



**TAV FIRINLARINDA KOK GAZI YERİNE  
DOĞALGAZ KULLANIMININ EKONOMİK VE  
ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ**

**Mücahid Fatih BALLI**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL**

**TAV FIRINLARINDA KOK GAZI YERİNE DOĞALGAZ KULLANIMININ  
EKONOMİK VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ**

**Mücahid Fatih BALLI**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL**

**KARABÜK  
Mayıs 2021**

Mücahid Fatih BALLI tarafından hazırlanan “TAV FIRINLARINDA KOK GAZI YERİNE DOĞALGAZ KULLANIMININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL

.....

Tez Danışmanı, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 04/05/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yusuf KURTGÖZ (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hacı Mehmet ALAKAŞ (KKÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Mücahid Fatih BALLI

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

## TAV FIRINLARINDA KOK GAZI YERİNE DOĞALGAZ KULLANIMININ EKONOMİK VE ÇEVRESEL SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ANALİZİ

Mücahid Fatih BALLI

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

TezDanışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL

Mayıs 2021, 96 sayfa

Bu çalışmada, demir çelik sanayisinin haddeleme sürecinde bulunan tav fırınlarının kok gazı yerine ikame yakıt olan doğalgaz kullanılması durumunda enerji, kalite, verimlilik ve çevre kazanımları incelenmiştir. Örnek bir projeksiyon hazırlanmış olup gelecek dönemler için üretim planı hedefi doğrultusunda senaryo analizi çalışılmıştır. Tav fırınları için modernizasyon yatırımının olurluluğu, yatırımın geri ödeme süresi gibi mühendislik ekonomisi yöntemleri kullanılarak kazanımlar sonucunda elde edilen toplam kar ile hesaplanır. Ayrıca tav fırınlarında, kok gazı kullanılması halinde açığa çıkan emisyon miktarı ve doğalgaz kullanılması halinde açığa çıkması öngörülen emisyon miktarı karşılaştırılmaktadır. Buna ek olarak, çevreye sağlanan fayda belirlenmektedir.

**Anahtar Sözcükler** : Demir çelik, ikame yakıt, kok gazı, doğalgaz, karbon ayak izi.

**Bilim Kodu** : 90609

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

# **ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ANALYSIS OF THE USE OF NATURAL GAS INSTEAD OF COKE GAS IN REHEATING FURNACE**

**Mücahid Fatih BALLI**

**Karabük University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Industrial Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assist. Prof. Dr. Çağrı SEL**

**May 2021, 96 pages**

In this study, the energy, quality, efficiency and environmental gains of the reheating furnace in the rolling process of the iron and steel industry has been investigated by using natural gas as a substitute fuel instead of coke gas. A sample projection has been prepared and scenario analysis has been studied in line with the production plan target for the future periods. The feasibility of the modernization investment for reheating furnaces is calculated with the total profit as a result of the gains by using engineering economics methods such as the self-paying time of the investment. In the reheating furnaces, the amount of emission that is released when coke gas is used and the amount of emission that is predicted to be released if natural gas is used are compared. In addition to these, the benefit provided to the environment is determined.

**Key Word** : Iron and steel, substitute fuel, coke gas, natural gas, carbon footprint.

**Science Code** : 90609

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında kıymetli bilgilerini ve tecrübelerini paylaşarak, anlayışını ve samimiyetini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Çağrı SEL'e, çalışma pratiği, bakış açısı ve tecrübeleriyle mesleki gelişimime destek olan müdürüm Sayın Zeren KARAARSLAN'a, tezimin birçok aşamasında bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım mesai arkadaşlarım Sayın Neslihan KÖSE'ye, Sayın Ayşegül USLU'ya, Sayın Cihan ERYÜKSEL'e, her daim destekçim olan Sayın Özge ATAYŞEN'e, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek beni bugünlere getiren aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

|                                                      | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------|--------------|
| KABUL .....                                          | ii           |
| ÖZET.....                                            | iv           |
| ABSTRACT.....                                        | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                        | vi           |
| İÇİNDEKİLER .....                                    | vii          |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                 | xi           |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                              | xii          |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                 | xiii         |
| <br>                                                 |              |
| BÖLÜM 1 .....                                        | 15           |
| GİRİŞ .....                                          | 15           |
| 1.1. AMAÇ VE KAPSAM .....                            | 15           |
| 1.2. LİTERATÜR İNCELEMESİ.....                       | 17           |
| <br>                                                 |              |
| BÖLÜM 2 .....                                        | 21           |
| ENTEĞRE DEMİR ÇELİK SANAYİ.....                      | 21           |
| 2.1. KOK FABRİKASI .....                             | 22           |
| 2.2. SİNER FABRİKASI.....                            | 23           |
| 2.3. YÜKSEK FIRIN .....                              | 24           |
| 2.4. ÇELİKHANE (BAZİK OKSİJEN FIRINI) .....          | 25           |
| 2.5. POTA FIRINI (İKİNCİL METALÜRJİ TESİSLERİ) ..... | 26           |
| 2.6. SÜREKLİ DÖKÜM TESİSLERİ .....                   | 26           |
| 2.7. HADDEHANELER .....                              | 26           |
| 2.7.1. Kontinü Haddehane .....                       | 27           |
| 2.7.1.1. Kontinü Haddehane Girdi Süreci.....         | 28           |
| 2.7.1.2. Tav Fırını .....                            | 29           |
| 2.7.1.3. Hadde Tezgahları .....                      | 31           |
| 2.7.1.4. Soğutma Izgarası.....                       | 32           |
| 2.7.1.5. Paketleme Ünitesi .....                     | 33           |

|                                                            | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.8. ENERJİ ÜRETİM TESİSLERİ.....                          | 33           |
| 2.8.1. Elektrik Üretim Santrali.....                       | 34           |
| BÖLÜM 3 .....                                              | 36           |
| ENTEĞRE TESİSLERDE ENERJİ KULLANIMI .....                  | 36           |
| 3.1. DEMİR ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE ENERJİ ÇEŞİTLERİ..... | 37           |
| 3.1.1. Yakıt Enerjisi .....                                | 38           |
| 3.1.1.1. Kok Gazı .....                                    | 38           |
| 3.1.1.2. Yüksek Fırın Gazı .....                           | 40           |
| 3.1.1.3. Doğalgaz .....                                    | 40           |
| 3.1.2. Elektrik Enerjisi .....                             | 41           |
| 3.2. İKAME YAKIT ENERJİSİ.....                             | 42           |
| 3.2.1. Kok Gazı ve Doğalgaz Karşılaştırılması .....        | 43           |
| BÖLÜM 4 .....                                              | 45           |
| SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK.....                                     | 45           |
| 4.1. ÇEVRESEL FAKTÖRLER .....                              | 45           |
| 4.1.1. Karbon Ayak İzi .....                               | 46           |
| 4.1.2. Hava Kalitesi .....                                 | 49           |
| 4.2. VERİMLİLİK.....                                       | 49           |
| 4.2.1. Malzeme Verimlilik Oranı.....                       | 50           |
| 4.2.2. Kapasite Kullanım Oranı .....                       | 50           |
| 4.2.3. Genel Çalışma Oranı.....                            | 50           |
| 4.3. KALİTE.....                                           | 51           |
| 4.3.1. Hadde Tufali .....                                  | 51           |
| 4.4. ENERJİ.....                                           | 52           |
| 4.4.1. Elektrik Enerjisi .....                             | 52           |
| 4.5. İŞ GÜVENLİĞİ .....                                    | 53           |
| BÖLÜM 5 .....                                              | 55           |
| MÜHENDİSLİK EKONOMİSİ.....                                 | 55           |
| 5.1. EKONOMİK KARAR TURLERİ .....                          | 56           |

|                                                                  | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------|--------------|
| 5.1.1. Makine, Teçhizat, Proses Yenileme Yatırım Projeleri ..... | 57           |
| 5.2. YATIRIM PROJESİ TEMEL BİLGİLERİ.....                        | 57           |
| 5.3. TAHMİN MODELLERİ.....                                       | 57           |
| 5.4. PARANIN ZAMAN DEĞERİ VE FAİZ HESAPLAMALARI.....             | 58           |
| 5.4.1. Nakit Akışı.....                                          | 59           |
| 5.5. PROJE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ .....                        | 59           |
| 5.5.1. Net Bugünkü Değer Metodu (NBD).....                       | 60           |
| 5.5.2. Karlılık İndeksi (Fayda/Maliyet Oranı) Metodu.....        | 60           |
| 5.5.3. İç Karlılık Oranı Metodu .....                            | 61           |
| 5.5.4. Rantabilite Oranı Metodu .....                            | 62           |
| 5.5.5. Geri Ödeme Süresi .....                                   | 62           |
| <br>BÖLÜM 6 .....                                                | <br>65       |
| ENDÜSTRİYEL UYGULAMA.....                                        | 65           |
| 6.1. MEVCUT DURUM .....                                          | 66           |
| 6.2. PROJE DURUMU .....                                          | 68           |
| 6.2.1. Tufal Kaybının Minimize Edilmesi (Kazanım-1).....         | 69           |
| 6.2.2. Fırın Duruşlarının Engellenmesi (Kazanım-2) .....         | 70           |
| 6.2.3. Kok Gazından Elektrik Üretimi (Kazanım-3) .....           | 72           |
| 6.2.4. Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması (Kazanım-4) .....  | 73           |
| 6.3. SENARYO ANALİZİ .....                                       | 74           |
| 6.4. TAV FIRININ DOĞALGAZA DÖNÜŞÜM YATIRIM MALİYETİ .....        | 80           |
| 6.5. EKONOMİKLİK ANALİZİ .....                                   | 82           |
| 6.5.1. Nakit Akışı Hesaplama .....                               | 83           |
| 6.5.2. Net Bugünkü Değer Hesaplaması.....                        | 84           |
| 6.5.3. Karlılık İndeksinin Hesaplaması.....                      | 85           |
| 6.5.4. İç Karlılık Oranının Hesaplaması .....                    | 85           |
| 6.5.5. Rantabilite Oranının Hesaplaması .....                    | 86           |
| 6.5.6. Geri Ödeme Süresinin Hesaplaması .....                    | 86           |
| <br>BÖLÜM 7 .....                                                | <br>89       |
| SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                       | 89           |

|                 | <b><u>Sayfa</u></b> |
|-----------------|---------------------|
| KAYNAKLAR ..... | 93                  |
| ÖZGEÇMİŞ .....  | 96                  |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                      |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Sunulmakta olan tezin akış süreci.....                                    | 16 |
| Şekil 2.1. Entegre demir çelik tesisi üretim akış şeması (Kardemir A.Ş., 2020). .... | 22 |
| Şekil 2.2. Kontinü haddehane nervürlü inşaat çeliği üretimi akış şeması.....         | 28 |
| Şekil 2.3. Kontinü haddehane tesisi yarı mamül istifi. ....                          | 29 |
| Şekil 2.4. Kontinü haddehane tesisi tav fırını. ....                                 | 30 |
| Şekil 2.5. Kontinü haddehane tesisi hadde tezgahı. ....                              | 31 |
| Şekil 2.6. Kontinü haddehane tesisi soğutma ızgaraları. ....                         | 32 |
| Şekil 2.7. Kontinü haddehane tesisi paketleme ünitesi.....                           | 33 |
| Şekil 2.8. Elektrik üretim santrali akış şeması. ....                                | 34 |
| Şekil 3.1. Ülkemizde sektörel enerji tüketimlerine ait dağılımlar. ....              | 36 |
| Şekil 3.2. Sanayi sektörünün alt birimlerinin enerji tüketimleri. ....               | 37 |
| Şekil 6.1. Kok gazı kullanıldığında açığa çıkan karbondioksit miktarı. ....          | 78 |
| Şekil 6.2. Doğalgaz kullanıldığında öngörülen karbondioksit miktarı. ....            | 79 |
| Şekil 6.3. Tav fırınlarında bulunan burner ve üzerinde bulunan ekipmanlar.....       | 80 |
| Şekil 6.4. Tav fırınına ana doğalgaz şebekesinden gaz tedarik etme süreci. ....      | 81 |
| Şekil 6.5. Yatırım için oluşturulan nakit akım şeması. ....                          | 84 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3.1. Kok gazı bileşenleri ve özellikleri (Ergül, 2020).....                    | 39 |
| Çizelge 3.2. Yüksek fırın gazı bileşenleri ve özellikleri (Yakışık, 2010). ....        | 40 |
| Çizelge 3.3. İthal doğalgazda istenilen ve gerçekleşen özellikler (Güney, 2014). ....  | 41 |
| Çizelge 6.1. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için gerçekleşen tüketimler.....     | 66 |
| Çizelge 6.2. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için sabit ve değişken maliyetler. . | 67 |
| Çizelge 6.3. Tesisin mevcut durumda verimlilik değerleri. ....                         | 67 |
| Çizelge 6.4. Doğalgaz kullanıldığında birim nervürlü inşaat çeliği için tüketimler. .  | 70 |
| Çizelge 6.5. Tufal kaybının minimize edilmesi sonucu verimlilik değerleri. ....        | 70 |
| Çizelge 6.6. Fırın duruşlarının engellenmesi sonucu verimlilik değerleri. ....         | 71 |
| Çizelge 6.7. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için tüketim karşılaştırmaları.....  | 74 |
| Çizelge 6.8. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için sabit ve değişken maliyetler. . | 75 |
| Çizelge 6.9. Üretim planı senaryosuna göre toplam satılabilir ürün karşılaştırması. .  | 75 |
| Çizelge 6.10. Mevcut ve proje durumu sonucunda birim ve senaryo maliyetleri.....       | 76 |
| Çizelge 6.11. Kok gazı ve yüksek fırın gazından üretilen elektrik miktarı.....         | 76 |
| Çizelge 6.12. Kok gazı yada doğalgaz kullanıldığında oluşan kazanç ve genel kar..      | 77 |
| Çizelge 6.13. Kok gazı kullanıldığında açığa çıkan karbondioksit miktarı. ....         | 78 |
| Çizelge 6.14. Doğalgaz kullanıldığında öngörülen karbondioksit miktarı. ....           | 79 |
| Çizelge 6.15. Tav fırınlarının modernizasyonu için toplam yatırım maliyeti.....        | 82 |
| Çizelge 6.16. Yatırım için oluşturulan nakit akış tablosu. ....                        | 84 |
| Çizelge 6.17. Yatırıma ait anaparanın geri alınacağı toplam süre. ....                 | 87 |
| Çizelge 6.18. Yatırıma ait anapara ve toplam faizin geri alınacağı toplam süre. ....   | 87 |
| Çizelge 6.18. (devam ediyor). ....                                                     | 88 |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                                |                      |
|--------------------------------|----------------------|
| kg                             | : kilogram           |
| t                              | : ton                |
| Tep                            | : ton eşdeğer petrol |
| m <sup>3</sup>                 | : metreküp           |
| Nm <sup>3</sup>                | : normal metreküp    |
| kWh                            | : kilowatt saat      |
| MW                             | : megawatt           |
| kcal                           | : kilokalori         |
| %                              | : yüzde              |
| cm                             | : santimetre         |
| mm                             | : milimetre          |
| °C                             | : santigrat derece   |
| h                              | : saat               |
| CO                             | : karbonmonoksit     |
| CO <sub>2</sub>                | : karbondioksit      |
| S                              | : kükürt             |
| SO <sub>2</sub>                | : kükürt dioksit     |
| NO <sub>2</sub>                | : azot dioksit       |
| N <sub>2</sub>                 | : azot               |
| H <sub>2</sub> S               | : hidrojen sülfür    |
| He                             | : helyum             |
| CH <sub>4</sub>                | : metan              |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>  | : etan               |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>  | : propan             |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> | : bütan              |
| PM                             | : partikül madde     |

## KISALTMALAR

|       |                                                                                   |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| BOF   | : Bazık Oksijen Fırını                                                            |
| THT   | : Tetra Hidro Teofen                                                              |
| QTB   | : Quenched Tempered Bar (Söndürölmüş Temperli Çubuk)                              |
| TEİAŞ | : Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi                                          |
| ICAO  | : International Civil Aviation Organisation (Uluslararası Sivil Havacılık Örgütü) |
| NBD   | : Net Bugünkü Değer                                                               |
| İKO   | : İç Karlılık Oranı                                                               |
| GÖS1  | : Geri Ödeme Süresi 1                                                             |
| GÖS2  | : Geri Ödeme Süresi 2                                                             |
| Kİ1   | : Karlılık İndeksi 1                                                              |
| Kİ2   | : Karlılık İndeksi 2                                                              |
| RO    | : Rantabilite Oranı                                                               |
| RMS-B | : Root Mean Square (B Tipi Basınç Düşürme ve Ölçüm İstasyonu)                     |
| RMS-C | : Root Mean Square (C Tipi Basınç Düşürme ve Ölçüm İstasyonu)                     |

## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

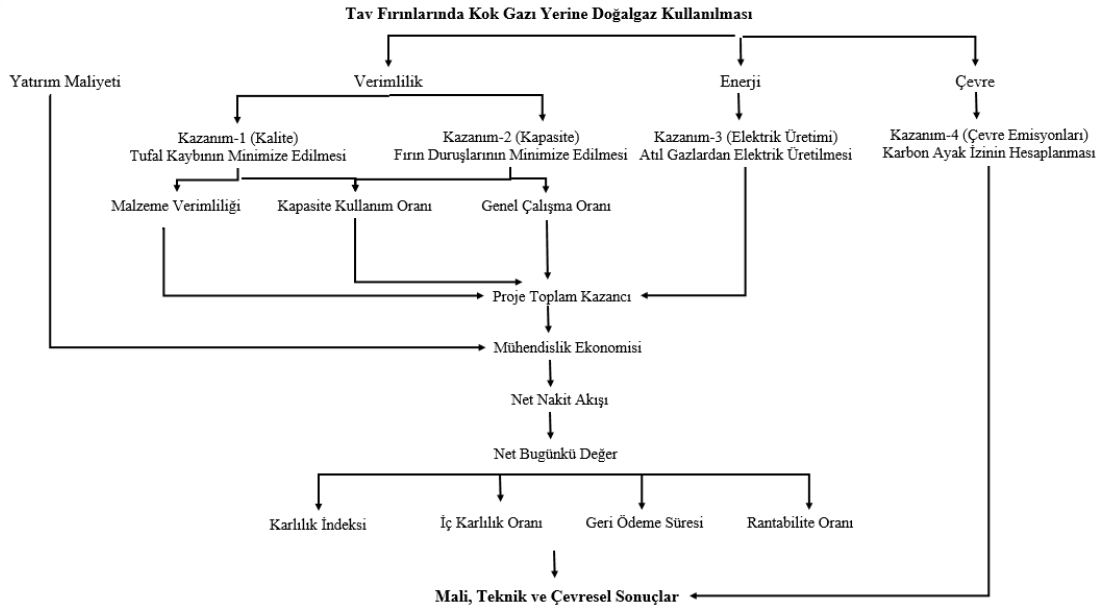
Üretim; insan ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılan kaynak ve yöntemlerle fayda sağlayıcı ürünleri oluşturabilmek olarak tanımlanabilir. Günümüzde, insanların artan ve çeşitlenen ihtiyaçları, kullanılan kaynakları ve yaşanabilir çevreyi büyük ölçüde etkilemektedir. Gelişen teknoloji ve kaynakların kısıtlı olması, üreticileri alternatif kaynak kullanımına yöneltmektedir ve bu kaynakları kullanırken çevresel yükümlülükleri de göz önünde bulundurmaya zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda üreticiler kullanmakta oldukları kaynakların; kolay temin ve tedarik edilebilir, daha çevreci, yüksek kalite sağlayan ve uygun maliyetle olan alternatiflerini araştırarak, ikame dengesi üzerine çalışmalarını sürdürmektedir.

#### **1.1. AMAÇ VE KAPSAM**

Demir ve çelik, dünyada önemli bir pazara sahiptir ve hemen her alanda kullanılmakta olan ürünleri üreten bir sektördür. Demir çelik sanayi sektörü içerisinde her tesis farklı süreçle yönetilmektedir ve hammadde girdisiyle çok çeşitli ürünler elde edilmektedir. Özellikle entegre olarak adlandırılan demir çelik tesislerinde, her proses çıktısı yeni bir prosesin girdisidir ve tesislerin enerji ihtiyaçlarının büyük bir kısmı proseslerinin yan ürünlerinden elde edilen gazlar vasıtasıyla temin edilmektedir.

Enerji, demir çelik sektörü başta olmak üzere her alanda kullanılmaktadır. Özellikle demir çelik sektörünün üretim maliyetleri içerisindeki en büyük pay enerji tüketimine aittir. Bu durum, enerjiden tasarruf yapılması halinde, üretim maliyetini düşürmede katma değerinin yüksek olacağını göstermektedir. Enerji tasarrufu; kullanılan miktarı azaltarak yapılabildiği gibi alternatif enerji kaynakları kullanarak yapılabilmektedir. Alternatif kaynaklar tercih edilirken çevre, kalite, maliyet gibi sürdürülebilirliğin anahtar faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu tezde, demir çelik sektörünün haddeleme sürecindeki tav fırınlarında kullanılan yakıt alternatifleri üzerine çalışılmıştır. Nervürlü inşaat çeliğini ısıtmak için tav fırınlarında kullanılan kok gazı yerine alternatif yakıt olarak belirlenen doğalgazın kullanılması halinde hem birim üretim bazında hem de gelecek yıllar için üretim planlaması yapılmış olan 45.000 ton üretim senaryosuna göre verimlilik, kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği ve maliyet faktörlerinin değişimi incelenmiştir. Tesisin doğalgaz kullanımına uygun modernize edilebilmesi için yatırım maliyeti belirlenmiştir ve yatırım kararı için mühendislik ekonomisi teknikleri kullanılarak proje kazancı ve projenin geri dönüş süresi gibi duyarlılık hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan tüm analizler için akış belirlenmiş ve Şekil 1.1.'de süreç haritası verilmiştir.



Şekil 1.1. Sunulmakta olan tezin akış süreci.

Bu tezin amacı, tav fırınlarının kok gazı yerine doğalgaz ile çalıştırılması durumunda maliyet açısından daha ekonomik, kalite ve kapasite kullanımı açısından daha verimli, iş güvenliği açısından daha güvenli, hava kalitesi açısından doğaya ve insanlığa karşı daha temiz olup olmadığını incelemektir.

Tezin ilk bölümünde, çalışma ile ilgili bilgiler veren giriş bölümü ve literatürdeki benzeri kaynaklar incelemesi yer almaktadır. İkinci bölümde, demir çelik sektörü üretim süreci hakkında bilgi verilmektedir. Üçüncü bölümde, enerji çeşitleri ve ikame

enerji hakkında bilgiler sunulmaktadır ve yakıt olarak kullanılan gazlar tanımlanarak çalışma dahilinde karşılaştırma yapılmıştır. Dördüncü bölümde, sürdürülebilirliğin anahtar faktörleri hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, mühendislik ekonomisi teknikleri ve duyarlılık analizi hesaplamaları hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde, önceki bölümlerde bilgilendirilmesi yapılan tüm konuların endüstriyel tesiste uygulaması gerçekleştirilmiştir. Yedinci bölümde ise sonuç ve öneriler yer almaktadır.

## **1.2. LİTERATÜR İNCELEMESİ**

Günümüzde artan tüketim ihtiyacı, ürün çeşitliliği, sektörel rekabet ve temiz çevreyle birlikte daha sağlıklı yaşam koşulları beraberinde sürdürülebilir üretimin önemini ortaya çıkartmaktadır. İşletmeler, tüketiciler için üretim gerçekleştirirken minimum maliyeti gözetmenin yanı sıra kısıtlı kaynakların alternatiflerini en iyi şekilde değerlendirerek, çevreye karbondioksit ve diğer zararlı gazların salınımını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu nedenle işletmeler tarafından, üretim proseslerinde kullanılan enerji kaynakları; verimlilik, kalite, çevre ve maliyet gibi sürdürülebilirliğin anahtar faktörleri açısından titizlikle incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, bu tez çalışması için bir işletme tesisinde kullanılan enerji kaynaklarının yerine alternatif kaynaklar kullanılarak üretim yapılması ve bu durumun sürdürülebilirliğe etkisi Web of Science veri tabanında Science Citation Index (SCI) diziniyle, Elsevier Science Direct, Springer, Tübitak Ulakbim Ulusal Veri Tabanı ve buna bağlı olan Dergipark platformu, Ulusal Tez Merkezi, T.C. Resmi Gazete, Resmi Kurum ve Kuruluş Web Siteleri ve tüm platformları kapsayan Google Akademik veri tabanları kullanılarak, demir çelik, yakıt enerjisi, ikame yakıt, kok gazı, doğalgaz, karbon ayak izi anahtar kelimeleriyle son 20 yılın (2001-2021) taraması yapılarak elde edilen çalışmalar incelenmiştir. Taramaya öncelikle en yeni tarihli çalışmalardan başlanarak eski tarihli çalışmalara doğru ilerlenmiştir. Çalışmanın kim/kimler tarafından yapıldığı, ne zaman yapıldığı, hangi sorunlara çözüm üretebilmek amacıyla yapıldığı, hangi yöntem ve metotlar kullanıldığı ve çalışmanın sonucunda elde edilen bulguların neler olduğu incelenerek not alınmıştır.

Johansson ve Söderström (2011) yaptıkları çalışmada; İsveç demir çelik endüstrisi için üretimde mevcut yakıt olarak kullanılan enerji kaynakları yerine alternatif yakıtlar kullanarak enerji verimliliğini, karbondioksit salınımını ve elektrik üretimini incelemiştir. Mevcutta yakıt olarak kullanılan kok gazı ve yüksek fırın gazı yerine sentetik doğalgaz kullanılması halinde verimliliğin %56,2-%67,2 oranında artabileceği ve kullanılamayan atık gazlardan ise elektrik üretimi gerçekleştirerek yıllık 80.000-100.000 ton karbondioksit salınımının azaltılabileceğini iki farklı şirkette vaka analizi olarak hesaplamıştır.

Güney (2014) enerji sistemleri mühendisliği alanında hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde; endüstriyel tav fırınlarında kütüğü ısıtmak için kullanılan kok gazı ve yüksek fırın gaz karışımının yerine doğalgaz kullanılması durumunda enerji verimliliğine etkisini incelemiştir. Mevcut durumda, kok gazı ve yüksek fırın gazı karışımından oluşan yakıtı kullanan haddehane tav fırını verimini %50,62, doğalgaz kullanan haddehane tav fırını verimini ise %60,52 olarak hesaplanmıştır.

Yakışık (2010) çalışmasında; entegre demir çelik tesislerinde üretim prosesi sonucunda açığa çıkan yan ürün gazlarından (kok gazı, yüksek fırın gazı, çelikhane gazı) verimli şekilde yararlanabilmek için buhar ve elektrik üretimi gerçekleştirilebilecek tesisin teknik ve ekonomik analizini hesaplamıştır. Atık gazların miktarı, ısı değerleri, gaz yakan buhar kazanının verimi ve buhar üretim kapasitesi hesaplanmıştır. Aynı kalite ve miktardaki buharın, kömür kazanından elde edilmesi durumunda kullanılacak olan kömürün, miktarı ve maliyeti ile kıyaslanmıştır. Tüm araştırmalar sonucu potansiyel tasarruflar hesaplanmış ve ekonomik analiz yöntemleri kullanılarak yapılması gereken yatırımın doğruluğu ispatlanmıştır.

Sridhar ve Mohaideen (2012) yaptıkları çalışmada; demir çelik tesislerinin üretimleri sonucu yan ürün olarak açığa çıkan kok gazı ve yüksek fırın gazı ile yine üretim içerisinde kullanılan doğalgazın çevresel etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Yakıtların yanmasıyla açığa çıkan SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve PM emisyon değerleri sayısal olarak simüle edildiğinde doğalgazın kok ve yüksek fırın gazlarına oranla daha temiz olduğu belirlenmiştir.

