641 \text{ kcal/p} + 0 + 0$

Q_T : 9.735.776 kcal/p.

Enerji Çıktısı

A. Kokun duyulur ısısı

Kok C_p : $0,359 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ (at $1100 ^\circ\text{C}$ de %10 kül ile), Koppers Handbuch der Brennstoff Technik, 1953, Tablo 4.9),
 $0,172 \text{ kcal/kg } ^\circ\text{C}$ (at $20 ^\circ\text{C}$ de %10 kül ile), Koppers Handbuch der Brennstoff Technik, 1953, Tablo 4.9),

Kok sıcaklığı : 1100 °C,
 Kok miktarı : 14.996 kg/p,
 : 14.966 kg/p $\times$ (0,359 kcal/kg °C $\times$ 1100 °C - 0,172 kcal/kg °C $\times$ 20 °C),
Q₁ : 5.858.590 kcal/p.

Tablo 4.9. Kokun değişik sıcaklıklardaki spesifik ısısı (Koppers Handbuch der Brennstoff Technik, 1953 ve S. Komiyama, Kişisel İletişim, 2004)

Sıcaklık	Kokun Ortalama Spesifik Isısı (kcal/kg°C)				
°C	Kül %5	Kül %10	Kül %15	Kül %20	Kül %25
20		0,172			
100	0,193	0,193	0,193	0,192	0,192
200	0,225	0,224	0,223	0,223	0,220
300	0,252	0,250	0,248	0,247	0,245
400	0,277	0,275	0,272	0,269	0,267
500	0,297	0,294	0,290	0,287	0,284
600	0,313	0,309	0,306	0,302	0,298
700	0,327	0,323	0,318	0,314	0,310
800	0,337	0,333	0,328	0,324	0,319
900	0,347	0,342	0,337	0,332	0,327
1000	0,356	0,351	0,345	0,340	0,335
1100	0,363	0,359	0,353	0,348	0,342
1200	0,369	0,363	0,358	0,352	0,346

B. Üretilen kok gazının duyulur ısısı

Kok gazı C_p : 0,693 kcal/kg °C (20 °C’de, Tablo 4.10),
 0,965 kcal/kg °C (700 °C’de, Tablo 4.11),
 Kok gazının miktarı : 5.905 Nm³/p, 2.917 kg/p,
 Kok gazı sıcaklığı : 700 °C,
 : 2.917 kg/p $\times$ (0,965 kcal/kg °C $\times$ 700 - 0,693 kcal/kg °C $\times$ 20 °C),
Q₂ : 1.930.004 kcal/p.

Tablo 4.10. Kok gazının spesifik ısısı (20 °C’de)

GAZLARIN SPESİFİK ISILARI					KOK GAZI			
GAZLAR		C_p (Kj/kg-°K)	C_p (KCal/kg-°K)	C_p (kcal/KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K	
	H ₂	2	14,1496	3,3789	6,7579	0,5900	1,1800	3,9871
	CH ₄	16	2,2419	0,5354	8,5658	0,2220	3,5520	1,9016
	CO	28	1,0426	0,2490	6,9715	0,0800	2,2400	0,5577
	N ₂	28	1,0406	0,2485	6,9581	0,0430	1,2040	0,2992
	CO ₂	44	0,8340	0,1992	8,7635	0,0300	1,3200	0,2629
	C ₃ H ₈	44	1,6445	0,3927	17,2789	0,0200	0,8800	0,3456
	C ₂ H ₆	30	1,7344	0,4142	12,4254	0,0100	0,3000	0,1243
	O ₂	32	0,9225	0,2203	7,0496	0,0050	0,1600	0,0352
	C ₂ H ₄	28	1,5275	0,3648	10,2134	0,0000	0,0000	0,0000
	NO	30	0,9386	0,2241	6,7241			
	OH	17	1,6781	0,4007	6,8124			
	H ₂ O	18	1,8722	0,4471	8,0476			
	NO ₂	48	0,8043	0,1921	9,2187			
	C ₄ H ₁₀	58	1,6836	0,4021	23,3190			
Sıcaklık °K	293	2,9300			1,0000	10,8360	7,5136	
Sıcaklık °C	20				Cp=	0,693	kcal/Kg-°K	

Tablo 4.11. Kok gazının spesifik ısısı (700 °C’de)

GAZLARIN SPESİFİK ISILARI					KOK GAZI			
GAZLAR			C _p (Kj/kg-°K)	C _p (KCal/kg-°K)	C _p (kcal/KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K
	H ₂	2	14,9827	3,5779	7,1557	0,5900	1,1800	4,2219
	CH ₄	16	4,3996	1,0506	16,8098	0,2220	3,5520	3,7318
	CO	28	1,1776	0,2812	7,8738	0,0800	2,2400	0,6299
	N ₂	28	1,1639	0,2779	7,7821	0,0430	1,2040	0,3346
	CO ₂	44	1,2238	0,2922	12,8584	0,0300	1,3200	0,3858
	C ₃ H ₈	44	3,9189	0,9358	41,1769	0,0200	0,8800	0,8235
	C ₂ H ₆	30	4,0217	0,9604	28,8112	0,0100	0,3000	0,2881
	O ₂	32	1,0831	0,2587	8,2770	0,0050	0,1600	0,0414
	C ₂ H ₄	28	3,3005	0,7882	22,0686	0,0000	0,0000	0,0000
	OH	17	1,7047	0,4071	6,9204			
	NO	30	1,0556	0,2521	7,5623			
	H ₂ O	18	2,2773	0,5438	9,7886			
	NO ₂	48	1,1254	0,2688	12,9001			
	C ₄ H ₁₀	58	3,8507	0,9195	53,3339			
	Sıcaklık. °K	973	9,7300			1,0000	10,8360	10,4570
	Sıcaklık °C	700				Cp=	0,965	kcal/Kg-°K

C. Baca gazının duyulur ısısı

Baca gazı sıcaklığı : 250 °C,

Baca gazı miktarı : 17.099 kg/p,

Baca gazı C_p : 0,242 kcal/kg °C (20 °C’de, Tablo 4.12),

D. Radyasyon ve konveksiyon

Yüzey	Alan (m ²)	Ortalama Yüzey Sıcaklığı	Ortam Sıcaklığı
Üst	14,255	126 °C	20 °C
Alt	14,255	53 °C	20 °C
Kok tarafı	5,285	94 °C	20 °C
İtme tarafı	5,285	95 °C	20 °C

$$Q_r = E \times 20,248 \times ((T_s/100)^4 - (T_o/100)^4) \times 0,2388 \text{ kcal/m}^2\text{-h; } E=0,90,$$

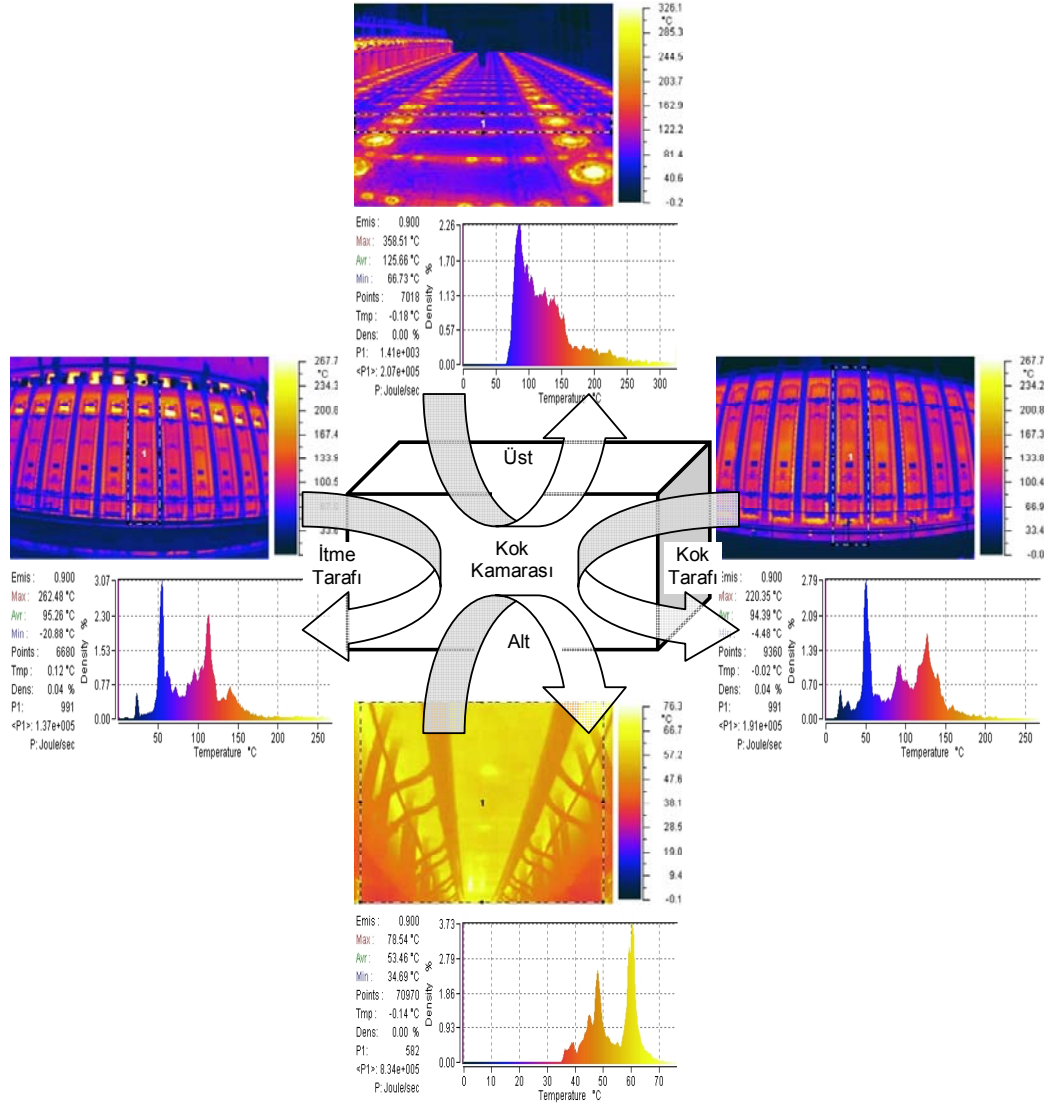
$$Q_c = B \times (T_s - T_o)^{1,25} \times 0,2388 \text{ kcal/m}^2\text{-h.}$$

B

Yatay duvarlar ve üst için ısı kayıpları	11,721,
Düşey duvarlar ve alt için ısı kayıpları	9,209,
Yatay duvarlar ve alt için ısı kayıpları	6,279.

Yüzey	Alan (m ²)	Q _r	Q _c	(Q _r +Q _c) × A
Üst	14,255	10,96	951,99	13.726,85
Alt	14,255	0,34	118,60	1.695,49
Kok tarafı	5,285	3,39	477,29	2.540,39
İtme tarafı	5,285	3,54	485,37	2.583,88
Toplam		Q₄= 20.547 kcal/saat × 18 saat = 368.226 kcal/p		

Şekil 4.11’de boyutları verilen kok ve yanma kamaralarında radyasyon ve konveksiyonla oluşan ısı kayıplarını tespit edebilmek için Şekil 4.10’da verilen alt, üst, kok ve itme tarafında termal kamera ile çekimler yapılarak, ısı eğrileri çıkarılmıştır.



Şekil 4.10. Yüzeylerden radyasyon ve konveksiyonla ısı kayıpları (Ertem M.E ve Özdebak A., 2005)

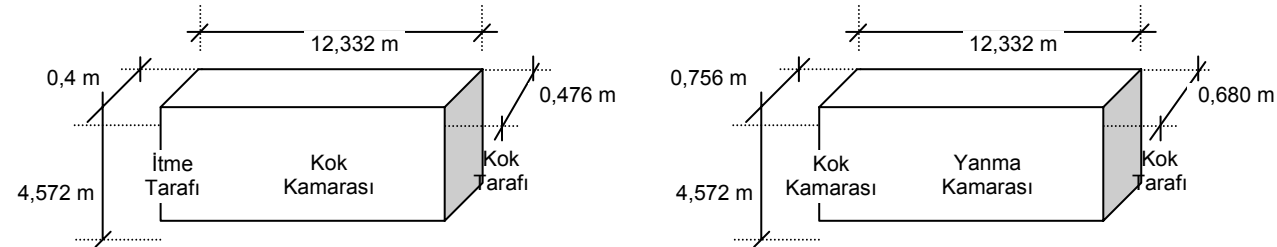
Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler giren ve çıkan enerjiler üst başlıklarında sınıflandırılarak Tablo 4.15'te özetlenmiştir.

Tablo 4.14. Kok gazının yanması sonucu oluşan reaksiyonlar (Ertem M.E., Özdebak A., 2005)

				HAVA FAZLALIK KATSAYISI % X 100	0,465	0,460										KG BACA GAZI / KG YAKIT
YAKIT				REAKSİYON	HAVA (KMOL)		ÜRÜNLER (KMOL)					KÜTLE DENGESİ				
					O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SO ₂	TOPLAM	YAKIT	HAVA	ÜRÜNLER	
	BİLEŞİM	% KÜT.	KG/KMOL		32	28	44	18	32	28	64		KG			
KOK GAZI	H ₂	0,5900	2	H ₂ + 1/2O ₂ + 1/2(3,76)N ₂ = H ₂ O + 1,88 N ₂	0,430700	1,620252		0,5900	0,1357	1,6203	0,0000	2,3460	0,494	8,360	8,855	
	CH ₄	0,2220	16	CH ₄ + 2O ₂ + 2(79/21)N ₂ = CO ₂ + 2H ₂ O + 2(79/21) N ₂	0,648240	2,438617	0,2200	0,4440	0,2042	2,4386	0,0000	3,3089			8,855	
	CO	0,0800	28	CO + 1/2 O ₂ + 1/2(3,76)N ₂ = CO ₂ + 1,88 N ₂	0,058400	0,219695	0,0800		0,0184	0,2197	0,0000	0,3181				
	N ₂	0,0430	28	N ₂ = N ₂						0,0430		0,0430				
	CO ₂	0,0300	44	CO ₂ = CO ₂			0,3000					0,3000				
	C ₄ H ₈	0,0200	56	C ₄ H ₈ + 6O ₂ + 6(79/21)N ₂ = 4CO ₂ + 4H ₂ O + 6(79/21) N ₂	0,175200	0,659086	0,0800	0,0800	0,0552	0,6591		0,8743				
	C ₂ H ₆	0,0100	30	C ₂ H ₆ + 7/2O ₂ + 3/2(3,76)N ₂ = 2CO ₂ + 3H ₂ O + 5,64 N ₂	0,051100	0,192233	0,0200	0,0300	0,0161	0,1922	0,0000	0,2583				
	O ₂	0,0050	32	O ₂ = O ₂					0,0050		0,0000	0,0050				
	TOPLAM	1,0000			1,363640	5,129884	0,4320	1,1440	0,4346	5,1729	0,0000	7,1835				
					6,4940		0,06014	0,15925	0,06051	0,72010	0,000	1,0000				

Tablo 4.15. Kok fabrikasının enerji dengesi

Giren Enerji (9.735.776 kcal/p)		
	kcal/p	%
Gazın yanması	8.407.574	86,4
Reaksiyon enerjisi	1.300.641	13,3
Kok gazının duyulur ısısı	27.561	0,3
Çıkan Enerji (9.735.776 kcal/p)		
Kokun duyulur ısısı	5.858.590	60,2
Kok gazının duyulur ısısı	1.930.004	19,8
Baca gazının duyulur ısısı	1.024.401	10,5
Diğer	554.555	5,7
Radyasyon ve konveksiyon kayıpları	368.226	3,8



Şekil 4.11. Kok bataryalarının ölçüleri (Ertem M.E., Özdebak A., 2005)

Tablo 4.15'te görüldüğü gibi, çelik üretim prosesi için çok önemli bir yere sahip olan kok fabrikalarında, enerjinin yoğun olarak tüketildiği kok bataryalarına yapılan detaylı analiz sonucu, tasarruf edilebilecek önemli miktarda potansiyel enerjinin bulunduğu anlaşılmaktadır. Giren enerjinin %60,2'sine tekabül eden üretilen sıcak kokun sahip olduğu duyulur ısı, kok gazı ve baca gazının duyulur ısı bu potansiyeldeki ana kalemleri oluşturmaktadır. Detay analize ve fabrika analizlerine bakıldığında ortaya çıkan durum için uygulanabilir enerji tasarrufu projeleri aşağıda incelenmiştir.

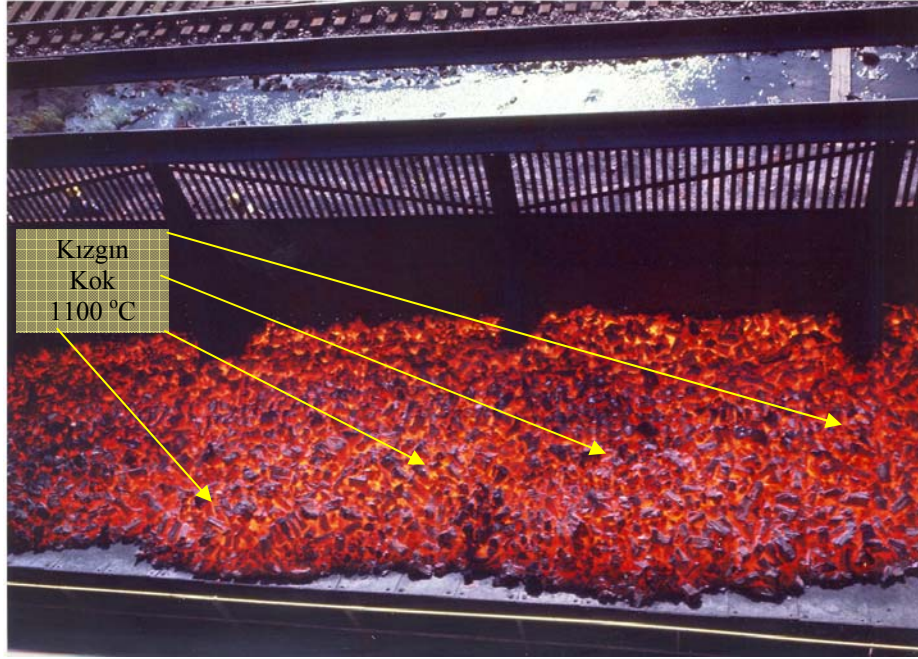
4.3.1.3 Önerilen Önemli Enerji Yatırım Projeleri

Yukarıda detayları verilen çalışma sonucu, kok fabrikasının enerji dengliği incelendiğinde, çıkan enerjilerden en yüksek paya sahip (% 60,2) olmakla birlikte değerlendirilmeyen enerjinin 1100 °C'de ortaya çıkan kızgın üretim kokunun duyulur ısısı olduğu görülmektedir. Yapılan yaş söndürme ile değerlendirilmeyen kokun duyulur ısısından ve %19,8 oranında enerji çıkışı olan kok gazının duyulur ısının geri kazanılması için, Tablo 4.15'te öngörülen enerji kazanım potansiyellerine göre aşağıdaki projeler önerilmiştir. Önerilen projeler, benzer demir çelik tesislerinde uygulanmış projelerdir. Her iki projenin de detaylı fizibilite etütlerinin yapılıp uygulanmasıyla, kok fabrikasından kayıp olarak çıkan, toplam enerjinin %80 mertebesindeki kısmı değerlendirilebilecektir. Önerilen projelerin direkt enerji tasarrufu katkılarının yanı sıra, Kyoto Protokolünün AB üyelik sürecinde Türkiye tarafından uygulanması ile beraber dahil olunabilecek emisyon ticaretinde azalttığı karbondioksit emisyonları ile rekabet gücüne katkı sağlayabileceği ön görülmektedir. Bu amaçla tahmini karbondioksit emisyon indirimleri de hesaplanmıştır.

4.3.1.3.1 Kok Kuru Söndürme Tesisi

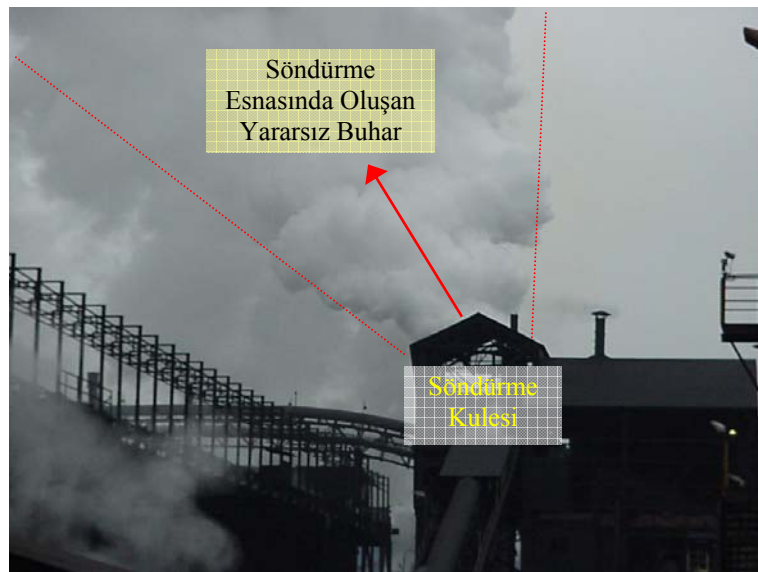
Konvansiyonel sistemlerde, kızgın kokun üzerine suyun püskürtülmesiyle soğutma yapılmakta ve Şekil 4.12'de görülen kızgın kokun duyulur ısısı bu proses sonucunda kaybolmaktadır. Kok kuru söndürme sisteminin temel amacı kızgın kokun söz konusu kaybolan ısı enerjisini buhar üretimiyle kazanmaktır. SSCB'de

geliştirilen bu sistem -Japonya başta olmak üzere Dünya’da bir çok entegre demir-çelik tesisinde- uygulanarak büyük oranda enerji tasarrufu sağlanmaktadır.



Şekil 4.12. Kok fabrikasında çıkan kızgın kok (1100 °C’de)

Sistemde üretilen buhar enerjisinin yanı sıra; kokun bu prosesle soğutulması sonucunda bünyesindeki rutubet yaş söndürmeye göre daha düşük ve fiziksel özellikleri daha iyi olmaktadır. Bu iyileşme sayesinde yüksek fırınlarda kok tasarrufu yapılmakta ve fırınların verimlilikleri artmaktadır. Diğer yandan, Şekil 4.13’te verilen yaş söndürmeyle çevreye verilen buharın etkisi ortadan kalkmaktadır.

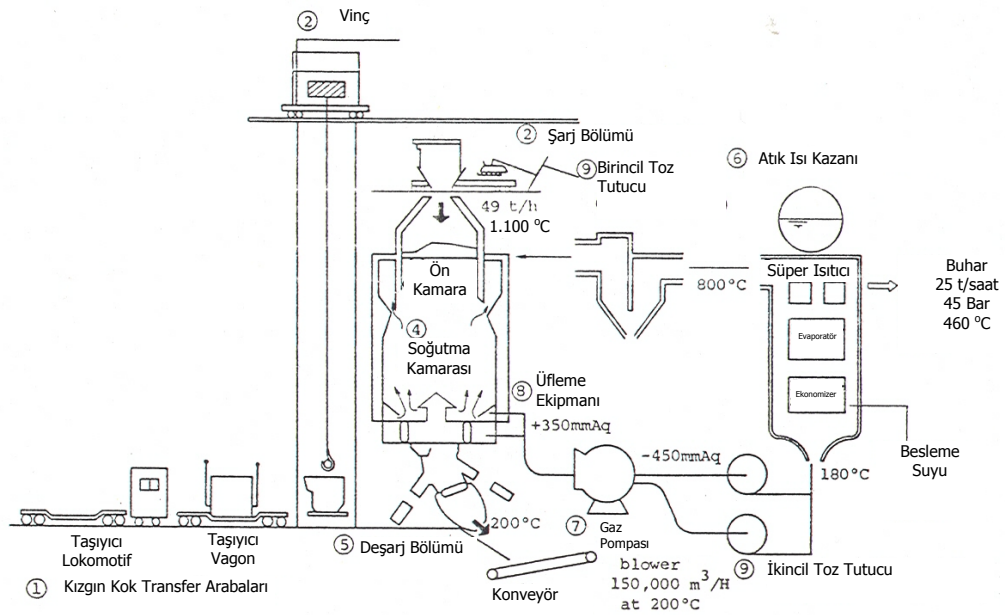


Şekil 4.13. Yaş kok söndürme tesisi

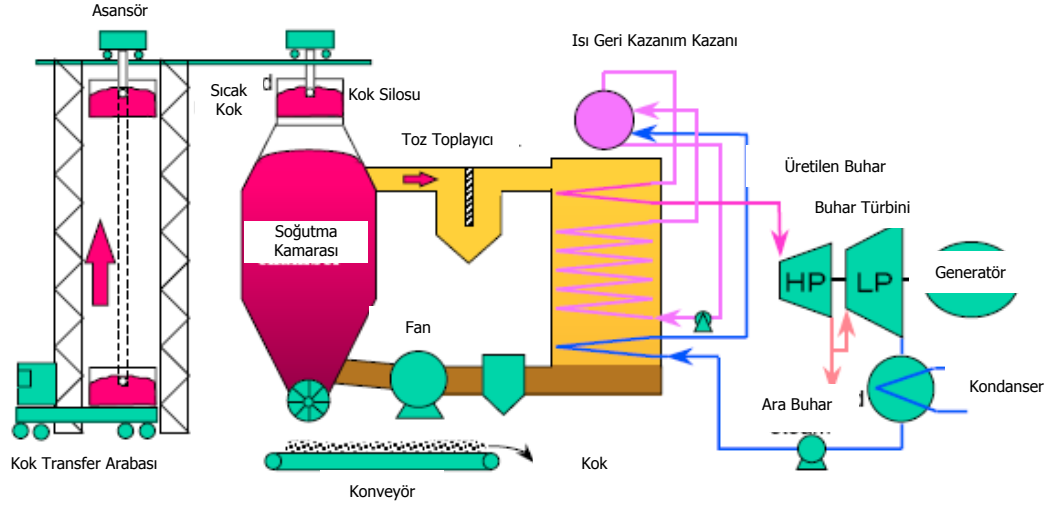


Şekil 4.14. Söndürme kulesi ve söndürülmüş kok

Kok kuru söndürme tesisinde söndürülecek kokun miktarına göre buhar üretimi değişmektedir. Erdemir'in kok üretiminin 1100 °C sıcaklıkta ve 1.000.000 ton/yıl olduğu ve bunun hepsinin Şekil 4.15A - 4.15B ve 4.16'da örneği verilen kok kuru söndürme tesisinde söndürüldüğü varsayıldığında:

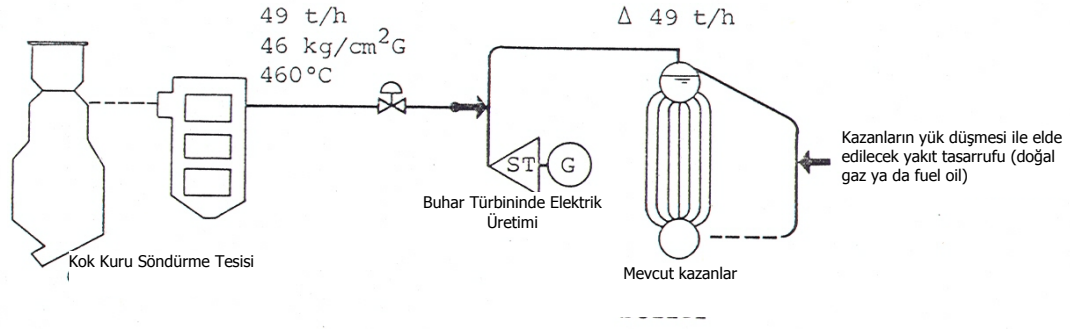


Şekil 4.15A. Klasik bir kok kuru söndürme sistemi (NSC 1984, s.200)



Şekil 4.15B. Klasik bir kok kuru söndürme sistemi (N. Soma, NSC 2004)

Periyot başına kaybedilen enerji	: 5.858.590 kcal/p (18 Saat) - (Tablo 4.15),
Saatlik kaybedilen enerji	: 325.477 kcal/saat,
Periyot başına üretilen kok	: 14.966 kg/p – ~15 ton/p,
Üretilen kok	: 832 kg/saat – 0,832 ton/saat,
Saatlik kaybedilen enerji	: 325.477 kcal/saat / 0,832 ton/saat = 391.198 kcal/ton kok,
45 bar 460 °C buharın entalpisi	: 793 kcal/kg,
45 bar 460 °C gerekli enerji	: 753 (793 kcal/kg – 40 kcal/kg (Besi Suyu)),
Saatlik proses buharı üretimi	: 391.198 kcal/ton kok / 753 kcal/kg,
	520 Kg/ton kok ~0,52 ton buhar / ton kok,
Yıllık kok üretimi	: 1.000.000 ton,
Yıllık buhar üretimi	: 1.000.000 ton kok × 0,52 ton buhar / ton kok,
	520.000 ton buhar kazanımı yapılabileceği öngörülmektedir.



Şekil 4.16. Kok kuru söndürme tesisinde buhar üretilmesi (Örnek Model) (NSC, 1984, s.202)

Diğer yandan şirket için 1984 yılında “Nippon Steel Company” firması tarafından yapılan “Erdemir’de Enerji Tasarruf Çalışması”ndaki veriler baz alındığında;

Buhar üretimi	: 55 ton/saat (45 bar–460 °C buhar),
Yıllık çalışma süresi	: 8.400 saat (350 gün × 24 h/gün),
Yıllık buhar üretimi	: 462.000 ton [55ton/saat × 8.400 saat],

yapılacağı ön görülmüştür. Elde edilen sonuçlar bu bağlamda daha önce yapılmış bir çalışmanın sonuçları ile tutarlılık göstermektedir.

Buhar üretimi yapılacağı ön görülmüş ve bu tasarruftan ise;

Yıllık elektrik enerjisi üretimi	: 115.500.000 kwh [462.000 ton/ 4 ton/MWh],
----------------------------------	---

elektrik enerjisi kazanımı elde edilebileceği hesaplanmıştır. 2003 yılı verilerine dayanılarak yapılan yukarıdaki hesap bu değer in üstünde çıkmış bu da elde edilecek kazancı açıkça ortaya koymuştur. İki değer arasında en kötü değer alındığında bile ise projenin yıllık parasal kazancı;

Elektrik enerjisi fiyatı	: 7 Cent/kwh,
Üretilecek elektrik enerjisi	: 115.500.000 kwh/yıl,
Elde edilecek gelir	: 8.085.000 USD/yıl olacaktır.

Yapılacak Tahmini CO₂ Azaltımı : **57.750 ton/yıl CO₂** (1 kwh Elektrik 0,5 Kg CO₂),

TEP olarak elde edilecek tasarruf : 391.198 kcal/ton kok * 1.000.000 ton kok,

391.198.000.000 kcal / 10.000 kcal/kg,

39.120 TEP/yıl olacaktır.

Diğer yandan kok kuru söndürme tesisinde söndürülecek kızgın kokun rutubetinin azalmasından sağlanabilecek kazanç göz önüne alınarak, yapılabilecek tasarruf ya da elde edilecek kazanç hesaplanabilir.

