KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇUBUK HADDEHANESİ TAV FIRININDA ENERJİ ETÜDÜ VE OPTİMİZASYONU

MEHMET HADRA

KOCAELİ 2018

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇUBUK HADDEHANESİ TAV FIRININDA ENERJİ ETÜDÜ VE OPTİMİZASTONU

MEHMET HADRA

Prof. Dr. Durmuş KAYA
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....

Doç. Dr. Ethem TOKLU
Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi .....

Dr. Öğr. Üyesi Necmi Cemal ÖZDEMİR
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....

Tezin Savunulduğu Tarih: 20.06.2018

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması, Türkiye'nin en büyük demir-çelik şirketlerinden birisinin çubuk haddehanesinde enerjinin etkin kullanılması, enerji tasarruf imkânlarının belirlenmesi, mevcut durumda verimlilik arttırıcı projelerin belirlenmesi, yapılan etütle birlikte çevrenin korunması ve enerji maliyetlerinin işletme bütçesi üzerindeki yükünün hafifletilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu projelerde sağlanacak enerji tasarrufu ile üretim maliyetlerinin azaltılması amaçlanmaktadır.

Tez çalışmamda desteğini esirgemeyen, çalışmalarıma yön veren, bana güvenen ve yüreklendiren danışmanım Prof. Dr. Durmuş KAYA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca görüşleri ile çalışmalarıma katkıda bulunan, karşılaştığım her zorlukta desteğini ve zamanını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Muharrem EYİDOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın tüm aşamalarında bilgi ve destekleriyle katkıda bulunan Prof. Dr. Fatma ÇANKA KILIÇ ve araştırma görevlisi Ahmet Serhan Hergül'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda gösterdiği anlayış ve destek için Yrd. Doç. Dr. Necmi Cemal ÖZDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Akademik çalışmalarım sırasında, birçok aşamada beni destekleyen Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine teşekkür ediyorum.

Fen Bilimleri Enstitüsü'ndeki çalışma hayatım boyunca, üzerimdeki emekleri için minnettar olduğum Fen Bilimleri Enstitüsü çalışanlarına teşekkürü borç bilirim.

Her zaman olduğu gibi, bu tez çalışması sırasında da destekleriyle yanımda olan aileme ve çok değerli eşim Açelya HADRA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs – 2018 Mehmet HADRA

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. GENEL BİLGİLER 2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 7
2.1. Çalışmanın Kapsamı 9
2.2. Etüt Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler 10
3. TAV FIRINI ANALİZİ 11
3.1. Tav Fırınlarında Verimliliği Etkileyen Faktörler 11
3.1.1. Eksik yanma 11
3.1.2. Hava - yakıt oranı 11
3.1.3. Baca gazı sıcaklığı 12
3.1.4. Reküperatörler 13
3.1.5. Duvar kayıpları 13
3.1.6. Tufal kayıpları 13
3.1.7. Soğutma suyu kayıpları 16
3.1.8. Açıklık kaybı 16
3.1.9. Yakıt cinsi 16
3.1.10. Börnerler 16
3.1.11. Kütük şarj sıcaklığı 16
3.2. Ünite ve Sistem Tarifi 16
3.3. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 17
3.4. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar 24
3.5. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları 27
4. TAV FIRINI YAKMA HAVA FANI ANALİZİ 28
4.1. Ünite ve Sistem Tarifi 28
4.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 28
4.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar 29
4.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları 30
5. REKÜPERATÖR DEĞİŞİMİ 31
5.1. Ünite ve Sistem Tarifi 31
5.2. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar 31
5.3. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları 32
6. SU POMPASI ANALİZLERİ 33
6.1. Ünite ve Sistem Tarifi 33
6.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 33
6.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar 34
6.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları 35
7. HİDROLİK MOTOR ANALİZİ 36

7.1. Ünite ve Sistem Tarifi 36
7.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 36
7.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar 36
7.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları 36
8. BASINÇLI HAVA ANALİZİ 37
8.1. Ünite ve Sistem Tarifi 39
8.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler 39
8.2.1. Kompresör analizi 39
8.2.2. Kurutucu analizi 41
8.2.3. Basınçlı hava kaçakları 41
8.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar 43
8.3.1. Kompresör analizi 43
8.3.2. Kurutucu analizi 44
8.3.3. Basınçlı hava kaçakları 44
8.3.4. Basınçlı hava sisteminin dizaynı 47
8.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları 48
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 49
KAYNAKLAR 51
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 53
ÖZGEÇMİŞ 54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünya nüfus istatistikleri 2
Şekil 1.2. Dünya gelir miktarları 2
Şekil 1.3. Birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı 3
Şekil 1.4. Dünya'da enerji yatırımları 3
Şekil 1.5. Dünyada elektrik üretimi ve kaynaklara göre payı 4
Şekil 1.6. Dünyada karbon emisyon miktarları 5
Şekil 1.7. Endüstriyel bir tav fırını 5
Şekil 3.1. Tufal oluşumuna hava-yakıt oranının etkisi 14
Şekil 3.2. Tufal oluşumuna sıcaklığın etkisi 14
Şekil 3.3. Tufal oluşumuna gaz hızının etkisi 15
Şekil 3.4. Tufal oluşumuna tavlama zamanının etkisi 15
Şekil 3.5. Tav fırını genel görünümü 17
Şekil 3.6. Baca gazı analizleri 18
Şekil 3.7. Yüzey sıcaklık ölçümü 18
Şekil 3.8. Fırın termal kamera ölçümü 19
Şekil 3.9. Fırın termal kamera ölçümü 19
Şekil 3.10. Fırın termal kamera ölçümü 20
Şekil 3.11. Fırın termal kamera ölçümü 20
Şekil 3.12. Fırın termal kamera ölçümü 20
Şekil 3.13. Fırın termal kamera ölçümü 21
Şekil 3.14. Fırın termal kamera ölçümü 21
Şekil 3.15. Fırın termal kamera ölçümü 21
Şekil 3.16. Fırın termal kamera ölçümü 22
Şekil 3.17. Fırın termal kamera ölçümü 22
Şekil 3.18. Fırın termal kamera ölçümü 22
Şekil 3.19. Fırın termal kamera ölçümü 23
Şekil 3.20. Soğutma suyu çevrimi 23
Şekil 3.21. Baca gazı analiz sonuçları 24
Şekil 3.22. 1. Bölge üstü yüzey sıcaklıkları 24
Şekil 3.23. Arka 2. Bölge üst yüzey sıcaklıkları 25
Şekil 3.24. Cehennemlik üstü yüzey sıcaklıkları 25
Şekil 3.25. Yolluk bakım tarafı fırın ön kapak yüzey sıcaklıkları 25
Şekil 3.26. Tav fırını sankey diyagramı 27
Şekil 4.1. Mevcut durum proses akışı 28
Şekil 4.2. Fan debi ölçümü 29
Şekil 5.1. Baca gazı soğutma fanı 31
Şekil 6.1. Pompaların genel görünümü 33
Şekil 8.1. Bir hava kompresörünün ömrü boyunca maliyet dağılımı 38
Şekil 8.2. Kompresör genel görünümü 39
Şekil 8.3. Kompresör 1 aktif güç ölçümü 40
Şekil 8.4. Kompresör 2 aktif güç ölçümü 40
Şekil 8.5. Hava kurutucusu genel görünümü 41
Şekil 8.6. Ultrasonik sızıntı detektörü resmi 42
Şekil 8.7. Basınçlı hava kaçaklarının sebep olduğu enerji kaybının maliyeti 45

Şekil 8.8. Basınçlı hava sistemi yerleşim planı 47

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Ölçüm cihazları 10
Tablo 3.1. Baca gazı analiz sonuçları 17
Tablo 3.2. Fırın yüzey sıcaklıkları 19
Tablo 3.3. Soğutma suyu ölçüm sonuçları 23
Tablo 3.4. Baca gazıyla atılan enerji 24
Tablo 3.5. Tav fırını yüzey ısı kayıpları 26
Tablo 3.6. Soğutma suyu ısıl enerjisi hesabı 26
Tablo 3.7. Kütüğe aktarılan enerji 26
Tablo 3.8. Tav fırını enerji dağılımı 26
Tablo 4.1. Fanın emiş tarafından anemometre ile yapılan ölçüm sonuçları 29
Tablo 4.2. Fanın basma tarafında reküperatör öncesinde pitot tüpü ile yapılan ölçüm sonuçları 29
Tablo 4.3. Verim hesapları 29
Tablo 5.1. Mevcut durum atık ısı hesaplamaları 31
Tablo 6.1. Pompalardan alınan ölçüm sonuçları 34
Tablo 6.2. Pompalarda yapılan verim hesapları 34
Tablo 6.3. Pompa tasarruf tasarruf hesapları 35
Tablo 7.1. Hidrolik motorlardan alınan ölçüm sonuçları 36
Tablo 8.1. Kompresörlerden alınan ölçüm sonuçları 40
Tablo 8.2. Kurutucu basınç değerleri 41
Tablo 8.3. Basınçlı hava kaçak ölçümleri 42
Tablo 8.4. Mevcut durum kompresörlerin spesifik enerji tüketimi 43
Tablo 8.5. Uygulama sonrası önerilen kompresörün spesifik enerji tüketimi 44
Tablo 8.6. Kompresör değişimi tasarruf hesabı 44
Tablo 8.7. Kurutucu basınç kaybı tasarruf hesabı 44
Tablo 8.8. Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti 46
Tablo 9.1. Genel bulgular 50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

CO_2 : Karbondioksit
kg : Kilogram
m^2 : Metre Kare
TEP : Ton Eşdeğer Petrol

ÇUBUK HADDEHANESİ TAV FIRININDA ENERJİ ETÜDÜ VE OPTİMİZASTONU

ÖZET

Günümüz rekabetçi koşulları ve artan enerji fiyatları nedeniyle bir işletmenin tükettiği enerjiyi etkin kullanabilmesi, ancak zamanında yatırım yaparak teknolojinin güncelleştirilmesi, işletme şartlarının optimizasyonu ve sürekli kontrolü sonucunda yapabilecek tasarruflar ile mümkündür. Bu doğrultuda Çubuk Haddehanesi yetkilileri işletme sahasında olası kayıpları tespit etmek ve enerji verimliliğinin artırılmasına yönelik olarak bu çalışmayı başlatmıştır.

Çubuk Haddehanesinde tav fırınında yüzey izolasyon kontrolleri, tav fırını baca gazı ve tav fırını soğutma suyunda, kompresörlerde, basınçlı hava hatlarında, pompalarda ve tav fırını yakma hava fanında ve hidrolik motorlarda ölçümler yapılmış ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Ölçüm çalışmalarında her bir ekipman ve hat ayrı ayrı incelenerek, gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Tespit edilen, kayba neden olan noktalar, bu noktalardan ne kadar kayıp gerçekleştiği ve bu kaybın telafisi için gerekli yatırım ihtiyaçları ve fiyat bilgileri konusunda önerilerde bulunulmuştur.

Fabrikada yapılan çalışmalar ışığında; Toplam 1.767.120,04 kWh/yıl enerji tasarrufu, 441.780,01 ₺/yıl tasarruf sağlamak mümkün görünmektedir. Toplam yatırım maliyeti ise 558.500,85 ₺'dir. Tüm uygulama planlarının ortalama geri ödeme süresi: 1,26 yıl'dır. İyileştirmelerden sonra, CO_2 salınımı; 1.030,23 ton/yıl azaltılmış olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Çubuk Haddehanesi, Enerji Verimliliği, Hidrolik Motor, Pompa, Tav Fırını.

AN ENERGY AUDIT AND OPTIMIZATION IN BAR MILL ANNEALING FURNACE

ABSTRACT

Due to today's competitive conditions and rising energy prices, the efficient use of energy consumed by facilities is only possible with the savings that can be made by investing in time, updating the technology, optimizing operating conditions and constantly controlling. In this direction, The Bar Rolling Mill authorities have started this work in order to detect possible losses on the site and to increase energy efficiency.

Measurements and evaluation of the results were made on the surface insulation inspections in annealing furnace, annealing furnace flue gas and annealing furnace cooling water, compressors, compressed air lines, pumps and annealing furnace burning air fan and hydraulic motors in Bar Mill. In the measurement studies, each equipment and line were examined separately and necessary calculations were done. Some suggestions were made on determined points which cause losses, how much loss is realized through these points and necessary investments to compensate for this losses, price information.

In the light of the works carried out in the factory; It is possible to save a total of 1,767,120.04 kWh / year energy and 441,780.01 ₺ / year saving of money. Total investment cost is 558,500.85 ₺. The average return on inverstment (ROI) for all application plans is 1.26 years. After all these improvements, CO2 emission values will be reduced to 1030,23 tons per year.

Keywords: Bar Rolling Mill, Energy Efficiency, Hydraulic Motor, Pump, Annealing Furnace.

GİRİŞ

Ülkemizde, yerleşim bölgelerinde % 35, sanayi sektöründe % 15 ve taşımacılıkta % 15 enerji tasarruf potansiyeli bulunmaktadır. Bu tasarruf potansiyellerinin ortaya çıkması için enerji verimliliği konusu üzerine ciddi bir şekilde eğilmemiz gerekmektedir. Ancak bu şekilde ülkemizdeki enerji talebinde 2020 yılında % 20 oranında azalma olacaktır. Bu oran yenilenebilir kaynaklardan elde edilebilecek enerjiden daha fazladır [1].

Demir - çelik sektörünün yıllık enerji tüketimi, dünyadaki toplam enerji tüketiminin yaklaşık olarak % 5'i olan 24 ExaJoule (EJ) (x1018) lük tüketimine sahiptir [2].

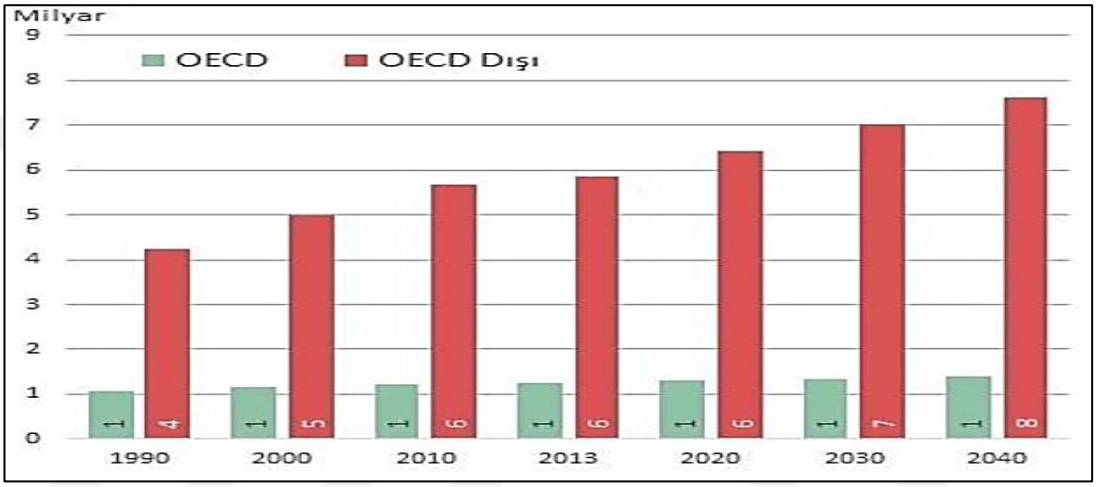
Demir-çelik sektörü kömürü birincil indirgeyici madde olarak kullanmaktadır. Kömürün en büyük bileşeni olan karbon (C), süreç sonucunda çevreye CO_2 olarak bırakılır. Bu yüzden bu sektördeki enerji tüketimi CO_2 salınımına eşittir ve enerji verimliliğini artırmak için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [3].

Demir-çelik sektöründe enerji verimliliğinin artırılması sera gazı salınımlarının azaltılmasında etkili ve kısa vadeli bir yaklaşımdır. Brüksel'de bulunan International Iron and Steel Institute (IISI) Kyoto süreci sonrasında iklim değişikliğine yeni ve küresel bir yaklaşım geliştirmek için devletleri demir-çelik sektörü ile çalışmaya davet etmiştir [2].

Endüstriyel işletmelerde enerji verimliliğinin arttırılması, kaynakların verimli kullanılmasını, yakıttan tasarruf sağlanmasını ve çevre kirliliğinin azaltılmasını sağlarlar. Bu tarz verimliliği arttırıcı çalışmalar ısı kayıp miktarlarının ve ısı kayıplarının olduğu bölgelerin belirlenmesi ile mümkündür [4].

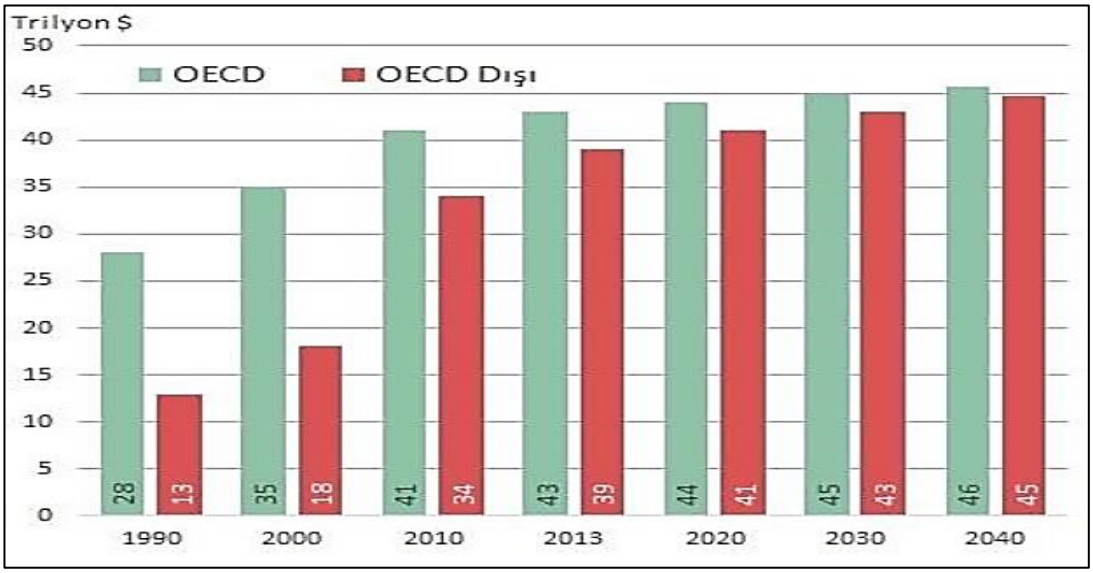
1. GENEL BİLGİLER

Dünyada enerji ihtiyacını arttıran başlıca sebepler; nüfus ve gelir artışı, sanayileşme ve kentsel gelişimdir. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency (IEA)) projeksiyonlarına göre, 2013 yılında 7 milyar olan dünya nüfusu 2040 yılında 9 milyar olacaktır.