Burmistrz vd. (2016) yaptıkları çalışmada; kok kömürü kullanımı sonucu açığa çıkan karbondioksit emisyonunu karbon ayak izi analizi ile incelemiştir. 1 kg kuru bazlı kok kömürünün işlenmesi esnasında gerçekleştirilen tüm süreçler için karbondioksit salınım değeri hesaplanmıştır.

Bengtsson (2013) çalışmasında; İsveçte bulunan bir demir çelik tesisinde kullanılan yakıtların petrol ve doğalgaza dönüşümünün çevresel ve ekonomik etkilerini incelemiştir. Tesiste mevcutta kullanılan yakıtların yerine doğalgaz kullanılmasıyla karbondioksit emisyonlarının %18 oranında azaltılabileceği, bakım maliyetlerinin düşürülebileceği ve doğalgaza dönüşüm için yapılması gereken yatırımın ekonomik değerlendirmesi hesaplanmıştır. Tüm bu hesaplamalar doğalgazın diğer yakıtlara oranla daha yüksek maliyette olması sebebiyle başabaş noktasıyla incelenmiş ve doğalgaz fiyatının 400 İsveç kronundan daha az olması halinde 5 yıl içerisinde yatırımın kendini amorti edeceği belirlenmiştir.

Abuluwefa (2017) çalışmasında; Libya demir çelik endüstrisine bağlı bir tesisin üretim sürecinde yakıt olarak kullanılan fuel oil yerine doğalgaz kullanımının verimlilik ve çevresel etkilerini incelemiştir. Yapılan analizler ve hesaplamalar sonucunda, doğalgazın daha iyi performansta yanma sağladığı ve buna bağlı olarak verimliliği yükselttiği, karbondioksit salınımını %25,7 oranında azalttığı ve SO<sub>2</sub> emisyonunu tamamen ortadan kaldırdığı belirlenmiştir.

Deng ve Adams (2018) yaptıkları çalışmada; demir çelik tesislerinde açığa çıkan yan ürün gazlarından santrallerde elektrik üretimine dönüştürülmesini incelemiştir. Küresel ısınma sebebiyle yaklaşan ağır vergilendirmeler sebebiyle çevreye salınan karbondioksit oranının düşürülmesi ve üretim maliyetlerinin azaltılmasına destek olunabilmesi amacıyla üretim süreci sonucunda açığa çıkan gazlardan elektrik üretilmesi önerisinde bulunmuş ve yol gösteren bir makale hazırlanmıştır.

Ever ve Demircioğlu (2020) yaptıkları çalışmada; demir çelik tesislerinde karbon maliyetlerinin belirlenmesi üzerine bir uygulama gerçekleştirmiştir. İncelenen örnek olayda işletmenin üretim ve maliyet hesaplamaları incelenmiştir. 2016-2017 yıllarına ilişkin karbon emisyonları tespit edilerek, karbon ayak izi hesaplanmış ve karbon

emisyonu kaynaklı maliyetlerin toplam üretim maliyetleri içerisindeki payı belirlenmiştir. İşletmede yapılan araştırmaya göre işletmede proses ve yanma kaynaklı emisyonlar tespit edilmiştir. Proses kaynaklı emisyonlar alt kalemlerle değil toplam değer üzerinden incelenmiş olup yanma kaynaklı emisyonlar kömür ve doğal gazdan oluşmaktadır. İşletmede karbon ayak izini hesaplayabilmek için kütle dengesi yöntemi kullanılmıştır. Karbon ayak izinin 2016 yılında 4,78 ton CO<sub>2</sub> iken, 2017 yılında 4,22 ton CO<sub>2</sub> emisyonu olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca 2016 yılında birim karbon maliyeti 128,04 TL/ton iken 2017 yılında bu rakam 117,95 TL/ton olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Bir başka husus ise işletmenin 2016 ve 2017 yılında emisyon kaynaklı maliyetlerinin, toplam çevresel maliyetlerin %99'unu oluşturduğu görülmüş, ancak bunların yanı sıra 2016 yılında işletmenin ton başına üretim maliyetleri içerisindeki karbon emisyon maliyetleri yaklaşık % 9 oranında iken, 2017 yılında ise % 8 oranına düştüğü tespit edilmiştir.

Literatür incelemesi sonucunda demir çelik sektöründe kullanılan yakıt enerjileri alternatifleriyle kıyaslandığı ve bu kıyaslama sonucunda alternatif olarak belirlenen yakıtın verimliliğe, kaliteye ve çevreye etkileri incelendiği tespit edilmiştir. Ayrıca atıl kalan gazın elektrik enerjisine dönüştürüldüğü de farklı bir çalışmada belirlenmiştir.

En nihayetinde hazırlanan bu tez çalışmasının literatürdeki çalışmalarla ortak noktası demir çelik sektöründe kullanılan mevcut yakıt enerjisinin alternatifi ile kıyaslanmasıdır. Literatürdeki çalışmalardan ayıran noktası ise mevcutta kullanılan yakıt enerjisinin alternatifi ile kıyaslama yapılırken sürdürülebilir anahtar faktörlerin tek bir çalışmada incelenerek sonuçlarının belirlenmesidir. Ayrıca literatürdeki çalışmalardan bir diğer farkı ise alternatif yakıt kullanımının gerçekleştirilmesi için ihtiyaç duyulan yatırım için mühendislik ekonomisi tekniği kullanılması ve projenin ekonomiklik analizinin tespit edilmesidir.

Bu çalışma, verimlilik artışı ve kalite artışıyla birlikte satılabilir ürün miktarını yükselterek sanayiye ve ülkemizin demir çelik ihracatına katkı sunmasının yanı sıra zararlı emisyon miktarını düşürerek bölge halkına da daha sağlıklı bir çevre imkanı sağlayacaktır.

## BÖLÜM 2

### ENTEGRE DEMİR ÇELİK SANAYİ

Demir çelik insanlık tarihinin ilk zamanlarından beri bilinmekle beraber, iki yüzyıl öncesine kadar kullanım alanı silah ve eşya yapımı olmuştur. 18. yüzyılda İngiltere’de, ham demir ve pik demirin yüksek fırın yöntemiyle üretiminin başlamasından sonra, demirin yapı malzemesi olarak kullanılabilecek dövme demir ortaya çıkmıştır (Aslan, 2008).

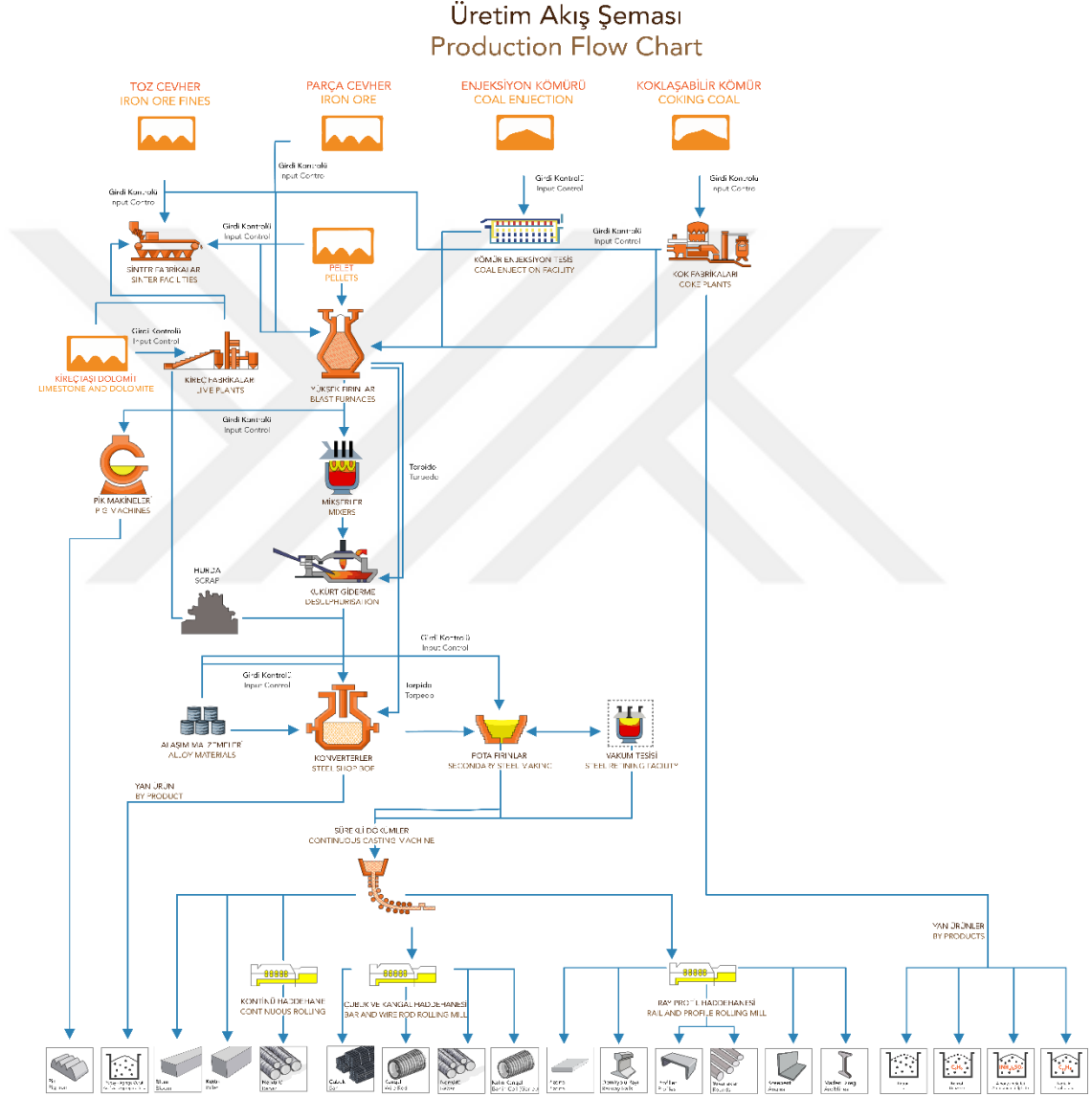
Bessemer (1855), Siemens ve Martin (1864), Thomas (1879) yöntemlerinin bulunmasıyla ham demirin sıvı hale dönüştüğünde arıtılabilmesi sağlanmıştır. Bu sayede dökme çelik üretiminin ortaya çıkması olanağı sağlanmıştır. 20. yüzyılın başı itibariyle elektrik fırınları da kullanılmaya başlanmış ve dökme çelik üretimi yüksek tonajlara ulaşarak demir çelik sektörü önem kazanmıştır (Aslan, 2008).

Demir çelik tesisleri, demir cevherinin kok benzeri yakıtlarla yüksek fırınlarda işlenmesi veya nitelikli hurda metallerinin ark ocaklarında eritilmesiyle elde edilecek olan blum, slab ve kütüklerin değişik işlemlerden geçirilmesiyle istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip mamul üreten büyük ölçekli fabrikalardır (Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, 2014). Bu tesislerin her bir prosesinin çıktısı, bir sonraki prosesi için girdi teşkil edenleri ve kendi enerji ihtiyaçlarının büyük bir bölümünü karşılayabilenleri entegre tesis olarak adlandırılmaktadır. Entegre Demir-Çelik tesisleri içerisindeki herbiri bir fabrika niteliğinde;

- Kok fabrikası
- Sinter fabrikası
- Yüksek fırın
- Çelikhane (Bazik oksijen fırını)
- Pota fırını (İkincil metalürji tesisleri)
- Sürekli döküm tesisleri

- Haddehane
- Enerji üretim tesisleri

bulunmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Demir cevherinden nihai mamule kadar tüm süreci özetleyen üretim akış şeması Şekil 2.1’de sunulmaktadır.



Şekil 2.1. Entegre demir çelik tesisi üretim akış şeması (Kardemir A.Ş., 2020).

## 2.1. KOK FABRİKASI

Entegre demir çelik tesislerinde kok fabrikasının aslı görevi yüksek fırınların yakıt ihtiyacı olan metalürjik koku üretmektir. Kok, sıvı ham demir üretimine ve sıcak

maden kalitesine doğrudan etki etme potansiyelinden dolayı yüksek fırını besleyen en önemli hammaddedir. Kok fabrikası; kömür hazırlama, bataryalar, kırma eleme tesisleri ve yan ürünler tesisleri olmak üzere dört ana tesisten oluşmaktadır. Bu tesislerde metalürjik kok, döküm kok, ceviz kok, kok tozu ve yan ürün olarak kok gazı, ham katran, ham benzol, naftalin ve amonyum sülfat ürünleri üretilmektedir (Ergül, 2020).

Metalürjik kok üretimi; ilk işlem olarak koklaşabilir taş kömürü fırınlara doldurulur. İki fırın arasında bulunan yanma kamaralarındaki yanan gazın verdiği ısı ile koklaşır. 0-3 mm çap aralığında kırılarak harmanlanan kömür, kömür hazırlama tesislerinden batarya şarj silolarına konveyör hatlarla nakledilir ve bataryaların fiziki şartlarına göre kömür 16-36 saat aralığında koklaşır. Koklaşma işlemi sırasında kömür içerisindeki açığa çıkan uçucu maddeler fırın bacalarından ana gaz toplama borularına aktarılır. Borular içerisinde bulunan bu uçucu maddeler, arıtılma işleminin gerçekleştirilmesi için yan ürünler tesisine iletilir. Koklaşması tamamlanan fırın, söndürme kulelerinde soğutulur ve kırma eleme tesislerinde istenilen fiziki boyutlara getirilerek yüksek fırınlara sevkiyatı sağlanır (Ergül, 2020).

Kok gazı ise koklaşabilir kömürün kok bataryalarında koklaştırılmasıyla açığa çıkan ham kok gazından, amonyak, katran, benzol, toluol, ksilol, naftalinin ayrıştırılmasının ardından yakıt işlevi gören gazdır. Kok gazı genel olarak, entegre tesislerin yüksek fırın sobalarında, sinter fabrikalarında, çelikhanede, döküm makinalarında ve haddehanelerin tav fırınlarında yakıt kullanılmaktadır (Yakışık, 2010).

## **2.2. SİNER FABRİKASI**

Sinter fabrikası, yüksek fırınlarda doğrudan kullanılamayacak özellikteki kükürtlü ve toz cevherlerin ergime derecesinin altında bir sıcaklıkta ısıtılmak suretiyle kullanıma uygun ebat ve dayanıklılıkta topaklar haline getirildiği tesislerdir.

Sinterleme işleminin amacı belirli boyut altındaki demir cevherleri ile diğer demirli malzeme ve kireçtaşı ile dolomit taşı benzeri katkı malzemelerinden oluşturulan sinter harmanını kok kömürü ile yakarak yüksek fırınlarda kullanılır hale getirmektir.

### 2.3. YÜKSEK FIRIN

Yüksek fırın, önceden fiziksel ve kimyasal olarak hazırlanmış olan demir içerikli sinter, pelet ve cevher hammaddelerinin kok fabrikasında üretilmiş olan metalürjik kokun yakılması sonucunda oluşan karbonmonoksit ile redüklenerek ve oluşan ısı ile ergitilerek sıvı ham demirin üretildiği tesislerdir. Yüksek fırınlarda yakıt olarak metalürjik kok kömürünün yanı sıra pulverize kömür ve katran da ikame olarak kullanılabilir.

Sıvı ham demir; bileşiminde %2'den daha fazla karbon ihtiva eden karbon-demir alaşımıdır. Parça halinde bulunan demir cevheri, sinter, kok ve kireçtaşı fırının üst bölgesinden fırın içerisine şarj edilmektedir. Reaksiyonlar sonucunda açığa çıkan yüksek fırın gazı kapalı devre sistem ile gaz yıkama sistemine alınarak tozundan arındırılarak, yüksek fırın sobalarında ve diğer ünitelerde kullanılmaktadır.

Yüksek fırın; boğaz, gövde, bel, karın ve hazne olmak üzere 5 bölgeye sahiptir. Sıcaklığın 1250 °C'ye ulaştığı karın bölgesinde demir oksit kısmi olarak indirgenir. Demir oksidin indirgenmesi ile beraber kok ile reaksiyonu da bu bölgede başlar. Tüyer bölgesinde kok reaksiyonu devam eder, hazneden sıvı maden ve cüruf olarak dışarı alınır.

Yüksek fırın sobalarından sağlanan sıcak hava; oksijen ve diğer yardımcı indirgeyicilerle zenginleştirilerek kokun yanması için gerekli olan oksijeni sağlar. Yanma sonucu açığa çıkan karbon monoksit, demir oksitleri indirger. Kok, indirgeyici olmasının yanı sıra yüksek fırın içinde yığın taşıyıcı görevi görmektedir. Fırına şarj edilen malzemeler aşağıya doğru indikçe artan sıcaklığın etkisiyle içerdikleri nem azalır ve ısınarak reaksiyona girer. Demir cevherinde bulunan oksijen, kok veya karbon monoksit ile reaksiyona girmesiyle oluşan karbon monoksit veya karbondioksit en üst bölgeden borular vasıtası ile gaz yıkama ünitesine taşınır. Alev sıcaklığı tüyer bölgesinde 2000 °C'yi aşabilir. Bu ısı seviyesinde, pik demir ve indirgenmeyen diğer oksitler, kok külü ve silikatların karışımından oluşan cüruf yavaş yavaş hazneye dolar.

Döküm deliğinden alınan sıvı maden ve cüruf, ana maden kanalı üzerinde bulunan sifon olarak adlandırılan bölgede yoğunluk farkı nedeniyle ayrışır. Cüruf; granüle cüruf tesisinde su ile granüle edilir. Sifondan geçerek torpidolara alınan sıvı ham demir ise torpidolar aracılığı ile çelikhaneye nakledilir.

#### **2.4. ÇELİKHANE (BAZİK OKSİJEN FIRINI)**

Yüksek fırınlarda elde edilen sıvı ham demirin içerisinde bulunan kükürt, fosfor ve silisyum içeriğinin düşürülmesi için ön işlemlerden geçirilmesi gerekmektedir. Sıcak maden, içerisindeki kükürdün düşürülebilmesi için Kükürt Giderme Tesisi'nde ağırlıklı olarak kireç, magnezyum, kalsiyum karpit vb. karışım ile işleme tabi tutulmaktadır. Kükürt Giderme Tesisi'nde fosfor ve silisyum giderme işlemi maliyetli olması sebebiyle tercih edilmemektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Kükürt giderme işleminin ardından sıcak maden torpidolar aracılığıyla Bazik Oksijen Fırını'na (BOF) aktarılmaktadır.

BOF sisteminde, sıcak maden içerisindeki istenmeyen safsızlıkların oksidasyon işlemi yardımıyla uzaklaştırılması amaçlanmaktadır. Bu sistem; hurda ve sıcak madenin şarjı, oksijen üflemesi ve döküm işlemlerinden oluşmaktadır. İşlemler esnasında çeliğin kalitesini iyileştirmek ve cüruf oluşumunu sağlamak için flax malzemeler kullanılmaktadır.

BOF'a vinç yardımıyla önce hurda şarjı, daha sonrasında sıcak maden şarjı gerçekleştirilir. Şarj ve dökme işlemleri sırasında bazik oksijen fırını eğilmektedir. Oksijen üflemesi sırasında ise dik pozisyonda durmaktadır. Sistemin içerisine Saf oksijen (>%99) üst bölgeden oksijen lansları ile istenilen kalitede çelik elde edilinceye kadar üflenmektedir. Hurda, demir cevheri veya diğer soğutucu malzemeler yüksek sıcaklığı düşürmek için ilave edilmektedir. Oksijen üflemesinin kesilmesinin ardından ham çelik bazik oksijen fırınından potalara alınmaktadır. Daha sonra alınan ham çelik ikincil metalürji tesislerinde istenilen kalite ve içeriğe göre hazırlanmaktadır.

Oksijen üflemesi sırasında sistemde oluşan gazlar yüksek oranda karbonmonoksit ve ilave olarak karbondioksit içermektedir. CO açısından zengin olan BOF gazı toplanıp

temizlendikten sonra enerji tesislerinde yakıt olarak kullanılmaktadır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

## **2.5. POTA FIRINI (İKİNCİL METALÜRJİ TESİSLERİ)**

Bazık oksijen fırınından gelen sıvı çeliğin sıcaklığını ve kompozisyonunu ayarlamak için kullanılan bir prodestir. Bu aşamada cüruf sıyırma ve gaz alma işlemleri gerçekleştirilir. Burada ihtiyaca uygun ikincil metalürjinin en önemli bölümü vakum arıtmasıdır. Bu işlemle çeliğin içinde kalan hidrojen, oksijen ve azot gazları veya kalıntı karbon konsantrasyonları uzaklaştırılır (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021).

## **2.6. SÜREKLİ DÖKÜM TESİSLERİ**

BOF ve pota fırınında, kalitesi ve sıcaklığı istenilen düzeye getirilen sıvı çelik şekillendirilmek üzere sürekli döküm tesislerine gönderilmektedir. Bu tesis haddeleme süreci öncesinde kütük, blum, profil taslağı vb. yarı mamül olarak nitelendirilen ürünlerinin üretildiği tesislerdir.

## **2.7. HADDEHANELER**

Sıvı çeliğin, sürekli döküm tesislerinde yarı mamüle dönüşmesinin ardından işlenerek istenilen boyut ve özelliklere getirildiği son aşama haddeleme sürecidir. Bu süreç sıcak ve soğuk olarak yapılabilmektedir. Alev ile yüzey temizliği (skarfig) ve taşlama, tufal giderme, kesme, dilimleme ve bozuk kısımların alınması işlemleri haddehanelerde gerçekleştirilmektedir. Haddeleme işlemi sonucunda isteğe bağlı olarak yassı ürün veya çubuk ve filmaşın üretilmesinin yanı sıra günümüz teknolojisiyle birlikte birçok farklı ve katma değerli ürünlerin üretilebileceği haddeleme tesisleri de kurulmuştur.

Haddeleme sürecinde; girdi kütüğü, sürekli döküm makinesinde haddehane ihtiyacına göre farklı ebat ve çelik kalitesinde üretimi yapılan çelik malzemedir. Tav Fırını, bir malzemenin belirli bir sıcaklıkta bir süre tutulmasını sağlamak için malzemenin özelliklerini değiştirme, gerilme giderme, tane yapısını değiştirme veya malzemedeki

farklı mikro yapının oluşumunu sağlamak gibi çeşitli amaçlarıyla kullanılan, farklı tip ebatları bulunan ekipmanlardır. Tavlama, malzeme sertliği azaltmak, çeliği ulaşabileceği en yüksek yumuşaklığa erdirmek için; yani düşük mukavemet ve sertlikte yüksek uzama gösterebilecek hale getirmek amacıyla malzemenin belirlenen bir sıcaklıkta belirli bir süre tutulmasıdır. Tezgah, haddeleme sırasında malzemelerin merdaneler arasından geçirilerek istenilen şekli almasını sağlar. Bir hadde tezgahı merdanelerden, yataklardan, hadde kasası ile merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı şanzıman ve motordan oluşmaktadır. Merdane, malzemelere plastik şekil verme amacıyla, eksenleri etrafında dönen iki ya da daha çok silindir şeklindeki ekipmandır. Haddeleme, belirli sayıdaki tezgahlardan geçirilmek suretiyle malzemeye sıcak ya da soğuk plastik şekil verme işlemi sonucunda ilk giriş malzemesi kesitinin düşürülerek boyunun uzaması sonucu müşteri talepleri doğrultusunda istenilen nihai ölçülere getirilmesi işlemidir. QTB (quenched-tempered bar), son işlem tezgâhından çıkan malzemenin istenilen mekaniksel özelliklere kavuşturulması için basınçlı su ile soğutma yapılan sistemdir.

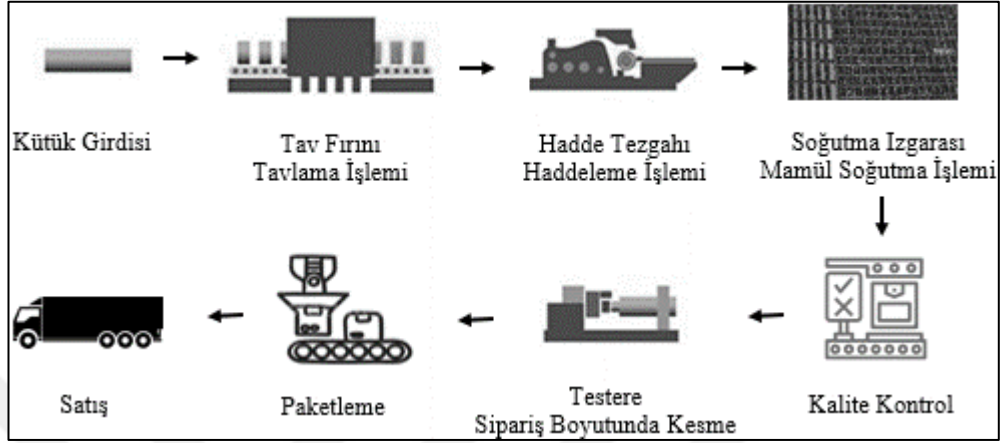
### **2.7.1. Kontinü Haddehane**

Haddelemenin diğer bir anlamı, metalik bir malzemeyi eksenleri etrafında dönen iki merdane arasından geçirerek yapılan plastik şekil verme işlemidir. Üretim hızı ve sürekliliği ile işlemin ve ürün kontrolünün kolay oluşu nedenleriyle en çok kullanılan plastik şekil verme yöntemidir.

Malzemenin merdaneler arasında her bir geçişine “paso” denir. Haddeleme basınçlı bir mekanik işlem olup uygulanan tek kuvvet merdanelerle sağlanan radyal basınçtır.

Çelikhanede üretilen ve dökümü yapılan çelik mevcut haliyle son kullanım yeri için gerekli boyutsal ve mekanik özellikleri gösterememektedir. Son şeklini, ebatlarını ve kullanıcı tarafından istenen performans özelliklerini elde etmek için; daha ileri şekillendirme ve işlemlere tabi tutulmaktadır. Çeliğin ilk şekillendirilmesi sürekli döküm prosesinde gerçekleşen malzemenin sıvı halden ilk katılaşmış haline geçtiği aşamadır. Burada sıvı çelik artık yarı mamul yani kütük haline dönüşür. Bundan sonra ikinci şekillendirme aşaması diye adlandırılan ve çelik fabrikalarında en fazla işlem

basamağına sahip bu proses haddelemedir. Kütükten; düz ve nervürlü inşaat çeliğinin üretildiği bu haddehaneye Kontinü Haddehane denilmektedir. Kontinü haddehaneye ait üretim süreci Şekil 2.2’de sunulmaktadır.



Şekil 2.2. Kontinü haddehane nervürlü inşaat çeliği üretimi akış şeması.

Bu tesiste yarı mamul olarak, 130 x 130 x 9000 mm ve 150 x 150 x 9000 mm ebatındaki kare kesitli çelik kütüklerden minimum çap, 12 mm ve maksimum çap 40 mm nervürlü ebatında inşaat çeliği üretilebilmektedir. Üretim hattında; 1 adet 22.5 x 9.5 metre ebatında tav fırını, 17 adet hadde tezgâhı, 15.6 metre tempcore hattı, 102 metre uzunluğunda soğutma ızgarası, 2 adet soğuk makas ve paketleme tesisi bulunmaktadır.

#### 2.7.1.1. Kontinü Haddehane Girdi Süreci

Çelikhane sürekli döküm makinasında üretilen yarı mamuller vinç vasıtasıyla istif sahasında stoklanmaktadır (Şekil 2.3). Üretilecek mamule göre çelikhane gelen yarı mamuller önce vinçler ile şarj ızgarası üzerine ve roleler yardımı ile fırın önüne getirilerek iticiler tarafından fırın içine şarja alınır. Tavlama, fırın içi sıcaklık kontrolü ve tavlama süresi gibi kontroller yapılarak çelik ve yarı mamul cinsine göre bilgisayar sistemi ile tam otomasyonlu olarak yapılır.



