



T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FIRIN TEPE BASINCI TÜRBİNİ (TBT) KULLANILARAK
ENERJİ GERİ KAZANIMI

SELÇUK KUŞOĞLU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
ŞUBAT-2017

T.C.
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK FIRIN TEPE BASINCI TÜRBİNİ (TBT) KULLANILARAK ENERJİ
GERİ KAZANIMI

Selçuk KUŞOĞLU

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ danışmanlığında hazırlanan bu tez 27/02/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından ~~OYBİRLİĞİ~~ ~~OY ÇOKLUĞU~~ ile kabul edilmiştir.


Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ

Başkan


Prof. Dr. Ertugrul BALTACIOĞLU

Üye


Prof. Dr. Hüseyin AKILLI

Üye

Kod No: 039


Doç. Dr. Mustafa DEMİRCİ
Enstitü Müdürü V.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

27.02.2017

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Selçuk KUŞOĞLU

ÖZET

YÜKSEK FIRIN TEPE BASINCI TÜRBİNİ (TBT) KULLANILARAK ENERJİ GERİ KAZANIMI

Dünyadaki birçok sanayi ve demir çelik sektörü içinde bulunduğu sektörde tutunmak ve rekabet yarışında yeter seviyede kalmak çabası ile üretim kapasitesi, standartlara ulaşma çabası ve yüksek kalite düşük maliyet stratejilerinin yanı sıra enerji fiyatlarının sürekli değişken ve enerji maliyetinin yüksek olması sebebiyle enerji tasarrufuna yönelmiştir. Enerji tasarrufu, öngörülebilir kazançların artırılması, maliyet ve enerji kaynaklarına bağımlılığın azaltılması açısından önemli bir yoldur. Ekonomik olarak, enerji verimliliğinin artırılması, ilave yeni enerji kaynaklarının devreye sokulması için yapılacak yatırımlardan daha caziptir. Enerji tasarrufu araçlarından olan Yüksek Fırın Tepe Basıncı Türbini (TBT) ile enerji geri kazanım sistemi, Yüksek Fırın Sisteminin yan ürünü olan Yüksek Fırın Gazının (YFG) basınç farkından yararlanılarak bir türbin sisteminde geçirilerek elde edilen mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrildiği bir sistemdir. Bu sistem, yıllardır dünya üzerinde Brezilya, Çin, Japonya, Almanya, İtalya, Güney Kore gibi ülkelerde ve en son olarak da ülkemizdeki demir-çelik sektöründe uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, TBT sistemi Sisteminin dünya üzerindeki yeri, kurulumunun sahip olduğu işletmelere getirileri, Yüksek Fırın tepe basıncı türbin sistemine sahip olan ülkelerin sayısal istatistikleri ve teknolojik avantajları ile ilgili veriler incelenmiştir. Örnek bir işletmeye ait Yüksek Fırın tepe basıncı türbin sistemin yapımı aşamasındaki fizibilite çalışmaları ile ilgili teknik ve finansal analizler yapılmış, yatırımın yaklaşık kurulum ve işletme maliyetleri, toplam maliyet ve geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Sonuç olarak; toplam yatırım maliyetinin 15.500.000 TL olan sistemin yıllık ortalama tepe basıncı 1,55 bar olup bu basınca bağlı jeneratör çıkış gücü 5.071 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık çalışma süresi 8000 saat olarak alındığında yıllık üretim miktarı 40.568 MWh ve toplam tasarruf miktarı 3.490 TEP/yıl olup bu üretim miktarına bağlı Karbon salınımı azalımı miktarı 35.118 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Sistem ile ilgili maliyet ve enerji hesaplamalarına bakıldığında projenin geri ödeme süresinin 1,6 yıl olduğu görülmüştür.

2017, 65 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yüksek Fırın gazı, enerji geri kazanımı, tepe basıncı türbin sistemi

ABSTRACT

ENERGY SAVING BY USING BLAST FURNACE TOP PRESSURE RECOVERY TURBINE SYSTEM

In many industry and Iron-Steel sector keep to hold on sector in which and the effort for keeping the position at enough level with production capacity at competition race, efforts for achieving standard and besides high quality low cost strategies because of variable energy prices and high energy cost entailed energy saving. Energy saving is an important way to increase predictable winnings and decrease dependence on costs and energy supply. Economically, increase of energy productivity is more attractive than investing for putting into use extra new energy sources. Top Pressure Recovery Turbine System which is taking advantage of pressure difference of Blast Furnace Gas by converting mechanical energy to electrical energy which is tool of energy saving and using at iron and steel industry in Brasil, China, Germany, Italy and South Korea.

In this study, it will be analyzed importance of TRT system of the world, returns to sector using, statistics of the countries which have TRT system and the advantages of which are technology. It will be calculated installation and operation costs, total costs and payoff period about TRT system of a sample factory. It will be carried out feasibility study during the installation time. As a result; the system which total investment cost is 15.500.000 TL, the annual average top pressure is 1,55 bar and the output power of the generator is calculated as 5.071 kWh. When the annual working time is taken as 8.000 hours, the annual production amount is 40.568 MWh and the total saving amount is 3.490 TEP / year and the amount of C emission reduction due to this production is calculated as 35.118 tons / year. Depend on the cost and energy calculations related to the system, it is seen that the repayment period of the project is 1,6 years.

2017, 65 pages

Key Words: Blast Furnace gas, energy recovery, top pressure recovery turbine system

TEŞEKKÜR

Beni yüksek lisans öğrencisi olarak kabul eden, bu çalışmanın planlanması ve yürütülmesinde bana destek olan, bilgi ve tavsiyelerini benimle paylaşan danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Cuma KARAKUŞ' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca; gerekli kolaylığı gösteren şirketim İSDEMİR A.Ő. Yöneticilerine, bilgisini esirgemeyen, değerli görüş ve katkılarıyla beni yönlendiren Gaz İşletme Başmühendisi Sayın Ali Salim AKYOL'a ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi-manevi desteğini esirgemeyen güzel aileme en içten sevgi ve şükran duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları'nda Enerji Tasarrufu	5
1.2. TBT Sistemi ve Enerji Tasarrufu Açısından Önemi	8
1.3. Karbon Salınımı ve Çevresel Etkileri	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	15
3.1. Materyal.....	15
3.1.1. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları'na Enerji Tasarrufu Kapsamında TBT Sisteminin Kurulması	16
3.1.2. TBT Sistemi ve Ekipmanları.....	21
3.1.3. TBT Sistemi Faydaları	32
3.1.4. TBT Sistemi Dizaynına Bağlı Performans Değerlendirmeleri	33
3.1.5. Örnek Bir Yüksek Fırındaki TBT Sistemi Dizaynına Bağlı Performans Değerlendirmeleri.....	35
3.2. Yöntem	42
3.2.1. TBT Sistemi Performans Hesaplamaları.	42
3.2.2. Karbon Salınımı.....	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	48
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. 2035 yılı enerji talebinde enerji kaynaklarının payı	2
Şekil 1.2. 1990-2011 yılları Dünya birincil enerji arzı ve 2035 yılı projeksiyonu	3
Şekil 1.3. Bölge Bazında Enerji Talep Miktarları	4
Şekil 1.4. Türkiye’de üretilen, ithal edilen ve tüketilen enerji miktarı-milyon TEP	4
Şekil 1.5. Genel bir TBT resmi	8
Şekil 3.1. Kuru Tip TBT Sistemi akış şeması	18
Şekil 3.2. Yaş Tip TBT Sistemi akış şeması	18
Şekil 3.3. 2.500 m ³ hacimli bir Yüksek Fırına bağlı TBT sistemi	19
Şekil 3.4. 380 m ³ hacimli bir Yüksek Fırın için kurulmuş TBT sistemi	19
Şekil 3.5. 2x450 m ³ Yüksek Fırın için ortak jeneratör uygulaması	19
Şekil 3.6. TBT Sistemi akış şeması	21
Şekil 3.7. Türbin motor sistemi	22
Şekil 3.8. Güç üretim ve dağıtım sistemi	23
Şekil 3.9. Yağlama sistemi	23
Şekil 3.10. Elektrik aktuatörlü goggle vana	25
Şekil 3.11. Proses ve TBT ünitesi ekipmanları kontrol sistemi	26
Şekil 3.12. Kawasaki firması tarafından kurulmuş olan bir türbin sistemi	26
Şekil 3.13. TBT sistemi ekipmanları	27
Şekil 3.14. Kurulumu yapılmış TBT sistemi	27
Şekil 3.15. TBT ünitesi jeneratörü	28
Şekil 3.16. TBT ünitesi türbin kanatçıkları	28
Şekil 3.17. TBT ünitesi dış muhafazası	29
Şekil 3.18. TBT ünitesi rotoru	30
Şekil 3.19. TBT ünitesi stator kanatçıkları	30
Şekil 3.20. TBT ünitesi stator kanatçık taşıyıcıları	31
Şekil 3.21. TBT ünitesi rotor ve stator kanatçıkları	31
Şekil 3.22. TBT ünitesi stator bıçakları ayar mekanizması	32
Şekil 3.23. Türbindeki adyabatik genleşme	45
Şekil 4.1. Yüksek Fırın tepe basıncına bağlı jeneratör çıkış gücü ve yıllık getirisi	52
Şekil 4.2. Ocak 2014 Yüksek Fırın saatlik tepe basıncı ve üretilen güç grafiği	56
Şekil 4.3. Temmuz 2014 Yüksek Fırın saatlik tepe basıncı ve üretilen güç grafiği	58
Şekil 4.4. Ağustos 2014 Yüksek Fırın saatlik tepe Basıncı ve üretilen güç grafiği	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Entegre Demir Çelik Tesislerinde kullanılan enerji girdileri ve kullanım yerleri	6
Çizelge 1.2. İskenderun demir çelik Fabrikaları yıllara göre enerji tasarrufu değerleri .7	
Çizelge 3.1. TBT sistemi için tasarım parametreleri.....	16
Çizelge 3.2. Sinosteel Mecc. Firması TBT sistemi referans listesi.....	20
Çizelge 3.3. Yüksek Fırınlr teknik detayları	33
Çizelge 3.4. TBT sistemi performans değerlendirmeleri	34
Çizelge 3.5. 2014 Yılı Yüksek Fırın sistemi aylık ortalama işletme verileri.....	36
Çizelge 3.6. Ocak 2014 Yüksek Fırın sistemi günlük işletme verileri.....	37
Çizelge 3.7. Temmuz 2014 Yüksek Fırın sistemi günlük işletme verileri.....	38
Çizelge 3.8. Yüksek Fırın sistemi 27.01.2014 tarihli günlük işletme verileri	39
Çizelge 3.9. Yüksek Fırın sistemi 03.01.2014 tarihli günlük işletme verileri	40
Çizelge 3.10. Yüksek Fırın sistemi 14.07.2014 tarihli günlük işletme verileri	41
Çizelge 3.11. Isı kapasitesi oranı(k) sabitinin belirlenmesi	43
Çizelge 4.1. TBT sistemi güç hesaplamaları sonuçları	50
Çizelge 4.2. Yüksek Fırın tepe basıncına bağlı jeneratör çıkış gücü ve yıllık getirisi ..51	
Çizelge 4.3. Yıllık çalışma saatine ve elektrik üretimine bağlı C salınım azaltımı	53
Çizelge 4.4. Ocak 2014 Yüksek Fırın saatlik tepe basıncı ve üretilen güç değer tablosu	55
Çizelge 4.5. Temmuz 2014 Yüksek Fırın saatlik tepe basıncı ve üretilen güç değer tablosu..57	
Çizelge 4.6. Ağustos 2014 Yüksek Fırın saatlik tepe basıncı ve üretilen güç değer tablosu...59	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

A	: Akım (Amper)
F	: Kuvvet (Newton)
m	: Kütle (Kilogram)
R	: Direnç (Ohm)
T	: Sıcaklık (Kelvin)
P	: Basınç
C_p	: Özgül Ağırlık
W	: Watt
h	: Entalpi
η	: Verim
m^3/saat	: Debi
CO	: Karbon monoksit
N_2	: Azot
CO_2	:Karbondioksit
O_2	: Oksijen
H_2	: Hidrojen
Q	: Kalori

KISALTMALAR

TBT	: Yüksek Fırın tepe basıncı türbini
$(W_{12})_{rev}$: İdeal tersinir isentropik genişlemenin(1--2') meydana geldiği durumdaki elde edilebilecek maksimum iş (kJ/kg)
W_{t12}	: Tersinmez adyabatik genişleme şartlarındaki elde edilebilecek iş(kJ/kg)
W_{v12}	: İsentropik genişlemeye göre açığa çıkan iş kaybı(kJ/kg)
Δh_s	: Tersinir genişlemedeki isentropik entalpi eğrisi(kJ/kg)
Δh	: Tersinmez genişlemedeki isentropik entalpi eğrisi(kJ/kg)
η_{sT}	: İsentropik türbin verimi
η_m	: Yatak sürtünme mekanik verimi
η_G	: Jeneratör verimi
m'	: Kütleli gaz debisi(kg/s)
P_{12}	: Şaft üzerindeki türbin gücü(kW)
P_{W12}	: Şaft üzerindeki türbin gücü(kW)
P_{G12}	: Jeneratör terminal gücü(kW)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
THÇ	: Ton Ham Çelik
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
UETM	: Ulusal Enerji Tasarrufu Merkezi
mmSS	: Milimetre Su Sütunu
SHD	: Sıvı Ham Demir
dB	: Desibel
YFG	: Yüksek Fırın Gazı
YF	: Yüksek Fırın
Nm^3	: Normal metreküp – 0 °C sıcaklık ve 1,01325 bar basınçtaki gazın hacmi

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji, her geçen gün insan hayatında giderek önemi artan vazgeçilmez bir olgu haline gelmiş olup ülkelerin kalkınmasında en önemli araçlardan biridir. Gelişmekte olan ülkelerden biri olan ülkemizde gelişen ekonomi ve refah seviyesine ek olarak sanayi ile birlikte nüfus artışı enerji arzının da artışına sebep olmaktadır. Her geçen gün artan enerji fiyatlarının sürekli değişken olması ve enerji maliyetinin yüksek olması açısından büyük bir maliyet faktörü haline gelmiştir. Bu durum dünyadaki enerji ihtiyacının %15'ine sahip olan sanayi ve demir çelik sektörünün enerji tasarrufuna ve buna bağlı olarak her tüketicinin bir üretici olması döneminin başlamasında rol oynamaktadır.

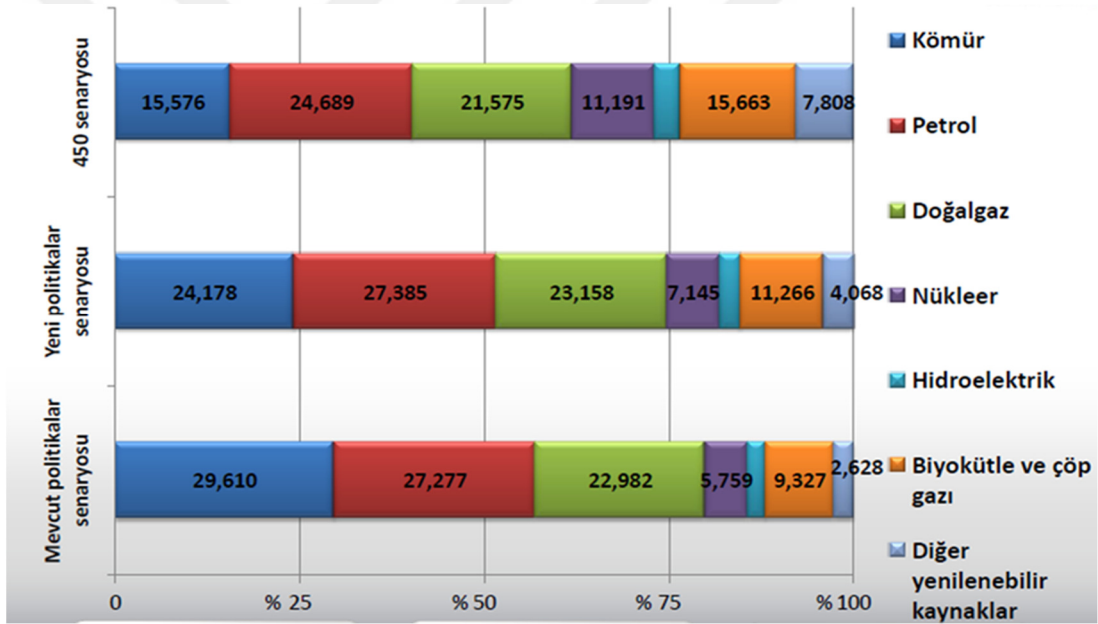
Enerji verimliliğinin artırılması amacıyla yapılan yeni yatırımlara kıyasla ilave yeni enerji kaynaklarının devreye sokulması, maliyet ve enerji kaynaklarına bağımlılığın azaltılması açısından daha önemli bir yoldur. Bu amaçla tasarruf edilerek kazanılabilecek enerjiyi üretmek için pahalı yatırımların yapılması daha uzun zaman ihtiyacını ortaya çıkarmakta olup yapılacak enerji tasarrufu ile daha hızlı ve ucuza elde etmek mümkün olmaktadır (Anonim, 1998).

Fosil kaynaklar sektördeki büyük paya sahip olması ile birlikte fosil kaynaklı yakıtların sınırlı ve çevresel etkilerinin yanı sıra enerji maliyetlerinin yüksek olması yenilenebilir enerji kaynaklardan üretim şekilleri, enerji iletimi ve depolama yöntemlerinin önemini de azımsanmayacak oranda artırmaktadır. Bu da dünya ülkelerini sanayi ve demir çelik, bina ve ulaştırma sektörlerinde her geçen gün daha yenilikçi, çevreci ve enerji-verimli ürünleri geliştirmeye yönlendirmektedir. Bu çerçevede; enerji üretimi ve iletiminden nihai tüketimine kadar ki bütün aşamalarda enerji verimliliğinin geliştirilmesi, bilinçsiz kullanımın ve israfın önlenmesi, enerji yoğunluğunun gerek sektörler bazında gerekse makro düzeyde azaltılması ulusal enerji politikalarının öncelikli ve önemli bileşenlerindedir.

Enerji verimliliği, gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkelerde güncelliği yüksek bir politika alanıdır. Başta ABD, Japonya ve AB ülkeleri olmak üzere, bu konuda yeni yasal düzenlemeler yapılması için adımlar atılmakta, ulusal ve sektörel hedefler belirlenmektedir. Dünyada enerji verimliliğine verilen bu önem, çevresel kaygıların yanı sıra, endüstriyel ve ekonomik kaygıların da bir ürünü olarak düşünülebilir. Özellikle

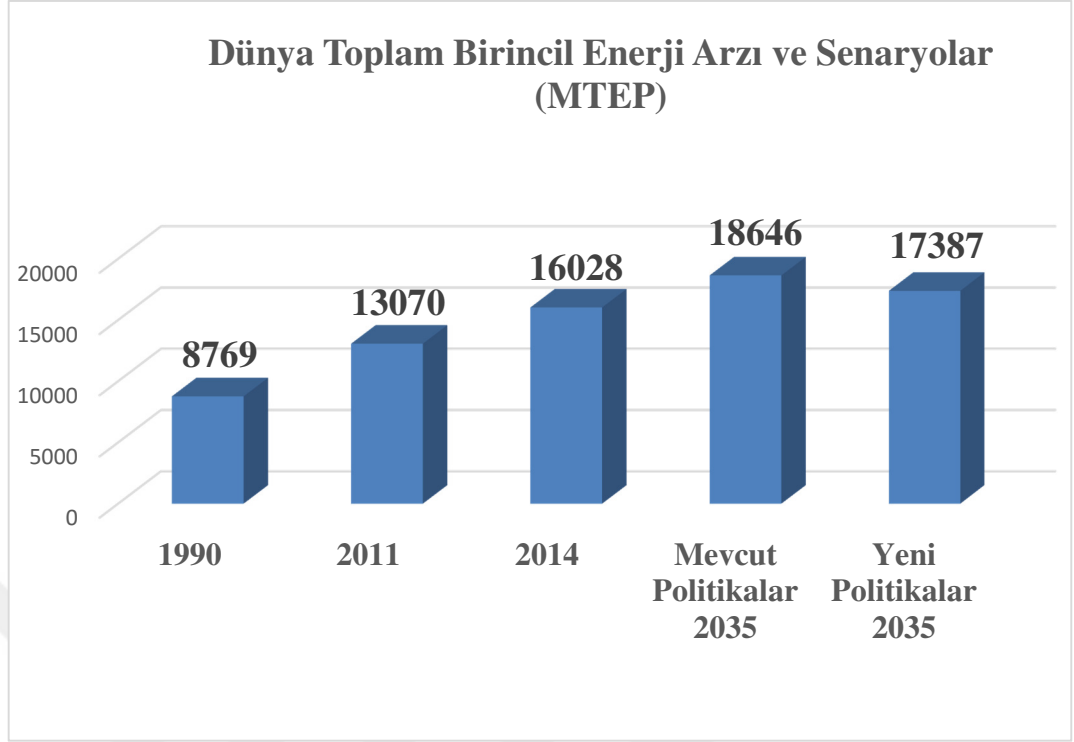
2007-2008 küresel finansal krizinden sonra, başta ABD olmak üzere birçok gelişmiş ekonominin bu konuda somut adımlar atmak veya mevcut yapılarını güçlendirmek konusunda harekete geçtiği gözlemlenmektedir.

1990-2016 yılları arasında geçen yirmi altı yılda Dünyada birincil enerjinin arzında ve Dünya elektrik üretimindeki kaynakların paylarında önemli gelişmeler ve değişiklikler olmuştur. Bu gelişmelere göre, Dünyada enerji alanında gelecekteki talepleri karşılamak için senaryolar yapılmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı, Dünyadaki iklim değişikliği, kullanılan kaynakların giderek azalması, teknoloji ve enerji verimliliğindeki gelişmeler, ekonomik ve sosyal şartların getireceği zorunluluklar düşünülerek senaryolar yapmaktadır. Bu çerçevede, mevcut politikalar dışında yapılan, Yeni Politikalar ve 450 Senaryolarında, 2035 yılında Dünya birincil enerji arzı toplamında ve kaynakların kompozisyonunda mevcut trendin dışına çıkılacağı öngörülmektedir.