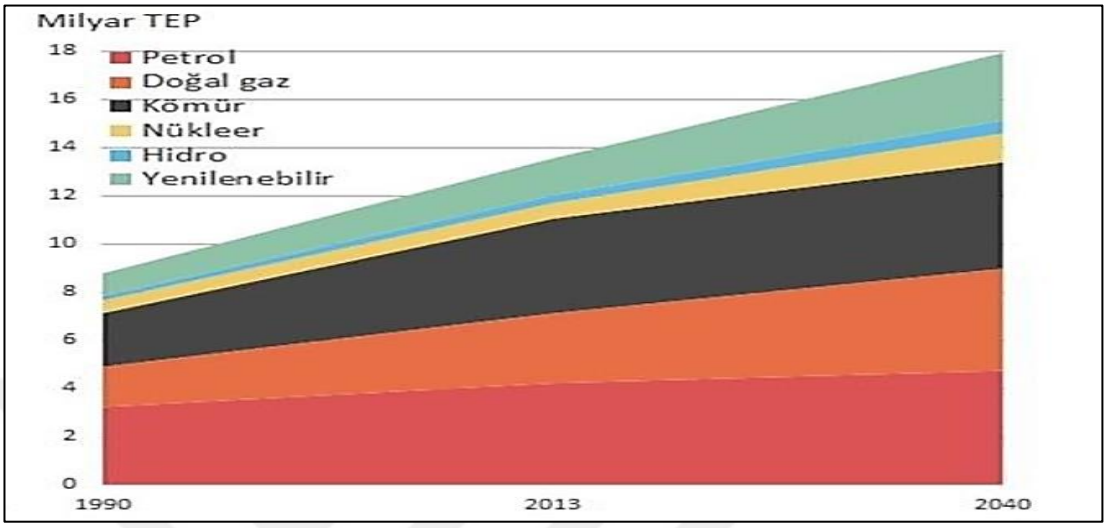
Şekil 1.1. Dünya nüfus istatistikleri [5]

2013 yılında 82 Trilyon $ olan dünya geliri ise 2040 yılında 91 Trilyon $ olacaktır.



Şekil 1.2. Dünya gelir miktarları [6]

Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency (IEA)) projeksiyonlarına göre, 2013 yılında 13,6 Milyar TEP olan Dünya birincil enerji talebi, 2040 yılında % 32 artış ile 17,9 Milyar TEP olması öngörülmektedir.

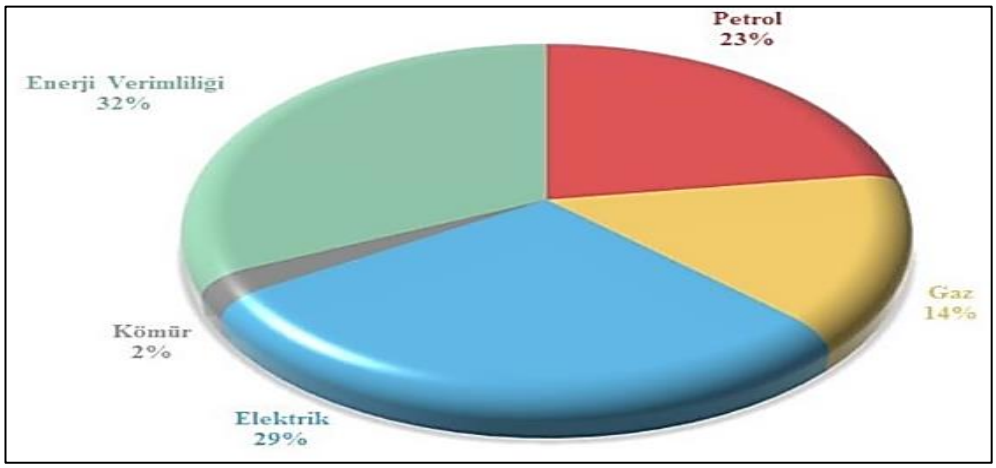


Şekil 1.3. Birincil enerji talebinin kaynaklara göre dağılımı [5]

2015-2040 yılları arasında dünyada;

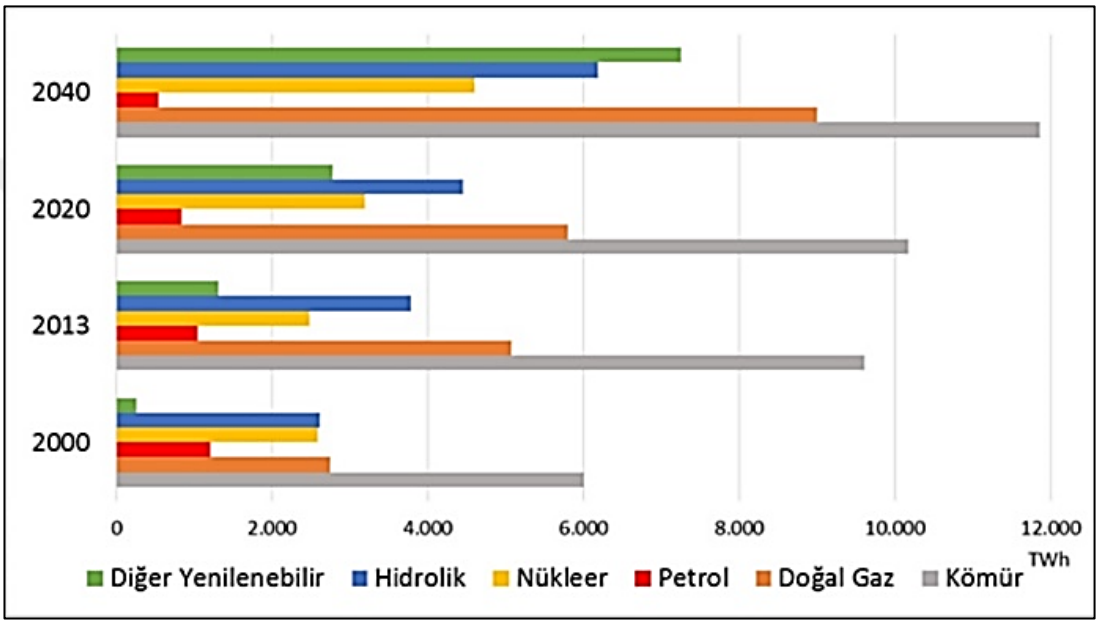
- 21,8 Trilyon $ enerji verimliliği,
- 19,7 Trilyon $ elektrik,
- 15,4 Trilyon $ petrol,
- 9,9 Trilyon $ gaz,
- 1,4 Trilyon $ kömür,

Sektörlerine yatırım yapılacağı ön görülmektedir.



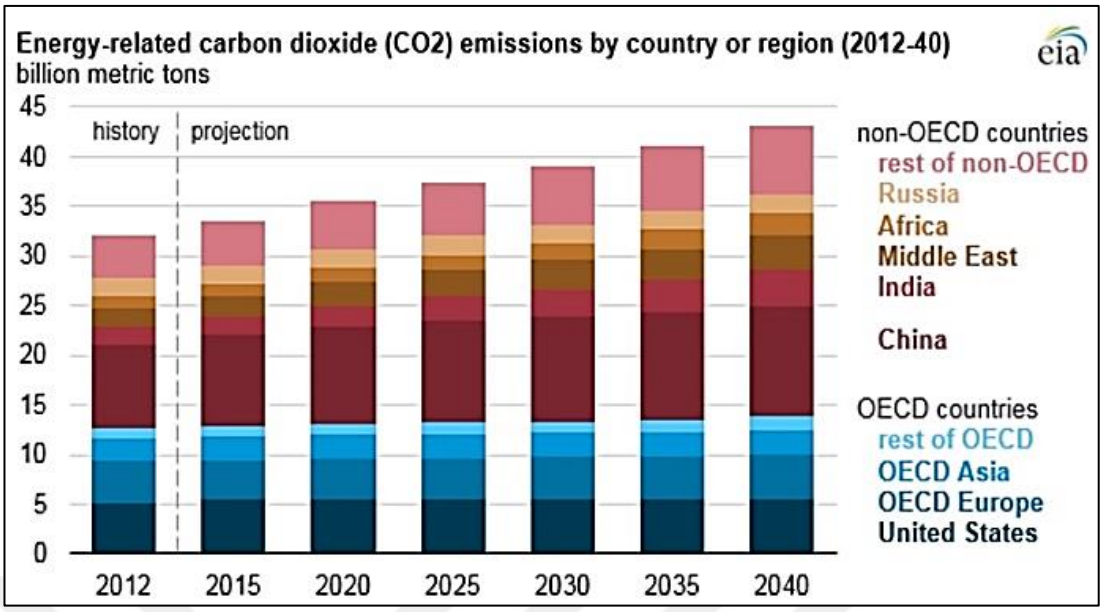
Şekil 1.4. Dünya'da enerji yatırımları [5]

Dünya'da elektrik üretiminde, 2040 yılına kadar kömürün payı artarak devam edecek ve en çok elektrik üreten kaynak olmaya devam edecektir. Doğalgazın payı 2040 yılına kadar artarak devam edecek ve en çok elektrik üreten ikinci kaynak olmaya devam edecektir. Yenilenebilir kaynakların (Hidrolik dışı) payı 2040 yılına kadar payını en çok arttıran kaynak olacaktır. Hidrolik'in payı 2040 yılına kadar artarak devam edecek ve en çok elektrik üreten dördüncü kaynak olacaktır. Petrolün payı ise 2040 yılına kadar azalarak devam edecek ve elektrik üretiminde son sırada olacaktır.



Şekil 1.5. Dünyada elektrik üretimi ve kaynaklara göre payı [5]

Enerji ile ilgili karbon emisyon miktarları; 2015'de toplam 34 milyar metrik ton olmuştur. 2040 yılında ise; % 26,5 artış ile 43 Milyar Metrik Ton olması ön görülmektedir.



Şekil 1.6. Dünyada karbon emisyon miktarları [6]

İçerisine yerleştirilen ya da sürekli olarak şarj edilen malzemeleri ekonomik bir şekilde ısıtmak suretiyle işlem sıcaklığına yükselten ve gerektiğinde bu sıcaklıkta gerekli süre kadar tutan teknik ünitelere ocak ya da fırın adı verilmektedir. Tav fırınları; çeliklerin haddelenmesinde, hadde bandı üzerine yerleştirilen ve çeliklerin 1050-1300°C sıcaklık aralığında ısıtılmasında kullanılan ve sürekli çalışan fırınlardır [7]. Sanayide kullanılan endüstriyel bir tav fırını Şekil 1.7'de gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Endüstriyel bir tav fırını

Fırınlar, endüstriyel tesislerde enerjiyi çok yoğun bir biçimde kullanmaktadırlar. Endüstriyel fırınlar ısıl işlem, ergitme, pişirme, temperleme, kurutma vb. süreçleri gerçekleştirmektedir. Fırınlarda bu süreçlerin gerçekleştirilebilmesi için gereken enerji ve hammadde beslemesinin yapılması gerekmektedir [4].

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ertem ve diğ., yaptıkları çalışmada endüstriyel tav fırınlarında gerekli incelemeleri yapmış, enerji verimliliği ve enerji kayıp oranlarını tespit etmişlerdir. Ürüne aktarılan enerji hesaplanmış, ısıl verim ile giren enerjiden ne kadarlık ve nasıl bir kayıp olduğu belirlenmiştir. Isıl verim %38,3, baca gazı kayıpları %31,6, yüzey kayıpları %10,4, açıklık kayıpları %13 ve diğer kayıplar %6,7 bulunmuştur [8].

Siitonen ve diğ., yaptıkları çalışmada bir haddehanenin enerji verilerini analiz ederek çelik üretiminde enerji verimliliğinin geliştirilmesi ve CO_2 emisyonunun azaltılması üzerine çalışmışlardır. Öncelikle özgül enerji tüketimleri hesaplanmış, daha sonra haddehanedeki enerji verimliliğinin değerlendirilmesi için bir enerji verimliliği indeksi geliştirilmiştir. Çalışmada ham çelik üretim miktarının ve geri dönüştürülmüş çeliğin değerlendirilmesinin enerji verimliliği üzerine etkileri gösterilmiştir [9].

Peter Mullinger ve diğ., yaptıkları çalışmada iyi bir fırın kontrolü ve proses kontrol (PLC veya DCS) sistemi ile fırının verimli ve sağlıklı çalışacağını, bunun için çok iyi ve hassas ensturuman kullanılması gerektiğini göstermişlerdir [10].

Improving Process Heating System Performance yaptıkları çalışmada fırın içindeki basıncın pozitif değerde tutulduğunda, bunun enerji tasarrufu sağlayacağını ve kaliteli ürün üretimine katkıda bulunacağını göstermişlerdir [11].

Robert Jorgensen yaptıkları çalışmada fırın içindeki sızıntıları, ısı kaybını azaltarak ve fırın basıncını kontrol ederek, soğuk havanın fırın içine girmesinin engellenerek fırında enerji tüketiminin azalacağını göstermiştir [12].

Fırınlarda minimum hava yakıt oranı ayarlanarak yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak biçimde optimize edilmelidir. Baca gazı miktarının artmaması için, hava miktarı olması gereğinden fazla olmamalıdır. Enerjinin bacadan atılmaması için, artış miktarındaki hava baca gazı sıcaklığına kadar ısınmaması gerekmektedir. Gaz debisinin ve hızının artmaması için baca gazı miktarının artmaması gerekmektedir. Gaz debi ve hızının artması ısı transfer oranının düşmesine

neden olmaktadır. Fırında havanın fazla olması (O_2) aynı zamanda tufal kaybı artışına da neden olmaktadır. Bu sebeple fazla hava miktarı olabilecek en düşük seviyede tutulmalıdır. Bunun sağlanması için; baca gazındaki O_2 seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarının olabilecek en düşük seviyeye getirilmesi gerekmektedir [13].

Trejo ve diğ., yaptıkları çalışmada konvansiyonel bir elektrik ark fırınının elektrik kayıplarının hesaplanması için bir model ve fırının ısı transfer modelini sunmuşlardır. Elektrik kayıpları için konvansiyonel güç teorisi ve rasgele güç teorisi kullanılmıştır. Rasgele güç teorisine göre elektrik kayıpları toplam enerji girişinin %6'sına ulaşmıştır. Bu modele göre panellere ve ark kapağına yapışan cüruf miktarının artırılması ile soğutma kayıplarının toplam enerji girişinin %10'unun altına düşürülebileceği öngörülmüştür [14].

Manatura ve Tangtrakul yaptıkları çalışmada rejeneratif börnerlerin kullanıldığı ve reküperatör ile birleştirilmiş bir tav fırınının enerji kullanımını incelemişlerdir. Bu çalışmada fırın verimi % 80,1 ve tav fırınının özgül enerji tüketimi 1,042 MJ/t olarak bulunmuştur. Sadece reküperatör kullanılan tav fırınlarında verim %43,4 olarak bulunmuştur. Aradaki verim farkına bakıldığında, rejeneratif börnerlerin verimliliği ciddi oranda arttırdığı görülmüştür [15].

Karimi ve Saidi yaptıkları çalışmada yakma havasının oksijen ile zenginleştirildiği itmeli tip sürekli bir tav fırınında sıcaklık dağılımını ve kütüklere olan ısı transferini belirlemek için sayısal bir metot sunmuşlardır. Yapılan çalışmada ton çelik başına enerji tüketimi, üretim hızı, fırının ısıl verimi ve NOx salımı oksijen zenginleştirme yapılmayan fırınlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar en iyi oksijen ile zenginleştirme aralığının hacimce %21 ile %45 arasında olduğunu göstermiştir. Hacimce %60'lık bir oksijen zenginleştirme ile ton çelik başına enerji tüketiminde %18'e kadar bir azalma sağlanabileceğini belirtmişlerdir [16].

Worrell ve diğ., yaptıkları çalışmada Amerika Birleşik Devletleri demir ve çelik sanayiinin geniş kapsamlı bir analizini yapmışlardır. Bu analizde maliyete etkiyen enerji tasarrufları ve CO_2 emisyonu azaltılma miktarları belirlenmiş ve bir enerji tasarrufu eğrisi oluşturulmuştur. Toplam maliyete etkiyen enerji tasarrufu potansiyeli 3,8 GJ/t olarak bulunmuştur. Bu potansiyel Amerika Birleşik Devletleri'nin 1994 yılı

enerji kullanımının %18'ine, 1994 yılı CO_2 emisyonunun ise %19'una karşılık gelmektedir [17].

Worrell ve diğ., yaptıkları çalışmada elektrik ark fırınlarının enerji kullanımı ve CO_2 emisyonları ile bunların nasıl azaltılacağı ile ilgili detaylı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 20 adet elektrik ark fırınında ölçümler yapılmış ve Amerika Birleşik Devletleri'nin 1994 yılı birincil enerji tüketiminin %25'i kadar bir tasarruf potansiyeli bulunmuştur [18].

Kirschen ve diğ., yaptıkları çalışmada birçok elektrik ark fırınının 70 adet enerji balansı ve enerji verimlilikleri, saha ölçümlerinden hesaplanan ve literatürden alınan veriler ile birlikte sunulmuştur. Elektrik ark fırınlarının enerji gereksinimleri 510 ile 880 kWh/t aralığında, enerji verimliliği değerleri ise %40 ile %75 arasında hesaplanmıştır [19].

Bu çalışmada ise; Çubuk Haddehanesinde enerjinin etkin kullanılması, enerji tasarruf imkânlarının belirlenmesi, mevcut durumda verimlilik arttırıcı projelerin belirlenmesi, yapılan etütle birlikte çevrenin korunması ve enerji maliyetlerinin işletme bütçesi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ile birlikte, bu projelerde sağlanacak enerji tasarrufu ile üretim maliyetlerinin azaltılması amaçlanmıştır.

2.1. Çalışmanın Kapsamı

Çubuk Haddehanesinde gerçekleştirilen enerji verimliliği etüdü kapsamında yapılan ölçümler ve incelemeler aşağıda belirtilmiştir:

- Tav fırını analizi
- Basınçlı hava sistemi analizi
- Pompa analizi
- Hidrolik motor analizidir.