Şekil 2.3. Kontinü haddehane tesisi yarı mamül istifi.

Hangi ürün üretilecek ise üretim reçetesine bağlı olarak merdaneler arasındaki hava boşlukları ve merdaneler üzerindeki paso dizaynına tabi tutulur. Daha sonra merdanelerin üretime hazırlanması açısından merdaneler arasından küçük parçalar haddelenerek üretim öncesi hadde tezgâhları üretime hazır hale getirilir. Üretim planlamasına göre belirlenen ebatlarda üretim için her ebata ait ölçüler ve haddeleme şartları belirlenerek üretime başlanır.

#### **2.7.1.2. Tav Fırını**

Tav Fırınları; bir malzemenin belirli bir sıcaklıkta bir süre tutulmasını sağlamak için malzemenin özelliklerini değiştirme, gerilme giderme, tane yapısını değiştirme veya malzemede farklı mikro yapının oluşumunu sağlamak gibi çeşitli amaçlarıyla kullanılan, farklı tip ebatları bulunan ekipmanlardır. Haddehane özelinde haddelenecek malzemenin istenilen sıcaklıklarda ısıtılması amacıyla kullanılmaktadır.

Tavlama, daha sonraki aşamalarda işlenebilir olmasını sağlamak için çeliğin yumuşatılmasını amaçlayan, ısıtma ve uygun bir sıcaklıkta tutmayı takiben uygun bir hızla soğutma işlemlerin tümünü kapsar. Ancak, uygulanan işlemler, çeliğin bileşimini homojen biçime getirdiği gibi, tane boyutlarını da küçültür ve işlenme sırasında oluşabilecek gerilmeleri giderir. Tavlama işleminin asıl amacı malzeme sertliğini düşürmek ve sonraki üretim operasyonlarının gelişimini kolaylaştırmaktır.

Çeliğin östenitik bir yapıya sahip olabilmesi için gerekli bir şekilde tavllanması gerekir. Östenitik dönüşümü sağlayacak gerçek sıcaklık, çeliğin bünyesindeki karbürün tamamının ergimesini sağlayacak kadar yüksek olan sıcaklıktır. Bu sayede çeliğin bünyesindeki alaşım elementlerinin sertleşmeye olan yararlı etkilerinin tamamından istifade edilebilir. Bazı durumlarda takım çelikleri ve yüksek karbonlu çeliklerde olduğu gibi aşınmaya karşı dayanımı sağlamak amacıyla, ergimemiş halde bir miktar karbürün bulunması istenebilir. Bu takdirde östenit sıcaklığı hiçbir zaman çeliğin tane iriliğini arttıracak bir seviyede yüksek tutulmamalıdır.

Tavlanacak parçanın her tarafının eşit (homojen) bir şekilde tavlmasını sağlayacak bir süre içinde fırında kalması sağlanmalıdır. Yaklaşık olarak her 25 mm kalınlık için bir saat gibi bir süre gerekmektedir. Tav süresinin kısa olması, yani hızlı tavlama işlemi, yüksek gerilimler meydana getirdiğinden, çarpılmalara ve çatlamalara neden olur. Tavlama hızı tavlanacak parçanın büyüklüğüne, tavlanacağı fırının ısı iletme karakteristiğine, tav ortamıyla tavlanan parça arasındaki sıcaklık farkına bağlıdır.

Tav fırını (Şekil 2.4) özellikleri aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır.

- Tav fırını 22x9.5 m boyutlarında optimum tav kapasitesi 80 ton/saat olan üç bölmeli reküperatif sistemle çalışan itmeli tip fırındır.
- Her bölmede alından 9 adet olmak üzere toplam 27 adet burner bulunur. Tav fırınına şarj ve fırındandeşarj itmeli olarak yapılır.
- Fırında yüksek fırın ve kok tesislerinde yan ürün olarak elde edilen yüksek fırın ve kok gazları yakıt olarak kullanılır.



Şekil 2.4. Kontinü haddehane tesisi tav fırını.

### 2.7.1.3. Hadde Tezgahları

Bir haddehanenin ana parçaları hadde tezgâhlarıdır. Hadde tezgâhları çeliği şekillendiren merdaneler ile birlikte ilave diğer teçhizatları da barındırmaktadır. Bunlar; merdane yatakları, hadde kasası ile merdaneleri döndürmek için kullanılan şaftlara bağlı şanzıman ve motordan ibarettir. Hadde tezgâhları (Şekil 2.5), merdanelerin miktarı ve yerleşimi ile merdane ölçülerine göre tanımlanmakta olup, öne çıkan en önemli özellikleri tezgâh düzenleridir.



Şekil 2.5. Kontinü haddehane tesisi hadde tezgahı.

Kontinü Haddehanesi 1 dikey 16 yatay olmak üzere toplam 17 tezgâhtan oluşur ve hadde 3 grup olarak meydana gelir.

0-6. tezgâhlar arasında olan bölgeye kaba grup denir, bu bölgede yarı mamul olarak kullanılan kütük nihai mamul oluşumuna hazırlanır. Malzemenin kaba grup çıkışından sonra yarı mamul esaslı uç bölge kusuru makas 1 vasıtasıyla kesilerek ortadan kaldırılır ve haddenin orta grup olarak adlandırılan bölümüne doğru ilerler.

7-10. tezgâhlar arasında olan bölgeye orta grup denir. Bu bölüm yarı mamul olarak kullanılan kütüğün nihai mamul oluşumunun gerçekleştiği finish grubuna kadar geçen sürede malzemenin haddelendiği bölgedir.

11-16. tezgâhlar arasında olan bölgeye finish grubu denir. Bu bölge malzemenin artık nihai olarak meydana geldiği, tüm ayarların daha hassas olduğu ve malzemenin son halini aldığı bölgedir. Haddeleme işlemi sona eren mamul deprem yönetmeliğine uygun inşaat demiri özelliklerine ait akma ve çekme seviyelerine ulaşabilmesi adına QTB olarak adlandırılan tempcore hattında ebatlara göre belirlenen debide suya maruz bırakılarak deprem yönetmeliğine uygun inşaat çeliği haline gelmektedir. Daha sonra tempcore hattından çıkan nihai mamul ebatlara göre belirlenmiş ölçülerde uçar makas vasıtasıyla 84 ve 96 metreye kesilerek soğuması için soğutma ızgarasına gönderilir.

#### 2.7.1.4. Soğutma Izgarası

Haddelenmiş olan nihai mamuller 84 ve 96 metreye kesilerek bir düzenek vasıtası ile soğutma ızgarası (Şekil 2.6) ismi verilen platforma düşürülür.



Şekil 2.6. Kontinü haddehane tesisi soğutma ızgaraları.

Soğutma platformunun üzerinde hava ile doğal soğutma yapılırken aynı anda hizalama rölesi ile aynı hizaya getirilir. Daha sonra soğutma ızgarasındaki ızgara tarakları vasıtasıyla soğuk makas platformuna gönderilerek satışa hazır olması için standart olarak belirlenen 12 metre boyutta kesilmek üzere soğuk makas bölümüne rollerle yardımıyla iletilir. Giyotin makas ile istenilen boya (12 metre) kesilir. Makas vasıtasıyla kesilen ve paketlenmeye hazır hale mamul grubu içerisinde bulunan standart boyda olmayan ürünler kısa parça ayırma ünitesi yardımıyla ayrılır. Standart boya getirilen ürünler paketlenme ünitesine yollanır.

#### 2.7.1.5. Paketleme Ünitesi

Paketleme ünitesinde nervürlü inşaat çeliği istenilen tonaja göre paketlenmektedir (Şekil 2.7). Paketleme işlemleri bağ makinesi vasıtası ile yapılmaktadır.



Şekil 2.7. Kontinü haddehane tesisi paketleme ünitesi

Bağların üzerinde yer alan etikette üretim belgesi, üreticinin adı, adresi, ilk tip test sonuçları gibi sabit alanların dışında bağlanan demir ağırlığı, çekilen ebat, boy, üretim tarihi ve döküm numarası da belirtilmektedir. Paketler magnetli vinç yardımıyla ebatlara göre belirlenmiş istif alanlarına istiflenir.

### 2.8. ENERJİ ÜRETİM TESİSLERİ

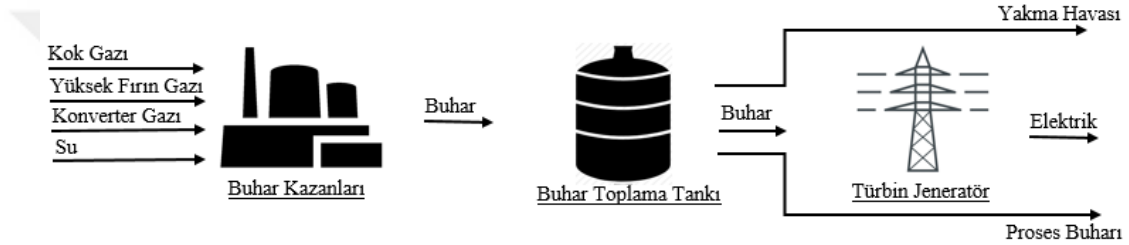
Demir çelik üretim prosesi, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı bir prosestir. Bir entegre demir çelik tesisi için en önemli husus kendi enerjisini üretebilir, depolayabilir, işleyebilir ve dağıtımını yapabilir olmasıdır.

Enerji üretim tesislerinde atık proses gazlarından elektrik üretimi, buhar üretimi ve yakma havası elde edilmesinin yanı sıra tesislerin ihtiyaç duyduğu proses suyu ve oksijen, azot ve argon gazı ihtiyaçlarının temini de gerçekleştirilmektedir. Enerji üretim tesisleri, tüm prosesin ihtiyacı doğrultusunda elektrik ve oksijen, azot, argon gazlarını üretebilmekte, proses suyunu işleyebilmekte, yine dışarıdan enerji satın

alabilmekte, jeneratör ve tanklarında depolayabilmekte, boru ve kablo hatlarıyla ünitelere dağıtımını yapabilmektedir.

### 2.8.1. Elektrik Üretim Santrali

Yan ürün veya atık gaz olarak nitelendirilen kok gazı, yüksek fırın gazı ve çelikhane gazı elektrik üretim santralinde yakıt olarak değerlendirilmektedir. Atık gazların bu tesiste değerlendirilmesiyle elektrik enerjisi, proses buharı ve yakma havası elde edilir. Elde edilen bu ürünlerden yakma havası yüksek fırınlara gönderilirken proses buharı ve elektrik ihtiyaç doğrultusunda ünitelere dağıtılır. (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Elektrik üretim santrali akış şeması.

Entegre demir çelik tesislerinde yan ürün olarak açığa çıkan kok gazı, yüksek fırın gazı ve konverter gazı buhar kazanları içerisinde yakılarak 98 bar ve yaklaşık 540 °C'de buhar üretimi gerçekleştirilir. Üretilen buhar, tanklarda depolanır ve yüksek fırınlara yakma havası, jeneratörlere elektrik üretimi için buhar ve kullanım durumlarına göre ilgili ünitelere proses buharı olarak iletilir.

Bu santraller aynı zamanda gaz dağıtım birimi görevini de üstlenmesi sebebiyle; tüm fabrika ana gaz şebekesinin bakım ve işletilmesi, gaz depolarının bakım ve işletilmesi, gaz üretim ve tüketim koordinasyonunun sağlanması faaliyetlerini yürütmektedir. Üreticiler ve tüketiciler arası gaz balansını koordine ederek şebekenin emniyetli bir şekilde çalışmasını ve üretilen gazın maksimum mertebe tüketilmesini sağlar. Sistemde tüketilmeyen fazla gazın, bacalarda yakılarak atılmasını ve şebeke basıncının stabil halde tutulması faaliyetlerini sürdürür.

Hazırlanan bu tez çalışmasında odak noktası demir çelik sektörüdür. Demir çelik sektörü, ülkemizin sanayisinin yapı taşı konumunda olup ihracatta da ülke

ekonomisine katkı sağlamaktadır. Bu nedenledir ki, demir çelik sektöründe yapılacak bir iyileştirme doğrudan işletmeyi ilgilendirdiği ölçüde dolaylı olarak da sektörü, çevre halkını ve ülke ekonomisini kalkındıracaktır.

Bu bölümde tez çalışmasının odak noktası olan demir çelik sektörü ve süreçleri tanıtılmıştır. Daha fazla iyileştirmeye açık alanlarının bulunması ve daha kolay uygulanabilir olması sebebiyle haddeleme prosesi üzerine çalışılmıştır.

Demir çelik sektöründe kullanılan enerjinin üretim maliyetleri içerisindeki payı, hammaddeden sonra ikinci sırada yer almaktadır ve % 15-25 civarında yüksek bir orana sahiptir (Demir Çelik Üreticileri Derneği, 2021). Bu sebeple haddeleme sürecinde de enerji iyileştirmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Haddeleme sürecinde en fazla kullanılan enerji türü yakıt enerjisidir. Sürekli döküm makinalarında haddehane için istenilen fiziksel ve kimyasal özelliklerde dökümü yapılan girdi mamül kütüğü tav fırınlarında ısıtılır. Bu ısıtma işlemi kok gazı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kok gazı, kok fabrikalarında metalürjik kokun üretilmesi esnasında açığa çıkan bir yan üründür. Bu sebeple atıl bir gaz olup haddeleme tesisindeki tav fırını gibi çeşitli üretim süreçlerinde değerlendirilmektedir.

Yapılan literatür incelemeleri ve işin sahada mesleki ve teknik gözlemiyle kok gazı yerine alternatif bir yakıt kullanıldığında verimlilik, kalite, çevre, iş sağlığı güvenliği gibi sürdürülebilirliğin anahtar faktörlerinde yaşanabilecek değişimler incelenmiştir. Ayrıca tav fırınlarında kullanım dışı kalan atıl kok gazının bacadan atılması yerine elektrik enerjisine dönüştürülerek tekrar sistem içerisine dahil edilmesi de ayrı bir kazanç sağlayacaktır.

Bu kapsamda bu bölümde, kok fabrikalarındaki metalürjik kok üretimi esnasında açığa çıkan kok gazı süreci, nervürlü inşaat çeliği üreten sürekli haddehane tesisinin tav fırını süreci, enerji üretim tesisinin elektrik üretim santrali süreci incelenmiştir. Bir sonraki bölümde ise entegre tesislerde enerji kullanımı, enerji çeşitleri, yakıt enerjilerinin bir kısmının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birbirleri yerine kullanılabilen ikame enerjilerin karşılaştırılması hakkında bilgiler verilecektir.

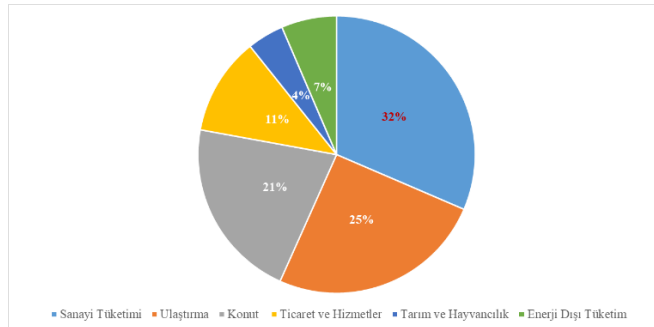
## BÖLÜM 3

### ENTEGRE TESİSLERDE ENERJİ KULLANIMI

Enerji, bir maddenin ya da makinenin iş yapabilme yeteneğidir (Yılmaz, 2016). İnsanoğlunun geçmişinden bugününe kadar hayatının her alanında enerji etkisini göstermektedir. Uygun şartlarda, kalitede ve yeterli miktarlarda yararlanılması halinde, insanoğlunun medeniyet yolundaki ilerleyişinde hızlandırıcı olmuştur. Sosyo ekonomik hayatı olumlu yönde etkilemiştir ve modern hayatın vazgeçilmez bir parçası olmuştur.

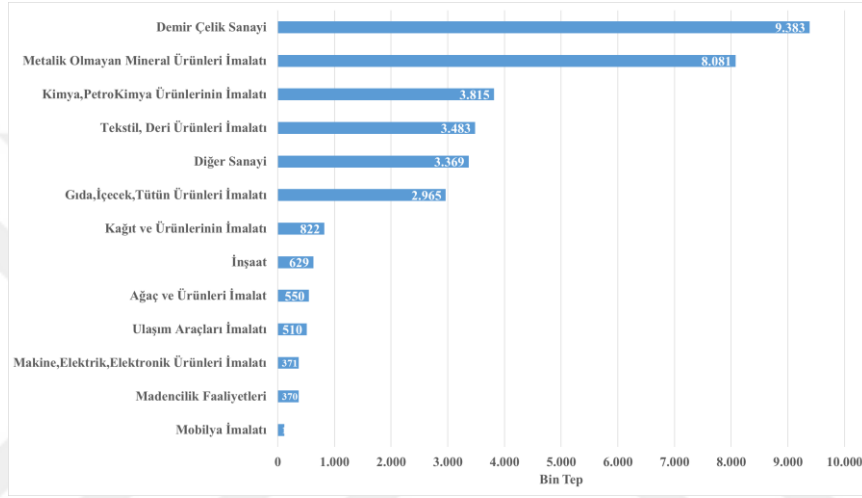
Enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasına dair yönetmelik ile 25 Ekim 2008 tarihinde yayınlanan resmi gazetede tüm enerji kaynaklarının ton eşdeğer petrole (TEP) dönüşüm katsayıları belirlenmiştir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2008). Tüm enerji kaynaklarının tek bir birim ile ifade edilmesini sağlamaktadır. 1 TEP, 1 ton petrolün yakılması ile elde edilecek enerjiye eşittir.

Günümüzde gelişen teknoloji ile ivme kazanan sektörler enerji kullanımını arttırmaya devam etmektedir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2020), enerji tüketim raporuna göre ülkemizde sanayi sektörü ve ulaştırma sektörü enerjiyi yoğun olarak kullanan sektörlerin başında gelmektedir.



Şekil 3.1. Ülkemizde sektörel enerji tüketimlerine ait dağılımlar.

Ülkemizde enerjiyi yoğun kullanan sektörler Şekil 3.1’de görüldüğü üzere; %32 kullanım oranıyla sanayi sektörü (34.466 bin Tep), %25 kullanım oranıyla ulaştırma sektörü (27.653 bin Tep), %21 kullanım oranıyla konut (23.202 bin Tep), %11 kullanım oranıyla ticaret ve hizmet sektörleri (12.491 bin Tep), %4 kullanım oranıyla tarım ve hayvancılık sektörü (4.682 bin Tep) ve %7 kullanım oranıyla ise enerji dışı tüketim yani petrokimya feedstock (7.076 bin Tep) şeklindedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2020).



Şekil 3.2. Sanayi sektörünün alt birimlerinin enerji tüketimleri.

Sektörel bazlı bakıldığında ise; ülkemizde enerjinin yoğun kullanıldığı sanayi sektörünün toplam kullanımının (34.466 bin Tep), 9.383 bin Tep’lik kısmı ile ilk sırada yer alan demir çelik üretim sanayisinde kullanıldığı Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (2020) raporunda sunulmaktadır (Şekil 3.2).

### 3.1. DEMİR ÇELİK ÜRETİM TESİSLERİNDE ENERJİ ÇEŞİTLERİ

Demir çelik sektörü enerjiyi yoğun kullanan bir sektördür. Entegre demir çelik tesisleri cevhere dayalı üretim yapan bir endüstri kolu olmakla birlikte enerji tüketimi yönünden incelendiğinde hurda bazlı üretim yapan ark ocaklı tesislere oranla daha fazla miktar ve çeşitte enerji kullanılmaktadır. Çelik sektörü, enerjinin girdi maliyetlerindeki payı, hammaddeden sonra ikinci sırada yer almaktadır ve % 15-25 civarında yüksek bir orana sahiptir (Demir Çelik Üreticileri Derneği, 2021). Cevherden sıvı çelik üretimi yapan demir çelik tesislerinin toplam enerji tüketiminin

%70–80'i taşkömürü, %8-10 elektrik, %10-15 petrol ve doğalgaz tüketiminden oluşmaktadır. Entegre tesislerde kullanılan enerji çeşitleri ve birincil enerji kullanılarak üretilen yardımcı enerji kaynakları; kömür, metalurjik kok, pulverize kömür, katran, elektrik, fuel oil, kok gazı, yüksek fırın gazı, konverter gazı, yüksek fırın gazı, buhar, su, oksijen, azot, argon ve diğerleridir.

### **3.1.1. Yakıt Enerjisi**

Geleneksel yakıtlar olarak nitelendirilen katı yakıt (kömür), sıvı yakıtlar (fuel oil, benzin, katran vb.), gaz yakıtlar (lpg, doğalgaz, hava gazı, kok gazı, yüksek fırın gazı vb.) entegre demir çelik tesislerinde cevherin çeliğe dönüşüm sürecinde kullanılmaktadır. Bu yakıtların kullanım şekilleri ve özellikleri farklılık göstermektedir. Çevresel etkileri ve rezervlerinin azalmasından dolayı enerji kaynaklarının en verimli şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Günümüzde gelişen teknoloji ve buna bağlı artan yakıt ihtiyacı, maliyet ve çevresel sınırlandırmalarda göz önünde bulundurularak alternatif yakıt ve ikamelik hususlarına yönelmeyi tetiklemektedir.

Gaz yakıtlar, ucuz olmasa da katı ve sıvı yakıtlara göre daha kolay depolanabilmekte ve taşınabilmektedir. Bu sebeple kullanımları ve yanma esnasındaki kontrol edilebilirlikleri diğer yakıtlara göre daha kolaydır (Güney, 2014). Özellikle kalorifik değeri yüksek ve tüm proseslerde yakıt girdisi teşkil etmesi bakımından kok gazı büyük öneme sahip olup yine yüksek fırın prosesi sonucu açığa çıkan yüksek fırın gazı da kok gazı ile zenginleştirilerek kullanılabilir. Ayrıca dışarıdan tahsis edilen doğalgaz, hem bulunabilirliği hemde güvenilir ve çevreci olmasından dolayı yaygın kullanılmaktadır.

#### **3.1.1.1. Kok Gazı**

Koklaşabilir kömürünün kok bataryalarında havasız ortamda yüksek sıcaklıkta ısıtılmasıyla uçucu maddeler ayrıştırılmaktadır ve ham kok gazı elde edilmektedir. Ham kok gazından ayrıştırılan amonyak, katran, benzol, toluol, ksilol, naftalin gibi

kimyasal maddeler yan ürünler sahasında temizlendikten sonra geriye yakıt işlevi gören kok gazı kalmaktadır (Yakışık, 2010).

Kok gazı fiziksel özellikleri bakımından sarımtırak renklidir, naftalin-sarımsak arası kokuludur ve yoğunluğu bakımında havadan hafif ( $0,44 \text{ kg/m}^3$ )'tir. Kimyasal özellikleri bakımından ise CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> içermesinden dolayı yanıcıdır, kalorifik değeri yüksektir, hava ile %4,3-%32 arasındaki oranlarda karışımı ve 600 °C sıcaklığında patlayıcı etkisi taşımaktadır, CO oranı %6 olduğundan dolayı zehirleyicidir ve içeriği düzensizdir.

Kok gazının kimyasal içeriği, alt ısı değeri ve yoğunluk değerleri Çizelge 3.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1. Kok gazı bileşenleri ve özellikleri (Ergül, 2020).

| <b>Kok Gazı Bileşenleri</b>   |                           |
|-------------------------------|---------------------------|
| <b>Bileşen</b>                | <b>Oran</b>               |
| H <sub>2</sub>                | 60,19%                    |
| O <sub>2</sub>                | 0,08%                     |
| N <sub>2</sub>                | 6,64%                     |
| CH <sub>4</sub>               | 21,75%                    |
| CO                            | 6,48%                     |
| CO <sub>2</sub>               | 0,93%                     |
| C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> | 0,42%                     |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | 1,74%                     |
| Diğer                         | 1,77%                     |
| Alt Isıl Değeri               | 4.028 kcal/m <sup>3</sup> |
| Yoğunluk                      | 0,490 Kg/m <sup>3</sup>   |

Kok gazı entegre tesislerin yüksek fırın sobalarında, sinter fabrikalarında, çelikhane, döküm makinalarında ve haddehanelerin tav fırınlarında yakıt olarak kullanılmaktadır (Yakışık, 2010). Yine enerji üretim tesislerinde yakma havası, buhar ve elektrik üretimi amacıyla da kullanılmaktadır.

### 3.1.1.2. Yüksek Fırın Gazı

Yüksek fırın gazı; hidrojen, azot, karbonmonoksit, karbondioksit ve metan karışımından oluşmaktadır. Yüksek fırın gazı, bileşim gaz olması sebebiyle kullanılmadan önce içerik bakımından zengileştirilmesi gerekmektedir.

Fiziksel özellik bakımından renksiz, kokusuz, tatsızdır, zehirleyicidir ve kolay fark edilemeyen bir gazdır. Yoğunluğundan dolayı havadan ağırdır. Kimyasal özellikleri bakımından yanma sıcaklığı 680 °C'dir, hava ile belirli bir orandan karışması halinde patlayıcı etkisi bulunmaktadır ve patlama aralığı %30-%70 arasındadır.

Yüksek fırın gazının kimyasal içeriği ve alt ısı değeri Çizelge 3.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.2. Yüksek fırın gazı bileşenleri ve özellikleri (Yakışık, 2010).

| Yüksek Fırın Gazı Bileşenleri |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| Bileşen                       | Oran                    |
| H <sub>2</sub>                | 1,74%                   |
| N <sub>2</sub>                | 57,06%                  |
| CH <sub>4</sub>               | 0,3%                    |
| CO                            | 24,10%                  |
| CO <sub>2</sub>               | 16,80%                  |
| Alt Isıl Değeri               | 690 kcal/m <sup>3</sup> |

### 3.1.1.3. Doğalgaz

Doğalgaz, yer kabuğu içerisinde bulunan fosil kaynaklı ve petrol türevli yanıcı bir gazdır. Günümüzde petrolden sonra en önemli yakıt olarak değerlendirilmektedir. Doğal gazın büyük bölümü (%70-90'ı), Metan gazı (CH<sub>4</sub>) adı verilen hidrokarbon bileşiğinden oluşur. Diğer bileşenleri; etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), bütan (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) gazlarıdır. İçeriğinde eser miktarda karbondioksit (CO<sub>2</sub>), azot (N<sub>2</sub>), helyum (He) ve hidrojen sülfür (H<sub>2</sub>S) de bulunur.

Doğalgazın en önemli özelliklerinin başında zehirsiz olması gelmektedir. Ancak ortamda çok fazla birikmesi durumunda boğulma tehlikesi yaratabilmektedir. Bu

sebeple dağıtım yapılmadan önce gaz dağıtım şirketleri tarafından THT (Tetra Hidro Teofen) adı verilen çürük sarımsak kokusunu oluşturan madde katılmaktadır. Çevreci bir gazdır. Yoğunluğundan dolayı havadan hafiftir. İçerisinde H<sub>2</sub>O bulunmaması sebebiyle kuru bir gazdır. Rusya'dan ithal edilen doğalgazın fiili içerik değerleri ve istenilen içerik değerleri Çizelge 3.3'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.3. İthal doğalgazda istenilen ve gerçekleşen özellikler (Güney, 2014).

| <b>Rusya'dan İthal Edilen Doğalgaz İçeriği</b>        |                           |                            |
|-------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| <b>Bileşen</b>                                        | <b>İstenilen Değer</b>    | <b>Gerçek Değer</b>        |
| CH <sub>4</sub>                                       | min. %85                  | %98.68                     |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>                         | max. %7                   | %0.211                     |
| C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>                         | max. %3                   | %0.043                     |
| C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>                        | max. %2                   | %0.017                     |
| Diğer hidrokarbonlar (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> ) | max. %1                   | %0.033                     |
| CO <sub>2</sub>                                       | max. %3                   | %0.035                     |
| O <sub>2</sub>                                        | max. %0.02                | -                          |
| N <sub>2</sub>                                        | max. %5                   | %0.829                     |
| H <sub>2</sub> S                                      | -                         | max. 5.1 mg/m <sup>3</sup> |
| S                                                     | -                         | max. 102 mg/m <sup>3</sup> |
| Alt Isıl Değer                                        | 8.250 kcal/m <sup>3</sup> |                            |
| Yoğunluk                                              | 0,670 kg/m <sup>3</sup>   |                            |

### 3.1.2. Elektrik Enerjisi

Elektrik, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, toplumsal ve çevresel gereksinimlerini karşılayan en önemli enerji çeşitlerinden biridir. Sanayi, ticaret, aydınlatma alanları ve mesken olmak üzere elektrik enerjisi kullanımı oldukça geniş bir alana hitap etmektedir. Elektrik tüketimi ekonomik büyüme için önemli olduğundan tüketimi karşılayacak elektriğin üretimi de büyük önem arz etmektedir. Ülkemiz elektrik ihtiyacı kömür, sıvı yakıt, doğalgaz benzeri fosil yakıtlardan veya yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanabildiği gibi ithal elektrikte kullanılabilmektedir (Tayyar, 2021).