Şekil 1.1. 2035 yılı enerji talebinde enerji kaynaklarının payı (UEA, 2011)

2035 yılı enerji talebinde enerji kaynaklarının payı Şekil 1.1’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre 2035 yılında mevcut politikalara bağlı kalındığında kömür kullanım oranının yaklaşık %30 oranında diğer yenilenebilir kaynakların oranının ise yaklaşık %2,6 olacağı öngörülmektedir. 450 senaryosuna bakıldığında ise kömür kullanım oranının yaklaşık %15 seviyelerine düştüğü diğer yenilenebilir kaynakların oranının ise yaklaşık %8 oranına kadar yükseleceği öngörülmektedir.

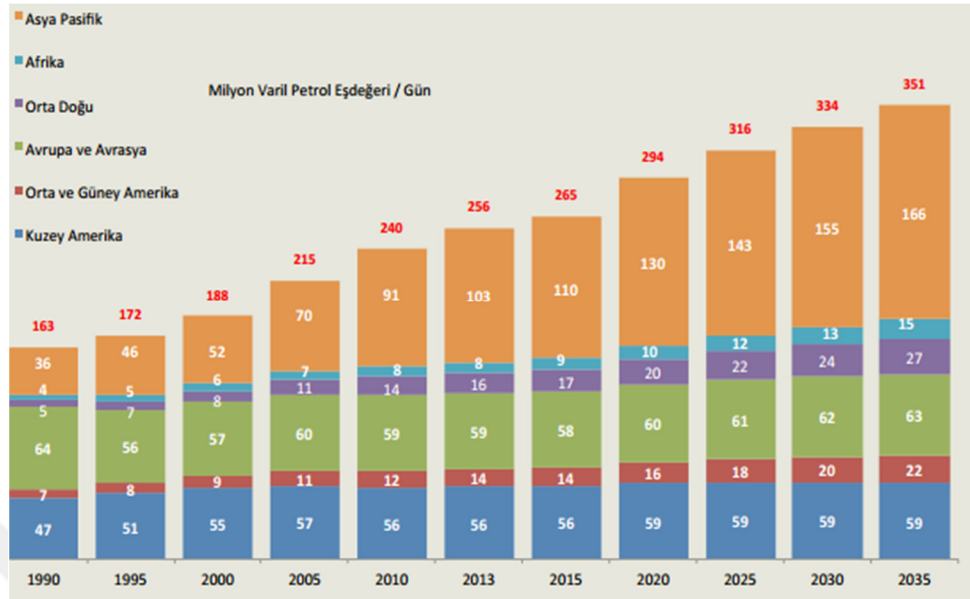


Şekil 1.2. 1990-2011 Yılları Dünya Birincil Enerji Arzı ve 2035 Yılı Projeksiyonu (Uluslararası Enerji Ajansı, IEA 2013)

1990-2011 Yılları Dünya Birincil Enerji Arzı ve 2035 Yılı Projeksiyonu Şekil 1.2’de görülmektedir. Şekil incelendiğinde Dünya 2035 yılı toplam enerji arzında; mevcut politikalarla 2011 yılına göre, %43 oranında artışla, 18.646 MTEP olması öngörülürken, yeni politikalar senaryosuna göre, %33 artışla ile 17.387 MTEP olacağı tahmin edilmektedir. (Uluslararası Enerji Ajansı, IEA, 2013) Bölge bazında enerji talep miktarları ise Şekil 1.3’te verilmiştir.

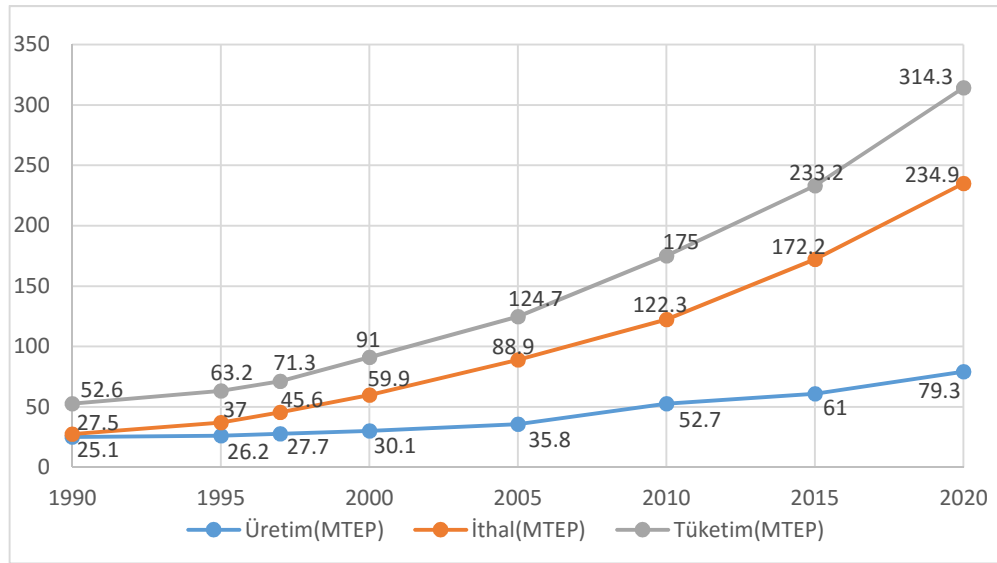
“Yeni Politikalar” başlıklı senaryoya göre, küresel enerji talebinin, 2035 yılına doğru, hükümetlerin izleyecekleri politikalara bağlı olarak, mevcut talebin yaklaşık 1,4 katına çıkması beklenmektedir. Uzun dönemli enerji projeksiyonları değerlendirildiğinde büyük ölçüde OECD dışı ülkelerin tüketimlerindeki artış dikkati çekerken, enerji arzı da yükselmektedir. Özellikle Asya Pasifik bölgesinde enerji arzının 1,5 katına çıkması en dikkati çeken husustur. Özellikle OECD dışı ekonomilerde Çin ve Hindistan’ın ekonomik performansları dikkat çekmektedir. Bu kapsamda Çin’in son dönemde başlattığı enerji yoğunluğunu düşürmeye yönelik politikaların uzun dönemde de devam etmesi beklenmektedir. Enerji talebine ilişkin trendler değerlendirildiğinde enerji

hammadelerinin Asya Pasifik bölgesine doğru akacağı değerlendirilmektedir (Uluslararası Enerji Ajansı, IEA 2013).



Şekil 1.3. Bölge Bazında Enerji Talep Miktarları (BP Energy Outlook to 2035)

Ülkemizdeki ise 1990 yılındaki enerji üretimi 25,1 MTEP iken bu değer 2000 yılında %19,9 artışla 30,1 MTEP değerine ulaşmış olup 2020 yılındaki tahmini üretimi %163,5 artışla 79,3 MTEP olması beklenmektedir. Türkiye’de üretilen, ithal edilen ve tüketilen enerji miktarı milyon TEP bazında Şekil 1.4’te verilmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye’de üretilen, ithal edilen ve tüketilen enerji miktarı-milyon TEP (1990 yılı itibarıyla, 2000-2020 tahminleri dahil). (Anonim, 1996)

Türkiye demir çelik sanayisinde 2001 yılından itibaren hızlı bir büyüme sürecine girmiş ve Türkiye'nin ham çelik üretim kapasitesi 2000 yılındaki 17,5 milyon ton seviyesinden, % 70 oranında artışla, 2008 yılında 29,7 milyon ton seviyesine yükselmiştir. Aynı dönemde, elektrik ocaklarının üretim kapasitesi % 91 oranında artışla, 13,6 milyon tondan, 26,1 milyon tona yükselirken, entegre tesislerin kapasitesi, % 30 oranında artışla, 8 milyon tona yükselmiştir.

2000 yılında dünya sıralamasında 17. ve Avrupa sıralamasında 5. konumdan, 2005 yılında dünyanın en büyük 11., Avrupa'nın ise 3. çelik üreticisi konumuna, 2016 yılının ilk 7 aylık döneminde % 21 oranındaki üretim artışı ile büyük çelik üreticisi ülkeler arasında üretimini en fazla artıran ülke konumunu sürdürerek, dünya sıralamasında 10'uncu sırada yer almıştır.

2016 yılı Haziran ayında 127,7 milyon tona ulaşan dünya ham çelik üretimi, Temmuz ayında 2015 yılına kıyasla % 11,5 oranında artışla, 127,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2016 yılı Ocak-Temmuz döneminde ise dünya ham çelik üretimi de 2015 yılı aynı dönemine göre % 8,3 oranında artışla, 819 milyon tondan 887 milyon tona yükselmiştir. Söz konusu dönemde ise Türkiye 19 milyon 262 bin tonluk ham çelik üretimi gerçekleştirmiş olup 2015 yılı aynı döneminde 15 milyon 917 tonluk üretim gerçekleştirmiştir. Türkiye'yi % 19,2 oranındaki üretim artışı ile 12'nci sırada yer alan Tayvan ve % 18,9 oranındaki üretim artışı ile de 6'ncı sırada yer alan Güney Kore takip etmiştir. Öte yandan üretim sıralamasında ilk sırada yer alan Çin'in ham çelik üretimi bir önceki yılın aynı dönemine göre % 10,3 oranında artarak 410 milyon tona yükselmiştir. En büyük 15 çelik üreticisi arasında ikinci sırada yer alan Japonya'nın üretimi % 1 oranında gerilerken, üçüncü sırada yer alan ABD'nin ham çelik üretiminde % 5,2 oranında artış görülmüştür. Türkiye ise 2015 yılı itibari ile üretimini % 19,3 oranında artışla 2,4 milyon tondan 2,8 milyon tona yükselterek, Ukrayna'nın önüne geçmiş ve dünyanın en fazla ham çelik üreten 9'uncu ülkesi olmuştur (Anonim, 2016a).

1.1. İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları'nda Enerji Tasarrufu

Türkiye'deki Entegre Demir Çelik Fabrikalarında tasarruf potansiyelinin belirlenmesi için öncelikle ortak bir biçim oluşturulması belirlenmiş ve bu biçim YEGM/UETM (Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü - Ulusal Enerji Tasarrufu

Merkezi) tarafından oluşturularak İskenderun, Karabük ve Ereğli Demir Çelik Fabrikaları için enerji tasarrufunun hangi yollarla ve ne kadar verim alınabileceği incelenmiştir.

Enerji tasarrufu yatırımları kapsamında atık ısıların değerlendirilmesine yönelik enerji geri kazanım projelerine başlayan Ereğli Demir Çelik Fabrikaları, 2013'te Sinter Ana Fan ve Motor Sistemlerinin Yenilenmesi, Sinter Dairesel Soğutucu Atık Isı Kazanı ve Descale Pompa AC Sürücü yatırımlarını hayata geçirdi. Bununla birlikte, Kojenerasyon Tesisleri Atık Isı Kazanlarına İlave Yanma Sistemi, 3. Slab Fırını Modernizasyonu ve Evaporatif Soğutma Sistemi (ECS) İyileştirme Projesi ve TBT Sistemi projelerinin tamamlanmasıyla önemli ölçüde enerji tasarrufu sağlamayı başarmıştır.

Entegre demir çelik tesislerinde kullanılan enerji girdileri ve kullanım yerleri Çizelge 1.2'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, Entegre demir çelik tesislerinde metalürjik kok, enjeksiyon kömürü, elektrik, fuel-oil, doğalgaz, LPG ve yan ürün gazları başlıca enerji girdileri olarak kullanılmaktadır. Bu girdilerin yanı sıra Yüksek Fırın, Kok ve Çelikhane Gazları yan ürün yakıtları olmakla beraber tesislerin enerji ihtiyacının sadece bir kısmını karşılayabilmektedir. Geri kalan enerji ihtiyacı satın alınan LPG, fuel-oil, doğalgaz ve elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır.

Çizelge 1.1. Entegre demir çelik tesislerinde kullanılan enerji girdileri ve kullanım yerleri (Anonim, 2014a)

Yakıt Cinsi	Kullanım Yeri
Metalürjik kok	Yüksek Fırın ve Sinter
Enjeksiyon Kömürü	Yüksek Fırın
Elektrik	Tüm Proses
Doğalgaz	Kuvvet Santrali, Tavlama Fırınları ve proses
Yan Ürün Gazlar(Yüksek fırın Gazı, Çelikhane Gazı, Kok Gazı)	Kuvvet Santrali, Tavlama Fırınları ve proses

İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları üretim kapasitesini sürekli artırarak büyümeye devam etmiş ve yaptığı yatırımlarla üretim miktarını 2016 yılında 5,25 milyon ton/yıl değerlerine çıkarmıştır. Enerji tasarrufu ihtiyacı, işletme maliyetlerini düşürmek ve

sürekliğini sağlamak, sürekli gelişen sektörde rekabet içerisinde olmak ve bu hedefi en üst düzeylere çıkarmak açısından da çok büyük önem arz etmektedir.

Türkiye’de İsdemir, Erdemir ve Kardemir olmak üzere üç entegre demir ve çelik tesisinden; toplam kapasitede ikinci, uzun ürün üretiminde birinci tesisi olan İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları Şubat 2002 tarihinde özelleşme sürecine girerek üretim kapasitelerinin artırılması ile paralel enerji tasarrufu çalışmalarını da başlatmış ve üretim kapasitesi sürekli artırılırken enerji tüketimi de azaltmıştır. 2001 yılında yaklaşık 8.000 Mcal/THÇ civarlarına olan spesifik enerji tüketimi 2011 yılında 5.000 Mcal/THÇ altına düşmüş olup bu değer 2016 yılında 4.700 Mcal/THÇ civarlarında seyretmiştir.

Uygulanan enerji tasarrufu çalışmaları sonucunda Ereğli Demir Çelik Fabrikaları, 1982 yılından bu yana takip ettiği spesifik enerji tüketiminde %44,5, İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları ise 2001 yılı değerinden bu yana %38,5 tasarruf sağlamıştır.

İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları Yüksek Fırınlara, Kok Bataryaları, Sinter fabrikaları, Kireç Fırınlara, Kangal Haddehanesi, Sıcak Haddehane, Kuvvet Santrali, Hava Ayırıştırma ve Turbo Körük tesisleri gibi tesislerinde yapmış olduğu enerji tasarrufu projeleri yıllara göre enerji tasarrufu değerleri Çizelge 1.3’te belirtilmiştir.

Çizelge 1.2. İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları yıllara göre enerji tasarrufu değerleri (Anonim, 2013a)

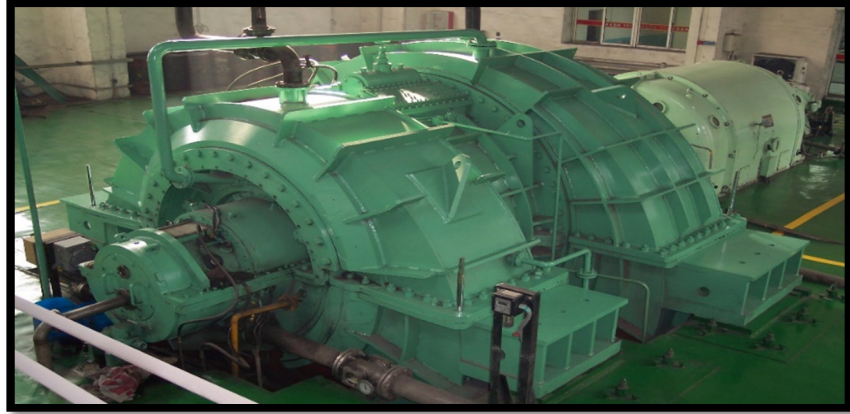
Yıl	İyileştirme Adedi	Enerji Tasarruf Miktarı
2002	2	14,557 TEFO*/yıl
2003	1	12,937,988 TEFO*/yıl
2004	4	141,070 TEFO*/yıl
2005	5	47,419 TEFO*/yıl
2006	5	81,446 TEFO*/yıl
2007	3	45,560 TEFO*/yıl
2008	3	69,530 TEFO*/yıl
2009	1	27,559 TEFO*/yıl
2010	1	529 TEFO*/yıl
2011	1	1,447 TEFO*/yıl
2012	1	11,427 TEFO*/yıl

Enerji sektörü tüm dünyada önemli bir dönüşüm geçirmekte olup yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelişimi ve maliyetlerin düşmesiyle birlikte artık her tüketicinin aynı zamanda bir üretici olması bambaşka bir dönemin başladığını göstermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda spesifik enerji tüketiminin azaltılması amacıyla yüksek verim sağlayan aydınlatma sistemlerinin kullanılması, yüksek verimli motorların kullanılması, yüksek verimli soğutma sistemlerinin tasarlanması, hat izolasyonlarının yapılması, sistem yalıtımlarının yapılması, atık ısı sistemleri, sistem parametrelerinin plc üzerinden sürekli izlenmesi gibi yöntemlerin bir tanesi de Tepe Basıncı Türbin sistemi olup bu sistem Yüksek Fırınlarda tepe basıncı geri kazanımı sağlayan bir türbin sistemidir.

1.2. TBT Sistemi ve Enerji Tasarrufu Açısından Önemi

TBT sistemi, yüksek fırınlarda proses gereği yan ürün olarak elde edilen yüksek fırın gazının genişletilerek basıncın düşürülmesi yerine, gazın basınç enerjisinden yararlanılarak herhangi bir ilave yakıt tüketmeden elektrik enerjisi üretilmesi esasına dayanan türbin-jeneratör sistemidir.

TBT sistemi, yüksek fırınlar tepe basıncını kontrol ederken yüksek fırın tepe mekanizmasından gaz temizleme tesisine aktarılan yüksek fırın gazının içerdiği enerjiden faydalanılarak (yakılmaksızın) bir türbinin çalıştırılması ve türbin miline bağlı bir jeneratör sistemi ile elektrik üretilmesini hedeflemektedir. Genel bir TBT sistemine ait detay Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Genel bir TBT resmi (Anonim, 2008)

Yüksek Fırınların sinter, pelet, parça cevher ve metalürjik kok şarj ederek sıvı ham demir elde edilir. Sıvı ham demir üretimi sırasında kimyasal reaksiyonlar sonucu açığa çıkan yüksek fırın gazı içerisinde CO ve H₂ ihtiva etmesi sebebiyle yanıcı bir gazdır. Yanıcı bir gaz olması sebebiyle Yüksek Fırınların arkasında bulunan Gaz Temizleme Ünitelerinde soğutma ve içerisinde ihtiva ettiği tozu temizleme işlemi sonrası yüksek fırın gazı kolektöründe taşınarak tüketici ünitelerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Yüksek Fırınların sıvı ham demiri üretimi aşamasında oluşturması gereken tepe basıncı fırınlara ait tepe basıncı ayar valfleri ile sağlanmakta olup fırın içi ile gaz kolektörü şebeke basıncı arasında yaklaşık 25-30 kat fark bulunmaktadır. Örneğin 2.5 bar tepe basıncına sahip bir Yüksek Fırında Yüksek Fırın Gazı şebeke basıncı yaklaşık 700-800 mmSS olduğunu varsayarsak bu oran yaklaşık 30 kattır.

TBT sistemi dünya üzerinde Brezilya, İtalya, Çin, Japonya, Güney Kore, Almanya, Türkiye gibi ülkelerdeki demir-çelik sektöründe kullanılmaktadır. Bu tesisler, 1970'li yıllarda yaşanan petrol krizinden sonra Avrupa ve özellikle enerji açısından dışa bağımlı olan Japonya'da entegre demir çelik sektöründe yaygın olarak kurulmaya başlanmıştır. Japonya ve Kore'deki entegre tesislerin %100'ünde, Çin'deki çalışmakta olan entegre demir çelik tesislerin ise 560 adedinde TBT sistemi bulunmaktadır.(Shaangu Firması referans listesi (397 adet), Chengdu Firması referans listesi (140 adet), Mitsui Engineering Firması referans listesi(23 adet), 2013). Ülkemizde ise 2016 yılında İskenderun Demir Çelik Fabrikaları'na bağlı 3. ve 4. Yüksek Fırın olmak üzere iki adet TBT sistemi işletmeye alınmıştır.

Bu çalışmada, TBT sistemlerinin kurulması öncesi Fizibilite aşaması, TBT sisteminin kurulabilmesi için gerekli olan yüksek fırınlar işletme şartları, mevcut yüksek fırınların kapasiteleri, türbin sisteminin çalıştırılması için gerekli olan yüksek fırın gazının teknik özelliklerine (içerisindeki toz miktarı, nem miktarı, gazın kolektördeki hızı, temiz gaz sıcaklığı, kolektör basıncı, gaz debisi) bağlı olarak kurulabilecek TBT sisteminin kapasitesi, tipi, genel ekipmanları belirlenerek sistem için gerekli olan en uygun TBT sistemi seçimi yapılması aşamaları incelenmiştir. Seçimi yapılan TBT sistemi için yüksek fırınların çalışma şartlarına(tepe basıncı, üretilen yüksek fırın gazı debisi, üretilen yüksek fırın sıcaklığı v.s.) bağlı TBT sisteminde üretilen güç hesaplamaları yapılmıştır.

1.3. Karbon Salınımı ve Çevresel Etkileri

Karbondiyoksit (CO₂) salınımı, karbon içeren yakıtların (fosil yakıtlar: petrol, doğal gaz, kömür vb.) yanması sonucu karbondiyoksitin oluşarak atmosfere karışmasıdır. Hava kalitesini olumsuz etkilemesinin yanında en çok üzerinde durulan önemi atmosferde yükselerek sera gazı etkisine yol açmasıdır. Yani yeryüzünden yansıyan güneş ışınlarının uzaya çıkmadan tekrardan dünyaya dönmesiyle yer kürenin sıcaklığının artmasına neden olmasıdır. Karbondiyoksit dışındaki çeşitli gazlar da (metan, karbonmonoksit, azot oksitler) benzer etkiye yol açmakta ve bunların etkisi de eşdeğer etki miktarındaki karbondiyoksit ile ölçülmektedir.