2.2. Etüt Sırasında Kullanılan Cihazlar ve Alınan Ölçümler

Enerji etüdü sırasında kullanılan cihazların listesi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Ölçüm cihazları

Cihaz Adı	Marka / Model	Seri No	Kalibrasyon Bilgileri			Etüt Sırasında Kullanıldığı Yerler
			Tarihi	Geçerlilik Süresi	Yapan Kurum	
Ultrasonik Sızıntı Dedektörü	UE System INC-Ultraprobe 3000 LRM	3D4204	2013	-	ENOTEK	Basınçlı hava sızıntı kayıplarının tespitinde
Enerji Analizörü	Fluke / 1730	3457 9239	11.05.2017	1 yıl	Emre Kalibrasyon	Elektrik ölçümlerinde, aktif güç ölçümlerinde
Baca Gazı Analiz Cihazı	Testo /350	0632 3510 02724168	04.08.2017	1 yıl	TESTO	Baca gazı analizinde
Baca Gazı Probu	Testo / 350	0632 3510 02724168	23.05.2017	1 yıl	TESTO	Baca gazı analizinde
Termal Kamera	Testo / 881	0563 0881 01969503/012	23.05.2017	1 yıl	TESTO	Sıcak yüzeylerde ısı kaybının tespiti
Ultrasonik Debimetre	GE Transport / PT 878	PT7-10033E	27.07.2016	1 yıl	ENELSAN	Akışkan debi ölçümlerinde
Daldırma Batırma Sıcaklık Probu	Testo / 435	0560 4354 02721756 0602 1293	23.05.2017	1 yıl	TESTO	Sıcaklık ölçümlerinde
Yüzey Sıcaklık Probu	Testo / 435	0560 4354 02721756/401 0602 0393	24.05.2017	1 yıl	TESTO	Yüzey sıcaklık ölçümleri

3. TAV FIRINI ANALİZİ

3.1. Tav Fırınlarında Verimliliği Etkileyen Faktörler

Tav fırınlarında verimliliği etkileyen başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Eksik yanma,
- Hava yakıt oranı,
- Baca gazı sıcaklığı,
- Reküperatörler,
- Duvar kayıpları,
- Tufal kayıpları,
- Soğutma suyu kayıpları,
- Açıklık kaybı,
- Yakıt cinsi,
- Börnerler,
- Kütük şarj sıcaklığı.

3.1.1. Eksik yanma

Gaz formundaki yakıt içerisinde bulunan yanabilir maddelerin yanmayarak, baca gazından yanmamış hidrokarbon ve karbonmonoksit olarak atılması durumunda eksik yanma meydana gelmektedir. Hava-yakıt oranının tam yanmayı sağlayacak şekilde ayarlanması, yakıt kaybına sebebiyet vermemek için önemli bir kıstastır. Bu sebepten dolayı baca gazında bulunan O_2 miktarı optimum düzeyde tutulmalıdır.

3.1.2. Hava - yakıt oranı

Fırınlarda minimum hava yakıt oranı ayarlanarak yanma sistemi, yanma problemlerine neden olmayacak biçimde optimize edilmelidir. Baca gazı miktarının artmaması için, hava miktarı olması gereğinden fazla olmamalıdır. Enerjinin bacadan atılmaması için, artış miktarındaki hava baca gazı sıcaklığına kadar ısınmaması gerekmektedir. Gaz debisinin ve hızının artmaması için baca gazı miktarının artmaması gerekmektedir. Gaz debi ve hızının artması ısı transfer oranının düsmesine

neden olmaktadır. Fırında havanın fazla olması (O_2) aynı zamanda tufal kaybı artışına da neden olmaktadır. Bu sebeple fazla hava miktarı olabilecek en düşük seviyede tutulmalıdır. Bunun sağlanması için; baca gazındaki O_2 seviyesi kontrol edilmeli, hava ayarı yapılarak oksijen miktarının olabilecek en düşük seviyeye getirilmesi gerekmektedir.

Bunun için;

- Fırına hava temini yeterli ve sabit basınçta olmalı,
- Börnerlere giren gaz basıncı sabit olmalıdır.

3.1.3. Baca gazı sıcaklığı

Baca gazı sıcaklığı fırın verimini etkileyen önemli faktörlerden birisidir. Bacadan atmosfere fazla enerjinin atılması, baca gazı sıcaklığının kabul edilen değerlerin üzerinde olması halinde gerçekleşir. Bu da fırın veriminin düşmesine neden olur.

Baca gazı sıcaklığına etki eden faktörler şunlardır:

- Reküperatördeki ısı transfer oranının yetersiz olması,
- Yanma havasının olağandan az ya da çok olması,
- Fırın içinde alev boyunun çok yüksek olması,
- Gaz geçiş yollarında oluşabilecek yanma.

Bu tür olumsuzlukların önlenmesi için:

- Yanma yeterli havayla tam olarak yapılmalı,
- Gaz geçiş yolları (özellikle reküperatörler) yakıtın durumuna göre dönemsel olarak temizlenmelidir.

Bacada korozyon sorunları ile karşılaşmamak için baca gazı sıcaklığının "asit yoğuşma" sıcaklık sınırının altına düşmemesi gerekmektedir. Ayrıyetten, baca gazı sıcaklığının aşırı azaltılması sonucu baca çekişinde de önemli seviyede düşüşler olabilir. Bu gibi durumlar dikkate alınarak baca gazı sıcaklığının düşürülmesi gerekmektedir.

3.1.4. Reküperatörler

Reküperatörler, baca gazındaki atık ısının yakma havasına aktarıldığı ısı değiştiricilerdir. Reküperatörlerde yakma havası borular içinden geçerken, baca gazı bu borular arasından; aynı doğrultuda, karşı doğrultuda veya çapraz doğrultuda geçebilirler.

Reküperatördeki borular ısıya dayanıklı çelik malzemeden imal edilmektedirler. Ancak zamanla, baca gazının aşındırıcı etkisinden dolayı bu borular zarar görmekte ve yüksek basınçlı ortamdan düşük basınçlı ortama doğru sızıntı miktarları artmaktadır. Taze hava hattında basma fanı (pozitif basınç) ve baca gazı hattında cebri çekme olduğu için sızıntı yönü yüksek basınçlı taze hava hattından, düşük basınçlı baca gazı hattına doğru olmaktadır. Reküperatörlerde bulunan muhtemel hava kaçak miktarlarının bulunması için, reküperatör öncesinde ve sonrasında gaz kompozisyonu analizinin yapılması gerekmektedir.

3.1.5. Duvar kayıpları

Duvar kayıpları; ısının duvar, tavan ve tabandan konveksiyon ve radyasyon ile kaybedilmesi sonucu meydana gelmektedir. Isı, fırının dış yüzeyine ulaştığında çevreye yayılır veya hava akımları yoluyla kaybedilir.

Modern fırınlar çok iyi yalıtılmış olmasına rağmen, konveksiyon ve radyasyon yoluyla ısı kayıpları fırın verimliliği üzerinde önemli derecede etkili olmaktadır.

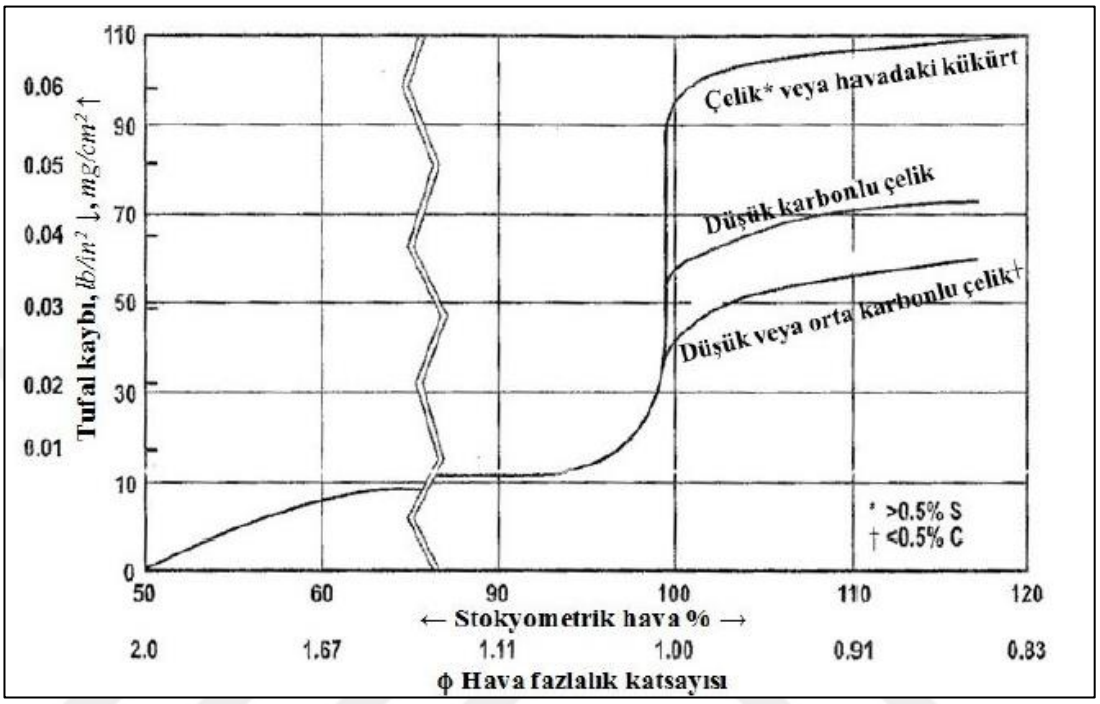
Bu tür kayıpların minimum seviyeye inmesi için fırın yüzey sıcaklığının, ortam sıcaklığının yaklaşık 30°C üstündeki bir değere düşmesi yeterli olacaktır.

3.1.6. Tufal kayıpları

Tufal, çeliğin haddeleme sıcaklığına kadar ısıtılıp oksijenin metal yüzeyi ile reaksiyona girmesi sonucunda meydana gelmektedir. Tufal miktarı; ısıtılan çeliğin kalitesine, ısınma süresine, fırın atmosferine, ısıtma ekipmanlarının kullanılma şekil ve tipine bağlıdır. Genel tavlama pratiğinde yanmış gazların oksidasyon özelliği daima oldukça yüksektir. Çeliğin yüzey sıcaklığı arttıkça meydana gelen tufal miktarı da artar ve artış tavlama süresince artan O_2, CO_2 ve su buharı yüzdelerine

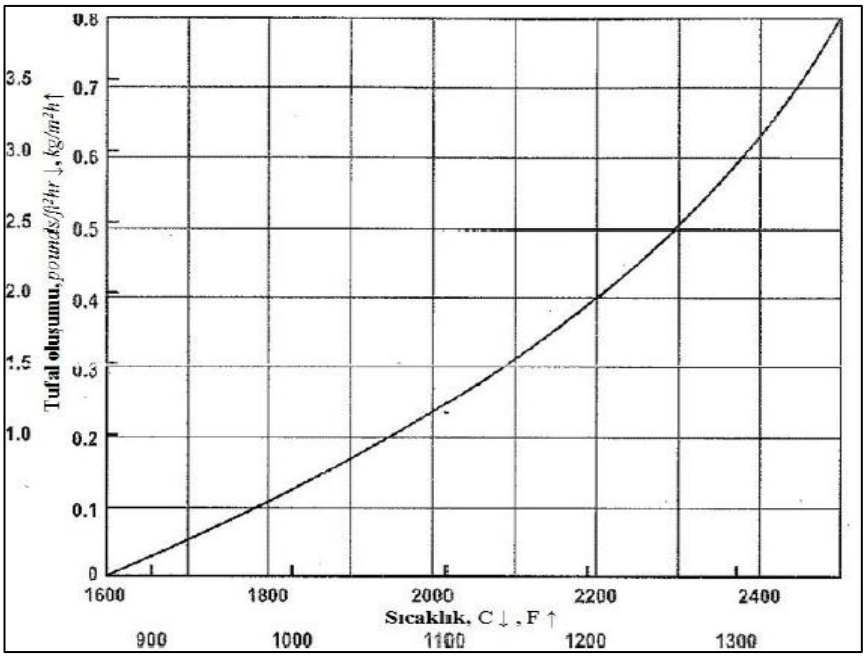
bağlıdır. Kütüğün oksitlenmesi hava-yakıt oranının kontrolü ile minimum seviyeye indirilerek tufal kaybı azaltılabilir.

Tufal oluşumuna hava-yakıt oranının etkisi Şekil 3.1'de verilmiştir.



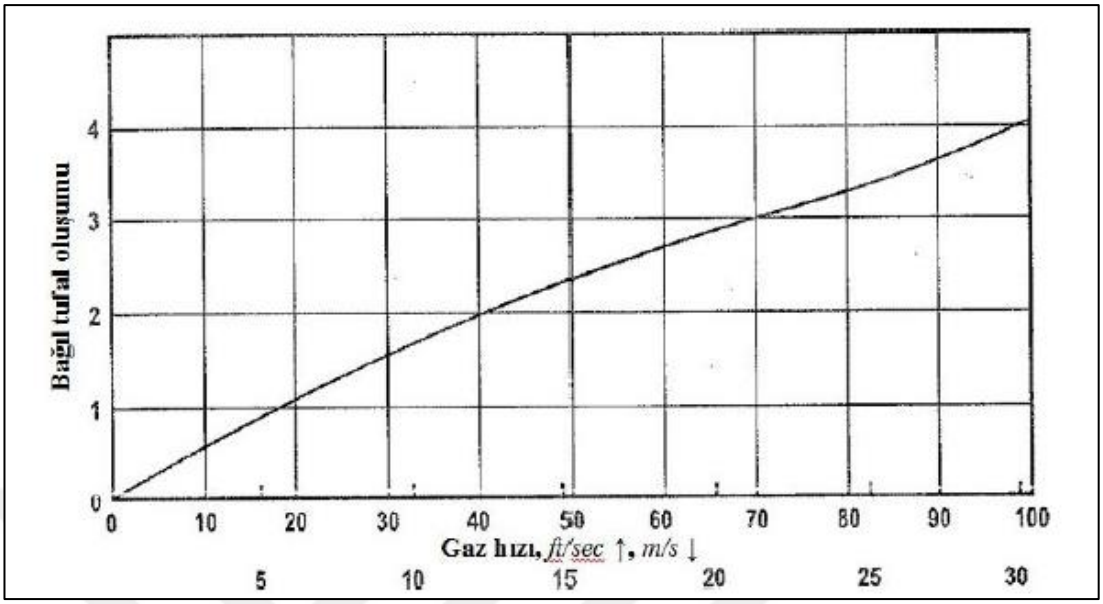
Şekil 3.1. Tufal oluşumuna hava-yakıt oranının etkisi

Tufal oluşumuna sıcaklığın etkisi Şekil 3.2'de verilmiştir.



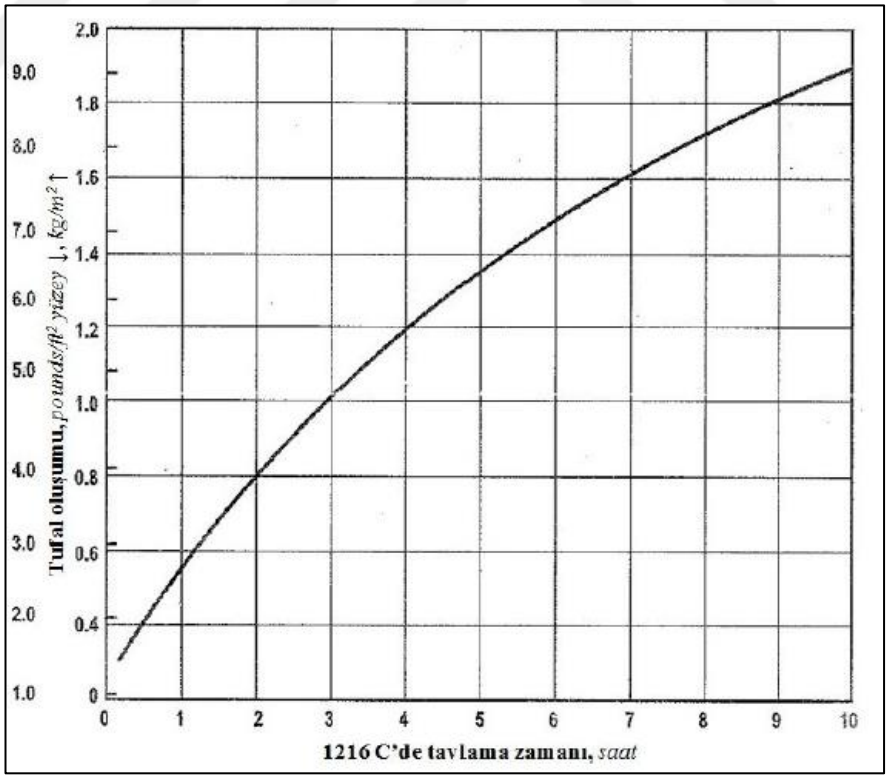
Şekil 3.2. Tufal oluşumuna sıcaklığın etkisi

Tufal oluşumuna gaz hızının etkisi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Tufal oluşumuna gaz hızının etkisi

Tufal oluşumuna tavlama zamanının etkisi Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Tufal oluşumuna tavlama zamanının etkisi

3.1.7. Soğutma suyu kayıpları

Kızak borularının, konveyör rulolarının, kapı çerçevelerinin aşırı ısıdan korunması için gerekli olan sulu soğutma sistemleri, ısı alarak ısıl verimi düşürürler.

3.1.8. Açıklık kaybı

Fırınlarda gözlem deliklerinden, açık kalan kapı aralıklarından, ateşleme deliklerinden ve benzer aralıklardan radyasyonla ısı kaybı olur. Ayrıca şarj ve deşarj kapaklarının açılıp kapanması sırasında da önemli ölçüde ısı kaybedilir.

3.1.9. Yakıt cinsi

Farklı yakıtlar farklı oranlarda hidrojen ve karbon barındırdıklarından dolayı, yanma sonucu baca gazındaki nem miktarları da değişmektedir.

3.1.10. Börnerler

Börnerlerde verimin azalmaması için; yakıt sıcaklık ve basıncının istenen değerde olması, yakıtın atomize olması gerekmektedir. Tam tersi durumlar eksik yanma ile sonuçlanmaktadır.

3.1.11. Kütük şarj sıcaklığı

Kütükler fırına 500°C sıcaklığa kadar şarj sıcaklığında verilebilir. Bu durumda kütüğün tavlanması için verilmesi gereken ısı azalacağından ısıl verim artar.