Türkiye’de 2018 yılı itibariyle elektrik üretiminde fosil enerji kaynakları açısından en çok pay %37,16 oranla kömür grubuna ait olduğu görülmektedir. Elektrik üretiminde

kullanılan doğalgazın oranı %30,34 ve sıvı yakıtın oranı %0,11 olarak hesaplanmıştır (Tayyar, 2021). Elektrik üretiminde büyük pay sahibi olan kömürün koklaşma sürecinde açığa çıkan kok gazı da elektrik üretimi için bir kaynak teşkil etmektedir.

Entegre demir çelik tesislerinde elektrik enerjisi üretimi ve kullanımı açısından önemlidir. Cevher ve kömür girdisiyle başlayan ve hadde mamülü ile nihailendirilen demir çelik prosesinin her aşamasında elektrik kullanılmaktadır. Yüksek derecede maliyet girdisi olan elektrik tüketimi, aynı zamanda entegre tesislerin en büyük tasarrufa açık noktasıdır. Kok fabrikası, yüksek fırın ve çelikhane prosesi sonucunda açığa çıkan atık gazlardan, gaz atma bacası yerine, enerji santralinin buhar kazanında yakılarak buhar ve türbin jeneratör vasıtasıyla elektrik elde edilmektedir. Atık gazların, elektrik santralinde kullanılması ile, her ay şebekeden satın alınan elektrik miktarının toplam tüketime oranı % 60 olarak belirtilmektedir (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, 2021).

### **3.2. İKAME YAKIT ENERJİSİ**

Günümüzde enerjinin tüm dünyada ve tüm sektörlerde yoğun olarak kullanılması insanlığı yeni kaynaklar bulmaya veya çevresel sorunlara çözüm olabilmesi amacıyla alternatif kaynaklara yönelmeye teşvik etmiştir. Artan enerji fiyatları, hammadde için artan rekabet ve küresel ısınmanın çevre sorunu, günümüz endüstrisi için başlıca endişelerdir. Amaç, ihtiyacımız olan bu enerjiyi kullanırken ekonomiklik açısından ve daha da önemlisi çevresel açıdan geleceğimizi tehlikeye atmamaktır. Sera gazı emisyonlarını azaltmak ve rekabet gücünü düşürmeden enerji ve kaynak verimliliğini iyileştirmektir (Johansson ve Söderström, 2011).

Kok gazının kalorifik değeri yüksek olması sebebiyle demir çelik tesisleri için büyük önem arz etmektedir. Bu değerli yan ürün gazının yakılarak atmosfere atılması önemli derecede enerji kaybına sebep olmaktadır. Ayrıca yakılarak bacadan atmosfere atılan kok gazının debisi yaklaşık olarak 1300 (Nm<sup>3</sup>/h) olarak tespit edilmiştir. Bu oran hava kalitesi ve karbon salınımı gibi çevre konusunda da oldukça önemlidir. Bacadan atılması yerine uygun tesislerde yakıt veya ikame enerji olarak değerlendirilmesi maliyet ve çevre açısından yüksek değer sağlamaktadır (Yakışık, 2010).

Demir çelik endüstrisi, yakıt olarak büyük miktarlarda kömür tüketmektedir ve bu da önemli ölçüde CO<sub>2</sub> açığa çıkartır. Kömür ve atık gazların kullanımıyla bacadan atılan CO<sub>2</sub> oranı gün geçtikçe ciddi değerlere ulaşmaktadır. Literatür araştırmalarında da karşılaştığımız yakıt ikameliklerine örnek olarak; İsveç'te demir çelik sektörünün birincil enerji kaynakları kömür, kok kömürü ve elektriktir. Yüksek CO<sub>2</sub> salınımına önlem alabilmek sebebiyle doğalgazın mevcut olduğu İsveç'in batı kıyısında, birkaç çelik üreticisi petrol ve kömür kullanımı yerine doğalgaz kullanmaktadır (Johansson ve Söderström, 2011).

### **3.2.1. Kok Gazı ve Doğalgaz Karşılaştırılması**

Demir çelik üretim prosesinin tamamlanma noktası olan haddeleme sürecinde fırın ısıtılması yüksek fırın gazı, kok gazı, doğalgaz ve elektrik ile sağlanmaktadır. Proses atığı olarak kabul edilen yüksek fırın gazı ve kok gazı fırının ısıtılmasında maliyet olarak avantajlı konumda olsa da hava kalitesi açısından ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Bu sebeple kok gazı ile ısıtılan bir fırının alternatif yakıt olan doğalgaz ile ısıtılması birtakım avantajlar ve dezavantajlar oluşturmaktadır.

Doğalgaz ısıl değeri gereği, kok gazına göre yaklaşık iki kat daha verimli yanma sağlayabilmektedir (Bkz. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.3). Bunun yanı sıra daha düzenli bir yapısı olması sebebiyle kolay tutuşabilmektedir. Bu sayede üretim kaybını minimize etmekte ve enerji verimliliği açısından oldukça avantaj sağlamaktadır. Ayrıca doğalgaz, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> benzeri zararlı bileşenleri bünyesinde ihtiva etmemesinden dolayı oldukça çevresel bir yakıttır. Dezavantaj olarak ise doğalgaz, kok gazına oranla yaklaşık 2-3 kat daha pahalı bir yakıttır. Ayrıca doğalgazın diğer yakıtların yerine tercih edilmesinin diğer önemli sebepleri ise şunlardır: Yanması tam ve temizdir, yakma için ön hazırlama ve depolama gerektirmemektedir. Yatırım ve işletme maliyetleri düşüktür çünkü doğalgazın depolanma olmaksızın kullanılabilir. Ayrıca otomatik kontrol kolaylığı nedeniyle daha az personele ihtiyaç olmasıdır. Doğalgazın ısıl değeri yüksektir. Kazan dönüşümleri sırasında kazan kapasite artırımını gerektirmemektedir. Kuru bir gazdır, içerisinde H<sub>2</sub>O barındırmamaktadır. Yakıtın yanması sonucu uçucu kül ve partikül ihtiva etmemektedir.

Bu bölümde, demir çelik tesislerde enerji kullanımı, enerji çeşitleri, yakıt enerjilerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri ile birbirleri yerine kullanılabilen ikame enerjilerin karşılaştırılması hakkında bilgiler verilmiştir.

Hazırlanan tez çalışması içeriği, haddeleme sürecindeki tav fırınlarında kullanılan yakıt enerjisinin alternatifleri ile değerlendirilmesidir. Bu kapsamda kok gazı, doğalgaz ve yüksek fırın gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri hakkında bu bölümde bilgiler sunulmuştur. Ayrıca ikame yakıt hakkında da bilgi verilmiştir. Sonuç itibarıyla kok gazı ve doğalgaz özellikleri bakımından birbirleriyle karşılaştırılmış ve doğalgazın fiziksel ve kimyasal özellik bakımından kok gazı göre daha güvenilir ve temiz bir gaz olduğu tespit edilmiştir. Bir sonraki bölümde bir işletme için sürdürülebilirliğin anahtar faktörleri olan verimlilik, kalite, çevre ve iş sağlığı ve güvenliği hususlarında genel bilgiler verilecektir.

## **BÖLÜM 4**

### **SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK**

Sürdürülebilirlik kavramı genel anlamıyla belirsiz bir süre boyunca bir durum veya sürecin sürdürülebilme kapasitesini ifade eder.

Sürdürülebilir üretimin hedefleri; üretim sürecindeki atıkların azaltılmasıdır, üretilen ürünlerin geri dönüşebilirliğinin arttırılmasıdır ve tasarım süreçlerinin bu bakış açısıyla yönlendirilmesidir, malzeme ve enerji tasarrufu sağlayan üretim süreçlerinin geliştirilmesidir, daha kaliteli ürünler üretilmesiyle insanın çevreye etkilerinin ortadan kaldırılmasıdır (Yavuz, 2010).

Bir işletmenin sürdürülebilirliği için üretim verimliliği, ürün kalitesi, enerji kullanımı, çevresel emisyonları gibi kriterlere önem verilmeli ve sürekli iyileştirme yolu izlenmelidir.

#### **4.1. ÇEVRESEL FAKTÖRLER**

Çevre, canlıların içinde bulunduğu ve tüm yaşamsal faaliyetlerini sürdürdüğü ortam ya da koşullar olarak tanımlanmaktadır. Sanayi devrimi ile birlikte insanoğlunun makineleşme, kaynakları keşfi ve kullanımı hızlanmıştır. Bu durum insanların daha geniş doğal alanlara yayılmasını sağlamış ve teknolojik gelişmeler, hızlı nüfus artışıyla birlikte insanlar tarafından atmosfere salınan gazlar sera etkisi oluşturmuştur. Bu etki güneş ve yer radyasyonunu tutarak dünyanın yüzeyinde sıcaklığı arttırmaktadır ve küresel ısınmayı tetiklemektedir. Özellikle 20. yüzyılda yüksek oranda görülen küresel ısınmanın artışına dair sebeplerin başında insan faaliyetleriyle üretilen çeşitli gazların atmosferdeki oranlarının beklenmedik ölçüde artışı gelmektedir (Bekiroğlu, 2011). Bu kapsamda, zararlı olduğu belirlenen bu gazların iklim koşullarını etkilememesi için kullanımında kısıtlamaya gidilmektedir. Alternatif çevreci enerjilerin kullanımının teşvik edilmesiyle kullanımı denetim altına almaya çalışılmaktadır.

Çevre temizliği ve güvenliği konusunda ilk girişimler 1972 yılında İsveç'te yapılmıştır. Stockholm'de toplanan Birleşmiş Milletler, İnsan Çevresi Konferansı adı altında bir konferans düzenlemiştir. Bu konferansta insanların yaşadığı çevrenin bozulmasına dikkat çekilmiş ve acil önlemler alınmasının gerekliliği belirtilmiştir (Ediger, 2008).

İşletmelerin ürünlerini üretirken, negatif çevresel etkileri, kaynak tüketimlerini ve maliyetleri azaltacak şekilde üretim yapmaları gerekmektedir. Daha az hammadde, daha az enerji ve su gibi kaynaklar kullanması, verimliliği arttırmanın yanında çevresel olumsuzlukların (hava ve su kirliliği gibi) azalmasını sağlayabilmektedir (Hansen vd., 2009). Bu durum, işletmeler için ek maliyetler oluşturabilmektedir ve işletmeler sosyal sorumluluk kavramı gereği çevreye verilen zararları önlemek için çevresel faaliyetlere yönelik yapılan yatırımlara önem vermeleri gerekmektedir.

Çevre güvenliği hususunda Dünya'da en büyük başarı Kyoto Protokolü ile sağlanmıştır. Bu protokol dünyadaki toplam emisyon salınımının en az %55'inden sorumlu ülkelerin karbon salınımlarını kontrol altına almayı amaçlamaktadır. Bu duruma bağlı olarak protokole taraf ülkelere taahhütleri sonucu emisyon salım kotaları getirilmesi planlanmıştır. Ülkeler bu emisyon salım kotalarını aşmamak için bünyelerindeki sektörlerde kota uygulaması getirmekte ve temiz enerji üretimi için destekte bulunmaktadır.

#### **4.1.1. Karbon Ayak İzi**

Karbon ayak izi insan faaliyetlerinin tamamının karbondioksit miktarı cinsinden ölçülerek açığa çıkan sera gazı miktarı açısından çevreye verdiği zararın ölçüsü olarak kabul edilmektedir. Birimi "kg.CO<sub>2</sub>" veya "ton.CO<sub>2</sub>"dir. Karbon ayak izi; kişisel ve kurumsal karbon ayak izi olmak üzere iki farklı kategoride incelenmektedir.

Kişisel karbon ayak izi, insanoğlunun günlük yaşam koşulları sırasında doğaya salınan emisyonun kişisel olarak ne kadarlık miktarından sorumlu olduğunu göstermektedir.

Emisyonların azaltılabilmesi için ilk olarak kişisel bilinci oluşturmayı hedeflemektedir.

Kurumsal karbon ayak izi ise sektörel kuruluşların yıllık faaliyetleri sonucu ortaya çıkan emisyonları gösteren kavram olarak tanımlanmaktadır. Sektörel kuruluşlarda kurumsal karbon ayak izi 3 kapsama ayrılarak hesaplanmaktadır.

Doğrudan karbon ayak izi (Kapsam-1), işletmelerin ısınma veya üretim proses faaliyetleri için kullanılan fosil yakıtlardan açığa çıkan emisyonları kapsamaktadır.

Dolaylı karbon ayak izi (Kapsam-2), işletmeler tarafından tüketilen elektrik enerjisinin veya satın alınan diğer enerji çeşitlerinin neden olduğu emisyonları kapsamaktadır.

Diğer dolaylı karbon ayak izi (Kapsam-3), işletmeler tarafından temin edilen ve kullanılan hammadde, taşıeron faaliyetler, reklamlar, kiralanan araç veya satışı yapılan ürünlerin tedarik sürecindeki ulaşım araçlarından açığa çıkan yakıtların neden olduğu emisyonları kapsamaktadır.

Sektörel kuruluşlarda, kapsamı belirlenerek karbon ayak izi hesaplamasının yapılmasının ardından ortaya çıkan çevresel emisyon miktarını azaltmaya yönelik önlemler alınmaktadır.

Kyoto protokolüne taraf ülkeler karbon ayak izini en az %5,2 azaltmaya çalışmaktadır ve bu azaltmayı sektörel kurumlar üzerinden gerçekleştirmeyi hedeflemektedir. Bu kapsamda taahhütte bulunan ülkeler emisyon salınımı için işletmelere kotalar uygulamaktadır ve kotanın aşılması halinde her ton CO<sub>2</sub> için parasal ceza yaptırımını getirilmektedir. İşletmeler hem parasal ceza hem marka kalitesi ve prestij kaybına maruz kalmamak amacıyla emisyonlarına azaltım getirebilmek için yoğun çaba sarf etmektedir. Emisyon azaltımının belirlenebilmesi için öncelikle emisyonlarının çıkış kaynağının, sonrasında ise miktarının bilinmesi gerekmektedir. Emisyon azaltım için belirlenecek yöntemler ise şunlardır;

Enerji Verimliliği: Günümüzde kullanmakta olduğumuz binalarda %33, endüstriyel

tesislerde ise %40'a varan oranda enerji verimliliği çalışmalarıyla tasarrufa açık noktalar bulunmaktadır (Bekiroğlu, 2011). Tüketilen her enerji aynı zamanda fazladan emisyon anlamına gelmektedir. Enerjiyi verimli kullanarak tasarruf sağlayabilmek çevresel açıdan fayda sağlayacağı gibi maliyet olarakta pozitif etki yaratmaktadır.

**Yakıt Tercihini Değiştirmek:** Yakıt denilince akıllara ulaşım araçlarını harekete geçirebilmek için kullanılan enerji gelse de evlerde ısıtma ve işletmelerde üretim prosesi olarak kullanılan yakıtlarda büyük önem arz etmektedir. Araçlarda kullanılan fosil yakıtları yarattığı emisyonu azaltmak için düşük emisyonlu yakıtları tercih etmek veya hibrit yakıtlı, elektrikli araçların kullanılması araçlara bağlı emisyonun azaltılması için tercih edilebilecek bir yoldur. Üretim tesislerinin proseslerinde duyulan ısı ihtiyacı için ise kullandığımız yakıt tercihini doğalgazdan yana yapmak da emisyonların azaltılması için kullanılabilecek önemli bir yöntemdir (Bekiroğlu, 2011).

**Geri Dönüşüm:** Kişisel kullanımımız sonucu veya işletme tesislerinin prosesi sonucu açığa çıkan atıkların geri dönüşümüyle emisyon azaltımı sağlanabilmektedir. Çünkü bir ürünü sıfırdan üretmek yerine yeniden kazanım yoluna gidilirse tüketilen enerji daha düşük miktarlarda olmaktadır.

**Yenilenebilir Enerji Kullanımı:** Günlük yaşantımızda veya birçok işletme tesisinde kullanılan enerji türleri ağırlıklı olarak fosil yakıt kaynağıdır. Fosil yakıt kullanımı atmosfere yüksek oranda emisyon salınımı anlamı taşımaktadır. Bu sebeple çevre dostu yenilenebilir enerjileri tercih etmek alınabilecek en kapsamlı önlemler arasındadır.

**Ağaç Dikilmesi:** Ağaçlandırma emisyonların azaltımı için en basit yöntemlerden biridir. Ağaçlar fotosentez yoluyla havadaki CO<sub>2</sub>'i yapraklarında absorbe eder ve yaşamları için gereken besini oluşturur. Bu sayede ağaçlar atmosferden CO<sub>2</sub>'i uzaklaştırmış olur. TEİAŞ Elektrik İstatistikleri, Ulusal Sera Gazı Envanteri ve ICAO verileri kullanılarak, İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Orman Fakültesi danışmanlığında yapılan analizlere göre 25 cm çapında bir kızılçam ağacının biyokütlesi (bitkisel kütlesi) 220 kg'dır ve bu ağaç 25 cm çapına ulaşana kadar karbon konsantrasyonu olan 0,51 ile bitkisel kütlesi 220 kg çarpılarak atmosferden absorbe

edeceği 112,2 kg'lık karbon hesaplanır. Kızılçam ağacı tarafından 112,2 kg'lık absorbe edilen karbon ile karbonu karbondioksite çevirme katsayısı 3,66 çarpılarak toplamda 411,4 kg karbondioksite (CO<sub>2</sub>'ye) eşdeğer olduğu belirlenmiştir (Ege Orman Vakfı, 2021).

#### **4.1.2. Hava Kalitesi**

Çevresel emisyonlar hava kalitesini SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> benzeri kirleticilerle de oldukça etkilemektedir. İnsanların yaşamlarını sürdürdükleri bölgelerde bulunan sanayi tesisleri, üretim prosesleri sonucu açığa çıkan kirleticilerle atmosferde asitleşmeye sebep olmakta ve buna bağlı hava kalitesini ciddi oranda düşürerek insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaktadır.

Kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), genel olarak fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkmaktadır. Fosil yakıtlar (petrol, kömür, sıvı ve gaz yakıtlar vd.) % 0.5 ila % 6 arasında kükürt içerirler. Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) en yaygın hava kirletici emisyon olarak bilinmektedir.

Azot oksitler (NO<sub>x</sub>), insan vücutlarında önemli bir sinyal molekülü olmasının yanı sıra sanayi sektöründe de önemli bir ara üründür. NO, araba motorları ve elektrik santralleri tarafından üretilerek hava kirliliğine neden olur. Azot oksit, havadaki ozon ile tepkimeye girerek NO<sub>2</sub> oluşmasını sağlar. Bu reaksiyon, ortaya çıkan kırmızı-kahverengi renk ile kolaylıkla tanınabilir. Hava kalitesini düşüren ve atmosferde asitleşmeyi arttıran en önemli kirleticidir.

#### **4.2. VERİMLİLİK**

Japon Verimlilik Merkezi tarafından felsefi bir yaklaşımla; verimliliğin anlamı “Doğru olan işleri, doğru biçimde ve ekonomik bir çalışma ile gerçekleştirmeyi hedefleyen akılcı bir yaşam biçimidir.” şeklindedir (Kahya ve Polat, 2005).

İşletmelerin süreçlerinde verimlilik kavramı önemli bir yere sahiptir. Üretim hacmini arttırmaktan ziyade, aynı miktardaki girdi ile üretim süreci içerisindeki küçük tasarruflar, satılabilir ürün çıktısını arttırabilmektedir. Bu durum verimliliğin

girdi/çıktı ilişki düzeyini göstermektedir. Sabit miktardaki üretim girdisiyle üretim süreci için en uygun yöntemleri belirleyip üretim kayıplarını azaltarak tesis üretim kapasitesinin de efektif kullanılmasıyla maksimum satılabilir ürün miktarını arttırmak her işletmenin başlıca hedefidir (Kahya ve Polat, 2005).

#### 4.2.1. Malzeme Verimlilik Oranı

İşletmelerin üretim sürecinde, belirli bir miktar hammadde girdisinden maksimum miktarda nihai ürün çıktısını hedefleyen verimlilik değeridir (Denklem 4.1). Bu değer üretim süreci içerisindeki kalite ve hurda benzeri kayıpları engellemek olarakta belirtilebilir (Kahya ve Karaböcek, 2004).

$$\text{Malzeme Verimlilik Oranı} = \frac{\text{Nihai Ürün Miktarı}}{\text{Toplam Girdi Malzeme Miktarı}} \quad (4.1)$$

#### 4.2.2. Kapasite Kullanım Oranı

Kapasite belirlenen çalışma koşullarıyla üretilebilecek en büyük çıktı miktarı olarak tanımlanabilir. Kapasite kullanım oranı ise tesisin veya makinenin kapasitesine göre çıktı miktarıdır (Özsever vd., 2009). Tesis içerisinde nihai üretim miktarının maksimum üretim kapasitesine oranlanmasıyla elde edilmektedir (Denklem 4.2).

$$\text{Kapasite Kullanım Oranı} = \frac{\text{Nihai Üretim Miktarı}}{\text{Maksimum Üretim Kapasitesi}} \quad (4.2)$$

#### 4.2.3. Genel Çalışma Oranı

Genel çalışma oranı, işletmelerin yıl içerisinde ürün üretebilmek için çalışılabilecek maksimum süreyi ifade etmektedir (Denklem 4.3). Yıllık çalışılabilir toplam süre içerisinde planlı bakım duruşları çıkartıldığında ise net çalışma oranı hesaplanabilmektedir (Denklem 4.4).

$$\text{Genel Çalışma Oranı} = \frac{\text{Gerçekleşen Toplam Üretim Süresi}}{\text{Yıllık Maksimum Üretim Süresi}} \quad (4.3)$$

$$\text{Net Çalışma Oranı} = \frac{\text{Gerçekleşen Toplam Üretim Süresi}}{\text{Yıllık Maksimum Üretim Süresi} - \text{Planlı Duruş Süresi}} \quad (4.4)$$

### 4.3. KALİTE

Kalite; tüketicilerin gereksinimlerini karşılayabilme kapasitesi, imal edilen ürün tasarımının önceden saptanan tasarıma uygunluğu ve ürünün kabul edilebilir bir fiyattaki performans yüksekliği veya kabul edilebilir maliyetlerdeki uygunluk derecesi olarak tanımlanabilmektedir.

Son yıllarda ürün kalitesi tüketiciler tarafından daha önemli hale gelmiş olup ürünün fiyatından sonra kalitesi de tüketicilerin satınalma kararlarını etkileyen en önemli ikinci faktör haline gelmiştir. Bu nedenle, üretilen ürünün kalitesi, ürünün pazar payında ve verimlilik gözetildiğinde üretim maliyetinde önemli rol oynamaktadır (Chakraborty vd., 2019).

#### 4.3.1. Hadde Tufali

Kalite, ürünün güvenilirliği ve sağlamlığı olarak nitelendirildiği gibi ürünün üretim sürecindeki istenilen değerlerinde üretilmesi anlamına da gelmektedir. Üretilecek ürünler süreç içerisinde istenilmeyen fiziksel veya kimyasal etkilere maruz kaldığında kalite kaybı yaşanabilmektedir.

Demir çelik sektörünün haddeleme sürecinde üretilen nihai mamül, gerek girdi teşkil eden kütüğün kimyasal içeriğinden gerekse tav fırınlarında kullanılan yakıttan dolayı tufal kaybı yaşamaktadır. Bu durum kalite, üretim verimliliği ve satılabilir ürün miktarını doğrudan etkilemektedir.

En kısa tanımıyla tufal; çelik malzeme üzerindeki oksitlenmeden dolayı oluşan demiroksit tabakadır. Tufalleşme ise tavlanan malzemenin yüzeyinde, tav fırınlarındaki ısıtma esnasında ve haddeleme sırasında meydana gelebilmektedir. Hadde sürecinin girdisi olan kütük, tav fırınında ısıtma amacıyla kullanılan yakıtın aktivatörü olan oksijen ile fırın içerisinde birebir temas halindedir. Bu durum kütük

üzerindeki tabakanın oksitlenmesine sebep olmakta ve sıcaklık artışıyla birlikte tufalleşme hızını ve miktarını da arttırmaktadır (Akkaş ve Çulha, 2020).

Kok gazı kullanılan tav fırınlarında, kok gazının düzensiz olması sebebiyle karıştırılacak en uygun oksijen miktarı belirlenememektedir. Belirli oranda kok gazı ile oksijen karıştığında tutuşma gerçekleşir ancak fırın içerisinde kalan fazla oksijen haddelenecek kütük üzerinde tufal oluşturmaktadır ve fazladan enerji depolayarak bacadan atılmaktadır. Bu sebeple kullanılan gazın düzenli içeriğe sahip olması ve yanıcı ve yakıcı dengesinin bir diğer ifadeyle kullanılan gaz ve oksijen dengesinin sağlanmasıyla oluşan yakıtın ani olarak alevlenmesi veya patlaması engellenebilecektir. Yanıcı gazın fazla kısmı bacadan atılmak yerine fırın içerisine üflenecektir ve böylelikle yakıt tüketimi minimize edilebilecektir. Fırın içerisinde atıl miktarda oksijen bulunmaması halinde ise üretilen ürünün kalitesi artacak ve ürünün üzerinde oluşan tufal oranı ve hurdaya ayrılan ürün miktarı azaltılabilecektir.

#### **4.4. ENERJİ**

Enerji, bir maddenin ya da makinenin iş yapabilme yeteneğidir (Yılmaz vd., 2016). Dünya genelinde artan rekabet ve global pazar, şirketlerin minimum maliyeti gözeterek üretim yapmalarını tetiklemektedir.

Demir çelik sektöründe kullanılan enerjinin girdi maliyetlerindeki payı, hammaddeden sonra ikinci sırada yer almaktadır ve % 15-25 civarında yüksek bir orana sahiptir (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, 2021). Cevherden sıvı çelik üretimi yapan demir çelik tesislerinin toplam enerji tüketiminin %70–80’i taşkömürü, %8-10 elektrik, %10-15 petrol ve doğalgaz tüketiminden oluşmaktadır. Bu durum üretim süreci içerisinde enerjiden tasarruf edilebilmesi halinde yüksek getiri sağlanacağını göstergesidir.

##### **4.4.1. Elektrik Enerjisi**

Elektrik, sürdürülebilir kalkınmanın ekonomik, toplumsal ve çevresel gereksinimlerini karşılayan en önemli enerji çeşitlerinden biridir. Sanayi, ticari, mesken ve aydınlatma alanları olmak üzere elektrik enerjisi kullanımı oldukça geniş bir alana hitap

etmektedir. Ülkemiz, elektrik ihtiyacı kömür, sıvı yakıt ve doğalgaz benzeri fosil yakıtlardan veya yenilenebilir enerji kaynaklarında karşılanabildiği gibi ithal elektrikte kullanılabilmektedir (Tayyar, 2021).