Erdemir'in ürettiği kuru bazda 1.000.000 ton/yıl kok yaş söndürme işlemiyle söndürüldüğünde kok kömürü içerisindeki rutubet ağırlıksal olarak % 5 olmakta; kok kuru söndürme ile bu oran %1'e düşmektedir. 1.000.000 ton kokun içerisindeki rutubetin %5'ten %1'e düşürülmesi sonucu yüksek fırınlarda yapılacak enerji tasarrufu şöyledir:

%5 rutubete göre 1.000.000 ton kuru bazdaki kok içerisindeki

Su miktarı : (1.000.000 ton / 0,95) - 1.000.000 ton,
52.630 ton,

%1 rutubete göre 1.000.000 ton kuru bazdaki kok içerisindeki

Su miktarı : (1.000.000 ton / 0,99) - 1.000.000 ton,
10.100 ton,

İki durum arasındaki fark : 42.530 ton [52.630 ton - 10.100 ton]'dur.

Birinci durumda yüksek fırınlara 1.000.000 ton kuru bazda şarj edilen kok ile beraber yaklaşık 52.600 ton su şarj edilirken, ikinci durumda bu miktar 10.100 tona düşmektedir. Yüksek fırınlara kok ile verilen söz konusu su yaklaşık 1,3 kg/cm² (g) basınç ve 170 °C buhar olarak fırınları terk etmektedir. Dolayısıyla rutubetin buharlaşmasıyla harcanan enerji;

Buharın entalpisi : 675 kcal/kg (1,3 kg/cm² basınçta ve 175 °C),

Suyun entalpisi	: 20 kcal/kg (atmosfer şartlarında),
Birim enerji kaybı	: 655 kcal/kg [675 kcal/kg - 20 kcal/kg],
Toplam enerji kaybı	: 42.530.000 kg × 655 kcal/kg, 27.850.150.000 kcal/yıl'dır.

Bu enerjiden elektrik üretimi yapıldığı ön görüldüğünde;

Buharın entalpisi	: 799 kcal/kg (45 bar – 460 °C'de),
Üretilebilecek buhar miktarı	: 27.850.150.000 kcal / 799 kcal/kg, : 34.856 ton,
Üretilebilecek elektrik	: 34.856 ton / 4 ton Buhar/Mwh, 8.714.000 kwh/yıl olarak hesaplanmaktadır.

TEP olarak elde edilecek tasarruf : 27.850.150.000 kcal,
27.850.150.000 kcal / 10.000 kcal/kg,
2.785 TEP/yıl'dır.

Projenin bu iyileşmeyle kazancı ise;

Elektrik enerjisi fiyatı	: 7 Cent/kwh,
Üretilecek elektrik enerjisi	: 8.714.000 kwh/yıl,
Elde edilecek gelir	: 609.980 USD/yıl,

Toplam kazanç ise : 8.085.000 + 609.980,
8.694.980 USD/yıl olacaktır.

Toplam TEP karşılığı enerji : **41.905 TEP/yıl,**

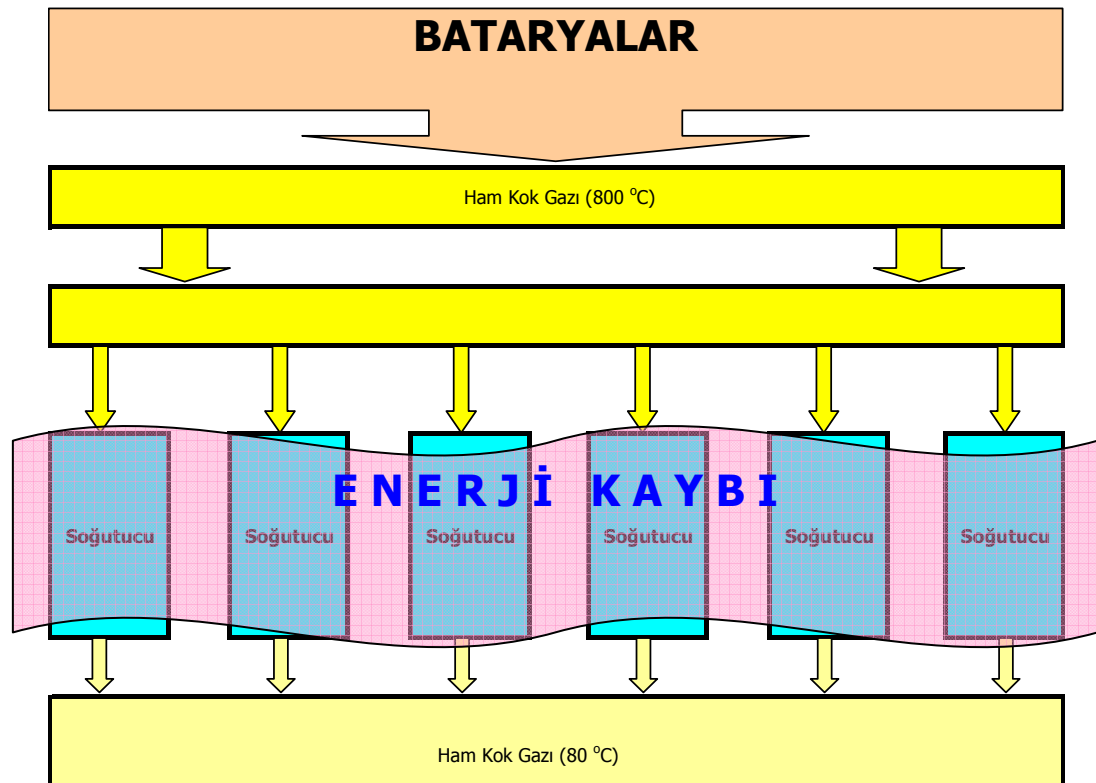
Toplam tahmini CO₂ azaltımı : **62.107 ton/yıl CO₂'dir.**

Diğer yandan uygulamalarda kok stabilitesinde artış olması öngörülmektedir. Bu artışın da kokun entegre tesislerdeki tek tüketicisi olan yüksek fırınlarda kok

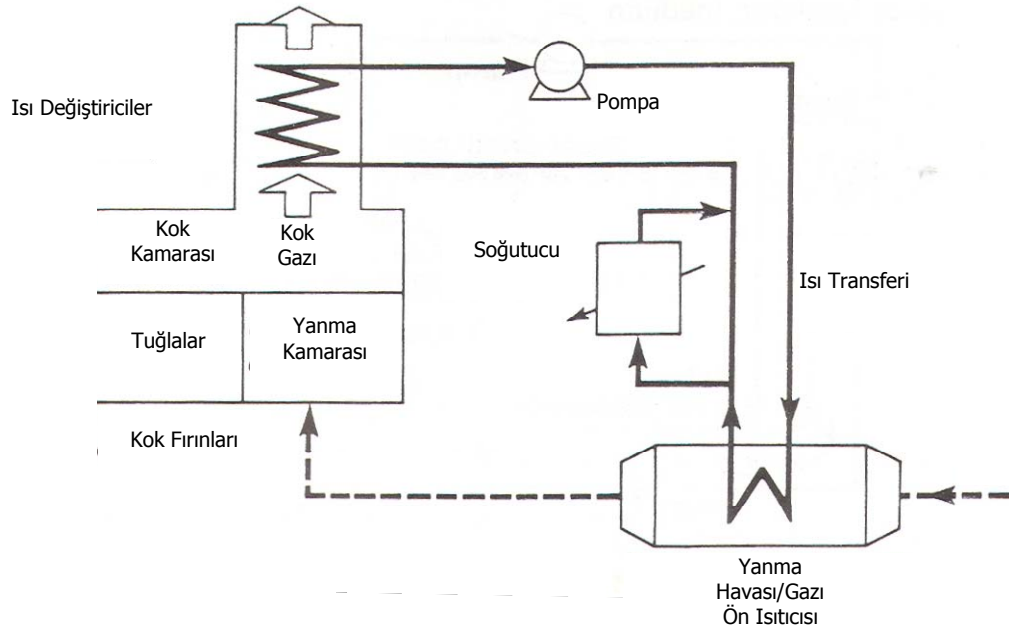
kullanım miktarını düşürdüğü ön görülmektedir. Ayrıca, sıvı maden içerisindeki silis miktarının belli değerlerin altına indirilebilmesi kok stabilitesine bağlı olup, bu da çelikhanede kullanılan hurda miktarını etkilemektedir. Kuru söndürülmüş kokun stabilitesinin yüksek olması nedeniyle, hurda fiyatlarına bağlı olarak çelikhanede kullanılan hurda miktarı ayarlanarak parasal kazanç sağlanabilecektir. Ancak parasal kazanç sayısal olarak belirlenemediğinden, kazançlar burada dikkate alınmamıştır.

4.3.1.3.2 Üretilen Kok Gazının Duyulur Isısından Yararlanılması

Erdemir kok bataryalarında üretilen kok gazı 800 °C sıcakta fırını terk etmektedir (Şekil 4.17). Bu sıcaklıkla bir üretim periyodu içerisinde (18 saat) 1.930.004 kcal'lık enerji (toplam dışarıya verilen enerjinin %19,8'i) kazanılabilir olarak ham kok gazıyla beraber ortama verilmektedir. Yan ürünler tesislerine giden ham kok gazı burada tabi tutulduğu kimyasal işlemler ile kok gazı, katran, hafif yağ ve benzol gibi ürünlere ayrılarak değerlendirilmektedir. Buradaki potansiyel enerjinin Şekil 4.18'de verilen örnek tesisle geri kazanıldığı durumda elde edilebilecek getiri aşağıda hesaplanmıştır.



Şekil 4.17. Mevcut durumda bataryalardan çıkan kok gazının soğutulması



Şekil 4.18. Örnek bir ısı değiştiricisi (IISI, 1983)

Saatlik kok üretimi : 832 kg/saat (14.966 kg/periyo (18 Saat)),
 Isı değıştirici verimi : %40 kabul edilirse,

Gazın ısıtılmasıyla fırına verilebilecek enerji,

Geri kazanılabilir enerji : $1.930.004 \text{ kcal/periyo} \times 0,4 \text{ (verim) - (Tablo 4.15),}$
 : 722.000 kcal/periyo,
 Saatlik enerji : $722.000 \text{ kcal/saat} / 18 \text{ saat/periyo},$
 40.111 kcal/saat ,
 Birim kok başına : 48,2 kcal/kg enerji kazanım potansiyeli,
 Yıllık kok üretimi : 1.000.000 ton,
 Yıllık kazanılabilecek enerji : $48,2 \text{ kcal/kg} \times 1.000.000.000 \text{ kg},$
 48.200.000.000 kcal/yıl'dır.

Bu enerji kok fabrikasında kullanılan kok gazını ikame etmek üzere kullanılırsa,

: $48,2 \times 10^9 \text{ kcal/yıl} / 4.350 \text{ kcal/Nm}^3 \text{ (KG Kalorisi),}$
 11.000.000 Nm^3 kok gazı tasarrufu yapılabilir.

Bunun doğal gaz olarak parasal karşılığı ise ($8.250 \text{ kcal/Sm}^3 - 0,215 \text{ USD/Sm}^3$),

$$: 48,2 \times 10^9 \text{ kcal/yıl} / 8.250 \text{ kcal/Sm}^3 \times 0,215 \text{ USD/Sm}^3,$$

1.250.000 USD/yıl,

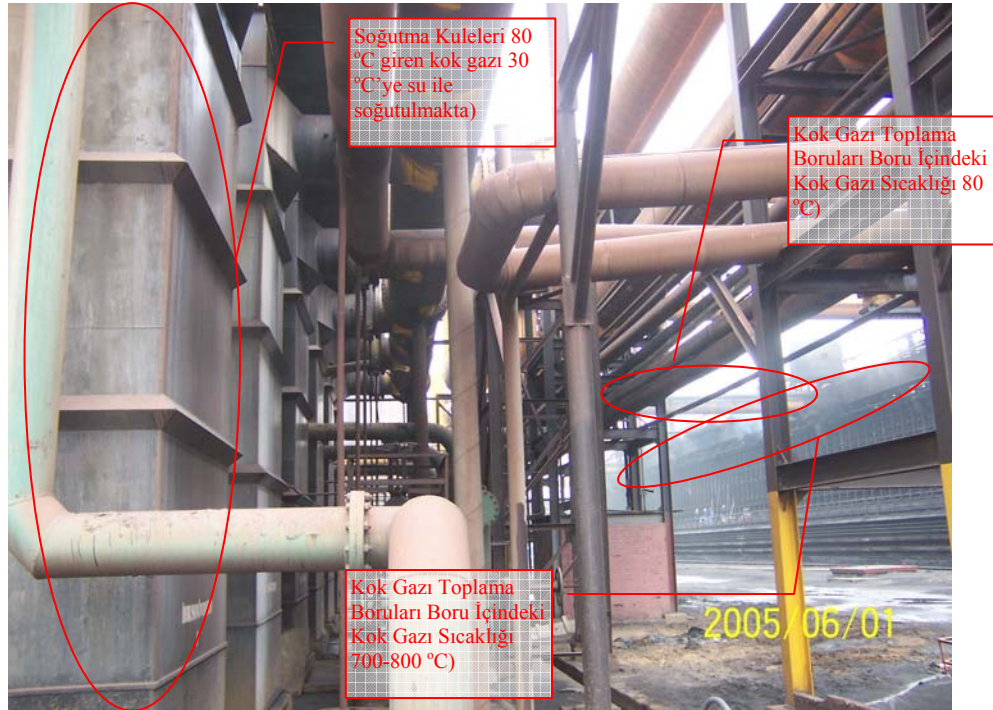
TEP olarak elde edilecek tasarruf : $48.200.000.000 \text{ kcal/yıl}$,

$$: 48.200.000.000 \text{ kcal} / 10.000 \text{ kcal/kg},$$

4.820 TEP/yıl,

Tahmini CO₂ azaltımı

: **6.941 ton/yıl CO₂** olacaktır. 1 Nm³ KG yakıldığında 0,631 Kg CO₂ çıkmaktadır. (Erdemir, 2005)



Şekil 4.19. Ham kok gazı soğutma sistemleri

4.3.2 Yüksek Fırınlr

4.3.2.1 Yüksek Fırın Prosesinin Genel Tanıtımı

Yüksek fırınlar genel enerji tüketimi içerisinde % 47'lik pay ile Erdemir'in en yoğun enerji tüketen tesisleridir. Aynı zamanda yüksek fırınlar entegre demir çelik tesislerinde üretim ve maliyetlerin oluştuğu proseslerin de kalbinde yer almaktadır. Birimsel enerji tüketim verimliliğinin yoğun olarak bulunduğu yüksek fırına uygulanan enerji denge analizinin yanı sıra tüm yüksek fırınlar genelini kapsayan tesise de enerji verimliliği analizi uygulanmıştır. Enerji dengesinde baz alınan birim, üretilen bir ton sıcak madendir. Dengeleme ile ilgili hesaplamalar ve tablolar aşağıda verilmiştir.

Entegre demir çelik tesislerinde yüksek fırınlar, demir cevherinin sıcak madene (pik demir) dönüştürüldüğü tesis olarak yer almaktadır. Yüksek fırınlarda pik demir üretiminin yanı sıra; cüruf, yüksek fırın gazı, baca tozu, yıkayıcı çamuru gibi yan ürünler de üretilmektedir.

Yüksek fırınlarda üretilen pikin örnek bir analizi aşağıdaki gibidir.

Fe	: % 94,0 – 96,0,
Si	: % 0,60 – 1,20,
Mn	: % 0,50 – 0,70,
C	: % 4,20 – 4,50,
P	: % 0,07 – 0,10.

Yüksek fırına şarj edilen malzemelerin içerisindeki demir (Fe) dışındaki diğer elementler (pik içerisinde çözünemeyenler) ve oksitler cürufu oluşturmaktadır. Cüruf elde edilış şekline göre, granüle cüruf ve parça cüruf olmak üzere iki gruba ayrılır. Granüle cüruf çimento hammaddesi olarak, parça cüruf dolgu malzemesi olarak kullanılır. Kullanılan hammadde kalitesine ve çalışma şartlarına bağılı olarak 1 ton

sıvı pik ile birlikte 200 – 300 kg arasında cüruf üretilir. Üretilen cürufun örnek analizi aşağıda verilmiştir,

FeO	: % 0,20 – 0,70,
SiO ₂	: % 36,0 – 38,0,
MnO	: % 0,70 – 1,50,
Al ₂ O ₃	: % 13,0 – 15,0,
CaO	: % 37,0 – 40,0,
MgO	: % 4,00 – 8,00,
S	: % 0,80 – 1,20,
Na ₂ O	: % 0,20 – 0,40,
K ₂ O	: % 0,50 – 1,00,
TiO ₂	: % 0,70 – 1,50.

Yüksek fırın içerisinde hammaddelerin ergimesi ve demirin oksitlerinden ayrışarak indirgenme işlemleri CO gazı ile elde edilir. İndirgenme ve parçalanma reaksiyonları sonrası açığa çıkan çeşitli gazlar fırın içerisinde belirli mertebelerde reaksiyona girerler. Bu reaksiyonlar sonrasında kullanılamayan gazlar yüksek fırını terk eder. Yüksek fırından ayrılırken beraberinde küçük boyutlu (toz) malzemeleri de fırından uzaklaştırır. Gaz içerisindeki bu malzemeler ayrıştırılıp temizlendikten sonra geriye kalan ürün, yüksek fırın gazı olarak adlandırılır ve fabrikanın çeşitli yerlerinde yakıt olarak kullanılır. Gaz içerisindeki toz ise, gazdan ayrışarak toz silosunda birikir ve baca tozu olarak adlandırılmaktadır. Baca tozu sinter fabrikasında, sinter hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın gazının özellikleri aşağıda verilmiştir.

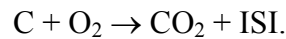
Sıcaklık	: 30 - 35 °C,
Basınç	: 75 gr/cm ² ,
CO	: % 20 – 22,
CO ₂	: % 20 – 22,
H ₂	: % 2,0 – 4,0.

Biriken baca tozunun analizi aşağıdaki gibidir:

Fe	: % 45 – 50,
C	: % 20 – 35,
SiO ₂	: % 5,0 – 8,0,
Al ₂ O ₃	: % 2,0 – 3,0,
CaO	: % 5,0 – 7,0,
MgO	: % 1,00 – 1,20,
S	: % 0,60 – 0,80,
Na ₂ O	: % 0,10 – 0,20,
K ₂ O	: % 0,50 – 0,80,
Zn	: % 0,05 – 0,07.

Cevher, pelet, sinter gibi demir kaynağı malzemeler ile çakmak taşı, dolomit, kireç taşı, olivin gibi cüruf yapıcı malzemeler ve ısı kaynağı olan kok, fırının üst bölgesinden şarj edilirken; kömür, katran, fuel oil, doğal gaz gibi ısı kaynakları ise fırının alt bölgesinden verilir. Fırın üst bölgesinden şarj edilen malzemelerden sadece kok fırın alt bölgesine kadar katı ve akkor halinde iner. Diğer malzemeler belirli aşamalar geçirerek fırın alt bölgesine sıvı olarak iner.

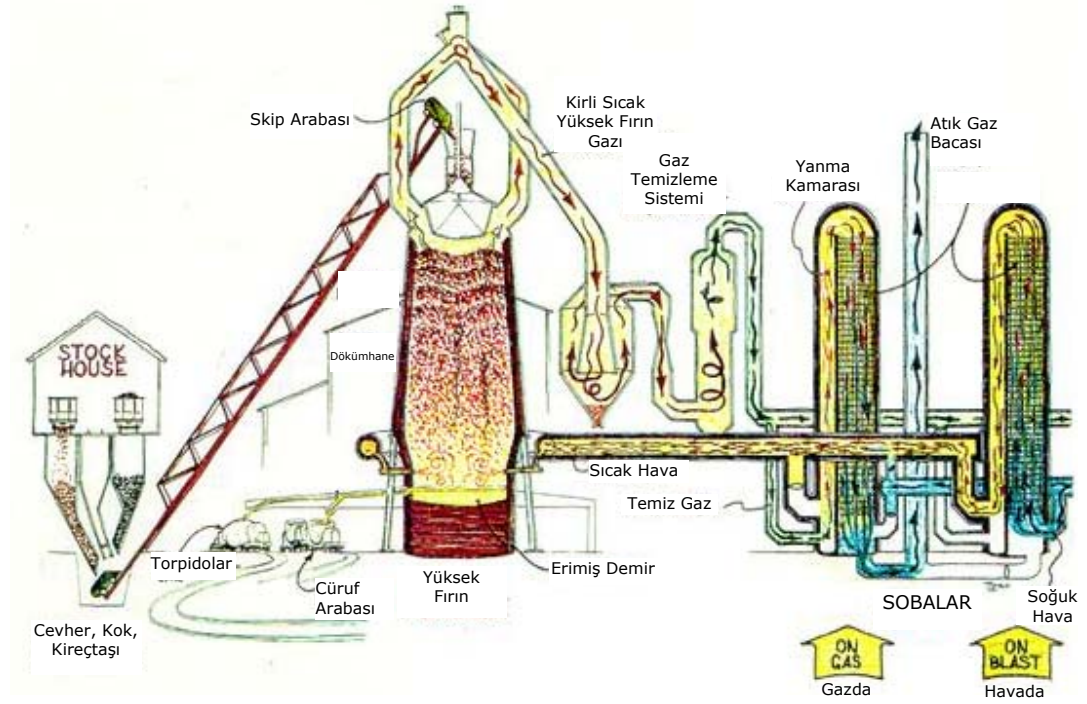
Yüksek fırın yanma havası üfleyicisi (Blower) tarafından üretilen ve yüksek fırın sobalarında ısıtılarak sıcaklığı 1000 - 1250 °C' a kadar yükseltilecek hava, fırına tüyer (hava üfleme borusu) bölgesinden girer ve aşağıdaki reaksiyon meydana gelir:



Bu reaksiyondaki C (Karbon), kok, kömür, katran, fuel oil, doğal gaz gibi ısı kaynaklarından sağlanırken; O₂ ısıtılmış blower havasından veya havaya karıştırılan saf oksijenden sağlanır.

Şekil 4.20'de de görüleceği üzere oluşan sıcak gaz (2000 – 2250 °C) fırın alt bölgesinden üst bölgesine hareket ederken cevher, pelet, sinter gibi demir kaynağı

malzemeler ile çeşitli aşamalarda reaksiyona girerek bu malzemelerin demir içeriklerini diğer oksitlerden ayırmaktadır. Ayrılan demir ve birlikte çözünen diğer elementler, pik olarak adlandırılır ve sıvı halde fırın hazne bölgesinde birikir. Hammaddelerin içerisinde bulunan demir dışındaki diğer oksitler ise cüruf olarak adlandırılır. Cüruf hazne bölgesinde sıvı pikin üzerinde sıvı halde birikir.



Şekil 4.20. Yüksek fırınların çalışma prosesi, (Özdabak A., 2004)

4.3.2.2 Yüksek Fırınlar Enerji Dengesi İçin Enerji Dengesi Metodolojisi Seçimi

Yüksek fırınlar denge analizinde giren-çıkan dengesinin oluşturulması birbiriyle paralellik gösteren farklı teorilerle açıklanabilmektedir. Bu teorilerden en geçerli olanı, proses sınırlarının belirlendiği bir kontrol hacmine giren ve çıkan enerji denkliğinin oluşturulması felsefesine dayanmaktadır. Erdemir Yüksek Fırınlarına uygulanan model seçiminde, Binran T., (1980) “*Japanese Steel Making Handbook*”, 3rd Edition, Vol. 1-6, Iron and Steel Institute of Japan, Nippon Tekko Kyokai’de değinilen modellemelerden ve Kawasaki Steel, Techno-research Corporation’dan Mr. Shigeru Komiyama ile 2003–2004 yılları arasında yapılan kişisel görüşmeden yararlanılmıştır. Tablo 4.16 verilen ve her iki Yüksek Fırın için de seçilerek uygulanan model aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.16. Yüksek fırınlar için enerji dengesi hesap modeli (Binran T., 1980 ve Komiyama S., Kişisel görüşme, 2003-2004)

Maddeler			Hesaplama				
Giren Enerji	1) Kokun yanmasıyla giren	Kok	Kalorifik Değer (kcal/kg)	*	Kok Ağırlığı (kg/t-SM)		
	2) Yanma havasının duyulur ısısı	Yanma Havası	Spesifik Isı (kcal/Nm ³ ,deg)	*	Hava Hacmi (Nm ³ /t-SM)	*	Sıcaklık (deg)
	3) Hava içindeki nemin duyulur ısısı	Yanma Havasındaki H ₂ O	Spesifik Isı (kcal/kg,deg)	*	H ₂ O Ağırlığı (kg/t-SM)	*	Sıcaklık (deg)
	4) Cüruf üretim ısısı	Slag	140 (kcal/kg-slag)	*	Cüruf Ağırlığı (kg/t-SM)		
	Toplam						
Çıkan Enerji	5) Demirin de-oksidasyon ısısı	Fe ₂ O ₃	1.777 (kcal/kg-Fe)	*	Fe ₂ O ₃ Ağırlığı (kg/t-SM)		Yüzdesel Fe Ağırlığı 69,9 (%)
		Fe ₃ O ₄	1.585 (kcal/kg-Fe)	*	Fe ₃ O ₄ Ağırlığı (kg/t-SM)		Yüzdesel Fe Ağırlığı 72,4 (%)
		FeO	1.151 (kcal/kg-Fe)	*	FeO Ağırlığı (kg/t-SM)		Yüzdesel Fe Ağırlığı 77,7 (%)
	6) SM içindeki Si'nin deoksidasyon ısısı	Si	6.750 (kcal/kg-Si)	*	Si Ağırlığı (kg/t-SM)		
	7) SM içindeki Mn'nin deoksidasyon ısısı	Mn	1.652 (kcal/kg-Mn)	*	Mn Ağırlığı (kg/t-SM)		
	8) SM içindeki P'nin deoksidasyon ısısı	P	5.966 (kcal/kg-P)	*	P Ağırlığı (kg/t-SM)		
	9) Kireçtaşının dekompozisyonu	Kireçtaşı	969 (kcal/kg-CO ₂)	*	Kireçtaşı Ağırlığı (kg/t-SM)	*	Yüzdesel CO ₂ Ağırlığı 44,0 (%)
	10) Sıcak Madenin (SM) duyulur ısısı	Sıcak Maden (SM)	Entalpi (kcal/kg-pig)	*	1,0 (t/t-SM)		
	11) Cürufun duyulur ısısı	Cüruf	Entalpi (kcal/kg-cüruf)	*	Cüruf Ağırlığı (kg/t-SM)		
	12) Baca gazının duyulur ısısı	Baca Gazı	Spesifik Isı (kcal/Nm ³ ,deg)	*	Baca Gazı Hacmi (Nm ³ /t-SM)	*	Sıcaklık (deg)
	13) Baca gazı içindeki H ₂ O'nun duyulur ısısı	Baca gazı içinde H ₂ O	Spesifik Isı (kcal/kg,deg)	*	H ₂ O Ağırlığı (kg/t-SM)	*	Sıcaklık (deg)
	14) Hava içindeki nemin dekompozisyonu	Yanma havası içinde H ₂ O	3.183 kcal/kg H ₂ O	*	H ₂ O Ağırlığı (kg/t-SM)		
	15) Baca gazı ve tozunun gizli ısısı	Baca Gazı	Kalorifik Değer (kcal/Nm ³)	*	Baca Gazı Hacmi (Nm ³ /t-SM)		
		Toz	8.100 (kcal/kg-C)	*	Toz Ağırlığı (kg/t-SM)	*	Yüzdesel C Ağırlığı (%)
	16) Sıcak Maden içindeki karbonun gizli ısısı	Sıcak Maden (SM)	8.100 (kcal/kg-C)	*	1,0 (t/t-SM)	*	Yüzdesel C Ağırlığı (%)
	17) Erime kayıpları	Kayıpların karbon içeriği					
	18) Diğer kayıplar						
	Toplam						

18 maddede giren ve çıkan tüm enerjileri gösteren modelde demirin indirgenme reaksiyonları sırasında oluşan ısı giderleri, diğer kayıplar hesaplandıktan sonra geriye kalan toplam ısıdan hesaplanmıştır.

Yapılan hesaplamalarda alınan aylık ortalamalar, aritmetik ortalama olarak seçilmiş, ay bazlı yapılan bu analizde sorunlu çalışılan günlere ait parametrelerin tüm ayın değerlerini etkilemesi bu şekilde önlenmeye çalışılmıştır. Yapılan analiz, aylık ortalama değerlerden oluşturulan model ışığında konu yüksek fırınların çalışma sistematüğini aydınlatan bir çalışma olarak kabul edilmiştir.

Temmuz 2004 ayına ait veriler her iki yüksek fırının da veri toplanılan zaman periyodu içerisinde en stabil çalıştığı zamanlar olarak belirlenmiş ve hesaplamalarda baz alınmıştır. Diğer yandan aynı kaynaktan alınan hesaplamalarda kullanılan spesifik değerler için baz alınan değerler Tablo 4.17’de verilmiştir.

Tablo 4.17. Yüksek fırınlar için spesifik ısılar (Binran T., 1980 ve Komiyama S. Kişisel görüşme, 2003–2004)

Sıcaklık °C	Entalpi kcal/kg	Duyulur Isı										
		kcal/kg,deg			kcal/Nm ³ ,deg							
		Cüruf	Sıcak Maden		Hava	O ₂	CO	CO ₂	N ₂	H ₂	CH ₄	H ₂ O
			3.5%C	4.5%C								
0	0		0,234	0,235	0,310	0,312	0,311	0,387	0,311	0,306	0,366	0,341
100	19	0,185	0,232	0,233	0,311	0,315	0,312	0,412	0,311	0,307	0,403	0,344
200	40	0,198	0,230	0,231	0,312	0,320	0,313	0,432	0,312	0,309	0,425	0,348
300	60	0,210	0,228	0,229	0,315	0,325	0,315	0,450	0,313	0,309	0,454	0,352
400	81	0,219	0,226	0,227	0,318	0,330	0,318	0,466	0,316	0,310	0,483	0,357
500	105	0,226	0,224	0,225	0,321	0,334	0,321	0,480	0,319	0,311	0,511	0,363
600	129	0,231	0,222	0,223	0,324	0,339	0,325	0,493	0,321	0,312	0,541	0,369
700	152	0,235	0,220	0,221	0,328	0,343	0,329	0,504	0,325	0,313	0,567	0,375
800	177	0,238	0,218	0,219	0,331	0,347	0,332	0,515	0,329	0,314	0,593	0,381
900	202	0,242	0,216	0,217	0,334	0,351	0,335	0,523	0,331	0,316	0,618	0,387
1.000	228	0,245	0,214	0,215	0,338	0,354	0,338	0,532	0,334	0,317	0,641	0,393
1.100	256	0,249	0,212	0,213	0,340	0,356	0,341	0,540	0,338	0,319	0,664	0,400
1.200	293	0,255	0,210	0,211	0,343	0,359	0,344	0,547	0,340	0,321	0,684	0,406
1.300	336	0,260	0,208	0,209	0,345	0,362	0,346	0,553	0,342	0,323		0,411
1.400	400	0,288	0,206	0,207	0,348	0,364	0,348	0,559	0,345	0,325		0,418
1.500		0,279	0,204	0,205	0,350	0,366	0,351	0,565	0,347	0,326		0,482
1.600		0,271	0,202	0,203	0,353	0,368	0,353	0,570	0,350	0,328		0,488
1.700		0,262			0,354	0,370	0,355	0,570	0,351	0,330		0,493
1.800					0,356	0,372	0,357	0,579	0,353	0,332		0,498
1.900					0,358	0,374	0,358	0,583	0,354	0,334		0,502
2.000					0,359	0,376	0,360	0,587	0,356	0,336		0,506

4.3.2.3 Yüksek Fırın I (Ayşe)

Yüksek fırınlarda 1 ton sıcak maden üretmek için harcanan enerji miktarı, yüksek fırınların enerji verimliliği olarak adlandırılmaktadır. Sıcak maden üretim prosesi içinde en çok enerjinin tüketildiği yer yüksek fırınlardır. Erdemir’de yer alan, enerji açısından tüketim büyüklüğü ile ikinci önemli tesis olan Yüksek Fırın I (Ayşe)’in teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.