3.2. Ünite ve Sistem Tarifi

Haddehanede çelik kütüğün işlendiği tav fırını bulunmaktadır. Haddehanede bulunan tav fırını, kütük haline getirilen çeliğin, müşterinin isteğine göre işlenmesinde kullanılmaktadır. Tav fırını 4 bölümden oluşmaktadır. 1. bölgede 16 adet, 2. bölgede 8 adet, 3. bölgede 4 adet ve 4. bölgede 4 adet olmak üzere toplam 32 adet brülör bulunmaktadır. 1. bölgenin ortalama sıcaklığı 1.033°C, 2. bölgenin ortalama sıcaklığı 1.121°C, 3. bölgenin ortalama sıcaklığı 1.142°C ve 4. bölgenin ortalama sıcaklığı 1.142°C'dir. Fırına sürekli olarak kütük beslemesi yapılmaktadır. Bir kütüğün fırından ısıl işlem görüp çıkma süresi yaklaşık 1,5 saattir. Tav fırını baca gazı çıkışında bulunan reküperatölerde, baca gazı atık ısısıyla yakma havasının ön

ısıtılması yapılmaktadır. Yakma havası yaklaşık 386°C'ye kadar ısıtılmaktadır. Baca gazı sıcaklığı 700°C'yi geçtiği zaman reküperatöre zarar vereceği için fan yardımıyla baca gazı soğutulmaktadır.



Şekil 3.5. Tav fırını genel görünümü

3.3. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Baca Gazı Analizi; Tav fırını baca gazı analiz ölçümü yapılmıştır. Alınan ölçüm sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Baca gazı analiz sonuçları

Baca Gazı Sıcaklığı	O_2	CO_2	CO
°C	%	%	ppm
508,50	1,53	11,33	4



Şekil 3.6. Baca gazı analizleri

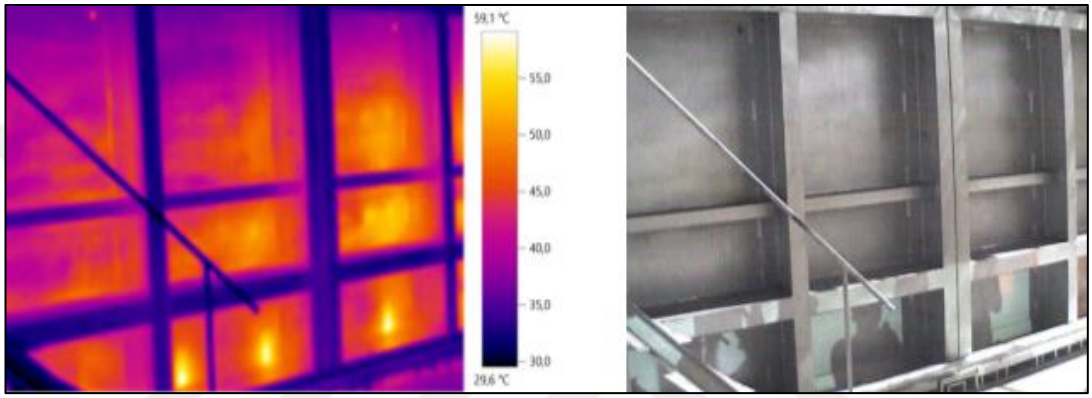
İzolasyon Kontrolleri; Fırın yüzeylerinde olan ısı kaybının belirlenmesi için fırın yüzeyleri termal kamerayla incelenmiş ve yüzey sıcaklık probuyla yüzey sıcaklıkları tespit edilmiştir. Alınan ölçüm sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.



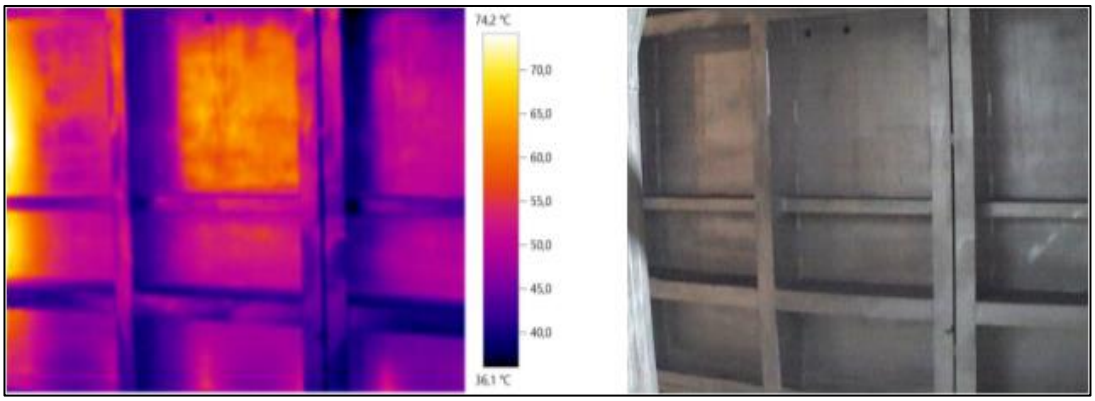
Şekil 3.7. Yüzey sıcaklık ölçümü

Tablo 3.2. Fırın yüzey sıcaklıkları

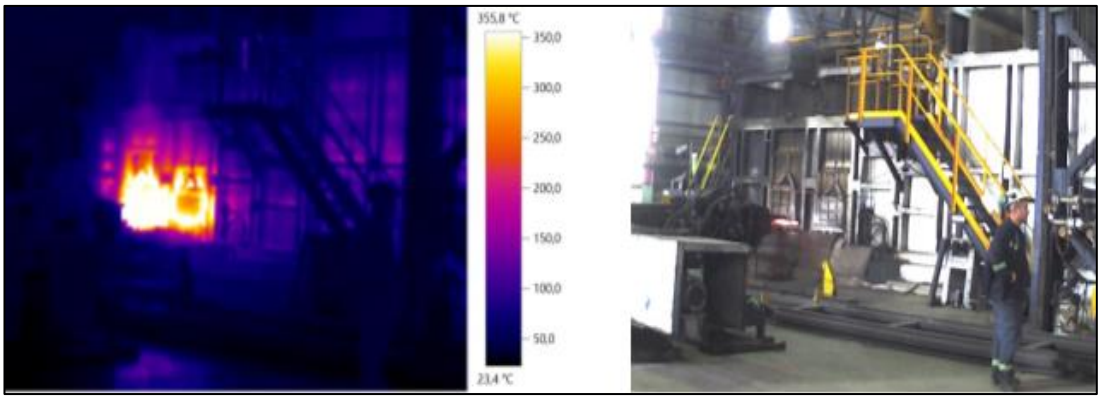
	$T_{yüzey}$ (°C)
Ön Yüzey	96,52
Arka Yüzey	168,67
Sağ Yüzey	111,07
Sol Yüzey	99,37
Üst Yüzey	106,84
Alt Yüzey	106,84