Kurumsal faaliyetlerin, ürünlerin veya hizmetlerin yüksek karbon salınımına sebep olması işletmeleri iş süreçlerini tekrar değerlendirip düşük karbonlu yaklaşımlara yöneltmiştir. Ülkemizde iklim değişikliği ile mücadele, 2009 yılında Kyoto Protokolü'nün ardından 2010 yılında hız kazanmıştır. Ayrıca karbon dioksit (CO₂) salınımının azaltılması amacıyla temel uluslararası strateji belgelerinden olan Birleşmiş Milletler'in "İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi imzalanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Junichiro ve ark. (2007), yapmış oldukları çalışmada Dünya demir-çelik sektöründeki bölgelere bağlı CO₂ salınımı azaltma potansiyelleri ve teknolojik olanakların minimum maliyetlerini değerlendirmişlerdir. Mevcut çelik üretim tesisleri, enerji tasarruf teknolojileri ve küresel enerji sistemi modeli incelenerek modellenmiştir. Yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya olmak üzere iki tür hedef ele alınmış ve aşağıdan yukarıya tip hedeflerinde çelik sektöründe enerji verimliliği hedefleri etkin teknolojik tepki-maliyet bağıntısı ve salınım azaltma yolları incelenmiştir. Modelleme ile ilgili iyileştirmelerin yapılması amacıyla 2020'li yıllarda çelik sektöründeki kok kuru söndürme (CDQ), kok gazı geri kazanımı (COG) düşük ölçekli enerji verimliliği, TBT sistemi ve plastik atıkların geri kazanımı gibi yüksek ölçekli enerji verimliliğine sahip sistemlerin incelenmesi ve modellemesi çalışmaları yapılmıştır. Yazarlar, 2030 yılında enerji verimliliği tahmini olarak 15% oranında artacağını ve TBT sistemi, yeni nesil kok fırınlarının inşa edilmesi, oksijen gazı geri kazanım tesisleri, kok kuru söndürme tesisleri çelik üretim endüstrisindeki enerji verimliliğinin hedefine ulaşmasında büyük rol oynadığını belirtmiştir.

Guo ve Fu (2009), yapmış olduğu çalışmada 2004 yılı verilerine göre Japonya(656 kg/t) ile karşılaştırdığımızda 705 kg/t ile spesifik enerji tüketimi 7,5 % oranında daha yüksektir. Süreç içinde spesifik enerji tüketimini düşürmek amacıyla kok kuru söndürme teknolojisi, pulvarize kömür enjeksiyon teknolojisi ve TBT sistemi teknolojisi kullanılmıştır. TBT sisteminin kullanılmasıyla Yüksek Fırınlardaki enerji tüketimin 30% kadar kısmının geri kazanılabildiği ve enerji tüketim değerinin 11kg/t kadar azaldığı belirtilmektedir. 2007 yılının sonlarına Çin'de 2000 m³ hacmin üzerindeki 49 adet Yüksek Fırına TBT sistemi kurulmuş olup 2030 yılına kadarki süreçte tesis edilen ve edilecek büyük hacimli tüm Yüksek Fırınlara TBT sisteminin kurulmasına devam edilmesi planlanmaktadır.

Johansson ve Söderström (2010), yapmış oldukları çalışmada artan enerji fiyatları tehdidi ve küresel ısınmanın çevresel problemlerinin endüstride büyük endişeleri de beraberinde getirdiğini belirtmiştir. Bu durum rekabet gücünü azaltmadan kaynak verimliliğinin artırılması ve gaz salınımlarının azaltılması mücadelesine sebep olmuştur. 2008 yılında İsveç'teki enerji ihtiyacı 151 TWh ve toplam enerji talebinin yaklaşık %38

karşılanmakta olduğu belirtilmiş olup enerji kullanımında ikinci sırada olan demir çelik endüstrisi toplam enerji kullanımının %15'ine sahiptir. Ülkede yakıt olarak büyük miktarda fosil kömür kullanılması sebebiyle önemli ölçüde CO₂ salınımını ortaya çıkarmaktadır. 2008'de demir çelik endüstrisinde CO₂ salınımı 6,6 milyon tonlara ulaşmış olup toplam sanayi CO₂ salınım oranının %33'sini oluşturmaktadır. İsveç demir çelik endüstrisinin birincil enerji kaynağı metalürjik kömür, kok ve elektriktir. Elektrik, elektrik ark ocaklarında hurda eritme, haddehanelerde ısıtma ve ısı işleme proseslerinde, haddehane merdanelerinin hareket vermek amacıyla kullanılmaktadır. Tüm AB üyesi ülkelerinin karbon salınımını 2030 yılına kadar %40 oranında azaltacağını belirtmişlerdir. Entegre tesislerde sıvı ham demir, çelik ve kok üretimi sırasında yanıcı proses gazları ile kombine çevrim santrallerinde elektrik üretimi sağlanmaktadır. Bunun yanı sıra yüksek fırınlarda açığa çıkan gaza ait sıcaklık ve basıncın içerdiği enerjiyi TBT ile elektrik üretimi sağlanabileceğini belirtmişlerdir. TBT sisteminde yaklaşık olarak 40-60 kWh/ton sıvı ham demir enerji elde edilebilmekte olup bu enerji turbo körüklerin enerji ihtiyacının %30'unun geri kazanımının yapılabileceğini ifade etmişlerdir.

Wu ve Yang (2011), yapmış oldukları çalışmada sanayideki enerji tüketiminin %70'inin demir çelik sektöründe olduğunu bu tüketimin ise %39'unun Yüksek Fırınlara, %11,9'unun kok fabrikalarına, %7,77'sinin çelikhane, %17,5'inin elektrik fırınlarına, %5,55'inin ise sinter fabrikalarına ait olduğunu belirtmişlerdir. Yazarlar, Yüksek Fırınlarda enerji tüketiminde büyük paya sahip olduğunu ve sıvı ham demir elde edilmesi sırasında yüksek basınç ve sıcaklık açığa çıkmakta olup bu basınç enerjisi septum valflerde kaybedilmekte olduğunu ifade etmişlerdir. Yüksek Fırınlardaki bu basınç enerjisinin geri kazanılması için kullanılmakta olan TBT sistemi ile Yüksek fırınların enerji tüketiminin %20'sinin geri kazanımını sağlanabildiğini ve hacmi 1000 m³'ten büyük olan her Yüksek Fırında kurulabilen bir sistem olduğunu ifade etmişlerdir.

Tanaka (2012), yapmış olduğu çalışmada çelik sanayisindeki enerji performans kabulleri hakkında çalışmalar yapmış ve seçilen sınırlara bağlı araştırma bulgularına göre enerji tüketimi (SEC) 16 ile 21 GJ/ton çelik arasında değiştiğini belirtmiştir. Almanya Federal İstatistiksel verilerine göre 1991 ile 2012 yılları arasındaki ilerleyen teknolojiye bağlı enerji verimliliği ile ilgili spesifik enerji tüketimi (SEC) iyileşmelerini inceleyerek verimliliğin maksimum oranda hayata geçirilmesini beklemektedir.

Arens ve ark. (2012), yapmış olduğu çalışmada Dünyadaki en büyük çelik üretim ve CO₂ salınımı yapan ülkelerinden bir tanesi olan Almanya'nın CO₂ global salınım oranının 3-5 % olduğunu belirtmiştir. 2010 yılındaki çelik üretim miktarı yaklaşık 44 milyona ulaşmış ve bu üretimle Avrupa'nın en iyi, dünyanın yedinci büyük çelik üretici ülkesi olduğunu belirtmişlerdir. Enerji verimliliğinin artırılmasının bir anahtarının da CO₂ salınımlarının ve enerji tüketimlerinin düşürülmesi olduğunu ifade etmişlerdir.

Kuşoğlu, Karakuş ve Mumcu (2014), yapmış oldukları çalışmada örnek bir işletmede TBT sistemi kurulum maliyeti, işletmeye bağlı toplam maliyetler ve yatırım geri ödeme süresi ile ilgili kurulum sürecine bağlı fizibilite çalışması yapmışlardır. TBT sistemleri 380 m³ ve üzeri hacimli Yüksek Fırın tesislerinde kullanılabilen olduğunu ve tesis kapasitesine bağlı olarak bu sistemlerden 300 kW ile 36.000 kW arasında elektrik üretebildiğini, belirtmişlerdir. TBT sistemlerinin yaklaşık geri ödeme sürelerinin kurulum ve devreye alma sonrası 1,5-2 yıl arasında değişmekte olduğunu ve yıllık karbon salınım miktarlarında ise tesis kapasitesine bağlı olarak 176.000 milyon tona kadar CO₂ gazının atmosfere atılmasının önlediğini ifade etmişlerdir.

Cai ve ark. (2016), yapmış oldukları çalışmada TBT sisteminin Demir Çelik sektöründe ikinci en değerli enerji geri kazanım sistemlerinden biri olduğunu ve türbin sistemine bağlı dönen jeneratörde enerji tüketiminin %30'unun geri kazanılabileceğini ifade etmişlerdir. Çalışmada, türbin sisteminin geometrik modellemesine ve nümerik yaklaşımına yer vererek türbinden geçen saatlik 695.600 Nm³ Yüksek Fırın gazının tasarım parametrelerini ve buna bağlı türbin verimliliği, erozyon morfolojisini, türbin kanatçık yapısına etkilerini incelemişlerdir. Ayrıca, kanatçıklardaki toplam basınç kaybının, gaz hızının düşük olması sebebiyle % 0,7 olduğunu, gaz akışının türbin kademelerinde düzgün dağılım göstermesi sebebiyle türbin performansının % 90,1 oranlarında olduğunu belirtmişlerdir.

Liu ve Gao (2016), yapmış oldukları çalışmada Çin demir çelik sanayisindeki orta ve büyük çaplı kuruluşların enerji maliyetlerinin %20'den %30 oranlarına çıktığını ve CO₂ salınımlarının ise 2007 yılında tahmini olarak 1232,9 mt olduğunu belirtmişlerdir. Tipik yaş tip TBT sistemi yatırımı için 20 USD/t sıvı ham demir ve enerji üretimi ise yaklaşık 30 kWh/t olduğunu ifade etmişlerdir. TBT sistemi Çin demir çelik sanayisinde 1980 yıllarında kurulmaya başlamış olup kuru tip bir 420 m³ hacimli bir Yüksek fırın için kurulan TBT sisteminin maliyeti yaklaşık 3.3 milyon USD ve tesisin geri ödeme süresinin

ise yaklaşık 2 yıl olduğunu belirtmişlerdir. 2008 yılı sonlarında hacmi 1000 m³'ten büyük olan 158 adet Yüksek Fırın tesisin 60 adedinde yaş tip TBT sistemi, 91 adedinde ise kuru tip TBT sistemi kurulduğunu ayrıca 2011 yılında orta ve büyük ölçekli 530 tane Yüksek Fırının %70'nde kuru tip kurulmuş olup bu oranın 2014 yılında %100 oranına ulaştığını ifade etmişlerdir.

Yapılan literatür çalışmasında TBT sistemi ile ilgili uluslararası çalışmalar olmasına rağmen Türkiye'de bu konuyla ilgili bir adet çalışmaya rastlanmıştır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Türkiye'deki demir-çelik sektöründe toplamda dört adet Yüksek Fırına sahip olan 5.250.000 ton/yıl sıvı ham demir üretim kapasiteli İskenderun Demir-Çelik fabrikalarında üçüncü ve dördüncü Yüksek Fırınlara olmak üzere iki adet TBT sistemi kurulmuş olup sistemin ikinci Yüksek Fırında kurulumu fizibilite aşamasındadır. Beş adet Yüksek fırına sahip olan 2.500.000 ton/yıl sıvı ham demir üretim kapasiteli Karabük Demir-Çelik fabrikalarında beşinci Yüksek Fırında bir adet TBT sistemi kurulmuştur. Toplamda iki adet Yüksek Fırına sahip olan 4.000.000 ton/yıl sıvı ham demir üretim kapasiteli Ereğli Demir-Çelik fabrikalarında birinci ve ikinci Yüksek Fırınlara olmak üzere iki adet TBT sistemi kurulmuştur. Tesisin 2017 yılı içerisinde kurulması ve devreye alınması planlanmaktadır. 2016 yılında devreye alınan İskenderun Demir-Çelik fabrikaları üçüncü ve dördüncü Yüksek Fırınlara ait iki adet TBT sistemi için elektrik üretim kapasitesi yaklaşık 20 MW'tır. 2017 yılı içerisinde devreye alınacak olan Ereğli Demir-Çelik fabrikaları birinci ve ikinci Yüksek Fırınlara ait iki adet TBT sistemi için elektrik üretim kapasitesi yaklaşık 16 MW'tır. 2017 yılı içerisinde devreye alınacak olan Karabük Demir-Çelik fabrikalarında ise beşinci Yüksek Fırına ait bir adet TBT sistemi için elektrik üretim kapasitesi yaklaşık 7 MW'tır.

TBT sisteminin kurulması için öncelikle Gaz Temizleme Sisteminin bu sisteme uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Alyork firmasının 2.500 m³ çalışma hacmine ve 6000 tshd/gün sıvı ham demir üretim kapasitesine sahip bir Yüksek Fırın için yapmış olduğu fizibilite çalışmalarına ait TBT Sistemi için tasarım parametreleri Çizelge 3.1'de verilmektedir. Çizelge incelendiğinde yüksek fırın körüğünde harcanan gücün %30-%50'si geri kazanıldığı görülmektedir. Sistemin hesaplanan tasarım parametrelerine göre Yüksek Fırın için kurulacak olan TBT sistemi ile minimum 9,73 MWh elektrik üretimi mümkündür. Sinosteel/MECC firması uzmanlarının yaptığı incelemeler neticesinde ise aynı firmaya ait başka bir TBT sistemi için de 7 MW elektrik üretilebileceğini belirtilmiştir. Elektrik üretiminin 8000 saat/yıl süre için iki TBT sistemi ile yıllık toplam 125,8 milyon KWh elektrik üretimi yapılabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 3.1. TBT sistemi için tasarım parametreleri

	Birim	Dizayn	1. Durum (Max.)	2. Durum	3. Durum (Min.)	4. Durum
Türbin Giriş Miktarı	Nm ³ /saat	450.000	560.000	450.000	450.000	560.000
Türbin Girişi Gaz Basıncı	bar	2.15	2.65	1.70	1.65	2.15
	mmSS	21.500	26.500	17.000	16.000	21.500
Türbin Girişi Gaz Sıcaklığı	°C	48	55	55	42	56
Türbin Girişi Toz Miktarı	mg/Nm ³	<10	<10	<10	<10	<10
Türbin Çıkışı Gaz Basıncı	bar	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	mmSS	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Üretilen Enerji	MW	11,72	16,40	13,56	9,73	14,00
Türbin Hızı	devir/dk	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000

3.1.1. İskenderun Demir Çelik Fabrikaları'na Enerji Tasarrufu Kapsamında TBT Sisteminin Kurulması

İskenderun Demir Çelik Fabrikaları'nda enerji verimliliği çalışmaları kapsamında üçüncü ve dördüncü Yüksek Fırınlar için bir fizibilite hazırlanmış yüksek fırın gazının basıncından faydalanarak enerji üretimi sağlayan TBT sisteminin; üçüncü ve dördüncü Yüksek Fırına kurulması halinde elde edilecek teknik ve ekonomik faydalar değerlendirilmiştir.

Planlama aşamasında ilk adım fizibilite raporu hazırlanmaktadır. Bu aşamada TBT sisteminin kurulabilmesi için gerekli olan yüksek fırınlar proses şartları, mevcut yüksek fırınların kapasiteleri, türbin sisteminin çalıştırılması için gerekli olan yüksek fırın

gazının teknik özelliklerine (içerisindeki toz miktarı, nem miktarı, gazın kollektördeki hızı, temiz gaz sıcaklığı, kollektör basıncı, gaz debisi) bağlı olarak kurulabilecek sistemin kapasitesi, tipi, genel ekipmanları belirlenmekte ve sistem için gerekli olan en uygun TBT sistemi seçimi yapılmaktadır.

TBT sistemleri projelendirilirken izlenmesi gerekli yol aşağıdaki gibidir;

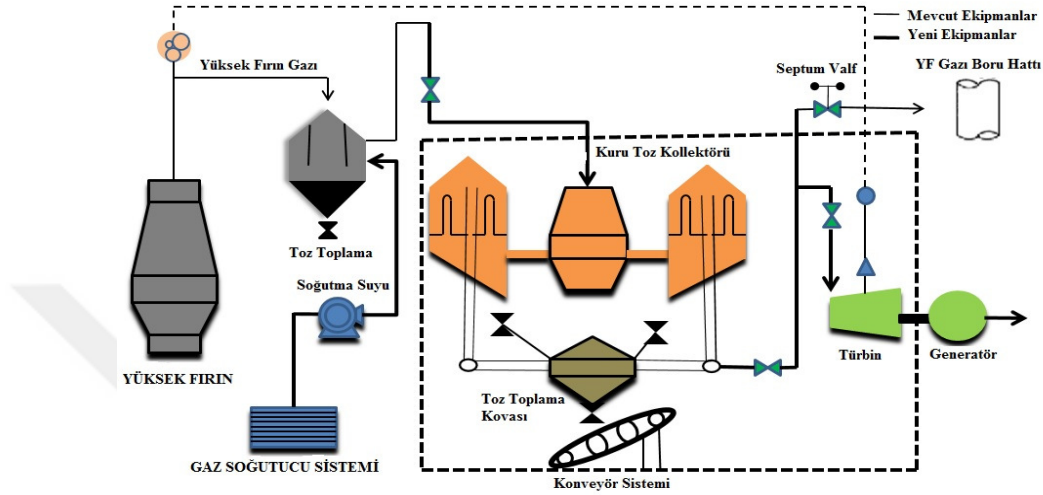
- I . Fırın üretim kapasitesi,
- II . Turbo körükler hava debileri,
- III . Motor / Türbinin büyüklüğünün (kapasite) belirlenmesi,
- IV . Ön projenin hazırlanması,
- V . Tekliflerin alınması ve tedarikçi seçimi,
- VI . Ayrıntılı projelerin (inşaat, mekanik, elektrik) yapılması, gerçek yatırım maliyeti ve geri ödeme süresinin hesaplanması,
 - i. Ekonomik fizibilite
 - ii. Teknik fizibilite
 - iii. Organizasyonel fizibilite ve iş/zaman çizelgesi
- VII . Yatırım için finansman seçeneklerinin araştırılması,
- VIII. Uygulama

Kurulacak bir TBT sistemi için ihtiyaçlar tespit edilirken;

1. Son bir veya iki yılın saatlik, günlük, aylık elektrik enerji tüketimleri,
2. Yüksek fırın üretim kapasiteleri,
3. Yüksek fırınlarda üretim için kullanılan turbo körüklerden temin edilen hava debileri ve teknik özellikleri,
4. Yüksek fırın arkasında çalışan gaz temizleme ünitesinin teknik özellikleri ve kapasiteleri,
5. Hat içerisindeki temiz ve yüksek fırın gazı içerisindeki toz miktarı,
6. Kirli ve temiz gaz sıcaklıkları,
7. Gaz temizleme ünitesi giriş ve çıkış hat basınçları,
8. Gaz içerisindeki nem miktarı gibi teknik özellikler iyi bir şekilde incelenmelidir.

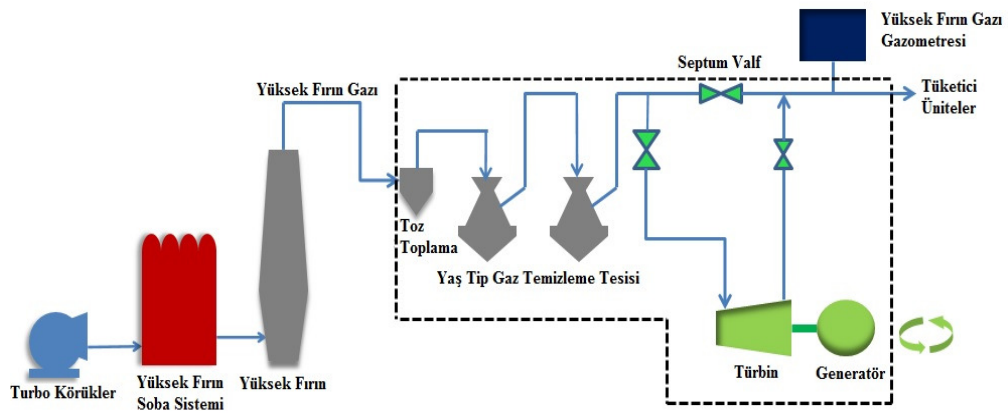
Seçimi yapılan TBT sistemi için alternatifler bulunmakta olup bu sistemler biri kuru tip diğeri ise yaş tip olmak üzere iki çeşittir. Yaş ve kuru tip TBT sistemlerine ait akış şemaları Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

Kuru tip TBT sistemi turbo körükler için harcanan enerji ihtiyacının yaklaşık %45-50'sinin geri kazanımını sağlamaktadır. Bu türbin sistemi kuru tip Yüksek fırın gazı temizleme sistemine ait Yüksek fırınlar için kurulmaktadır. Kuru tip TBT sistemi yaş tip TBT sistemine göre daha verimli sistemlerdir. Türbin giriş gaz sıcaklığı yaklaşık 240 °C 'dir ve yaş tip TBT sistemlerine göre daha az su ve elektrik ihtiyacı vardır.