<i>Devreye Giriş Tarihi</i>	: 1965,
<i>Modernizasyon yılları</i>	: 1971, 1977, 1986, 1998 (Re-line),
<i>Üretim Kapasitesi</i>	: 3.000 ton Sıcak Maden/gün,
<i>Hazne Çapı</i>	: 8,99 m,
<i>Çalışma Hacmi</i>	: 1.505 m ³ ,
<i>Hava Miktarı (maks.)</i>	: 3.000 Nm ³ /dak,
<i>Tüyer Sayısı</i>	: 20 Adet,
<i>Hava Sıcaklığı</i>	: 1.150 °C.

İşletmede tüketilen toplam enerjinin %18,58’inin tüketildiği Yüksek Fırın I’de yapılacak denge analizleri için Temmuz 2004 ayındaki işletme verileri toplanarak kaydedilmiş, günlük değişimlerin denge üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için aylık ortalamalar alınmıştır. Toplanan işletme verilerinden analizde kullanılan aylık ortalama değerler Tablo 4.18’de verilmiştir. Fırınlarda kullanılan enerjiler ise aylık toplam kullanım miktarlarının üretilen sıcak madene oranlanmasıyla bulunmuştur.

Tablo 4.18. Yüksek fırın I işletme verileri

GÜNLER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	ORT
Sıcak Maden Üretimi (ton)	3.455	3.294	3.181	3.206	1.475	824	2.277	2.258	2.763	3.267	3.567	3.326	3.409	3.014	3.502	3.634	3.222	3.162	3.171	3.023	3.211	1.301	3.011	2.869	2.907	3.124	2.916	3.125	3.327	3.251	3.115	91.187
Hava Miktarı (m³/dak)	2.430	2.465	2.400	2.400	1.790	750	2.050	2.040	2.430	2.450	2.575	2.530	2.660	2.500	2.640	2.660	2.580	2.547	2.245	2.270	2.440	1.075	2.350	2.330	2.300	2.350	2.080	2.300	2.560	2.600	2.510	2.300
Hava Sıcaklığı (°C)	1.144	1.137	1.143	1.140	1.017	968	1.090	1.091	1.077	1.136	1.142	1.145	1.148	1.125	1.140	1.103	1.141	1.151	1.146	1.164	1.123	1.023	1.142	1.125	1.137	1.150	1.158	1.138	1.150	1.133	1.135	1.121
Baca Gazı Sıcaklığı (°C)	114	159	174	197	233	229	114	210	144	156	170	163	201	216	169	172	200	170	169	179	184	134	181	194	180	168	183	210	190	209	180	179
Hava Rutubeti (gr/Nm³)	18,70	17,01	21,53	21,07	29,67	27,75	25,58	29,50	32,95	22,37	22,16	20,63	19,03	23,43	18,46	17,89	18,33	17,65	18,46	19,00	19,34	18,15	19,17	19,55	21,59	21,34	23,85	22,07	25,89	25,93	27,77	22,12

ANALİZLER %																																
Maden Sıcaklığı (°C)	1.456	1.473	1.461	1.462	1.424	1.431	1.414	1.457	1.494	1.490	1.469	1.482	1.446	1.494	1.477	1.453	1.458	1.458	1.460	1.454	1.483	1.466	1.459	1.482	1.464	1.452	1.418	1.473	1.470	1.462	1.461	1.461
Cüruf Hacmi (Kg/TSM)	238	230	234	230	210	223	237	219	219	221	240	238	233	219	231	248	238	248	266	228	216	218	226	216	220	211	213	196	216	229	232	227
C	4,29	4,37	4,24	4,22	4,29	4,13	4,24	4,28	4,40	4,33	4,24	4,34	4,17	4,42	4,31	4,30	4,30	4,36	4,37	4,34	4,42	4,36	4,30	4,35	4,26	4,26	4,03	4,40	4,31	4,37	4,43	4,30
Si	0,57	0,87	0,81	0,79	0,84	0,88	0,61	1,46	1,52	1,47	1,02	1,03	0,85	1,32	1,04	0,79	1,12	1,03	0,92	0,83	0,80	0,86	0,84	0,92	0,87	0,69	0,67	0,93	0,70	0,86	0,86	0,93
Mn	0,65	0,75	0,66	0,68	0,61	0,51	0,40	0,48	0,43	0,42	0,46	0,45	0,30	0,44	0,38	0,33	0,40	0,36	0,70	0,49	0,62	0,61	0,48	0,48	0,49	0,48	0,44	0,58	0,55	0,54	0,48	0,50
P	0,093	0,099	0,099	0,099	0,100	0,094	0,093	0,088	0,090	0,099	0,104	0,112	0,095	0,092	0,093	0,096	0,103	0,100	0,109	0,113	0,106	0,097	0,109	0,107	0,107	0,106	0,104	0,103	0,098	0,096	0,093	0,10

Tablo 4.19. Yüksek fırın gazının 25 °C ve 179 °C'deki spesifik ısıları

YÜKSEK FIRIN GAZININ SPESİFİK ISISI								
GAZ BİLEŞENLERİ			C _p (Kj / Kg-°K)	C _p (KCal / Kg-°K)	C _p (kcal / KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K
	N ₂	28	1,0413	0,2487	6,9626	0,4980	13,9440	3,4674
	CO	28	1,0417	0,2487	6,9650	0,2380	6,6640	1,6577
	CO ₂	44	0,8396	0,2005	8,8222	0,2180	9,5920	1,9232
	H ₂	2	14,1931	3,3893	6,7786	0,0380	0,0760	0,2576
	CH ₄	16	2,2502	0,5373	8,5975	0,0080	0,1280	0,0688
SIC. °K	298	2,9800				1,0000	30,4040	7,3747
SIC. °C	25					Cp=	0,243	kcal/Kg-°K

YÜKSEK FIRIN GAZININ SPESİFİK ISISI								
8GAZ BİLEŞENLERİ			C _p (Kj / Kg-°K)	C _p (KCal / Kg-°K)	C _p (kcal / KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K
	N ₂	28	1,0466	0,2499	6,9979	0,4980	13,9440	3,4850
	CO	28	1,0549	0,2519	7,0533	0,2380	6,6640	1,6787
	CO ₂	44	0,9797	0,2340	10,2940	0,2180	9,5920	2,2441
	H ₂	2	14,4873	3,4596	6,9191	0,0380	0,0760	0,2629
	CH ₄	16	2,7145	0,6482	10,3715	0,0080	0,1280	0,0830
SIC. °K	452	4,5200				1,0000	30,4040	7,7536
SIC. °C	179					Cp=	0,255	kcal/Kg-°K

Not : Yüksek Fırın Gazının bileşiminde yer alan gazların spesifik ısıları "Gordon J. V. W., Richard E. S., (1985) *Fundamentals of Classical Thermodynamics* 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., Canada, ISBN 0-471-82933-1" kitabından alınmıştır. Bu değerler Yüksek Fırın Gazının Kimyasal Bileşimiyle ilişkilendirilerek spesifik ısılar hesaplanmıştır.

Temmuz Ayı;

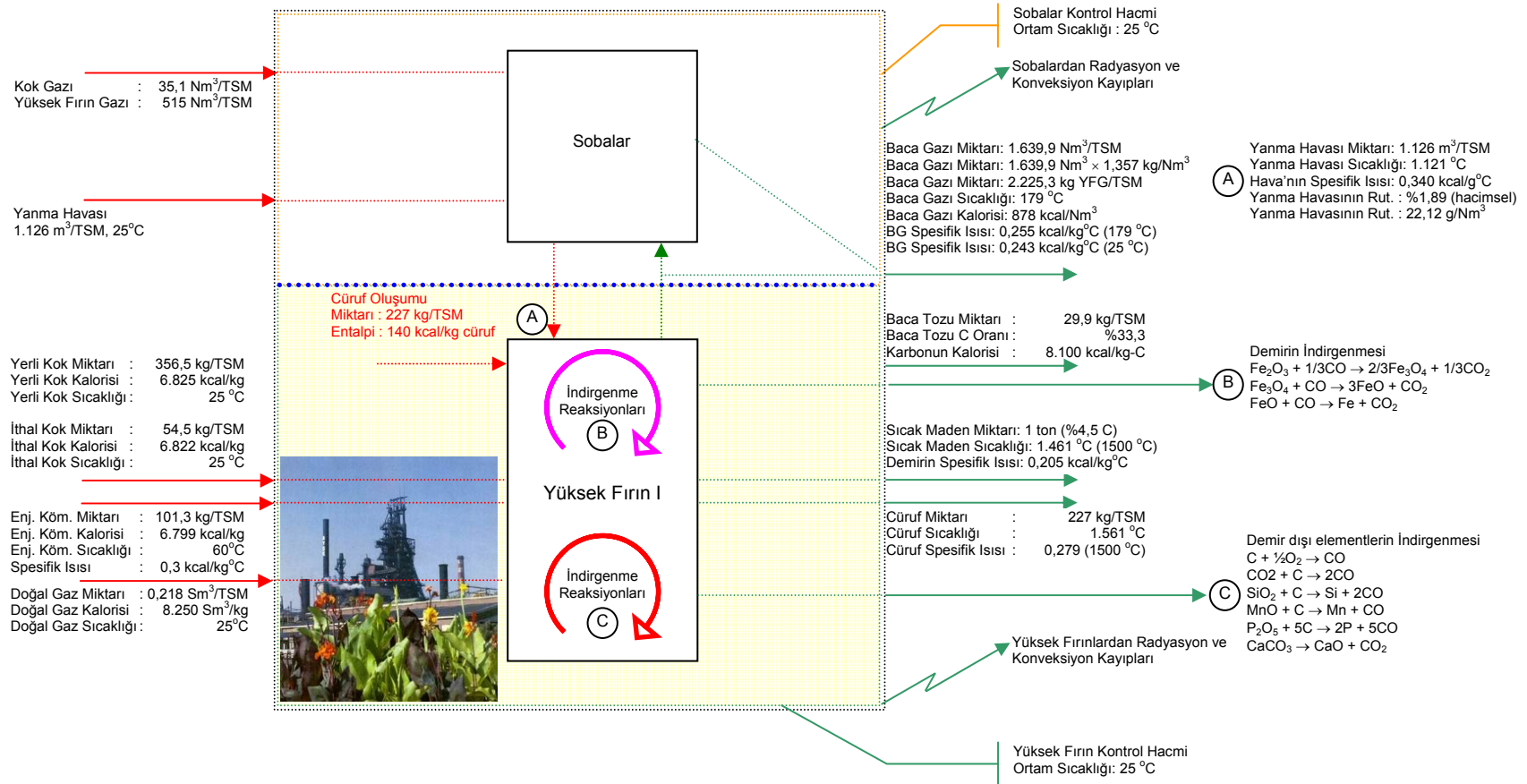
Yüksek fırın I sıcak maden üretimi	:	91.187 Ton Sıcak Maden (TSM),
Kullanılan yerli kok miktarı	:	32.507 ton → 356,5 kg/TSM,
Üretim koku kalorisi	:	6.825 kcal/kg,
Kullanılan ithal kok miktarı	:	4.968 ton → 54,5 kg/TSM,
İthal kok kalorisi	:	6.822 kcal/kg,
Kullanılan enjeksiyon kömürü miktarı	:	9.233 ton → 101,3 kg/TSM,
Enjeksiyon kömürü kalorisi	:	6.799 kcal/kg,
Kullanılan doğal gaz miktarı	:	18.875 Sm ³ → 0,218 Sm ³ /TSM,
Doğal gaz kalorisi	:	8.250 kcal/Sm ³ ,
Üretilen yüksek fırın gazı miktarı	:	149.537.000 Nm ³ → 1.639,9 Nm ³ /TSM,
Yüksek fırın gazı kalorisi	:	878 kcal/Nm ³ .

Her iki fırında üretilen ortalama yüksek fırın gazıyla ilgili yapılan analizler sonucu; gazın bileşimi ve bu bileşimlerden yola çıkılarak yoğunluğu, kalorifik değeri hesaplanarak Tablo 4.20’de verilmiştir.

Tablo 4.20. Yüksek fırın gazı kimyasal bileşenleri ve yoğunluğu (Her iki yüksek fırın için)

Atom Ağırlığı		YFG Hacimsel		YFG Kütlesel	Kalorifik Değeri kcal/Nm ³
28	N ₂	0,498	$0,498 \times 28/22,4 \rightarrow$	0,623	
28	CO	0,238	$0,238 \times 28/22,4 \rightarrow$	0,298	
44	CO ₂	0,218	$0,218 \times 44/22,4 \rightarrow$	0,428	
2	H ₂	0,038	$0,038 \times 2/22,4 \rightarrow$	0,003	
16	CH ₄	0,008	$0,008 \times 16/22,4 \rightarrow$	0,006	
Toplam		1,000	YFG Yoğunluğu	1,357 kg/Nm ³	878

Toplanan tüm bu verilerle oluşturulan enerji dengesi verilerle birlikte Şekil 4.21’de özetlenmiştir.



Şekil 4.21. Yüksek fırın I enerji dengesi (Temmuz 2004 değerlerine göre)

Enerji Girdisi

Yüksek fırınlara esas yakıt olarak giren kok ve enjeksiyon kömürünü müteakip yapılan toplam enerji girdisi hesaplamaları aşağıda verilmiştir.

A. Kokun yanmasıyla verilen enerji

Kok miktarı	: 356,5 kg/TSM (Şekil 4.21),
Kokun kalorisi	: 6.825 kcal/kg (Şekil 4.21),
Kokun yanmasıyla verilen enerji	: $356,5 \text{ kg/TSM} \times 6.825 \text{ kcal/kg}$, 2.433.112,5 kcal/TSM.

B. İthal kokun yanmasıyla verilen enerji

İthal kok miktarı	: 54,5 kg/TSM (Şekil 4.21),
İthal kokun kalorisi	: 6.822 kcal/kg (Şekil 4.21),
İthal kokun yanmasıyla verilen enerji	: $54,5 \text{ kg/TSM} \times 6.822 \text{ kcal/kg}$, 371.799 kcal/TSM.

C. Enjeksiyon kömürüyle verilen enerji

Enjeksiyon kömürü miktarı	: 101,3 kg/TSM (Şekil 4.21),
Enjeksiyon kömürü kalorisi	: 6.799 kcal/kg (Şekil 4.21),
Enj. kömürünün yanmasıyla verilen enerji	: $101,3 \text{ kg/TSM} \times 6.799 \text{ kcal/kg}$, 688.738,7 kcal/TSM.

D. Ön ısıtılmış enjeksiyon kömürünün taşıdığı enerji (Duyulur ısısı)

Enjeksiyon kömürü miktarı	: 101,3 kg/TSM (Şekil 4.21),
Enjeksiyon kömürünün sıcaklığı	: 60 °C (Şekil 4.21),
Kömürün spesifik ısısı	: (0,3 kcal/kg °C) Perry H. (1963),

Enj. kömürünün yanmasıyla verilen enerji : $101,3 \times 0,3 \times (60-25)$,
1.063,7 kcal/TSM.

Hesaplama kömürün spesifik ısısı Perry J.H., (1963) *Chemical Engineers's Handbook, 4th Edition, Kogakusha Company*, Tokyo'dan alınmıştır.

E. Doğal gaz ile verilen enerji

Doğal gaz miktarı : 0,218 kg/TSM (Şekil 4.21),
 Doğal gaz kalorisi : 8.250 kcal/Sm³ (Şekil 4.21),
 Doğal gazın yanmasıyla verilen enerji : $0,218 \text{ Sm}^3/\text{TSM} \times 8.250 \text{ kcal/Sm}^3$,
1.798,5 kcal/TSM.

F. Yanma havasının duyulur ısısı

Yanma havası miktarı : 1.126 m³/TSM (Şekil 4.21),
 Yanma havası sıcaklığı : 1.121 °C (Şekil 4.21),
 Yanma havasının spesifik ısısı : 0,3406 kcal/Nm³°C (1121 °C de, Tablo 4.17),
 0,3103 kcal/Nm³°C (25 °C de, Tablo 4.17),

$Q = m \times c \times \Delta T$ formülünü kullanılarak,

Yanma havasıyla gelen ısı : $1.126 \text{ Nm}^3/\text{TSM} \times (0,3406 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C} \times 1121 - 0,3103 \text{ kcal/Nm}^3\text{°C} \times 25)$,
421.186,0 kcal/TSM.

G. Yanma havasının içerisindeki nem ile gelen enerji

Yanma havası içindeki nem miktarı : %1,89 (Şekil 4.21),
 Yanma havası içindeki su oranı : $1.126 \text{ m}^3 \times 0,0189 = 21,3 \text{ m}^3$,
 Suyun spesifik ısısı : 0,4013 kcal/Nm³°C (1121 °C'de, Tablo 4.17),
 0,3418 kcal/Nm³°C (25 °C'de, Tablo 4.17),

Nem ile gelen enerji : $21,3 \text{ Nm}^3 \times (0,4013 \text{ kcal/Nm}^{30}\text{C} \times 1121 - 0,3418 \text{ kcal/Nm}^{30}\text{C} \times 25),$
9.400,0 kcal/TSM.

H. Cüruf üretimi ile gelen enerji

Cüruf miktarı : 227 kg/TSM (Şekil 4.21),
 Cüruf üretiminde ortaya çıkan spesifik ısı : 140 kcal/kg-cüruf (Tablo 4.16),
 Cüruf üretiminde ortaya çıkan ısı : $227 \times 140,$
31.780 kcal.

Giren Toplam Enerjiler,

$$\begin{aligned} Q_{GT} &= A + B + C + D + E + F + G + H, \\ &= 2.433.112,5 + 371.799,0 + 688.738,7 + 1.063,7 + 1.798,5 + 421.186,0 \\ &\quad + 9.400,0 + 31.780,0, \\ &= \mathbf{3.958.878,3 \text{ kcal'dir.}} \end{aligned}$$

Enerji Çıktısı

A. (Fe) Demirin deoksidasyon ısısı ve diğerleri

Fe_2O_3 , Fe_3O_4 ve FeO 'nun indirgenme reaksiyonları sırasında ihtiyaç duyulan ısı bu kapsamda proses gereği harcanan ısı olarak kabul edilmektedir. Burada harcanan enerji toplam enerji dengesinde kalan kısım içerisinde kabul edilmiştir.

B. Sıcak maden içerisindeki Si'nin ısısı

Sıcak maden içindeki Si miktarı : $\%0,93 \rightarrow 9,3 \text{ kg Si/TSM}$ (Tablo 4.18),
 Si'nin spesifik ısısı : 6.750 kcal/kg-Si (Tablo 4.16),
 $9,3 \text{ kg} \times 6.750 \text{ kcal/kg Si},$
62.775 kcal/TSM.

C. Sıcak maden içerisindeki Mn'nin ısısı

Sıcak maden içindeki Mn miktarı : %0,5 → 5 kg Mn/TSM (Tablo 4.18),
 Mn'nin spesifik ısısı : 1.652 kcal/kg-Mn (Tablo 4.16),
 $5 \text{ kg} \times 1.652 \text{ kcal/kg Mn},$
8.260 kcal/TSM.

D. Sıcak maden içerisindeki P'nin ısısı

Sıcak maden içindeki P miktarı : %0,1 → 1 kg P/TSM (Tablo 4.18),
 P'nin spesifik ısısı : 5.966 kcal/kg-P (Tablo 4.16),
 $1 \text{ kg} \times 5.966 \text{ kcal/kg P},$
5.966 kcal/TSM.

E. Sıcak madenin duyulur ısısı

Sıcak maden miktarı : 1 ton = 1000 kg,
 Sıcak madenin spesifik ısısı : 0,2058 kcal/kg°C (1461 °C, %4,5 C, Tablo 4.17),
 0,2345 kcal/kg°C (25 °C, %4,5 C, Tablo 4.17),
 Sıcak madenle dışarıya alınan enerji : $1000 \times [(1461 \times 0,2058) - (25 \times 0,2345)],$
294.811,3 kcal/TSM.

F. Yüksek fırın cürufunun duyulur ısısı

Cüruf miktarı : 227 kg/TSM (Tablo 4.18),
 Cürufun spesifik ısısı : 0,2741 kcal/kg°C (1561 °C, Tablo 4.17),
 0,185 kcal/kg°C (25 °C, Tablo 4.17),
 Cüruf ile dışarıya alınan enerji : $227 \times [(1561 \times 0,2741) - (25 \times 0,185)],$
96.076,6 kcal/TSM.

G. Yüksek Fırın gazının duyulur ısısı

Baca gazı miktarı	: 2.225,3 kg YFG/TSM (Şekil 4.21),
Yüksek fırın gazının spesifik ısısı	: 0,255 kcal/kg°C (179 °C, Tablo 4.19), 0,243 kcal/kg°C (25 °C, Tablo 4.19),
Yüksek fırın gazının taşıdığı enerji	: $2.225,3 \times [(179 \times 0,255) - (25 \times 0,243)]$, 88.055,1 kcal/TSM.

H. Yanma havasını kurutmak için gerekli ısı miktarı

Yanma havası içerisindeki nem miktarı	: 22,12 g/Nm ³ (Tablo 4.18),
Yanma havası miktarı	: 1.126 m ³ /TSM (Şekil 4.21), $1.126 \text{ m}^3/\text{TSM} \times 22,12 \text{ g/Nm}^3$, 24,907 kg/TSM,
Spesifik ısı	: 3.183 kcal/kg H ₂ O (Tablo 4.16),
Nem için harcanan ısı	: $24,907 \times 3.183 \text{ kcal/kg H}_2\text{O}$, 79.279,0 kcal/TSM.

I. Sıvı maden içerisindeki karbonun gizli ısısı

Sıcak maden içerisindeki karbon oranı	: %4,3 → 43 kg/TSM (Tablo 4.18),
Karbonun spesifik ısısı	: 8.100 kcal/kg-C (Tablo 4.16),
Sıcak maden içindeki karbonun gizli ısısı	: $43 \text{ kg/TSM} \times 8.100 \text{ kcal/kg-C}$, 348.300 kcal/TSM.

İ. Baca gazının taşıdığı gizli ısı

Üretilen yüksek fırın gazı miktarı	: 1.639,9 Nm ³ /TSM (Şekil 4.21),
Yüksek fırın gazının kalorifik değeri	: 878 kcal/Nm ³ (Tablo 4.20),
Yüksek fırın gazının gizli ısısı	: $1.639,9 \text{ Nm}^3/\text{TSM} \times 878 \text{ kcal/Nm}^3$, 1.439.832,2 kcal/TSM.

J.Baca tozunun gizli ısısı (Baca tozu içerisindeki C)

Üretilen baca tozu miktarı : 2.730 ton/ay → 29,9 kg/TSM (Şekil 4.21,
Baca tozu içerisindeki C oranı : %33,3 (Şekil 4.21),
 $8.100 \text{ kcal/kg-C} \times 29,9 \text{ kg} \times 0,333,$
80.649,3 kcal/TSM.

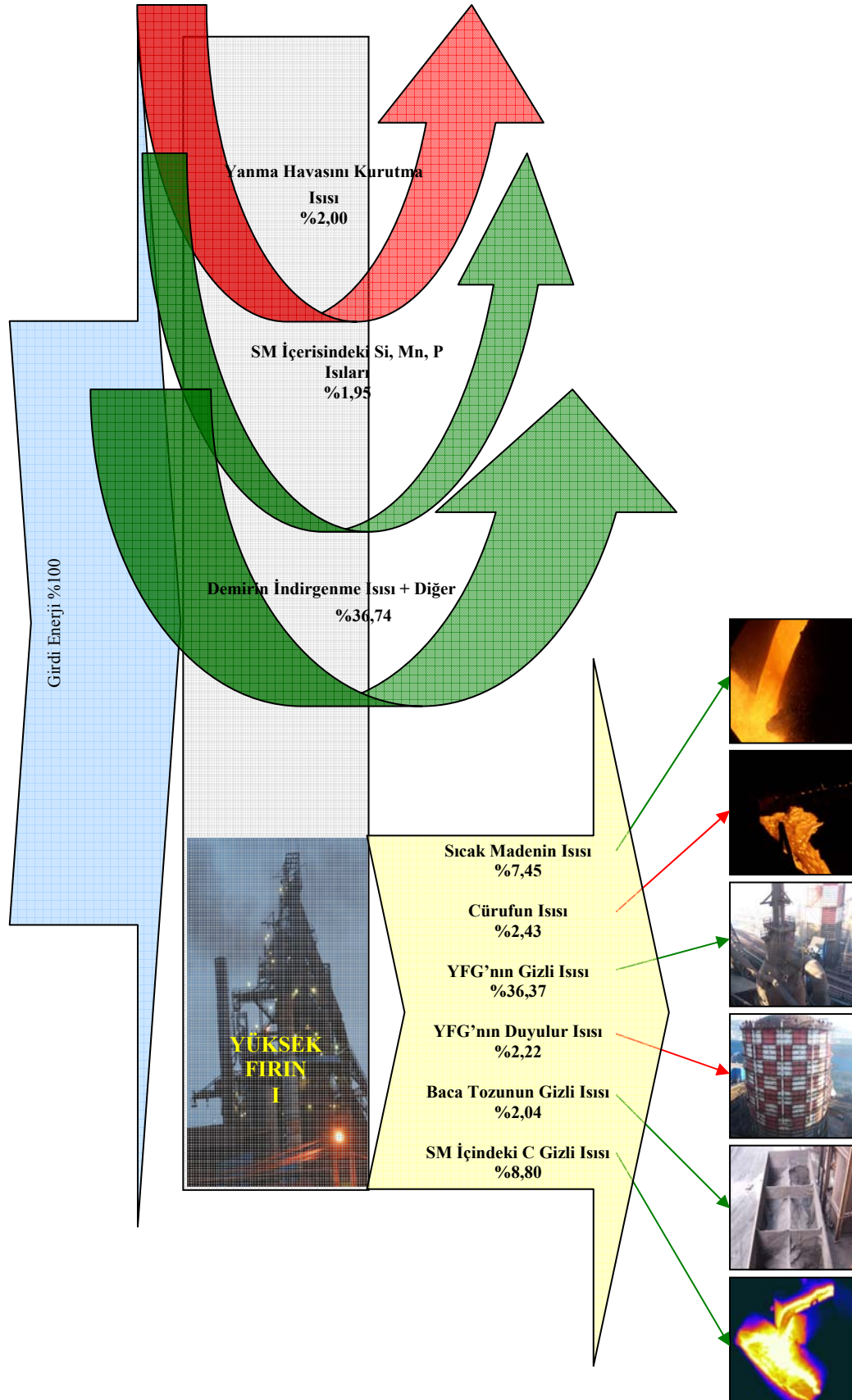
Çıkan Toplam Enerjiler,

$$\begin{aligned}
 Q_{CT} &= A + B + C + D + E + F + G + H + I + \dot{I} + J, \\
 &= 1.454.873,8 + 62.775,0 + 8.260,0 + 5.966,0 + 294.811,3 + 96.076,6 \\
 &\quad + 88.055,1 + 79.279,0 + 348.300,0 + 1.439.832,2 + 80.649,3, \\
 &= \mathbf{3.958.873,8 \text{ kcal/TSM'dir.}}
 \end{aligned}$$

Bu hesaplamalara göre Yüksek Fırın I'e giren ve çıkan enerjiler bir dengeye getirilerek Tablo 4.21'de ve Şekil 4.22'de özetlenerek verilmiştir.

Tablo 4.21. Yüksek fırın I enerji dengesi

Giren Enerji (3.958.873,8 kcal/TSM)	kcal	%
Kokun yanmasıyla prosese giren	2.433.112,5	61,45
Enjeksiyon kömürünün yanmasıyla giren	688.738,7	17,40
Yanma havasının duyulur ısısı	421.186,0	10,64
İthal kokun yanmasıyla giren	371.799,0	9,39
Cüruf üretimi esnasında oluşan enerji	31.780,0	0,80
Yanma hav. içindeki nemin duyulur ısısı	9.400,0	0,24
Doğal gazın yanmasıyla giren	1.798,5	0,05
Ön ısıtılmış enj. kömürü'nün taş. en. (Duyulur ısısı)	1.063,7	0,03
Çıkan Enerji (3.958.873,8 kcal/TSM)	kcal	%
Demirin indirgenme ısıları+diğer	1.454.873,8	36,74
Baca gazının (YFG) taşıdığı gizli ısı	1.439.832,2	36,37
Sıvı maden içindeki karbonun gizli ısısı	348.300,0	8,80
Sıcak madenin duyulur ısısı	294.811,3	7,45
Cürufun duyulur ısısı	96.076,6	2,43
Yüksek fırın gazının duyulur ısısı	88.055,1	2,22
Baca tozunun gizli ısısı	80.649,3	2,04
Yanma havasını kurutmak için gerekli ısı	79.279,0	2,00
Sıcak maden içerisindeki Si'nin ısısı	62.775,0	1,59
Sıcak maden içerisindeki Mn'nin ısısı	8.260,0	0,21
Sıcak maden içerisindeki P'nin ısısı	5.966,0	0,15



Şekil.4.22. Yüksek fırın I' de kazanılabilir enerji dengesi

4.3.2.4 Yüksek Fırın II (Zübeyde)

Erdemir’de sıcak maden üretiminin önemli bir bölümünü karşılayan Yüksek Fırın II (Zübeyde)’nin teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.

<i>Devreye Giriş Tarihi</i>	: 1978 (Eylül),
<i>Modernizasyon Yılları</i>	: 1987, 1995, 2000 (Re-line),
<i>Üretim Kapasitesi</i>	: 4.000 ton Sıcak Maden/gün,
<i>Hazne Çapı</i>	: 9,70 m,
<i>Çalışma Hacmi</i>	: 1.707,7 m ³ ,
<i>Hava Miktarı (maks.)</i>	: 3.500 Nm ³ /dak,
<i>Tüyer Sayısı</i>	: 22 Adet,
<i>Hava Sıcaklığı</i>	: 1.200 °C,

İşletmede, toplam enerjinin %28,30’unun tüketildiği Yüksek Fırın II’nin yapılacak denge analizleri için 2004 Temmuz ayındaki işletme verileri toplanarak kaydedilmiş, günlük değişimlerin denge üzerindeki etkisini en aza indirebilmek için aylık ortalamalar alınmıştır. Toplanan işletme verilerinden analizde kullanılan değerler Tablo 4.22’de verilmiştir. Fırınlarda kullanılan enerji ise aylık toplam kullanım miktarlarının üretilen sıcak madene oranlanmasıyla bulunmuştur.

Tablo 4.22. İşletme verileri

GÜNLER	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	ORT
Sıcak Maden Üretimi (ton)	5.108	5.135	5.032	3.962	4.349	4.725	4.634	1.194	3.701	3.566	5.082	5.003	4.842	4.801	5.005	4.720	5.158	5.023	4.501	4.631	4.161	5.031	4.460	4.301	4.828	4.856	3.819	4.352	4.900	4.524	4.429	139.833
Hava Miktarı (m³/dak)	3.384	3.351	3.172	3.115	3.240	3.094	3.095	2.730	2.825	2.675	3.353	3.378	3.284	3.209	3.394	3.189	3.400	3.358	3.097	3.077	2.760	3.310	3.008	2.931	3.038	3.275	2.705	2.948	3.254	3.168	3.212	3.130
Hava Sıcaklığı (°C)	1.055	1.077	1.063	1.065	1.052	1.075	1.070	1.001	1.051	1.035	1.043	1.047	1.057	1.079	1.067	1.062	1.064	1.059	1.062	1.061	1.031	1.064	1.066	1.090	1.077	1.061	1.096	1.067	1.070	1.061	1.053	1.061
Baca Gazı Sıcaklığı (°C)	136	136	141	196	135	121	135	159	156	122	118	114	135	120	127	117	110	139	131	124	117	121	122	117	132	148	140	163	157	135	160	135
Hava Rutubeti (gr/Nm³)	20	19	23	26	27	22	23	27	28	20	17	19	16	19	20	15	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	10	10	10	15,84

ANALİZLER %																																
Maden Sıcaklığı (°C)	1.479	1.479	1.469	1.468	1.478	1.466	1.466	1.447	1.484	1.463	1.491	1.480	1.487	1.470	1.483	1.485	1.474	1.493	1.483	1.467	1.473	1.491	1.485	1.446	1.471	1.482	1.462	1.465	1.486	1.474	1.477	1.475
Cüruf Hacmi (Kg/TSM)	221	219	209	205	199	199	202	193	207	222	231	227	215	221	230	244	230	226	224	219	229	230	220	232	230	219	211	242	238	239	238	222
C	4,41	4,40	4,41	4,48	4,43	4,42	4,39	4,41	4,44	4,34	4,44	4,37	4,42	4,26	4,39	4,42	4,40	4,42	4,44	4,33	4,32	4,43	4,45	4,24	4,38	4,42	4,26	4,33	4,48	4,50	4,49	4,40
Si	0,51	0,46	0,52	0,73	0,59	0,36	0,49	0,57	0,90	0,57	0,74	0,72	0,88	0,71	0,63	0,66	0,58	0,75	0,72	0,65	0,69	0,77	0,78	0,61	0,58	0,67	0,58	0,53	0,67	0,68	0,73	0,65
Mn	0,79	0,82	0,87	0,92	0,71	0,55	0,55	0,59	0,68	0,64	0,66	0,45	0,43	0,44	0,38	0,39	0,35	0,41	0,38	0,35	0,33	0,37	0,36	0,30	0,32	0,35	0,32	0,32	0,72	0,76	0,82	0,53
P	0,090	0,094	0,097	0,093	0,093	0,093	0,090	0,089	0,092	0,105	0,102	0,113	0,099	0,100	0,098	0,097	0,105	0,103	0,105	0,111	0,108	0,104	0,112	0,111	0,104	0,103	0,107	0,104	0,100	0,099	0,105	0,101

Tablo 4.23. Yüksek fırın gazının 25 °C ve 179 °C deki spesifik ısıları

YÜKSEK FIRIN GAZININ SPESİFİK ISISI								YÜKSEK FIRIN GAZININ SPESİFİK ISISI									
GAZ BİLEŞENLERİ			C _p (Kj / Kg-°K)	C _p (KCal / Kg-°K)	C _p (kcal / KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K	GAZ BİLEŞENLERİ			C _p (Kj / Kg-°K)	C _p (KCal / Kg-°K)	C _p (kcal / KMol-°K)	% Vol	Kg/Kmol	kcal/Kmol-°K
	N ₂	28	1,0413	0,2487	6,9626	0,4980	13,9440	3,4674		N ₂	28	1,0423	0,2489	6,9690	0,4980	13,9440	3,4706
	CO	28	1,0417	0,2487	6,9650	0,2380	6,6640	1,6577		CO	28	1,0460	0,2498	6,9941	0,2380	6,6640	1,6646
	CO ₂	44	0,8396	0,2005	8,8222	0,2180	9,5920	1,9232		CO ₂	44	0,9450	0,2257	9,9296	0,2180	9,5920	2,1647
	H ₂	2	14,1931	3,3893	6,7786	0,0380	0,0760	0,2576		H ₂	2	14,4914	3,4605	6,9211	0,0380	0,0760	0,2630
	CH ₄	16	2,2502	0,5373	8,5975	0,0080	0,1280	0,0688		CH ₄	16	2,5584	0,6110	9,7753	0,0080	0,1280	0,0782
SIC. °K	298	2,9800				1,0000	30,4040	7,3747	SIC. °K	408	4,0800				1,0000	30,4040	7,76410
SIC. °C	25					Cp=	0,243	kcal/Kg-°K	SIC. °C	135					Cp=	0,251	kcal/Kg-°K

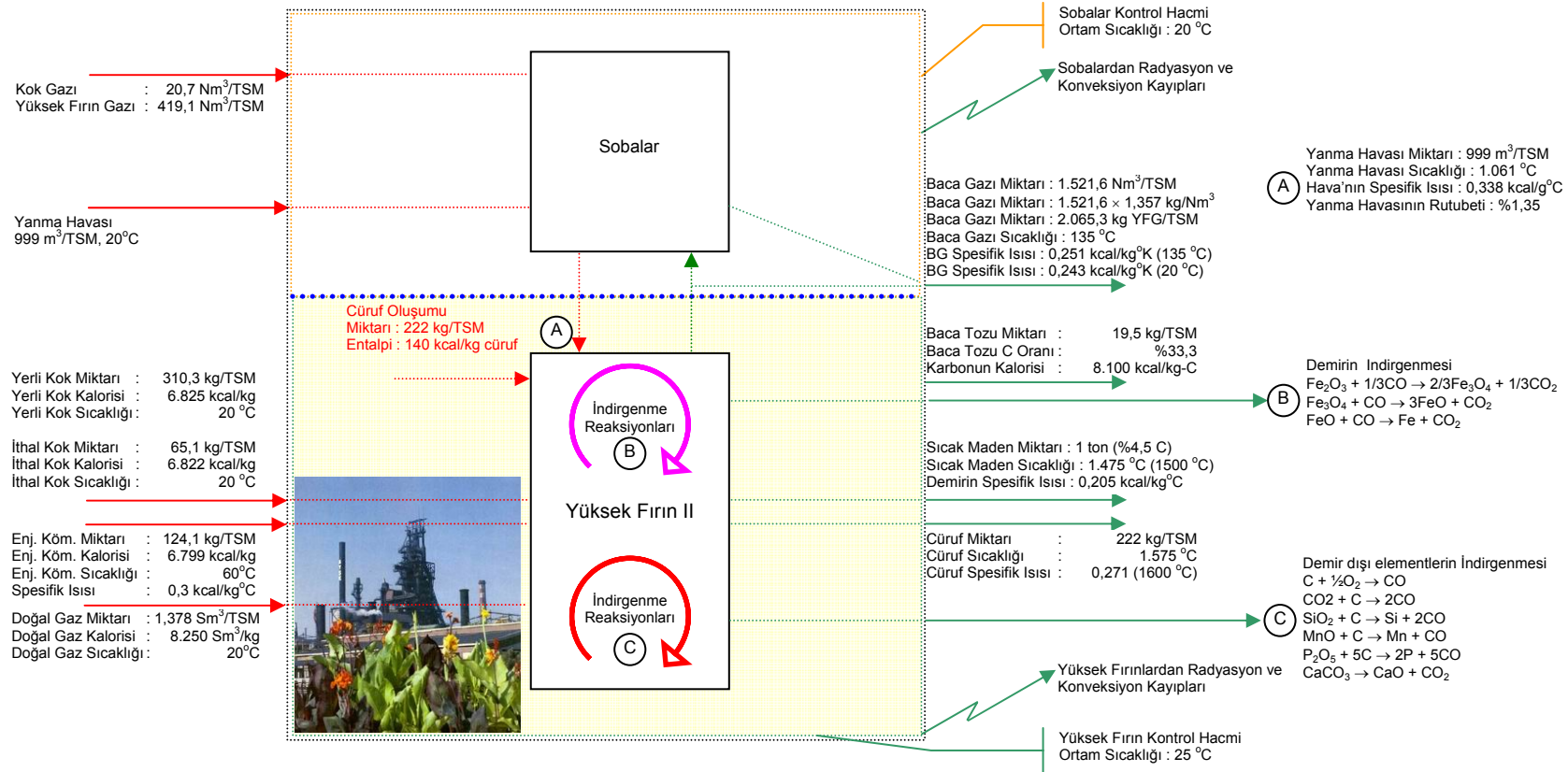
Not : Yüksek Fırın Gazının bileşiminde yer alan gazların spesifik ısıları “Gordon J. V. W., Richard E. S., (1985) *Fundamentals of Classical Thermodynamics* 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., Canada, ISBN 0-471-82933-1” kitabından alınmıştır. Bu değerler Yüksek Fırın Gazının kimyasal bileşimiyle ilişkilendirilerek spesifik ısılar hesaplanmıştır.

Temmuz Ayı;

Yüksek fırın I sıcak maden üretimi	:	139.833 ton	Sıcak Maden (TSM),
Kullanılan yerli kok miktarı	:	43.397 ton	→ 310,3 kg/TSM,
Üretim koku kalorisi	:	6.825 kcal/kg,	
Kullanılan ithal kok miktarı	:	9.103 ton	→ 65,1 kg/TSM,
İthal kok kalorisi	:	6.822 kcal/kg,	
Kullanılan enjeksiyon kömürü miktarı	:	17.359 ton	→ 124,1 kg/TSM,
Enjeksiyon kömürü kalorisi	:	6.799 kcal/kg,	
Kullanılan doğal gaz miktarı	:	192.698 Sm ³	→ 1,376 Sm ³ /TSM,
Doğal gaz kalorisi	:	8.250 kcal/Sm ³ ,	
Üretilen yüksek fırın gazı miktarı	:	212.776.000 Nm ³	→ 1.521,6 Nm ³ /TSM,
Yüksek fırın gazı kalorisi	:	878 kcal/Nm ³ .	

Her iki fırın için ortak olan yüksek fırın gazıyla ilgili analizler sonucu; gazın bileşimi ve bu bileşimlerden yola çıkılarak yoğunluğu, kalorifik değeri hesaplanarak Tablo 4.20’de verilmiştir.

Toplanan tüm bu verilerle oluşturulan enerji dengesi verilerle birlikte Şekil 4.23’de özetlenmiştir.



Şekil 4.23. Yüksek fırın II enerji dengesi (Temmuz 2004 değerlerine göre)

Enerji Girdisi

A. Kokun yanmasıyla verilen enerji

Kok miktarı	: 310,3 kg/TSM (Şekil 4.23),
Kokun kalorisi	: 6.825 kcal/kg (Şekil 4.23),
Kokun yanmasıyla verilen enerji	: $310,3 \text{ kg/TSM} \times 6.825 \text{ kcal/kg}$, 2.177.797,5 kcal/TSM.

B. İthal kokun yanmasıyla verilen enerji

İthal kok miktarı	: 65,1 kg/TSM (Şekil 4.23),
İthal kokun kalorisi	: 6.822 kcal/kg (Şekil 4.23),
İthal kokun yanmasıyla verilen enerji	: $65,1 \text{ kg/TSM} \times 6.822 \text{ kcal/kg}$, 444.112,2 kcal/TSM.

C. Enjeksiyon kömürüyle verilen enerji

Enjeksiyon kömürü miktarı	: 124,1 kg/TSM (Şekil 4.23),
Enjeksiyon kömürü kalorisi	: 6.799 kcal/kg (Şekil 4.23),
Enj. kömürünün yanmasıyla verilen enerji	: $124,1 \text{ kg/TSM} \times 6.799 \text{ kcal/kg}$, 843.755,9 kcal/TSM.

D. Ön ısıtılmış enjeksiyon kömürü'nün taşıdığı enerji (Duyulur ısısı)

Enjeksiyon kömürü miktarı	: 124,1 kg/TSM (Şekil 4.23),
Enjeksiyon kömürünün sıcaklığı	: 60 °C (Şekil 4.23),
Kömürün spesifik ısısı	: 0,3 kcal/kg °C, Perry H. (1963),
Enj. kömürünün yanmasıyla verilen enerji	: $124,1 \times 0,3 \times (60-25)$, 1.303,1 kcal/TSM.

Hesaplama, kömürün spesifik ısısı Perry J.H., (1963) *Chemical Engineers's Handbook, 4th Edition, Kogakusha Company, Tokyo*'dan alınmıştır.

E. Doğal gaz ile verilen enerji

Doğal gaz miktarı	: 1,378 Sm ³ /TSM (Şekil 4.23),
Doğal gaz kalorisi	: 8.250 kcal/Sm ³ (Şekil 4.23),
Doğal gazın yanmasıyla verilen enerji	: 1,378 Sm ³ /TSM × 8.250 kcal/Sm ³ , 11.368,5 kcal/TSM.

F. Yanma havasının duyulur ısısı

Yanma havası miktarı	: 999 m ³ /TSM (Şekil 4.23),
Yanma havası sıcaklığı	: 1.061 °C (Şekil 4.23),
Yanma havasının spesifik ısısı	: 0,3392 kcal/Nm ³ °C (1061 °C de, Tablo 4.17), 0,3103 kcal/Nm ³ °C (25 °C de, Tablo 4.17),

$Q = m \times c \times \Delta T$ formülünü kullanılarak,

Yanma havasıyla gelen ısı	: 999 Nm ³ × (0,3392 kcal/Nm ³ °C × 1061 – 0,3103 kcal/Nm ³ °C × 25), 351.781,6 kcal/TSM.
---------------------------	---

G. Yanma havasının içerisindeki nem ile gelen enerji

Yanma havası içindeki nem miktarı	: %1,35 (Şekil 4.23),
Yanma havası içindeki su oranı	: 999 m ³ × 0,0135 = 13,5 m ³ ,
Suyun spesifik ısısı	: 0,3973 kcal/Nm ³ °C (1061 °C'de, Tablo 4.17), 0,3418 kcal/Nm ³ °C (25 °C'de, Tablo 4.17),

Nem ile gelen enerji : $13,5 \text{ Nm}^3 \times (0,3973 \text{ kcal/Nm}^3\text{C} \times 1061 - 0,3418 \text{ kcal/Nm}^3\text{C} \times 25),$
5.575,4 kcal/TSM.

H. Cüruf üretimi ile gelen enerji

Cüruf miktarı : 222 kg/TSM,
 Cüruf üretiminde ortaya çıkan spesifik ısı : 140 kcal/kg-cüruf,
 Cüruf üretiminde ortaya çıkan ısı : $222 \times 140,$
31.080 kcal/TSM.

Giren Toplam Enerjiler,

$$\begin{aligned} Q_{GT} &= A + B + C + D + E + F + G + H, \\ &= 2.177.797,5 + 444.112,2 + 843.755,9 + 1.303,1 + 11.368,5 + 351.781,6 \\ &\quad + 5.575,4 + 31.080,0, \\ &= \mathbf{3.806.774,1 \text{ kcal/TSM'dir.}} \end{aligned}$$

Enerji Çıktısı

A. (Fe) Demirin deoksidasyon ısısı ve Diğerleri

Fe_2O_3 , Fe_3O_4 ve FeO 'nun indirgenme reaksiyonları sırasında ihtiyaç duyulan ısı bu kapsamda proses gereği harcanan ısı olarak kabul edilmektedir. Burada harcanan enerji, toplam enerji dengesinde kalan kısım içerisinde kabul edilmiştir.

B. Sıcak Maden içerisindeki Si'nin ısısı

Sıcak maden içindeki Si miktarı : (%0,65 Sıcak Maden Analizi), 6,5 kg,
 Si'nin spesifik ısısı : 6.750 kcal/kg-Si,
 $6,5 \text{ kg} \times 6.750 \text{ kcal/kg Si},$
43.875,0 kcal/TSM.

C. Sıcak maden içerisindeki Mn'nin ısısı

Sıcak maden içindeki Mn miktarı : (%0,53 Sıcak Maden Analizi), 5,3 kg,
 Mn'nin spesifik ısısı : 1.652 kcal/kg-Mn,
 $5,3 \text{ kg} \times 1.652 \text{ kcal/kg Mn},$
8.755,6 kcal/TSM.

D. Sıcak maden içerisindeki P'nin ısısı

Sıcak maden içindeki P miktarı : (%0,1 Sıcak Maden Analizi), 1 kg,
 P'nin spesifik ısısı : 5.966 kcal/kg-P,
 $1 \text{ kg} \times 5.966 \text{ kcal/kg P},$
5.966,0 kcal/TSM.

E. Sıcak madenin duyulur ısısı

Sıcak maden miktarı : 1 ton = 1000 kg,
 Sıcak madenin spesifik ısısı : 0,2055 kcal/kg^{°C} (1475 °C, %4,4 C),
 0,2345 kcal/kg^{°C} (25 °C, %4,4 C),
 Sıcak madenle dışarıya alınan enerji : $1000 \times [(1475 \times 0,2055) - (20 \times 0,2345)],$
297.250,0 kcal/TSM.

F. Yüksek fırın cürufunun duyulur ısısı

Cüruf miktarı : 222 kg/TSM,
 Cürufun spesifik ısısı : 0,273 kcal/kg^{°C} (1575 °C),
 0,185 kcal/kg^{°C} (25 °C),
 Cüruf ile dışarıya alınan enerji : $222 \times [(1575 \times 0,273) - (20 \times 0,185)],$
94.427,7 kcal/TSM.

G. Yüksek fırın gazının duyulur ısısı

Baca gazı miktarı	: 2.065,3 kg YFG/TSM,
Yüksek fırın gazının spesifik ısısı	: 0,251 kcal/kg°C (135 °C) (Tablo 4.23), 0,243 kcal/kg°C (25 °C) (Tablo 4.23),
Yüksek fırın gazının taşıdığı enerji	: $2.065,3 \times [(135 \times 0,251) - (25 \times 0,243)]$, 57.436,0 kcal/TSM.

H. Yanma havasını kurutmak için gerekli ısı miktarı

Yanma havası içerisindeki nem miktarı	: 15,84 g/m ³ ,
Yanma havası miktarı	: 999 m ³ /TSM, $999 \text{ m}^3/\text{TSM} \times 15,84 \text{ g/m}^3$, 15,824 kg/TSM,
Spesifik ısı	: 3.183 kcal/kg H ₂ O,
Nem için harcanan ısı	: $15,824 \times 3.183 \text{ kcal/kg H}_2\text{O}$, 50.367,8 kcal/TSM.

I. Sıvı maden içerisindeki karbonun gizli ısısı

Sıcak maden içerisindeki karbon oranı	: %4,4, 44 kg/TSM,
Karbonun spesifik ısısı	: 8.100 kcal/kg-C,
Sıcak maden içindeki karbonun gizli ısısı	: $44 \text{ kg/TSM} \times 8.100 \text{ kcal/kg-C}$, 356.400,0 kcal/TSM.

İ. Baca gazının taşıdığı gizli ısı

Üretilen yüksek fırın gazı miktarı	: 1.521,6 Nm ³ /TSM,
Yüksek fırın gazının kalorifik değeri	: 878 kcal/Nm ³ ,
Yüksek fırın gazının gizli ısısı	: 1.335.964,8 kcal/TSM.

J. Baca tozunun gizli ısısı (Baca tozu içerisindeki C)

Üretilen baca tozu miktarı : 2.730 ton ; 19,52 kg/TSM,
 Baca tozu içerisindeki C oranı : %33,3,
 $8.100 \text{ kcal/kg-C} \times 19,52 \text{ kg} \times 0,333,$
52.651,3 kcal/TSM.

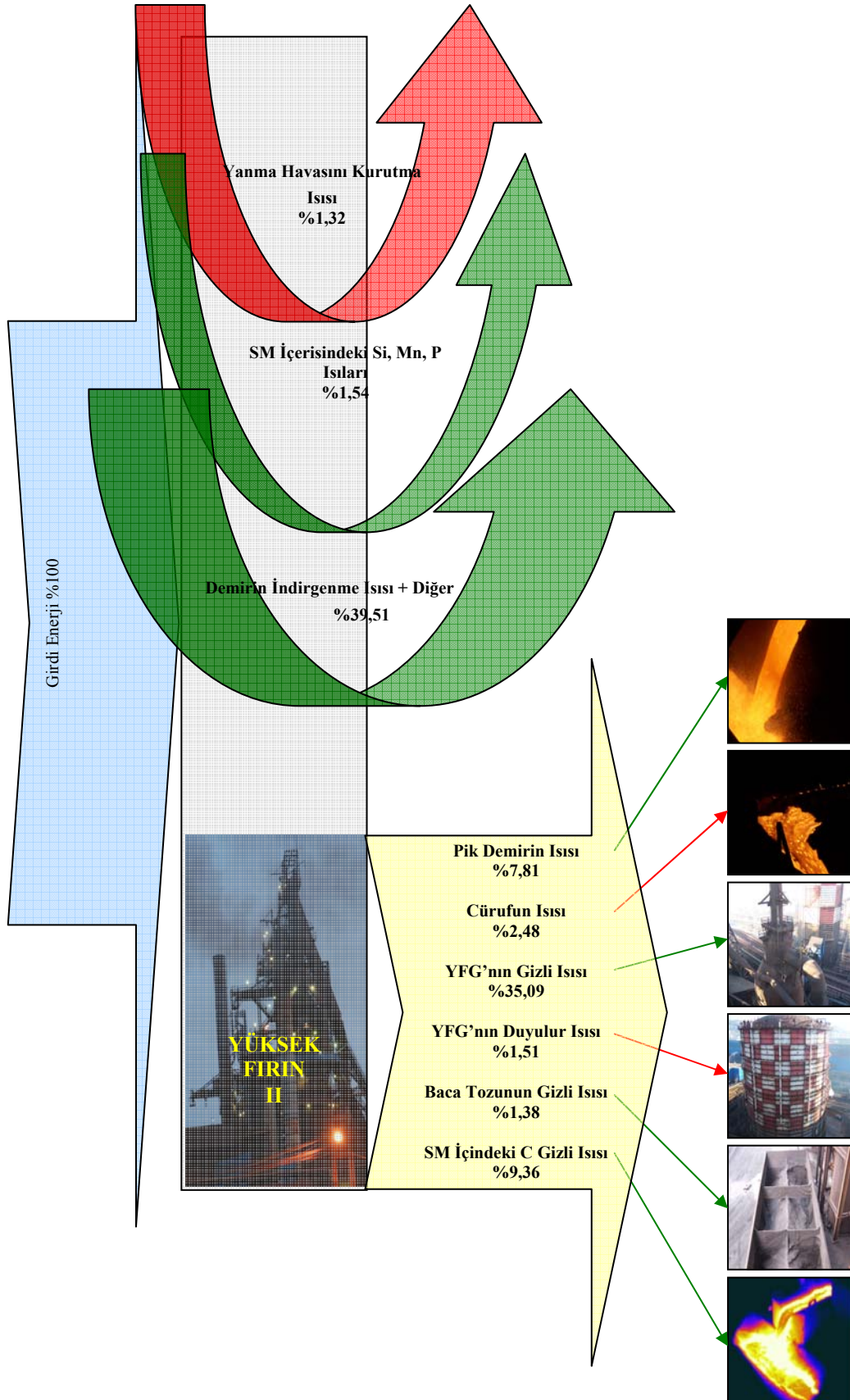
Çıkan Toplam Enerjiler,

$$\begin{aligned}
 Q_{CT} &= A + B + C + D + E + F + G + H + I + \dot{I} + J, \\
 &= 1.503.679,9 + 43.875,0 + 8.755,6 + 5.966,0 + 297.250,0 + 94.427,7 \\
 &\quad + 57.436,0 + 50.367,8 + 356.400,0 + 1.335.964,8 + 52.651,3, \\
 &= \mathbf{3.806.774,1 \text{ kcal/TSM'dir.}}
 \end{aligned}$$

Bu hesaplamalara göre Yüksek Fırın II'ye giren ve çıkan enerjiler bir dengeye getirilerek Tablo 4.24 ve Şekil 4.24'te verilmiştir.

Tablo 4.24. Yüksek fırın II enerji dengesi

Giren Enerji (3.806.774,1 kcal/TSM)	kcal	%
Kokun yanmasıyla prosese giren	2.117.797,5	55,63
Enjeksiyon kömürünün yanmasıyla giren	843.755,9	22,16
İthal kokun yanmasıyla giren	444.112,2	11,67
Yanma havasının duyulur ısısı	351.781,6	9,24
Cüruf üretimi esnasında oluşan enerji	31.080,0	0,82
Doğal gazın yanmasıyla giren	11.368,5	0,30
Yanma havası içindeki nemin duyulur ısısı	5.575,4	0,15
Ön ısıtılmış enj. kömürü'nün taş. en. (Duyulur ısısı)	1.303,1	0,03
Çıkan Enerji (3.806.774,1 kcal/TSM)	kcal	%
Demirin indirgenme ısıları+diğer	1.503.679,9	39,51
Baca gazının (YFG) taşıdığı gizli ısı	1.335.964,8	35,09
Sıvı maden içindeki karbonun gizli ısısı	356.400,0	9,36
Pik demirin duyulur ısısı	297.250,0	7,81
Cürufun duyulur ısısı	94.427,7	2,48
Yüksek fırın gazının duyulur ısısı	57.436,0	1,51
Baca tozunun gizli ısısı	52.651,3	1,38
Yanma havasını kurutmak için gerekli ısı	50.367,8	1,32
Sıcak maden içerisindeki Si'nin ısısı	43.875,0	1,15
Sıcak maden içerisindeki Mn'nin ısısı	8.755,6	0,23
Sıcak maden içerisindeki P'nin ısısı	5.966,0	0,16



Şekil 4.24. Yüksek fırın II' de kazanılabilir enerji dengesi

4.3.2.5 Yüksek Fırın'larda Mevcut Durumda Değerlendirilen Enerji Potansiyeli

Yüksek Fırınlara I ve II için uygulanan denge analizinde, I. Fırının 3.958.873,8 kcal/TSM tüketilen enerji ile 3.806.774,1 kcal/TSM enerji tüketen II. Fırından 152.099,7 kcal/TSM daha fazla enerji kullandığı görülmektedir. Çıkan enerjiler içerisinde; özellikle yüksek fırın gazının duyulur ısısı, yanma havasını kurutmak için gerekli ısı, baca gazının taşıdığı gizli ısı ve baca tozunun gizli ısısının I. fırında daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, hali hazırda değerlendirilen ve değerlendirilmesi muhtemel olan enerji kalemleri her iki fırın için de ortak olarak tespit edilmiştir.

Demirin indirgenme ısısı, proses esnasında gereksinim duyulan enerji ile karbon kaynağı olarak kullanılması gerekli enerji olarak tanımlanmaktadır.

Sıcak madenin içerisindeki Si, Mn ve P ve sıcak madenin duyulur ısıları ise, yüksek fırınlarda üretilip çeliğe dönüştürülmek üzere çelikhaneye gönderilen sıcak madenin, çelik üretim prosesinde gereksinim duyduğu enerji olarak, çelikhanede değerlendirilmektedir.

Baca gazının (yüksek fırın gazı) taşıdığı gizli ısı -bu gazın yüksek fırın gaz deposunda toplanması ve ardından yüksek fırınlar sobalarında, kok fabrikasında ve kuvvet santralinde birincil yakıt ikamesi olarak kullanılması nedeniyle- tekrar değerlendirilen bir enerji olarak kabul edilmektedir. Entegre tesisler, genel olarak, 800-850 kcal/Nm³ kalorifik değere sahip bu gazı, kendi tesislerinde kullandıkları gibi yaptıkları özel anlaşmalarla, tesise yakın enerji üretme tesislerine de satabilmektedirler.

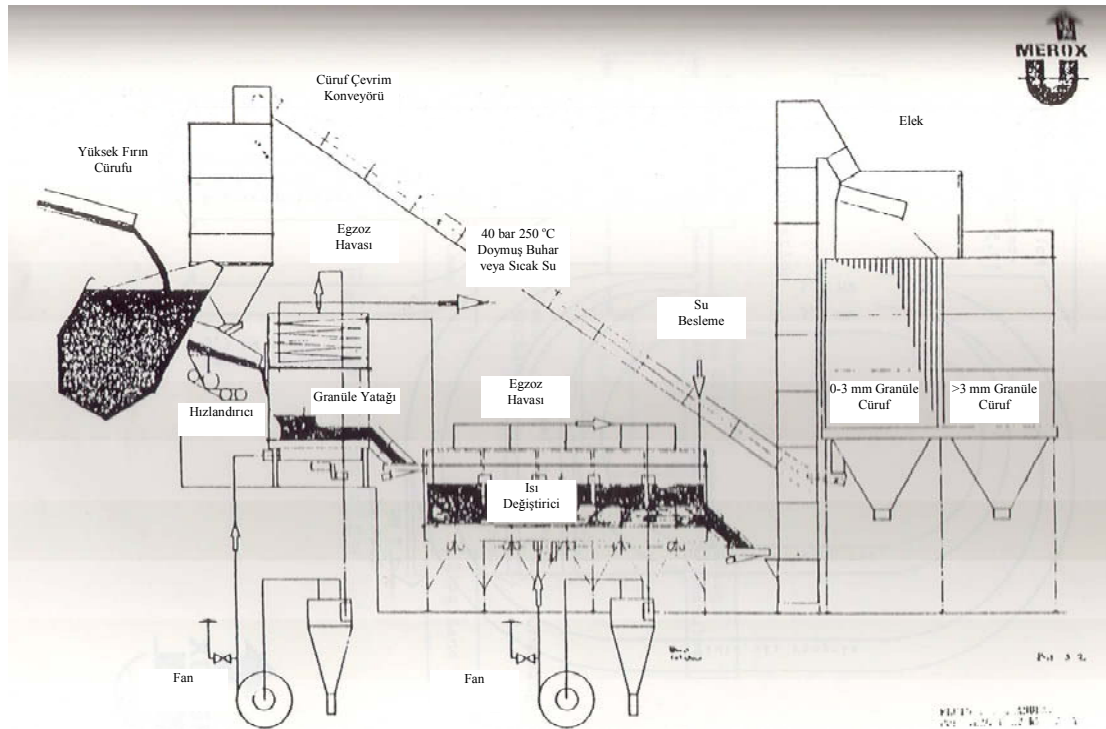
Baca tozunun gizli ısısı, baca tozunun sinter fabrikasında hammadde olarak değerlendirilmesi ve içerisindeki karbonun sinter fırınında yanarak sisteme enerji vermesi nedeniyle değerlendirilen bir enerji olarak kabul edilmektedir.

Sıcak madenin içerisindeki karbonun taşıdığı gizli ısı, demirin çeliğe dönüştüğü çelikhane tesislerinde, proses sonucu oluşan çelikhane gazı bünyesine geçmektedir. 1.500 – 2.000 kcal/Nm³ mertebesinde olan çelikhane gazı ise, yüksek fırın gazı gibi entegre tesislerin birincil yakıt gereksinimini karşılamak üzere değerlendirilmektedir.

4.3.2.6 Yüksek Fırın'lara Önerilen Enerji Tasarrufu Proje ve Önlemleri

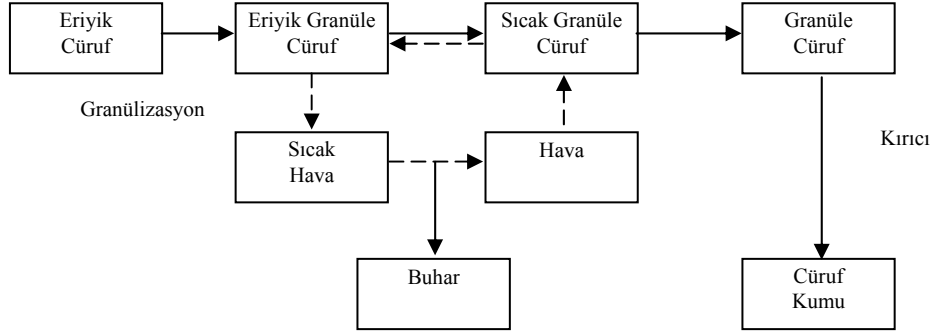
4.3.2.6.1 Cüruf Enerjisinin Geri Kazanılması

Kazanılabilir enerjiler olarak görülen cürufun ve baca gazının (yüksek fırın gazı) duyulur ısıları yüksek fırından çıkan enerjinin I. Fırında %4,65, II. Fırında ise %3,99'luk kısmını oluşturmaktadır. Yüksek fırın cürufunun duyulur ısısından yararlanılması ile ilgili yaygın örnekler bulunmamakla birlikte Şekil 4.25'te verilen tipte tesisler ile enerji kazanımı mümkündür.

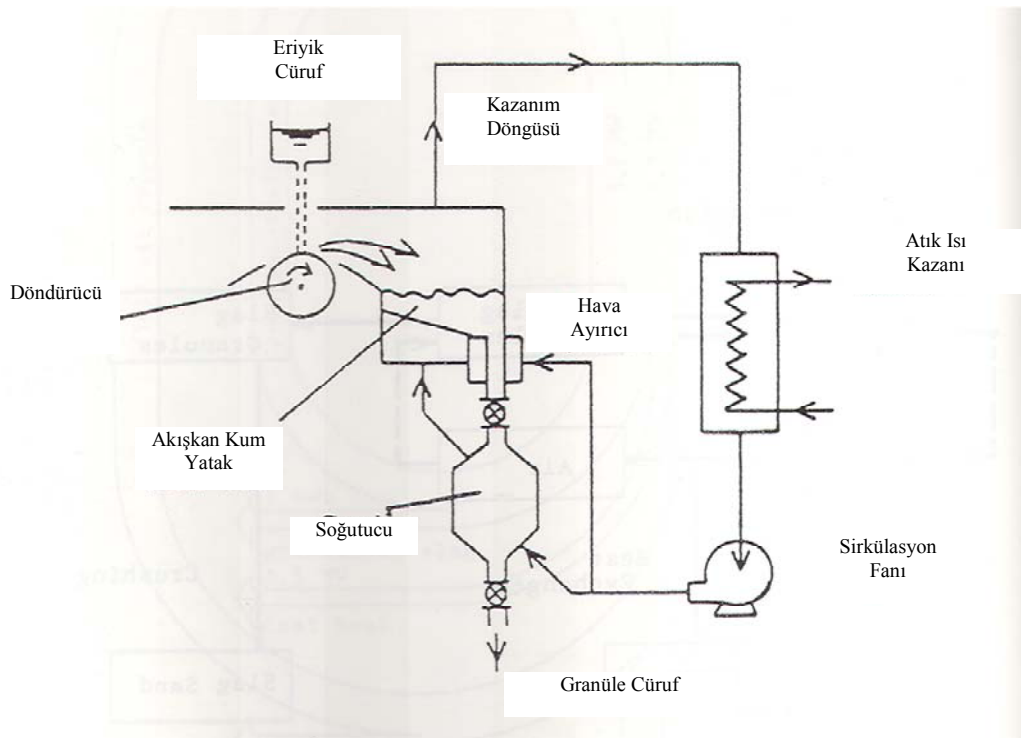


Şekil 4.25. Enerji kazanımlı örnek bir granüle cüruf tesisi (IISI, 1983)

Temel prensip yaş yerine kuru prosesle granüle cüruf oluşturmaktır. Bu prosese ilgili diğer örnekler Şekil 4.26, ve 4.27'de verilmektedir.



Şekil 4.26 Prosesin basit akış şeması (IISI, 1983)

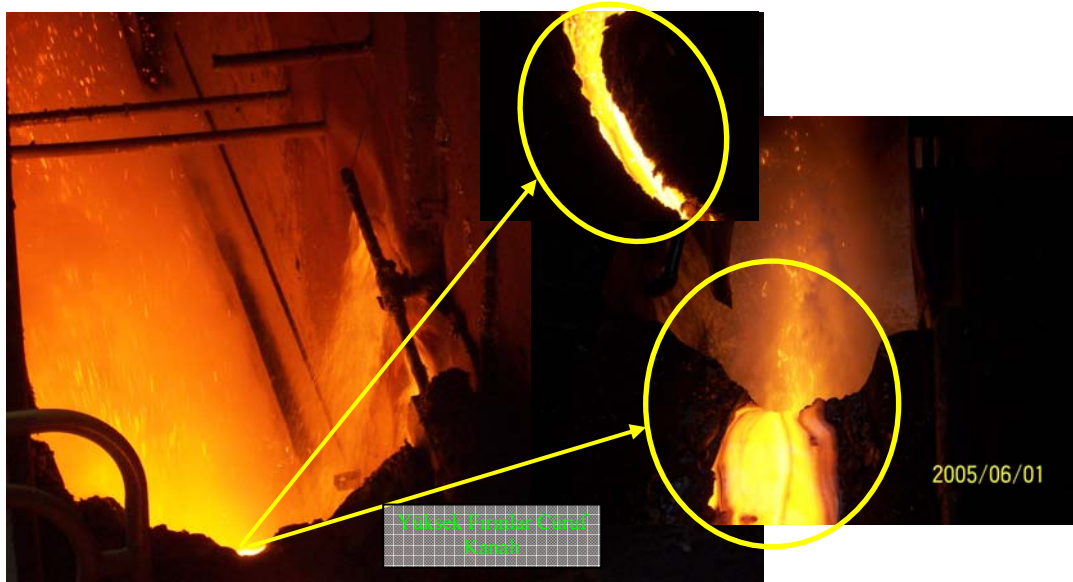


Şekil 4.27. Enerji kazanımlı granüle cüruf tesisine bir başka örnek (IISI, 1982)

Proses, esas olarak, Şekil 4.28’de boş olarak görülen cüruf kanalında, Şekil 4.29’da görüldüğü gibi eriyik haldeki cürufun enerjisini sıcak havaya vermesi ile buhar üretilmesi esasına dayanmaktadır.



Şekil 4.28. Granüle cüruf kanalı (Cüruf akışı yok)



Şekil 4.29. Granüle cüruf kanalı (Cüruf akışı var)

Granüle cüruf oluşturulurken elde edilen bu enerjinin Erdemir Yüksek Fırınları için potansiyel getirisi aşağıda verilmiştir.

I. Yüksek fırın cürufu ile çıkan enerji	: 96.076,6 kcal/TSM,
Yıllık sıcak maden üretimi	: 1.150.000 ton,
Yıllık cürufu ile atılan enerji (ortalama)	: 96.076,6 kcal/TSM $\times$ 1.150.000 ton/yıl,
	110.488.090.000 kcal/yıl,

II. Yüksek fırın cürufıla çıkan enerji	: 94.427,7 kcal/TSM,
Yıllık sıcak maden üretimi	: 1.650.000 ton,
Yıllık cürufıla atılan enerji (ortalama)	: $94.427,7 \text{ kcal/TSM} \times 1.650.000 \text{ ton/yıl}$, 155.805.705.000 kcal/yıl,
Toplam enerji kazanım potansiyeli	: 266.293.795.000 kcal/yıl,

Bu enerjiden %40 verimle kullanılabilir enerji elde edilebileceği kabul edildiğinde;

$$266.293.795.000 \text{ kcal/yıl} \times 0,40,$$

$$106.517.518.000 \text{ kcal/yıl},$$

kullanılabilir enerji tasarruf edilebilir.

Bu enerjiyi elde etmek için;

Doğal gazın kalorisi	: 8.250 kcal/Sm ³ ,
İhtiyaç duyulacak doğal gaz enerjisi	: $106.517.518.000 \text{ kcal} / 8.250 \text{ kcal/Sm}^3$, 12.911.214 Sm³/yıl'dır.

Doğal gazın birim fiyatı	: 0,215 USD/Sm ³ (Nisan 2005),
Kazanımın parasal karşılığı	: 2.775.911 USD/yıl'dır.

TEP olarak elde edilecek tasarruf	: $106.517.518.000 \text{ kcal} / 10.000 \text{ kcal/kg}$, 10.652 TEP/yıl'dır.
-----------------------------------	---

Tahmini CO ₂ azaltımı	: 26.054 ton/yıl CO₂'dir. 1 Sm ³ Doğal Gaz yandığında, 2,018 kg CO ₂ açığa çıkmaktadır. (Erdemir, 2005)
----------------------------------	---

olarak tahmin edilmektedir. Şekil 4.30'da verilen granüle cüruf, çimento sektörü için çok önemli bir hammaddedir ve yüksek fırın prosesinin yan ürünü olarak üretilmektedir. Şekil 4.27'da verilen, cüruftan kazanılabilecek enerji potansiyelini

sağlayacak olan örnek tesis için, pratikte uygulaması bulunan herhangi bir tesise rastlanılmadığından kuruluş maliyeti hakkında bilgi edinilememiştir.

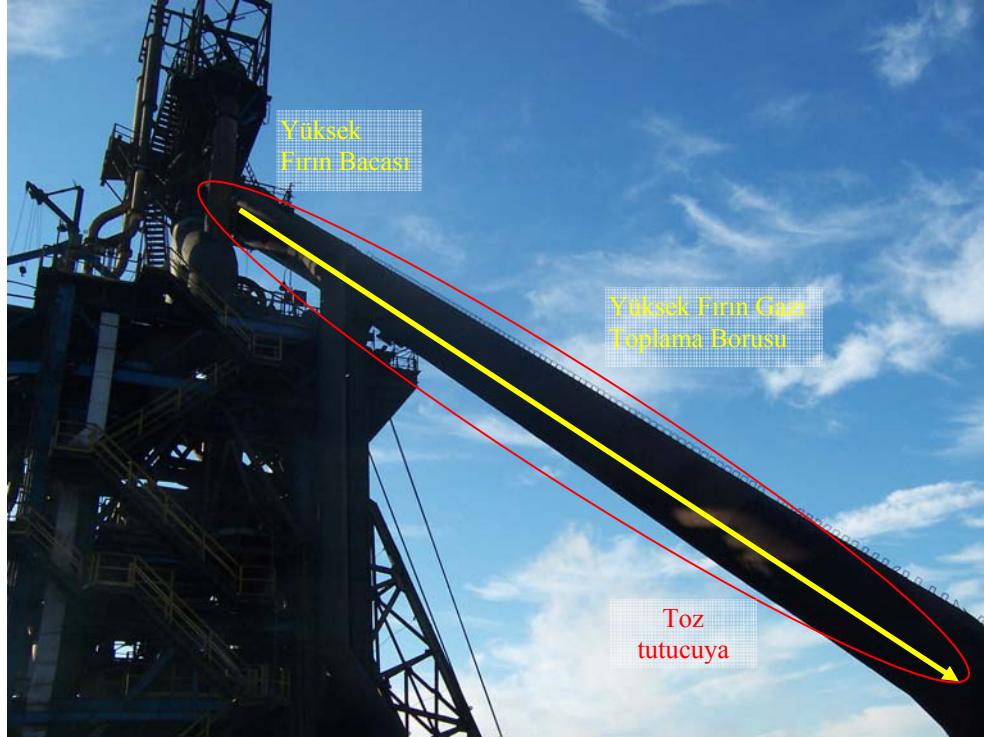


Şekil 4.30. Granüle cüruf sahası

4.3.2.6.2 Yüksek Fırın Gazı Duyulur Isısının Geri Kazanılması

Yüksek Fırınlarda enerji dengesine göre Yüksek Fırın I'den 88.055,1 kcal/TSM, Yüksek Fırın II'den ise 57.436 kcal/TSM kazanılma potansiyeli olan yüksek fırın gazının duyulur ısısından yararlanabilmek, gaz soğutucu ve yıkama sistemlerinden önce kurulacak bir ısı değişiricisi tesisiyle mümkün olabilecektir.

Şekil 4.31'de verilen boru ile Yüksek Fırından çıkan, yüksek fırın gazının duyulur ısısı, yüksek fırın cürufuna göre düşüktür ($100\text{ }^{\circ}\text{C} - 180\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ancak ortaya çıkan yıllık yaklaşık 4,5 milyar Nm^3 gaz miktarının büyüklüğü, düşük sıcaklığa rağmen kazanılabilir enerji potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır.

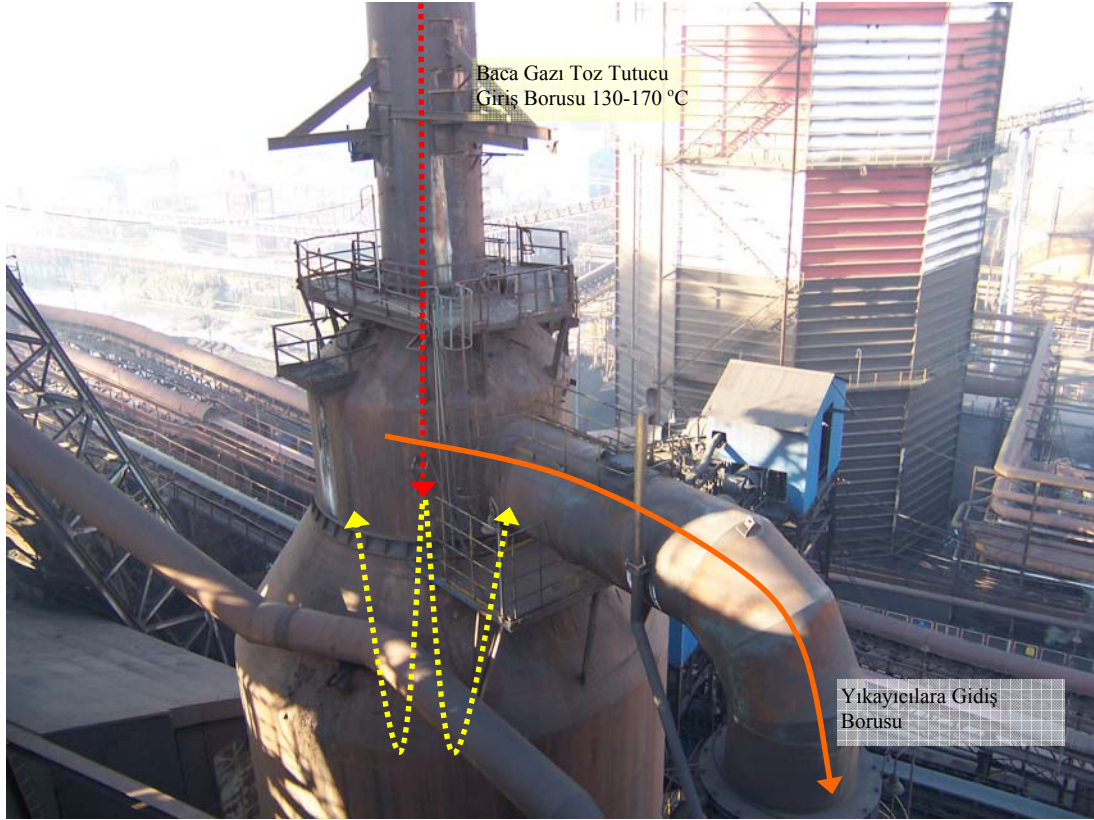


Şekil 4.31. Yüksek Fırınlarda baca gazı (YFG) toplama sistemi ve ana toplayıcı boru

Bacadan çıkan gaz, Şekil 4.32’de verilen toz tutucuya yönelmekte devamında ise Şekil 4.33’de verilen yıkayıcılarda gaz sıcaklığından ve ihtiva ettiği tozdan arındırılarak sisteme gönderilmektedir.

Bu miktarda yüksek fırın gazı duyulur ısısından yararlanılarak geri kazanılabilecek enerji değerlendirilerek sıcak su üretimi yapılsa, aynı enerjiyi birincil bir yakıt kullanarak elde etmek için harcanabilecek paradan elde edilebilecek kazanç aşağıda verilmiştir.

I. YF baca gazıyla çıkan enerji	: 85.055,1 kcal/TSM (duyulur Isı),
Yıllık sıcak maden üretimi	: 1.150.000 ton,
Yıllık YFG atılan enerji (ortalama)	: $85.055,1 \text{ kcal/TSM} \times 1.150.000 \text{ ton/yıl}$, 97.813.365.000 kcal/yıl’dır.



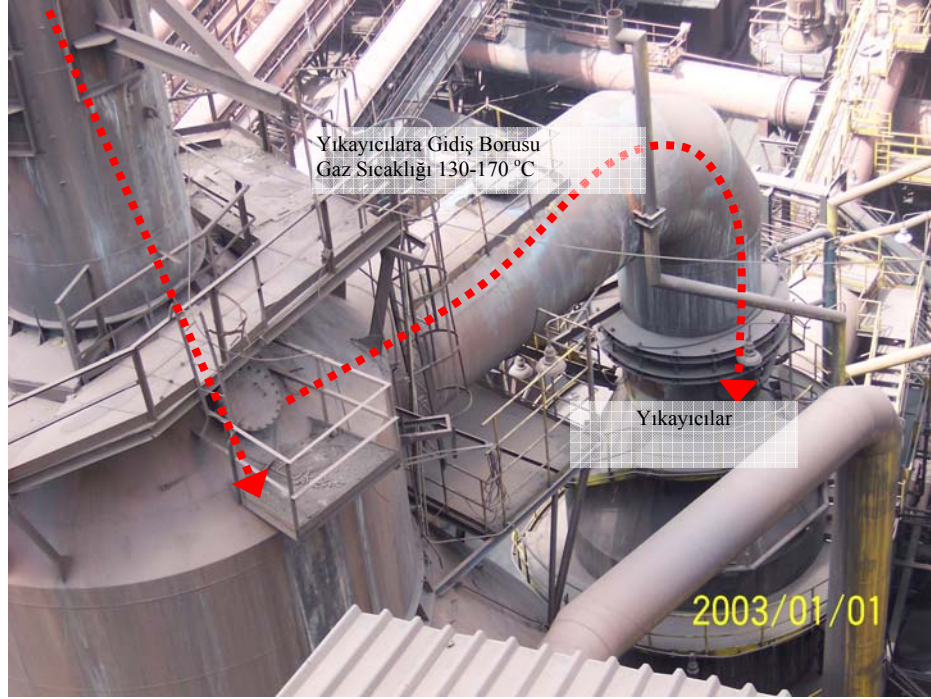
Şekil 4.32. Yüksek fırınlar baca gazı toz tutma sistemi

II. Yüksek fırın gazıyla çıkan enerji	: 57.436 kcal/TSM,
Yıllık sıcak maden üretimi	: 1.650.000 ton,
Yıllık YFG ile atılan enerji (Ortalama)	: $93.933 \text{ kcal/TSM} \times 1.650.000 \text{ ton/yıl}$,
	94.769.400.000 kcal/yıl,
Toplam Enerji Kazanım Potansiyeli	: 192.582.765.000 kcal/yıl'dır.

Bu enerjiden %40 verimle kullanılabilir enerji elde edilebileceği kabul edildiğinde;

$$192.582.765.000 \text{ kcal/yıl} \times 0,40,$$

$$77.033.106.000 \text{ kcal/yıl},$$



Şekil 4.33. Yüksek fırın baca gazı yıkayıcıları

Bu enerjiyi elde etmek için;

Doğal gazın kalorisi : 8.250 kcal/Sm³,
 İhtiyaç duyulacak doğal gaz enerjisi : 77.033.106.000 kcal / 8.250 kcal/Sm³,
9.337.346 Sm³/yıl'dır.

Doğal gazın birim fiyatı : 0,215 USD/Sm³ (Nisan 2005),

Kazanımın parasal karşılığı : **2.007.529 USD/yıl'dır.**

Tahmini CO₂ azaltımı : **19.421 ton/yıl CO₂'dir.**

TEP olarak elde edilecek tasarruf : 77.033.106.000 kcal / 10.000 kcal/kg,
7.703 TEP/yıl'dır.

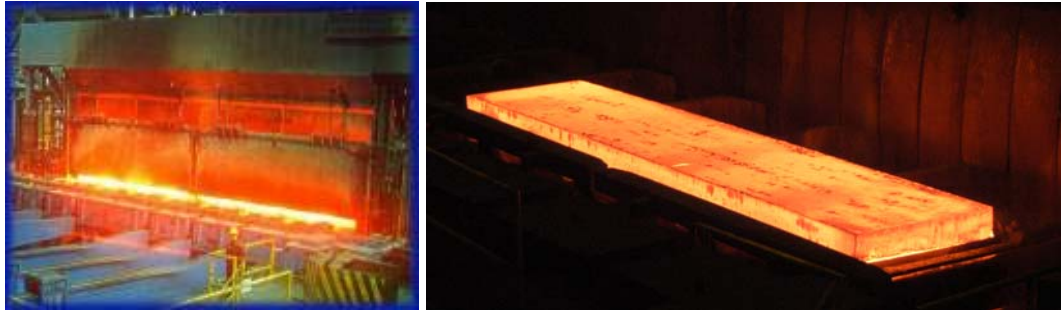
Yüksek fırın gazının duyulur ısıyla geri kazanılabilecek bu enerjiyi, birincil enerji kaynaklarını kullanarak elde etmek için 2.007.529 USD/yıl bir yakıt maliyeti gerekecektir. Böyle bir potansiyel görülmekle beraber bu potansiyelden yararlanılarak üretilebilecek -buhar veya sıcak su gibi- kullanılabilir ısı kaynaklarının da ihtiyaç ve kullanım analizlerinin yapılması gerekmektedir.

4.3.3 Slab Fırınları

Sıcak haddehaneyi besleyen iki adet slab ısıtma fırını vardır. Bu fırınlar itici tip fırınlar olup, her biri 318 ton/saat kapasitelidir. Üretim planlama birimi tarafından haddelenmek üzere programlanan slablar her iki fırına slab iticiler tarafından şarj edilir. Slab fırınlarında yaklaşık 1250 °C'ye kadar tavlanan slablar, slab alıcılar tarafından haddelenmek üzere hatta alınır.

Entegre demir-çelik tesislerinde sürekli dökümden çıkan yarı mamuller haddeleme öncesi stok sahasında üretim planına göre istiflenmektedir. Burada daha önce kalite kontrol işleminden geçen slab, blum vs., gerekirse yüzey bozukluklarının giderilmesi için skarf denilen işleme tabi tutulmaktadır. Buradan da haddeleme işlemi öncesi, her çelik kalitesine göre belirlenen haddeleme sıcaklığına ulaşabilmek için slab fırınlarına şarj edilmektedir.

Malzeme, slab fırınlarına, genel olarak soğuk (atmosfer sıcaklığı), ılık (150 °C – 500 °C) ve sıcak (500 °C ve üstü) olarak girmekte, diğer taraftan Şekil 4.34'te verildiği gibi haddeleme sıcaklığına (1150 °C – 1250 °C) ulaşmış durumda çıkmaktadırlar.



Şekil 4.34. Slab fırınları çıkış tarafı ve ısıtılmış slab

Slab fırınları brülörlerinde temel yakıt olarak entegre tesislerin bir yan ürünü olan kok gazı, uygun sistemlerin kurulu olmasıyla beraber karıştırma istasyonundan gelen doğal gaz – yüksek fırın gazı karışımı ve çelikhane gazı karışımı kombinasyonlarını kullanmaktadır. Bunun yanı sıra, sadece doğal gaz ve/veya fuel oil kullanan slab fırınları da mevcuttur. Farklı yakma bölgelerinde bulunan brülörler fırının

kapasitesine bağı olarak 3 veya 5 bölgede olabilmektedir. Haddelme için yüksek sıcaklıklara maruz kalan slab fırınlarının iç bölgeleri refrakter malzemelerle örülmüş veya sıvanmış olup, malzemelerin hareket ettiği, içinden soğutma suyu geçen, dış tarafı izoleli borular bulunmaktadır. Bu boruların üzerinde özel içerikli malzemeler kullanılmakta, slablar bu malzemeler üzerinde hareket etmektedir.

4.3.3.1 Slab Fırını II Enerji Denge Analizi Hesaplamaları

Bölüm 3'te yapılan tesis seçimi analizinde % 3,03'le denge analizi uygulanacak tesisler içerisinde yer alan 2. slab fırınına 2005 Şubat ayında elde edilen verilerle denge analizi uygulanmıştır.

Uygulanan analiz sonucunda giren enerjinin 317.559 kcal/TÜ (Ton Ürün), çıkan enerjinin ise 358.379 kcal/TÜ olduğu tespit edilmiştir. Enerjinin korunumu yani giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması zorunluluğu nedeniyle yapılan bu analiz sonucu değerler birbirinden çok farklı büyüklükler göstermiştir. 2005 Ocak ve 2005 Mart ayları içinde analiz tekrarlanmış ancak toplanan verilerle aynı sapmalı sonucun elde edildiği gözlenmiştir. İşletmeden elde edilen verilerin doğruluğu sorgulandığında ortalama 771 °C olan baca gazı sıcaklığının reküperatör sonrası 534 °C'ye düştüğü, ancak, baca gazıyla ısıtılan yanma havasının ise 347 °C olduğu gözlemlenmiştir. Ölçümler tekrarlanmasına rağmen benzer sonuçlar alınmış, ölçüm yapılan ısı ölçüm cihazlarının yanlış değer verdiği tespit edilmiştir. Modernizasyon kapsamında olan bu tesiste gerekli düzenlemeler ve cihaz değişimleri yapılması planlandığından çalışma kapsamı dışında bırakılması kararlaştırılmıştır.

Esas olarak 3. slab fırını ile benzer özellikler gösteren bu tesisin modernizasyon çalışmalarından sonra elde edilebilecek sağlıklı verilerle, benzer şekilde enerji denge analizine tabi tutulması mümkün olabilecektir.

4.3.3.2 Slab Fırını III Enerji Denge Analiz Hesaplamaları

4.3.3.2.1 III Nolu Slab Fırının Tanıtımı

Fırın bölgesinde ana olarak slab itici, slab alıcı ve iki adet de itici tip slab ısıtma fırını mevcuttur. Bu bölge 2. sıcak haddehanenin başlangıcı olup, slabların sıcak haddelenmesi için gerekli olan ısıtma işleminin yapıldığı kısımdır. Slab itici yardımı ile fırına itilen slablar fırın içinde 2-3 saatte yaklaşık 1250 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra slab alıcılar vasıtasıyla fırından çıkarılır. Daha sonra haddelenmek üzere merdaneli masalar ile ön hadde bölgesine sevk edilir. Fırın bölgesinde bulunan kısımlar şunlardır:

- Slab itici,
- Slab alıcı,
- 3. slab fırınıdır.

3. slab fırını 1991 yılında devreye girmiş olup yakıt olarak genelde doğal gaz kullanılmaktadır. İtici tip fırınlar kategorisinde yer alan fırın, 5 ısıtma bölgeli olup ana özellikleri ve tam kapasitede yakıt kapasitesi ile kullanılan yakıtlar Tablo 4.25'te verilmiştir.

Tablo 4.25. 3. Slab fırınının özellikleri (Erdemir, 2003)

Isıtma kapasitesi (ton/saat)		320
Fırın iç genişliği (m)		13,2
Fırın içi uzunluğu (m)		33,1
Isıtma bölgesi yüksekliği (m)		5,8
Yakma kapasitesi	Toplam yakıt (kcal/saat)	157.767
	Fuel oil (kcal/saat)	15.086
	Doğal gaz (kcal/saat)	16.901
	Yakma havası (m ³ /saat)	195.520

Şekil 4.35’te verilen 3. Slab fırınında bulunan brülörler 4 tipte sınıflandırılabilir.

Yan Brülörler: Alev boyu ayarlanabilen tip olan bu brülörlerden ön ısıtma alt ve üst kısımlarda toplam 14 adet bulunmaktadır.

Alın Brülörleri: Uzun alev tipli olan bu brülörlerden alt ve üst ana ısıtma bölgelerinde toplam 18 adet bulunmaktadır.

Tavan Brülörleri: Cehennemlik tavanında toplam 32 adet bulunmaktadır.

Hauck Brülör: Kısa alev tipi olan bu brülörlerden slab alıcı kanallarında toplam 6 adet bulunmaktadır.



Şekil 4.35. 3. Slab fırını yanma brülörleri

Diğer yandan fırının çeşitli bölgelerindeki brülör sayıları ve bölgelerin ısı kapasiteleri Tablo 4.25 ve Tablo 4.26’da, fırının bölgelerine göre ısıtma kapasiteleri ise Tablo 4.27’de verilmektedir.

Tablo 4.26. 3. Slab fırını brülör sayıları (Erdemir, 2003)

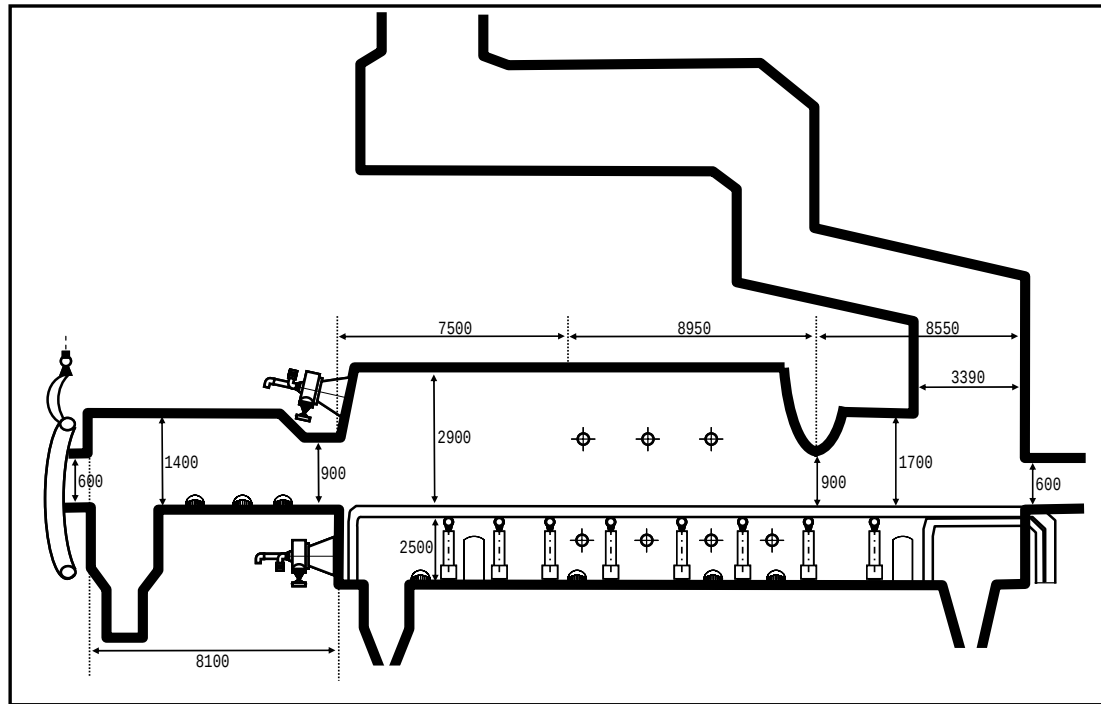
Bölge	Brülör Sayısı
Ön Isıtma (Üst)	6
Ön Isıtma (Alt)	8
Ana Isıtma (Üst)	8
Ana Isıtma (Alt)	10
Cehennemlik	38

Tablo 4.27. 3. Slab fırını bölgelere göre ısıtma kapasiteleri (Erdemir, 2003)

Bölge	Isı Kapasitesi Mcal/saat	Bölge	Isı Kapasitesi Mcal/saat
1	37.354	5	9.581
2	45.370	6	3.500
3	29.988	7	1.668
4	30.306	Toplam	157.767

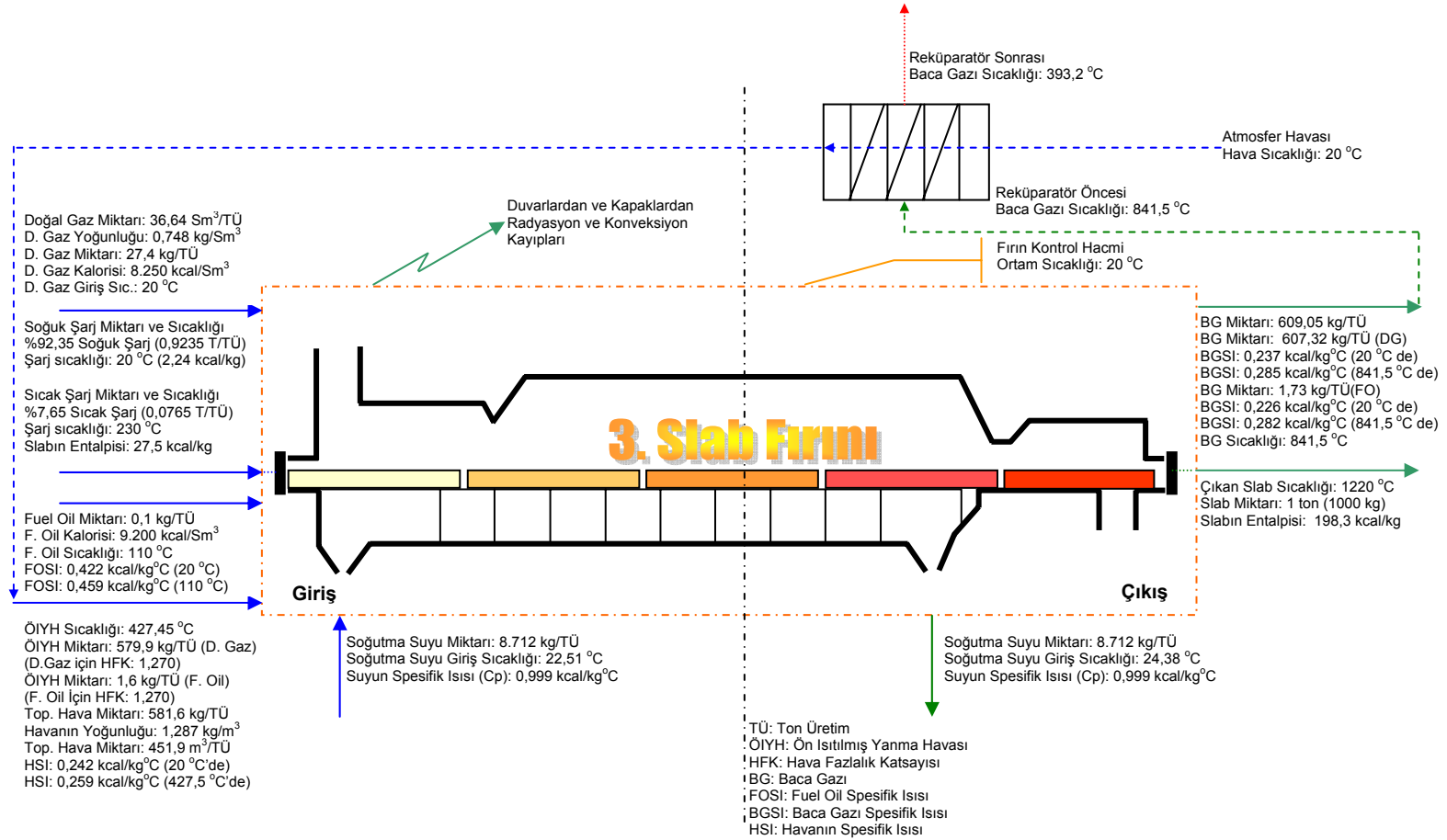
4.3.3.2.2. III. Slab Fırının İşletme Verileri ve Denge Analizi

Erdemir’de 2003 yılı değerlerine göre kullanılan toplam enerjinin % 3,04’ünü 3. slab fırını tüketmektedir. Kesit görünüşü ölçüleriyle birlikte Şekil 4.36’da verilen slab fırını, Erdemir 2. Sıcak Haddehanesinin önemli tesislerinden birisidir.



Şekil 4.36. 3. Slab fırınının ölçüleri (Erdemir, 2003)

Veri toplanan aylar içerisinde, slab fırınında en istikrarlı işletme şartlarının 2005 Şubatında gerçekleştiği görülmüş ve bu ayda 2 günlük bir duruş yaşamıştır. Süreklilik arz eden bir prosese sahip olan slab fırınında enerji denge analizi 1 ton ısıtılmış slab başına yapılmıştır. Toplanan verilerden elde edilen ortalama analiz değerleri Şekil 4.37.’de özetlenerek verilmiştir.



Şekil 4.37. Slab fırını III enerji dengesi (Şubat 2005 değerleri ile)

3. Slab fırınında ana yakıt olarak doğal gaz kullanılmaktadır. Analizin yapıldığı ayda, o aya özgü olmak üzere bir miktar fuel oil kullanılmış ve bu yakıtın etkisi de hesaplamalara dahil edilmiştir. Kullanılan doğal gaz ve fueloilin kimyasal bileşimleri ve alt ısı değerleri Tablo 4.28 ve Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.28. Doğal gazın kimyasal bileşimi

DOĞAL GAZ					
Bileşenler	% Hacimsel	Alt Kalorifik Değer kcal/Nm ³	Üst Kalorifik Değer kcal/Nm ³	Alt Kalorifik Değer kcal/Sm ³	Üst Kalorifik Değer kcal/Sm ³
CH ₄	0,9600	8.208	9.117	7.781	8.643
C ₂ H ₆	0,0200	304	333	289	316
C ₃ H ₈	0,0074	161	175	153	166
N ₂	0,0046	-	-	-	-
CO ₂	0,0040	-	-	-	-
O ₂	0,0030	-	-	-	-
n-C ₄ H ₁₀	0,0010	28	31	27	29
H ₂	0,0000	0	0	0	0
C ₅ H ₁₂	0,0000	0	0	0	0
TOPLAM	1,0000	8.703	9.656	8.250	9.154

Tablo 4.29. Fueloilin kimyasal bileşimi

FUEL OIL			
Bileşim	% Kütlesel	Alt Isıl Değer kcal/Kg	Üst Isıl Değer kcal/Kg
C	0,8700	6.810	6.810
H ₂	0,0800	2.294	2.715
S	0,0440	97	97
O ₂	0,0050	-	-
N ₂	0,0010	-	-
TOPLAM	1,0000	9.200	9.622

Slab fırını prosesine giren ve çıkan enerjilerin eşitlenmesi ile enerji kayıp ve kaçaklarının tespit edilmesini sağlayacak analizde, Binran T. (1980) tarafından verilen ve enerjinin büyük bir kısmının geçtiği slabın farklı sıcaklıklardaki entalpisi Tablo 4.30’da, fuel oilin değişik sıcaklıklardaki entalpisi Tablo 4.31’de verilmiştir.

Tablo 4.30. Slabın entalpisi (Binran T., 1980 ve Komiyama S., Kişisel İletişim, 2003)

Sıcaklık °C	Entalpi (kcal/kg)	Sıcaklık °C	Entalpi (kcal/kg)	Sıcaklık °C	Entalpi (kcal/kg)
0	0	550	74,3	1220	198,3
20	2,2	600	83,2	1250	203
50	5,6	650	92,6	1300	211
100	11,4	700	102,8	1350	219,1
150	17,4	750	116,4	1400	227,3
200	23,6	800	127,9		
220	26,2	850	138,2		
230	27,5	900	147,9		
250	30,1	950	155,7		
300	36,7	1000	163,5		
350	43,5	1050	171,4		
400	50,6	1100	179,3		
450	58,1	1150	187,2		
500	66	1200	195,1		

Tablo 4.31. Fueloilin spesifik ısısı (Binran T., 1980 ve Komiyama S., Kişisel İletişim, 2003)

Sıcaklık °C	Spesifik Isı (kcal/kg°C)
0	0,413
20	0,422
30	0,426
60	0,438
90	0,451
120	0,463
110	0,459
150	0,476

Slab fırını içerisinde fuel oil ve doğal gazın yanması sonucu oluşan baca gazı miktarları ise Tablo 4.32 ve Tablo 4.33’de ayrı ayrı özetlenmiştir.

Tablo 4.32. Doğal gazın yanma reaksiyonları

				HAVA FAZLALIK KATSAYISI % X 100	0,270	0,270										KG BACA GAZI/KG YAKIT
YAKIT				REAKSİYON	HAVA (KMOL)		ÜRÜNLER (KMOL)						KÜTLE DENGESİ			
					O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SO ₂	TOPLAM	YAKIT	HAVA	ÜRÜNLER	
	BİLEŞİM	% KÜT.	KG/KMOL		32	28	44	18	32	28	64		KG			
DOĞAL GAZ	CH ₄	0,9600	16	CH ₄ + 2O ₂ + 2(79/21)N ₂ = CO ₂ + 2H ₂ O + 2(79/21) N ₂	2,4375	9,1697	0,9600	1,9200	0,5175	9,1697		12,5672	0,748	15,828	16,58	22,17
	C ₂ H ₆	0,0200	30	C ₂ H ₆ + 7/2O ₂ + 7/2(79/21)N ₂ = 2CO ₂ + 3H ₂ O + 7/2(79/21) N ₂	0,0889	0,3343	0,0400	0,0600	0,0189	0,3343		0,4532			16,58	
	C ₃ H ₈	0,0074	44	C ₃ H ₈ + 5O ₂ + 5(79/21)N ₂ = 3CO ₂ + 4H ₂ O + 5(79/21)N ₂	0,0470	0,1767	0,0222	0,0296	0,0100	0,1767		0,2385				
	N ₂	0,0046	28	N ₂ = N ₂		0,0000				0,0046		0,0046				
	CO ₂	0,0040	44	CO ₂ = CO ₂		0,0000	0,0040			0,0000		0,0040				
	O ₂	0,0030	32	O ₂ = O ₂		0,0000			0,0030			0,0030				
	C ₄ H ₁₀	0,0010	58	C ₄ H ₁₀ + 6.5O ₂ + 6.5(79/21)N ₂ = 4CO ₂ + 5H ₂ O + 6.5(79/21)N ₂	0,0083	0,0310	0,0040	0,0050	0,0018	0,0310		0,0418				
	C ₅ H ₁₂	0,0000	72	C ₅ H ₁₂ + 8O ₂ + 8(79/21)N ₂ = 5CO ₂ + 6H ₂ O + 8(79/21)N ₂	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000		0,0000				
	TOPLAM	1,0000			2,5816	9,7117	1,0302	2,0146	0,5511	9,7163	0,0000	13,31224				
					12,29334		0,0774	0,1513	0,0414	0,7299	0,0000	1,0000				

Tablo 4.33. Fueloilin yanma reaksiyonları

				HAVA FAZLALIK KATSAYISI % X 100	0,270	0,270										KG BACA GAZI/ KG YAKIT
YAKIT				REAKSİYON	HAVA (KMOL)		ÜRÜNLER (KMOL)					KÜTLE DENGESİ				
					O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	O ₂	N ₂	SO ₂	TOPLAM	YAKIT	HAVA	ÜRÜNLER	
					32	28	44	18	32	28	64		KG			
FUEL OİL	C	0,870	12	C + O ₂ + 1(3.76) N ₂ = CO ₂ + 3.76 N ₂	2,0558	7,7337	1,6238		0,4320	7,7337	0,0000	9,7896	1,00	16,32	17,32	17,32
	H ₂	0,080	2	H ₂ + 1/2O ₂ + 1/2 (3.76)N ₂ = H ₂ O + 1.88N ₂	0,5672	2,1337		0,8960	0,1192	2,1337	0,0000	3,1489			17,32	
	S	0,044	32	S + O ₂ + 1(3.76)N ₂ = SO ₂ + 3.76N ₂	0,0390	0,1467			0,0082	0,1467	0,0308	0,1857				
	O ₂	0,005	32	O ₂ = O ₂					0,0035	0,0000	0,0000	0,0035				
	N ₂	0,001	28	N ₂ = N ₂		0,0000				0,0009	0,0000	0,0009				
	TOPLAM	1,000			2,6620	10,0141	1,6238	0,8960	0,5629	10,0150	0,0308	13,1285				
					12,676		0,1237	0,0682	0,0429	0,7628	0,0023	1,0000				

Enerji Girdisi

A. Doğal gazın yanmasıyla giren enerji

Kullanılan doğal gaz miktarı	: 36,64 Sm ³ /TÜ (ton ürün: ton ısıtılmış slab), (Şekil 4.37),
Doğal gazın kalorisi	: 8.250 kcal/Sm ³ (Tablo 4.28),
Doğal gazın yanmasıyla fırına verilen enerji	: 36,64 Sm ³ /TÜ × 8.250 kcal/Sm ³ , 302.280,0 kcal/TÜ.

B. Fueloilin yanmasıyla giren enerji

Kullanılan fueloil miktarı	: 0,1 kg/TÜ (Şekil 4.37),
Fuel oilin kalorisi	: 9.200 kcal/kg (Tablo 4.29),
Fuel oilin yanmasıyla fırına verilen enerji	: 0,1 kg/TÜ × 9.200 kcal/kg, 920,0 kcal/TÜ.

C. Sıcak şarj ile giren enerji

2005 Şubat verilerine göre, ay içerisinde 3. slab fırınına beslenen ortalama 1 ton slab'ın %7,65'i (76,5 kg) ortalama 230 °C sıcaklıkta şarj edilmiştir. Fırına beslenen slabların ortam sıcaklığının üstünde (döküm çıkışı), mümkün olan en yüksek sıcaklıkta şarj edilmesi fırınların enerji verimliliğini arttırmaktadır. Mevcut durumda 1 ton başına %92,35 (923,5 kg) ise atmosfer sıcaklığında verildiğinden fırına enerji taşımamaktadır.

Yapılan sıcak şarj miktarı	: 76,5 kg/TÜ (Şekil 4.37),
Sıcak olarak şarj edilen slab sıcaklığı	: 230 °C (Şekil 4.37),
Slabın entalpisi	: 2,2 kcal/kg (20 °C'de, Tablo 4.30), 27,5 kcal/kg (230 °C'de Tablo 4.30),
Sıcak şarj ile fırına verilen enerji	: 76,5 kg/TÜ × (27,5-2,2) kcal/kg, 1.935,5 kcal/TÜ.

D. Yanma havası ile giren enerji

III. Slab fırınında bulunan reküparatör sayesinde bacadan çıkan ortalama 841,5 °C'deki atık gazlar, atmosfer sıcaklığında fırına girecek olan yanma havasına ısı transfer etmeleri sonucunda 393,2 °C gazlar olarak havaya atılmaktadır. Atmosfer sıcaklığı (20 °C) yerine 427,45 °C'de fırına giren yanma havası ise daha az yakıt tüketilmesini sağlamaktadır.

Yanma havası miktarı	: 581,6 kg/TÜ (Şekil 4.37),
Yanma havası sıcaklığı	: 427,45 °C (Şekil 4.37),
Havanın spesifik ısısı	: 0,242 kcal/kg°C (20 °C de, Tablo 4.34), 0,259 kcal/kg°C (427,5 °C de, Tablo 4.35),
Ön ısıtılmış yanma havasıyla giren enerji	: $581,6 \text{ kg/TÜ} \times (427,5 \text{ °C} \times 0,259 \text{ kcal/kg°C} - 20 \text{ °C} \times 0,242 \text{ kcal/kg°C})$, 61.581,3 kcal/TÜ.

Hesaplamalarda kullanılan yanma havası ve baca gazının spesifik ısıları Bölüm 2'de, verilen gazların spesifik ısıları tablosundan (Tablo 2.2) yararlanılarak hesaplanmıştır. 3. slab fırınındaki şartlara bağlı olarak yanma havası için elde edilen değerler Tablo 4.34 ve Tablo 4.35'de verilmiştir.

Tablo 4.34. Havanın spesifik ısısı (20 °C’de)

GAZLARIN SPESİFİK ISILARI						
GAZLAR		C_p (kj/kg-°K)	C_p (kCal/kg-°K)	C_p (kcal/KMol-°K)		
	N ₂	28	1,0406	0,2485	6,9581	
	O ₂	32	0,9225	0,2203	7,0496	
	H ₂	2	14,1496	3,3789	6,7579	
	NO	30	0,9386	0,2241	6,7241	
	OH	17	1,6781	0,4007	6,8124	
	CO	28	1,0426	0,2490	6,9715	
	H ₂ O	18	1,8722	0,4471	8,0476	
	CH ₄	16	2,2419	0,5354	8,5658	
	CO ₂	44	0,8340	0,1992	8,7635	
	NO ₂	48	0,8043	0,1921	9,2187	
	C ₂ H ₄	28	1,5275	0,3648	10,2134	
	C ₂ H ₆	30	1,7344	0,4142	12,4254	
	C ₃ H ₈	44	1,6445	0,3927	17,2789	
	C ₄ H ₁₀	58	1,6836	0,4021	23,3190	
Sıcaklık °K		293	2,93		C _p Hava=	0,242 kcal/Kg-°K
Sıcaklık °C		20				

Tablo 4.35. Havanın spesifik ısısı (427,5 °C’de)

GAZLARIN SPESİFİK ISILARI						
GAZLAR		C_p (kj/kg-°K)	C_p (kCal/kg-°K)	C_p (kcal/KMol-°K)	Havanın Spesifik Isısı	
	N ₂	28	1,1021	0,2632		7,3694
	O ₂	32	1,0313	0,2463		7,8805
	OH	17	1,6513	0,3943		6,7037
	H ₂	2	14,5661	3,4784		6,9568
	NO	30	1,0037	0,2397		7,1902
	CO	28	1,1177	0,2669		7,4731
	H ₂ O	18	2,0850	0,4979		8,9620
	CO ₂	44	1,1249	0,2686		11,8199
	NO ₂	48	1,0429	0,2491		11,9546
	CH ₄	16	3,6030	0,8604		13,7665
	C ₂ H ₄	28	2,7666	0,6607		18,4984
	C ₂ H ₆	30	3,2886	0,7853		23,5597
	C ₃ H ₈	44	3,2461	0,7752		34,1069
	C ₄ H ₁₀	58	3,2011	0,7644		44,3359
Sıcaklık °K		700,5	C _p Hava= 0,259 kcal/Kg-°K			
Sıcaklık °C		427,5				

E. Fuel oilin taşıdığı duyulur ısı

Fırınlara yakıt olarak şarj edilen fuel oil, akışkanlığı arttırmak için ısıtılarak verilmektedir. Buharla 110 °C’ye kadar ısıtılan fuel oil taşıdığı bu duyulur ısıyı da fırına taşımaktadır.

Kullanılan fueloil miktarı	: 0,1 kg/TÜ,
Fuel oilin spesifik ısısı	: 0,422 kcal/kg°C (20 °C de, Tablo 4.31), 0,459 kcal/kg°C (110 °C de, Tablo 4.31),
Fuel oilin taşıdığı enerji	: 0,1 Nm ³ /TÜ × (110 °C × 0,459 kcal/kg°C – 20 °C × 0,422 kcal/kg°C), 4,2 kcal/TÜ.

Giren Toplam Enerji,

$$Q_{GT} = A + B + C + D + E,$$

$$Q_{GT} = 302.280,0 + 920,0 + 1.935,5 + 4,2 + 61.581,3,$$

$$= \mathbf{366.721,0 \text{ kcal/TÜ'dür.}}$$

Enerji Çıktısı

A. Isıtılmış slabın taşıdığı enerji

Çıkan slab miktarı	: 1.000 kg/TÜ,
Fırından düşen slabın sıcaklığı	: 1.220 °C,
Slabın entalpisi	: 2,2 kcal/kg (20 °C'de), 198,3 kcal/kg (1.220 °C'de),
Sıcak şarj ile fırına verilen enerji	: 1.000 kg/TÜ × (198,3 – 2,2) kcal/kg, 196.100,0 kcal/TÜ.

B. Soğutma suyunun taşıdığı enerji

Soğutma suyu miktarı	: 8.712 kg/TÜ,
Soğutma suyu giriş sıcaklığı	: 22,51 °C,
Soğutma suyu çıkış sıcaklığı	: 24,38 °C,
Soğutma suyunun taşıdığı enerji	: 8.712 × 0,999 kcal/kg°C × (24,38 – 22,51) °C, 16.275,1 kcal/TÜ.

C. Baca gazıyla çıkan enerji

Baca gazı miktarı (Doğal gazdan)	: 607,3 kg/TÜ,
Baca gazının spesifik ısısı (DG)	: 0,237 kcal/kg°C (20 °C de, Tablo 4.36), 0,285 kcal/kg°C (841,5 °C de, Tablo 4.37),
Baca gazının taşıdığı enerji	: 607,3 kg/TÜ × (0,285 kcal/kg°C × 841,5 °C - 0,237 kcal/kg°C × 20 °C), 142.768,6 kcal/TÜ,
Baca gazı miktarı (Fueloilden)	: 1,73 kg/TÜ,
Baca gazının spesifik ısısı (FO)	: 0,226 kcal/kg°C (20 °C de, Tablo 4.38), 0,282 kcal/kg°C (841,5 °C de, Tablo 4.39),
Baca gazının taşıdığı enerji	: 1,73 kg/TÜ × (0,282 kcal/kg°C × 841,5 °C - 0,226 kcal/kg°C × 20 °C), 402,7 kcal/TÜ,
Toplam baca gazıyla çıkan enerji	: 143.171,3 kcal/TÜ.

3. Slab Fırınındaki şartlara bağlı olarak yanma havası için elde edilen değerlere göre doğal gazdan kaynaklanan baca gazının spesifik ısıları Tablo 4.36 ve 4.37’de, fuel oilden kaynaklanan baca gazının spesifik ısısı ise Tablo 4.38 ve 4.39’da verilmiştir.

D. Duvar kayıpları ve diğer çıkan enerjiler

Slab fırınlarının sistematiğine bakıldığında temel olarak dışarı çıkan enerjilerin diğer kısmını duvarlardan radyasyon ve konveksiyon ile oluşan kayıplar ile diğer kayıplar oluşturmaktadır.

Bu kayıplar enerji denkleğinde, giren enerji ile tespit edilen çıkan enerji arasındaki fark olarak alınmıştır.

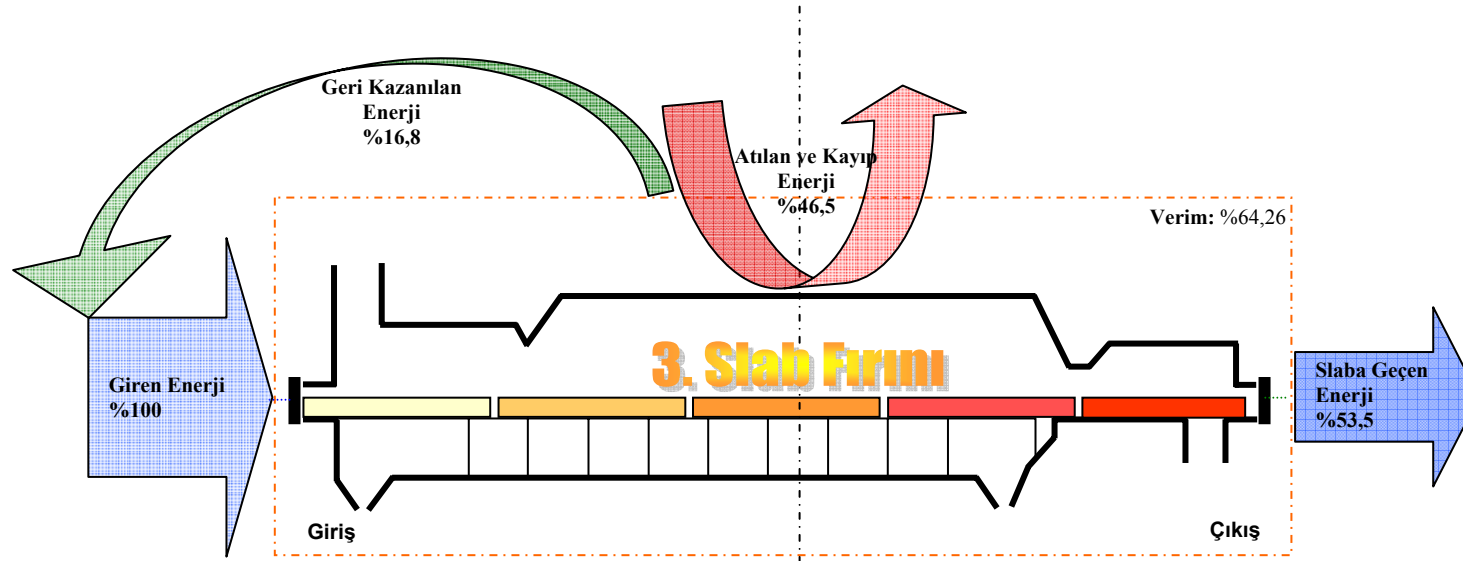
Çıkan Toplam Enerji,

$$Q_{\text{ÇT}} = A + B + C + D,$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{ÇT}} &= 196.100,0 + 16.271,1 + 143.171,3 + 11.178,6, \\ &= \mathbf{366.721,0 \text{ kcal/TÜ'dür.}} \end{aligned}$$

Tablo 4.40. III. Slab fırını enerji denge tablosu

Giren Enerji (366.721,0 kcal/TÜ)		
	kcal/TÜ	%
Doğal gazın yanmasıyla	302.280,0	82,4
Ön ısıtılmış yanma havası ile	61.581,3	16,8
Sıcak şarj ile	1.935,5	0,5
Fueloilin yanmasıyla	920,0	0,3
Fueloil'in taşıdığı duyulur ısı	4,2	0,0
Çıkan Enerji (366.721,0 kcal/TÜ)		
Slabın taşıdığı ısı	196.100,0	53,5
Baca gazıyla çıkan ısı	143.171,3	39,0
Soğutma suyuyla giden ısı	16.275,1	4,4
Duvar kayıpları + diğer	11.174,6	3,1



Şekil 4.38. III. Slab fırınında enerji verimliliği

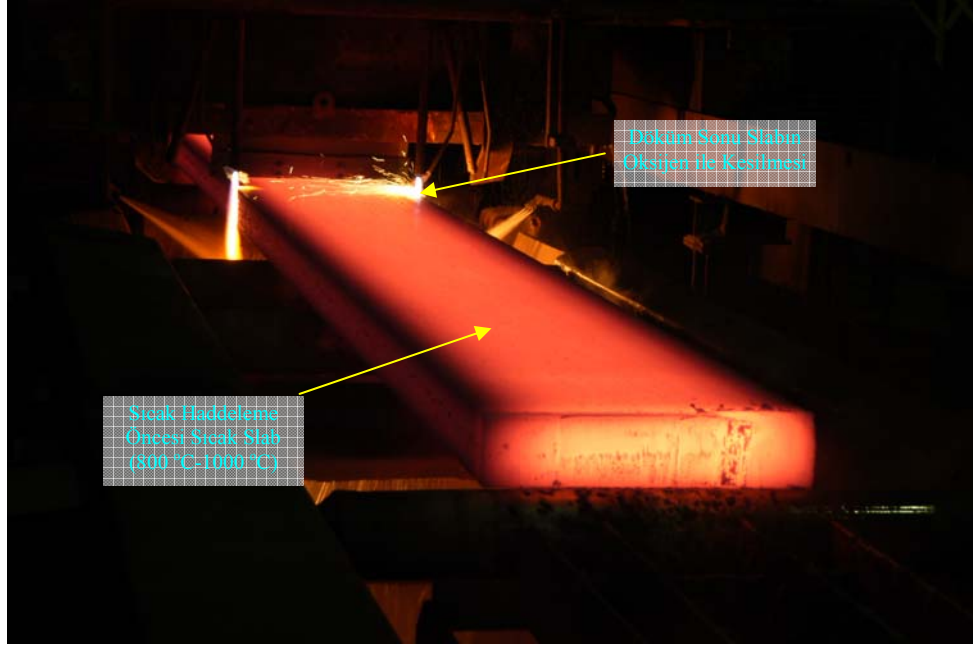
Tablo 4.40’ta özetlendiği ve Şekil 4.38’de görüldüğü gibi, haddeleme prosesinde önemli bir yere sahip olan 3. Slab Fırınında, fırın enerji verimliliğinin %64,26 seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Fırından baca gazıyla çıkan enerji, çıkan toplam enerjinin %39’unu oluşturmakta ve 143.171,3 kcal/TÜ’lük bir miktara karşılık gelmektedir. Fırında tesis edilen reküparatör sistemi ile bacaya giden bu enerjinin %43’ü geri kazanılarak (61.581,3 kcal/TÜ) birincil enerjiden tasarruf elde edilmektedir. Bu miktar fırına giren toplam enerjinin %16,8’inin geri kazanılan enerjiden kullanıldığı anlamına gelmektedir. Fırında mevcut olan bu geri kazanım yapısına rağmen, elde edilebilecek önemli miktarda atık enerji geri kazanım potansiyeli bulunmaktadır. Slab fırınlarının enerji verimliliğini artırabilecek temel öneriler aşağıda ele alınacaktır.

4.3.3.3 Slab Fırınlarına Önerilen Enerji Tasarrufu Proje ve Önlemleri

4.3.3.3.1 Sıcak Şarj Miktarının Arttırılması ve Deşarj Sıcaklığının Kontrolü

Slab fırınlarının mevcut durumunda çıkan enerjilerin değerlendirilme potansiyeli bulunan atık enerji kalemlerinin en başında baca gazının atık ısını buhar üreterek geri kazanmak ve sürekli dökümlerden 800–1000 °C’de gelen slabların (Şekil 4.39) atmosfer sıcaklığına kadar soğumalarına fırsat vermeden fırınlara şarj ederek birincil enerji tasarrufu yapmaktır.

Sürekli döküm tesislerinde planlanan üretim boyuna kadar dökülen slablar, istenilen ebatlar elde edildiğinde bir oksijenli kesici yardımıyla devam eden dökümden ayrılmakta, nakliye ve üretim planına göre haddelenmek üzere sıcak haddehaneye gönderilmektedirler.



Şekil 4.39. Sürekli dökümler slab çıkışı

Slab fırınlarıyla ilgili yapılan enerji analizleri değerlendirildiğinde, fırınlara giren enerjinin çok ufak bir bölümünün sürekli dökümlerden gelen, ancak, 200-250 °C arasındaki bir sıcaklığa kadar soğumuş slabların ısısından oluştuğu görülmektedir (Şekil 4.40). Esas olarak bir önceki prosesin yararlanılabilir olan bu potansiyelinin en üst derecede kullanılması “Ilık veya Sıcak Şarj” olarak tabir edilmektedir.



Şekil 4.40. Slab sahasında fırına girmeyi bekleyen slablar

400 °C ve altındaki sıcaklıklarda slabın fırınlara beslenmesi “ılık şarj”, 400 °C üstündeki sıcaklıklarda ise “sıcak şarj” olarak adlandırılmaktadır. Fırının enerji tüketiminde, slabın fırına sıcak olarak şarj edilmesinin taşıdığı ısınnın yanı sıra, o ısyı elde etmek için fırında kullanılacak olan yakıttan elde edilecek verimin de etkisi bulunmaktadır. İşte bu yüzden, fırının enerji verimliliğini, sadece slabın taşıdığı ısı değil, aynı zamanda slabın taşıdığı o ısyı fırından elde etmek için oluşacak verim kayıpları da etkilemektedir. Bu da sıcak şarj oranı ve sıcaklığının artırılmasına ayrıca önem kazandırmaktadır.

Bu doğrultuda yapılan analizlere bakıldığında;

3 Slab Fırınında,

Sıcak şarjla verilen enerji : 1.935,5 kcal/ton (Şubat 2005’e göre),
Yıllık slab üretimi : 1.500.000 ton/yıl,

3. slab fırınında yılın tamamının aynı verim, sıcak şarj oranı ve sıcaklığında devam edileceği ön görülürse;

Toplam verilen enerji :2.903.250.000 kcal/yıl,
Fırının verimi : %64,24 (Şubat 2005 Analizine Göre),
Tasarruf edilen doğal gaz miktarı : $2.903.250.000 / 0,6424 \times 8.250 \text{ kcal/Sm}^3$,
547.803 Sm³,

doğal gaz tasarrufu yapılacağı beklenmektedir. Bunun parasal karşılığı ise;

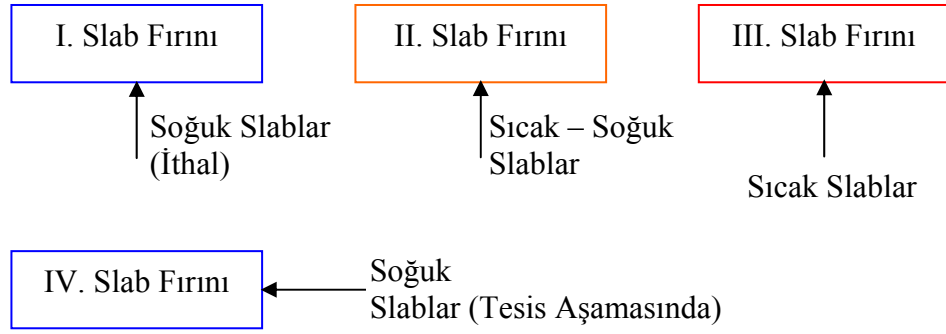
$547.803 \text{ Sm}^3 \times 0,215 \text{ USD/Sm}^3$,
117.777 USD/yıl (Şubat 2005’e göre),
Mevcut durumda CO₂ azaltımı : **1.139 ton/yıl CO₂,**
TEP olarak elde edilecek tasarruf : $2.903.250.000 \text{ kcal} / 10.000 \text{ kcal/kg}$,
290 TEP/yıl olacaktır.

Buna göre; fırınlara beslenen sıcak slab miktarının fazlalılığı ve sıcaklığı ne kadar yüksek tutulursa, elde edilecek enerji tasarrufu da o derece artacaktır. Sürekli dökümler çıkışında slab sıcaklığının 800 °C olduğu ve yıl içinde en azından bir slab fırınına beslenecek slabların %100 oranında sıcak şarj edildiği kabul edilirse, yıl içinde elde edilmesi muhtemel en yüksek potansiyel kazanç aşağıda hesaplanmıştır.

Yıllık ısıtılan slab	: 1.500.000 ton,
Sıcak şarj ile doğal gaz tasarrufu	: 25,653 Sm ³ /TÜ (Verimi %64,24 olan slab fırınına %100 Sıcak şarj ve 800 °C'de şarj yapıldığı kabul edildiğinde), 1.500.000 × 25,653, 38.479.500 Sm ³ /yıl,
Parasal kazanç ise	: 38.479.500 × 0,215, 8.273.092 USD/yıl.
Tahmini maksimum CO ₂ azaltımı	: 80.037 ton/yıl CO₂.
TEP olarak elde edilecek tasarruf	: 317.455.875.000 kcal / 10.000 kcal/kg, : 31.745 TEP/yıl olacaktır.

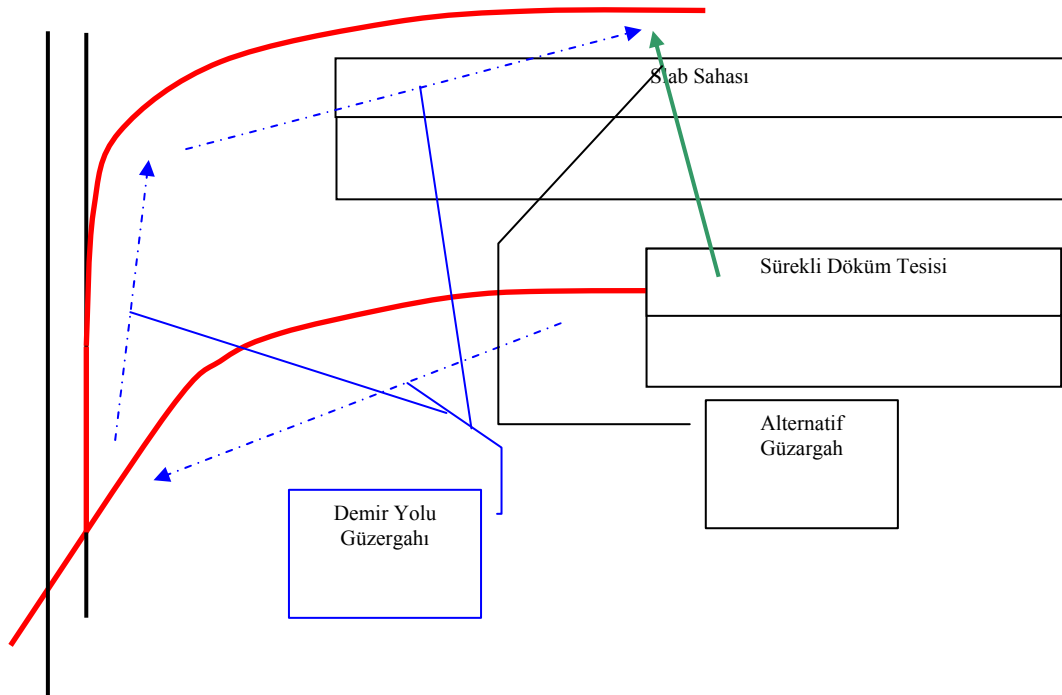
Bu miktardaki kazanca ulaşabilmek maliyetsiz veya uygun maliyetli geliştirme önerileri için aşağıda seçenekler değerlendirilebilir;

1. Üretim planlama ve üretim hattının çok koordineli çalışması, müşteri siparişlerine göre belirlenen programın sürekli dökümlerden çıkan slabların en az bir slab fırınına direkt şarj edilecek şekilde yürütülmesi alternatifi,
2. Ham çelik üretimi kapasitesi üzerinde olan haddehanelerine yeterli slab temin etmek için çalışan şirketin, ithal slab şarjıyla fırınlara hem soğuk slabları şarj etmesi hem de program aralarına soğuk ithal slabların girmesi nedeniyle sıcak akışının engellenmesini durdurmak için bir slab fırının sadece sıcak şarj bazlı çalışması alternatifi (Şekil 4.41),



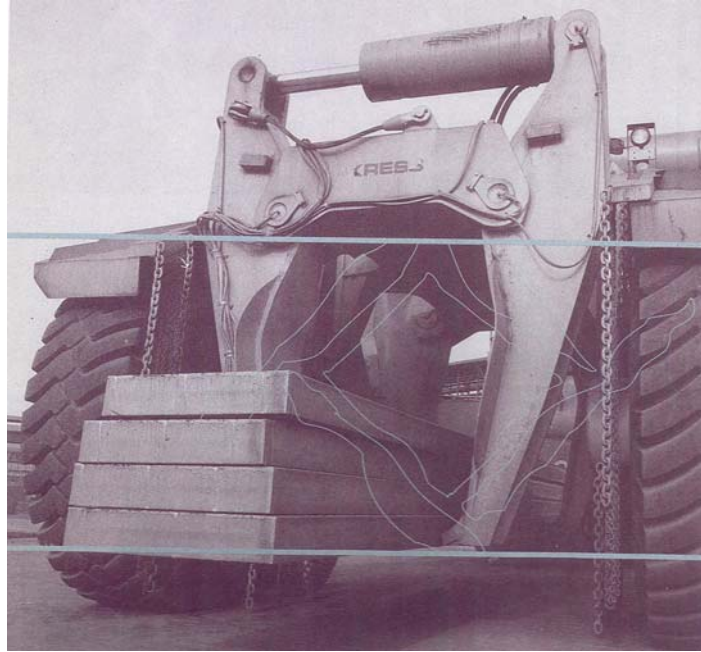
Şekil 4.41. Slab Fırınlarının kullanma sistematığı

3. Mevcut durumda Şekil 4.42’de verilen sürekli dökümler tesisi haddelene tesisi arası karmaşık bir nakliye yapısına sahiptir. Slablar, sürekli dökümler çıkışından slab fırınlarına kadar lokomotiflerle çekilen vagonlar tarafından taşınmaktadır. Haddelenecek slablar bu taşıma periyodu boyunca soğumaktadır. Soğumayı açık vagonlar içerisinde çekilen slablar için manevra süresi, hava şartları vb. faktörler etkilemektedir. Bu etkileri gidermek üzere taşımanın etkin denetimi ve sadeleştirilmesi alternatifi.



Şekil 4.42. Sürekli dökümler – sıcak haddehane malzeme transfer hattı

Üretim programında yapılacak planlamanın yanı sıra kuruluş itibariyle birbirlerine ters tarafta kalan sürekli döküm tesisleri ile slab sahasına daha kolay ve pratik slab taşıyıcı araçlar (Şekil 4.43.) gibi seçeneklerin de incelenerek maliyeti düşürücü ulaşım imkanlarının araştırılması gerekmektedir



Şekil 4.43. Manevra kabiliyeti yüksek slab taşıyıcı arabalar
(Sidmar, 1999)

Diğer yandan, tüm sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında elde edilebilecek kazançları vermek için yapılan hesaplamada, üretim programı ve nakliye otomasyonunun iyileştirilmesi ile yine Şubat 2005'ten alınan değerlere göre yapılan analiz sonucu ortaya çıkan verim sabit kabul edilmiştir. Buna göre, arttırılacak sıcak şarj miktarı ve sıcak şarj uygulamasında elde edilebilecek 1 ton üretim başına enerji kazanımı Tablo 4.41 ve 4.42'de, bu enerjinin doğal gaz karşılığı Tablo 4.43 ve 4.44'te, fırının yanma veriminin de dahil edildiği doğal gaz kazançların miktarı ise Tablo 4.44. ve 4.45'de verilmiştir. Bu tablolar, yapılacak her türlü iyileştirme çalışması sonucu elde edilebilecek şarj sıcaklık miktarı ve oranına bağlı getirileri vermekte, uygulama kararlarına baz alınabilecek getirileri bulunabilmektedir.

Tablo 4.41. Çeşitli sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında ton üretim başına enerji kazanımı (kcal/TÜ) - (50 – 700 °C arası)

Şarj Sıcaklık ve Oranına Bağlı Ton Slab Başına Fırına Verilebilecek Enerji Miktarı (kcal/TÜ)			Sıcaklık (°C)													
			50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
			3,4	9,2	15,2	21,4	27,9	34,5	41,3	48,4	55,9	63,8	72,1	81	90,4	100,6
			3.400	9.200	15.200	21.400	27.900	34.500	41.300	48.400	55.900	63.800	72.100	81.000	90.400	100.600
Sıcak Şarj Oranı (%)	10	0,1	340	920	1.520	2.140	2.790	3.450	4.130	4.840	5.590	6.380	7.210	8.100	9.040	10.060
	20	0,2	680	1.840	3.040	4.280	5.580	6.900	8.260	9.680	11.180	12.760	14.420	16.200	18.080	20.120
	30	0,3	1.020	2.760	4.560	6.420	8.370	10.350	12.390	14.520	16.770	19.140	21.630	24.300	27.120	30.180
	40	0,4	1.360	3.680	6.080	8.560	11.160	13.800	16.520	19.360	22.360	25.520	28.840	32.400	36.160	40.240
	50	0,5	1.700	4.600	7.600	10.700	13.950	17.250	20.650	24.200	27.950	31.900	36.050	40.500	45.200	50.300
	60	0,6	2.040	5.520	9.120	12.840	16.740	20.700	24.780	29.040	33.540	38.280	43.260	48.600	54.240	60.360
	70	0,7	2.380	6.440	10.640	14.980	19.530	24.150	28.910	33.880	39.130	44.660	50.470	56.700	63.280	70.420
	80	0,8	2.720	7.360	12.160	17.120	22.320	27.600	33.040	38.720	44.720	51.040	57.680	64.800	72.320	80.480
	90	0,9	3.060	8.280	13.680	19.260	25.110	31.050	37.170	43.560	50.310	57.420	64.890	72.900	81.360	90.540
	100	1,0	3.400	9.200	15.200	21.400	27.900	34.500	41.300	48.400	55.900	63.800	72.100	81.000	90.400	100.600

Tablo 4.42. Çeşitli sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında ton üretim başına enerji kazanımı (kcal/TÜ) - (700 – 1400 °C arası)

Şarj Sıcaklık ve Oranına Bağlı Ton Slab Başına Fırına Verilebilecek Enerji Miktarı (kcal/TÜ)			Sıcaklık (°C)													
			750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
			114,2	125,7	136	145,7	153,5	161,3	169,2	177,1	185	192,9	200,8	208,8	216,9	225,1
			114.200	125.700	136.000	145.700	153.500	161.300	169.200	177.100	185.000	192.900	200.800	208.800	216.900	225.100
Sıcak Şarj Oranı (%)	10	0,1	11.420	12.570	13.600	14.570	15.350	16.130	16.920	17.710	18.500	19.290	20.080	20.880	21.690	22.510
	20	0,2	22.840	25.140	27.200	29.140	30.700	32.260	33.840	35.420	37.000	38.580	40.160	41.760	43.380	45.020
	30	0,3	34.260	37.710	40.800	43.710	46.050	48.390	50.760	53.130	55.500	57.870	60.240	62.640	65.070	67.530
	40	0,4	45.680	50.280	54.400	58.280	61.400	64.520	67.680	70.840	74.000	77.160	80.320	83.520	86.760	90.040
	50	0,5	57.100	62.850	68.000	72.850	76.750	80.650	84.600	88.550	92.500	96.450	100.400	104.400	108.450	112.550
	60	0,6	68.520	75.420	81.600	87.420	92.100	96.780	101.520	106.260	111.000	115.740	120.480	125.280	130.140	135.060
	70	0,7	79.940	87.990	95.200	101.990	107.450	112.910	118.440	123.970	129.500	135.030	140.560	146.160	151.830	157.570
	80	0,8	91.360	100.560	108.800	116.560	122.800	129.040	135.360	141.680	148.000	154.320	160.640	167.040	173.520	180.080
	90	0,9	102.780	113.130	122.400	131.130	138.150	145.170	152.280	159.390	166.500	173.610	180.720	187.920	195.210	202.590
	100	1,0	114.200	125.700	136.000	145.700	153.500	161.300	169.200	177.100	185.000	192.900	200.800	208.800	216.900	225.100

Tablo 4.43. Çeşitli sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında ton üretim başına doğal gaz kazanımı (Sm³/TÜ) - (50 – 700 °C arası)

Sıcak Şarj Oranı (%) ve Sıcaklığına Bağlı Olarak Tasarruf Edilebilecek Doğal Gaz Miktarı (Sm3)		Sıcaklık (°C)													
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
		3,4	9,2	15,2	21,4	27,9	34,5	41,3	48,4	55,9	63,8	72,1	81	90,4	100,6
		3.400	9.200	15.200	21.400	27.900	34.500	41.300	48.400	55.900	63.800	72.100	81.000	90.400	100.600
Sıcak Şarj Oranı	%	Tasarruf Edilebilecek Doğal Gaz Miktarı (Sm ³ /TÜ)													
	10	0,041	0,112	0,184	0,259	0,338	0,418	0,501	0,587	0,678	0,773	0,874	0,982	1,096	1,219
	20	0,082	0,223	0,368	0,519	0,676	0,836	1,001	1,173	1,355	1,547	1,748	1,964	2,192	2,439
	30	0,124	0,335	0,553	0,778	1,015	1,255	1,502	1,760	2,033	2,320	2,622	2,945	3,287	3,658
	40	0,165	0,446	0,737	1,038	1,353	1,673	2,002	2,347	2,710	3,093	3,496	3,927	4,383	4,878
	50	0,206	0,558	0,921	1,297	1,691	2,091	2,503	2,933	3,388	3,867	4,370	4,909	5,479	6,097
	60	0,247	0,669	1,105	1,556	2,029	2,509	3,004	3,520	4,065	4,640	5,244	5,891	6,575	7,316
	70	0,288	0,781	1,290	1,816	2,367	2,927	3,504	4,107	4,743	5,413	6,118	6,873	7,670	8,536
	80	0,330	0,892	1,474	2,075	2,705	3,345	4,005	4,693	5,421	6,187	6,992	7,855	8,766	9,755
	90	0,371	1,004	1,658	2,335	3,044	3,764	4,505	5,280	6,098	6,960	7,865	8,836	9,862	10,975
	100	0,412	1,115	1,842	2,594	3,382	4,182	5,006	5,867	6,776	7,733	8,739	9,818	10,958	12,194

Tablo 4.44. Çeşitli sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında ton üretim başına doğal gaz kazanımı (Sm³/TÜ) - (700– 1400 °C arası)

Sıcak Şarj Oranı (%) ve Sıcaklığına Bağlı Olarak Tasarruf Edilebilecek Doğal Gaz Miktarı (Sm3)		Sıcaklık (°C)													
		750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
		114,2	125,7	136	145,7	153,5	161,3	169,2	177,1	185	192,9	200,8	208,8	216,9	225,1
		114.200	125.700	136.000	145.700	153.500	161.300	169.200	177.100	185.000	192.900	200.800	208.800	216.900	225.100
Sıcak Şarj Oranı	%	Tasarruf Edilebilecek Doğal Gaz Miktarı (Sm ³ /TÜ)													
	10	1,384	1,524	1,648	1,766	1,861	1,955	2,051	2,147	2,242	2,338	2,434	2,531	2,629	2,728
	20	2,768	3,047	3,297	3,532	3,721	3,910	4,102	4,293	4,485	4,676	4,868	5,062	5,258	5,457
	30	4,153	4,571	4,945	5,298	5,582	5,865	6,153	6,440	6,727	7,015	7,302	7,593	7,887	8,185
	40	5,537	6,095	6,594	7,064	7,442	7,821	8,204	8,587	8,970	9,353	9,736	10,124	10,516	10,914
	50	6,921	7,618	8,242	8,830	9,303	9,776	10,255	10,733	11,212	11,691	12,170	12,655	13,145	13,642
	60	8,305	9,142	9,891	10,596	11,164	11,731	12,305	12,880	13,455	14,029	14,604	15,185	15,775	16,371
	70	9,690	10,665	11,539	12,362	13,024	13,686	14,356	15,027	15,697	16,367	17,038	17,716	18,404	19,099
	80	11,074	12,189	13,188	14,128	14,885	15,641	16,407	17,173	17,939	18,705	19,472	20,247	21,033	21,828
	90	12,458	13,713	14,836	15,895	16,745	17,596	18,458	19,320	20,182	21,044	21,905	22,778	23,662	24,556
	100	13,842	15,236	16,485	17,661	18,606	19,552	20,509	21,467	22,424	23,382	24,339	25,309	26,291	27,285

Tablo 4.45. Çeşitli sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında ton üretim başına verim dahil doğal gaz kazanımı (Sm³/TÜ) - (50 – 700 °C arası)

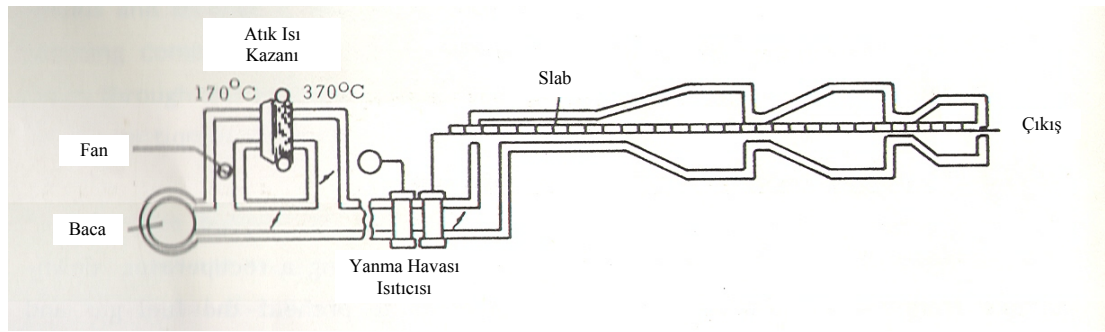
Sıcak Şarj Oranı (%) ve Sıcaklığına Bağlı Olarak Tasarruf Edilebilecek Verim Dahil Doğal Gaz Miktarı (Sm ³)		Sıcaklık (°C)													
		50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700
		3,4	9,2	15,2	21,4	27,9	34,5	41,3	48,4	55,9	63,8	72,1	81	90,4	100,6
		3.400	9.200	15.200	21.400	27.900	34.500	41.300	48.400	55.900	63.800	72.100	81.000	90.400	100.600
Sıcak Şarj Oranı	%														
	10	0,064	0,174	0,287	0,404	0,526	0,651	0,779	0,913	1,054	1,203	1,360	1,528	1,705	1,898
	20	0,128	0,347	0,573	0,807	1,053	1,302	1,558	1,826	2,109	2,407	2,720	3,056	3,410	3,795
	30	0,192	0,521	0,860	1,211	1,579	1,952	2,337	2,739	3,163	3,610	4,080	4,584	5,116	5,693
	40	0,257	0,694	1,147	1,615	2,105	2,603	3,116	3,652	4,218	4,814	5,440	6,112	6,821	7,590
	50	0,321	0,868	1,434	2,018	2,631	3,254	3,895	4,565	5,272	6,017	6,800	7,639	8,526	9,488
	60	0,385	1,041	1,720	2,422	3,158	3,905	4,674	5,478	6,327	7,221	8,160	9,167	10,231	11,386
	70	0,449	1,215	2,007	2,826	3,684	4,555	5,453	6,391	7,381	8,424	9,520	10,695	11,936	13,283
	80	0,513	1,388	2,294	3,229	4,210	5,206	6,232	7,304	8,435	9,628	10,880	12,223	13,642	15,181
	90	0,577	1,562	2,580	3,633	4,736	5,857	7,011	8,217	9,490	10,831	12,240	13,751	15,347	17,078
	100	0,641	1,735	2,867	4,037	5,263	6,508	7,790	9,130	10,544	12,034	13,600	15,279	17,052	18,976

Tablo 4.46. Çeşitli sıcaklık ve sıcak şarj oranlarında ton üretim başına verim dahil doğal gaz kazanımı (Sm³/TÜ) - (50 – 700 °C arası)

Sıcak Şarj Oranı (%) ve Sıcaklığına Bağlı Olarak Tasarruf Edilebilecek Verim Dahil Doğal Gaz Miktarı (Sm ³)		Sıcaklık (°C)													
		750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400
		114,2	125,7	136	145,7	153,5	161,3	169,2	177,1	185	192,9	200,8	208,8	216,9	225,1
		114.200	125.700	136.000	145.700	153.500	161.300	169.200	177.100	185.000	192.900	200.800	208.800	216.900	225.100
Sıcak Şarj Oranı	%														
	10	2,154	2,371	2,565	2,748	2,895	3,043	3,192	3,341	3,490	3,639	3,788	3,939	4,091	4,246
	20	4,308	4,742	5,131	5,497	5,791	6,085	6,383	6,681	6,979	7,277	7,575	7,877	8,183	8,492
	30	6,462	7,113	7,696	8,245	8,686	9,128	9,575	10,022	10,469	10,916	11,363	11,816	12,274	12,738
	40	8,617	9,484	10,261	10,993	11,582	12,170	12,766	13,362	13,958	14,555	15,151	15,754	16,365	16,984
	50	10,771	11,855	12,827	13,742	14,477	15,213	15,958	16,703	17,448	18,193	18,938	19,693	20,457	21,230
	60	12,925	14,226	15,392	16,490	17,373	18,255	19,149	20,044	20,938	21,832	22,726	23,631	24,548	25,476
	70	15,079	16,597	17,957	19,238	20,268	21,298	22,341	23,384	24,427	25,470	26,514	27,570	28,639	29,722
	80	17,233	18,968	20,523	21,986	23,163	24,341	25,533	26,725	27,917	29,109	30,301	31,508	32,731	33,968
	90	19,387	21,339	23,088	24,735	26,059	27,383	28,724	30,065	31,407	32,748	34,089	35,447	36,822	38,214
	100	21,541	23,710	25,653	27,483	28,954	30,426	31,916	33,406	34,896	36,386	37,876	39,385	40,913	42,460

4.3.3.3.2 Baca Atık Isıların Geri Kazanılması

Slab fırınlarına yapılan analizde çıkan enerjilerin önemli bir bölümünde -her ne kadar kurulu olan reküparatörlerden yararlanılsa da- reküparatör sonrası çıkan gaz, slab fırınlarının bacalarından yaklaşık 400-500 °C egzoz gazının enerjisi hiçbir şekilde kullanılmadan atmosfere atılmaktadır. Genel olarak bu enerji Atık Isı Kazanı (AIK) tesis edilmek suretiyle buhar üretimine dönüştürülebilmektedir. Şekil 4.44'te basit bir AIK uygulama örneği verilmektedir.



Şekil 4.44. Örnek bir atık ısı kazanlı slab fırını (IISI, 1982)

Baca atık gazından havaya verilen ısıdan yararlanılması sadece atık ısı kazanları sayesinde olmayıp, reküparatörden geçen gazın ısını bir başka yanma havası sistemini ya da gaz yakıtlar kullanan sistemler için, yanma gazının ön ısıtılmasında kullanılmasına dair örnekler görülmektedir.

Erdemir'de yapılan analizler sonucu III. Slab Fırınında baca gazıyla havaya atılan ısı miktarı 143.171,3 Mcal/ton Slab olarak bulunmuştur. Fırına giren enerjinin %39'unu oluşturan bu geri kazanılabilir ısının ancak 61.581,3 Mcal/ton Slab'lık kısmı reküparatörlerle geri kazanılıp fırına beslenmektedir. Geri kalan enerjinin kazanılabilmesi için potansiyel getiri hesabı Atık Isı Kazanı yapılması ya da yakıtın ön ısıtılması olarak iki yöntem şeklinde aşağıda verilmektedir.

Yöntem I – Atık Isı Kazanı Yapılması ile,

Atık ısı kazanları özellikle elektrik üreten tesisler içerisinde tesis verimliliğini %80'lerin üzerine çıkaran kojenerasyon tesislerindeki (birleşik ısı+elektrik üretimi) uygulamalardır. Gaz türbinlerinde yanarak türbini çevirme sonrası bacaya giden atık gazın enerjisinden buhar üretimi, üretilen bu buhardan ise proseste ya da tekrar elektrik üretiminde yararlanılması, tesisin verimliliklerin yüksek olmasında ana etkindir.

Kojenerasyon atık ısı kazanlarına tam olarak benzememesine rağmen slab fırınlarından dışarıya atılan ısıdan da bu yöntemle buhar üretilmesi mümkün görülmektedir. Denge analizi yapılan 3. slab fırınından elde edilen sonuçlara göre kazanılabilecek buhar ve akabinde üretilebilecek elektrik enerjisi potansiyeli aşağıda verilmiştir.

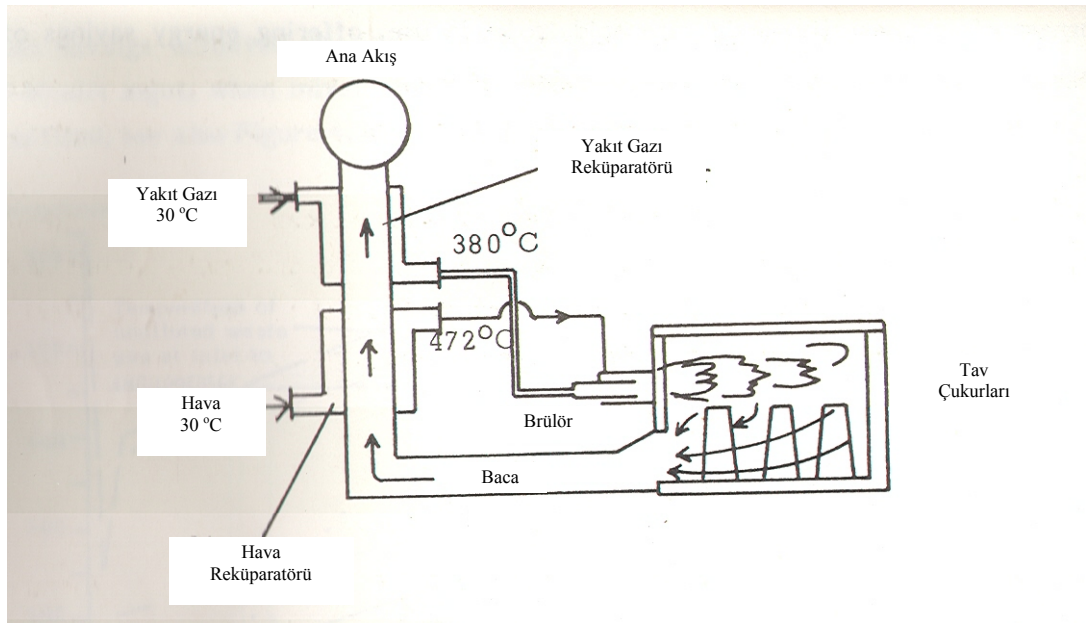
Yıllık ısıtılan slab	: 1.500.000 ton,
Havaya verilen enerji	: 81.590 kcal/TÜ,
Toplam havaya verilen enerji	: 122.385.000.000 kcal,
330 °C 14 bar proses buharı entalpisi	: 740 kcal/kg,
1 ton proses buharı için gerekli enerji	: 700 kcal/kg (740 kcal/kg – 40 kcal/kg (besi suyu)),
Tahmini kazan verimi	: %80,
Atık ısıdan buhar üretimi	: $122.385.000.000 \times 0,8 / 700$, 139.869 ton 14 bar 330 °C buhar üretilebileceği ön görülmektedir.
Bu buharın 45 bar 550 °C karşılığı	: 131.548 ton ($139.869 \times 743/790$),
Üretilebilecek elektrik enerjisi	: 131.548 ton / 4 ton/Mwh, 32.886.000 kwh ,
Parasal kazanç ise	: $32.886.000 \times 0,07$ \$/kwh (Satın Alınan Elektrik Fiyatı), 2.302.000 USD/yıl'dır.

Tahmini CO₂ azaltımı : **16.443 ton/yıl CO₂,**

TEP olarak elde edilecek tasarruf : 97.908.000.000 kcal / 10.000 kcal/kg
9.791 TEP/yıl olacaktır.

Yöntem II – Atık Isının Yakıt Ön Isıtma Sistemlerinde Kullanılması ile,

Yukarıdaki şekilde hesaplandığı üzere 3. slab fırınına atık ısı kazanı yapılması ile buhar, akabinde de elektrik üretilmesine dair öngörünün yanı sıra atık olan bu ısının fırında yakılan doğal gaz veya başka tesislerde yakılan diğer yakıtların ön ısıtılmasında kullanılması sonucu elde edilebilecek bir tasarruf da mevcuttur. Şekil 4.45. ve 4.46'da fırından çıkan gazın yanma havasını ön ısıttıktan sonra geride kalan ısyı da yakıt gaza aktardığı bir sistem görülmektedir.



Şekil 4.45. Atık ısıdan hem yanma havası hem de yakıtın ısıtılması (IISI, 1982)

Yıllık ısıtılan slab : 1.500.000 ton,
Havaya verilen enerji : 81.590 kcal/TÜ,
Toplam havaya verilen enerji : 122.385.000.000 kcal'dir.

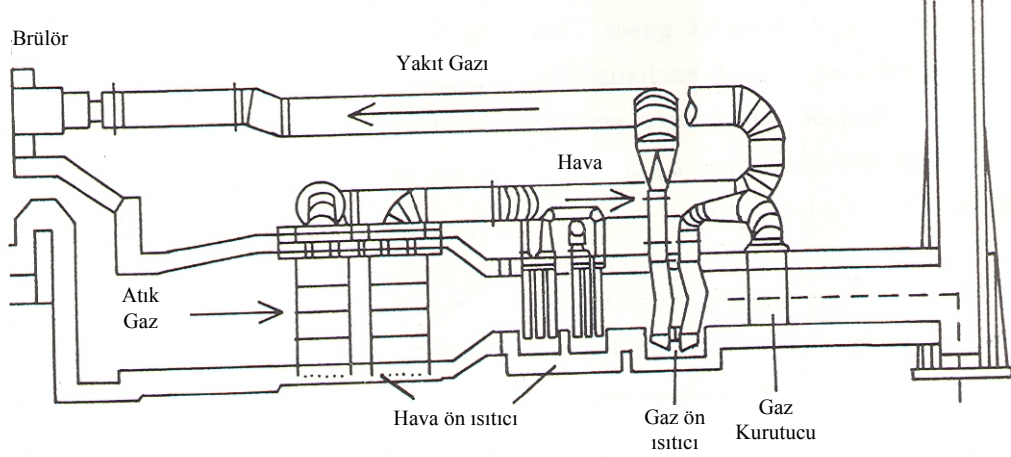
Havaya verilen bu enerjinin kullanılacak uygun ısı değiştiricileri (% 40 verimle çalıştığı kabul edilen) ile gaz yakıtlara aktarılması sonucu aynı enerji ile çalışan fırından elde edilebilecek enerji tasarrufu;

Potansiyel geri döndürülebilecek enerji	: $122.385.000.000 \times 0,4,$ $48.954.000.000 \text{ kcal},$
Bu enerjinin doğal gaz karşılığı	: $48.954.000.000 \text{ kcal} / 8.250 \text{ kcal/Sm}^3,$ $5.933.818 \text{ Sm}^3,$
Parasal kazanç ise	: $5.933.818 \times 0,215 \text{ \$/Sm}^3$ (D. Gaz Fiyatı), 1.275.770 USD/yıl,
Tahmini maksimum CO ₂ azaltımı	: 12.342 ton/yıl CO ₂ ,
TEP olarak elde edilecek tasarruf	: $48.954.000.000 \text{ kcal} / 10.000 \text{ kcal/kg},$ 4.895 TEP/yıl,

civarında bir enerjinin birincil yakıt kullanmak yerine atık ısının fırına geri döndürülmesiyle kazanılabılme potansiyeli olduğu n görülmektedir. Mevcut durumda yanma havasını n ısıtarak fırına besleyen ve bu çalışma yöntemiyle 61.581,3 kcal/T'lk enerjiyi birincil yakıt yerine atık ısıdan kazanan işletmenin ise hali hazırda bu çalışma şekliyle elde etmiş olduğu kazanç aşağıda verilmiştir.

Yanma havasıyla verilen enerji	: 61.581,3 kcal/T,
Yıllık retim	: 1.500.000 ton,
Toplam enerji kazancı	: 92.371.950.000 kcal,
Bu enerjinin doğal gaz karşılığı	: $92.371.950.000 \text{ kcal} / 8.250 \text{ kcal/Sm}^3,$ $11.196.600 \text{ Sm}^3,$
Parasal kazanç ise	: $11.196.600 \times 0,215 \text{ \$/Sm}^3$ (D. Gaz Fiyatı), 2.407.269 USD/yıl,
Tahmini maksimum CO ₂ azaltımı	: 23.288 ton/yıl CO₂,

TEP olarak elde edilecek tasarruf : 317.455.875.000 kcal / 10.000 kcal/kg,
31.745 TEP/yıl olacaktır.



Şekil 4.46. Atık ısılardan yanma havası ve yakıt gazının ısıtılması (IISI, 1982)

4.4. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bölüm 4.2’de belirlenen kriterlere göre, Erdemir’in seçilen tesislerine uygun olarak yapılan enerji denge analizleri sonucunda, incelenen tüm üniteler için potansiyel enerji verimliliğini artırıcı önlemler bulunmuştur. Elde edilen sayısal değerler ve öneriler sonuç bölümünde özetlenmiştir.

Denge analizleri sonucu hesaplanan potansiyel kazanım miktarlarının değerlendirilmesine yönelik olarak, yaklaşık değerler hesaplanmıştır. Önerilen projelerin, bu kazanım miktarları üzerinden değerlendirilmesi ve detaylı fizibilite etütleri ile incelenmesi önerilmektedir. Bu incelemeler sonucu hem Erdemir, hem de sektör karlılığını artırmaya yönelik yatırımlar yapabilecektir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, entegre demir çelik fabrikalarında maksimum enerji tasarrufu amaçlanmış, veriler sistematik olarak aşağıda sunulmuştur.

Türkiye 2003 yılı birincil enerji tüketimi -enerji çevrim sektörü hariç olmak üzere- net 64.034.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol)'tir. Bu tüketim içinde, sanayi sektörünün payı 26.927.000 TEP ve demir çelik sektörünün payı ise 3.222.000 TEP'tir. Yukarıdaki verilere göre, toplam tüketimden %5 civarında pay alan demir çelik sektöründe, enerji tüketiminin %88'i entegre tesislere, %12'si ark ocaklı tesislere aittir. Entegre tesisler, ark ocaklı tesislere göre daha yoğun enerji tükettikleri için, enerji verimlilik analizlerinin bu tesislerde yapılması uygun görülmüştür.

Entegre tesislerin spesifik enerji tüketimi (2003 yılı), ulusal ve uluslararası literatüre uygun olarak Kardemir'de 7.243,1 Mcal/THÇ, İsdemir'de 7.124,2 Mcal/THÇ, Erdemir'de ise 5.135,7 Mcal/THÇ olarak hesaplanmıştır. Günümüze kadar uygulanan enerji tasarruf projeleriyle, en düşük spesifik enerji tüketiminin Erdemir'e ait olduğu görülmektedir. Bu veya buna benzer projelerin diğer tesislere de uygulanabileceği varsayılarak, yeni önerilerde bulunmak üzere detay analizler için Erdemir seçilmiştir.

Erdemir'de enerji denge analizleri, tüketilen enerjinin %62'sini kullanan Kok Fabrikası, Yüksek Fırınlr (Ayşe ve Zübeyde) ile 3 no'lu Slab Fırınında yapılmıştır.

Kok Fabrikalarına uygulanan denge analizinde, çıkan enerjinin %60,2'si gibi önemli bir kısmının, üretilen kokun soğutulması için su püskürtülerek atmosfere atıldığı görülmüştür. Bu enerjinin geri kazanılması için dünyada örnekleri bulunan "Kok Kuru Söndürme" tesisi yapılması önerilmiştir. Yapılan ön hesaplama göre 8.694.000 USD/yıl'lık kazanım potansiyeli bulunan bu yatırımın 20-30 milyon USD civarında olacağı ve yatırımın 2,5-3 yıl gibi bir sürede kendini geri ödeyeceği tahmin edilmektedir.

Böyle bir proje uygulandığında ortama verilmeyecek sera gazı miktarı $62.107 \text{ ton /yıl CO}_2$ olacaktır.

Diğer yandan ham kok gazının duyulur ısısının geri kazanım potansiyeli ise $1.250.000 \text{ USD/yıl}$ olarak hesaplanmıştır. Ancak buradan atılan enerjinin kazanılması için literatürde bazı modeller bulunmasına rağmen, pratik uygulamalara rastlanamamıştır. Bu nedenle geri kazanımı sağlayacak yatırım ön görülmemiştir. Ancak, kok fabrikasına ait bataryalarının yapısı nedeniyle uygulama zorluğu olabilecek bu yatırımın, yeni kok bataryası yapımında planlanması işletmenin yararına olacaktır. Pratikte uygulama örneklerine rastlanmamakla birlikte, böyle bir potansiyel enerjinin geri kazanılması ile $6.941 \text{ ton/yıl CO}_2$ gazı atmosfere atılmayacaktır.

Yüksek fırınlara uygulanan denge analizinde, fırınlardan çıkan enerji kalemlerinin yaklaşık % 55'inin sonraki proseslerde kullanılmak üzere geri kazanıldığı görülmüştür. Geri kalan % 45 oranındaki enerji içerisinde yer alan (*Yüksek Fırın I'de %2,43 - Yüksek Fırın II'de %2,48*) cürufun duyulur ısısından yararlanılması ile $2.775.911 \text{ USD/yıl}$ 'lık kazanç elde edilebileceği hesaplanmıştır. Ayrıca, Yüksek Fırın I'de %2,22 – Yüksek Fırın II'de %1,51'lik pay alan baca gazının duyulur ısısından yararlanılmasıyla da $2.007.529 \text{ USD/yıl}$ 'lık bir kazanç hesaplanmıştır. Bu potansiyel enerjileri elde etmek için literatürde teorik uygulama örnekleri bulunmakla birlikte, hali hazırda çalışan tesis bulunmamaktadır. Bu nedenle bu tür bir tesis için yatırım ön görülmemiştir. Diğer yandan, cürufun duyulur ısısının geri kazanılmasıyla $26.054 \text{ ton /yıl CO}_2$ ve baca gazının duyulur ısısının geri kazanılması ile de $19.421 \text{ ton /yıl CO}_2$ atmosfere atılmayacaktır.

3 nolu Slab Fırını'na uygulanan enerji denge analizinde, çıkan ısıtılmış slabın %53,5, diğer kayıpların %7,5 ve baca gazıyla atılan enerjinin %39 olduğu hesaplanmıştır. Baca gazıyla atılan enerji, reküparatör sistemi yoluyla %43 verimle geri kazanılmasına rağmen, kayıp olarak atmosfere giden enerjiler içerisinde %26'lık paya sahiptir. Bu potansiyel enerjinin geri kazanılmasıyla $2.302.000 \text{ USD/yıl}$ 'lık bir getiri elde edilebileceği hesaplanmıştır. Bu enerjinin geri kazanılabilmesi için kurulabilecek bir atık

ısı kazanının *10 milyon USD*'ye mal olacağı tahmin edilmiştir. Bu projenin uygulanması durumunda tahmini olarak *16.443 Ton/yıl CO₂* atmosfere atılmayacaktır. *4,2* yıl geri ödemesi olan bu yatırım yerine, hali hazırda mevcut olan reküparatör sisteminin veriminin artırılması için büyütölme projesi ise daha az maliyetli bir yatırım olacaktır. Bu yatırım için yeni bir reküparatör sistemi ön görüldüğünde, maliyetinin *800.000 USD* civarında olacağı, bu yatırımın da *9* ay gibi bir sürede kendisini geri ödeyebileceği tahmin edilmektedir. Ayrıca kullanılan yakıt gazının reküparatör sonrası atık ısı kullanılarak ısıtılmasıyla da *1.275.770 USD/yıl*'lık bir potansiyel enerji kazanılabilecektir. Bu yatırım tercih edildiğinde ise *12.342 Ton /yıl CO₂* gazı atmosfere atılmayacaktır. Mevcut reküparatör sistemiyle değerlendirilen enerji ise, işletmeye *2.407.269 USD/yıl* kazanç ve *23.288 ton /yıl CO₂* gazı azaltımı sağlamaktadır.

Slab fırınlarına, döküm tesislerinden çıkan slabların teorik olarak maksimum seviyede sıcak olarak beslendiği kabul edildiğinde elde edilebilecek kazanç miktarı *8.273.092 USD/yıl* olarak hesaplanmıştır. Bu kazancın yanı sıra yıllık olarak *80.037 Ton/yıl CO₂*'nin atmosfere salınması önlenmiş olacaktır. Şubat 2005 için elde edilen değerlere yıllık bazda bakıldığında ise, hali hazırda yapılan ılık şarjdan (*250 °C*) yıllık *117.777 USD*'lik bir getiri elde edildiği belirlenmiştir (Diğer aylardaki yüksek sıcak şarj oranının bu miktarı yukarıya çekeceği bilinmektedir). Ilık şarjın sıcaklık ve oranının mümkün olduğunca artırılması, uygun üretim planlama ve nakliye yöntemleri ile mümkündür. Mevcut uygulamada, yapılan sıcak şarj ile elde edilen enerji tasarrufu sonucu *1.139 ton /yıl CO₂* atmosfere verilmeyerek sera gazı emisyonları önlenmiştir.

Fiyatların piyasa koşullarında belirlendiği demir çelik sektöründe, ilk sırada yer alan enerji maliyetleri, yukarıda belirtilen kayıp enerjilerin geri kazanılması ile olumlu yönde etkilenecektir. Enerji geri kazanımı aynı zamanda atmosfere karbondioksit atılmasının azaltılması anlamına gelmektedir. Türkiye'nin Avrupa Birliğine üyelik sürecinde, Birliğin Çevre Direktifleri doğrultusunda Kyoto Protokolü ve mekanizmalarına dahil olarak, CO₂ piyasasında (emisyon ticareti) yer alma olasılığı bulunmaktadır. Bu piyasa'da şirketler azalttıkları karbondioksit miktarlarını piyasada oluşan fiyattan,

limitlerin üzerinde kalan diğer şirketlere satabilmektedir. Aralık 2005 itibariyle 1 ton'u 23 Euro'dan işlem gören piyasanın şirketlerin rekabet gücüne olumlu ya da olumsuz yönde etki edebileceği açıktır.

Sonuç olarak, elde edilen değerlere bakıldığında; seçilen tesislere önerilen enerji tasarrufu ve verimliliği projeleriyle tahminen *106.616 TEP/yıl* enerji tasarrufu sağlanabileceği hesaplanmıştır. Bu projelerin uygulanması ile toplam olarak *25.303.512 USD/yıl*'lık bir getiri elde edilebilecektir. Uygulanacak projeler ile birincil yakıt kullanımlarının azaltılmasıyla, tahminen *211.003 Ton/yıl CO₂* gazının atmosfere atılması engellenebilecektir. Atmosfere atılması engellenen CO₂ gazı salım izni, Kyoto Mekanizmalarından biri olan emisyon ticareti piyasasında satılabilecektir. Aralık 2005 piyasa değerine göre (~23 Euro/Ton CO₂) bu satıştan tahminen *4.853.069 Euro* (~6.000.000 USD) ek kazanç elde edilebilecektir.

Önerilen projelerin tamamı için yatırım tutarı öngörülemez. Yatırımı öngörülen projelerin ise 9 ay ile 4,2 yıl gibi sürelerde kendilerini geri ödeyeceği görülmektedir. Yatırım bedeli tahmin edilemeyen projeler için önerilen tesislerin endüstriyel bazda planlanması ve detaylı fizibilite etütlerinin yapılması gerekmektedir. Bu projeler için sadece kazanılabilecek potansiyel getiri hesaplanmıştır.

Önerilen projelerin tamamı uygulandığında, elde edilebilecek potansiyel enerji tasarrufu; Türkiye demir çelik sektöründe tüketilen enerjinin %3,30'una (106.616 TEP/ 3.222.000 TEP) denk gelmektedir. Bu tasarruf miktarı, Türk sanayide tüketilen toplam enerjinin %0,40'ına (106.616 TEP / 29.927.000 TEP) ve Türkiye'nin tükettiği (enerji çevrim sektörü hariç) toplam enerjinin ise %0,17'lik (106.616 TEP / 64.034.000 TEP) kısmına karşılık gelmektedir.

KAYNAKLAR

- ..., (1953). *Koppers Handbuch der Brennstoff Technik*
- ..., (1982). *Energy and the steel industry*, Committee on Technology, International Iron and Steel Institute, Brussels
- ..., (1983). *Steel and energy*, Proceedings of seminar, Committee on technology, International Iron and Steel Institute, Brussels
- ..., (1984). *Final report for consultancy services and technical assistance on energy conservation program in Turkish industry, Iron and steel sector*, Nippon Steel Corporation, Volume 2, Turkey
- ..., (1996). *A strategic approach to energy and environmental management Good Practice Guide*, Department of the Environment, USA
- ..., (1996). *Successful Project management for energy efficiency*, Good Practice Guide 200, Department of the Environment
- ..., (1997). *Sanayide Enerji Yönetimi Esasları-Cilt I*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (EİE/UETM), Ankara
- ..., (1997). *Sanayide Enerji Yönetimi Esasları-Cilt II*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (EİE/UETM), Ankara
- ..., (1997). *Sanayide Enerji Yönetimi Esasları-Cilt III*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (EİE/UETM), Ankara
- ..., (1997). *Sanayide Enerji Yönetimi Esasları-Cilt IV*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi (EİE/UETM), Ankara

- ..., (1998) *Energy Use in the Steel Industry*, International Iron and Steel Institute, Brussels
- ..., (1999). *Company introduction report*, Sidmar N.V., Belgium
- ..., (2000). *Energy efficiency indicators” A study of Energy Efficiency Indicators for Industry in APEC Economies*, Tokyo
- ..., (2000). *Study on energy management and optimisation in industry*, Directorate-general of European Commission, Belgium
- ..., (2001) *Rautaruukki Steel and the Environment 2001*, Rautaruukki Steel, <http://www.rautaruukki.fi>
- ..., (2002). *Enerji Master Planı*, ERDEMİR – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Enerji Yöneticiliği, Kdz. Ereğli
- ..., (2003). *2003 Enerji Yöneticiliği Raporları*, İSDEMİR – İskenderun Demir Çelik A.Ş., Enerji Yöneticiliği, İskenderun
- ..., (2003). *2003 Enerji Yöneticiliği Raporları*, KARDEMİR - Karabük Demir ve Çelik Fabrikaları A.Ş., Enerji Yöneticiliği, Karabük
- ..., (2003). *2003 Yılı Enerji Yönetim Süreci Raporları*, ERDEMİR – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Enerji Yöneticiliği, Kdz. Ereğli
- ..., (2003). *Demir Çelik Üreticileri Derneği Sektör Raporları*
- ..., (2003). *Emerging trends in energy efficiency improvement in the steel industry* http://www.renewingindia.org/newsletters/bee/current/bee_dec_22_02.htm
- ..., (2003). *Energy Efficiency Trends in the Belgian Steel and Cement Industries* http://www.odyssee-indicators.org/Publication/PDF/Paper_ECONOTEC.pdf

- ..., (2003). *Energy Management for small and medium enterprises*, European Enterprises
- ..., (2003). *Erdemir Laboratuvar Verileri*, ERDEMİR – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Kdz. Ereğli
- ..., (2004). *2004 Yılı Enerji Yönetim Süreci Raporları*, ERDEMİR – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Enerji Yöneticiliği, Kdz. Ereğli
- ..., (2004). *Erdemir Laboratuvar Verileri*, ERDEMİR – Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Kdz. Ereğli
- ..., (2004). *Annual Environment Report*, (2004). Sidmar N.V., <http://www.sidmar.be>
- Beer J., Harnisch J., Kerssemeeckers M., (2003) *Greenhouse Gas Emissions from and Steel Production*, IEA Greenhouse Gas R&D Programme, ECOFYS
- Beer J., Phylipsen D., Bates J., (2001). *Economic Evaluation of Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emission Reductions in Industry in the EU*, Contribution to a study for DG Environment, European Commission by Ecofys Energy and Environment, AEA Technology Environment and National Technical University of Athens, January 2001
- Beer J., Worrell E., Blok K., (1998). *Future Technologies for energy-efficient iron and steel making*, Annual Rev. Energy Environ, page 23:123-205
- Binran T., (1980). *Japanese Steel Making Handbook*, 3rd Edition, Vol. 1-6, Iron and Steel Institute of Japan, Nippon Tekko Kyokai
- Çağlayan F., Özdebak A., Ertem M.E., (2001) *Determining the Infrared Thermography with Thermal Difference Principle at Erdemir*, 12th International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry (THERMO), Budapest, Hungary

Duman B., Asada I., (2002). *Energy Conservation Diagnosis Report on Integrated Steel Industry in Turkey* EIE/JICA, Ankara

EIE/JICA, (2002). *Energy Conservation Diagnosis Report on Integrated Steel Industry in Turkey*, Ankara

Enerji İstatistikleri, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi (2002).
<http://www.dektmk.org/turkish>

Ergün, S., (...), 21. *Enerji Tasarrufu haftası Etkinlikleri Kapsamında: Sanayide Enerji Verimliliği Forumu*, <http://www.mpm.org.tr/Anahtar/t01.htm>

Ertem M.E., (2001). *Entegre Demir Çelik Tesislerinde Enerji Tasarrufu Potansiyeli*, 1. Demir Çelik Sempozyumu, 3-5 Ekim 2001, Kdz. Ereğli, Türkiye

Ertem M.E., Erdoğan K., Gürgen S., Engin V.T., (2003). *Avrupa Birliği Demir Çelik Sektöründe Enerji Verimliliği ve Yönetimi, Türkiye’de Erdemir Modeli* 2. Demir Çelik Sempozyumu, 22-24 Ekim 2003, Zonguldak, Türkiye

Ertem M.E., Gürgen S. *Energy Balance Analysis for Erdemir Blast Furnace Number One*, Elsevier SCI, Applied Thermal Engineering, Vol.26-11/12 (2006) 1139-1148

Ertem M.E., Özdabak A., *Energy Balance Application for Erdemir Coke Plant with Thermal Camera Measurements*, Elsevier SCI, Applied Thermal Engineering, 25 (2005) 423-433 (Tübitak Yayın Teşviki)

Ertem M.E., Öztürk M.N., Özdabak A., (2004). *Emisyonların Önlenmesinde Spesifik Enerji Tüketiminin Önemi, Spesifik Enerji Tüketim Hesaplamaları ve Avrupa Birliği Uygulamaları (Demir Çelik Sektöründe)* 5. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 26-28 Mayıs 2004, ISBN-975-6455-7-1 (TK), İstanbul, Türkiye

Global Warming-How to UK Steel Industry has helped reduce carbondioxide emissions, and the way forward post-Kyoto, (2003). UK Steel Organization, <http://www.uksteel.org.uk/environ3.htm>

Gordon J. V. W., Richard E. S., (1985). *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3rd Edition, John Wiley & Sons Inc., Canada, ISBN 0-471-82933-1

Greenhouse Gas Emission Reduction and Material Flows, (2004) http://www.belspo.be/belspo/ostc/geninfo/publ/pub_ostc/CG2131/rappCG31Ann2_uk.pdf

Gürgen S., Ertem M.E., Özdebak A., (2002). *Türkiye’de Demir-Çelik Sektörü ve Avrupa Birliği Üyelik Sürecindeki Yeri*, 11. Uluslar arası Metalurji ve Malzeme Kongresi ve Fuarı, İstanbul, Türkiye

Hepbaşlı A., Akgöl E., Dalkılıç S., (2001). *Enerji Yönetimine Giriş Semineri Notları*, EBİLTEM, 17 Mayıs 2001, İzmir

Indication of annual energy saving and costs smelt reduction of pig iron, (2003) European Comission, http://europa.eu.int/comm/energy_transport/atlas/htmlu/smeltexample.html

Kim Y., Worrell E., (2003). *International comparision of CO2 emission trends in the iron and steel industry*, Elsevier-Energy Policy 30 (202) 827-838 www.elsevier.com/locate/enpol

Kimsesiz E., Özdebak A., Ertem M.E., (2001). *Description of Erdemir’s Energy Structure and Applications of Energy Saving Projects*, IBC’s 4th Annual Gas & Power in Turkey Conference, 25-26 September 2001, Istanbul, Turkey

Özdebak A., Ertem M.E., (2001). *Enerji Yönetim Teknikleri*, ERDEMİR Bilim ve Teknoloji Serisi No 4, Kdz. Ereğli

Özdabak A., Ertem M.E., Yüksel G., Kurt C., (2001). *Erdemir Enerji Yöneticiliği Aylık Enerji Raporunun Hazırlanışı*, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları T.A.Ş., Enerji Yöneticiliği, Kdz. Ereğli

Perry J.H, (1963). Chemical Engineers' Handbook, 4th Edition, Kogakusha Company Ltd, Tokyo

Termodinamik Evren, Fizik Dosyası – Fiziksel Dünyaya Yolculuk (2005)
<http://www.fizikdosyasi.com/termodinamikevren.htm>

UK Steel Industry 'wastes energy, (1999). BBC News, <http://news.bbc.co.uk/1/hi/sci/tech/556650.stm>

Worrell E., Martin N., Price L., (1999). *Energy efficiency and carbon dioxide emissions reduction opportunities in the U.S. Iron and Steel Sector*, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Environmental Energy Technologies Division, July 1999

Worrell E., Price L., Martin N., Farla J., Schaeffer R., (1997) "Energy intensity in the iron and steel industry: a comparison of physical and economic indicators" Elsevier-Energy Policy PII:S031-4215 (97) 00064-5

Yayan, V., (2002). *Demir Çelik Sektörünün Yapısı ve Enerji Tüketimleri*, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, Ankara

EK BİR
ENTEGRE DEMİR ÇELİK TESİSLERİNDE ÖRNEK BİR SPESİFİK
ENERJİ TÜKETİMİ HESABI

1. Kombine Hadde (Tek Bir Tesis İçin)

Kok Fabrikasında tüketilen ve yan ürün olarak kazanılan enerji kalemleri (alınan değerler örnek içindir);

Tüketilen Enerji

Elektrik 1.000.000 kwh/ay

Doğal Gaz 2.500 Sm³/ay

Üretilen Enerji

-

Elektriğin Kalorifik Değeri: 2300 kcal/kwh

Doğal Gazın Kalorifik Değeri: 8250 kcal/Sm³

Hat Üretimi : 50.000 ton

Burada tesisin toplam enerji tüketimi (tek birim bazında)

$$= \frac{1000000 * 2300 + 2500 * 8250}{1000} = 22925000 \text{ Mcal'dir.}$$

$$\text{Bu tesisin spesifik enerji tüketimi ise} = \frac{22925000}{50000} = 45,85 \text{ Mcal/Ton Ürün'dür.}$$

2. Tesisi Geneli İçin

Uygulama örneği tesis geneli için yapıldığında ise tesise giren toplam enerji, tesis sınırları dışına verilen enerjiden arındırıldıktan sonra harcanan net enerjinin o tesisin yarı mamulüne oranlanmasıyla elde edilebilecek genel bir örnek aşağıda verilmiştir.

Kokta kullanılan Kömür*kalorisi	
105.062	7677
806.560.974	
Enjeksiyon kömürü*kalorisi	
12.720	6.740
85.732.800	
Yerli kok*kalorisi	
90.610	6942
629.016.703	
İthal kok*kalorisi	
7.407	6.795
50.328.934	
Kok Tozu tük*Kalorisi	
7.570	6.614
50.069.038	
Fuel-oil tük.*kalorisi	
5.912	9.200
54.390.400	
Doğal gaz tük.*Kalorisi	
28.696	8.250
236.739.410	
Satın alınan Elektrik*kalorisi	
13.508	2300
31.069.467	
Alüminyum tük.*kalorisi	
163	7400
1206200	

Toplam Birincil Enerji Tük	MCAL	1.945.113.926
----------------------------	------	---------------

Yerli kok Ürt. mik.*Kaloris	
-82.883	6.945
-575.623.130	
Stoktan Katran Tük.	
tonajı*Kaloris	
-28	9.000
-251.100	
Satılan Oksijen	
mik.*Kaloris	
36	1.600
57.958	
Satılan Su Mik.	
Tonajı*Kaloris	
-243	500
-121.365	
H.Yağ Üretim*Kaloris	
-758	10.032
-7.608.269	

Toplam İkincil Enerji Tük
MCAL
-583.545.905

A-B

**A+B Toplam Net Enerji
Tük. (MCAL)**
1.361.568.020,5

**ENERGI TUKETIMI
(MCAL/TON)**

Uretilen Slab (TON)	250.855
---------------------	---------

Şekil 1. Örnek bir genel tesis spesifik enerji tüketimi hesabı

EK İKİ
ENTEGRE BİR DEMİR ÇELİK TESİSİ İÇİN SPESİFİK ENERJİ TÜKETİMİ
DETAY HASAPLARI VE TABLOLARI

Entegre olma özelliği nedeniyle birbirine bağlı ve/veya bağımsız olarak çalışan birçok tesisten meydana gelen çelik şirketlerinde genel enerji tüketiminin tesiste yer alan tüm hatlara paylaştırılması, tüketilen enerjinin kontrolü ve yönetimi açısından önemlidir. Aşağıda verilen tablolar entegre tesisler için bu yayılımı yapabilecek ana tablolar olarak verilmektedir.

Ünitenin tükettiği enerji	: A
Ünitenin kendi üretimi	: B (Sıcak Maden, Kok, Sinter, Galvanizlenmiş Rulo, Buhar, Su, Elektrik)
Fabrikanın genel üretimi	: C (Ham Çelik, Sıcak Haddelenmiş Rulo, Soğuk Haddelenmiş Rulo)

O halde ünitenin spesifik enerji tüketimi = $\frac{A}{B}$ olarak ifade edilirken, toplam enerji tüketimi içerisinde aldığı pay = $\frac{A}{C}$ olarak ifade edilmektedir. Genel olarak tüm tesisler bu şekilde bir tablo içerisinde toplanabilmektedir.

Tablo 1. Ünitelerin üretimleri ile enerji kalemi bazında enerji üretim ve tüketimleri ve tesis geneli toplam enerji tüketimleri

[illegible]

Tablo 2. Fabrika içerisinde yer alan tesislerin spesifik enerji tüketimlerini ve toplam içindeki payları izleme tablosu

YIL/AY TOPLAM TABLOSU			ENERJİ TÜKETİMİ (I)							ENERJİ KAZANIMI (II)									
Kaloriler(kcal/kg,kcal/Nm³,kcal/kwh)			Birim	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Toplam I	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Enerji	Toplam II	G.Toplam (I-II)	Spesifik Tüketimler
THÇ: Ton Ham Çelik ; TU: Ton Ürün				Kg	Nm³	Sm³	kwh	Nm³	m³	Mcal/TÜ	Kg	Nm³	Kg	kwh	Nm³	m³	Mcal/TÜ	Mcal/TÜ	Mcal/THÇ
ÜNİTELER				Üretim(r, m³, kwh)															
DEM	Ünite 1		Bir. Tük./TU																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
ÜRT	Ünite 2		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
P	Ünite 3		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
CEL	Ünite 4		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
ÜRT	Ünite 5		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
P	Ünite 6		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
Ham Çelik Üretim Top.																			
SİC	Ünite 7		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
HAD	Ünite 8		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
P	Ünite 9		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
SOG	Ünite 10		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
HAD	Ünite 11		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
P	Ünite 12		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
YAR	Ünite 13		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
İŞL	Ünite 14		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
P	Ünite 15		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
	Diğer Hattlar		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
	Kayıp+Ölç. Farkı		Birim Tük.																
			Mcal/TU																
			Mcal/THÇ																
TOPLAM I			THÇ	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0			
Stok ve Satılan			THÇ				0	0	0										
TOPLAM II			THÇ	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0			