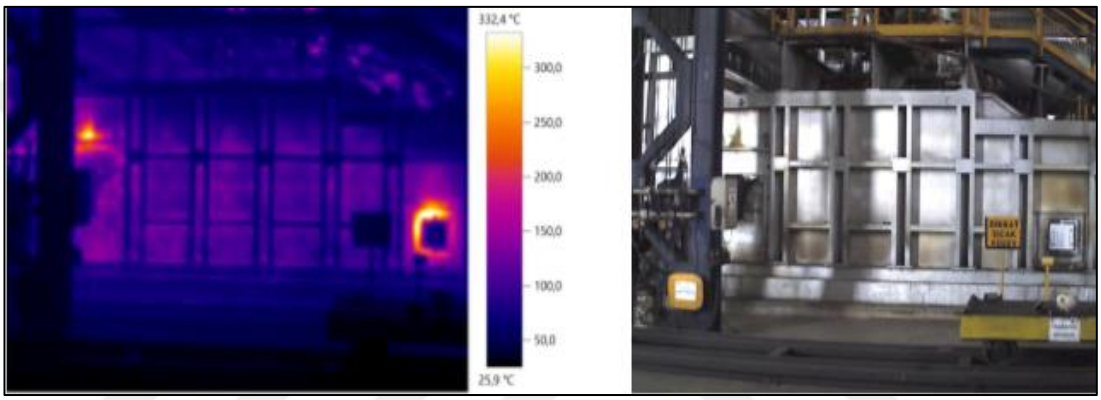
Şekil 3.8. Fırın termal kamera ölçümü



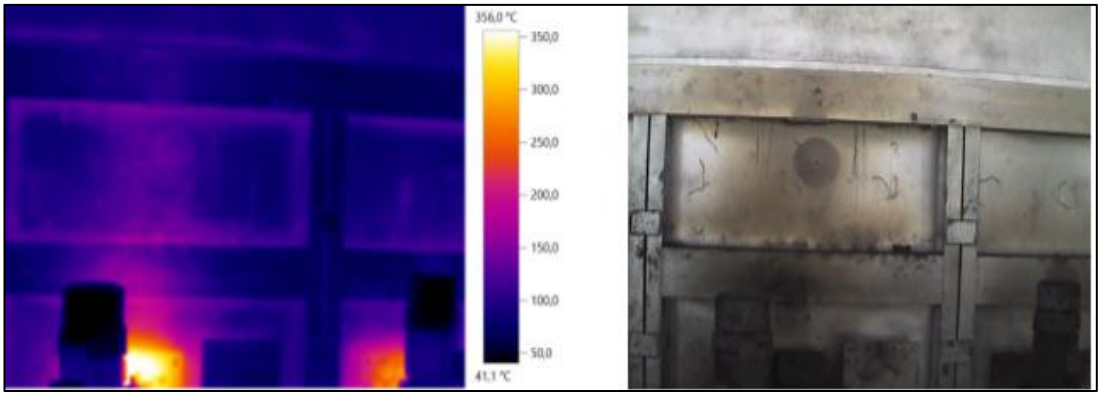
Şekil 3.9. Fırın termal kamera ölçümü



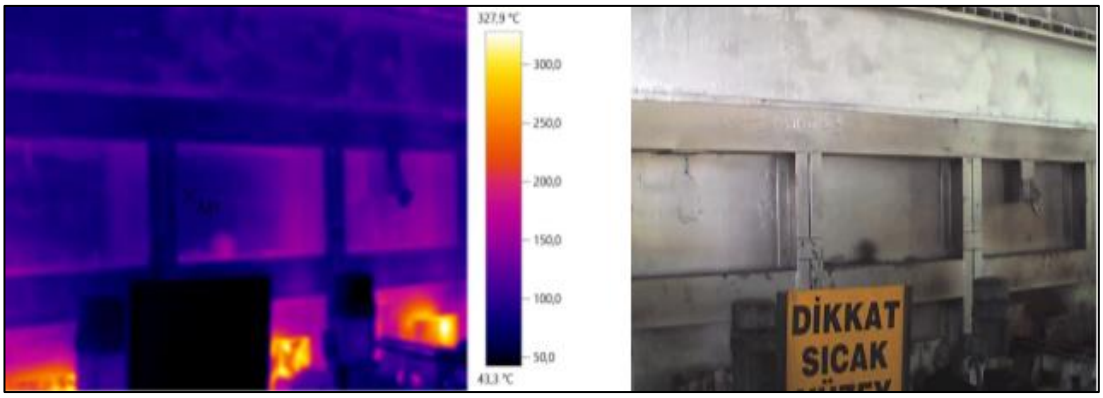
Şekil 3.10. Fırın termal kamera ölçümü



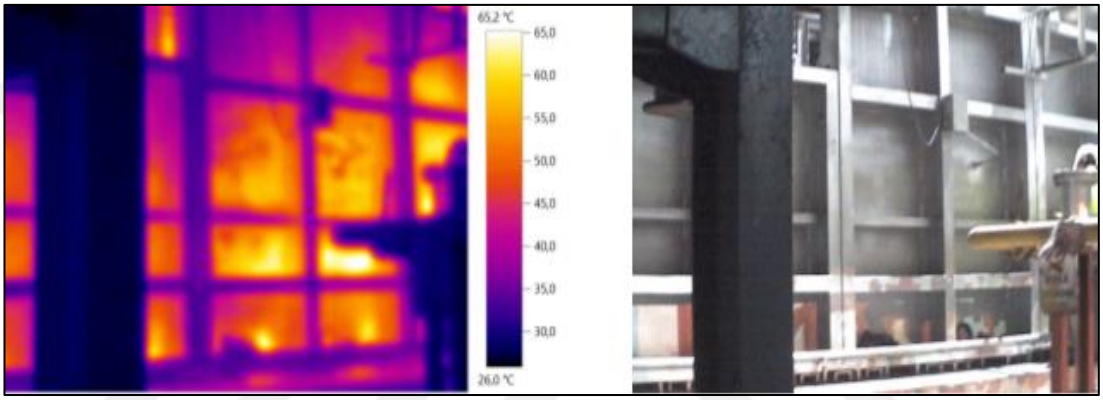
Şekil 3.11. Fırın termal kamera ölçümü



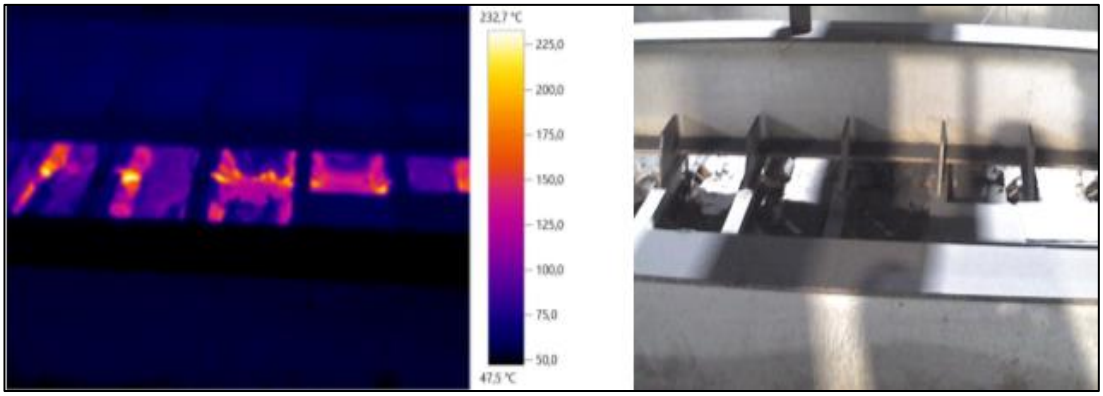
Şekil 3.12. Fırın termal kamera ölçümü



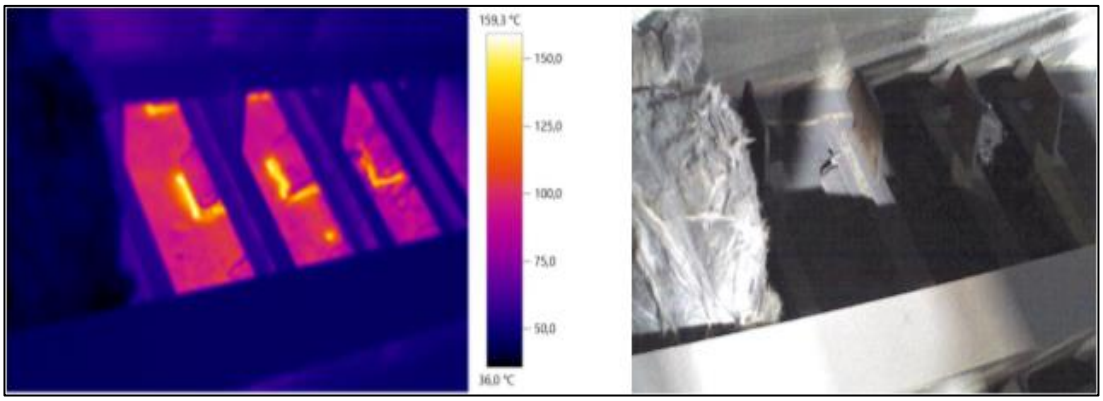
Şekil 3.13. Fırın termal kamera ölçümü



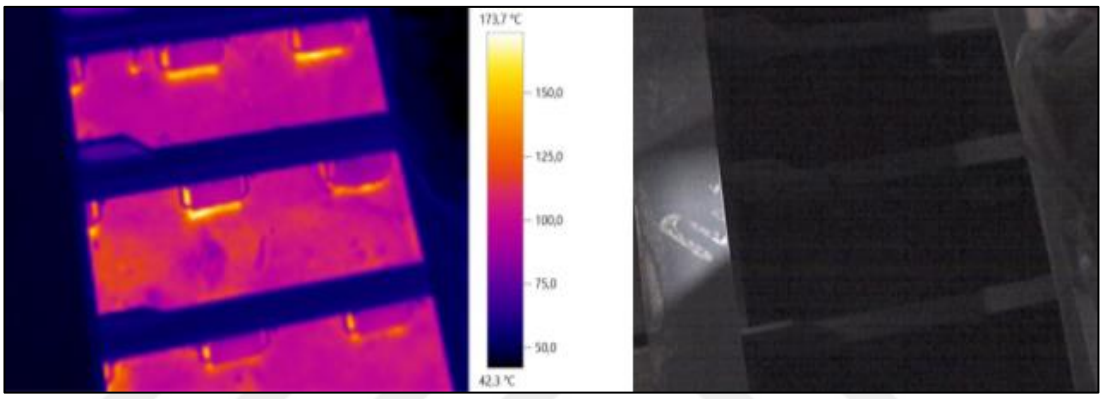
Şekil 3.14. Fırın termal kamera ölçümü



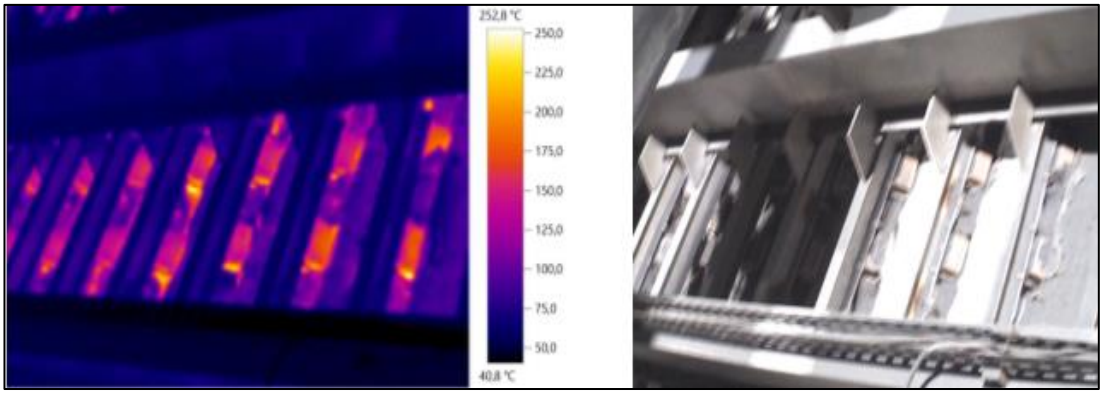
Şekil 3.15. Fırın termal kamera ölçümü



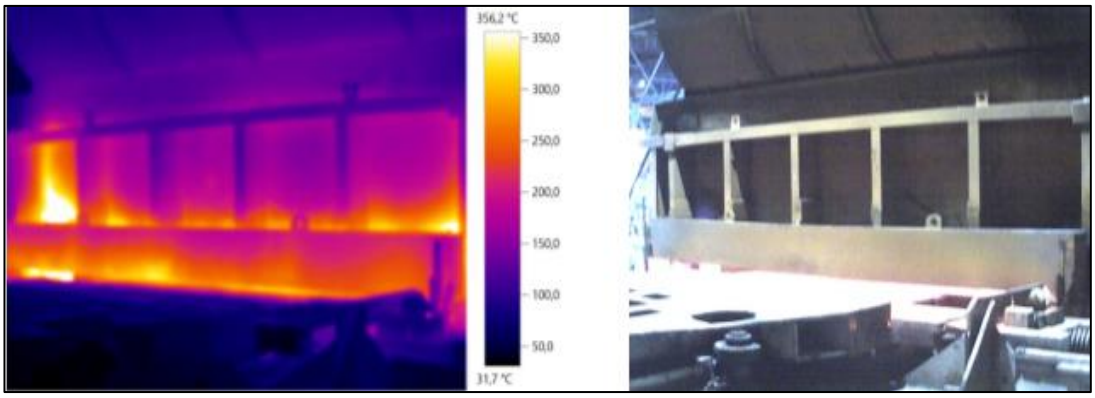
Şekil 3.16. Fırın termal kamera ölçümü



Şekil 3.17. Fırın termal kamera ölçümü



Şekil 3.18. Fırın termal kamera ölçümü

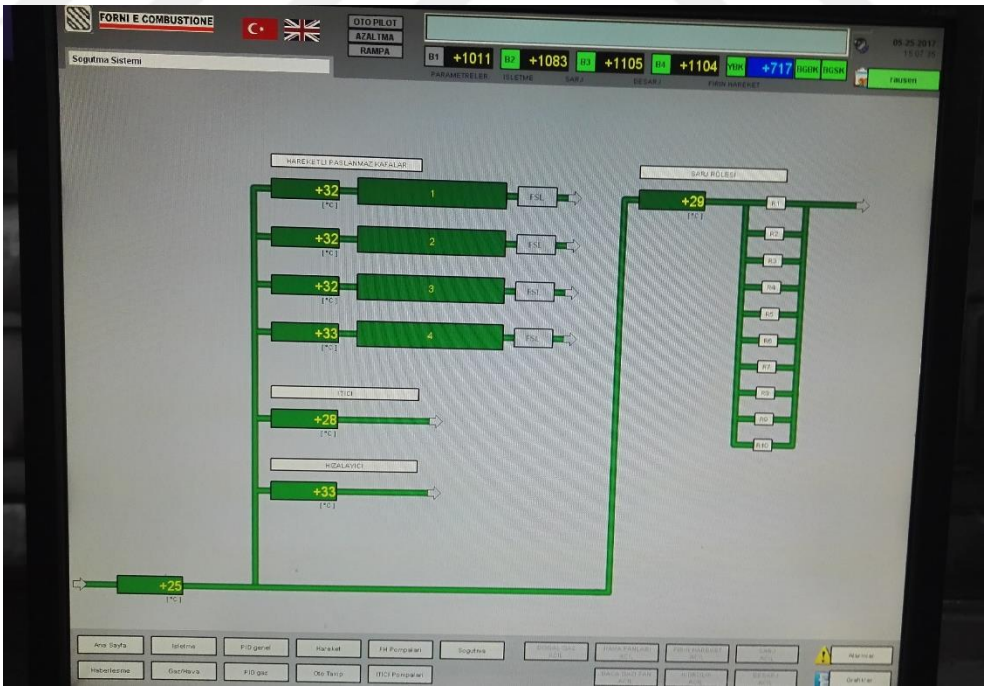


Şekil 3.19. Fırın termal kamera ölçümü

Soğutma Suyu; Tav fırınında hareketli paslanmaz kafaların soğutulması amacıyla soğutma suyu kullanılmaktadır. Soğutma suyunun giriş-çıkış sıcaklıkları ve debisi ölçülmüştür. Alınan ölçüm sonuçları Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Soğutma suyu ölçüm sonuçları

Debi	Giriş Sıcaklığı	Çıkış Sıcaklığı
m^3/h	°C	°C
18,42	26,00	36,00



Şekil 3.20. Soğutma suyu çevrimi

3.4. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

Baca Gazı Analizi; Tav fırını baca gazından alınan ölçüm sonuçlarına göre baca gazıyla atılan enerji hesaplanmıştır.

Gas Molecular Weight	28.6209	Gas Molecular Weight	28.6209
Density, lb/ft3	0.0400	Density, lb/ft3	0.0279
Enthalpy, Btu/lb	121.1561	Enthalpy, Btu/lb	240.1954
Temperature, °F	521.1500	Temperature, °F	947.3000
Specific Heat, Btu/lb-F	0.2713	Specific Heat, Btu/lb-F	0.2874
Thermal Cond., Btu/hr-ft-F	0.0237	Thermal Cond., Btu/hr-ft-F	0.0315
Viscosity, Cp	0.0268	Viscosity, Cp	0.0343

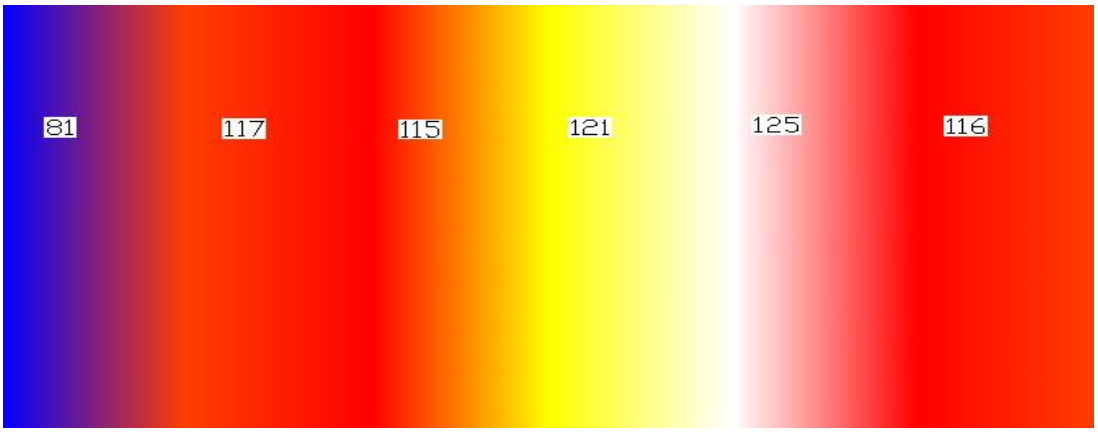
Şekil 3.21. Baca gazı analiz sonuçları

Tablo 3.4. Baca gazıyla atılan enerji

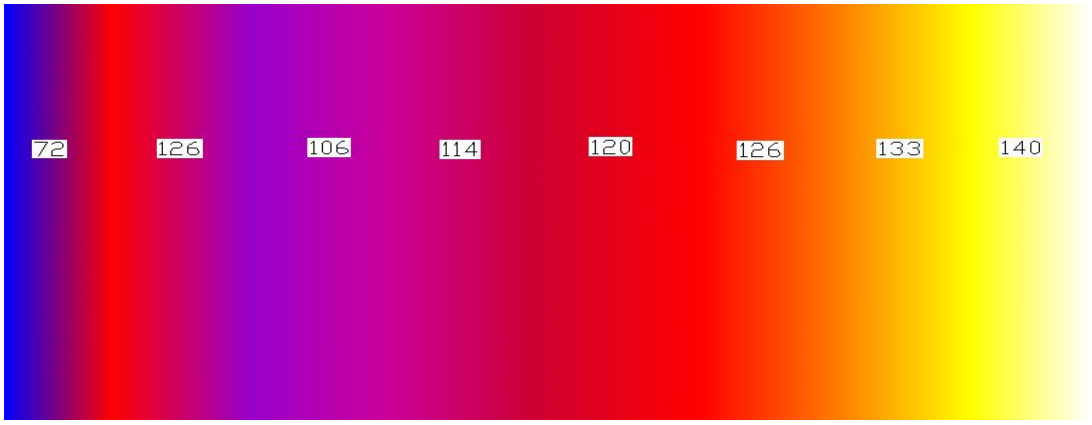
Debi	Debi	Yoğunluk	Yoğunluk	Isınma Isısı	Isınma Isısı	Debi	Baca Gazı Enerjisi*
Nm^3/h	m^3/h	lb/ft^3	kg/m^3	Btu/lb.F	kJ/kg.K	kg/h	kW
38.500,00	110.172,16	0,0279	0,4469	0,2713	1,1359	49.235,94	7.355,97

*Tav fırını egzoz gazıyla atılan enerji miktarıdır. Reküperatöre aktarılan ve bacadan atılan enerji miktarının toplamıdır.

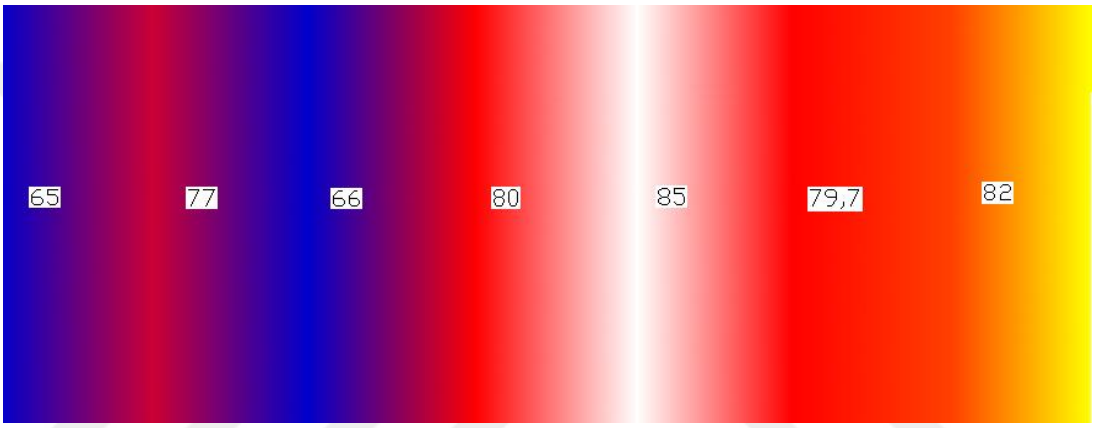
İzolasyon Kontrolleri: Fırın yüzeyinden alınan ölçüm sonuçlarına göre yüzeyden kaybolan ısı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Tablo 3.5'te verilmiştir.



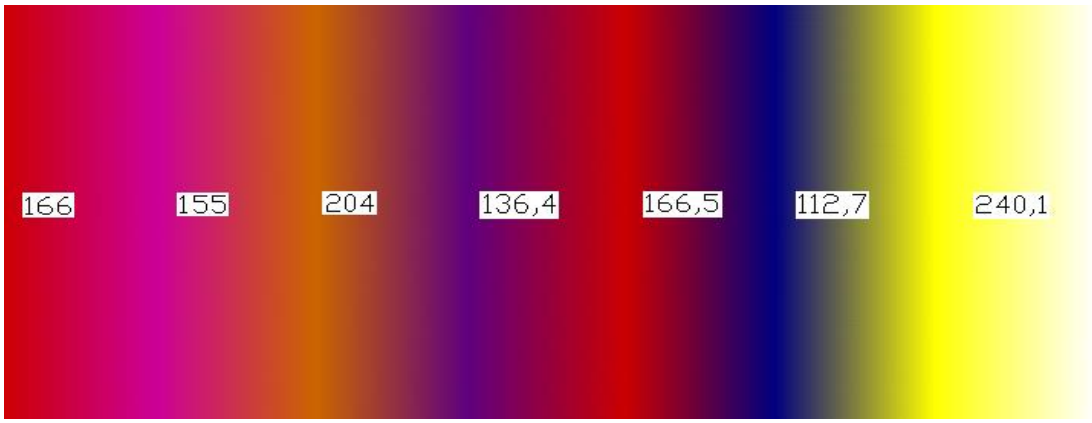
Şekil 3.22. 1. Bölge üstü yüzey sıcaklıkları



Şekil 3.23. Arka 2. Bölge üst yüzey sıcaklıkları



Şekil 3.24. Cehennemlik üstü yüzey sıcaklıkları



Şekil 3.25. Yolluk bakım tarafı fırın ön kapak yüzey sıcaklıkları

Tablo 3.5. Tav fırını yüzey ısı kayıpları

Bölge	$T_{yüzey}$	T_{ortam}	B	Alan	U_r	U_c	Yüzeydeki Isı Kaybı	Yüzeydeki Isı Kaybı
	°C	°C		m^2	W/m²°K	W/m²°K	W	kW
Ön Yüzey	96,52	35,00	1,45	38,22	7,11	4,06	26.263,69	26,26
Arka Yüzey	168,67	35,00	1,45	38,22	9,86	4,93	75.560,96	75,56
Sağ Yüzey	111,07	35,00	1,45	48,00	7,61	4,28	43.413,77	43,41
Sol Yüzey	99,37	35,00	1,45	48,00	7,21	4,11	34.974,27	34,97
Üst Yüzey	106,84	35,00	1,70	330,00	7,46	4,95	294.209,39	294,21
Alt Yüzey	106,84	35,00	1,70	327,00	7,46	4,95	291.531,75	291,53
TOPLAM							765.953,83	765,94

Soğutma Suyu; Soğutma suyundan alınan sıcaklık ve debi ölçümü sonuçlarına göre; soğutma suyuyla atılan ısı miktarı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6. Soğutma suyu ısıl enerjisi hesabı

Debi	Giriş Sıcaklığı	Çıkış Sıcaklığı	Yoğunluk	Özgül Isı	Isıl Kapasite
m^3/h	°C	°C	kg/m^3	kJ/kg.K	kW
18,42	26,00	36,00	996,674	4,17841	213,08

Kütüğü Aktarılan Enerji; Tav fırınında kütüğe aktarılan enerji hesaplanmıştır. Alınan değerler ve yapılan hesaplamalar Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Kütüğe aktarılan enerji

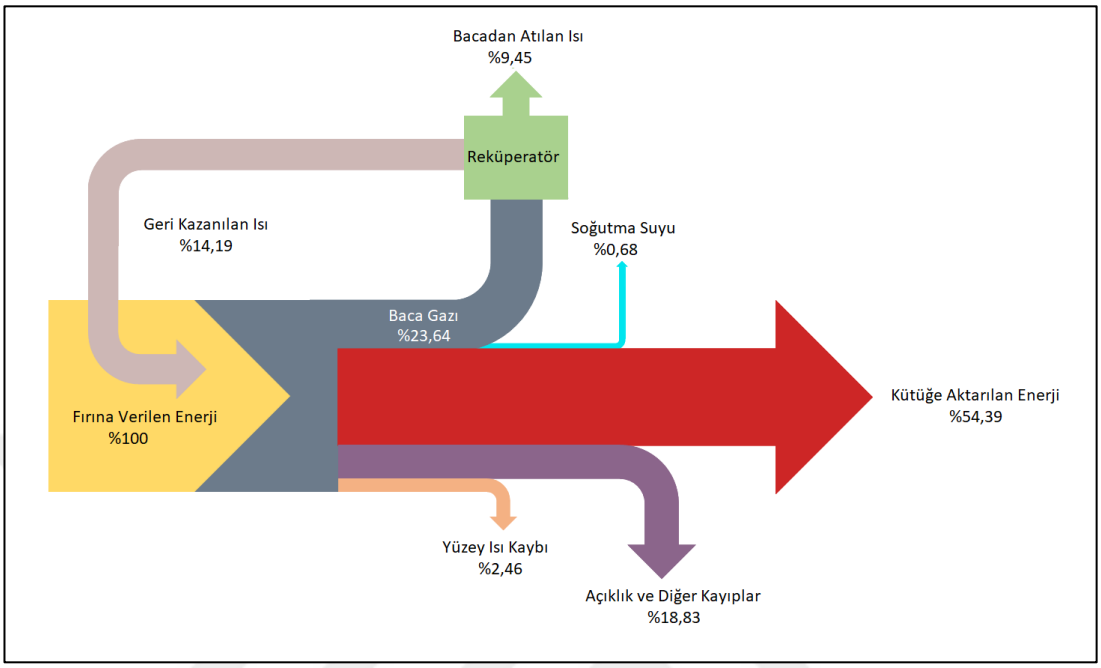
Kütük Kütlesi	Saatlik Besleme	Kütük Beslemesi	Kütük Giriş Sıcaklığı	Kütük Çıkış Sıcaklığı	Kütük Özgül Isı	Kütüğe Aktarılan Enerji
kg/adet	adet/h	kg/h	°C	°C	J/g°C	kW
2.122,00	55	116.710,00	30,00	1.190,00	0,45	16.922,95

Tav fırınında yapılan ölçümler ve hesaplamalar sonucunda tav fırınında gerçekleşen kayıplar hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar Tablo 3.8'de verilmiştir. Tav fırının baca gazında O_2 oranının düşük olduğu alınan ölçümler sonucunda tespit edilmiştir. Baca gazı O_2 oranı düşük olduğundan tufal kaybı hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Tablo 3.8. Tav fırını enerji dağılımı

Fırına Giren Enerji	Kütüğe Aktarılan Enerji		Baca Gazı Atık Isı		Soğutma Suyu		Yüzey Isı Kaybı		Açılık Kaybı ve Diğer Kayıplar	
kW	kW	%	kW	%	kW	%	kW	%	kW	%
31.114,00	16.922,95	54,39	7.355,97	23,64	213,08	0,68	765,94	2,46	5.856,06	18,83

Yapılan hesaplamalara göre tav fırını baca gazı, reküperatörden geçirilerek fırına verilen enerjinin %14,19'u yakma havasına aktarılarak geri kazanılmaktadır.