Şekil 3.1. Kuru Tip TBT Sistemi Akış Şeması (Anonim, 2010a)

Yaş tip TBT sistemi yaş tip gaz temizleme sistemine ait Yüksek Fırın sistemlerine kurulmaktadır. Turbo körüklerin enerji ihtiyacının 30%'unun geri kazanımını sağlamaktadır. Gaz temizleme ünitesinde gazın temizlenmesi ve soğutulması işlemi sonrası türbin girişindeki yüksek fırın gaz sıcaklığı yaklaşık 55 °C 'dir. Yüksek fırınlara ait tepe basıncı, TBT sistemin devrede olmadığı zamanlarda TBT sistemine paralel kurulmuş septum valf sistemi ile sağlanmaktadır.



Şekil 3.2. Yaş Tip TBT Sistemi Akış Şeması (Anonim, 2010b)

Dünya üzerinde kurulmuş farklı Yüksek Fırın hacimlerine sahip TBT sistemlerine ait resimler Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.3. 2.500 m³ hacimli bir Yüksek Fırına bağlı TBT sistemi (Anonim, 2003)



Şekil 3.4. 380 m³ hacimli bir Yüksek Fırın için kurulmuş TBT sistemi (Anonim, 2009a)



Şekil 3.5. 2x450 m³ Yüksek Fırın için ortak jeneratör uygulaması (Anonim, 2010c)

Sinosteel Mecc. Firması tarafından yapılan fizibilite çalışmaları sonrası Çin’de kurulumunu yaparak devreye almış olduğu TBT sistemi referans listesi Çizelge 3.2’ de belirtilmiştir. Çizelge incelendiğinde hacmi 450 m³’e kadar olan Yüksek fırın tesislerinde de bu sistemin kullanılabilir olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.2. Sinosteel Mecc. Firması TBT sistemi referans listesi (Anonim, 2014b)

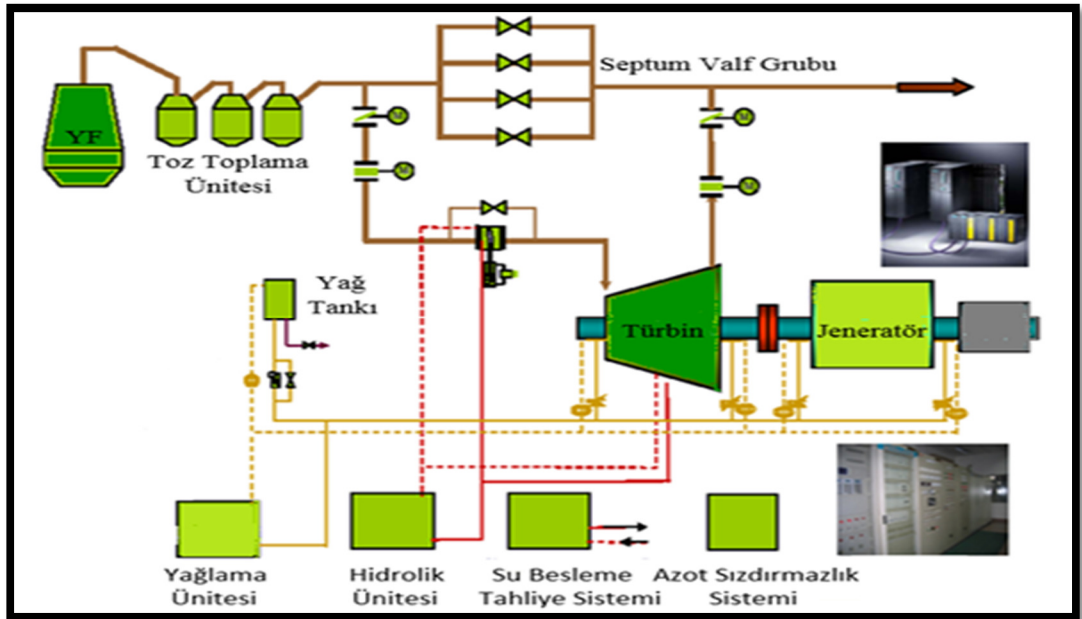
Sıra No	Kurulum Yapılan Tesis	Üretilen Güç (MW)	Türbin Çeşidi	Gaz Debisi (Nm ³ /h)	Yüksek Fırın Hacmi (m ³)	Kuruluş Tarihi
1	Xuanhua Iron&Steel Company, Zhangjiakou	3	Kuru Tip	450	2.580	Aralık,2004
2	Xuanhua Iron&Steel Company, Zhangjiakou	7,5	Yaş Tip	1.350	2.500	Aralık,2004
3	Xuanhua Iron&Steel Company, Zhangjiakou	10	Yaş Tip	330.000	1.800	Kasım,2005
4	Guofeng Iron&Steel, Tangshan	3	Kuru Tip	120.000	450	Eylül,2006
5	Pingxiang Iron&Steel Company, Pingxiang	3	Kuru Tip	120.000	450	Şubat,2007
6	Jiujiang Iron&Steel Company, Jiujiang	3	Kuru Tip	120.000	450	Şubat,2008
7	Changzou Iron&Steel Company, Changzou	18	Kuru Tip	460.000	2.350	Nisan,2009
8	Jiujiang Iron&Steel Company, Jiujiang	12	Kuru Tip	330.000	1.780	Mart,2009
9	İskenderun Demir-Çelik Fabrikaları, Türkiye	16	Yaş Tip	450.000	2.500	Temmuz, 2016
10	Ereğli Demir-Çelik Fabrikaları, Türkiye	7	Yaş Tip	300.000	1.850	Ocak, 2017

3.1.2. TBT Sistemi ve Ekipmanları

TBT sistemi, yüksek fırın tepe basıncı ayar valf sistemine seri ve paralel bağlanabilen, yüksek fırın gazının genişletilerek düşük basınçta gaz dağıtım hatlarına verilmesi yerine genişleme türbini aracılığı ile gazın basınç enerjisinden yararlanılarak elektrik enerji üretilmesi esasına dayanan bir tesistir. Gaz temizleme ünitesinden çıkıp TBT sistemine giren yüksek fırın gazı, türbin kanatçıklarına çarpıp türbinin hareketlenmesini sağlamakta ve tepe basıncı kontrolünü servo kontrollü stator kanatlar yardımıyla yapılmaktadır. TBT sistemi akış şeması Şekil 3.6'da verilmiştir.

TBT sistemi genel olarak aşağıda sıralı bileşenlerden oluşmaktadır;

1. Türbin Motoru Sistemi
2. Güç Üretim ve Dağıtım sistemi
3. Yağlama Sistemi
4. Hidrolik Servo Kontrol Sistemi
5. Azot Sızdırmazlık Sistemi
6. Su Besleme ve Tahliye Sistemi (Tıkanmaları önlemek için)
7. Büyük Vana ve Boru sistemi
8. Proses ve TBT Ünitesi Ekipmanları Kontrol Sistemi(Otomasyon sistemi)



Şekil 3.6. TBT sistemi akış şeması (Anonim, 2010d)

1-Türbin Motoru Sistemi; İki kademeli aksenal reaksiyonlu tip ayarlanabilir stator bıçakları ve yatay pozisyonda ayrılabilir motordan oluşmakta olup motor sistemi ana bileşenleri; motor muhafaza, silindirik bıçak rulmanı, rotor, stator bıçakları ayarlama mekanizması, şaft sızdırmazlık ekipmanları, rulman, vana sistemi, difüzör, döndürme ekipmanları, ana yağ pompası, kaplin ve ana gövdeden meydana gelmektedir. Türbin motoru sistemi Şekil 3.7’de verilmektedir.



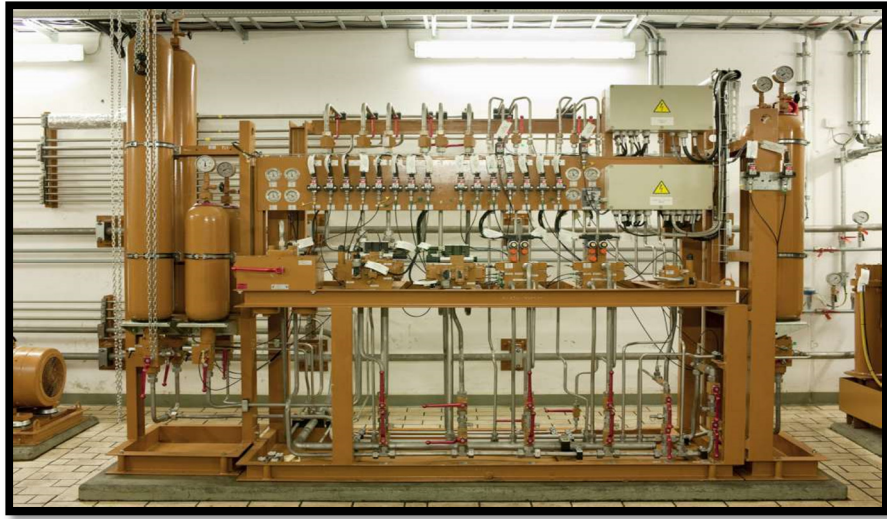
Şekil 3.7. Türbin motor sistemi (Anonim, 2004a)

2-Güç Üretim ve Dağıtım Sistemi; Otomatik Uyarı sistemi ve 3 fazlı AC senkron jeneratöründen oluşmaktadır. Otomatik uyarı modu eş eksenli daimi alt uyarı ve voltajı sabitlemek için kullanılan ana AC uyarıcı, reaktif güç sistemi ve bunun yanında DCS jeneratörü uyarıcılarında kullanılmakta olan bir moddur. İki adet uyarı modu bulunmakta olup bunlar manuel ve otomatik uyarı modlarıdır. Jeneratör kapalı sistem ventilasyon çevrimi ile soğutulmaktadır. Yüksek Fırın tepe basıncı güç üretim ve dağıtım sistemi ise Şekil 3.8’de ve türbin ünitesi jeneratörü Şekil 3.15’te gösterilmektedir.



Şekil 3.8. Güç üretim ve dağıtım sistemi (Anonim, 2009b)

3-Yağlama Sistemi; Yağlama sistemi, yağlama yağı istasyonu, yüksek basınçlı yağ tankı, yerel yağ hatları ve yağlama ünitesinden gönderilen yağın yağlama bölgelerine aktarımını sağlayan vanalardan oluşmaktadır. Yağlama sistemi; rulman sistemleri, dişli sistemleri ve yataklama sistemlerinde kullanılarak metal aşınmaları, yüksek sıcaklık nedeniyle meydana gelebilecek arızalanmaları önlemek, pas ve korozyona karşı koruma sağlamak amacıyla kullanılmakta olan bir sistemdir. Yağlama yağı sistemi Şekil 3.9’da verilmiştir.



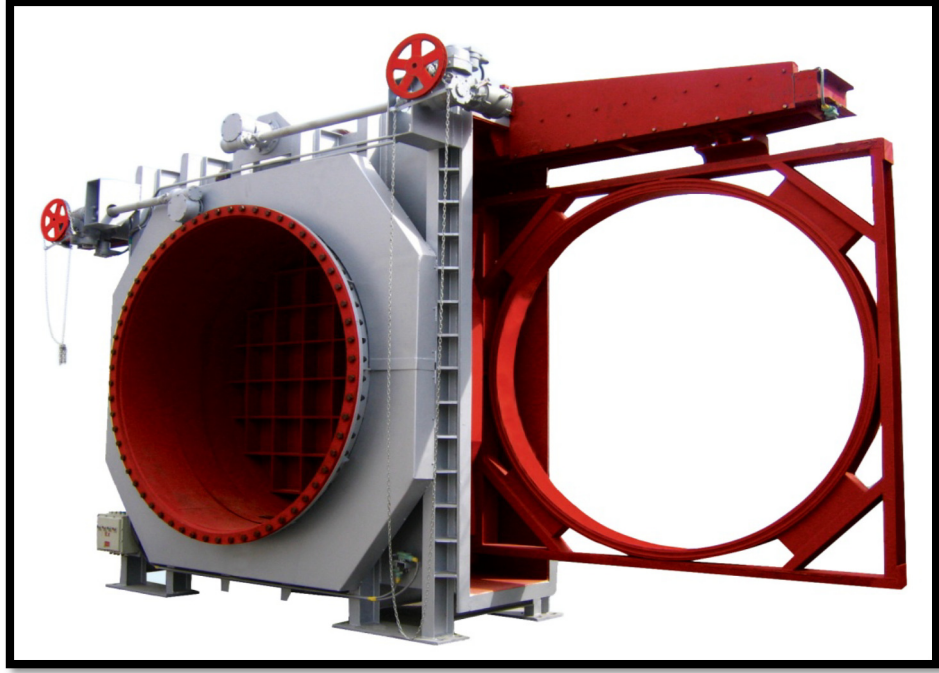
Şekil 3.9. Yağlama sistemi (Anonim, 2014c)

4-Hidrolik Servo Kontrol Sistemi; Türbin sisteminde DCS sistemi komutlarına bağlı olarak tam ve zamanlı bir şekilde türbin motorunun dönme hızı, jeneratör gücü ve Yüksek fırınlar tepe basıncı gibi parametreleri kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Kontrol sistemi; birinci sınıf stator kanatçıkları ayar mekanizması, hidrolik kontrol sistemi, hızlı kapatma vanası, giriş-çıkış vanaları ve hızlı açma by-pass kelebek vana gibi öğelerinden oluşmaktadır. Bu sistem bir bütün olarak yağlama sistemi, stator kanatçıkları standı ayarlanabilir servo kontrol valfleri ve hidrolik valf standı ayarlanabilir servo kontrol valflerini içermektedir. Yağlama istasyonu; yağ tankı, değişken yağ pompası, yağ filtresi, elektrikli ısıtıcı, akümülatör, vana sistemleri, sirkülasyon filtresi ve soğutucu, bağlantı boruları ve yerel algılama elemanlarından oluşur. Yağlama istasyonu sistem ihtiyacına bağlı olarak değişken debilerde ve sabit basınçta yağ tedariki sağlayabilmektedir. Eğer sistemde herhangi bir arızadan kaynaklı yağ tedariki yapılamayacak bir durum oluşursa hızlı bir şekilde sisteme duruşu için acil kapama sinyali gönderebilir ve yeterince (acil kapanma durumunda) akümülatör vasıtasıyla servo silindire basınçlı yağı basmasıyla ana türbin motoru güvenli bir şekilde durabilir.

5-Azot Sızdırmazlık Sistemi; Yüksek fırınlarda demirin redüklenmesiyle açığa çıkan yüksek fırın gazının türbin sisteminden geçtiği sırada geçen gazın türbin şaftından oluşabilecek CO gazı kaçağını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Sızdırmazlık azotu debisi, türbin çıkışı fark basıncı, azot sızdırmazlıkları basıncı gibi kriterlerin kontrolü ile azot basıncı ve gaz kaçağının önlenmesi sistemde bulunan vanalar vasıtasıyla sağlanmaktadır.

6-Su Besleme ve Tahliye Sistemi; Jeneratör ve yanı sıra yağlama ve yağlama güç istasyonlarında tıkanmaları önlemek için kullanılan temizleme suyunun sisteme verilmesi ve sirküle edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Besleme ve drenaj işlemleri sistemde boru, çekvalf, sıcaklık, debi ve basınç transmitterleri ve bağlı olduğu noktaya göre mekanik veya aktüatörlü tahliye, aç-kapa ve oransal vanalar vasıtasıyla sağlanmaktadır.

7-Büyük Vana ve Boru Sistemi; Türbin sistemi; türbin giriş ve çıkışlarında çift veya üç eksantrik yüksek sızdırmazlık özelliğine sahip kelebek vanalar, hattın sistemden ayrılmasında kullanılan giriş ve çıkış goggle tip vanalar, türbin girişi acil kapatma vanası, acil açma by-pass vanası ve devreye alma işlemi için kullanılan kontrol vanalarını içermektedir. Elektrik aktüatörlü goggle vana Şekil 3.10'da gösterilmektedir.

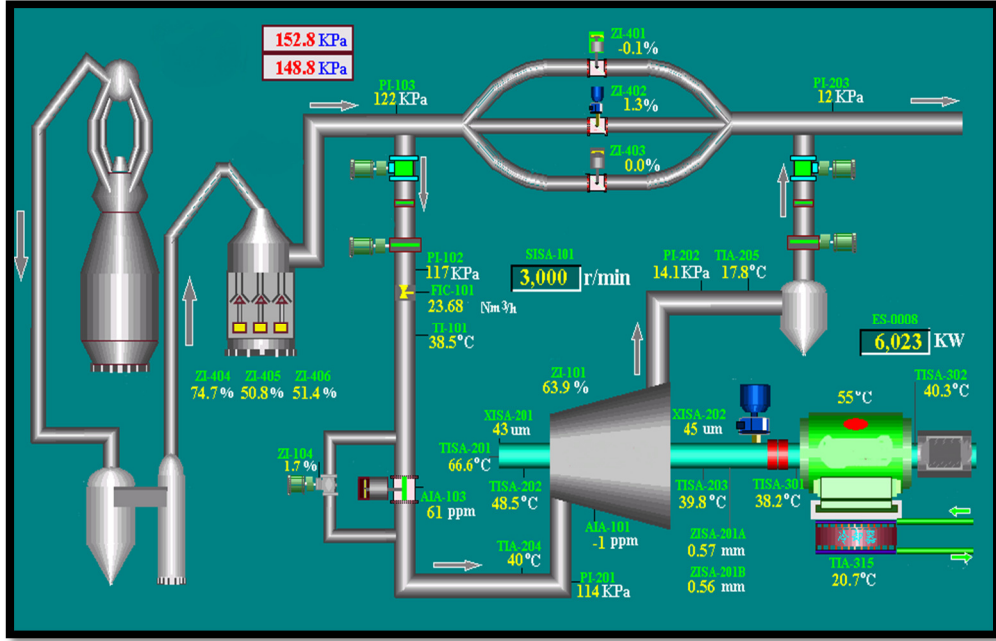


Şekil 3.10. Elektrik aktüatörlü goggle vana (Anonim, 2015a)

8- Proses ve TBT Ünitesi Ekipmanları Kontrol Sistemi; TBT ünitesi kontrol sistemi; sistemdeki tüm adımları, problemleri, arızaları, basınçları, sıcaklıkları, debileri ve acil durumlar göstermekte kullanılan bir sistemdir. Türbin sistemi ile ilgili kontrol parametreleri aşağıdaki gibidir;

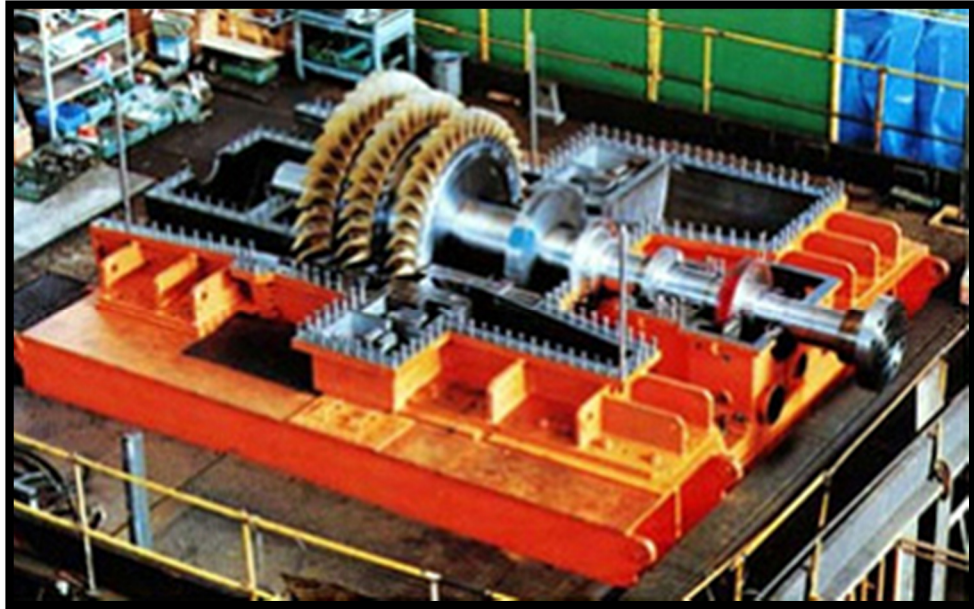
- 1- TBT ünitesi güç kontrol ve ayar sistemi
- 2- TBT ünitesine bağlı Yüksek Fırın tepe basıncı
- 3- Şaft azot sızdırmazlık sistemi
- 4- Vinç kontrol sistemi
- 5- Yağlama yağı ünitesi görüntüleme sistemi
- 6- Yağ güç ünitesi koruma ve ayarlama sistemi
- 7- Acil stop kontrol ünitesi
- 8- Şaft hareketi görüntüleme sistemi
- 9- Şaft sıcaklık görüntüleme sistemi
- 10- Çalışma ve proses dataları görüntüleme ekranı
- 11- Kontrol sistem ana ekranı
- 12- Türbin dönme hızı ayar ve kontrol sistemi

Proses ve TBT Ünitesi Ekipmanları Kontrol Sistemi Şekil 3.11' de gösterilmektedir.