Entegre demir çelik tesislerinde elektrik enerjisi üretimi ve kullanımı açısından büyük önemlidir. Cevher ve kömür girdisiyle başlayan ve hadde mamülü ile nihailendirilen demir çelik prosesinin her aşamasında elektrik kullanılmaktadır. Yüksek derecede maliyet girdisi olan elektrik tüketimi, aynı zamanda entegre tesislerin en büyük tasarrufa açık noktasıdır.

Kok fabrikası, yüksek fırın ve çelikhane prosesi sonucunda açığa çıkan atık gazlardan, gaz atma bacası yerine, enerji santralinin buhar kazanında yakılarak buhar ve akabinde türbin jeneratör vasıtasıyla elektrik elde edilmektedir. Atık gazların, elektrik santralinde kullanılması ile, her ay şebekeden satın alınan elektrik miktarının toplam tüketime oranı %60 olarak belirtilmektedir (Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, 2021).

#### **4.5. İŞ GÜVENLİĞİ**

Kok gazı yanıcı ve patlayıcı olmasından dolayı üretim, depolama, dağıtım ve kullanım durumlarında çok hassas olunması gerekmektedir. Uygun basınç değeri dışına çıkıldığında veya yanıcı ve yakıcı dengesi uygun miktarlarda oluşturulmadığında patlama tehlikesiyle karşı karşıya kalınabilmektedir. İHA (2019) haberine göre; ülkemizin en büyük entegre demir çelik tesislerinden olan Ereğli Demir Çelik fabrikasında kok gazı kaynaklı patlama gerçekleşmiştir. Literatürde kok gazı patlamaları ile ilgili az veri bulunmaktadır. Kısıtlı kaynaklar içerisinde elde edilen kok gazı patlaması ile ilgili kaynaklar aşağıda sunulmaktadır.

Zhang vd. (2013), paslanmaz çelik hadde ürünü baz alınarak patlama basıncı incelenmiş ve basınç artması veya azalması durumunda kok gazının kimyasal yapısında %20 oranında patlama etkisinin artış eğiliminde olduğunu gözlemlemişlerdir.

Skrinsky vd. (2016), kok patlama parametrelerinin belirlenebilmesi için 1 m<sup>3</sup> hacminde kapalı bir kap içerisinde gaz karışımı, yanma hızı ve basınç uygulaması ile ilgili deney yapılmış, hidrojenin daha hızlı reaktivitesi ile ısı kayıplarının düştüğü ve bu durumda patlayıcı etkinin azaldığı belirlenmiştir.

Bu bölümde, demir çelik tesislerinin sürdürülebilirlik anahtar faktörlerinden verimlilik, kalite, çevre ve iş sağlığı ve güvenliği hususları hakkında bilgi verilmiştir.

Hazırlanan bu tez çalışmasında, tav fırınlarında kullanılan kok gazının yerine alternatifi olan doğalgaz kullanılmasıyla etkilenen çevre emisyonları ve hava kalitesi ile bunlar için alınan aksiyonlar hakkında, kapasite kullanım oranı, genel çalışma oranı ve malzeme verimliliği hesaplamaları hakkında, nervürlü inşaat çeliği üretimi esnasında girdi mamülün üzerinde oluşan tufalleşmeden dolayı kalite kaybı hakkında, elektrik enerjisi hakkında ve iş sağlığı güvenliği göz önünde bulundurularak tav fırınlarında kok gazı kullanıldığında gerçekleşmiş olan patlama örnekleri hakkında bilgiler sunulmuştur.

Bir sonraki bölümde tav fırınlarının kok gazı yerine alternatif yakıt doğalgaz kullanımına uygun şekilde modernize edilmesi ve yatırımın uygunluğunun belirlenmesi için hesaplama yapılacak olan mühendislik ekonomisi teknikleri hakkında bilgiler verilecektir.

## BÖLÜM 5

### MÜHENDİSLİK EKONOMİSİ

Ekonomi; üretim, tüketim ve dağıtım gibi insan etkinliği olarak tanımlanabilmektedir. Para ve değerli varlığın kazanılarak, kullanımı, denetimi, fazlasının geleceğe yatırımı, bütçelenmesi, vergilendirilmesi gibi geniş kapsamı ile bireylerin yaşamını ilgilendiren konuları içermektedir (Üçüncü, 2016).

Mühendislik ekonomisi ise yeni bir girişimin teknik yönden projelendirilmesinin yanı sıra, maliyetinin ve faydasının da sistemli olarak değerlendirilmesidir. Bu kapsamda birçok mühendislik ekonomisi yöntemlerinden faydalanılmaktadır. Bir yapı, makine ve teçhizat, ürün ya da hizmet için teknolojik yönden alternatifler belirlenerek en uygunun seçildiği gibi bir üretim tesisinde modernleşmenin ya da otomasyonun sağlayabileceği iyileştirmelerin tahmini ve analizi de yapılabilmektedir. Ayrıca yöntemler arasında, yerine getirilmesi gereken bir iş ya da hizmet için kiralama ya da satınalma seçeneklerinin değerlendirilmesi ve üretimi çevre yönetmeliklerine uygun bir biçime dönüştürmek için önerilen çözümler arasında seçim yapılması konularında mühendislik ekonomisiyle belirlenebilmektedir.

Projelerin karar verilmesi sürecinde dış ve iç faktörler etkili olmaktadır. Dış faktörler projenin dış etmenlerden etkilenmesidir. Toplum ilişkileri bir dış etmendir ve projenin karar verilmesinde rol oynayabilmektedir. Çevresel yükümlüklerinin aşılması veya uygun hava kalitesinin etkilenmemesi amacıyla belirlenen çevre yönetmelikleri yine karar verme sürecinde zorunlu bir dış faktördür. Yapılması planlanan proje için sermaye temini ve maliyeti yatırım karar sürecini etkilediği gibi müşteri beklentilerini karşılamaya yönelik yapılan çalışmalar ve pazarda rakiplerle rekabet edebilmek yine verilecek kararlarla paraleldir. Küresel çapta teknolojik gelişmeler, ülke ekonomisinin bulunduğu nokta ve sosyal değerlerde projeler için karar verme sürecini etkilen dış faktörler arasında yer almaktadır. İç faktörler işletme içerisinde bulunan durumlara göre belirlenmektedir. İş hedefleri, iyileştirme hedefleri, tasarım kısıtları, sermaye

kısıtlamaları, işgücü yetenekleri, ekipman/tesis yeterliliği yatırım projelerinde karar verme sürecini etkileyen önemli iç faktörlerdir (Üçüncü, 2016).

Mühendislik ekonomisi süreci, potansiyel alternatiflerin oluşturulmasıyla başlar. Eldeki sermayenin ve kaynakların gelecekte daha iyi faydalar sağlayacağı beklentisi ile kullanılması sürecidir. Böyle bir girişimin semaye temini ve tahsisi söz konusudur. Sermayenin alternatifler arasından belirli bir projeye tahsis edilmesiyle, harcamaların makul bir sürede geri kazanımını sağlayacak projeler seçilmeye çalışılır. Seçilen projenin tahmini nakit akışları zaman içerisinde değerlendirilerek işletmenin varlığının sürdürülebilmesine katkı sağlamak da mühendislik ekonomisinin konuları arasında değerlendirilmektedir (Üçüncü, 2016).

## **5.1. EKONOMİK KARAR TÜRLERİ**

Yatırım projeleri, firmalarda üretime veya verim artırmaya dönük hazırlanan ve gerçekleştirilen projelerdir. Bu projeler büyük ölçekli projeler olduğu gibi, bir makinenin seçimi gibi küçük ölçekli projeler de olabilir. Bu projelerin analiz edilmesi; kullanılan makine-teçhizat ile planlanan üretim seviyesinin karşılaştırılması, firmanın yeni yatırımı yapacak finansal kaynaklara, bilgi ve tecrübeye sahip olup olmadığı bilgisi, yeni projelerin mevcut sistem üzerindeki parasal ve parasal olmayan etkilerinin bilgisi gibi benzeri sorulara uygun çözümlerin bulunmasını sağlamaktadır. Firmalarda birçok konuda projelerin hazırlandığını, mühendislik ekonomisi kararlarının alındığını bilinmektedir (Okka, 2017).

Bir mühendislik probleminin çözümüne yönelik alınacak ekonomik kararlar; stratejik ürün üretmek amacıyla kurulması hedeflenen büyük ölçekli yatırım projeleri olabileceği gibi makine/teçhizat/proses alternatifleri arasından seçim yapılması veya yenileme yapılması projeleri, yeni ürün geliştirme ve kapasite artırma projeleri, üretim maliyetlerini azaltmaya yönelik projeler ve sunulan servisi iyileştirmeye yönelik projeler şeklindedir.

### **5.1.1. Makine, Teçhizat, Proses Yenileme Yatırım Projeleri**

Yenileme yatırımı bu tezde de uygulanan proje türüdür ve mevcutta kullanılmakta olan makinaların eskimesi, yıpranması, ekonomikliğini kaybetmesi veya gelişen teknolojiye ayak uyduramaması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Böyle durumlarda; ilgili projenin yeniden bakım yapılarak kullanılması ya da yeni projenin yatırımının yapılması gibi kararlar öngörülmektedir. Yeni projenin teknik açıdan mevcut koşullara uyumu kadar ekonomik analizi de önemlidir. Kimi zaman pazarda ürüne talep artışı sebebiyle mevcut üretimi artırmak amacıyla yapılan yenileme yatırımlarının yanında üretim için kullanılan enerjiyi düşürmek, kalite ve verimliliği arttırmak için de yenileme yatırımları yapılabilmektedir (Okka, 2017).

### **5.2. YATIRIM PROJESİ TEMEL BİLGİLERİ**

Bu tez çalışmasında da uygulanan, tav fırınlarının doğalgaz ile ısıtılmasına yönelik yenileme yatırımının ekonomiklik analizinin yapılabilmesi için yatırım maliyet bilgisinin yanı sıra faydalı ömür, sermaye oranı ve hurda değerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu bilgiler projenin, yatırım maliyeti ve sermaye oranına göre faydalı ömrü içerisinde avantajlı olup olmayacağı hakkında öngörü sağlamaktadır.

Yatırım maliyeti, yatırım projesinin hayata geçirilmesi için ihtiyaç duyulan nakit çıkışlarının toplamıdır. Faydalı ömür, yenileme yatırımının faydalı olarak üretimde bulunabileceği süredir. Sermaye oranı, işletmenin değer üretmeden önce kazanması gereken minimum getiri oranıdır. Hurda değeri ise yatırım projesinde maddi duran varlıkların ekonomik ömürleri sonunda satış değerleridir.

### **5.3. TAHMİN MODELLERİ**

Tahmin, gündelik tabir ile bilinmezlik durumu hakkında rastgele veya belirsiz bilgi kullanarak bir sonuca varmaktır (Üçüncü, 2016). Mevcut bilgiye dayanarak bir çıkarım ve bu çıkarıma da dayanarak geleceğe dönük bir öngörü yapmaktır.

İşletme kararlarının alınmasında tahmin önemli yer tutmaktadır. Yapılan tüm planlamalar tahminle başlamakta olup işletmenin iç ve dış çevre koşullarındaki değişimleri tahmin etmek, planlamanın temel koşullarındandır.

Talep tahmininin amacı, üretim planlama ve kontrol sisteminin diğer fonksiyonlarına temel girdiyi sağlamaktır. Bu fonksiyonlar yapılan tahminleri hammadde, yedek parça, yan mamul, makine, insan gücü, programlama ve diğer kararlara dönüştürür. Talep tahminleri, nitel (kalitatif) ve nicel (kantitatif) tahmin yöntemleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Nitel tahmin yöntemleri, deneyimi olan kişiler tarafından herhangi bir istatistiki teknik kullanılmadan subjektif olarak yapılmaktadır. Delphi tekniği ve uzman görüşü en sık kullanılan yöntem olarak bilinmektedir (Üçüncü, 2016). Bu tez çalışmasının belirli kısımlarında, işletme pratiklerine sahip, sektörel anlamda bilgi sahibi ve alanında uzmanlaşmış kişilerden görüş alınmaktadır.

Nicel tahmin yöntemleri ise tahmini istenilen bir değişkenin (talep, satış hasılatı, vb.) geçmiş dönemlerde aldığı değerler sistematik bir şekilde kullanılarak bu değişkenin gelecekte alması beklenen değeri saptanması olarak belirtilebilir (Üçüncü, 2016). Bu yöntemlerde kalitatif yöntemlerden ziyade istatistiksel teknikler daha sık kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasının başlangıcında üretim süreci izlenmiştir ve elde edilen dönemlik veriler ağırlıklı ortalama yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

#### **5.4. PARANIN ZAMAN DEĞERİ VE FAİZ HESAPLAMALARI**

Faiz, paranın belli bir sürede getirdiği pay tutarı, paraya karşılık alınan kar olarak bilinmektedir. Sermayenin belli bir süre kullanımından dolayı ödenen bedel faiz olarak tanımlanmakta ve yüzde (%) olarak ifade edilmektedir. Ayrıca, paranın fiyatı faizin bir ölçüsüdür. Faiz, anaparanın, faiz oranının ve sürenin fonksiyonudur.

Bu tez çalışmasında hesaplanan mühendislik ekonomisi tekniğinde, paranın zaman değeri ile ilgili parametreler kullanılmaktadır. Anapara (P), yatırım projesi için

hesaplanan yatırım tutarının gelecekteki %i iskonto oranı üzerinden hesaplanmış bugünkü değeridir. Faiz oranı (%i), paranın maliyetidir ve bazı durumlarda % i oranı iskonto oranını, büyümeyi, küçülmeyi, sermaye maliyetini ve getiri oranını da göstermektedir. Dönem (m), faizin bir yılda, birden fazla hesaplanması halinde hesaplanan süreleri (gün, hafta, ay) göstermektedir. Örneğin aylık dönem (m = 12/1) 12, 4 aylık dönem m (12/ 4) 3 şeklinde hesaplanmaktadır. Süre (n), hesaplamaların işlem süresini göstermekte ve genellikle yılı ifade etmektedir. Ayrıca paranın gelecekteki değeri (F), p miktarındaki paranın % i faiz oranı üzerinden n yıl sonunda ulaşacağı tutarı göstermektedir.

#### **5.4.1. Nakit Akışı**

Nakit akışı; kredi kullanma, kiralama, tahvil, bono veya benzeri ticari ilişkilerde ödemelerin nasıl yapılacağını gösteren bir ödeme planıdır. Paranın zaman değerini içeren problemlerde, nakit akımlarının durumu şema olarak gösterilebilmektedir. Nakit akım şemalarında yatay eksen zamanı, üzerindeki oklar nakit girişlerini altındaki oklar ise nakit çıkışlarını temsil etmektedir. Nakit akım serileri; basit, yeksenak, aritmetik artışlı, geometrik artışlı ve düzensiz olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tez çalışmasında yatırım maliyetinin ve projenin aylık karının basit nakit akımları hesaplanmış ve şema olarak sunulmuştur.

### **5.5. PROJE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ**

İşletmelerde sınırlı kaynaklarının kullanımı bakımından, alternatif yatırım önerileri arasından en uygun olanının seçilmesi hedeflenmektedir. Bu tez çalışmasında proje değerlendirme yöntemlerinden; paranın zaman değerini dikkate alması yönünden net bugünkü değer, sağlanacak fayda oranının belirlenmesi yönünden karlılık indeksi, getiri oranını dikkate alması yönünden iç karlılık oranı, projeden elde edilecek getiri yerine direkt projenin toplam karını dikkate alması yönünden rantabilite oranı ve zamanı dikkate alan yöntemlerden geri ödeme süresi hesaplamaları yapılmıştır.

### 5.5.1. Net Bugünkü Değer Metodu (NBD)

Net bugünkü değer (NBD), projenin her yıl sağlayacağı nakit girişlerinin bugünkü değerinden ( $NB_H$ ), nakit çıkışlarının bugünkü değerinin ( $BD_G$ ) düşülmesiyle hesaplanır. Diğer bir ifadeyle net bugünkü değer; bir projeye ait nakit girişlerinin ve nakit çıkışlarının sermaye maliyeti %  $i$  ile  $t_0$  dönemi esas alınmak suretiyle iskonto edilmesiyle hesaplanır. Eğer sonuç artı dğerse proje kabul, eksi dğerse proje reddedilir.

Eğer  $NBD > 0$ , proje kabul edilir,

Eğer  $NBD = 0$ , durum farksızdır,

Eğer  $NBD < 0$ , proje ret edilir.

Net bugünkü değer yönteminde iki tür nakit akımı bulunmaktadır. Bunlardan birincisi yatırım tutarıyla ilgili nakit çıkışları, diğeri ise projenin ömrü içerisinde sağlayacağı nakit girişleridir. İlgili hesaplama denklem (5.1)'te sunulmakta olup yapılan notasyonlar ile denklem (5.2) olarakta kullanılabilmektedir.

$$NBD = (BD_H - BD_G) = -C + \sum \frac{F_1}{(1+i)} + \frac{F_2}{(1+i)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (5.1)$$

$$NBD = -C + [F_1(P/F, \%i, 1) + F_2(P/F, \%i, 2) + \dots + F_n(P/F, \%i, n)] \quad (5.2)$$

### 5.5.2. Karlılık İndeksi (Fayda/Maliyet Oranı) Metodu

Karlılık indeksi metodu net bugünkü değer, net gelecek değer, yıllık eşdeğer metotlarını destekleyici özelliktedir. Genel itibariyle, projenin NBD hesabı ile yatırım tutarının oranlanmasıdır. Özellikle kamu projelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Karlılık indeksi metodu iki farklı şekilde hesaplanmaktadır.

Karlılık İndeksi-1 ( $KI_1$ ) yönteminde;  $t_0$  anındaki para birimiyle yapılan yatırım tutarının kaç katının kazanıldığını göstermektedir (Denklem 5.3). Örneğin;  $KI_1 = 1,50$ 'nin anlamı projenin yatırım tutarının 1,50 katının geri alınacağını yani fayda sağlayacağını gösterir.  $KI_1 = 0,75$  ise projede yapılan yatırım tutarının sadece

%75'nden fayda sağlanabileceği ve %25'inin kaybedileceğini, zararlı bir yatırım olduğunu ifade etmektedir.

$$\text{Karlılık İndeksi 1} = KI_1 = \frac{C+NBD}{C} \quad (5.3)$$

$KI_1 > 1$  proje seçilir,

$KI_1 = 1$  farksızdır,

$KI_1 < 1$  proje ret edilir.

Karlılık İndeksi-2 ( $KI_2$ ) yönteminde; proje tutarının yüzde kaç oranında fazlalık sağlandığını göstermektedir (Denklem 5.4). Örneğin;  $KI_2 = 0,75$  demek bu projenin, yatırım tutarının %75 oranında fazla değer sağlayacağını göstermektedir.  $KI_2 = -\%50$  demek projenin %50'sinin kaybedileceğini ifade etmektedir.

$$\text{Karlılık İndeksi 2} = KI_2 = \frac{NBD}{C} \quad (5.4)$$

$KI_2 > 0$  proje seçilir,

$KI_2 = 0$  farksızdır,

$KI_2 < 0$  proje ret edilir.

### 5.5.3. İç Karlılık Oranı Metodu

İç karlılık oranı (İKO); projeye ait nakit girişlerini nakit çıkışlarına eşitleyen iskonto oranıdır. İç karlılık oranı deneme yanılma yolu ile bulunmakta olup projenin sermaye maliyeti %i oranı ile karşılaştırılır. İlgili hesaplama denklem (5.5)'te sunulmakta olup yapılan notasyonlar ile denklem (5.6) olarakta kullanılabilmektedir.

$$NBD = 0 = -C + \sum \frac{F_1}{(1+i^*)} + \frac{F_2}{(1+i^*)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+i^*)^n} \quad (5.5)$$

$$NBD = 0 = -C + [F_1(P/F, \%i^*, 1) + F_2(P/F, \%i^*, 2) + \dots + F_n(P/F, \%i^*, n)] \quad (5.6)$$

$İKO > i$  proje kabul,

$İKO = i$  farksız,

$\dot{I}KO < i$  proje ret, kararı verilir.

#### 5.5.4. Rantabilite Oranı Metodu

Rantabilite oranı (RO); projenin getiri oranını değil, karlılığını esas alınarak hesaplanmaktadır. Bir projeye ait kârlılık oranı (K), yatırım maliyeti (C) ve hurda değeri (HD) göz önünde bulundurularak denklem (5.7) şeklinde hesaplanmaktadır.

$$RO = \frac{\frac{\sum K_n}{n}}{(C-HD)} \quad (5.7)$$

#### 5.5.5. Geri Ödeme Süresi

Geri ödeme süresi metodu; en kısa tabiriyle zamanı ölçmek için kullanılan bir metottur. Projenin getiri oranını veya net bugünkü değerini, net gelecekteki değerini veya yıllık eş değer net hasılasını ölçen bir metot olmaktan ziyade bu metotlara yardımcı, destekleyici ve zaman açısından ekonomik ömür içerisinde ne kadar zaman süresi içerisinde anaparanın, faizin geri alınabileceğini, ne kadar süre yatırımın net getiri sağlayacağını ve zaman açısından risk durumunu göstermektedir. Geri ödeme süresi metodu iki şekilde kullanılmaktadır.

Geri Ödeme Süresi-1 (GÖS<sub>1</sub>) metodunda; bir yatırıma ait anaparanın kaç yılda geri döneceği hesaplanmaktadır (Denklem 5.8). Projenin getiri oranının bulunması, NBD, NGD, YENH, KI, İKO metotlarının kullanılmasını gerekmekte olup bu metotlara yardımcı bir metottur.

$$GÖS_1 = \frac{C}{A} \quad (5.8)$$

Geri Ödeme Süresi-2 (GÖS<sub>2</sub>) metodu; Geri Ödeme Süresi-1'e göre çok daha anlamlı ve önemli sonuçlar vermektedir. Projenin ekonomik ömrü içerisinde; ana paranın, faizin ne zaman geri alınabileceğini ve ne kadar süre kârlı çalışacağını, zaman açısından projenin riskini hesaplamaktadır. GÖS<sub>2</sub> de zamanı ölçen bir metottur ve projenin getirisini ölçmemektedir. Fakat zamana bağlı olarak projenin kabul edilip

edilemeyeceğini göstermektedir. Metot  $G\ddot{O}S_2$ 'nin hesaplandığı yıldan sonraki nakit akımlarını dikkate almamaktadır.

Kısaca karşılaştırmak gerekirse;  $G\ddot{O}S_1$ 'de yatırımın anaparasının ne kadar sürede geri alınacağını,  $G\ddot{O}S_2$ 'de ise anapara ve toplam faizin ne kadar sürede geri alınacağı hesaplanabilmektedir. Ayrıca  $G\ddot{O}S_2$  ile  $G\ddot{O}S_1$  arasındaki fark, toplam faizin ne kadar sürede geri alınabileceğini ifade etmekte olup toplam süre (n) ile  $G\ddot{O}S_2$  arasındaki fark ise projenin ne kadar süre karlı çalışılacağını göstermektedir.

Geri ödeme süresinin hesaplanmasıyla yatırım projesi için toplam faiz tutarı (Denklem 5.9), karlı çalışılacak süre (Denklem 5.10) ve zaman riski (Denklem 5.11) de hesaplanabilmektedir.

$$\text{Toplam Faiz} = G\ddot{O}S_2 - G\ddot{O}S_1 \quad (5.9)$$

$$\text{Karlı Süre} = n - G\ddot{O}S_2 \quad (5.10)$$

$$\text{Zaman Riski} = G\ddot{O}S_2/n \quad (5.11)$$

Hazırlanan bu tez çalışmasının temel noktası olan tav fırınlarında kok gazı yerine alternatif yakıt olan doğalgaz kullanımı için ekonomiklik analizi yapılması gerekmektedir. Tav fırınlarının doğalgaz kullanımına uygun şekilde modernize edilmesi ve bu yatırımın olurluluğunun hesaplanması hususunda mühendislik ekonomisi tekniklerinin kullanılması çalışmanın gerçek hayatta da uygulanabilirliğini kuvvetlendirecektir.

Bu bölümde tav fırınlarının doğalgaz kullanımına uygun şekilde modernize edilebilmesi için ihtiyaç duyulan yatırım maliyetinin belirlenmesi, nakit akışlarının hesaplanması, net bugünkü değer, iç karlılık oranı, karlılık indeksi, rantabilite oranı ve geri ödeme süresi gibi tekniklerin kullanılabilmesine yönelik temel bilgiler verilmiştir.

Bir sonraki bölümde, demir çelik sektörünün köklü kuruluşlarından olan bir tesiste hazırlanan endüstriyel uygulama sunulacaktır. 1 ton nervürlü inşaat çeliğinin üretilmesi için mevcut durum ve proje durumu hazırlanmıştır. Mevcut durumda tav fırınlarında kok gazının kullanımı devam etmektedir. Proje durumunda ise tav

fırınlarında doğalgaz kullanıldığı öngörülmüştür. Bu iki durumda da 1 ton nervürlü inşaat çeliğinin birim üretim, tüketim ve maliyet dengesi belirlenmiş olup karşılaştırma yapılmıştır. Ayrıca tesiste ilerleyen dönemler için belirlenen üretim planı hedefi doğrultusunda senaryo analizi çalışılmış ve sürdürülebilirlik faktörlerinin etkileri incelenmiştir. Dönemlik olarak elde edilecek kar hesaplanarak tav fırınlarının doğalgaz kullanımına uygun şekilde modernize edilmesi halinde yatırımın ekonomik olurluğu belirlenmiştir.



## BÖLÜM 6

### ENDÜSTRİYEL UYGULAMA

Bu bölümde demir ve çelik sektörü, haddeleme süreci, süreklilik analizi ve ekonomiklik analizi konularını göz önünde bulundurarak vaka çalışması yapılmıştır. Çalışmada Kontinü Haddehane üretim sürecinin tav fırınları üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

Kontinü haddehanede üretilen 1 ton nervürlü inşaat çeliği için hurda kaybı, tufal oluşumu, enerji tüketimleri incelenmiş ve bu üretimi kok gazı ile değilde ikame yakıt olan doğalgaz kullanılmasıyla oluşabilecek avantaj ve dezavantajlar belirlenmiştir.

Kok gazı yerine doğalgaz kullanılmasıyla bacadan atılan gaz miktarı minimize edilerek enerji tasarrufu sağlanacaktır. Yanıcı ve yakıcı dengesi sağlanarak açığa çıkan tufal oranı düşürülecektir, bu duruma paralel olarak kalite oranı artıracaktır ve doğrudan üretim verimliliği yükselterek satılabilir ürün miktarını artıracaktır. Kullanılmayan kok gazından elektrik üretimi gerçekleştirilerek elektrik iç karşılama oranı yükselecektir ve doğrudan çevresel emisyon miktarını düşürecektir. Ayrıca düzenli bir kimyasal yapıya sahip olan gazın kullanılmasıyla alevlenme ve patlamalar engellenerek iş sağlığı ve güvenliği konusunda ani tehlikelerin yaşanmayacağı öngörülmektedir.

Kok gazı yerine doğalgaz kullanılması durumunda, ithal ürün olan doğalgazın birim maliyetindeki dalgalanmalar ve tav fırınlarının doğalgaz kullanılabilecek şekilde yenilenmesi için ihtiyaç duyulan ilk yatırım maliyeti bu projenin dezavantajları olarak öngörülmektedir.

Sürdürülebilirlik anahtar faktörleri incelenerek hesaplanan dönemlik karın belirlenmesiyle kok gazı yerine doğalgaz kullanılması durumunda tav fırınlarının yeniden dizayn edilmesi için mühendislik ekonomisi hesaplaması yapılmıştır. Proje için gerekli yatırım maliyeti belirlenerek nakit akışı oluşturulmuş ve proje

değerlendirme yöntemlerinden; paranın zaman değerini dikkate alması yönünden net bugünkü değer, sağlanacak fayda oranının belirlenmesi yönünden karlılık indeksi, getiri oranını dikkate alması yönünden iç karlılık oranı, projeden elde edilecek getiri yerine direkt projenin toplam karını dikkate alması yönünden rantabilite oranı ve zamanı dikkate alan yöntemlerden geri ödeme süresi hesaplamaları yapılmıştır.

Çalışma kapsamında 34 dönemlik veri setinden faydalanılmış olup vaka uygulaması yapılan endüstri tesisinin veri güvenliği ve gizliliği politikası sebebiyle üretim, tüketim ve maliyet verileri normalizasyon işlemine tabi tutulmuştur. Bu veri seti içerisinde üretim değerleri, birim tüketimler, sabit ve değişken maliyetler bulunmaktadır. Takip eden süreçlerde, mevcut durum ve proje durumu ile senaryo analizine göre toplam kar ve ekonomiklik analizi hesaplanmıştır.

## 6.1. MEVCUT DURUM

Kontinü haddehane tav fırınında kütüğü ısıtmak amacıyla kullanılan kok gazı yapısı bakımından düzensizdir. Kok gazının düzensiz bir gaz olması fırın içerisinde ısıtılan kütüğü verimlilik, kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği açısından etkilemektedir.

Çalışma için oluşturulan 34 dönemlik veri seti incelendiğinde; 1 ton nervürlü inşaat çeliği üretilmesi için tonu 2.220,75 TL değerinde 1,054 ton girdi kütük, 1000 m<sup>3</sup>'ü 276,82 TL değerinde 67,24 m<sup>3</sup> kok gazı ve 1000 kwh'i 387,19 TL değerinde 58,46 kwh elektrik tüketilmesi gerekmektedir. Üretim süreci içerisinde 1 ton nervürlü inşaat çeliğinden tonu 1.798,75 TL değerinde 0,024 ton hurda ve tonu 85,77 TL değerinde 0,030 ton tufal açığa çıkmaktadır. 1 ton nervürlü inşaat çeliği için tüketimler Çizelge 6.1'de, ton başına sabit ve değişken maliyetler ise Çizelge 6.2'de sunulmaktadır.

Çizelge 6.1. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için gerçekleşen tüketimler.

|                       |                |       |
|-----------------------|----------------|-------|
| Mamül girdisi (Kütük) | Ton            | 1,054 |
| Hurda kaybı           | Ton            | 0,024 |
| Tufal oluşumu         | Ton            | 0,030 |
| Kok gazı tüketimi     | M <sup>3</sup> | 67,24 |
| Elektrik tüketimi     | Kwh            | 58,46 |

Çizelge 6.2’de sunulan tabloda, hurda ve tufal oluşumu eksi (-) maliyet olarak belirtilmiştir. Bunun sebebi, hurdanın ve tufalin birer geri dönüşüm ürünü olmasıdır. Atıl olarak açığa çıkan hurda ve tufal çelik üretim tesislerinde sıvı çelik içerisine katılarak tekrar üretime dahil edilir. Bu durumda işletme dışarıdan para karşılığında satın alacağı hurda ve/veya tufalden tasarruf etmiş olur. Böylece üretim maliyeti kalemleri arasında eksi (-) olarak belirtilir.

Çizelge 6.2. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için sabit ve değişken maliyetler.

|                           |                        |           |
|---------------------------|------------------------|-----------|
| Mamül girdisi (Kütük)     | TL/Ton                 | 2.220,75  |
| Hurda kaybı               | TL/Ton                 | -1.798,75 |
| Tufal oluşumu             | TL/Ton                 | -85,77    |
| Kok gazı tüketimi         | TL/1000 m <sup>3</sup> | 276,82    |
| Elektrik tüketimi         | TL/1000 kwh            | 387,19    |
| Direkt işletme maliyeti   | TL/Ton                 | 98,43     |
| Endirekt işletme maliyeti | TL/Ton                 | 19,32     |

Çalışma yapılan haddehanenin kurulu üretim kapasitesi yıllık 650.000 tondur. Aylık toplam nervürlü inşaat çeliği üretim miktarı 45.000 ton ve bu üretimi gerçekleştirebilmek için ihtiyaç duyulan kütük girdisi 47.450 tondur. Mevcut durumda aylık üretilen 45.000 ton nervürlü inşaat çeliği göz önünde bulundurulduğunda kapasite kullanım oranı %83,08 olarak hesaplanmıştır. İhtiyaç duyulan 47.450 ton kütük girdisi ile malzeme verimliliği %94,84 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca tesiste çalışma oranı kok gazının düzensizliğiyle paraleldir. 34 dönemlik veri seti incelendiğinde kok gazı düzensizliği sebebiyle takvim saat içerisindeki net çalışma saati ve planlı duruşlar çıkarıldığında yaklaşık olarak %0,59 kok gazı kaynaklı duruş gerçekleşmektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak tesisin genel çalışma oranı %55,57 olarak hesaplanmıştır. Tesiste, mevcut şartlarda nervürlü inşaat çeliği üretilirken gerçekleşen verimlilik değerleri Çizelge 6.3’te sunulmaktadır.

Çizelge 6.3. Tesisin mevcut durumda verimlilik değerleri.

|                         |   |       |
|-------------------------|---|-------|
| Kapasite kullanım oranı | % | 83,08 |
| Malzeme verimliliği     | % | 94,84 |
| Genel çalışma oranı     | % | 55,57 |

Mevcut durumda tav fırınlarında kok gazının kullanılmasıyla birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için hesaplanan tüketimler, maliyetler ve verimlilik değerlerine ilave olarak çevre kalitesi ve iş sağlığı ve güvenliği konuları da dikkat çekmektedir. Kok gazı taş kömürünün bir yan ürünü olması sebebiyle kimyasal içeriğinde çevresel açıdan kirlilik oluşturan bir gazdır. Gerek hava kalitesi gerekse karbon salınımı açısından çevresel emisyon değeri yüksektir (Bkz. Çizelge 6.13).

Tav fırınlarında ataşleme sisteminin yapılabilmesi için yanıcı ve yakıcı dengesinin sağlanması gerekmektedir. Ancak kok gazı, daha önceki bölümlerde de sıkça belirtildiği üzere düzensiz bir gazdır. Bu sebeple yanıcı olan kok gazının yakıcı olan oksijen ile uygun değerlerde tepkimeye girmemesi sonucunda patlamalar oluşabilmesi söz konusudur. Bu durum üretim, maliyet, çevre konularını etkilediği gibi iş sağlığı ve güvenliği konusunu da ön plana çıkartmaktadır. En yakın örneği ise daha önce de sunulduğu gibi İHA (2019) haberine göre; ülkemizin en büyük entegre demir çelik tesislerinden olan Ereğli Demir Çelik fabrikasında kok gazı kaynaklı patlama gerçekleşmesidir.

## **6.2. PROJE DURUMU**

Kontinü haddehane tav fırınında kütüğü ısıtmak amacıyla kullanılan kok gazının yerine doğalgazın ikame yakıt olarak kullanılması durumu incelenmiştir. Doğalgaz birim maliyet olarak daha pahalı olsa bile hem düzenli hem çevreci olması sebebiyle katma değerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Proje durumunda; sürdürülebilirlik analizi, verimlilik ve çevre emisyonu açısından 4 farklı kazanım altında incelenmiş olup buna ilave olarak patlamalara karşı iş sağlığı ve güvenliği konusu da incelenmiştir. Ekonomiklik analizi ise doğalgaza dönüşüm için gerekli olan yatırım maliyeti mühendislik ekonomisi teknikleriyle incelenerek yapılması öngörülen yatırımın ne kadar sürede kendini amorti edeceği hesaplanmıştır.

Aşağıda doğalgaz kullanılması durumunda üretim sürecinde değişecek hususlar belirtilmiştir.

**Tufal:** Çelik malzeme üzerindeki oksitlenmeden dolayı oluşan demir oksit tabakadır. Tufalleşme ise tavlanan malzemenin yüzeyinde, tav fırınlarındaki ısıtma esnasında ve haddeleme sırasında meydana gelebilmektedir. Kok gazı kullanılması esnasında gaz yapısının düzensizliği yanıcı ve yakıcı dengesinin ayarlanamaması kaynaklı tufal kaybı oluşmaktadır. Kayıp toleransı toplam üretimin %1-%1,5 kabul edilmekte olup kok gazı kullanım sebebiyle %3 seviyelerine çıktığı gözlemlenmektedir (Bkz. Çizelge 6.1). Doğalgaz kullanılması halinde bu dengenin sağlanacağı ve tufal kaybının üretimin %1,5 seviyelerinde olacağı haddeleme alanında uzman kişiler tarafından belirtilmiştir.

**Doğalgaz miktarı:** Kok gazının alt ısı değeri 4.028 (Bkz. Çizelge 3.1) ve doğalgazın alt ısı değeri 8.250 (Bkz. Çizelge 3.3) göz önünde bulundurularak ikamelik oranı hesaplanmıştır (Denklem 6.1).

$$\text{İkamelik oranı} = 4.028 / 8.250 \cong 0,488 \quad (6.1)$$

Bu değer 1 m<sup>3</sup> kok gazı kullanılması yerine yaklaşık olarak 0,488 m<sup>3</sup> doğalgaz kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

İlerleyen başlıklar altında, birim nervürlü inşaat çeliği ürününün üretilebilmesi için kullanılması öngörülen kütük tonajı, hurda kaybı, tufal oluşumu, enerji tüketimleri ile yaklaşık sabit ve değişken maliyetler hesaplanmıştır. Girdi mamulün sabit kaldığı kabul edilerek satılabilir nihai ürün tonajı artmış ve plansız fırın duruşlarının da yaşanmayacağı uzman kişilerin görüşleri ile teyit edilerek; kapasite kullanım oranı, malzeme verimliliği ve genel çalışma oranı hesaplanmıştır. Çalışmanın son aşamasında ise toplam karbon salınımları hesaplanarak, kok gazı ve doğalgaz kullanıldığı durumlar için kıyaslama yapılmıştır.

### 6.2.1. Tufal Kaybının Minimize Edilmesi (Kazanım-1)

Kok gazı yerine ikame yakıt doğalgazın kullanılmasıyla, ilk kazanım tufal kaybının minimize edilmesidir. Doğalgazın düzenli bir gaz olması, yanıcı ve yakıcı dengesini sağlamaya olanak tanımaktadır. Dengeli ateşleme yapılmasıyla ısıtılan tav fırınında tavlanan yarı mamulün yüzeyinde oksijen ile meydana gelen tepkime sonucu oluşan

tufal oranı %1,5 seviyelerine düştüğü belirlenmiştir (Güney, 2014). Mevcutta tav fırınında kok gazı kullanıldığında ise bu oran %3 seviyelerindedir (Bkz. Çizelge 6.1).

Doğalgaz kullanılmasıyla tufal kaybının %1,5 seviyelerine düştüğü göz önünde bulundurulduğunda birim nervürlü inşaat çeliğinin üretilmesi için ihtiyaç duyulan kütük hacmi artmıştır. Bir diğer ifadeyle mevcut durumda 1 ton nervürlü inşaat çeliği üretebilmek için 1,054 ton kütük girdisine ihtiyaç duyulurken, proje durumunda 1,039 ton kütüğe ihtiyaç duyulmaktadır. Proje durumunda birim nervürlü inşaat çeliği üretmek için öngörülen tüketim değerleri Çizelge 6.4'te sunulmaktadır.

Çizelge 6.4. Doğalgaz kullanıldığında birim nervürlü inşaat çeliği için tüketimler.

|                       |                |       |
|-----------------------|----------------|-------|
| Mamül girdisi (Kütük) | Ton            | 1,039 |
| Hurda kaybı           | Ton            | 0,024 |
| Tufal oluşumu         | Ton            | 0,015 |
| Doğalgaz tüketimi     | M <sup>3</sup> | 32,34 |
| Elektrik tüketimi     | Kwh            | 58,46 |

Tufal kaybının azalmasıyla birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için gereken girdi kütük tonajı 47.450 ton sabit tutularak, 697 ton daha fazla nervürlü inşaat çeliği üretilmektedir. Proje durumunda aylık 45.000 ton ve ilave 697 ton nervürlü inşaat çeliği üretilbileceği göz önünde bulundurulduğunda kapasite kullanım oranı %84,36'ya yükseldiği, malzeme verimliliğinin ise %96,21'e yükseldiği hesaplanmıştır. Kok gazı ve doğalgaz kullanıldığı durumlarda Çizelge 6.5'te sunulduğu üzere verimlilik değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.5. Tufal kaybının minimize edilmesi sonucu verimlilik değerleri.

|                         | Kok Gazı Kullanıldığında | Doğalgaz Kullanıldığında |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Kapasite kullanım oranı | % 83,08                  | % 84,36                  |
| Malzeme verimliliği     | % 94,84                  | % 96,21                  |

### 6.2.2. Fırın Duruşlarının Engellenmesi (Kazanım-2)

Kok gazı yerine ikame yakıt doğalgazın kullanılmasıyla elde edilen ikinci kazanım fırın duruşunun planlı duruşlar haricinde engellenmesidir. Kontinü haddehane saatlik

üretim hızı 91,6 olup takvim saat içerisindeki net çalışma saati ve planlı duruşlar çıkarıldığında yaklaşık olarak %0,59 kok gazı kaynaklı duruş gerçekleşmektedir. Bu oran dönemlik olarak incelenmiş olup ani duruşlar hem üretimi büyük çaplı sekteye uğratmakta hem de tav fırınının mekanik olarak birhayli zarar görmesine sebep olmaktadır. Doğalgazın kullanılmasıyla plan dışı gerçekleşen duruşların yaşanmayacağı alanında uzman kişiler tarafından belirtilmiştir. Yıllık toplam çalışılabilir süre denklem (6.2)'de, kok gazı kaynaklı duruş süresi denklem (6.3)'te ve doğalgazın kullanılmasıyla genel çalışma oranının ulaşacağı nokta denklem (6.4)'te öngörülmektedir.

$$Yıllık Toplam Çalışılabilir Süre = 365 * 24 = 8760 \text{ saat} \quad (6.2)$$

$$Kok Gazı Kaynaklı Duruş Süresi = 8760 * 0,005947 = 52,1 \text{ saat} \quad (6.3)$$

$$Doğalgaz Kullanılmasıyla Genel Çalışma Oranı = \frac{(4867,5+52,1)}{8760} = \%56,16 \quad (6.4)$$

Doğalgaz kullanılmasıyla plansız duruşların önüne geçileceği ve çalışma oranının %56,16'ya yükseleceği hesaplanmıştır. Ayrıca duruş yaşanmayarak tesisin üretime devam ettiği ve nervürlü inşaat çeliği ürettiği göz önünde bulundurularak 45.000 tona ilave 217 ton daha fazla üretim yapılabileceği hesaplanmıştır. Yeni durumda 45.000 ton mevcut üretime, kazanım-1'den 697 ton ve kazanım-2'den 217 ton ilave edilerek toplamda 45.914 ton nervürlü inşaat çeliği üretimi üzerinden hesaplanan kapasite kullanım oranının %84,76'ya yükseldiği belirlenmiştir. Kok gazı ve doğalgaz kullanıldığı durumlarda Çizelge 6.6'da sunulduğu üzere verimlilik değerleri karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6.6. Fırın duruşlarının engellenmesi sonucu verimlilik değerleri.

|                         | Kok Gazı Kullanıldığında | Doğalgaz Kullanıldığında |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Genel Çalışma Oranı     | % 55,57                  | % 56,16                  |
| Kapasite Kullanım Oranı | % 83,08                  | % 84,76                  |

### 6.2.3. Kok Gazından Elektrik Üretimi (Kazanım-3)

Demir çelik sektöründe en fazla kullanılan enerji çeşitleri arasında elektrik önemli yer tutmaktadır. Elektrik üretimi için ihtiyaç duyulan girdi; kok gazı, yüksek fırın gazı, konverter gazı veya doğalgazın yakılmasıyla elde edilen buhardır (Bkz. Şekil 2.8).

Kontinü haddehanede doğalgaz kullanılması halinde açıkta kalan kok gazı tesis içerisinde elektrik üretiminde kullanılacaktır. Bu sayede elektrik üretim tesisinin kapasite kullanım oranı yükselecek ve sabit maliyetleri düşürülebilecektir.

Ayrıca, yüksek fırın gazı yüksek fırınlarda üretim yan ürünü olarak açığa çıkmakta ve kullanımı sırasında kok gazı ile zenginleştirilmesi gerekmektedir. Çalışma içerisinde bulunduğumuz noktaya kadar yüksek fırın gazı çalışmaya dahil edilmemiştir ancak elektrik üretimini gerçekleştirebilmek için bacadan atılan yüksek fırın gazı da değerlendirilebilmektedir. Dönemlik olarak ortalama 5-10 milyon m<sup>3</sup> yüksek fırın gazı kullanılmadığı için bacadan atılmaktadır. Bu sebeple kok gazı ile zenginleştirilerek hem daha fazla elektrik üretmek hem de çevresel emisyonları azaltmak için yüksek fırın gazı çalışmaya bu kapsamda dahil edilmiştir.

Elektrik kwh cinsinden, kok gazı ve yüksek fırın gazı ise m<sup>3</sup> cinsinden kabul görmekte olup ikamelik oranı için yapılan hesaplamalar aşağıda sunulmaktadır.

- 1000 kwh elektrik üretilmesi için 3,70 ton buhar gerekmektedir.
- 1000 m<sup>3</sup> kok gazı yakıldığında 5,68 ton buhar üretilmektedir.
- 1000 m<sup>3</sup> yüksek fırın gazı yakıldığında 0,99 ton buhar üretilmektedir.

$$\text{Kok gazı ve elektrik denkliği} = \frac{5,68 \text{ ton buhar}}{3,70 \text{ ton buhar}} = 1,535 \quad (6.5)$$

Yukarıda sunulan denklem (6.5)'de 1 m<sup>3</sup> kok gazından 1,535 kwh elektrik üretebileceği belirlenmiştir.

$$\text{Yüksek fırın gazı ve elektrik denkliği} = \frac{0,99 \text{ ton buhar}}{3,7 \text{ ton buhar}} = 0,267 \quad (6.6)$$

Yukarıda sunulan denklem (6.6)'da 1 m<sup>3</sup> yüksek fırın gazından 0,267 kwh elektrik üretebileceği belirlenmiştir.

Sonuç itibariyle Kontinü Haddehane'de kullanılmayan kok gazı ve bacadan direkt salınmakta olan yüksek fırın gazları elektriğe dönüştürülerek, hem tesis içi elektrik üretimini artıracak hem de enerji geri dönüşümünü sağlayacaktır.

#### 6.2.4. Zararlı Gaz Emisyonlarının Azaltılması (Kazanım-4)

Zararlı gaz emisyonlarının azaltılması çevresel sürdürülebilirliğin en önemli faktörlerindendir. Artan tüketim ihtiyacı ve bu duruma bağlı hergün daha fazla üretim yapılması zararlı gaz emisyonlarını da beraberinde artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında belirlenen zararlı gaz emisyon değerlerinin ölçülebilmesi için kurumsal karbon ayak izi hesaplama yöntemlerinden Kapsam-1'e ve Kapsam-2'ye göre karbon ayak izi hesaplaması yapılmıştır.

Doğrudan Karbon Ayak İzi (Kapsam-1): İşletmelerin ısınma veya üretim proses faaliyetleri için kullanılan fosil yakıtlardan açığa çıkan emisyonları kapsamaktadır. Bu durumdan çalışma kapsamında bulunan kok gazı ve doğalgaz irdelenmiştir.

Dolaylı Karbon Ayak İzi (Kapsam-2): İşletmeler tarafından tüketilen elektrik enerjisinin veya satın alınan diğer enerji çeşitlerinin neden olduğu emisyonları kapsamaktadır. Bu durumda ise kullanılmayacak yakıtlardan (kok gazı ve bacadan atılan yüksek fırın gazı) Kazanım-3'de de belirtildiği üzere, üretilecek elektriğin satın alınmaması halindeki emisyon faktörleri incelenmiştir.

Aşağıda sunulan denklemlerde (6.7-6.10), 1000 m<sup>3</sup> kok gazı, yüksek fırın gazı, doğalgaz ve 1000 kwh elektrik kullanımı sonucu açığa çıkan CO<sub>2</sub> oranları sunulmaktadır (Worldsteel Association, 2015).

$$1000 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz} = 2,014 \text{ Ton CO}_2/\text{m}^3 \quad (6.7)$$

$$1000 \text{ m}^3 \text{ kok gazı} = 0,836 \text{ Ton CO}_2/\text{m}^3 \quad (6.8)$$

$$1000 \text{ m}^3 \text{ yüksek fırın gazı} = 0,891 \text{ Ton CO}_2/\text{m}^3 \quad (6.9)$$

$$1000 \text{ kwh elektrik} = 0,504 \text{ Ton CO}_2/\text{MW} \quad (6.10)$$

### 6.3. SENARYO ANALİZİ

Önümüzdeki dönemler için hazırlanan, üretim planına göre 45.000 ton üretilmesi hedeflenen nervürlü inşaat çeliği için kok gazı yerine doğalgaz ikame yakıtının kullanılması halinde senaryo analizi çalışılmıştır. Yapılan tüm hesaplamalarda üretim girdisi olan toplam girdi mamülü 47.450 ton olarak sabit kabul edilmiştir.

Öncelikle 1 ton nervürlü inşaat çeliği üretimi için gerekli olan tüm tüketim değerleri yukarıdaki başlıklar altında hesaplandığı üzere, kok gazı ve doğalgaz kullanılması durumuna göre karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için tüketim karşılaştırmaları.

|                       |                | Kok Gazı Kullanıldığında | Doğalgaz Kullanıldığında |
|-----------------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| Mamül girdisi (Kütük) | Ton            | 1,054                    | 1,039                    |
| Hurda kaybı           | Ton            | 0,024                    | 0,024                    |
| Tufal oluşumu         | Ton            | 0,030                    | 0,015                    |
| Kok gazı tüketimi     | m <sup>3</sup> | 67,24                    | -                        |
| Doğalgaz              | m <sup>3</sup> | -                        | 32,34                    |
| Elektrik tüketimi     | Kwh            | 58,46                    | 58,46                    |

Senaryo analizi kapsamında birim nervürlü inşaat çeliği üretilmesi için tonu 2.220,75 TL değerinde 1,039 ton girdi kütük, 1000 m<sup>3</sup>'ü 276,82 TL değerinde 67,24 m<sup>3</sup> kok gazı yerine 1000 m<sup>3</sup>'ü 1.520 TL değerinde 32,34 m<sup>3</sup> doğalgaz, 1000 kwh'i 387,19 TL değerinde 58,46 kwh elektrik tüketilmesi gerekmektedir. Üretim süreci içerisinde 1 ton nervürlü inşaat çeliğinden tonu 1.798,75 TL değerinde 0,024 ton hurda ve tonu 85,77 TL değerinde 0,015 ton tufal açığa çıkmaktadır. Birim nervürlü inşaat çeliği için sabit ve değişken maliyetler Çizelge 6.8'de sunulmaktadır.

Ayrıca Çizelge 6.8'de sunulan elektrik üretim maliyeti TEDAŞ'tan alınan elektrik fiyatından, kok gazı ve yüksek fırın gazı kullanılarak, elektrik üretim tesisinde üretilen elektriğin birim üretim maliyeti düşürülerek hesaplanmıştır.

Çizelge 6.8. Birim nervürlü inşaat çeliği üretimi için sabit ve değişken maliyetler.

|                           |                        |           |
|---------------------------|------------------------|-----------|
| Mamül girdisi (Kütük)     | TL/Ton                 | 2.220,75  |
| Hurda kaybı               | TL/Ton                 | -1.798,75 |
| Tufal oluşumu             | TL/Ton                 | -85,77    |
| Kok gazı tüketimi         | TL/1000 m <sup>3</sup> | 276,82    |
| Doğalgaz tüketimi         | TL/1000 m <sup>3</sup> | 1.520,00  |
| Elektrik tüketimi         | TL/1000 kwh            | 387,19    |
| Direkt işletme maliyeti   | TL/Ton                 | 98,43     |
| Endirekt işletme maliyeti | TL/Ton                 | 19,32     |
| Elektrik üretim maliyeti* | TL/1000 kwh            | 65,55     |

Toplam kütük girdisi 47.450 ton sabit kabul edilerek, kok gazı kullanıldığı durumda hedeflenen 45.000 ton nervürlü inşaat çeliği üretilirken, doğalgaz kullanılması halinde 45.000 tona ilave olarak kazanım-1 den yani tufal kaybı minimizesinden elde edilen 697 ton ve kazanım-2 den yani fırın duruşlarının engellenmesiyle çalışılabilir sürenin artırılmasından elde edilen 217 ton ilave üretimle 45.914 ton nervürlü inşaat çeliğinin üretileceği hesaplanmıştır (Çizelge 6.9).

Çizelge 6.9. Üretim planı senaryosuna göre toplam satılabilir ürün karşılaştırması.

|                         |     | Kok Gazı Kullanıldığında | Doğalgaz Kullanıldığında |
|-------------------------|-----|--------------------------|--------------------------|
| Kütük Girdisi           | Ton | 47.450                   | 47.450                   |
| Mevcut Üretim           | Ton | 45.000                   | 45.000                   |
| Kazanım-1 (Tufal)       | Ton | -                        | 697                      |
| Kazanım-2 (Duruş)       | Ton | -                        | 217                      |
| Toplam Satılabilir Ürün | Ton | 45.000                   | 45.914                   |

Birim üretim ve 45.000 ton üretim planı hedefine göre girdi tonajı sabit tutularak üretim maliyetleri hesaplanmıştır. Kok gazı kullanıldığı durumda 1 ton nervürlü inşaat çeliğini üretmek için katlanılması gereken üretim maliyeti 2.454,97 TL iken 45.000 ton üretilmesi halinde 110.473.523 TL toplam maliyete doğalgaz kullanılması halinde ise 1 ton nervürlü inşaat çeliğini üretmek için katlanılması gereken üretim maliyeti 2.449,60 TL iken ilave üretim kazançlarıyla elde edilen 45.914 tonun üretilmesi halinde 112.470.494 TL toplam maliyete katlanılacaktır (Çizelge 6.10).

Çizelge 6.10. Mevcut ve proje durumu sonucunda birim ve senaryo maliyetleri.

| Maliyetler (TL)           | Kok Gazı Kullanıldığında |             | Doğalgaz Kullanıldığında |             |
|---------------------------|--------------------------|-------------|--------------------------|-------------|
|                           | 1 Ton                    | 45.000 Ton  | 1 Ton                    | 45.914 Ton  |
| Toplam maliyet            | 2.454,97                 | 110.473.523 | 2.449,60                 | 112.470.494 |
| Mamül girdisi (Kütük)     | 2.341,68                 | 105.375.473 | 2306,76                  | 105.912.003 |
| Hurda                     | -43,10                   | -1.939.280  | -43,10                   | -1.978.659  |
| Tufal                     | -2,62                    | -117.697    | -1,27                    | -58.168     |
| Kok Gazı                  | 18,61                    | 837.553     | -                        | -           |
| Doğalgaz                  | -                        | -           | 49,16                    | 2.257.161   |
| Elektrik                  | 22,64                    | 1.018.641   | 22,64                    | 1.039.326   |
| Direkt işletme maliyeti   | 98,43                    | 4.429.489   | 96,47                    | 4.429.489   |
| Endirekt işletme maliyeti | 19,32                    | 869.343     | 18,93                    | 869.343     |

45.000 ton üretim planı hedefine göre Kazanım 3'te sunulan denklemler baz alınarak (Bkz. Denklem 6.5 ve 6.6) tav fırınlarında kullanılmayacak 3.025.625 m<sup>3</sup> kok gazı ve mevcut durumda bacadan atılmakta olan 5.000.000 m<sup>3</sup> yüksek fırın gazı kok gazı ile zenginleştirilerek 5.979.334 kwh elektrik üretilebileceği öngörülmektedir (Çizelge 6.11). Kok gazını elektriğe çevirebilmek için hesaplanan katsayı 1,53, yüksek fırın gazını elektriğe çevirebilmek için hesaplanan katsayı 0,27 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 6.11. Kok gazı ve yüksek fırın gazından üretilen elektrik miktarı.

|                                  |                | Miktar        |
|----------------------------------|----------------|---------------|
| Açıktaki kalan kok gazı miktarı  | m <sup>3</sup> | 3.025.625 (a) |
| Bacadan atılan yüksek fırın gazı | m <sup>3</sup> | 5.000.000 (b) |
| Elektrik karşılığı               | kwh            | 5.979.334     |

1 ton nervürlü inşaat çeliği için piyasa koşulları göz önünde bulundurularak 2.584 TL satış fiyatı belirlenmiş ve bu fiyat üzerinden tüm hesaplamalar yapılmıştır.

47.450 ton mamül girdisi sabit kabul edilerek, kok gazı kullanıldığında 45.000 ton üretim planı hedefine göre ve doğalgaz kullanıldığında 45.914 ton öngörülen üretim hesaplamasına göre satış fiyatı 2.584 TL kabul edilerek satış gelirleri hesaplanmıştır. Kok gazı kullanıldığı durumda 1 ton nervürlü inşaat çeliğini üretmek için katlanılması gereken üretim maliyeti 2.454,97 TL ve doğalgaz kullanılması halinde 1 ton nervürlü inşaat çeliğini üretmek için katlanılması gereken üretim maliyeti 2.449,60 TL göz önünde bulundurularak satış maliyetleri hesaplanmıştır. Ardından satış gelirlerinden

satış maliyeti çıkarılarak satış karı belirlenmiştir. Kazanım-3'te hesaplanan ve bacadan atılan gazlardan elde edilen elektrik kazancı 0,06 TL (Bkz. Çizelge 6.8) olarak satış karı üzerine dahil edilmiştir. Tüm kazançlar toplanarak kok gazı kullanılması halinde 5.806.477 TL, doğalgaz kullanılması halinde ise 6.562.639 TL kazanç sağlanacağı hesaplanmıştır. Sonuç olarak doğalgaz kullanılması halinde her dönem için 756.162 TL kar sağlanacağı öngörülmektedir (Çizelge 6.12).

Çizelge 6.12. Kok gazı yada doğalgaz kullanıldığında oluşan kazanç ve genel kar.

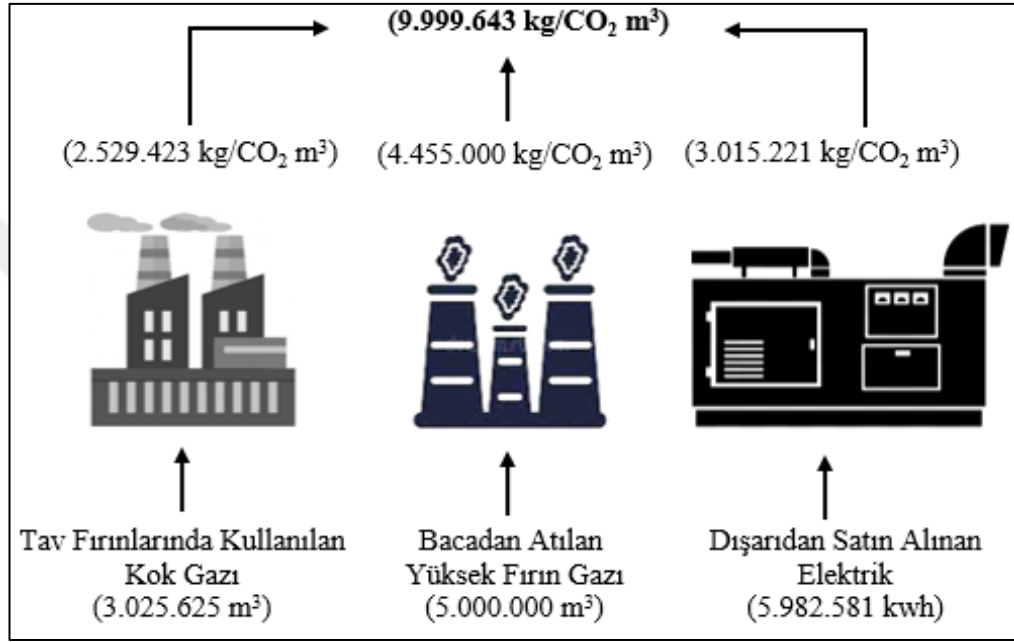
|                  | Kok Gazı Kullanıldığında | Doğalgaz Kullanıldığında |
|------------------|--------------------------|--------------------------|
|                  | Sonuç (TL)               | Sonuç (TL)               |
| Satış geliri     | 116.280.000              | 118.641.188              |
| Satış maliyeti   | 110.473.523              | 112.470.494              |
| Satış karı       | 5.806.477                | 6.170.694                |
| Elektrik kazancı | -                        | 391.945                  |
| Toplam kazanç    | 5.806.477                | 6.562.639                |
| <b>Genel kar</b> | <b>756.162 TL</b>        |                          |

Ayrıca karbon salınımları göz önünde bulundurulduğunda çevresel emisyon değerleri kok gazının kullanılmasıyla ve doğalgaza geçilmesi halinde etkileri incelenmiştir. Hesaplamalara kok gazı ile zenginleştirilerek yakılabilen ve halihazırda bacadan atılmakta olan yüksek fırın gazı da dahil edilmiştir. Proje durumunda kok gazı ve yüksek fırın gazından elektrik üretileceği belirtilmiş olup dışarıdan satın alınan elektrik için karbondioksit emisyonuna katlanılmayacağı belirlenmiştir.

Tav fırınlarının kok gazı ile çalıştığı durumda kok gazı için belirlenen 0,836 ton/CO<sub>2</sub> katsayıya göre kullanılmakta olan 3.025.625 m<sup>3</sup> için 2.529.423 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> zararlı gaz açığa çıkmaktadır. Yüksek fırın gazı için belirlenen 0,891 ton/CO<sub>2</sub> katsayıya göre bacadan atılmakta olan 5.000.000 m<sup>3</sup> için 4.455.000 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> zararlı gaz açığa çıkmaktadır. Dışarıdan satın alınan elektrik için ise belirlenen 0,504 ton/CO<sub>2</sub> katsayıya göre satın alınmakta olan 5.982.581 kwh için 3.015.221 kg/CO<sub>2</sub> kwh zararlı gaz açığa çıkmakta olup tüm üretim süreci için katlanılan toplam emisyon değeri 9.999.643 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.13 ve Şekil 6.1).

Çizelge 6.13. Kok gazı kullanıldığında açığa çıkan karbondioksit miktarı.

|                                                | Ton/CO <sub>2</sub> m <sup>3</sup> | Miktar (m <sup>3</sup> ) (kwh) | Açığa Çıkan Emisyon kg/CO <sub>2</sub> m <sup>3</sup> |
|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Kok Gazı                                       | 0,836                              | 3.025.625                      | 2.529.423                                             |
| Gaz Atma Bacalarından Atılan Yüksek Fırın Gazı | 0,891                              | 5.000.000                      | 4.455.000                                             |
| Dışarıdan Satın Alınan Elektrik                | 0,504                              | 5.982.581                      | 3.015.221                                             |
| <b>TOPLAM EMİSYON</b>                          |                                    |                                | <b>9.999.643</b>                                      |

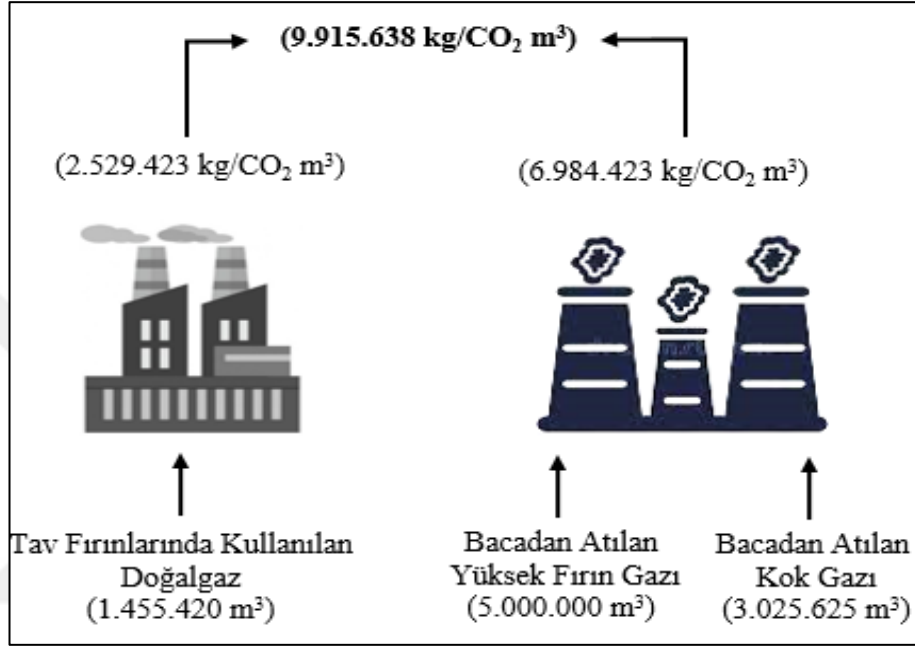


Şekil 6.1. Kok gazı kullanıldığında açığa çıkan karbondioksit miktarı.

Doğalgaz kullanılması durumunda atıl kalan gazlardan elektrik üretildiği ve üretilen miktar kadar dışarıdan elektrik satın alınmayacağı, buna paralel olarak dışarıdan satın alınan elektrik için karbondioksit emisyonuna katlanılmayacağı belirlenmiştir. Tüm bu detaylar göz önünde bulundurularak kok gazı için belirlenen 0,836 ton/CO<sub>2</sub> katsayıya göre kullanılmakta olan 3.025.625 m<sup>3</sup> için 2.529.423 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> zararlı gaz açığa çıkmaktadır. Yüksek fırın gazı için belirlenen 0,891 ton/CO<sub>2</sub> katsayıya göre bacadan atılmakta olan 5.000.000 m<sup>3</sup> için 4.455.000 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> zararlı gaz açığa çıkmaktadır. Dışarıdan satın alınan doğalgaz için ise belirlenen 2,014 ton/CO<sub>2</sub> katsayıya göre satın alınmakta olan 1.455.420 m<sup>3</sup> için 2.931.216 kg/CO<sub>2</sub> kwh zararlı gaz açığa çıkmakta olup tüm üretim süreci için katlanılan toplam emisyon değeri 9.915.638 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır (Çizelge 6.14 ve Şekil 6.2).

Çizelge 6.14. Doğalgaz kullanıldığında öngörülen karbondioksit miktarı.

|                                                | Ton/CO <sub>2</sub> m <sup>3</sup> | Miktar (m <sup>3</sup> ) | Açığa Çıkan Emisyon kg/CO <sub>2</sub> m <sup>3</sup> |
|------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------------------------|
| Kok Gazı                                       | 0,836                              | 3.025.625                | 2.529.423                                             |
| Gaz Atma Bacalarından Atılan Yüksek Fırın Gazı | 0,891                              | 5.000.000                | 4.455.000                                             |
| Doğalgaz                                       | 2,014                              | 1.455.420                | 2.931.216                                             |
| <b>TOPLAM EMİSYON</b>                          |                                    |                          | <b>9.915.638</b>                                      |



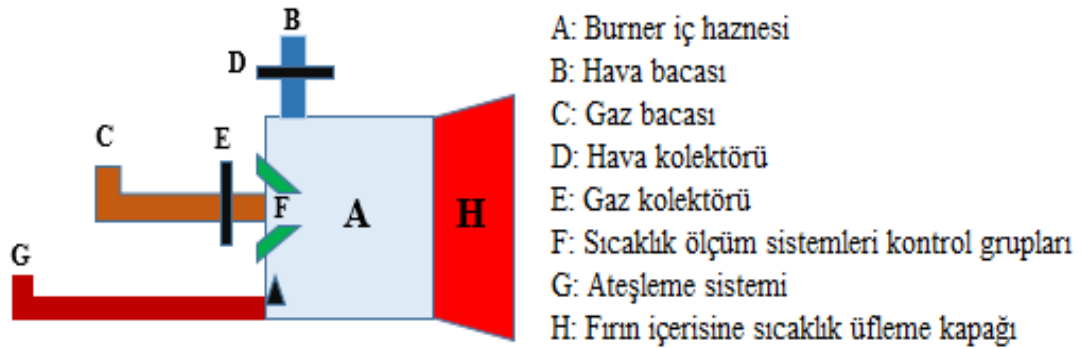
Şekil 6.2. Doğalgaz kullanıldığında öngörülen karbondioksit miktarı.

Kok gazı kullanıldığı açığa çıkan 9.999.643 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> ve doğalgaz kullanılması durumunda açığa çıkması öngörülen 9.915.638 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> karşılaştırıldığında her dönem 84.005 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> daha az emisyon açığa çıkması beklenmektedir. Hesaplanan bu emisyon miktarı, 411,4 kg/CO<sub>2</sub> m<sup>3</sup> absorbe edebilen 25 cm çapında yaklaşık 204 adet kızılçam ağacını her dönem doğaya kazandırmak anlamına gelmektedir (Ege Orman Vakfı, 2021). Ayrıca içeriği bakımından temiz olan doğalgazın kullanımı sonucunda, hava kalitesini etkileyen SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> kirleticileri de absorbe edilecektir. İş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirildiğinde; kok gazı yanıcı ve patlayıcı olmasından dolayı üretim, depolama, dağıtım ve kullanım durumlarında çok hassas olunması gerekmektedir. Uygun basınç değeri dışına çıkıldığında veya yanıcı ve yakıcı dengesi uygun miktarlarda oluşturulmadığında patlama tehlikesiyle karşı karşıya kalılabilmektedir. En yakın örneği ise daha önce de sunulduğu gibi İHA (2019)

haberine göre; ülkemizin en büyük entegre demir çelik tesislerinden olan Ereğli Demir Çelik fabrikasında kok gazı kaynaklı patlama gerçekleşmesidir. Doğalgazda ise depolamaya gerek duyulmadığı ve yanıcı yakıcı dengesi uygun oranlarda ayarlanabildiği için patlama yaşanma olasılığı oldukça düşük olduğu uzman görüşü alınarak belirlenmiştir.

#### 6.4. TAV FIRININ DOĞALGAZA DÖNÜŞÜM YATIRIM MALİYETİ

Kontinü haddehanede kok gazı ile çalışan tav fırınlarının üzerinde 27 adet burner bulunmaktadır. Bu burnerların iç haznelerinde yanıcı ve yakıcı dengesinin ayarlanarak sıcaklık üfleminin gerçekleştirilebilmesi için hava ve gaz bacası, hava ve gaz kolektörü, sıcaklık ölçüm sistemleri kontrol grupları ile ateşleme sistemi bulunmaktadır (Şekil 6.3).

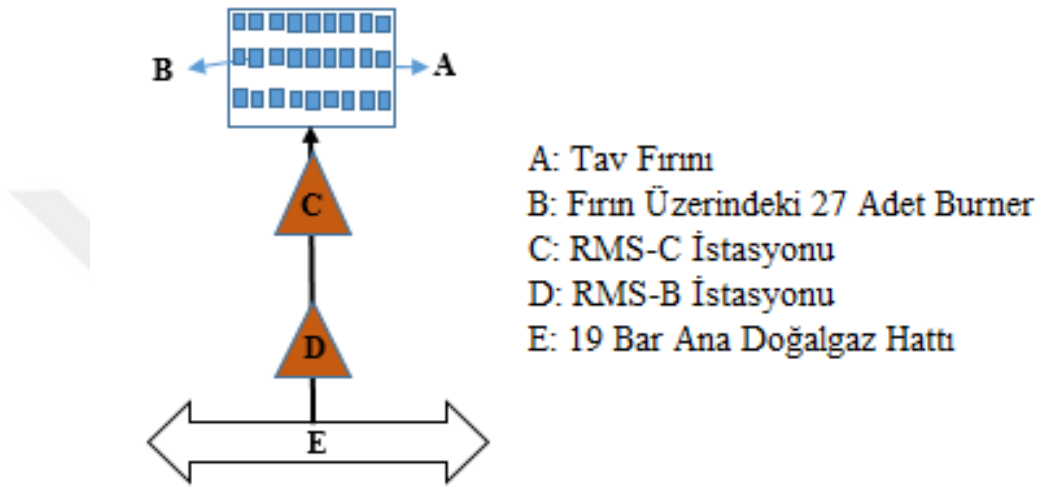


Şekil 6.3. Tav fırınlarında bulunan burner ve üzerinde bulunan ekipmanlar.

Tav fırını içerisinde bulunan 27 burnerın (A) her biri için öncelikle hava bacasından yakıcı gaz temin edilir. Ardından yakıcıya uygun oranda gaz bacasından yanıcı hava eklemesi yapılır. İstenilen oranlarda yanıcı ve yakıcı eklendikten sonra gaz ve hava kolektörleri kapatılır. Yanıcı ve yakıcı dengesinin uygun oranda eklenmesi halinde ateşleme sistemine ihtiyaç duymadan gaz ve hava tutuşabilmektedir. Özellikle kok gazının düzensiz yapısı sebebiyle ateşleme sistemine ihtiyaç duyulmakta, ancak doğalgaz kullanılması halinde ateşlemeye ihtiyaç duyulmadan rahat bir şekilde tutuşma gerçekleşebilecektir. Tutuşma sağlanmasıyla burner içerisindeki sıcaklık ölçümü ve kontrolü kontrol grupları tarafından yapılmaktadır. Ölçüm ve kontrolün

uygun görülmesi halinde üfleme kapağı açılarak tav fırını içerisine sıcaklık üfleme yapılır.

Yukarıdaki tüm adımları doğalgaz kullanarak gerçekleştirebilmek için ana doğalgaz şebekesinden hat çekilmeli, tav fırınlarında kullanılacak bar düzeyine getirilmeli ve fırın doğalgaz kullanılacak şekilde modernize edilmelidir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Tav fırınına ana doğalgaz şebekesinden gaz tedarik etme süreci.

Tav fırınlarının doğalgaz ile çalıştırılabilmesi için tesis içerisindeki 19 bar'lık ana doğalgaz hattından tesisat çekilmesi gerekmektedir. Ana doğalgaz hattındaki 19 bar'lık gaz RMS-B istasyonunda istenilen düzeye göre 4 bar'a veya 1 bar'a düşürülür. RMS-B istasyonunda 4 bar'a veya 1 bar'a düşürülen doğalgaz basıncı RMS-C istasyonunda tekrar basınç düşürme işlemine tabi tutulur ve 0,1 bar'a düşürülür. İstasyonlarda istenilen basınç seviyesine getirilen doğalgaz tav fırını içerisinde 27 adet burnera dağıtılır ve ısıtma işlemine hazır hale getirilir.

Ana doğalgaz hattından tav fırınlarına kadar gazın çekilmesi, ara istasyonlarda basınç ayarlaması ve tav fırınının doğalgaz ile çalışabilmesi için gerekli tüm modernizasyonları kapsayan maliyet tablosu aşağıda sunulmaktadır (Çizelge 6.15).

Çizelge 6.15. Tav fırınlarının modernizasyonu için toplam yatırım maliyeti.

|          |                                              | Yatırım Maliyeti (TL) |
|----------|----------------------------------------------|-----------------------|
| 1. Bölge | Ana doğalgaz hattı ile RMS-B istasyonu arası | 45.150                |
|          | RMS-B bölgesi                                | 54.600                |
|          | RMS-B istasyonu                              | 357.120               |
|          | RMS-B ile RMS-C istasyonları arası           | 346.500               |
|          | TOPLAM (1)                                   | 803.370               |
| 2. Bölge | İç tesisat                                   | 630.000               |
|          | Vent & Pilot                                 | 115.500               |
|          | Sızdırmazlık testi & Proje çizimi            | 65.100                |
|          | RMS-C istasyonu                              | 105.000               |
|          | 600 metre uzunluğunda çelik boru             | 403.200               |
|          | TOPLAM (2)                                   | 1.318.800             |
| Ekipman  | Toplam burner maliyeti (27 adet)             | 2.512.620             |
|          | Ateşleme sistemi (Monoblok valf)             | 1.350.000             |
|          | Ölçüm ve kontrol grubu (Elektro valf)        |                       |
|          | TOPLAM (3)                                   | 3.862.620             |
|          | GENEL TOPLAM (1+2+3)                         | 5.984.790             |

Tabloda sunulan yatırım maliyetleri içerisinde; kazı çalışmaları, işçilik, polietilen boru, katodik koruma, tahribatsız muayene işlem maliyeti, projelendirme maliyetleri, yedek ve stoklu malzeme alımları da dahil edilmiştir.

Kontinü haddehane tav fırınının kok gazı ile değilde doğalgaz ikame yakıtıyla modernize edilmesi halinde yukarıda detaylıca anlatılan hususlar oluşacaktır ve yaklaşık olarak doğalgaz yatırım maliyeti 5.984.790 TL olarak gerçekleşeceği öngörülmüştür (Çizelge 6.15).

## 6.5. EKONOMİKLİK ANALİZİ

Yatırım projesinin toplam maliyetinin hesaplanmasının ardından yatırım kararının alınabilmesi için mühendislik ekonomisi teknikleriyle hesaplama yapılması gerekmektedir. Öncelikle dönemlik kazanç tutarı baz alınarak nakit akışı hesaplanmış, akabinde yatırımın net bugünkü değeri bulunmuş ve duyarlılık analizi teknikleri kullanılmıştır.

### 6.5.1. Nakit Akışı Hesaplama

Kontinü haddehane tav fırınının kok gazı yerine doğalgaz ikame yakıtıyla ısıtılmasının yatırım maliyeti 5.984.790 TL (Bkz. Çizelge 6.15), dönemlik kazancı ise 756.162 TL (Bkz. Çizelge 6.12) olarak hesaplanmıştır. Projenin ekonomiklik analizinin gerçekleştirilebilmesi için nakit akışı hesaplanmış ve bu hesaplamalar için kabul edilen genel kriterler aşağıda maddeler halinde sunulmaktadır:

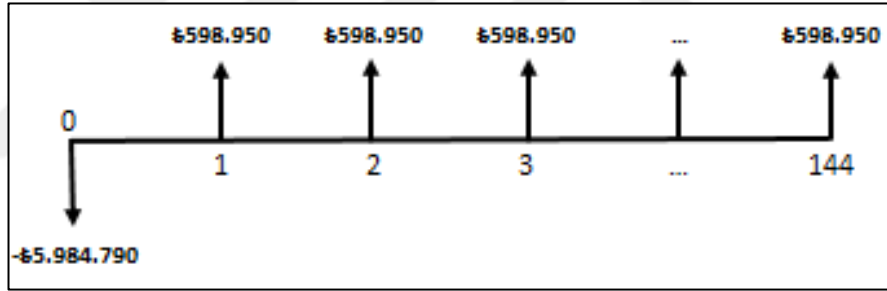
- Tav fırınının doğalgaza dönüşümü, modernizasyon/yenileme yatırımları kapsamına girmektedir.
- İlk yatırım maliyeti 5.984.790 TL olarak hesaplanmış ve tamamının anaparadan karşılanacağı kabul edilmiştir.
- Tav fırınlarının faydalı ömrü, Maliye Bakanlığı Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği (2006) Amortisman Tabi İktisadi Kıymetler 31.7.2. bendine göre; 12 yıl (144 dönem) olarak belirlenmiştir. Amortisman hesaplama yöntemi olarak “Sıfırlayan Amortisman Yöntemi” kullanılmıştır.
- Sermaye oranı %18 olarak kabul edilmiştir.
- Tav fırınlarının modernizasyonu olup hurda değeri bulunmamaktadır.
- Yatırım tamamlandığında belirli periyotlarla işletme bakım maliyeti gerçekleşecektir. Ancak kok gazı kullanılırken de aynı oranda işletme bakım maliyeti gerçekleşeceği için bu maliyet kalemi göz ardı edilmiştir.
- Kok gazı ile çalışırken belirli dönemlerde fırın bakımı için duruşlar verilmekte olup doğalgaza dönüşüm modernizasyonu için bu planlı bakım süresi kullanılacaktır. Bu sebeple yatırım için ekstra tesis durdurulmayacak ve üretim kaybı yaşanmayacaktır.

Tüm bu bilgiler ışığında yatırım nakit akışı için kok gazı kullanıldığında üretilmesi hedeflenen 45.000 ton nervürlü inşaat çeliği ürününden sağlanacak kar ve doğalgaza dönüşüm sonucunda 45.914 ton nervürlü inşaat çeliği ürününden sağlanacak kar ile karşılaştırılarak net kar belirlenmiştir. Ayrıca, nakit akış hesaplamasına amortisman, vergi matrahı, %22 oranında kurumlar vergisi eklenerek net nakit girişi hesaplanmıştır (Çizelge 6.16).

Çizelge 6.16. Yatırım için oluşturulan nakit akış tablosu.

|                                 |     | 0.Dönem    | 1.Dönem   | 2.Dönem   | ... | 144.Dönem |
|---------------------------------|-----|------------|-----------|-----------|-----|-----------|
| Kok Gazı Kullanıldığında Üretim | Ton | 0          | 45.000    | 45.000    | ... | 45.000    |
| Toplam Kar                      | TL  | 0          | 5.806.477 | 5.806.477 | ... | 5.806.477 |
| Doğalgaz Kullanıldığında Üretim | Ton | 0          | 45.914    | 45.914    | ... | 45.914    |
| Toplam Kar                      | TL  | 0          | 6.562.639 | 6.562.639 | ... | 6.562.639 |
| Üretim Farkı                    | Ton | 0          | 914       | 914       | ... | 914       |
| Üretim Farkı Kazancı (1)        | TL  | -5.984.790 | 756.162   | 756.162   | ... | 756.162   |
| Amortisman (2=-P*(100/144)/100) | TL  | 0          | 41.561    | 41.561    | ... | 41.561    |
| Vergi Matrahı (3=1-2)           | TL  | 0          | 714.601   | 714.601   | ... | 714.601   |
| Kurumlar Vergisi (4=3*%22)      | TL  | 0          | 157.212   | 157.212   | ... | 157.212   |
| Vergi Sonrası Kar (5=3-4)       | TL  | 0          | 557.389   | 557.389   | ... | 557.389   |
| Net Nakit Girişi (6=2+5)        | TL  | -5.984.790 | 598.950   | 598.950   | ... | 598.950   |

Yukarıdaki tabloda 0.Dönem yatırım dönemini ifade etmektedir. Takip eden dönemlerde üretimin aynı tempoda kalacağı öngörüsüyle 1.-144. dönemleri arasındaki net nakit girişi hesaplanmış ve nakit akım şeması oluşturulmuştur (Şekil 6.5).



Şekil 6.5. Yatırım için oluşturulan nakit akım şeması.

### 6.5.2. Net Bugünkü Değer Hesaplaması

Yatırım tutarı 5.984.790 TL, net nakit girişi 598.950 TL, 144 dönem ve yıllık %18 faiz (Dönemlik %1,5) oranı dönemlik olarak hesaplamaya dahil edildiğinde, net bugünkü değer metoduna göre yatırımın bugünkü değeri hesaplanmıştır (Denklem 6.11).

$$\begin{aligned}
 NBD &= -5.984.790 + (598.950(P/F; \%1,5; 1) + (598.950(P/F; \%1,5; 2) \dots + (598.950(P/F; \%1,5; 144) \\
 NBD &= -5.984.790 + (598.950(0,9852) + (598.950(0,9707) \dots + (598.950(0,1172) \\
 NBD &= -5.984.790 + 35.250.590 \\
 NBD &= 29.265.800 \text{ TL}
 \end{aligned}
 \tag{6.11}$$

### 6.5.3. Karlılık İndeksinin Hesaplaması

Karlılık indeksi diğer bir anlamıyla fayda/maliyet oranıdır. Yatırım maliyetinin net bugünkü değerine oranla ne kadar fayda sağlayacağını belirtmektedir.

Karlılık İndeksi-1 yönteminde; t0 anındaki net bugünkü değer sonucuna göre yatırım tutarının kaç katının kazanıldığını göstermektedir (Denklem 6.12).

$$\text{Karlılık İndeksi 1} = (C + NBD)/C$$

$$\text{Karlılık İndeksi 1} = (5.984.790 + 29.265.800)/5.984.790$$

$$\text{Karlılık İndeksi 1} = 5,89 \quad (6.12)$$

Karar: Karlılık İndeksi-1 =5,89>1 olduğu için proje kabul edilmektedir. Bu durum proje için yapılan yatırım maliyetinin 5,89 katının kazanılabileceği anlamına gelmektedir.

Karlılık İndeksi-2 yönteminde belirlenen proje tutarının bugünkü değere göre kıyaslaması yapıldığında yüzde kaç oranında daha fazla değer sağlandığını göstermektedir (Denklem 6.13).

$$\text{Karlılık İndeksi 2} = NBD/C$$

$$\text{Karlılık İndeksi 2} = 29.265.800/5.984.790$$

$$\text{Karlılık İndeksi 2} = 4,89 \quad (6.13)$$

Karar: Karlılık İndeksi-2 =4,89>0 olduğu için proje kabul edilmektedir. Bu durum proje için yapılan yatırım maliyetinin 4,89 katı kadar fazla değer sağlayabileceği anlamına gelmektedir.

### 6.5.4. İç Karlılık Oranının Hesaplaması

İç karlılık oranı projeye ait nakit girişlerini nakit çıkışlarına eşitleyen iskonto oranıdır. İKO deneme yanılma yolu ile bulunmakta olup projenin sermaye maliyeti %1,5 olan oranı ile karşılaştırılmıştır. İKO'nun hesaplanabilmesi için %1,25 faiz oranına göre

(Denklem 6.14) ve %10 faiz oranına göre (Denklem 6.15) net bugünkü değerler hesaplanmış ve sermaye maliyeti olan %1,5 ile karşılaştırılmıştır (Denklem 6.16).

$$\begin{aligned}
 NBD (\%1,25 \text{ için}) &= -5.984.790 + (598.950(0,9877) + (598.950(0,9755) \dots + (598.950(0,1672) \\
 NBD (\%1,25 \text{ için}) &= -5.984.790 + 39.906.652 \\
 NBD (\%1,25 \text{ için}) &= 33.921.862 \text{ TL}
 \end{aligned} \tag{6.14}$$

$$\begin{aligned}
 NBD (\%10 \text{ için}) &= -5.984.790 + (598.950(0,9090) + (598.950(0,8264) \dots + (598.950(0) \\
 NBD (\%10 \text{ için}) &= -5.984.790 + 5.980.090 \\
 NBD (\%10 \text{ için}) &= -4.700 \text{ TL}
 \end{aligned} \tag{6.15}$$

$$\begin{aligned}
 İKO &= 0,0125 + \frac{33.921.862}{(33.921.862) - (-4700)} * (0,10 - 0,0125) \\
 İKO &= \%9,99
 \end{aligned} \tag{6.16}$$

Karar: İKO %9,99>%1,5 olduğu için proje kabul edilmektedir. Bu durum proje için öngörülen %1,5 faiz oranının %9,99 faiz oranına kadar karlı olduğu anlamına gelmektedir.

#### 6.5.5. Rantabilite Oranının Hesaplaması

Projenin gerçekleştirilmesi halinde her dönem için elde edilebilecek karın toplam proje tutarına oranlanmasıyla edilmektedir (Denklem 6.17).

$$\begin{aligned}
 RO &= ((598.950 * 144)/144)/(5.984.790 - 0) \\
 RO &= 0,10
 \end{aligned} \tag{6.17}$$

Karar: RO %10 olarak hesaplanmış olup projenin getiri oranına ilave olarak, karlılığına bakıldığında da olumlu sonucunun olduğu anlamına gelmektedir.

#### 6.5.6. Geri Ödeme Süresinin Hesaplaması

Geri ödeme süresi metodu; bir yatırım projesi için belirlenen yatırım tutarının ne kadar sürede kendisini amorti edeceğini hesaplayabilmek için kullanılmaktadır. Hesaplanan

geri ödeme süresi projenin ekonomik ömrünün içerisinde kalıyorsa uygunluğuna karar verilebilirken hesaplanan geri ödeme süresi projenin ekonomik ömrünü aşıyorsa projenin reddine karar verilebilir. Geri ödeme süresi iki şekilde kullanılmaktadır.

Geri Ödeme Süresi-1 (GÖS<sub>1</sub>) metodunda; bir yatırıma ait anaparanın kaç yılda geri döneceği hesaplanmaktadır.

Çizelge 6.17. Yatırıma ait anaparanın geri alınacağı toplam süre.

| Dönem (n) | Nakit Akışı (TL) | Kümülatif Toplam (TL) |
|-----------|------------------|-----------------------|
| 0         | -5.984.790       | -5.984.790            |
| 1         | 598.950          | -5.385.840            |
| 2         | 598.950          | -4.786.891            |
| 3         | 598.950          | -4.187.941            |
| 4         | 598.950          | -3.588.991            |
| 5         | 598.950          | -2.990.042            |
| 6         | 598.950          | -2.391.092            |
| 7         | 598.950          | -1.792.142            |
| 8         | 598.950          | -1.193.193            |
| 9         | 598.950          | -594.243              |
| 10        | 598.950          | 4.707                 |

$$GÖS_1 = 5.984.790 / 598.950$$

$$GÖS_1 = 10 \text{ Dönem} \quad (6.18)$$

Karar: Geri Ödeme Süresi-1, 12 dönem olarak hesaplanmış olup dönemlik 598.950 TL getiriye göre anaparanın 10 dönemde (Denklem 6.18.) geri döneceği anlamına gelmektedir (Çizelge 6.17).

Geri Ödeme Süresi-2 (GÖS<sub>2</sub>) metodu; Projenin ekonomik ömrü içerisinde; anapara ve toplam faizin ne kadar sürede geri alınacağı hesaplanmaktadır.

Çizelge 6.18. Yatırıma ait anapara ve toplam faizin geri alınacağı toplam süre.

| Dönem (n) | Faiz Oranı (%) (P/F;%1,5;n) | Nakit Akışı (TL) | NBD Nakit Akışı (TL) | Kümülatif Toplam (TL) |
|-----------|-----------------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| 0         | 1,0000                      | -5.984.790       | -5.984.790           | -5.984.790            |

Çizelge 6.19. (devam ediyor).

|    |        |         |         |            |
|----|--------|---------|---------|------------|
| 1  | 0,9852 | 598.950 | 590.098 | -5.394.692 |
| 2  | 0,9706 | 598.950 | 581.378 | -4.813.314 |
| 3  | 0,9563 | 598.950 | 572.786 | -4.240.529 |
| 4  | 0,9421 | 598.950 | 564.321 | -3.676.208 |
| 5  | 0,9282 | 598.950 | 555.981 | -3.120.226 |
| 6  | 0,9145 | 598.950 | 547.765 | -2.572.462 |
| 7  | 0,9010 | 598.950 | 539.670 | -2.032.792 |
| 8  | 0,8877 | 598.950 | 531.694 | -1.501.098 |
| 9  | 0,8745 | 598.950 | 523.837 | -977.261   |
| 10 | 0,8616 | 598.950 | 516.095 | -461.166   |
| 11 | 0,8489 | 598.950 | 508.468 | 47.303     |

$$GÖS_2 = 10 \text{ Dönem } 27 \text{ Gün} \quad (6.19)$$

Karar: Geri Ödeme Süresi-2 10 dönem 27 gün olarak hesaplanmış olup dönemlik 598.950 TL getiriye göre anapara ve faizin 10 dönem 27 günde (Denklem 6.19) geri döneceği anlamına gelmektedir (Çizelge 6.18).

Ayrıca  $GÖS_2$  ile  $GÖS_1$  arasındaki fark, toplam faizin ne kadar sürede geri alınabileceğini ifade etmekte olup toplam süre (n) ile  $GÖS_2$  arasındaki fark ise projenin ne kadar süre karlı çalışılacağını göstermektedir.

$$\text{Toplam Faiz} = 10 \text{ Dönem } 27 \text{ Gün} - 10 \text{ Dönem}$$

$$\text{Toplam Faiz} = 27 \text{ Günde geri alınır} \quad (6.20)$$

$$\text{Karlı Süre} = 144 \text{ Dönem} - 10 \text{ Dönem } 27 \text{ Gün}$$

$$\text{Karlı Süre} = 134 \text{ Dönem } 3 \text{ Gün} \quad (6.21)$$

$$\text{Zaman Riski} = 10 \text{ Dönem } 27 \text{ Gün} / 144 \text{ Dönem}$$

$$\text{Zaman Riski} = \%7,63 \quad (6.22)$$

Karar: Son 3 analiz, toplam faizin 27 günde geri alınacağı (Denklem 6.20), 134 dönem 3 gün boyunca tav fırınının karlı çalışacağı (Denklem 6.21) ve ekonomik ömrün %7,63'ünde anapara ve faizin geri alınacağı (Denklem 6.22) anlamına gelmektedir.

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada demir çelik sektörünün haddeleme sürecindeki tav fırınlarında kullanılan yakıt ikameliği üzerine çalışılmıştır. Nervürlü inşaat çeliğini ısıtmak için tav fırınlarında kullanılan kok gazı yerine alternatif yakıt olarak belirlenen doğalgazın kullanılması halinde hem birim üretim bazında hem de gelecek yıllar için üretim planlaması yapılmış olan 45.000 ton üretim senaryosuna göre verimlilik, kalite, çevre, iş sağlığı ve güvenliği ve maliyet parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Tesisin doğalgaz kullanımına uygun modernize edilebilmesi için yatırım maliyeti belirlenmiş ve yatırım kararı için mühendislik ekonomisi teknikleri kullanılarak proje kazancı ve projenin geri dönüş süresi gibi duyarlılık hesaplamaları yapılmıştır.

Öncelikli olarak tav fırınının doğalgaz ile çalıştırıldığı varsayılarak birim üretim bazlı incelendiğinde, tufal kaybı minimize edilmiştir (Kazanım-1) ve doğalgazın düzenli bir gaz olduğu göz önünde bulundurularak fırın duruşları (Kazanım-2) engellenmiştir. Bu durumun sonucunda; malzeme verimliliğinin %94,84'ten %96,21'e, kapasite kullanım oranının %83,08'den %84,76'ya, genel çalışma oranının ise %55,57'den %56,16'ya yükseldiği hesaplanmıştır. 45.000 ton üretim senaryosu göz önünde bulundurulduğunda ise 914 ton daha fazla satılabilir ürün üretilmektedir. Ayrıca satılabilir üretim artışıyla birlikte tesis içi sabit maliyetler de düşürülmüştür.

Hesaplamanın devamında atıl kalan kok gazı, bacadan atılması yerine elektrik üretim tesislerinde elektrik enerjisine (Kazanım-3) dönüştürülmüştür. Bu durum mevcut durumda bacadan atılmakta olan yüksek fırın gazında değerlendirilmesine ve elektriğe dönüştürülebilmesine imkan sağlamıştır. Çünkü bacadan atılmakta olan yüksek fırın gazından tek başına yararlanılamamakta ve kok gazı ile zenginleştirilmesi gerekmektedir. 45.000 ton üretim senaryosu göz önünde bulundurulduğunda, atıl gazların toplamından, 5.979.334 kwh fazladan elektrik üretililecek ve şebekeden aynı miktarda elektrik satın alımının önüne geçilebilecektir.

Tüm ilave üretim rakamları göz önünde bulundurulduğunda, tesis dönemlik olarak 756.162 TL ilave kazanç sağlayabileceği öngörülmektedir. Tesisin modernize edilmesi için gereken yatırım tutarı 5.984.790 TL olarak belirlenmiş ve yatırım kararının verilebilmesi için uygulanan mühendislik ekonomisi tekniğine göre yatırımın net bugünkü değeri 29.265.800 TL olarak hesaplanmıştır. Yine yapılan duyarlılık analizlerine göre; iç karlılık oranı %9,99, geri ödeme süresi yaklaşık 11 dönem, karlılık indeksi %5,89, dış karlılık oranı %51 ve rantabilite oranı %10 olarak hesaplanmıştır.

Zararlı gaz emisyon sınırlandırmaları kapsamında ülkemizin de 24 Mayıs 2004 yılında 189. taraf olarak katılım sağladığı Kyoto Protokolü, sanayileşmiş ülkelerin sera gazı salınımlarını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Protokole göre taraf olan ülkeler birinci taahhüt dönemi olarak kabul edilen 2008-2012 yılları arasında, karbon salınımlarını 1990 yılına göre %5 azaltma taahhütünde bulunmuşlar ve ortak bir tavan sınır belirlemişlerdir. 2012 yılında birinci taahhüt dönemi tamamlanmış ve Katar'ın başkenti Doha'da düzenlenen 18. Taraflar Konferansı'yla Protokol'ün 2020 yılına kadar aynı kararlar ile devam etmesi yönünde sonuca varılmıştır ve ikinci taahhüt dönemi 2013-2020 yılları arası olarak belirlenmiştir. İkinci taahhüt dönemine göre tarafların 2020 yılında 1990 yılına göre en az % 18 emisyonlarını azaltmaları kararlaştırılmıştır. Ancak protokoldeki bu değişikliğin kabul edilebilmesi için yeterli sayıda taraf ülke onay vermediği için yürürlüğe girmemiştir ve iklim değişikliği ile mücadele için Avrupa Birliği ile birkaç küçük gelişmiş ülkelerin salınım azaltımı konusunda belirledikleri taahhütlerine bırakılmıştır (Ever ve Demircioğlu, 2020).

Ülkemizin de iklim değişikliğiyle mücadele etmek için politika geliştirmek ve uygulamak, mevcut sera gazı emisyonlarını ve emisyonlarla ilgili verilerini bildirme yükümlülüğü bulunmaktadır. Ancak ülkemizin 2008-2012 ve 2013-2020 taahhüt dönemlerinde sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik taahhüdünün bulunmadığı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından bildirilmiştir. Sera gazıyla ilgili belirlenen süreçte ülkemizde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2012 yılında "Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik" resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe girmiştir ve 2014 yılında revize edilmiştir. Yönetmeliğin

takibi ve raporlamasının yapılması için “Sera Gazı Emisyonlarının İzlenmesi ve Raporlanması Hakkında Tebliğ” yayımlanmıştır. 2015 yılında bu mevzuatın yürürlüğe girmesini takiben, "Sera Gazı Emisyonlarının Doğrulanması ve Doğrulayıcı Kuruluşların Yetkilendirilmesi Tebliği" yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. Yayınlanan bu mevzuatlar kapsamında üretim faaliyetlerinde bulunan tesisler için her yıl düzenli olarak izleme, raporlama ve doğrulama sürecine tabi olmaları ve tebliğ kapsamında hazırlanacak olan İzleme Planları Çevre Bilgi Sistemi aracılığı ile Bakanlığa iletme zorunluluğu getirilmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Böylece mevzuatta yer alan tesisler için karbon emisyonlarının takibi önemli hale gelmiştir.

2021 yılı itibariyle hem ulusal hem de uluslararası piyasa rekabeti, yaşamış olduğumuz çevreyi ve doğal kaynakları bir hayli etkilemektedir. Günlük yaşantımızda solumakta olduğumuz oksijen, hayatımızın her anında kullanmış olduğumuz su kaynakları, taleplerimize arz sağlayabilmek için tesislerde ürünlere dönüştürülen ormanlarımız gün geçtikçe azalmakta, kirlenmekte ve yok olmaktadır. Bu durum sadece insan sağlığı değil tüm ekolojik dengeyi geri döndüremeyecek şekilde tahrip etmektedir.

İlerleyen süreçlerde iklim değişikliği ve küresel sera gazı emisyonlarının düşürülmesi için ciddi adımlar atılacağı 2015 yılında Fransa’da imzalanan Paris Antlaşması ile resmileşmiştir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021). Ülkeler ve ülke içerisindeki sanayi kuruluşları gelecek dönemler için belirlenebilecek kota ve olası bir vergilendirme sistemi için şimdiden emisyonlarını azaltmaya yönelik yatırım ve iyileştirme faaliyetlerini hızlandırmıştır.

Çevresel sürdürülebilirlik ve gelecek nesillere yaşanabilir bir dünya bırakılması için en küçük proje çalışması dahi önem arz etmektedir. Bu tez çalışması da entegre demir çelik tesisinin üretim süreci içerisinde yer alan haddeleme kısmındaki kullanılan gazın alternatifiyle ikame edilmesi halinde dönemlik 84.005 kg/CO<sub>2</sub> daha az karbondioksit salınımı gerçekleşecek olup bu miktarın 204 adet kızılçam ağacına eşdeğer olduğu belirlenmiştir. Projenin yatırım ömrü olan 144 dönem göz önünde bulundurulduğunda toplamda 29.376 adet kızılçam ağacı doğaya geri kazandırılabilir. Bu sayı, günümüzde güzel örnek teşkil eden trendler arasında kabul gören her ülkenin belirli periyotlarda fidan dikimi gerçekleştirmesi içerisinde, ağaçlandırma değil tek başına bir

orman oluşturulabileceği anlamına gelmektedir. Doğamıza bu sayıda ağaç kazandırmak solumakta olduğumuz oksijenin kalitesini etkileyeceği gibi birçok canlının, üretim tesisinin ve doğal kaynağında olumlu yönde faydalanmasına imkan sağlayacaktır. Dönemlik olarak düşük gibi gözüken lakin yatırım ömrü olarak incelendiğinde kartopu etkisi gösteren bu zararlı gaz emisyonları olası bir kota ve vergilendirme sisteminde de maliyet açısından kazanç sağlayacaktır.

İlerleyen süreçlerde hazırlanmış olan bu çalışma kapsamında;

- Doğalgaz satın alma fiyatı baz alınarak, hangi noktada bu çalışma için kazanç sağlayacağının belirlenebilmesi için başabaş noktası analizi,
- Yatırım maliyeti için gerek duyulan tutarın tamamının anaparadan değilde tamamının veya belirli bir kısmının kredi kullanılarak karşılanması senaryosu,
- Elektrik satın alma fiyatı ve elektrik üretim maliyeti arasındaki denge değişimine göre karar modeli oluşturulması,
- Elektrik üretiminin gerçekleştiği enerji santrallerinin kapasite durumlarının başabaş noktası analizi,
- Elektrik üretim tesisleri kapasitenin yetersiz kalması durumunda ise yeni santral yatırımının ekonomiklik analizinin değerlendirilmesi,

gibi duyarlılık analizleri yapılabilecek konular çalışmanın geliştirilebilecek yönleridir. Ayrıca ithal olarak temin edilen doğalgaz satın alma işlemlerinde kur değişimi önemli bir etmendir. Kurda yaşanabilecek ani değişimler çalışmanın maliyet ve kazançlarına etki edebileceği gibi ürünün temin edilmesinde de güçlük oluşturabilir. Ancak entegre demir çelik sektöründe kullanılan birçok hammadde ve yardımcı malzeme girdisi ithal olarak temin edilmektedir. Bu sebeple, doğalgaz tedarikinde ciddi bir husus olarak belirlenen kur riski diğer birçok girdi için de benzer etkiyi gösterecektir.

Hazırlanan tez çalışmasında görüldüğü üzere nervürlü inşaat çeliği üretimi için tav fırınlarını kok gazı yerine ikame yakıt olan doğalgaz ile ısıtmanın, maliyet, verimlilik ve çevre emisyonu açısından daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Bu durum üretici firma açısından sürdürülebilir rekabeti artıracığı gibi ülke ekonomisine katkı ve bölge halkına daha yaşanabilir çevre ve zengin hava kalitesi imkanı sunacaktır.

## KAYNAKLAR

- Abuluwefa, H. T., “Natural gas as an alternative to fuel oil usage in the steel industry”, *The International Journal of Engineering and Information Technology*, 4 (1): 26-31 (2017).
- Akkaş, M., Çulha, O., “Sıcak haddeleme ile üretilen alaşımlı çelik profillerde normalden farklı renkte oluşan demir oksitlerin ortaya çıkış sebeplerinin incelenmesi”, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (3): 1220–1230 (2020).
- Aslan, B. H., “Demir-çelik üretimindeki gelişmeler ve bir entegre tesis modernizasyon örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay, 12-23 (2008).
- Bekiroğlu, O., “Sürdürülebilir kalkınmanın yeni kuralı: Karbon ayak izi”, *Elektrik Tesisat Ulusal Kongresi*, İzmir, (2011).
- Bengtsson, S., “Environmental and economic implications of a conversion to natural gas”, Magisterprogram, *Högskolan Halmstad Magisterprogram Energiteknik Examensarbete*, Sweden, 11-17 (2013).
- Burmistrz, P., Czepirski, L., Gazda-Grzywacz, M., “Carbon dioxide emission in hydrogen production technology from coke oven gas with life cycle approach”, *E3S Web of Conferences*, Poland, 5-8 (2016).
- Chakraborty, T., Chauhan, S. S., Ouhimmou, M., “Cost-sharing mechanism for product quality improvement in a supply chain under competition,” *International Journal of Production Economics*, 208: 566–587 (2019).
- Deng, L., Adams, T. A., “Optimization of coke oven gas desulfurization and combined cycle power plant electricity generation”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 57 (38): 12816–12828 (2018).
- Ediger, V., “Küresel iklim değişikliğinin uluslararası ilişkiler boyutu ve Türkiye’nin politikaları,” *Mülkiye Dergisi*, 32 (259): 133–158 (2008).
- Ergül, M. “Kok fırınlarında enerji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 6-8, 11-16, (2020).
- Ever, D., Demircioğlu, E., “Karbon maliyetlerinin belirlenmesine ilişkin demir çelik işletmesinde uygulama”, *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 12 (1): 649–662 (2020).
- Güney, E. “Endüstriyel tav fırınlarında karışık yakıt (Kok gazı+Yüksek fırın gazı) kullanımı ile doğalgaz kullanımının enerji verimliliğine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 15-43 (2014).

Hansen, D. R., Maryanne, M., Liming, G., “Cost Management: Accounting & Control 6<sup>th</sup> ed.”, Jack W. Calhoun, Rob Dewey, Keith Chasse, Aaron Arnsparger, **South-Western Cengage Learning**, Sarasota USA, 22-27 (2009).

İnternet: Ege Orman Vakfı, “Karbon Ayak İzi Hesaplayıcı” <https://www.egeorman.org.tr/hesaplayicilar/karbon-ayakizi/?%29> (2021).

İnternet: T.C. Hazine ve Maliye Bakanlığı, “Vergi Usul Kanunu Tebliği 2006”, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/12/20061230-40.pdf> (2021).

İnternet: İhlas Haber Ajansı, “Erdemir’de Kok Gazı Patlaması”, <https://www.ihha.com.tr/zonguldak-haberleri/erdemirde-kok-gazi-patlamasi-5-yarali-2459097/> (2021).

İnternet: Kardemir A.Ş., “Entegre Demir Çelik Tesisi Üretim Akış Şeması”, <https://www.kardemir.com/dosyalar/satispazarlama/urunkatalogu/kardemir-urunler.pdf>. (2020)

İnternet: Türkiye Çelik Üreticileri Derneği, “Demir Çelik ve Enerji Verimliliği”, <http://celik.org.tr/cemtas-celik-makina-sanayi-ve-ticaret-a-s/> (2021).

İnternet: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Entegre Demir Çelik Üretimi Sektörel Uygulama Kılavuzu” [https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler//13\\_entegre-dem-r-cel-k-uret-m--20200103075114.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/sanayihavarehberi/icerikler//13_entegre-dem-r-cel-k-uret-m--20200103075114.pdf) (2021).

İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “2019 Ulusal Enerji Denge Tablosu”, <https://enerji.gov.tr/duyuru-detay?id=103> (2021).

İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, “Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik”, <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/10/20081025-4.htm> (2008).

Johansson, M. T., Söderström, M., “Options for the Swedish steel industry - Energy efficiency measures and fuel conversion”, *Energy*, 36 (1): 191–198 (2011).

Kahya, E., Polat, O., “Bir işletmede oranlarla işgücü verimlilik yönetim sistemi tasarımı”, *II. İletim Teknol. Kongresi*, Eskişehir, 245–254 (2005).

Kahya, E., Karaböcek, K., “Bir atölyede oranlarla işgücü verimlilik (WPMR) modelinin tasarımı ve uygulaması”, *Kaos GL Dergisi*, 83: 1–7 (2004).

Okka, O., “Proje Yönetimi ve Mühendislik Ekonomisi 5. Cilt”, *KTO Karatay Üniversitesi*, Konya, 321-324, 333-334, 354-367 (2017).

Özsever, Ç., Gençoğlu, T., Erginel, N. “İş gücü verimlilik takibi için sistem tasarımı ve karar destek modelinin geliştirilmesi”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18: 45–58 (2009).

Skrinsky, J., Veres, J., Peer, V., Friedel, P., Travnickova, J., Dalecka, A., “Explosion parameters of coke oven gas in 1 m<sup>3</sup> explosion chamber” **Chemical Engineering Transactions**, 53: 7–12 (2016).

Sridhar, K., Mohaideen, J. A. “Environmental impact and forecast of pollutants from coke oven gas and natural gas combustion”, **International Journal of Engineering Research and Development**, 1(1): 42–45 (2012).

Tayyar, A. E., “Elektrik üretimi - Ekonomik büyüme - Çevre kirliliği: Türkiye için VECM analizi”, **Sosyoekonomi**, 29 (47): 267–284 (2021).

T.C. Doğu Akdeniz Kalkınma Ajansı, “Demir çelik sektör raporu”, **DOĞAKA, Hatay**, 6-20 (2014).

Üçüncü, K., “Mühendislik ekonomisi”, **KATÜ Mühendislik Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü**, 5-34 (2016).

Worldsteel Association, “CO<sub>2</sub> emissions data collection”, **WSA User Guide Version 7**, Brussel Belgium, 14-15 (2015).

Yakışık, Y. “Demir çelik üretimi yapan entegre bir tesiste atık gazlarla çalışan buhar kazanının teknik ve ekonomik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi **Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 33-41 (2010).

Yavuz, A. V. “Sürdürülebilirlik kavramı ve işletmeler açısından sürdürülebilir üretim stratejileri”, **Mustafa Kemal Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg.**, 7 (14): 63–86 (2010).

Yılmaz, A., Ürüt Kelleci, S., Bostan, A., “Türkiye imalat sanayiinde enerji tüketiminin incelenmesi: Ayrıştırma analizi”, **Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi**, 9 (1): 205–224 (2016).

Zhang, Z., Lin, B., Li, G., Ye, Q., “Coke oven gas explosion suppression”, **Safety Science**, 55: 81–87 (2013).

## ÖZGEÇMİŞ

Mücahid Fatih BALLI İlk ve orta öğrenimini İstanbul'da tamamladı. Şile Oya-Ali Osman Keçici Anadolu Öğretmen Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2012 yılında Karabük Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2017 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra 2018 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Öğrenciliğinin son yılında stajyer mühendis olarak görev aldığı ve mezuniyeti sonrası Endüstri Mühendisi ünvanı ile işbaşı yaptığı Kardemir A.Ş.'nin Endüstri ve Etüd Proje Müdürlüğü'nde çalışmaya devam etmektedir.