Şekil 3.26. Tav fırını sankey diyagramı

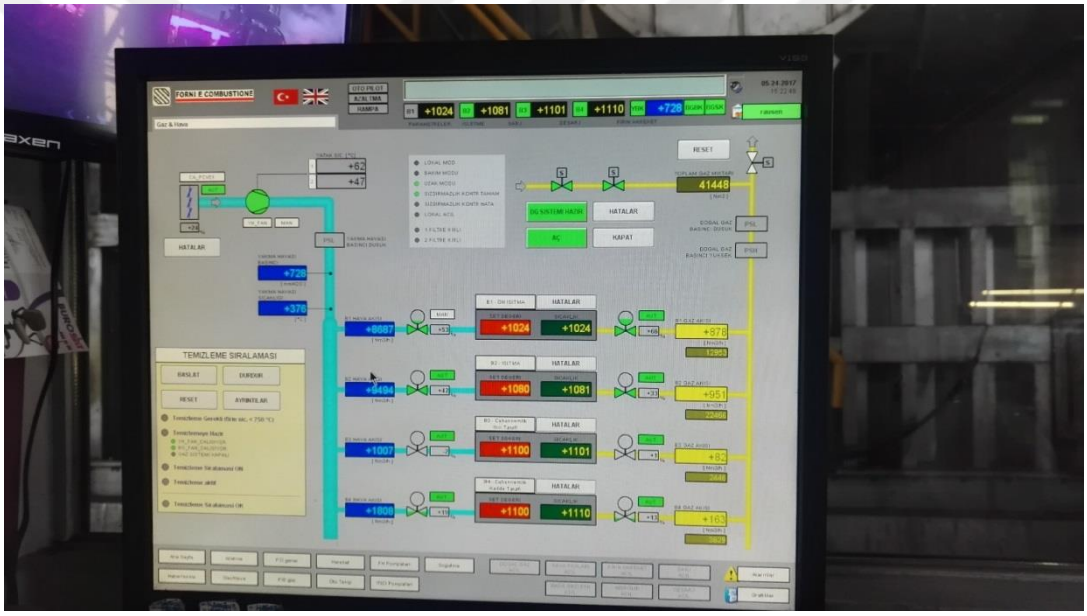
3.5. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Tav fırınında yapılan ölçüm ve hesaplamalarda fırına verilen enerjinin %54,39'unun kütüğe aktarıldığı tespit edilmiştir. Kütüğe aktarılan enerji miktarının beklenen düzeyde olduğu görülmüş ve tav fırınıyla ilgili herhangi bir öneride bulunulmamıştır.

4. TAV FIRINI YAKMA HAVA FANI ANALİZİ

4.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Tav fırınının yakma havası ihtiyacını karşılamak için bir adet yakma hava fanı bulunmaktadır. Tav fırını yakma havası fanı atmosferden aldığı havayı reküperatörden geçirip fırına göndermektedir. Yakma havasının debisi fanın emişinde bulunan klape yardımıyla otomatik olarak ayarlanmaktadır. Klape maksimum %52,00, minimum %20,00 açıklık oranında çalışmaktadır.



Şekil 4.1. Mevcut durum proses akışı

4.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Yakma havası fanında klapenin %51,00 ve %24,00 olduğu durumda fandan mekanik ve elektriksel ölçümler alınmıştır. Mekanik ölçümler kapsamında fanın emme ve basma basınçları ölçüm noktalarından basınç kalibratörü ile fanın hava debisi anemometre ve pitot tüpü ile ölçülmüştür. Fanın aktif gücü enerji analizörü ile ölçülmüştür. Fanlardan alınan ölçüm sonuçları Tablo 4.1 ve Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Fanın emiş tarafından anemometre ile yapılan ölçüm sonuçları

Klape Kısıklığı	Emme Basıncı	Basma Basıncı	Çizgisel Hız	Alan	Sıcaklık	Aktif Güç
%	mbar	mbar	m/s	m²	°C	kW
51	- 9,00	91,00	7,70	1,50	35,00	183,24

Tablo 4.2. Fanın basma tarafında reküperatör öncesinde pitot tüpü ile yapılan ölçüm sonuçları

Klape Kısıklığı	Dinamik Basınç	Emme Basıncı	Basma Basıncı	Çevre	Sıcaklık	Aktif Güç
%	hPa	mbar	mbar	m	°C	kW
24	0,60	-3,00	77,00	2,90	35,00	118,50



Şekil 4.2. Fan debi ölçümü

4.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

Fandan alınan ölçüm sonuçlarına göre fanın sistem verimi hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Verim hesapları

Klape Kısıklığı	Emme Basıncı	Basma Basıncı	Fark Basıncı	Çizgisel Hız	Debi	Ekrandan Alınan Debi	Akışkan Gücü	Aktif Güç	Sistem Verimi
%	mmSS	mmSS	mmSS	m/s	m³/h	Nm³/h	kW	kW	%
51	-91,77	927,94	1.019,71	7,70	41.580,00	36.857,30	115,47	183,24	63,02
24	-30,59	785,18	815,77	10,26	24.747,12	21.936,32	54,98	118,50	46,40

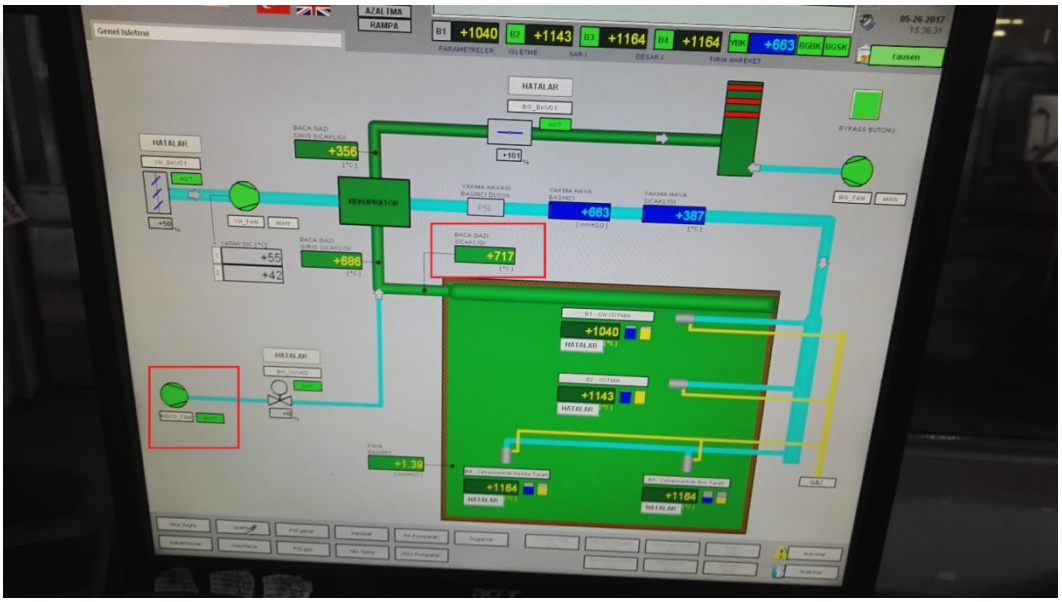
4.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Tav fırını yakma hava fanından alınan ölçüm sonuçlarına ve yapılan hesaplamalara göre fan sistem veriminin beklenen düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Yakma hava fanı için herhangi bir öneride bulunulmamıştır.

5. REKÜPERATÖR DEĞİŞİMİ

5.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Tav fırını baca gazı reküperatörden geçirilerek yakma havasının ön ısıtılması yapılmaktadır. Baca gazı sıcaklığının 700°C'nin üzerine çıkması durumunda reküperatöre zarar vereceği için fan yardımıyla taze hava beslenerek baca gazı soğutulurak reküperatöre verilmektedir.



Şekil 5.1. Baca gazı soğutma fanı

5.2. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

Tav fırını baca gazından ve SCADA ekranından alınan değerlere göre baca gazı atık ısı miktarı ve bu atık ısı miktarının ne kadarının yakma havasına aktarıldığı hesaplanmıştır.

Tablo 5.1. Mevcut durum atık ısı hesaplamaları

Baca Gazı Atık Isı	Reküperatörden Geri Kazanılan Enerji	Atık Geri Kazanımı
kW	kW	%
7.355,97	4.415,07	60,02

Mevcut durumda reküperatör girişinde baca gazı sıcaklığı 700 °C'ye ulaştığında, baca gazının reküperatöre zarar vermemesi için taze hava beslenip baca gazı sıcaklığı düşürülmektedir. Bu durumda yakma havasına aktarılabilecek ısı miktarı azalmaktadır.

Haddehanede bulunan tav fırını reküperatörünün borularında kullanılan malzemeninin ısı transfer katsayından daha yüksek ısı transfer katsayısına sahip reküperatörler bulunmaktadır. Isı transfer katsayısının yüksek olmasıyla ısı transfer oranı artacaktır. Yakma havası giriş sıcaklığının artmasıyla fırında kullanılan doğalgaz miktarı azalacak ve tasarruf sağlanmış olacaktır. Isı transfer katsayısı yüksek olan reküperatörün boruları yüksek sıcaklığa dayanabildiği için yüksek sıcaklıklarda soğutma havasına gerek duyulmamaktadır.

Reküperatör değişimi projesinde sağlanacak olan tasarruf miktarının ve yatırım maliyetinin belirlenebilmesi için reküperatör üreticisi firma tarafından saha ziyaretinin yapılması gerekmektedir. Yerinde inceleme yapılamadan ve teknik bilgiler (reküperatör ve fırın teknik bilgileri) olmadan tasarruf hesabı yapılamamaktadır.

5.3. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Haddehanede bulunan tav fırını reküperatörünün daha verimli bir reküperatörle değiştirilmesiyle tasarruf sağlamak mümkündür.

6. SU POMPASI ANALİZLERİ

6.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Fabrikada bulunan su pompaları; kapalı devre pompaları, thermex pompaları ve açık devre pompalarıdır. Kapalı devre pompaları; hidrolik yağlar kompresör ve klima sistemlerini soğutmada kullanılmaktadır. Thermex pompaları; fırından çıkan çubuğun soğutulması aşamasında kullanılan pompalardır. Açık devre pompaları; merdane, kompozit merdane soğutma ve fırın acil soğutma bölümlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 6.1. Pompaların genel görünümü

6.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Pompalara verim analizi yapabilmek amacı ile pompalarda mekaniksel ve elektriksel ölçümler alınmıştır. Mekanik ölçümler kapsamında pompaların debileri, emme ve basma basınçları; elektriksel ölçümler kapsamında pompa elektrik motorlarının aktif güçleri ölçülmüştür. Pompalardan alınan ölçüm sonuçları Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Pompalardan alınan ölçüm sonuçları

Pompalar	Debi	Basma Basıncı	Emme Basıncı	Birim Enerji Tüketimi
	m³/h	bar	bar	kW
POMPA 1-A	168,79	3,50	0,40	32,32
POMPA 1-B	144,18	3,50	0,40	32,56
POMPA 1-C	98,57	4,20	0,40	46,09
POMPA 2-A	257,16	3,00	0,40	34,10
POMPA 2-B	66,19	3,00	0,40	31,85
POMPA 2-C	61,32	3,00	0,40	44,36
POMPA 2-D	67,00	5,90	0,40	56,42

6.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

Pompalardan alınan ölçüm sonuçlarına göre pompaların sistem verimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Pompalarda yapılan verim hesapları

Pompalar	Hidrolik Güç	Birim Enerji Tüketimi	Sistem Verimi
	kW	kW	%
POMPA 1-A	14,54	32,32	44,99
POMPA 1-B	12,42	32,56	38,14
POMPA 1-C	10,41	46,09	22,59
POMPA 2-A	18,58	34,10	54,49
POMPA 2-B	4,78	31,85	15,01
POMPA 2-C	4,43	44,36	9,99
POMPA 2-D	10,24	56,42	18,15

Yapılan ölçüm sonuçlarına göre pompa sistem verimlerinin düşük olduğu tespit edilmiştir. Düşük sistem verimli pompaların daha verimli pompalarla değiştirilmesi önerilmektedir. Düşük sistem verimli pompaların daha verimli pompalarla değiştirilmesiyle sağlanacak olan tasarruf miktarları hesaplanmıştır. Yapılan tasarruf hesapları Tablo 6.3'te verilmiştir.

Tablo 6.3. Pompa tasarruf tasarruf hesapları

Pompalar	Birim Enerji Tüketimi	Mevcut Durum Sistem Verimi	Uygulama Sonrası Sistem Verimi	Birim Enerji Tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu	Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	BGÖS
	kW	%	%	kW	kW	kWh/yıl	₺/yıl	₺	yıl
POMPA 1-A	32,32	44,99	73,80	19,70	12,62	91.621,20	22.905,30	16.300,35	0,71
POMPA 1-B	32,56	38,14	72,10	17,23	15,33	111.295,80	27.823,95	16.300,35	0,59
POMPA 1-C	46,09	22,59	63,70	16,34	29,75	215.985,00	53.996,25	16.300,35	0,30
POMPA 2-A	34,10	54,49	75,30	24,67	9,43	68.461,80	17.115,45	16.300,35	0,95
POMPA 2-B	31,85	15,01	68,60	6,97	24,88	180.628,80	45.157,20	16.300,35	0,36
POMPA 2-C	44,36	9,99	67,50	6,56	37,80	274.428,00	68.607,00	16.300,35	0,24
POMPA 2-D	56,42	18,15	64,50	15,88	40,54	240.807,60	60.201,90	16.300,35	0,27
TOPLAM	277,70	-	-	107,35	170,35	1.183.228,20	295.807,05	114.102,45	0,39

6.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Haddehanede bulunun pompalardan alınan ölçümler sonucunda pompaların çalışma veriminin düşük olduğu tespit edilmiştir. Verimi düşük olan pompaların daha verimli pompalarla değiştirilmesi önerilmektedir. Düşük verimli pompaların daha verimli pompalarla değiştirilmesi sonucunda 1.183.228,20 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu ve 295.807,05 ₺/yıl'lık mali tasarruf sağlamak mümkündür. Bu uygulamanın yatırım maliyeti 114.102,45 ₺'dir ve geri ödeme süresi 0,39 yıl'dır.

7. HİDROLİK MOTOR ANALİZİ

7.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Kütüğün fırın içerisinde kaldırma ve ilerleme hareketleri için, silindirlerle kirişin ileri-geri ve aşağı-yukarı hareketleri hidrolik motorlarla sağlanmaktadır. Fabrikada fırın alt tabanında hareketi sağlamak için kullanılan 4 adet hidrolik motor bulunmaktadır. Motorların 2 tanesi aktif olarak çalışmakta, 2 tanesi de yedek olarak beklemektedir.

7.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Hidrolik motorların aktif güçleri enerji analizörü ile ölçülmüştür. Hidrolik motorların ileri-geri, yukarı-aşağı harekette ve geçişler esnasında beklemelerdeki aktif güçleri belirlenmiştir. Alınan ölçüm sonuçları Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Hidrolik motorlardan alınan ölçüm sonuçları

Hareket Yönü	Birim Enerji Tüketimi	
	Pompa 2	Pompa 4
	kW	kW
Yukarı	62,70	57,09
İleri	67,85	60,43
Aşağı	58,93	58,77
Geri	71,07	62,54
Geçişler Esnasında Beklemelerde	13,74	13,37

7.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

Hidrolik motorlardan alınan ölçüm sonuçlarına göre hidrolik motorların çalışmasıyla ilgili herhangi bir sorun tespit edilmemiştir.

7.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Hidrolik motorlardan alınan ölçüm sonuçlarına göre hidrolik motorlarda bir verimsizlik tespit edilmemiştir. Hidrolik motorlarla ilgili herhangi bir öneride bulunulmamıştır.

8. BASINÇLI HAVA ANALİZİ

Sıkıştırılabilir akışkanların basıncını arttırmak için kullanılan makinelere kompresör denir. Kompresör giriş ve çıkışlarındaki basınça değerleri çok değişken olabilmektedir. Giriş tarafındaki gazın (başka bir akışkan da olabilir) basınç seviyesi atmosferik basıncın çok üstünde olabilir. Çıkış tarafında ise düşük atmosfer basıncının çok üstünde olabilir.

Endüstriyel kompresörler diğer tip kompresörlerden daha fazla elektrik tüketmektedir. Bu da kompresörlerin ünitelerinde yapılacak verimlilik çalışmaları ve iyileştirmeler sayesinde çok yüksek oranlarda enerji tasarrufu sağlanabileceğini göstermektedir. Bu sistemlerde yapılacak iyileştirmeler aynı zamanda bakım maliyetlerini azaltmaktadır.

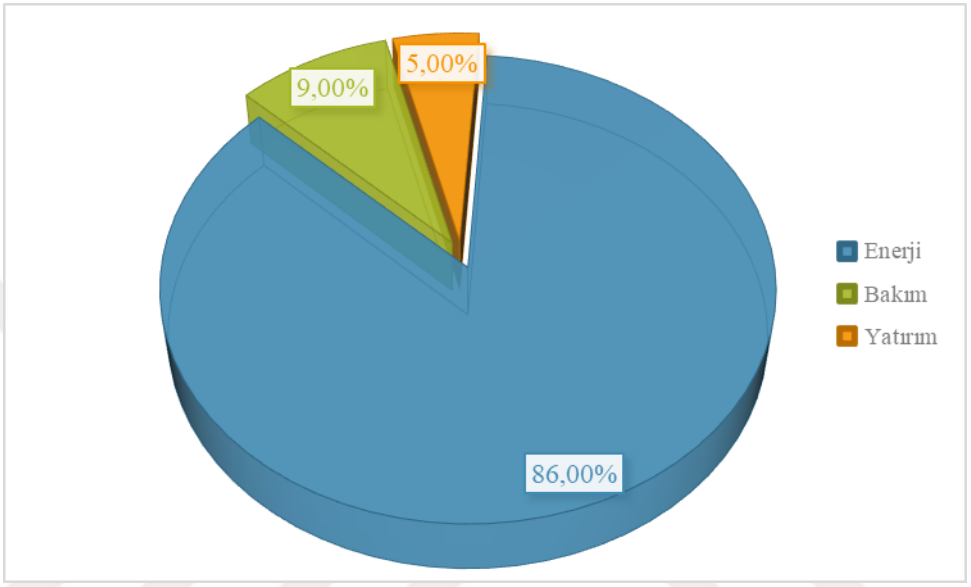
Basınçlı hava sağlayan endüstriyel sistemler; kompresör, kontrol ünitesi, tahrik sistemi, dağıtım sistemi, bakım ünitesi ve aksesuarlardan oluşmaktadır.