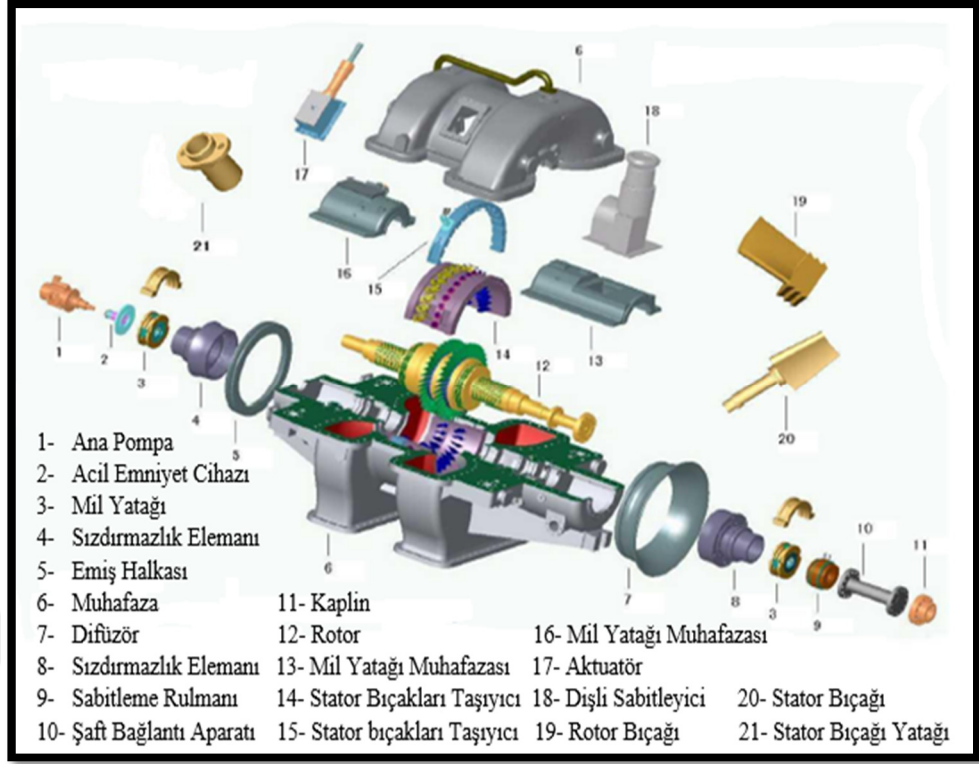


Şekil 3.11. Proses ve TBT ünitesi ekipmanları kontrol sistemi (Anonim, 2016b)

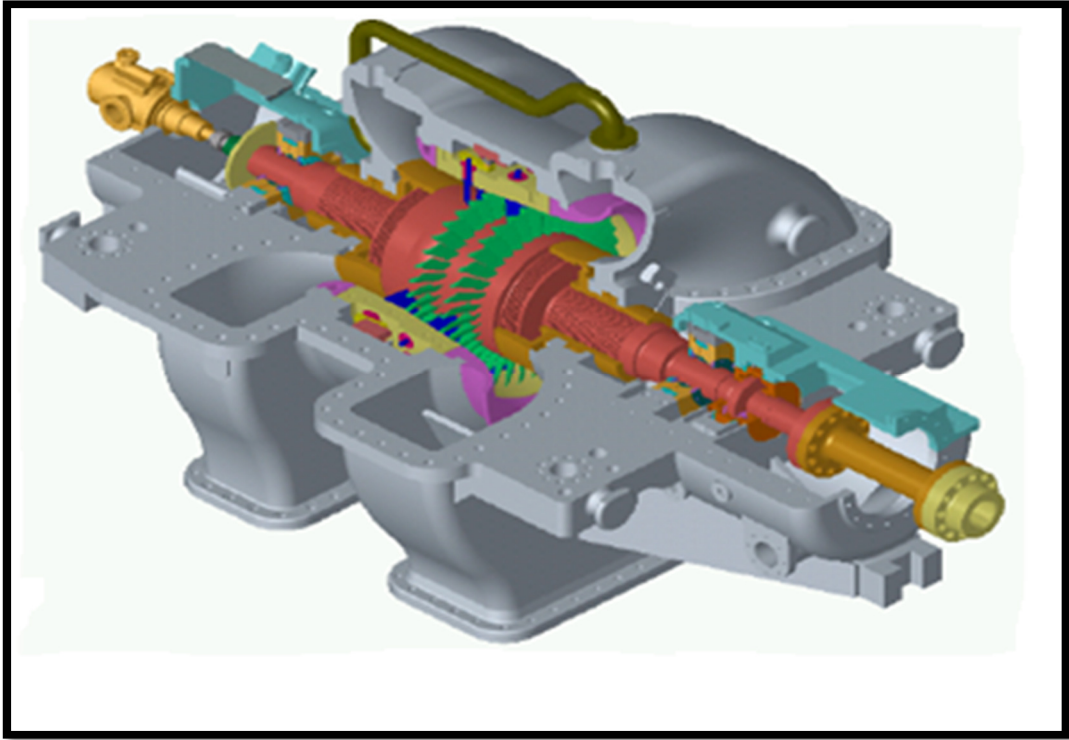
Kawasaki firması tarafından kurulmuş olan bir TBT sistemi örneği Şekil 3.12’de görülmektedir. TBT sistemi ekipmanları Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.12. Kawasaki firması tarafından kurulmuş olan bir türbin sistemi



Şekil 3.13. TBT sistemi ekipmanları (Anonim, 2011a)

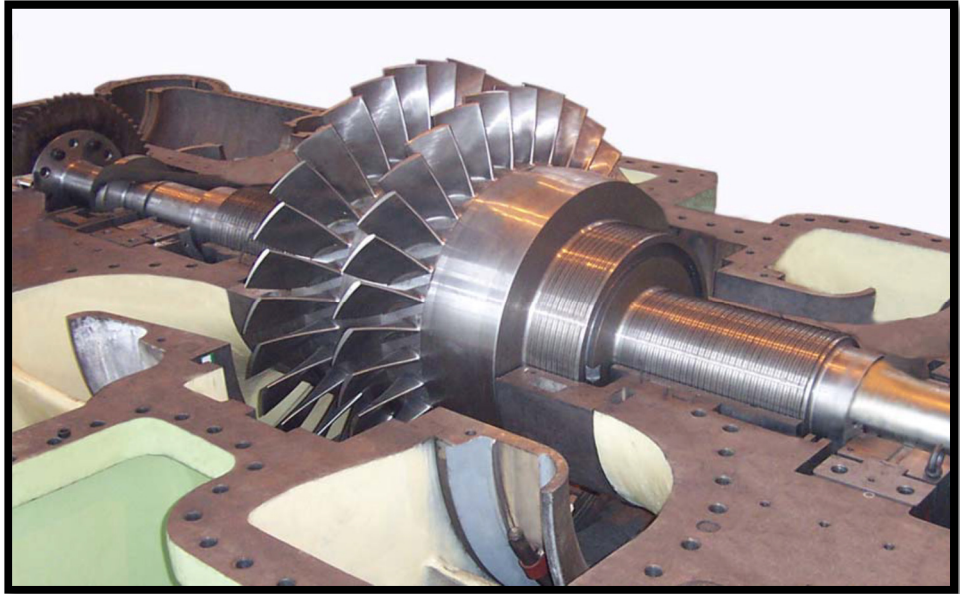


Şekil 3.14. Kurulumu yapılmış TBT sistemi (Anonim, 2011b)



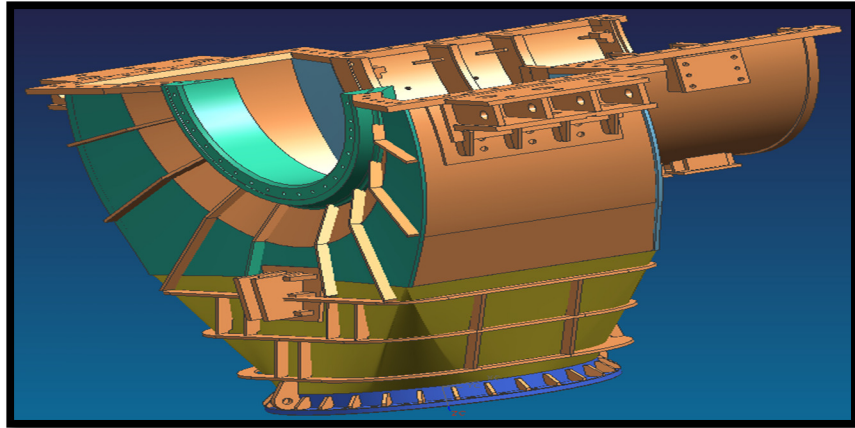
Şekil 3.15. TBT ünitesi jeneratörü (Anonim, 2015b)

TBT ünitesi türbin kanatçıkları Şekil 3.16’da görülmektedir. Şekil incelendiğinde TBT sistemine bağlı kanatçıklar, türbinin tasarım devrinde dönmesi sırasında yüksek fırın gazının stator kanatçıklardan geçmesini sağlayarak Yüksek Fırın tepe basıncı oluşumunu sağlamaktadır.



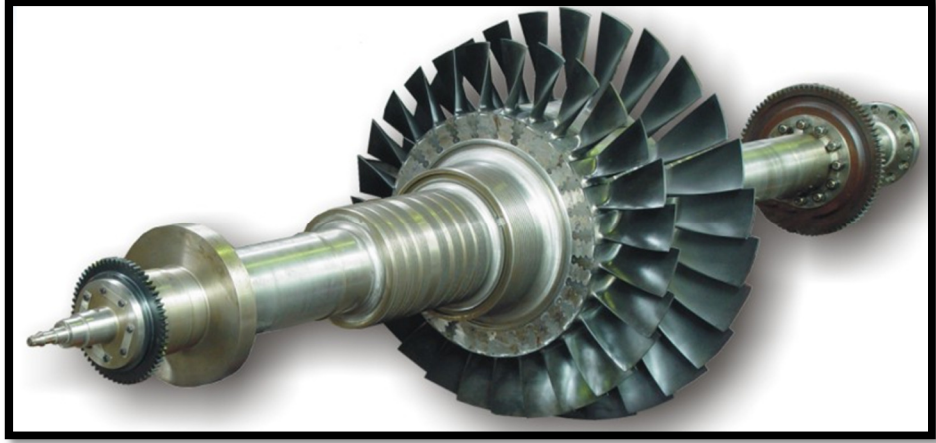
Şekil 3.16. TBT ünitesi türbin kanatçıkları (Anonim, 2013b)

Dış Muhafaza: Döküm malzemeden imal edilmiş dış muhafaza deformasyona karşı dayanıklıdır ve ayrıca çalışma sırasında meydana gelen yüksek ses ve vibrasyonları absorbe etmesi, güvenilirliği ve rijitliği artırması, montaj ve bakım kolaylığı elde edilmesi amacıyla yatay olarak montaj edilmektedir. Yatak kutusu ve gövde birbirinden ayrı çalışan ekipmanlardır. Emme ve basma flanşları dikey düşüşler için uygun olmalıdır. Orta bölüm, bir birim oluşturmak üzere civata ile tutturulmuş alt ve üst muhafazaları oluşturmaktadır. TBT ünitesi, kolay ve hızlı kurulum için çelik malzemeden bir taban plakası üzerinde belirlenmiş dört noktadan yapılan bağlantılar ile desteklenir ve bu dört bağlantı noktasının ikisi sabitleme diğer ikisi ise kayma amaçlı kullanılır. Rehber anahtar, uç noktaları arasında eksen yönü boyunca ayarlanabilecek şekilde ayarlanmaktadır. Montaj sonrası gövdeye hidrolik test uygulanarak sızdırmazlık kontrolü yapılması gerekmektedir. TBT ünitesi dış muhafazası Şekil 3.17’de gösterilmektedir.



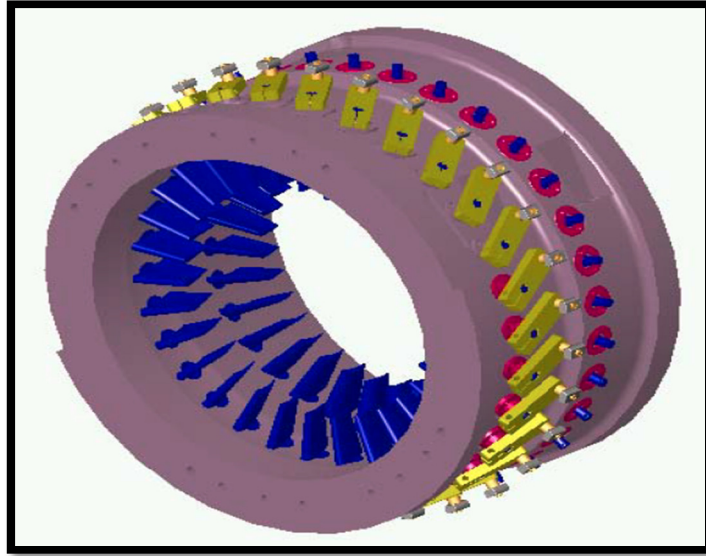
Şekil 3.17. TBT ünitesi dış muhafazası (Anonim, 2012a)

Rotor: Ana shaft, tüm rotor kanatçıkları, bıçak kilitleme ünitesi, ayırıcı, salmastra gibi ekipmanların tamamı türbin sisteminin rotorunu oluşturmaktadır. Stator kanatlarına çarpan gazın bu kısımda hızı artırılır (basınç ve sıcaklık düşer) rotor kanatlarında gaz hızından kaynaklı enerji, rotora dönme hareketi enerjisi olarak transfer edilir. Stator ve rotor kanatçıklar genel olarak alaşımlı dövme paslanmaz çelikten imal edilir. TBT ünitesi rotoru Şekil 3.18’de verilmektedir.



Şekil 3.18. TBT ünitesi rotoru (Anonim, 2012b)

Stator Kanatçıkları ve Taşıyıcıları: Döküm malzemeden yapılmış yatay ayrılabilir konstrüksiyon bölüm yatay olarak civatalarla birleştirilmiş ve stator kanatçıkları, stator kanatçığı yatağı ve kayar blok ekipmanları bu kısma montaj edilmiştir. Bıçak taşıyıcının iki ucu gövde ile desteklenmiştir. Blok üzerindeki emme tarafı sabit kısım ve ısı genişmesini absorbe eden drenaj tarafı ise hareketli kısımdır. Kanatçıklar iki kademelidir ve iki kademe de ayarlanabilir özelliktedir. Ayarlanabilir stator kanatçıkları, kanatçık taşıyıcıları üzerinde bulunmaktadır. TBT ünitesi stator kanatçıkları Şekil 3.19 ve Şekil 3.20’de görülmektedir.

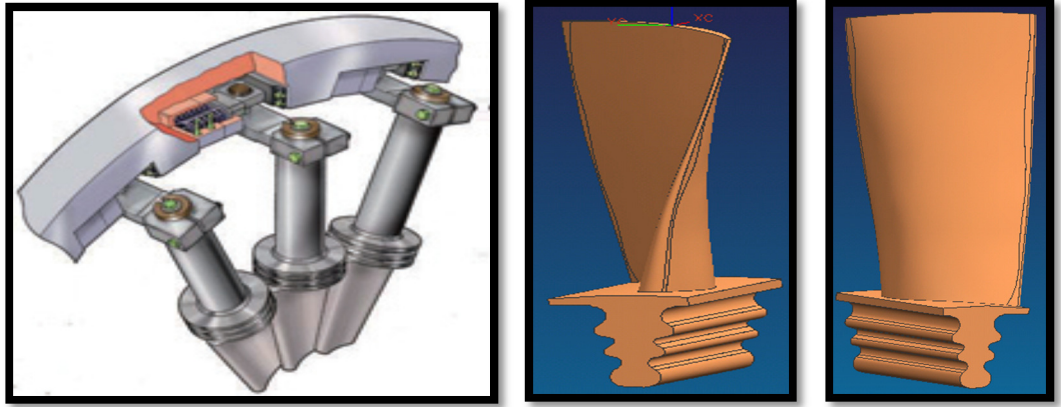


Şekil 3.19. TBT ünitesi stator kanatçıkları (Anonim, 2012c)



Şekil 3.20. TBT ünitesi stator kanatçık taşıyıcıları (Anonim, 2012d)

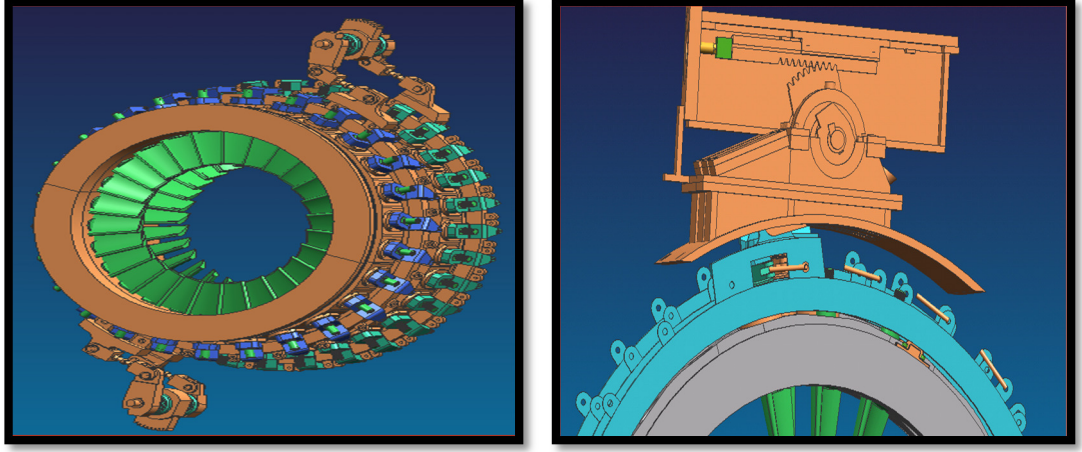
Rotor ve Stator Kanatçıkları: Rotor ve stator kanatçıkları paslanmaz çelikten üretilmiş, yüksek mukavemetli, titreşim sönümlenme ve azaltıcı özelliğe sahip ekipmanlardır. Rotor kanatçıklarının başlangıç kısmı kalın, uç kısımlara doğru incelmış ve kanatçıkların doğal frekans değerleri yüksektir. Kanatçık yapısı ve profil şekli nedeniyle yüksek miktarda kanatçık kapasitesine sahiptir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. TBT ünitesi rotor ve stator kanatçıkları (Anonim, 2012e)

Stator Bıçakları Ayar Mekanizması: Stator kanatçıkları otomatik, esnek ve hızlı şekilde ayarlanabilmektedir. Ayarlama sıcaklık aralığı ± 15 °C' dir. Minimum ayarlama bakımından kapamaya yakın bir ayar yapılabilmektedir.

TBT ünitesi stator bıçakları ayar mekanizması sistemi Şekil 3.22'de görülmektedir.



Şekil 3.22. TBT ünitesi stator bıçakları ayar mekanizması (Anonim, 2012f)

3.1.3. TBT Sistemi Faydaları

Kullanımı sırasında herhangi bir yakıt ihtiyacı bulunmayan ve Yüksek Fırınlardan gelen Yüksek fırın gazının kalitesini düşürmeden tüketici ünitelere kullanılmak üzere aktarılmasını sağlayan TBT sistemi faydaları ile ilgili detaylar aşağıda belirtilmiştir;

- TBT Sisteminin kullanılması ile atıl halde olan yüksek fırın gazı basıncının enerjisinden faydalanılır ve gazın yakılma gibi bir durum olmadığı için gaz tüketici ünitelerde yakıt olarak kullanılabilir.
- Yüksek fırınlar tepe basıncının ayarlanması prosesinde de kullanılacağı için fırın tepe basıncı teknolojik bir sistemle güvenle çalıştırılır.
- TBT sistemi kullanılması ile basınçlı baca gazının oluşturduğu gürültü azalır (40 dB altına inebilen sistemler mevcut).
- Baca gazı basınç dalgalanmasını kontrol altında tutar.
- Fosil yakıt kullanmadan sağlanan bir enerji olması sebebi ile Enerji verimliliği – karbon salınımının azaltılması ile alakalı kredilerden ve teşviklerden yararlanma imkânı sağlamaktadır.
- TBT sistemi kurulan Yüksek Fırın sisteminde istikrarlı çalışma şartları sağlanmakta ve üretim sırasında açığa çıkan yüksek fırın gazının tüketici ünitelerde kullanımının devamlılığını sağlamaktadır.
- İşletimi ve bakımı için karmaşık bir teknolojiye ihtiyaç duyulmamakta olup işletme veya bakım birimleri tarafından kolayca yapılabilir.

- İşletimi için kullanılan su, azot v.s. gibi parametrelerin ihtiyacı çok düşük miktarlardadır.

TBT sistemi kurulumu için mevcut bir yüksek fırına ait son bir veya iki yılın saatlik, günlük, aylık elektrik enerji tüketimleri, yüksek fırın üretim kapasiteleri, yüksek fırınlarda üretim için kullanılan turbo körüklerden temin edilen hava debileri ve teknik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca Yüksek Fırın gaz temizleme ünitesinin teknik özellikleri ve kapasiteleri, hat içerisindeki temiz ve yüksek fırın gazı içerisindeki toz miktarı, kirli ve temiz gaz sıcaklıkları, gaz temizleme ünitesi giriş ve çıkış hat basınçları, gaz içerisindeki nem miktarı gibi teknik özelliklerin incelenmesi sonrasında TBT sistemi ile ilgili hesaplamalar yapılmaktadır. Örnek bir yüksek fırın ile ilgili teknik detayların ve bu detaylara bağlı hesaplanmış TBT sistemi üretim kapasitesi Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yüksek Fırınlar teknik detayları (Anonim, 2015c)

Yüksek Fırın Hacmi	2450 m ³
TBT Sistemi Giriş Debisi	Normal : 400.000-500.000 Nm ³ /saat
	Maksimum: 550.000 Nm ³ /saat
TBT Sistemi Giriş Gaz Basıncı	Normal : 1.6-2.0 bar(mutlak)
	Maksimum: 2,5 bar (mutlak)
TBT Sistemi Giriş Gaz Sıcaklığı	Normal : 125 °C
	Maksimum: 220 °C
TBT Çıkış Gaz Basıncı	Basınç ≤ 0,07 bar (mutlak)
TBT Sistemi Giriş YFG Toz İçeriği	Toz Miktarı ≤ 10 mg/m ³
TBT Elektrik Üretim Kapasitesi	9 MW
YFG Kompozisyonu (%V)	Karbon monoksit(CO): % 22-28 Azot(N₂) : % 45-60 Karbondiyoksit(CO₂) : % 14-28 Oksijen(O₂) : % 0 Hidrojen(H₂) : % 1,5-6 Kalori(Q) : 650-750 (kcal/m ³)

3.1.4. TBT Sistemi Dizaynına Bağlı Performans Değerlendirmeleri

Bir TBT sistemi tasarımına bağlı performans hesaplamaları, örnek bir yüksek fırında işletme şartlarına bağlı minimum, ortalama ve maksimum üretim kapasitesi şartlarında hesaplanmış olan TBT sistemi üretilebilecek güç miktarları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Aşağıdaki veriler örnek bir Demir-Çelik Tesisine ait Yüksek Fırın yıllık işletme verilerinden elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. TBT sistemi performans değerlendirmeleri (Anonim, 2014d)

No	Parametreler	Birim	Minimum	Dizayn	Maksimum
1	Türbin Gaz Giriş Debisi	Nm ³ /saat	200.000	250.000	300.000
2	Türbin Gaz Giriş Basıncı	bar (mutlak)	0,8	1,2	2,0
3	Türbin Gaz Giriş Sıcaklığı	°C	35	50	70
4	Türbin Girişi Bağıl Nem Oranı	%	100	100	100
5	Türbin Gaz Çıkış Basıncı	bar (mutlak)	0,07	0,08	0,1
6	Atmosfer Basıncı	bar		1.033	
7	Türbin Girişi YFG Toz İçeriği	mg/Nm ³	< 10	< 10	< 10
8	Türbin Çıkış Gücü	kW	3.610	5.100	8.000
9	Türbin Dönme Hızı	devir/dak	3.000	3.000	3.000

- 1. Türbin Gaz Giriş Debisi;** Yüksek Fırınların sıvı ham demir elde etmesi sırasında açığa çıkarak soğutma ve temizleme amacıyla Gaz Temizleme Ünitesinden geçirilip temizlenip soğutulmuş temiz Yüksek Fırın gazının türbinden saatlik geçiş debisidir.
- 2. Türbin Gaz Giriş Basıncı;** Yüksek Fırınların sıvı ham demir elde etmesi sırasında sıvı ham demirin redüklenmesi amacıyla fırının belirli bir basınca ihtiyacı bulunmaktadır. Fırından çıkan yüksek fırın gazı yüksek basınçta TBT sistemine giriş yaparak sistemin giriş basıncını oluşturmaktadır.
- 3. Türbin Gaz Giriş Sıcaklığı;** Yüksek Fırınların sıvı ham demir elde etmesi sırasında açığa çıkan Yüksek Fırın gazının Gaz Temizleme Ünitesinden geçirilip temizlenip soğutulduktan sonra türbine giriş yaptığı noktadaki gaz sıcaklığıdır.
- 4. Türbin Girişi Bağıl Nem Oranı;** TBT sistemi girişindeki yüksek fırın gazının bünyesinde su buharı halinde ihtiva ettiği mevcut basınç ve sıcaklık şartlarında tutabildiği azami su miktarına oranıdır.

- 5. Türbin Gaz Çıkış Basıncı;** Yüksek Fırınların sıvı ham demir elde etmesi sırasında açığa çıkan yüksek basınçlı yüksek fırın gazının TBT sisteminden geçirildikten sonra türbinden çıkış yaptığı noktadaki basınçtır.
- 6. Atmosfer Basıncı;** TBT sisteminin kurulumu yaptığı bölgedeki atmosfer basıncı değeri belirlenerek sistem hesaplamalarında kullanılır.
- 7. Türbin Giriş YFG Toz İçeriği;** Yüksek Fırınların sıvı ham demir elde etmesi sırasında açığa çıkan kirli yüksek fırın gazının gaz temizleme ünitesinden geçirilip temizlenip soğutulduktan sonra türbine giriş yaptığı noktadaki temiz yüksek fırın gazının ihtiva ettiği yüksek fırın gazı tozu miktarıdır.
- 8. Türbin Çıkış Gücü;** TBT sisteminin içerisinden geçen yüksek fırının gazının içerdiği kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürüldüğü sırada elde edilen net güç miktarıdır.
- 9. Türbin Dönme Hızı;** Türbinin içerisinden geçen yüksek fırın gazının türbin kanatlarına çarparak türbinin dönmesi akabinde türbinin sisteminin tasarlanmış radyal dönme hızıdır.

3.1.5. Örnek Bir Yüksek Fırındaki TBT Sistemi Dizaynına Bağlı Performans Değerlendirmeleri

Örnek bir Yüksek Fırına ait sıvı ham demir elde edilme işlemi sırasında işletme şartlarına bağlı tepe basıncı, ana kollektör basıncı, kirli gaz sıcaklığı, temiz gaz sıcaklığı ve bu veriler sonucunda Yüksek Fırın TBT sistemi jeneratör çıkış gücü hesaplanmıştır.

Yüksek Fırın işletme şartlarına bağlı olarak yıl içerisinde bir planlı bir plansız aylık duruş öngörülmüş ve duruş sürecinde TBT sisteminde de bakım çalışmaları yapılması sebebiyle elektrik enerjisi üretimi yapılamamıştır. Ayrıca TBT sisteminin çalıştırılması ve sistemden elektrik enerjisi elde edebilmek için türbin çalışma kriterleri sebebiyle 0.8 bar altındaki tepe basıncında üretim yapılamamakta ve Yüksek Fırın tepe basıncı By-Pass hattı üzerinden sağlandığı öngörülmüştür.

2014 Yılı Yüksek Fırın sistemi aylık ortalama işletme verileri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Yapılan değerlendirmeler neticesinde yıl içerisinde maksimum sıvı ham demir üretiminin Ocak ayında, minimum üretimin ise Temmuz ayında yapıldığı görülmüştür. Ocak ayında herhangi bir plansız duruş yaşanmamış ve Yüksek Fırın üretimi

maksimum seviyelerde meydana gelmiştir. Temmuz ayında ise altı gün süren bir adet plansız duruş yaşanmış ve duruş sebebiyle TBT sistemi ile elektrik elde edilememiştir.

Çizelge 3.5. 2014 Yılı Yüksek Fırın sistemi aylık ortalama işletme verileri

2014	Yüksek Fırın Sistemi			
	Tepe Basıncı (bar)	Ana Kollektör Basıncı (bar)	Kirli Gaz (°C)	Temiz Gaz (°C)
Ocak	1.6	0.0761	85	34
Şubat	1.6	0.0760	88	35
Mart	1.6	0.0765	86	34
Nisan	1.5	0.0761	90	33
Mayıs	1.6	0.0762	87	33
Haziran	1.6	0.0764	72	33
Temmuz	1.3	0.0760	84	35
Ağustos	1.6	0.0757	103	37
Eylül	1.5	0.0757	96	34
Ekim	1.6	0.0760	106	34
Kasım	1.5	0.0759	113	37
Aralık	1.6	0.0758	108	36

2014 yılı Ocak ayının örnek Yüksek Fırın sıvı ham demir üretiminin maksimum olduğu öngörülmüş ve Yüksek Fırın sistemi günlük işletme verileri Çizelge 3.6'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, Yüksek Fırınların tepe basıncının ay içerisinde ortalama 1.6 bar basınçta çalıştığı, ay içerisinde günlük ortalaması en düşük basıncın 1.0 bar olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 3.6. Ocak 2014 Yüksek Fırın sistemi günlük işletme verileri

Ocak 2014	Yüksek Fırın Sistemi			
	Tepe Basıncı (bar)	Ana Kollektör Basıncı (bar)	Kirli Gaz(°C)	Temiz Gaz(°C)
1. Gün	1.6	0.0760	80	28
2. Gün	1.6	0.0750	75	30
3. Gün	1.6	0.0760	90	32
4. Gün	1.5	0.0770	88	33
5. Gün	1.6	0.0770	74	32
6. Gün	1.6	0.0780	95	33
7. Gün	1.6	0.0760	87	33
8. Gün	1.6	0.0750	92	32
9. Gün	1.6	0.0750	99	31
10. Gün	1.6	0.0770	86	32
11. Gün	1.5	0.0750	89	32
12. Gün	1.6	0.0750	75	31
13. Gün	1.6	0.0790	78	29
14. Gün	1.6	0.0790	82	30
15. Gün	1.4	0.0780	78	32
16. Gün	1.6	0.0740	67	31
17. Gün	1.6	0.0755	77	28
18. Gün	1.6	0.0760	86	27
19. Gün	1.6	0.0770	85	27
20. Gün	1.5	0.0760	92	30
21. Gün	1.6	0.0755	64	30
22. Gün	1.6	0.0760	68	29
23. Gün	1.6	0.0750	60	30
24. Gün	1.6	0.0760	70	28
25. Gün	1.6	0.0760	72	28
26. Gün	1.6	0.0760	75	33
27. Gün	1.0	0.0750	76	35
28. Gün	1.6	0.0760	91	36
29. Gün	1.6	0.0760	108	38
30. Gün	1.5	0.0770	90	35
31. Gün	1.6	0.0760	89	35

2014 yılında Yüksek Fırın sıvı ham demir üretiminin minimum olduğu Temmuz 2014 Yüksek Fırın sistemi günlük işletme verileri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde Temmuz ayı içerisinde altı gün süren bir adet plansız arıza gerçekleşmemiş olduğu öngörülmüş ve buna bağlı günlük bazda ortalama tepe basıncı, ana kollektör basıncı, kirli ve temiz yüksek fırın gazı değerleri tespit edilmiştir.

Çizelge 3.7. Temmuz 2014 Yüksek Fırın sistemi günlük işletme verileri

Temmuz 2014	Yüksek Fırın Sistemi			
	Tepe Basıncı (bar)	Ana Kolektör Basıncı (bar)	Kirli Gaz($^{\circ}C$)	Temiz Gaz($^{\circ}C$)
1. Gün	1.6	0.0760	64	28
2. Gün	1.6	0.0750	67	30
3. Gün	1.6	0.0760	90	32
4. Gün	1.5	0.0770	88	33
5. Gün	1.6	0.0770	74	32
6. Gün	1.6	0.0780	72	33
7. Gün	1.6	0.0760	68	33
8. Gün	0.0	0.0750	0	32
9. Gün	0.0	0.0750	0	31
10. Gün	0.0	0.0770	0	32
11. Gün	0.0	0.0750	0	32
12. Gün	0.0	0.0750	0	31
13. Gün	0.0	0.0790	0	29
14. Gün	1.0	0.0790	66	30
15. Gün	1.5	0.0780	66	32
16. Gün	1.6	0.0740	67	31
17. Gün	1.6	0.0755	62	28
18. Gün	1.6	0.0760	61	27
19. Gün	1.6	0.0770	60	27
20. Gün	1.6	0.0760	60	30
21. Gün	1.5	0.0755	58	30
22. Gün	1.5	0.0760	59	29
23. Gün	1.6	0.0750	60	30
24. Gün	1.6	0.0760	55	28
25. Gün	1.6	0.0760	57	28
26. Gün	1.6	0.0760	75	33
27. Gün	1.6	0.0750	76	35
28. Gün	1.6	0.0760	91	36
29. Gün	1.6	0.0760	108	38
30. Gün	1.5	0.0770	90	35
31. Gün	1.6	0.0760	89	35

Yüksek Fırın üretiminin minimum olduğu 27.01.2014 tarihindeki saatlik ortalama tepe basıncı, ana kolektör basıncı, kirli ve temiz yüksek fırın gazı sıcaklık verileri Çizelge 3.8’de verilmiş olup verilmiş olup çizelge incelendiğinde gün içerisinde Yüksek Fırınlara bağlı, türbin sistemi ve ekipmanlarına bağlı sistemde dokuz saatlik duruş yaşandığı görülmüş ve bu duruş işletmede dokuz saatlik elektrik üretim kaybına sebep olmuştur.

Çizelge 3.8. Yüksek Fırın sistemi 27.01.2014 tarihli günlük işletme verileri

Günlük	Yüksek Fırın Sistemi(27.01.2014)			
	Tepe Basıncı (bar)	Ana Kolektör Basıncı (bar)	Kirli Gaz(°C)	Temiz Gaz(°C)
01:00	1.6	0.0755	130	36
02:00	1.6	0.0750	127	37
03:00	1.6	0.0760	118	34
04:00	1.6	0.0790	111	35
05:00	1.5	0.0760	114	33
06:00	1.5	0.0750	115	34
07:00	1.6	0.0700	114	35
08:00	1.6	0.0720	121	34
09:00	1.6	0.0715	128	36
10:00	0.0	0.0750	0	33
11:00	0.0	0.0770	0	37
12:00	0.0	0.0765	0	36
13:00	0.0	0.0750	0	33
14:00	0.0	0.0760	0	32
15:00	0.0	0.0750	0	35
16:00	0.0	0.0740	0	35
17:00	0.0	0.0745	0	33
18:00	0.0	0.0720	0	32
19:00	1.0	0.0750	117	34
20:00	1.4	0.0760	126	35
21:00	1.6	0.0750	115	34
22:00	1.6	0.0755	131	33
23:00	1.6	0.0760	122	36
00:00	1.6	0.0780	126	37

Yüksek Fırın üretiminin maksimum olduğu 03.01.2014 tarihindeki saatlik ortalama tepe basıncı, ana kolektör basıncı, kirli ve temiz yüksek fırın gazı sıcaklık verileri Çizelge 3.9’da verilmiş olup çizelge incelendiğinde gün içerisinde dört saatlik süreçte tepe basıncının 1.5 bara düştüğü görülmüştür.

Çizelge 3.9. Yüksek Fırın sistemi 03.01.2014 tarihli günlük işletme verileri

Günlük	Yüksek Fırın Sistemi(03.01.2014)			
	Tepe Basıncı (bar)	Ana Kollektör Basıncı (bar)	Kirli Gaz(°C)	Temiz Gaz(°C)
01:00	1.6	0.0760	93	34
02:00	1.6	0.0750	95	34
03:00	1.6	0.0760	109	34
04:00	1.6	0.0765	95	32
05:00	1.5	0.0775	84	33
06:00	1.5	0.0767	78	34
07:00	1.6	0.0770	91	35
08:00	1.6	0.0745	91	34
09:00	1.6	0.0750	87	34
10:00	1.6	0.0790	95	34
11:00	1.6	0.0795	97	35
12:00	1.6	0.0750	79	33
13:00	1.6	0.0790	88	32
14:00	1.6	0.0795	92	34
15:00	1.5	0.0780	98	35
16:00	1.6	0.0750	110	35
17:00	1.6	0.0790	137	32
18:00	1.6	0.0795	87	33
19:00	1.5	0.0780	85	34
20:00	1.6	0.0740	145	35
21:00	1.6	0.0755	107	34
22:00	1.6	0.0745	131	34
23:00	1.6	0.0750	122	34
00:00	1.6	0.0790	83	35

Yüksek Fırın üretiminin temmuz ayın da minimum olduğu görülmekte olup ay içerisinde tepe basıncı ortalamasının 1.0 bar olduğu 14.01.2014 tarihindeki saatlik ortalama tepe basıncı, ana kollektör basıncı, kirli ve temiz yüksek fırın gazı sıcaklık verileri incelenmiştir. Yüksek fırınların devreye girmesiyle tepe basıncını yükselterek normal rejime geçme süreci Çizelge 3.10'da sunulmuş olup çizelgeye bağlı grafikler ek bölümünde verilmiştir.

Çizelge 3.10. Yüksek Fırın sistemi 14.07.2014 tarihli günlük işletme verileri

Günlük	Yüksek Fırın Sistemi(14.07.2014)			
	Tepe Basıncı (bar)	Ana Kollektör Basıncı (bar)	Kirli Gaz(°C)	Temiz Gaz(°C)
01:00	0.2	0.0750	101	33
02:00	0.4	0.0760	109	32
03:00	0.5	0.0755	97	35
04:00	0.5	0.0750	92	31
05:00	0.6	0.0775	85	34
06:00	0.6	0.0767	111	34
07:00	0.8	0.0780	91	34
08:00	0.8	0.0750	93	33
09:00	0.8	0.0750	90	34
10:00	1.0	0.0785	95	34
11:00	1.0	0.0780	123	35
12:00	1.0	0.0755	114	35
13:00	1.2	0.0775	108	34
14:00	1.0	0.0790	98	34
15:00	1.2	0.0780	110	35
16:00	1.4	0.0760	116	35
17:00	1.4	0.0785	96	33
18:00	1.4	0.0750	92	34
19:00	1.4	0.0780	85	34
20:00	1.6	0.0740	145	34
21:00	1.6	0.0755	107	35
22:00	1.5	0.0750	131	34
23:00	1.6	0.0765	122	34
00:00	1.6	0.0780	90	33

3.2. Yöntem

Bu çalışmada, mevcut bir yüksek fırına ait son bir yılın saatlik, günlük, aylık işletme parametreleri incelenmiştir. Bu parametreler; elektrik enerji tüketimleri, turbo körük hava debileri, kirli ve temiz gaz sıcaklıkları, gaz temizleme ünitesi giriş ve çıkış hat basınçları ve gaz içerisinde ihtiva ettiği nem miktarıdır. Bu verilere bağlı adyabatik işin hesaplamaları, TBT sistemi türbin çıkış yüksek fırın gazı sıcaklığı hesaplamaları ve adyabatik genişlemelere bağlı denklemler ile ilgili formüller verilecektir.

3.2.1. TBT Sistemi Performans Hesaplamaları

Yüksek fırın gazının içermiş olduğu kinetik enerjinin türbin sisteminden geçirilmesi işlemi ile elde edilecek enerji ve güç verilerinin hesaplamalarında kullanılacak formüller; Isı kapasitesi Oranının (k) belirlenmesi Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Gaz Sabiti, $R = 7.82 \times 10^{-5} \text{ kWh / kg K}$

Adyabatik iş;

$$[(k \cdot R \cdot T_1)/(k - 1)] \cdot [1 - (P_2/P_1)^{(k-1)/k}] \quad (3.1)$$

Gaz Türbin Çıkış Sıcaklığı;

$$P_1/P_2 = (T_1/T_2)^{k/(k-1)} \quad (3.2)$$

Adyabatik indis ya da özgül sıcaklık oranı olarak da adlandırılan ısı kapasitesi katsayısı, sabit basınçtaki ısı kapasitesinin (C_p) sabit hacimdeki ısı kapasitesine (C_v) oranıdır. Bu katsayı literatürde bazen de isentropik genişleme faktörü olarak da bilinir ve (gerçek gaz için isentropik üs) k ile gösterilir.

$$k = C_p/C_v = c_p/c_v \quad (3.3)$$

Burada, P sabit basınç V ise sabit hacmi koşullarında; C bir gazın ısı kapasitesini, c ise özgül ısı kapasitesini vermektedir.

Çizelge 3.11. Isı kapasitesi oranı (k) sabitinin belirlenmesi, (Anonim, 2014e)

Çeşitli Gazlar İçin Isı Kapasitesi Oranı								
Sıcaklık (°C)	Gaz	k sabiti	Sıcaklık (°C)	Gaz	k sabiti	Sıcaklık (°C)	Gaz	k sabiti
-181	H ₂	1.597	200	Kuru Hava	1.398	20	NO	1.400
-76		1.453	400		1.393	20	N ₂ O	1.310
20		1.410	1000		1.365	-181	N ₂	1.470
20	1.330	1000	1.195		15	NH ₃	1.310	
100	H ₂ O	1.324	27	CO	1.400	19	Ne	1.640
200		1.310	-181	O ₂	1.450	19	Xe	1.660
20		1.670	20		1.400	15	SO ₂	1.290
0	Kuru Hava	1.403	100		1.399	360	Hg	1.670
20		1.400	200		1.397	15	C ₂ H ₆	1.220

İdeal gaz bağlantılarında;

Entalpi;

$$\int_{H_1}^{H_2} dH = \int_{P_1}^{P_2} C_p \cdot dT \quad (3.4)$$

Enerji;

$$\int_{U_1}^{U_2} dU = \int_{T_1}^{T_2} C_v \cdot dT \quad (3.5)$$

Bu durumda; ısıl kapasitesi katsayısının entalpi ile elde edilen enerji arasındaki oran olduğu görülmektedir.

$$k = H/U \quad (3.6)$$

Adyabatik bir sistemdeki durum denklemi;

$$pv^k = \text{sabit} \quad (3.7)$$

Özgül hacim;

$$v = V'/m' \quad (3.8)$$

Burada, V' (m^3/s); hacimsel debi
 m' (kg/s); kütleli debi

sistemdeki hacim sabit olduğundan;

$$p \cdot m'^k = \text{sabit} \quad (3.9)$$

$$P_1/m_1'^k = P_2/m_2'^k \quad (3.10)$$

Eğer akış denklemi için kütleli debi oranları şeklinde formülize edilirse;

$$Q_1'/Q_2' = (m_1'/m_2') \quad (3.11)$$

$P_1/m_1'^k = P_2/m_2'^k$ denklemi ile $Q_1'/Q_2' = m_1'/m_2'$ denklemlerinin sonucunda;

$$Q_1'/Q_2' = (P_2/P_1)^{1/k} \quad (3.12)$$

İki akış arasındaki artış yüzdesi;

$$r = \frac{Q_1' - Q_2'}{Q_1'} \cdot 100 \quad (3.13)$$

Bu durumda elde edilen denklem yüksek fırınlardaki üretim sırasında sahip olduğu tepe basıncın fonksiyonel değişimi;

$$\frac{r}{100} = (P_2/P_1)^{\frac{1}{k}} - 1 \quad (3.14)$$

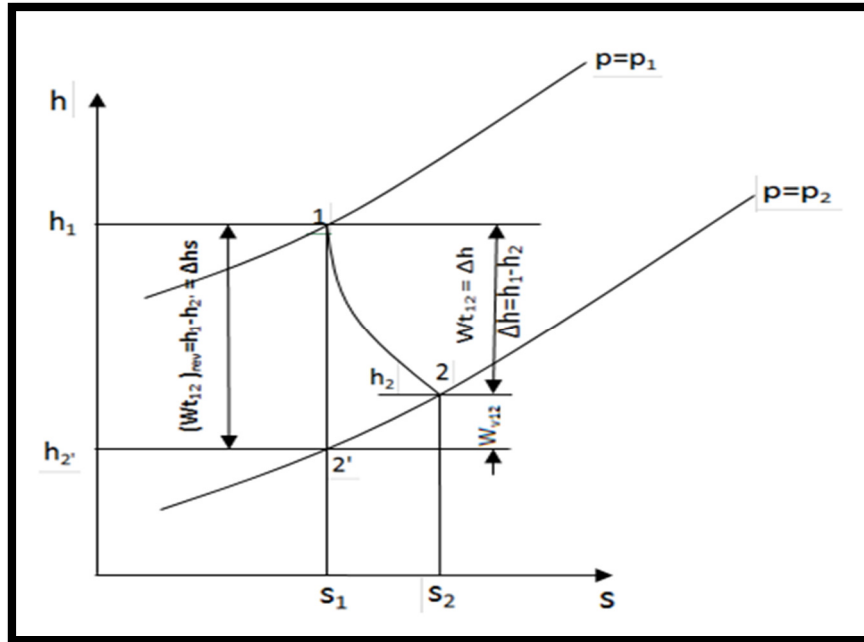
Eşitliği ile elde edilir.

Türbindeki Tersinir İsentropik Genleşme;

Sürekli akışlı ve kapalı sistemler için tersinir iş bağıntısı, kinetik ve potansiyel enerjiler önemsiz olduğunda daha geniş özgül hacim, sürekli akışlı bir sistem tarafından daha büyük iş üretir (ya da tüketir). Sürekli akışlı düzeneklerde en uygun iş etkileşiminin tersinir bir hal değişimi sırasında tersinir bir türbin, tersinmez olandan her ikisi de aynı son durum arasındalarsa daha fazla iş verir. Böylece, türbin gibi iş yapan makinalarda hal değişimleri tersinir olduğu zaman daha çok iş yapılır.

Türbindeki Adyabatik Genleşme;

Türbinlerde, akışkan türbinden geçerken mil üzerine yerleştirilmiş kanatçıklara karşı iş yapar ve bu şekilde mil dönmek suretiyle türbin iş yapar. Türbin işi akışkan tarafından yapıldığı için pozitifdir. Normal çalışma sırasında makinalar ile çevre ortam arasında bir miktar ısı geçişi olsa da, sürekli akış makinalarının çoğunun adyabatik koşullara yakın çalışma koşullarında çalıştığı kabul edilebilir. Bu nedenle bu makinalar için model hal değişimi adyabatik olmalıdır.



Tersinir İsentropik Genleşme: 1-----2'

Tersinmez Adyabatik Genleşme: 1-----2

Şekil 3.23. Türbindeki adyabatik genleşme (Anonim, 2004b)

İdeal tersinir isentropik genişlemenin(1--2') meydana geldiği durumdaki elde edilebilecek maksimum iş (kJ/kg);

$$(W_{t12'})_{rev} = h_1 - h_{2'} = \Delta h_s \quad (3.15)$$

Tersinmez adyabatik genişleme şartlarındaki elde edilebilecek iş(kJ/kg);

$$W_{t12} = h_1 - h_2 = \Delta h \quad (3.16)$$

İsentropik genişlemeye göre açığa çıkan iş kaybı(kJ/kg);

$$W_{v12} = (W_{t12'})_{rev} - W_{t12} = h_2 - h_{2'} \quad (3.17)$$

İsentropik türbin verimi;

$$\eta_{sT} = W_{t12}/(W_{t12'})_{rev} = W_{t12}/(W_{t12} + W_{v12}) = (h_1 - h_2)/(h_1 - h_{2'}) = \Delta h/\Delta h_s \quad (3.18)$$

Şaft üzerindeki türbin gücü(kW);

$$P_{12} = m' \cdot (W_{t12'})_{rev} \cdot \eta_{sT} = m' \cdot W_{t12} \quad (3.19)$$

Şaft üzerindeki türbin gücü(kW);

$$P_{w12} = m' \cdot W_{t12} \cdot \eta_m = P_{12} \cdot \eta_M \quad (3.20)$$

Jeneratör terminal gücü(kW);

$$P_{G12} = P_{w12} \cdot \eta_G \quad (3.21)$$

Eşitliği ile elde edilir.

3.2.2. Karbon Salınımı

Bir işletmede elektrik tüketimine bağlı karbon salınım miktarı, o işletmedeki elektrik tüketimi ile salınım faktörünün çarpılmasıyla hesaplanır. Ünelere özgü salınım faktörü, o ülkenin ülke genelinde üretilen elektriğe bağlı emisyon değerinin ülkede üretilen toplam elektrik miktarına oranı ile belirlenmektedir. Özel elektrik santrallerinde ve ayrıca kombine ısı ve elektrik tesislerinde yakılan farklı fosil yakıtların miktarı için veriler Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2011(a) tarihli yayınından, ülkelere göre elektrik tüketimine bağlı istatikselsalınım oranları verileri ise 2011(b) tarihli yayınından

alınmaktadır. Toplam salınımlar, Ulusal Sera Gazı Envanterleri Kılavuzundaki uygun varsayılan salınım faktörlerini (IPCC, 2006) uygulayarak bu verilerden hesaplanmaktadır. Ülkemiz için birim kWh elektrik tüketimine bağlı salınım miktarı “0,865664547” kgCO₂ olarak belirlenmiş olup bu durumda (Anonim, 2011b);

$$\text{Salınım Miktarı}(kgCO_2) = \text{Üretilen Elektrik}(kWh) \times 0,865664547 \quad (3.22)$$

Eşitliği ile elde edilir.

Yıllık çalışma süresi 8000 saat olarak alındığında yıllık üretim miktarı 40.568 MW olup bu üretim miktarına bağlı Karbon salınımı azalımı miktarı 35.118 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Yüksek Fırınların yıl içerisinde bir planlı bir plansız duruş yaptığı ve devrede olduğu süreçlerde tepe basıncının 0.6 bar basınca düşene kadar ki süreçte TBT sisteminden enerji elde edebildiği ve Yüksek fırınların bu basıncın altına düşmesi durumunda ise TBT sisteminin ürettiği enerji miktarının sıfırlanmasıyla motor konumuna geçerek devreden çıktığı öngörülmüştür. Türbin giriş basıncının 0.8 bar, Türbin çıkış basıncının 0.078 bar, Türbin giriş sıcaklığının 40 °C, yüksek fırın gazı yoğunluğu 1.27 kg/Nm³, ısı kapasitesi oranı 1.4 alınarak yüksek fırına ait adyabatik iş, termodinamik güç, türbin gücü ve jeneratör gücü hesaplanmıştır.

Örnek bir tesiste yapılan TBT sistemi güç hesaplamaları için kullanılacak veriler;

Gaz Sabiti, R	: 7.82x10 ⁻⁵ kWh / kg K
P ₁	: Türbin giriş basıncı (0.8 bar)
P ₂	: Türbin çıkış basıncı (0.078 bar)
T ₁	: Türbin giriş sıcaklığı (40 °C)
T ₂	: Türbin çıkış sıcaklığı
Gaz Yoğunluğu	: 1.27 (kg/Nm ³)
C _p	: 0.00029424 (kWh/kg°C)
C _v	: 0.00021017 (kWh/kg°C)
Isı kapasitesi oranı (k)	: 1.4
Türbin verimi	: 0.90
Jeneratör verimi	: 0.95
YFG debisi	: 295.000 (Nm ³ /h)

$$\begin{aligned} \text{İş (adyabatik)} &= [(k \cdot R \cdot T_1)/(k - 1)] \cdot [1 - (P_2/P_1)^{\frac{k-1}{k}}] & (4.1) \\ &= [(1.4 \cdot 7.82 \times 10^{-5} \cdot 313)/(1.4 - 1)] \cdot [1 - (1.078/1.8)^{(1.4-1)/1.4}] \\ &= \mathbf{0.011673 \text{ (kWh/kg)}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Termodinamik Güç} &= \text{İş (adyabatik)} \times \text{Debi} \times \text{Yoğunluk} & (4.2) \\ &= 0.011673 \times 295000 \times 1.27 \\ &= \mathbf{4373 \text{ kW}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Türbin Gücü} &= \text{Türbin Verimi} \times \text{Termodinamik Güç} & (4.3) \\ &= 0.90 \times 4373 \text{ kW} \\ &= \mathbf{3936 \text{ kW}}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Jeneratör Çıkış Gücü} &= \text{Jeneratör Verimi} \times \text{Türbin Gücü} & (4.4) \\ &= 0.95 \times 3936 \text{ kW} \\ &= \mathbf{3739 \text{ kW}}\end{aligned}$$

TBT sistemi güç hesaplamaları aynı fırın için 0.8 bardan 2 bara kadar 0.1 bar artımlarla hesaplanarak adyabatik iş, termodinamik güç, türbin gücü ve jeneratör gücü ile ilgili sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Yapılan hesaplamalar Yüksek Fırın için 0.8 bardan 2 bara kadar 0.1 bar artımlarla türbin giriş basınçlarında yapılarak jeneratör çıkış gücü ve bu güce bağlı sistemin yıllık getirisi hesaplaması dolar cinsinden ve Merkez Bankası 09.02.2017 tarihli TL/dolar kuru(1 USD=3.7119 TL) ile yapılan hesaplama Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Hesaplamalar yapılırken;

Yüksek Fırın gaz debisi: 295.000 Nm³/saat,

Türbin giriş gaz sıcaklığı: 40°C,

Sistemin yıllık çalışma saati: 8.000 saat/yıl

Elektrik Enerjisi Fiyatı: 0,11 USD/kWh alınmıştır. (Enerji Enstitüsü, 2017)

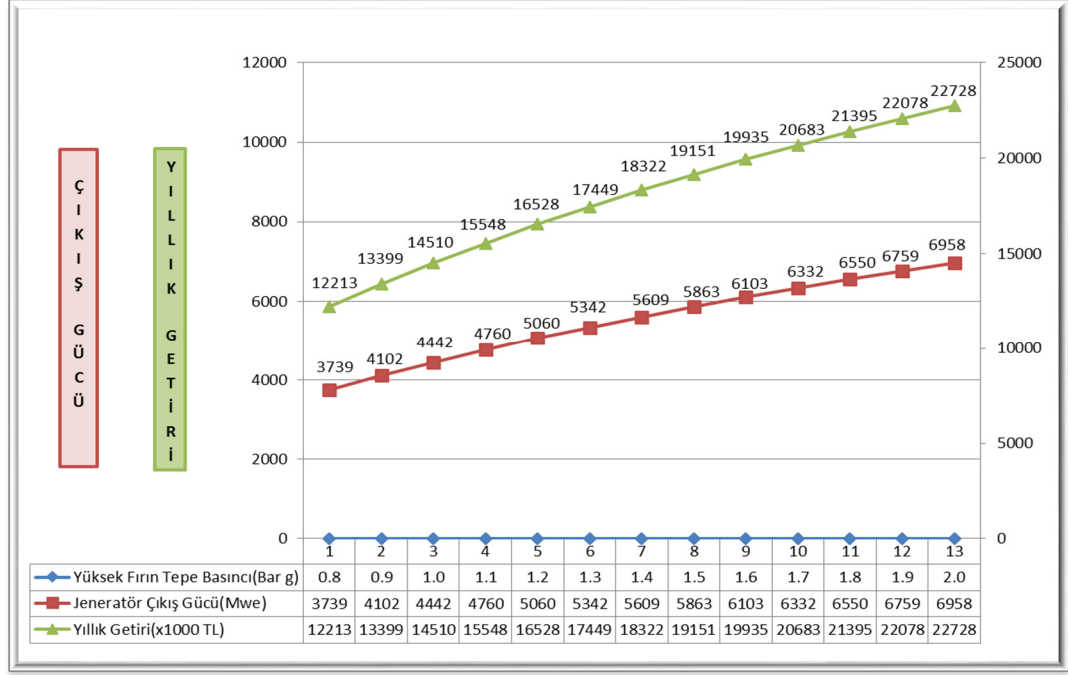
Çizelge 4.1. TBT sistemi güç hesaplamaları sonuçları

Türbin Giriş Basıncı (P ₁)	Adyabatik İş (kWh/kg)	Gaz Debisi (Nm ³ /saat)	Termodinamik Güç (kW)	Türbin Gücü (kW)	Jeneratör Gücü (kW)
0.8	0.011673	295.000	4373	3936	3739
0.9	0.012807	295.000	4798	4318	4102
1.0	0.013867	295.000	5195	4676	4442
1.1	0.014861	295.000	5568	5011	4760
1.2	0.015796	295.000	5918	5326	5060
1.3	0.016678	295.000	6248	5624	5342
1.4	0.017512	295.000	6561	5905	5609
1.5	0.018302	295.000	6857	6171	5863
1.6	0.019053	295.000	7138	6424	6103
1.7	0.019767	295.000	7406	6665	6332
1.8	0.020448	295.000	7661	6895	6550
1.9	0.021099	295.000	7905	7114	6759
2.0	0.021721	295.000	8138	7324	6958

Çizelge 4.2. Yüksek Fırın Tepe Basıncına Bağlı Jeneratör Çıkış Gücü ve Yıllık Getirisi

Yüksek Fırın Tepe Basıncı (Bar)	Jeneratör Çıkış Gücü (Mwe)	Yıllık Getiri (x1000 TL)	Yıllık Getiri (x1000 USD)
0.8	3.739	12.213	3.290
0.9	4.102	13.399	3.610
1.0	4.442	14.510	3.909
1.1	4.760	15.548	4.189
1.2	5.060	16.528	4.453
1.3	5.342	17.449	4.701
1.4	5.609	18.322	4.936
1.5	5.863	19.151	5.159
1.6	6.103	19.935	5.371
1.7	6.332	20.683	5.572
1.8	6.550	21.395	5.764
1.9	6.759	22.078	5.948
2.0	6.958	22.728	6.123

Çizelge 4.2'deki Yüksek Fırın tepe basıncına bağlı jeneratör çıkış gücü ve yıllık getirisi Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde 2014 yılı Yüksek Fırın tepe basıncına bağlı bağlı jeneratör çıkış gücü ve belirtilen basınçlarda çalışması durumunda yıllık getiri miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 4.1. Yüksek Fırın Tepe Basıncına Bağlı Jeneratör Çıkış Gücü ve Yıllık Getirisi

TBT sistemi yatırım maliyeti analizi direkt malzeme(inşaat, çelik konstrüksiyon, makine ve elektrik), direkt işçilik, nakliye, amortisman giderleri ile genel giderler(toplam üretim maliyetlerinin yaklaşık %20'si) toplanmasıyla elde edilmiştir. Enerji ve maliyet bazında toplam tasarruf miktarları ise tesisin bir yıllık üretim sonrasındaki getirisi ile hesaplanmaktadır. TBT sistemi ile ilgili maliyet analizi sonunda elde edilen veriler;

Toplam Tasarruf Miktarı (Enerji) : 3.490 TEP/yıl
 Toplam Tasarruf Miktarı (Enerji) : 40.568 MW /yıl
 Toplam Tasarruf Miktarı (Maliyet): 9.655.000 TL/Yıl
 Toplam Yatırım Miktarı : 15.500.000 TL

Sistem ile ilgili maliyet ve enerji hesaplamalarına bakıldığında projenin geri ödeme süresinin 1,6 yıl olduğu görülmektedir.

Yıllık çalışma saatine ve elektrik üretimine bağlı C salınım azaltımı Çizelge 4.3'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde yıllık çalışma süresi 8000 saat olarak alındığında yıllık üretim miktarı 40.568 MW olup bu üretim miktarına bağlı Karbon salınımı azaltımı miktarı 35.118 ton/yıl olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Yıllık çalışma saatine ve elektrik üretimine bağlı C salınım azaltımı

Sistem Adı	Yıllık Çalışma Süresi (Saat)	Elektrik Üretimi (MW/yıl)	Karbon salınımı Azaltımı (ton/yıl)
TBT	8.000	40.568	35.118

Yıl içerisinde saatlik alınan Yüksek Fırın tepe basıncı, türbin çıkış basıncı, türbin giriş sıcaklığı verilerine bağlı türbin sisteminin sonucu olan jeneratör gücü verileri Çizelge 4.4'te verilmiş olup Ocak ayı içerisindeki ayrı ayrı altı gün içinde ortalama üretilen elektrik gücü üretiminde düşüşler yaşandığı tespit edilmiştir. Yüksek Fırın soğutucularında yapılması gereken çalışma sebebiyle 28. gün Yüksek Fırında saatlik duruş ve düşük tepe basıncında çalışmış olup gün ortalaması 1.0 bar olarak gerçekleşmiştir. Bu sebeple TBT sistemi üretilen güç miktarı ortalama yüksek fırın gazı debisi gün ortalaması 300.000 Nm³, türbin giriş sıcaklığı gün ortalaması 33 °C olarak ölçülmüş olup bu şartlardaki türbin üretimi gün ortalaması 1.5 bar olan günlerde ortalama 5,8 MW, gün ortalaması 1.0 olan 28. günde ise 3,7 MW değerine kadar düştüğü görülmektedir. Ocak ayına ait tepe basıncına bağlı TBT sistemi elektrik üretimi grafiği Şekil 4.2'te verilmiştir.

Temmuz ayında ise Yüksek Fırın hazne delinmesine bağlı olarak 6 günlük hazne tamiratu duruşu verilmiş olup Yüksek fırın duruşu sebebiyle TBT sisteminde ihtiyaç olan gaz debisi ve türbin giriş basıncı sağlanamaması sebebiyle türbin sistemi de duruşa paralel durdurulmuştur. Yüksek Fırınlar duruşlarındaki süreçte varsa TBT sistemi prob, yağlama sistemi, su sistemi, tahliye sistemleri, ölçüm sistemleri arızalarının giderilmesi işleri eğer arıza yoksa türbin yatak sıcaklık transmitterleri, eksenel kayma problemleri ve yatak vibrasyon problemleri bakım ve kontrolleri yapılarak türbin sisteminin üretim sürekliliğini sağlanmaktadır. Temmuz ayı altı günlük duruş yapılması sebebiyle aylık türbin elektrik üretimi ortalaması 4,8 MW olduğu görülmüştür. Temmuz ayına ait tepe basıncına bağlı TBT sistemi elektrik üretimi grafiği Şekil 4.3'te verilmiş olup saatlik veriler Çizelge 4.5'te verilmiştir.

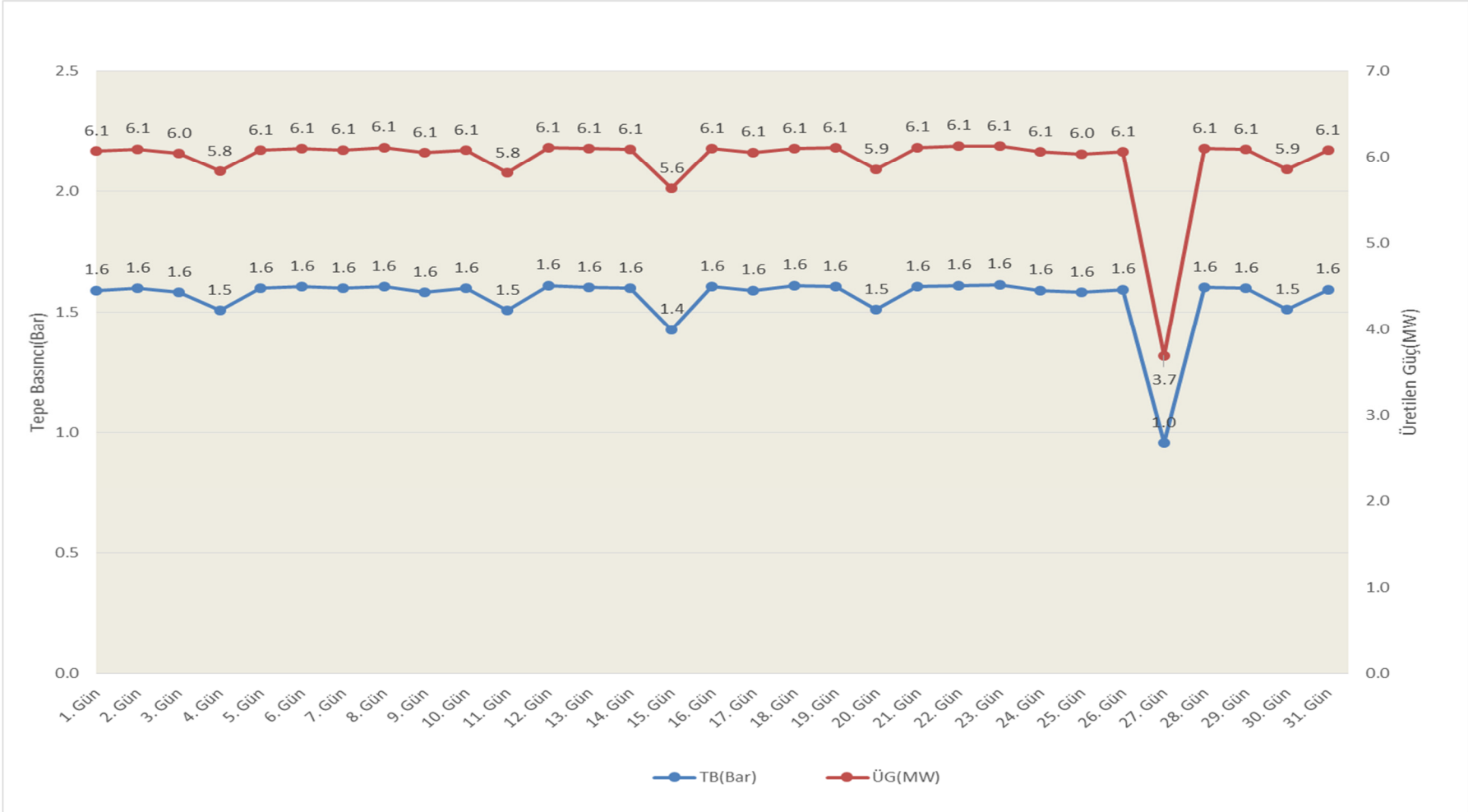
Temmuz ayı içerisindeki altı günlük duruş sonrası Ağustos ayı herhangi bir duruş yaşanmamış olup gün içerisinde yaşanan 0.1 ile 0.7 bar arasındaki basınç düşümleri haricinde herhangi bir arıza durumuyla karşılaşılmamış ve planlı olarak herhangi bir duruş öngörülmemiştir. Ağustos ayı içerisinde ortalama 6,1 MW elektrik üretimi

gerçekleştirilmiş olup ağustos ayı yılın en çok elektrik üretiminin gerçekleştirildiği ay olmuştur. Ağustos ayına ait tepe basıncına bağlı TBT sistemi elektrik üretimi grafiği Şekil 4.4'te verilmiş olup saatlik veriler Çizelge 4.6'da detaylandırılmıştır.

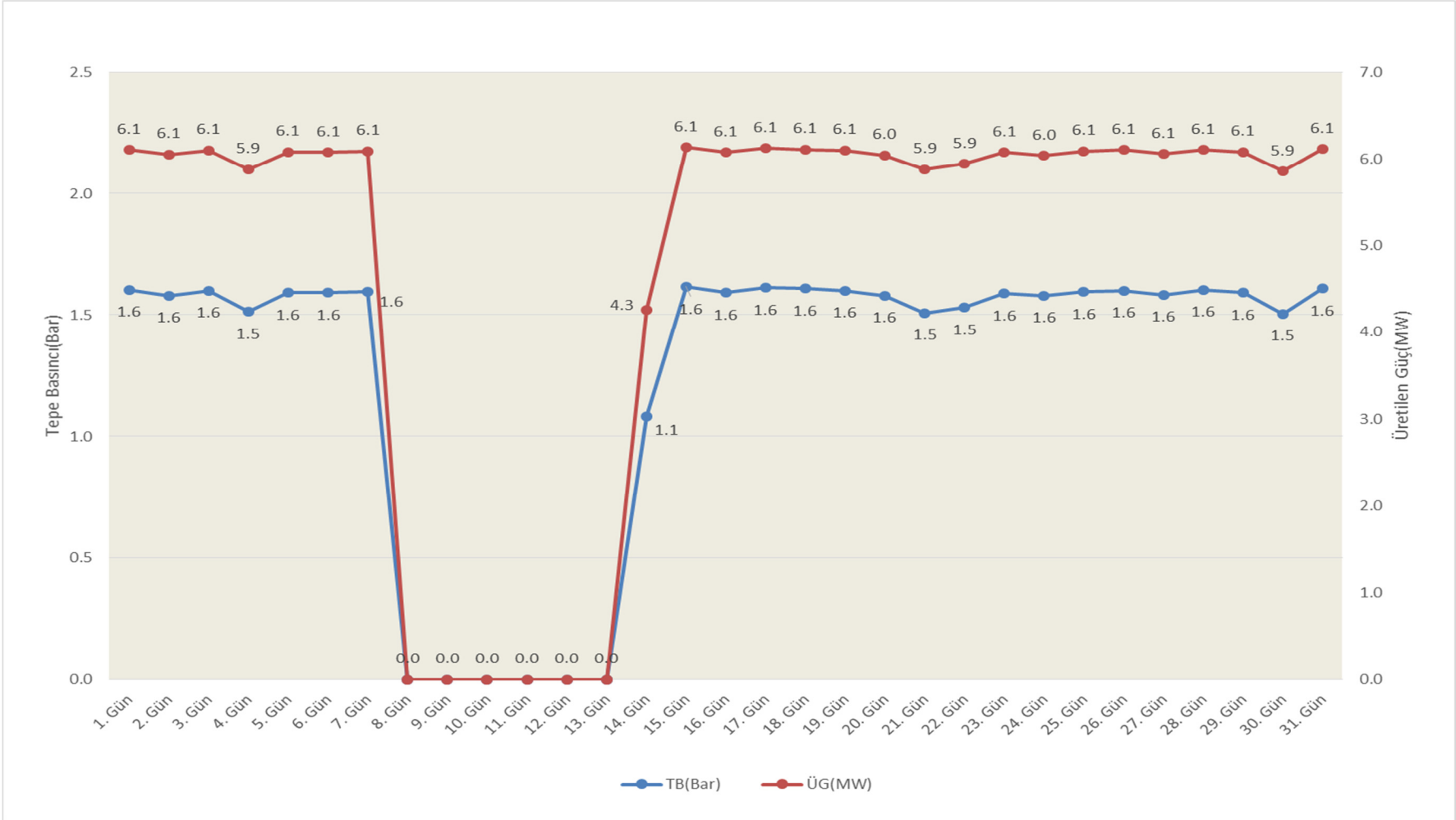


Cizelge 4.4. Ocak 2014 Yüksek Fırın Saatlik Tepe Basıncı ve Üretilen Güç Değer Tablosu

OCAK 2014																																						
Gaz Yoğunluğu Gir (kg/Nm ³)		: 1.27																																				
Türbin Giriş Gaz Sıcaklığı Gir (°K)-Ort.		: 306																																				
Yüksek Fırın Gazı Debisi(Sm ³)-Ortalama		: 300.000																																				
Cp (kWh/kg°C)		: 0.00029424																																				
TB		: Tepe Basıncı(Bar)																																				
ÜG		: Üretilen güç (MW)																																				
	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün	7. Gün	8. Gün	9. Gün	10. Gün	11. Gün	12. Gün	13. Gün	14. Gün	15. Gün	16. Gün	17. Gün	18. Gün	19. Gün	20. Gün	21. Gün	22. Gün	23. Gün	24. Gün	25. Gün	26. Gün	27. Gün	28. Gün	29. Gün	30. Gün	31. Gün							
	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG						
01:00	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8
02:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8	1.7	6.3	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1
03:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8	1.7	6.3	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1
04:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
05:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.5	5.8
06:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.3	5.3	1.5	5.8	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.2	5.0	1.6	6.1	1.5	5.8	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8
07:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.3	5.3	1.5	5.8	1.5	5.8	1.2	5.0	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8	1.2	5.0
08:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.3	5.3	1.7	6.3	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8
09:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8
10:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.5	5.8	1.5	5.8	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.5	5.8
11:00	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.2	5.0	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.3	5.3
12:00	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.2	5.0	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.3	5.3
13:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.2	5.0	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.1	4.7	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.3	5.3
14:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.1	4.7	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
15:00	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.3	5.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.3	4.7	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
16:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.1	4.7	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
17:00	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
18:00	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
19:00	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.7	6.3	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
20:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.7	6.3	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
21:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.7	6.3	1.7	6.3	1.5	5.8	1.7	6.3	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
22:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.4	5.6	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
23:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.5	5.8	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1
00:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3	1.5	5.8	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.7	6.3	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.3
ORT	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.0	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.8	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1



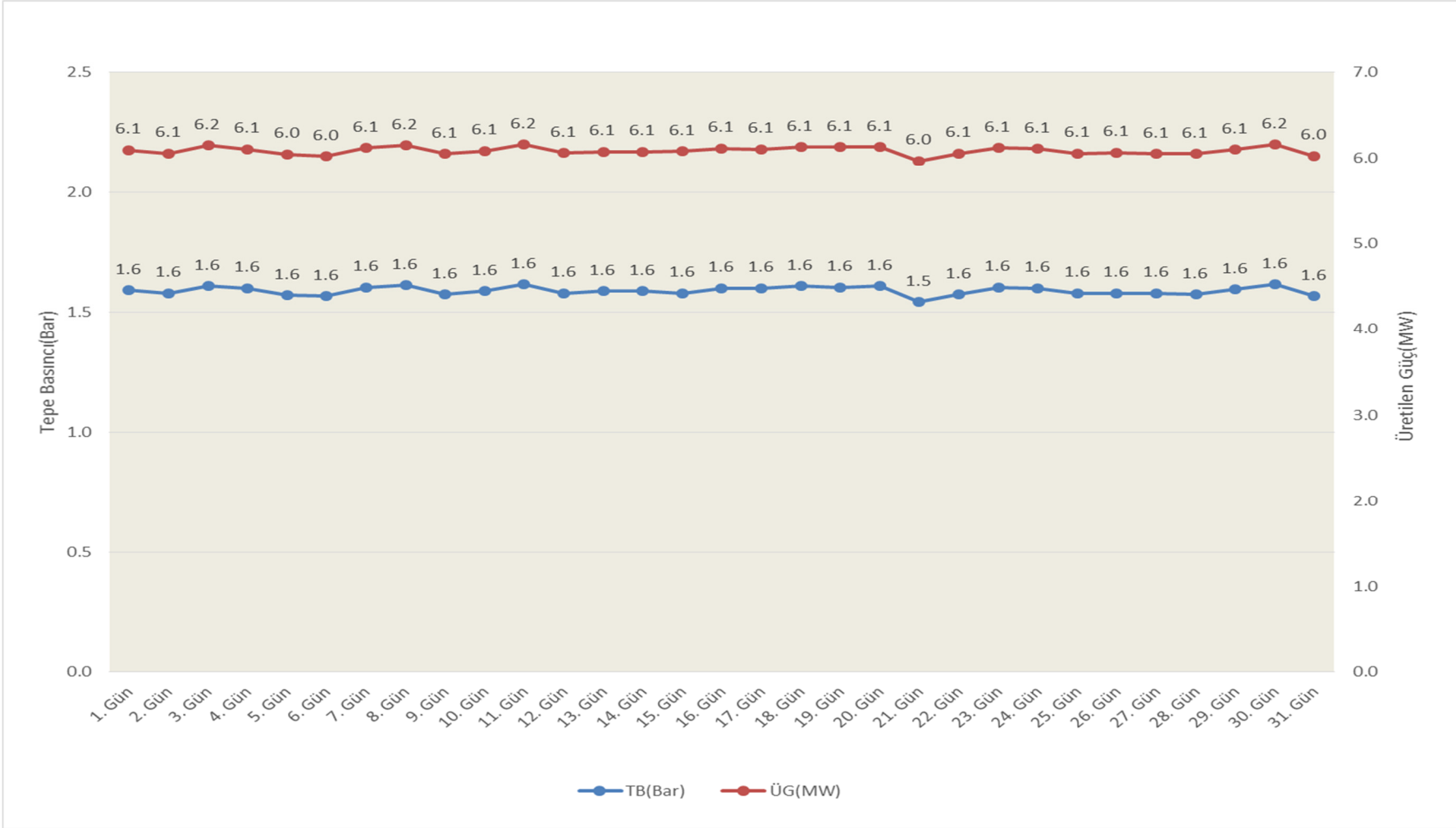
Şekil 4.2. Ocak 2014 Yüksek Fırın Saatlik Tepe Basıncı ve Üretilen Güç Grafiği



Şekil 4.3. Temmuz 2014 Yüksek Fırın Saatlik Tepe Basıncı ve Üretilen Güç Grafiği

Çizelge 4.6. Ağustos 2014 Yüksek Fırın Saatlik Tepe Basıncı ve Üretilen Güç Değer Tablosu

AĞUSTOS 2014																																																						
Gaz Yoğunluğu Gir (kg/Nm3)		: 1.27																																																				
Türbin Giriş Gaz Sıcaklığı Gir (°K)-Ort.		: 310																																																				
Yüksek Fırın Gazı Debisi(Sm3)-Ortalama		: 300.000																																																				
Cp (kWh/kg°C)		: 0.00029424																																																				
TB		: Tepe Basıncı(Bar)																																																				
ÜG		: Üretilen güç (MW)																																																				
	1. Gün	2. Gün	3. Gün	4. Gün	5. Gün	6. Gün	7. Gün	8. Gün	9. Gün	10. Gün	11. Gün	12. Gün	13. Gün	14. Gün	15. Gün	16. Gün	17. Gün	18. Gün	19. Gün	20. Gün	21. Gün	22. Gün	23. Gün	24. Gün	25. Gün	26. Gün	27. Gün	28. Gün	29. Gün	30. Gün	31. Gün																							
	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG	TB	ÜG																						
01:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.2	5.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9						
02:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.7	6.4	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9
03:00	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.4	5.6		
04:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.5	5.9	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9						
05:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.7	6.4	1.7	6.4	1.5	5.9				
06:00	1.6	6.1	1.5	5.9	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9				
07:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9		
08:00	1.6	6.1	1.5	5.9	1.7	6.4	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
09:00	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9				
10:00	1.5	5.9	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.7	6.4	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
11:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.7	6.4	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
12:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
13:00	1.7	6.4	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
14:00	1.7	6.4	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
15:00	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1		
16:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9		
17:00	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
18:00	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.4	5.6	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1				
19:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
20:00	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1				
21:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
22:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.7	6.4	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
23:00	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.7	6.4	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
00:00	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	5.9	1.5	5.9	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1		
ORT	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.2	1.6	6.1	1.6	6.0	1.6	6.1	1.6	6.2	1.6	6.1	1.6	6.2	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.5	6.0	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1	1.6	6.1				



Şekil 4.4. Ağustos 2014 Yüksek Fırın Saatlik Tepe Basıncı ve Üretilen Güç Grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

TBT sistemi, bu tesise sahip işletmeler açısından çok büyük rol oynamakta olduğu görülmekte olup Brezilya, İtalya, Çin, Japonya, Güney Kore, Almanya gibi dünya ülkelerinde yoğun bir şekilde kullanılmakta olması bu sistemin enerji tasarrufu açısından önemini ortaya koymaktadır. Dünya ülkelerinde TBT sisteminin kullanımının bu kadar yaygın olmasına karşın ülkemizde bulunan üç entegre tesiste 2015 yılı itibariyle kurulmaya başlanmış olup bu tesislerden iki adedi İskenderun Demir Çelik Fabrikaları, iki adedi Ereğli Demir Çelik Fabrikaları, bir adedi de Karabük Demir Çelik Fabrikaları olmak üzere toplamda beş adet TBT sistemi bulunmaktadır.

Bu çalışmada, çalışma alanı olarak örnek bir Demir Çelik Fabrikasına bağlı Yüksek Fırınlar ünitesi seçilmiştir. Yüksek Fırın tesisinin bir yıllık saatlik, günlük, aylık ve yıllık tepe basıncı, yüksek fırından çıkan yüksek fırın gazının gaz temizleme tesisinde temizleme ve soğutulması işlemi sonrası TBT sistemine giren gazın giriş sıcaklığı, yüksek fırın gazı yoğunluğu, yüksek fırın gazı debisi incelenmiş ve veriler kayıt altına alınmıştır. Yüksek Fırının çalışma şartlarına bakıldığında yıl içerisinde planlı ve plansız duruşların yaşandığı gözlenmiş ve bu süreçlerde TBT sisteminden enerji üretimi yapılamadığı ayrıca Yüksek fırının tepe basıncına bağlı olarak yaşanan düşüş ve artışlarda sistemin enerji üretimi eğrisi değişimi incelenmiştir. İncelenen verilere göre TBT sistemi üretilen güç miktarı ortalama yüksek fırın gazı debisi gün ortalaması 300.000 Nm³, türbin giriş sıcaklığı gün ortalaması 33 °C olarak ölçülmüş olup bu şartlardaki türbin üretimi gün ortalaması 1.5 bar olan günlerde ortalama 5,8 MW, gün ortalaması 1.0 olan 28. günde ise 3,7 MW değerine kadar düştüğü görülmektedir. Temmuz ayı 6 günlük duruş yapılması sebebiyle aylık türbin elektrik üretimi ortalaması 4,8 MW olduğu görülmüş ve Temmuz ayı içerisindeki 6 günlük duruş sonrası Ağustos ayı herhangi bir duruş yaşanmamış olup gün içerisinde yaşanan 0.1 ile 0.7 bar arasındaki basınç düşümleri haricinde herhangi bir arıza durumuyla karşılaşılmayarak planlı herhangi bir duruş öngörülmemiştir. Ağustos ayı içerisinde ortalama 6,1 MW elektrik üretimi gerçekleştirilmiş olup ağustos ayı yılın en çok elektrik üretiminin gerçekleştirildiği ay olmuştur.

2014 yılı Yüksek Fırınlara ait yıllık ortalama tepe basıncı 1.55 bar olup bu basınca bağlı jeneratör çıkış gücü 5071 kWh olarak hesaplanmıştır. Yıllık çalışma süresi 8000 saat olarak alındığında yıllık üretim miktarı 40.568.000 kWh, ton eş değer petrol cinsinden değeri 3.490 TEP olup tesisin yatırım maliyeti 15.500.000 TL ve yıllık tasarruf

miktarı ise 9.655.000 TL olduğu görülmüştür. Bu üretim miktarına bağlı karbon (C) salınımı azalımı miktarı 35.118 ton/yıl olarak hesaplanmış ve tesisin devreye girmesiyle her yıl bu miktar kadar karbon (C) salınımının önüne geçilmiştir. Sistem ile ilgili maliyet ve enerji hesaplamalarına bakıldığında projenin geri ödeme süresi 1,6 yıl olarak hesaplanmıştır.



KAYNAKLAR

- Wu P. ve YANG C., 2011. Identification and control of blast furnace gas top pressure recovery turbine unit, ISIJ international, Vol. 52 , No. 1, p. 96–100.
- Guo Z.C. ve Fu Z.W., 2010. Current situation of energy consumption and measures taken for energy saving in the iron and steel industry in China Energy, 35, p.4356-4360.
- Wu Y., 1994. Actuality analysis and potentiality exploration of WISCO No.3 Blast Furnace, WISCO Technology, Vol.3, p. 58-64.
- Dünya Enerji Konseyi, 2010. Dünyadaki enerji verimliliği politikaları; inceleme ve gelişim.
- Zhang L., 1994. On establishment and operation of top pressure recovery turbine of blast furnace No.1 in Tangshan Iron & Steel Co., Metallurgy Energy, Vol.13 No.5, 52-55.
- Xu W., 1998. Several attentive problems in the process of expanding of national TRT", Ironmaking, Vol.17 No.1, 31-33.
- Xu C. ve CANG D., 2010. Brief Overview of Low CO₂ emission technologies for Iron and Steel making, journal of iron and steel research. International. 17(3), P.1-7
- Liu X. ve Gao X., 2016. A survey analysis of low carbon technology diffusion in China's iron&steel industry. Journal of Cleaner Production 129 (2016) p.88-101.
- Cai L., Xiao J., Wang S., Goa S., Duan J. ve Moa J., 2016. Gas-particle flows and erosion characteristic of large capacity dry top gas pressure recovery turbine. Energy, 2016, p.1-9.
- Arens M., Worrell E. Ve Schleich J., 2012. Energy intensity development of the German iron and steel industry between 1991 and 2007. Energy, 45, 2012, p.786-797.
- Oda J., Akimoto K., Sano F. ve Tomoda T., 2007. Diffusion of energy efficient technologies and CO₂ emission reductions in iron and steel sector. Energy Economics, 29 (2007) p.868–888
- Johansson M.T. ve Söderström M., 2010. Options for the Swedish steel industry energy efficiency measures and fuel conversion. Energy, 36 (2011), p.191-198
- Kuşoğlu S., Karakuş C.ve Mumcu G., 2014. Energy recovery from blast furnace waste gases top pressure recovery turbine (TRT) System Applications, 7. International Ege Energy Symposium &Exhibition 2014.
- BSIET, 2010-10. Introduction of technical proposal for technology of bf TRT unit.
- İskenderun Demir Çelik Fabrikaları A.Ş., 2013. TRT Information Presentation.
- Sinosteel Co., 2013. TRT Information Presentation.
- Y. Çengel ve Michael A. Boles, 2014. Termodinamik Kitabı
- Paul Wurth Co., 2013. BF top gas energy recovery turbine information presentation
- IEA (2010). CO₂ Emissions from Fuel Combustion – Highlights (2010 edition).
- Priya ve Patil, 2014. BF gas utilization and power generation in steel plant using TRT. Pune, India, 10th IRF International Conference 01st June-2014.
- Anonim 2011b, www.emissionfactors.com (Erişim tarihi: 20.02.2017)
- Anonim, 2013, Shaangu Firması referans listesi (Erişim tarihi: 31.01.2017)
- Anonim, 2013, Chengdu Firması referans listesi (Erişim tarihi: 24.09.2016)
- Anonim, 2013, Mitsui Engineering Firması referans listesi (Erişim tarihi: 18.08.2016)

- Anonim, 2014. http://www.eia.gov/emeu/efficiency/aceee_99_final.htm (Erişim tarihi: 15.10.2016)
- Anonim, 2014. <http://ietd.iipnetwork.org/content/top-pressure-recovery-turbines> (Erişim tarihi: 09.10.2016)
- Anonim, 2015. <http://sgm.sanayi.gov.tr/Files/Documents/demir-celik-raporu-201204042012114019.pdf> (Erişim tarihi: 25.11.2016)
- Anonim, 2015. http://www.khi.co.jp/english/news/detail/20120110_1.html (Erişim tarihi: 01.07.2016)
- Anonim, 2016. <http://www.khi.co.jp/english/machinery/product/power/blast.html> (Erişim tarihi: 01.07.2016)
- Anonim, 2016. <http://fce.arcelormittal.com/corporateresponsibility/moresustainable/climatechangeandenergyefficiency/TRT> (Erişim tarihi: 12.01.2015)
- Anonim, 2016. <http://www.d cud.org.tr/en/> (Erişim tarihi: 20.12.2016)
- Anonim, 2016. www.alstom.com (Erişim tarihi: 20.08.2016)



ÖZGEÇMİŞ

Yazar, 21.06.1984 tarihinde Kahramanmaraş/Elbistan'da doğdu. Öğrenimini Hatay'da İlkokul ve ortaokul ile lise öğrenimini İskenderun Demir Çelik Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2002 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimime başladı ve Üniversiteden 2008 yılında mezun oldu. 2008-2011 yılları arasında MİMSAN A.Ş. 'de imalat ve montaj mühendisi olarak çalıştı. 2011 yılında İskenderun Demir Çelik Fabrikası'nda Gaz Tesisleri İşletme mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen Gaz İşletme Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