Genel Tasarruf İmkânları; Yapılan çalışmalarda, birinin basınçlı hava sistemlerinin enerji tasarruf potansiyelinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Basınçlı hava, sanayi sektöründe çok yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Basınçlı hava sistemlerinde herhangi bir arıza meydana gelmesi durumunda ciddi üretim kaybı gerçekleşebilmektedir. Basınçlı havanın işletmelerde yaygın ve yoğun bir şekilde kullanılması ve basınçlı havanın çok pahalı olması sebebiyle, yapılacak iyileştirmeler ile ciddi oranda enerji tasarrufu sağlanabilmektedir.

Verimsiz bir kompresörün bir yıl çalışması demek kompresör için harcanan elektrik enerjisi maliyetinin, genel olarak kompresörün satın alma fiyatını geçmesi demektir. Kompresörlerin ekonomik ömrü genellikle 10 yıldır. İşletme maliyeti dağılımına baktığımızda genellikle; bakım maliyeti % 5-10, ilk yatırım maliyeti % 10-15 ve enerji maliyeti % 75-85 olmaktadır.

Yani bizim odaklanmamız gereken kısım, kompresörlerde enerji tasarrufunun maksimize edilmesidir. Ancak bu şekilde işletmede basınçlı hava sistemlerinde tasarruf ve enerji verimliliğinden söz edebiliriz.

Basınçlı hava sisteminde çalışan bir kompresörün ekonomik ömrü boyunca maliyet dağılımı Şekil 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1. Bir hava kompresörünün ömrü boyunca maliyet dağılımı

Farklı sanayi kuruluşlarında yapılan enerji tasarrufu çalışmalarında basınçlı hava sistemlerinde tespit edilen başlıca enerji tasarrufu imkânı:

- Kompresörlerin doğru boyut ve tipte seçilmesi,
- Kompresöre temiz, soğuk ve kuru hava girişi sağlanması,
- Kompresör soğutma havasının kullanımı,
- Basınçlı hava ekipmanlarının düzenli olarak bakımı,
- Sistem verimliliğini sağlamak için gerekli enstrümanların sağlanması,
- Hava kaçaklarının giderilmesi,
- Sistemin stabil çalışmaya devam edecek şekilde en düşük basınçta çalıştırılması, ekonomik olması durumunda soğutma enerjisinin geri kazanılması,
- Ekipmanların uygun biçimde yağlanması,
- Hava tankı ve kurutucunun doğru şekilde yerleştirilmesi olarak sıralanabilir.

8.1. Ünite ve Sistem Tarifi

Çubuk haddehanesinde 4 adet kompresör, 1 adet kurutucu ve 1 adet hava tankı bulunmaktadır. Kompresörler 2 aktif ve 2 yedek olacak şekilde çalıştırılmakta ve kompresörler arasında eş yaşlandırma yapılmaktadır. Kompresörlerde basınçlandırılan hava ortak kollektörde toplanmaktadır. Daha sonra basınçlı havayı soğutmak için su soğutmalı plakalı eşanjöre girmekte ve kurutucuya geçmektedir. Kurutucudan sonra hava tankında toplanmakta ve işletmeye dağıtılmaktadır.



Şekil 8.2. Kompresör genel görünümü

8.2. Yapılan Ölçümler ve/veya Alınan Değerler

Kompresörlerde ve basınçlı hava hatlarında enerji verimliliği kapsamında, fabrikada yapılan ölçümler elektriksel ve mekanik olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Elektriksel ölçümler, kompresörleri tahrik eden elektrik motorlarından alınan ölçümleri kapsamaktadır. Mekanik ölçümler ise kompresörlerin basınç değerleri ve basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarının tespitini kapsamaktadır.

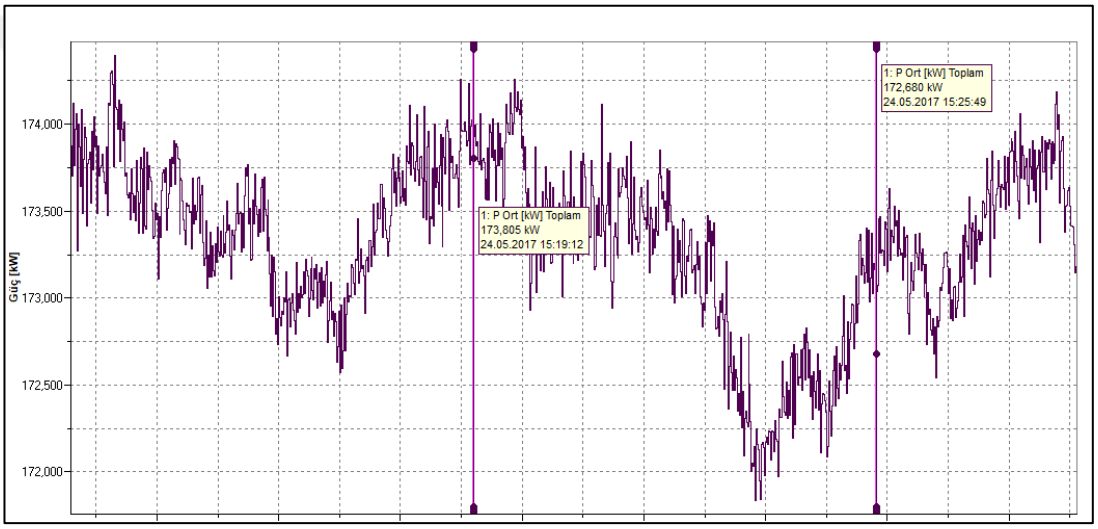
8.2.1. Kompresör analizi

Kompresörlerin elektriksel ölçümler kapsamında çalışan kompresörlerin aktif güçleri enerji analizörü ile ölçülmüştür. Kompresör çıkışında kollektörde basıncın 6,5 bar

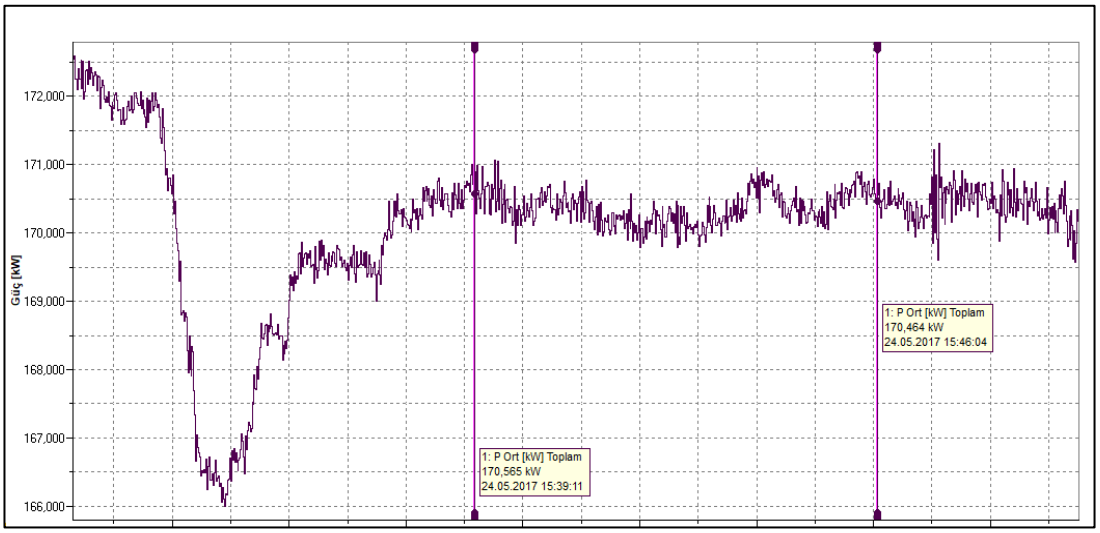
olduğu, plakalı eşanjör sonrasında 6,3 bar'a düştüğü, kurutucu sonrası ise 5,4 bar'da hava tankına girdiği tespit edilmiştir. Kompresörlerin etiket hava debileri kompresör firması ile görüşülerek öğrenilmiştir. Kompresörlerden alınan ölçüm sonuçları Tablo 8.1'de verilmiştir.

Tablo 8.1. Kompresörlerden alınan ölçüm sonuçları

Kompresör Adı	Kompresör Markası	Çalışma Basıncı	Aktif Güç	Etiket Debisi
		bar	kW	m^3/dakika
Kompresör 1	-	6	173,30	28
Kompresör 3	-	6	170,10	28



Şekil 8.3. Kompresör 1 aktif güç ölçümü



Şekil 8.4. Kompresör 2 aktif güç ölçümü

8.2.2. Kurutucu analizi

Basınçlı hava kurutucusu girişinde manometre ile alınan ölçümde kurutucu giriş basıncı 6 bar ve kurutucu çıkışında ise basınç 5,4 bar olarak ölçülmüştür. Kurutucunun katalog değerleri incelenmiş ve kurutucuda basınç düşümünün 0,24 bar olması gerektiği görülmüştür. Kurutucuda yaklaşık 0,36 bar basınç kaybı tespit edilmiştir.



Şekil 8.5. Hava kurutucusu genel görünümü

Tablo 8.2. Kurutucu basınç değerleri

Kurutucu Giriş Basıncı	Kurutucu Çıkış Basıncı	Kurutucuda Oluşan Basınç Kaybı
bar	bar	bar
6,00	5,40	0,36

Kurutucuda olması gerekenden daha fazla basınç kaybının olduğu tespit edilmiştir. Basınç kaybının, kurutucunun mekanik aksamlarındaki (filtre vb.) tıkanıklıktan dolayı olabileceği düşünülmektedir.

8.2.3. Basınçlı hava kaçakları

Çubuk haddehanesi ultrasonik dedektörle taranarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir. Basınçlı hava hatlarındaki sızıntı miktarı "UE SYSTEMS UP 3000" ultrasonik sızıntı detektörü ile tespit edilmiştir. Cihazdan okunan dB değeri cihazın

yazılımıyla hacimsel debiye dönüştürülmüştür. Basınçlı hava hatlarında sızıntı kontrolü yapan ultrasonik sızıntı dedektörü Şekil 8.6'da verilmiştir.



Şekil 8.6. Ultrasonik sızıntı detektörü resmi

Fabrikada ultrasonik dedektörle basınçlı hava taraması yapılarak sızıntı hava kayıpları tespit edilmiştir.

Basınçlı hava hatlarının uzun olması sebebiyle basınçlı hava sıcaklığının ortam sıcaklığına eşit olduğu varsayılmıştır. Basınçlı hava kaçaklarının olduğu noktalara ait resimler Ek-2'de verilmiştir. 32 noktada basınçlı hava kaçağı tespit edilmiştir. Basınçlı hava sızıntı ölçümleri Tablo 8.3'te verilmiştir.

Tablo 8.3. Basınçlı hava kaçak ölçümleri

Ölçüm No	Ekipman Adı	Ölçüm Değeri (dB)
1	İtici fren	62
2	İtici baskı piston valfi	61
3	İtici piston valfi 2	60
4	Fırın çıkışı baskı pistonu şartlandırıcı	64
5	Fırın çıkışı baskı pistonu valfi	85
6	Fırın çıkışı kollektör soketi	90
7	10 11 arası makas valfi	50
8	10 11 arası şartlandırıcı girişi	90
9	13 14 arası makas valfi	50
10	13 14 arası loop valfi	70
11	14 15 arası şartlandırıcı	70
12	15 16 arası tetikleme valfi	65
13	15 16 arası makas valfi	65
14	15 16 arası loop valfi	58
15	Eski çekici röle şartlandırıcı	90

Tablo 8.3. (Devam) Basınçlı hava kaçak ölçümleri

16	Eski yol malzeme düzeltici şartlandırıcı girişi	65
17	Eski yol malzeme düzeltici valfi	85
18	Eski yol kalkan zinciri 4 nolu şartlandırıcı	60
19	Yeni makas önü düzeltme pistonu	80
20	Eski yol 1 nolu kalkan zincir şartlandırıcı	72
21	Manyetik 4 grup şartlandırıcı	85
22	Troleys 1. grup 1. valf	95
23	Troleys 3. grup 1. piston valfi	90
24	Troleys 3. grup 2. piston valfi	90
25	Troleys 4. grup 2. piston valfi	95
26	Troleys 5. grup 1. piston	95
27	Yıkama filtreleri thermex açık devre un filtresi ters yıkama valfi	50
28	Eski sevkiyat 1 nolu piston valfi	90
29	Eski sevkiyat 1 nolu piston girişi	60
30	Eski sevkiyat 2 nolu piston şartlandırıcısı	65
31	Eski sevkiyat 3 nolu piston valfi	90
32	Eski sevkiyat 4 nolu piston valfi	90

8.3. Değerlendirmeler ve Hesaplamalar

8.3.1. Kompresör analizi

Kompresörlerden alınan ölçümler sonuçlarına ve etiket bilgilerine göre kompresörlerin spesifik enerji tüketimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalarda kompresörlerin spesifik enerji tüketimlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kompresörlerin verimli kompresörlerle değiştirilmesiyle enerji tasarrufu sağlanabilir. Yapılan hesaplamalar Tablo 8.4'te verilmiştir.

Tablo 8.4. Mevcut durum kompresörlerin spesifik enerji tüketimi

Kompresör Adı	Aktif Güç	Etiket Debisi		Spesifik Enerji Tüketimi
	kW	m^3/dakika	m^3/h	kWh/m^3
Kompresör 1	173,30	28	1.680	0,103155
Kompresör 3	170,10	28	1.680	0,101250

Tablo 8.5. Uygulama sonrası önerilen kompresörün spesifik enerji tüketimi

Kompresör Markası	Etiket Gücü	Etiket Debisi		Spesifik Enerji Tüketimi
	kW	m³/dakika	m³/h	kWh/m³
Atlas Copco GA 250	283,60	53,95	3.237	0,087612

Tablo 8.6. Kompresör değişimi tasarruf hesabı

Uygulama Öncesi Toplam Aktif Güç	Uygulama Sonrası Toplam Aktif Güç	Birim Enerji Tasarrufu	Toplam Enerji Tasarrufu	Mali Tasarruf	Yatırım Maliyeti	BGÖS
kW	kW	kW	kWh/yıl	₺/yıl	₺	yıl
343,40	294,38	49,02	421.572,00	105.393,00	444.398,40	4,22

8.3.2. Kurutucu analizi

Kurutucuda 0,36 bar basınç kaybı tespit edilmiş olup, bu basınç kaybının işletmeye kaybı hesaplanmıştır. Basınç kaybının, kurutucunun mekanik aksamlarındaki (filtre vb.) tıkanıklıktan dolayı olabileceği düşünülmektedir. Kurutucuda gerçekleşen basınç kaybının önlenmesiyle enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Uygulama sonrası tasarruf hesabı kurutucu basınç kaybının 0,24 bar olacağı öngörülerek yapılmıştır. Yapılan tasarruf hesapları Tablo 8.7'de verilmiştir.

Tablo 8.7. Kurutucu basınç kaybı tasarruf hesabı

Mevcut Durum Birim Enerji Tüketimi	Basınç Kaybı Önlendikten Sonra Birim Enerji Tüketimi	Birim Enerji Tasarrufu	Enerji Tasarrufu	Mali Tasarruf
kW	kW	kW	kWh/yıl	₺/yıl
343,40	341,34	2,06	17.716,00	4.429,00

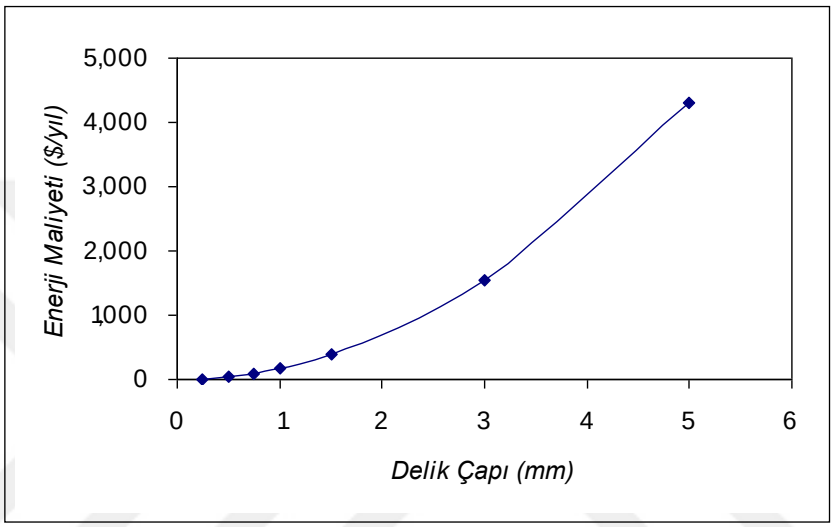
8.3.3. Basınçlı hava kaçakları

Basınçlı hava kaçaklarının parasal değeri, atmosfer basıncındaki havanın kompresör çıkış (set) basıncına sıkıştırılması için gerekli enerji bedeline eşittir. Bu nedenle kullanım yerinde gerekli asgari basınç tespit edilerek basınç regülatörleri ile düşürülmesi sızıntı kaçaklarının maliyetini azaltacaktır. Ayrıca temizlik için kullanılan havanın basıncı da mutlaka düşürülmelidir.

Basınçlı hava üzerinde hassasiyetle durulmalı ve kullanıcılar eğitilmelidir. Hava kaçaklarının artması nedeniyle kompresör çıkış basıncının düşürülmesi imkânsız hale

gelmektedir. Bu da ikinci bir maliyet oluşturmaktadır. Kaçakların yeri insan kulağı ile bulunabildiği gibi bu amaçla geliştirilmiş Ultrasonik ses dedektörleri ile de tespit edilebilir.

Basınçlı hava hatlarındaki sızıntıların sebep olduğu enerji sarfiyatını bulmada kullanılan denklemler bu analizin sonunda verilmiştir. Basınçlı hava hattında tespit edilen basınçlı hava kaçaklarının maliyeti Şekil 8.7'de verilmiştir.



Şekil 8.7. Basınçlı hava kaçaklarının sebep olduğu enerji kaybının maliyeti

Şekil 8.7'de göründüğü üzere kayıp olan basınçlı hava miktarı delik çapının büyüklüğüyle eksponansiyel olarak artmaktadır. Denklem (8.1)'de görüleceği gibi;

$$\text{Güç Kaybı (kW)} = \{P_i \times V_f \times [k/(k-1)] \times N \times [(P_o/P_I)^{(k-1)/(k\times N)} - 1]\} \div \{E_a \times E_m\} \quad (8.1)$$

Burada;

V_f Kaçan hava debisi, m^3/s

k Havanın spesifik ısı oranı, 1,4

N Kademe sayısı

P_o Kompresör çalışma basıncı, kPa

E_a Kompresör adiyabatik verimi

E_a 0,88 tek zamanlı pistonlu kompresör

E_a 0,75 çok zamanlı pistonlu kompresör

E_a 0,82 vidalı kompresör

E_m Kompresör motor verimi

Yıllık enerji kazancı Denklem (8.2)'deki gibi hesaplanır;

Enerji Kazancı = Güç kaybı × H (8.2)

Burada,

H = Hava hattının yıllık basınç altında olduğu süre

Yıllık maliyet kazancı Denklem (8.3)'deki gibi hesaplanır;

Maliyet Kazancı = (Enerji kazancı × Birim kullanma maliyeti) (8.3)

Yukarıdaki denklemlerde hesaplanan basınçlı hava kaçaklarının maliyeti Tablo 8.8'de verilmiştir.

Tablo 8.8. Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti

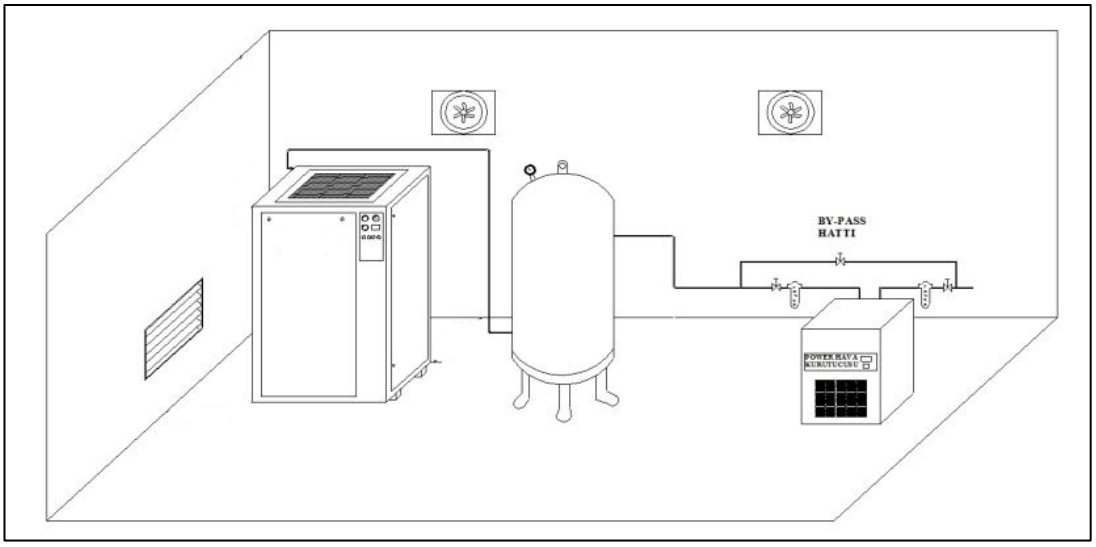
Ölçüm No	Ekipman Adı	Ölçüm Değeri	Hacimsel Debi	Güç Kaybı	Yıllık Enerji Kaybı	Enerji Kaybının Maliyeti
		dB	l/s	kW	kWh/yıl	₺/yıl
1	İtici fren	62	1,7557	0,3389	2.914,54	728,64
2	İtici baskı piston valfi	61	1,6906	0,3263	2.806,18	701,55
3	İtici piston valfi 2	60	1,6251	0,3137	2.697,82	674,46
4	Fırın çıkışı baskı pistonu şartlandırıcı	64	1,8858	0,3640	3.130,40	782,60
5	Fırın çıkışı baskı pistonu valfi	85	3,5556	0,6863	5.902,18	1.475,55
6	Fırın çıkışı kollektör soketi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
7	10 11 arası makas valfi	50	1,3571	0,2619	2.252,34	563,09
8	10 11 arası şartlandırıcı girişi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
9	13 14 arası makas valfi	50	1,3571	0,2619	2.252,34	563,09
10	13 14 arası loop valfi	70	2,2773	0,4395	3.779,70	944,93
11	14 15 arası şartlandırıcı	70	2,2773	0,4395	3.779,70	944,93
12	15 16 arası tetikleme valfi	65	1,9514	0,3766	3.238,76	809,69
13	15 16 arası makas valfi	65	1,9514	0,3766	3.238,76	809,69
14	15 16 arası loop valfi	58	1,5718	0,3034	2.609,24	652,31
15	Eski çekici röle şartlandırıcı	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
16	Eski yol malzeme düzeltici şartlandırıcı girişi	65	1,9514	0,3766	3.238,76	809,69
17	Eski yol malzeme düzeltici valfi	85	3,5556	0,6863	5.902,18	1.475,55
18	Eski yol kalkan zinciri 4 nolu şartlandırıcı	60	1,6251	0,3137	2.697,82	674,46
19	Yeni makas önü düzeltme pistonu	80	3,4275	0,6615	5.688,90	1.422,23
20	Eski yol 1 nolu kalkan zincir şartlandırıcı	72	2,5071	0,4839	4.161,54	1.040,39
21	Manyetik 4 grup şartlandırıcı	85	3,5556	0,6863	5.902,18	1.475,55

Tablo 8.8. (Devam) Basınçlı hava kaçaklarının maliyeti

22	Troleys 1. grup 1. valf	95	4,2770	0,8255	7.099,30	1.774,83
23	Troleys 3. grup 1. piston valfi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
24	Troleys 3. grup 2. piston valfi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
25	Troleys 4. grup 2. piston valfi	95	4,2770	0,8255	7.099,30	1.774,83
26	Troleys 5. grup 1. piston	95	4,2770	0,8255	7.099,30	1.774,83
27	Yıkama filtreleri thermex açık devre un filtresi ters yıkama valfi	50	1,3571	0,2619	2.252,34	563,09
28	Eski sevkiyat 1 nolu piston valfi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
29	Eski sevkiyat 1 nolu piston girişi	60	1,6251	0,3137	2.697,82	674,46
30	Eski sevkiyat 2 nolu piston şartlandırıcısı	65	1,9514	0,3766	3.238,76	809,69
31	Eski sevkiyat 3 nolu piston valfi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
32	Eski sevkiyat 4 nolu piston valfi	90	3,6842	0,7111	6.115,46	1.528,87
TOPLAM	16,8144	144.603,84	36.150,96			

8.3.4. Basınçlı hava sisteminin dizaynı

Basınçlı hava kompresör çıkışında içinde bir miktar nem barındırmaktadır. Kompresörden çıkan hava basınçlı hava tankına geldiğinde içinde barındırdığı nemin bir kısmı dibe çöker. Sonrasında basınçlı hava kurutucuya giderek kurutulmaktadır. Basınçlı hava sisteminde hava tankının kurutucudan önce koyulmasıyla kurutucu yükünün azaltılması mümkündür.



Şekil 8.8. Basınçlı hava sistemi yerleşim planı

Çubuk haddehanesi basınçlı hava sisteminde hava tankı kurutucu sonrasında bulunmaktadır. Kompresörden çıkan nemli hava kurutucuya giderek kurutulmakta,

sonrasında basınçlı hava tankına gönderilmektedir. Basınçlı hava tankının kurutucu öncesine alınmasıyla kurutucunun yükünün düşürülmesi mümkündür.

8.4. Öneriler, Enerji Tasarruf İmkânları ve Miktarları

Çubuk haddehanesinde hava tankı kurutucudan sonradır. Çubuk haddehanesinde basınçlı hava sisteminde bakım ya da yenileme çalışması yapıldığında hava tankının kurutucu öncesine yerleştirilmesi önerilmektedir. Hava tankının kurutucunun önüne yerleştirilmesiyle kurutucu yükü azaltılarak tasarruf sağlanması mümkündür.

Basınçlı hava kurutucusunda etiket değerinden daha fazla basınç kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. Kurutucuda gerçekleşen basınç kaybının kurutucunun mekanik aksamlarındaki (filtre vb.) tıkanıklıktan dolayı olduğu düşünülmektedir. Kurutucu basınç kaybının 0,24 bar'a düşürülmesiyle 17.716,00 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu ve 4.429,00 ₺/yıl'lık mali tasarruf sağlamak mümkündür.

Basınçlı hava hatlarında ultrasonik sızıntı dedektörüyle yapılan ölçümler sonucunda basınçlı hava kaçaklarının olduğu tespit edilmiştir. Ultrasonik dedektörle tespit edilen 32 noktadaki kaçakların giderilmesiyle 144.603,84 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Sızıntı kontrollerinde belirlenen kaçakların giderilmesiyle sağlanacak olan mali tasarruf miktarı 36.150,96 ₺/yıl'dır.

Mevcut durumda aktif olarak çalışan kompresörlerin verimsiz çalıştığı, spesifik enerji tüketimlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mevcut verimsiz 2 adet kompresörlerin aynı hava debisini üretecek verimli 1 adet kompresörle değiştirilmesiyle spesifik enerji tüketimini düşürmek mümkündür. Kompresörlerin değiştirilmesiyle 421.572,00 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu ve 105.393,00 ₺/yıl'lık mali tasarruf sağlamak mümkündür. Bu uygulamanın yatırım maliyeti 444.398,40 ₺'dir ve basit geri ödeme süresi 4,22 yıl'dır.

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan enerji verimliliği çalışmaları sonucunda; enerji verimliliği opsiyonu, enerji ve mali tasarruf potansiyeli, gerekli yatırım miktarı ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Tablo 9.1'de özetlenmiştir;

- Çubuk haddehanesinde hava tankı kurutucudan sonradır. Çubuk haddehanesinde basınçlı hava sisteminde bakım ya da yenileme çalışması yapıldığında hava tankının kurutucu öncesine yerleştirilmesi önerilmektedir. Hava tankının kurutucunun önüne yerleştirilmesiyle kurutucu yükü azaltılarak tasarruf sağlanması mümkündür.
- Basınçlı hava kurutucusunda etiket değerinden daha fazla basınç kaybı yaşandığı tespit edilmiştir. Kurutucuda gerçekleşen basınç kaybının kurutucunun mekanik aksamlarındaki (filtre vb.) tıkanıklıktan dolayı olduğu düşünülmektedir. Kurutucu basınç kaybının 0,24 bar'a düşürülmesiyle 17.716,00 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu ve 4.429,00 ₺/yıl'lık mali tasarruf sağlamak mümkündür.
- Basınçlı hava hatlarında ultrasonik sızıntı dedektörüyle yapılan ölçümler sonucunda basınçlı hava kaçaklarının olduğu tespit edilmiştir. Ultrasonik dedektörle tespit edilen 32 noktadaki kaçakların giderilmesiyle 144.603,84 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu sağlamak mümkündür. Sızıntı kontrollerinde belirlenen kaçakların giderilmesiyle sağlanacak olan mali tasarruf miktarı 36.150,96 ₺/yıl'dır.
- Haddehanede bulunun pompalardan alınan ölçümler sonucunda pompaların çalışma veriminin düşük olduğu tespit edilmiştir. Verimi düşük olan pompaların daha verimli pompalarla değiştirilmesi önerilmektedir. Düşük verimli pompaların daha verimli pompalarla değiştirilmesi sonucunda 1.183.228,20 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu ve 295.807,05 ₺/yıl'lık mali tasarruf sağlamak mümkündür. Bu uygulamanın yatırım maliyeti 114.102,45 ₺'dir ve geri ödeme süresi 0,39 yıl'dır.
- Mevcut durumda aktif olarak çalışan kompresörlerin verimsiz çalıştığı, spesifik enerji tüketimlerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Mevcut verimsiz 2 adet kompresörlerin aynı hava debisini üretecek verimli 1 adet kompresörle değiştirilmesiyle spesifik enerji tüketimini düşürmek mümkündür. Kompresörlerin değiştirilmesiyle 421.572,00 kWh/yıl'lık enerji tasarrufu ve 105.393,00 ₺/yıl'lık mali

tasarruf sağlamak mümkündür. Bu uygulamanın yatırım maliyeti 444.398,40 ₺'dir ve basit geri ödeme süresi 4,22 yıl'dır.

- Tav fırınında yapılan ölçüm ve hesaplamalarda fırına verilen enerjinin %54,39'unun kütüğe aktarıldığı tespit edilmiştir. Kütüğe aktarılan enerji miktarının beklenen düzeyde olduğu görülmüş ve tav fırınıyla ilgili herhangi bir öneride bulunulmamıştır.
- Hidrolik motorlardan alınan ölçüm sonuçlarına göre hidrolik motorlarda bir verimsizlik tespit edilmemiştir. Hidrolik motorlarla ilgili herhangi bir öneride bulunulmamıştır.
- Tav fırını yakma hava fanından alınan ölçüm sonuçlarına ve yapılan hesaplamalara göre fan sistem veriminin beklenen düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Yakma hava fanı için herhangi bir öneride bulunulmamıştır.
- Haddehanede bulunan tav fırını reküperatörünün daha verimli bir reküperatörle değiştirilmesiyle tasarruf sağlamak mümkündür.

Tablo 9.1. Genel bulgular

Proje Uygulama Sırası	Önlemler	Enerji Türü	Tasarruf				CO_2 Azalma Miktarı	Yatırım Miktarı	Geri Ödeme Süresi	Uygulama Planı
			Miktar	Birim	TEP/Yıl	₺/Yıl	Ton/yıl	₺	Yıl	Vade*
1	Kurutucu basınç kaybının önlenmesi	Elektrik	17.716,00	kWh	1,52	4.429,00	10,33	-	-	Kısa Vade
2	Basınçlı hava kaçaklarının önlenmesi	Elektrik	144.603,84	kWh	12,44	36.150,96	84,30	-	-	Kısa Vade
3	Düşük verimli pompaların yüksek verimli pompalarla değiştirilmesi	Elektrik	1.183.228,20	kWh	101,76	295.807,05	689,82	114.102,45	0,39	Kısa Vade
4	Kompresörlerin değiştirilmesi	Elektrik	421.572,00	kWh	36,26	105.393,00	245,78	444.398,40	4,22	Uzun Vade
TOPLAM			1.767.120,04	kWh	151,98	441.780,01	1.030,23	558.500,85	1,26	Orta Vade

* Kısa vade: Geri ödeme süresi 0-1 yıl arası olan projelerdir.
Orta vade: Geri ödeme süresi 1-2 yıl arası olan projelerdir.
Uzun vade: Geri ödeme süresi 2 yıl üzerinde olan projelerdir.

KAYNAKLAR

[1] Terzi Ü. K., Baykal R., Efficient and Effective Use Of Energy: A Case Study of Tofas, *Environmental Research, Engineering and Management*, 2011, **1**(55), 29-33.

[2] Xu C., Cang D., A Brief Overview of Low CO_2 Emission Technologies for Iron and Steel Making, *Journal of Iran and Steel Research*, 2010, **17**(3), 1-7.

[3] Nogami H., Yagi J., Kitamura S., Austin P. R., Analysis on Material and Energy Balances of Ironmaking Systems on Blast Furnace Operations with Metallic Charging, Top Gas Recycling and Natural Gas Injection, *ISIJ International*, 2006, **46**(12) 1759-1766.

[4] Tütünoğlu Y., Güven A., Öztürk İ. T., Cam Temperleme Fırınında Enerji Analizi, *III. Enerji Verimliliği Kongresi*, Kocaeli, 31 Mart-2 Nisan 2011.

[5] https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015.pdf (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2018).

[6] https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2016).pdf (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2018).

[7] Topbaş M. A., *Endüstri Fırınları*, 1. Baskı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1991.

[8] Ertem G., Çelik B., Yeşilyurt S., Endüstriyel tav Fırınlarında Isı Denkliği Hesaplamaları ve Enerji Verimliliğinin Belirlenmesi, *IV. Ege Enerji Sempozyumu*, İzmir, 21-23 Mayıs 2008.

[9] Siitonen S., Tuomaala M., Ahtila P., Variables Affecting Energy Efficiency and CO2 Emissions in the Steel Industry, *Energy Policy*, 2010, **38**, 2477–2485.

[10] Mullinger P., Jenkins B., *Furnace Control and Safety; Industrial and Process Furnaces*, 2nd ed., Butterworth-Heinemann, Oxford, 2008.

[11] http://www.oit.doe.gov/bestpractices /library.shtml (Ziyaret tarihi: 16 Mayıs 2018.

[12] Robert J., *Fan Engineering*, 6th ed., Buffalo Forge Company, New York, 1961.

[13] Kaya D., Eyidogan M., Energy Conservation Opportunities in an Industrial Boiler System, *Journal of Energy Engineering*, 2010, **136**(1), 18-25.

[14] Trejo E., Martell F., Micheloud O., Teng L., Llamas A., Montesinos-Castellanos A., A Novel Estimation of Electrical and Cooling Losses in Electric Arc Furnaces, *Energy*, 2012, **42**(1), 446-456.

[15] Manatura K., Tangtrakul M., A Study of Specific Energy Consumption Inreheating Furnace Using Regenerative Burners Combined with Recuperator, *Silpakorn U Science & Tech Journal*, 2010, **4**(2), 7-13.

[16] Karimi H. J., Saidi M. H., Heat Transfer and Energy Analysis of a Pusher Type Reheating Furnace Using Oxygen Enhanced Air for Combustion, *Journal of Iron and Steel Research, International*, 2010, **17**(4): 12-17 (2010).

[17] Worrell E., Martin N., Price L., Energy Efficiency and Carbon Dioxide Emissions Reduction Opportunities in the U.S. Iron and Steel Sector, *Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*, LBNL Report 41724, 5-55, 1999.

[18] Worrell E., Martin N., Price L., Energy Efficiency Opportunities in Electric Arc Steelmaking, *Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory*, LBNL Report 42775, 31, 1999.

[19] Kirschen M., Risonarta V., Pfeifer H., Energy Efficiency and the Influence of Gas Burners to the Energy Related Carbon Dioxide Emissions of Electric Arc Furnaces in Steel Industry, *Energy*, 2009, **34**(9), 1065-1072.

KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER

[1] Necmi Ö., **Hadra M.**, Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Depolama Yöntemleri, *Güç Sistemleri Konferansı*, İstanbul, 15-16 Kasım 2016.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet HADRA 1985 yılında İskenderun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İskenderun'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında özel sektörde çalışma hayatına başladı. 2016-2018 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı.