

**BAŞKENT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ORTA ÖLÇEKLİ BİRLİKTE ISI-GÜÇ SİSTEMLERİNİN  
EKSERJİ, ENERJİ, ÇEVRE VE EKONOMİ  
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**OZAN KAYA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**2010**



**ORTA ÖLÇEKLİ BİRLİKTE ISI-GÜÇ SİSTEMLERİNİN  
EKSERJİ, ENERJİ, ÇEVRE VE EKONOMİ  
PERFORMANSLARININ İNCELENMESİ**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF MEDIUM SCALE  
COMBINED HEAT AND POWER SYSTEMS WITH  
RESPECT TO EXERGY, ENERGY, ENVIROMENT AND  
ECONOMY**

**OZAN KAYA**

Başkent Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
ENERJİ Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

2010

**Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,**

Bu çalışma, jürimiz tarafından **ENERJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :  
Prof. Dr. Birol KILKIŞ

Üye (Danışman) :  
Prof. Dr. Tahir YAVUZ

Üye :  
Prof. Dr. Cevdet TEZCAN

**ONAY**

Bu tez 16/06/2010 tarihinde, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

/07/2010

Prof.Dr. Emin AKATA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

## TEŐEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleőmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kiői ve kuruluőlara içtenlikle teőekkür eder.

Sayın Prof. Dr. Birol KILKIŞ'a (tez danıőmanı), çalışmanın sonuca ulaőtırılmasında ve karőtılaőtılan güçlüklerin aőtılmasında her zaman yardımcı ve yol gösterici olduğu için teőekkür ederim.

Sayın Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakóltesi Dekan Yardımcı Doç. Dr. Melih Pınarcıoğlu'na tez çalıőmalarıma gösterdiği destek ve yardımları için teőekkür ederim.

Baőtent Üniversitesi Enerji Mühendisliği Ana Bilim Dalının Saygın öğretim üyeleri ve çalıőanlarına destekleri ve paylaőtımları için teőekkür ederim.

Sayın Dr. Müjdat Kaya'ya eğitim hayatımın her döneminde olduğu gibi Yüksek Lisans Tezi çalıőmalarımda gösterdiği, maddi ve manevi destek için teőekkür ederim.

Sayın Yük. Mak. Müh. Ekin Bingöl'e tez çalıőmalarım sırasında paylaőtımları ve dostluğu için teőekkür ederim.

Arkadaőtlarım, Funda Bayulu, Arda Nural, Yük. Mim. Mete Sezer ve Seda Yücel'e Hegel Projesi çalıőmalarım süresince gösterdikleri ilgi ve destekleri için teőekkür ederim.

Ve son olarak, hayatım her döneminde ve Yüksek Lisans çalıőmalarımda destek ve sevgileri ile her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teőekkür ederim.

**ÖZ**

**ORTA ÖLÇEKLİ BİRLİKTE ISI-GÜÇ SİSTEMLERİNİN EKSERJİ, ENERJİ, ÇEVRESEL VE EKONOMİK PERFORMANS İNCELENMESİ**

Ozan KAYA

Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışmada, içten yanmalı motorlu orta ölçekli 157 kWh ısı ve 103 kWe elektrik nominal güçte birlikte ısı-güç sisteminin, termodinamiğin 1. ve 2. yasalarına göre enerji korunum eşitlikleri oluşturulmuştur. Değişen motor hızlarında (yüklerde) enerji ve ekserji verimliliklerinin yönelimleri incelenmiştir. Bu sistemin, birincil enerji tasarruf oranı, güç-ısı oranı ve yeni geliştirilen akılcı ekserji verimi, akılcı ekserji yönetim modeli, akılcı ekserji gömülü birincil enerji tasarrufu ve akılcı ekserji gömülü karbon salım tasarrufu parametrelerinin farklı yüklerde yönelimleri deneysel incelenmiştir. Yüksek yük aralıklarında sistemin performansının artış gösterdiği görülmüştür.

Birlikte ısı-güç sisteminin, RETScreen Temiz Enerji Analiz Programı ile benzetim çalışması yapılmıştır. Benzetim çalışmasında, termal yük takibi, elektrik yük takibi ve tam kapasite güç çıkışı kullanımlarında sera gazı salımları, enerji üretim kapasiteleri ve ekonomik performansları öngörülmüştür. Sistemin ısı yükü takibinde; çevresel, ekonomik ve enerji üretim kapasitelerinin, karşılaştırılan diğer çalışma metotlarına göre daha başarılı olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR SÖZCÜKLER:** Birlikte Isı-Güç Sistemleri, Ekserji, Birincil Enerji Tasarrufu, Akılcı Ekserji Yönetim Modeli.

**Danışman:** Prof. Dr. Birol KILKIŞ, Başkent Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü.

**Eş Danışman:** Doç. Dr. Melih PINARCIOĞLU, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Şehir Bölge Planlama Bölümü.

## **ABSTRACT**

### **THE EXERGY, ENERGY, ENVIROMENT AND ECONOMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF MEDIUM SCALE COMBINED HEAT AND POWER SYSTEM**

Ozan KAYA

Başkent University Institute Of Science And Engineering

The Department of Energy Engineering

In this study, internal combustion based medium sized co-generation plant (157 kWh heat and 103 kWe) is analyzed according to 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> laws of thermodynamic and energy equations and exergy destruction formulations has been established. Energy and exergy efficiency trends are examined for a variable range of operating loads. The system is examined for primary energy savings, power to heat ratio, electrical efficiency, heat efficiency, rational exergy management efficiency, primary energy and exergy savings and rational exergy based emissions performance. The results of energy, exergy and primary energy saving performance of the system is found to be increasing at rated performance (high engine speed).

Co-generation system has been simulated with RETScreen Clean Energy Analysis Program. During the simulation studies, thermal load following, electrical load following and full load performances are examined for harmful emissions, energy production capacities and economical aspects. Heat load following performance of the system has found to be more economical, environmentally friendly and has a higher energy production capacity, compared with other operation methods.

**KEYWORD:** CHP, Exergy, Primary Energy Saving, Rational Exergy Management Model.

**Advisor:** Prof. Dr. Birol KILKIŞ, Başkent University, Mechanical Engineering Department.

**Co-Advisor:** Doç. Dr. Melih PINARCIOĞLU, Middle East Technical University, Faculty of Architecture, Department of City and Regional Planning.

## İÇİNDEKİLER LİSTESİ

<b>ÖZ</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER LİSTESİ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÇİZELGELER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Birlikte üretim sistemlerinin tanımı .....	3
1.2 Tarihçe.....	6
1.3 Birlikte ısı-güç üretim sistemlerinin amacı.....	8
1.4 BIG sistemlerinin faydaları .....	9
1.5 Literatür taraması.....	12
1.6 Tezin amacı .....	15
<b>2. ANA GÜÇ SAĞLAYICILAR</b> .....	<b>16</b>
2.1 Gaz türbinleri .....	16
2.1.1 Teknolojik yapısı.....	16
2.1.2 Verimlilik.....	18
2.1.3 Değişken yüklerde çalışma.....	19
2.1.4 Bakım ve kullanılabilirlik .....	20
2.1.5 Salım karakteristiği .....	21
2.2 Buhar Türbinleri .....	21
2.2.1 Teknolojik yapısı.....	22
2.2.2 Verimlilik.....	23
2.2.3 Değişken yüklerde çalışma.....	23
2.2.4 Bakım ve kullanılabilirlik .....	23
2.2.5 Salım karakteristiği .....	24
2.3 İçten Yanmalı Motorlar.....	24
2.3.1 Teknolojik yapısı.....	25
2.3.2 Verimlilik .....	26
2.3.3 Değişken yüklerde çalışma.....	27
2.3.4 Bakım ve kullanılabilirlik .....	27
2.3.5 Salım karakteristiği .....	28



2.3.6 Isı geri kazanım karakteristiği .....	29
<b>3. TEORİ VE ANALİZ YÖNTEMİ .....</b>	<b>30</b>
3.1 BIG sistemlerinde termodinamik model .....	31
3.1.1 Kütle denkliği .....	31
3.1.2 Enerji denkliği .....	31
3.1.3 Ekserji denkliği [32] .....	32
3.2 Birlikte ısı ve güç sistemlerinde performans.....	34
3.2.1 Enerji verimliliği .....	34
3.2.2 Ekserji verimliliği.....	35
3.2.3 Güç-Isı oranı.....	36
3.2.4 Birincil enerji tasarrufu ( <i>PES</i> ) .....	37
3.2.5 Akılcı ekserji verimi.....	38
3.2.6 Akılcı ekserji yönetim modeli ( <i>REMM</i> ).....	38
3.2.7 Akılcı ekserji gömülü birincil enerji tasarrufu ( <i>PES<sub>R</sub></i> ) .....	39
3.2.8 Akılcı ekserji gömülü karbon salım tasarrufu.....	39
3.2.9 Basit geri ödeme süresi.....	40
3.3 CRF birlikte ısı ve güç üretim sistemi.....	41
3.3.1 CRF BIG sistem şematiği .....	41
3.4 BIG sistemi analiz sonuçları.....	42
<b>4. BİNA ENERJİ MODELİ VE UYGULAMA .....</b>	<b>53</b>
4.1 Bina ısı ve elektrik yükleri .....	53
4.2 Bina enerji modeli analizi .....	55
4.3 Bina salım modeli analizi .....	59
4.4 Bina ekonomik model analizi .....	59
<b>5. SONUÇ .....</b>	<b>62</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>64</b>
<b>EKLER LİSTESİ.....</b>	<b>68</b>

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Sankey diyagramı .....	2
Şekil 1.2 ÇÜ tesis örneği .....	3
Şekil 1.3 ÜÜ tesis örneği .....	4
Şekil 1.4 BIG tesis örneği .....	4
Şekil 1.5 BIG güç öncelikli tesis örneği.....	6
Şekil 1.6 BIG ısı öncelikli tesis örneği.....	6
Şekil 2.1 Gaz türbinli basit çevrim BIG sistemleri akış şeması .....	17
Şekil 2.2. Gaz türbinlerinde tekrar üretir sistemlerin akış şeması .....	19
Şekil 2.3 Ara buhar almalı buhar türbin sistem akış şeması .....	22
Şekil 2.4 İçten yanmalı BIG sistemlerinin iş akış şeması.....	26
Şekil 2.5 İçten yanmalı motorlarda yakıt tüketimi ve kısmi yük ilişkisi .....	27
Şekil 4.1 BIG kurulum şematiği .....	42
Şekil 3.1 Motor hızı ve elektrik çıkış gücü ilişkisi .....	43
Şekil 3.2 Motor hızı ve ısı çıkış gücü ilişkisi.....	43
Şekil 3.3 Motor hızı ve güç ısı oranı ilişkisi .....	44
Şekil 3.4 Motor hızı ve termal verim ilişkisi .....	44
Şekil 3.5 Motor hızı ve toplam verim ilişkisi .....	45
Şekil 3.6 Motor hızı ve sistemin ekserji verimi ilişkisi.....	45
Şekil 3.7 Motor hızı ve ısı değiştirici <sub>A</sub> ekserji verimi ilişkisi .....	46
Şekil 3.8 Motor hızı ve ısı değiştirici <sub>B</sub> ekserji verimi ilişkisi .....	46
Şekil 3.9 Motor hızı ve $PES$ ilişkisi .....	47
Şekil 3.10 Motor hızı ve gaz sıcaklıkları ilişkisi, $T_3, T_4$ .....	47
Şekil 3.11 Motor hızı ve sıcaklık ilişkisi, $T_5, T_6, T_7, T_8, T_9$ .....	48
Şekil 3.12 Motor hızı ve $REMM_{CHP}$ ilişkisi.....	48
Şekil 3.13 Motor hızı ve $REMM_{HEXA}$ ilişkisi .....	49
Şekil 3.14 Motor hızı ve $REMM_{HEXB}$ ilişkisi .....	49
Şekil 3.15 Motor hızı ve $PES_R$ ilişkisi.....	50
Şekil 3.16 Motor hızı ve $C_R$ ilişkisi .....	51
Şekil 3.17 Motor hızı ve yakıt tüketimi ilişkisi.....	51
Şekil 3.18 Motor hızı ve tork ilişkisi.....	52
Şekil 3.19 Motor hızı ve elektrik üretim verimi ilişkisi.....	52
Şekil 4.1 Binanın elektrik ve ısı yükleri .....	54
Şekil 4.2 Binanın tam güç takibi elektrik üretimi kapasite ve yüksek yükleri.....	56

Şekil 4.3 Binanın tam güç takibinde ısı üretimi kapasite ve yüksek yükleri .....	56
Şekil 4.4 Binanın elektrik yükü takibinde elektrik üretim kapasite ve yüksek yükleri .....	57
Şekil 4.5 Binanın elektrik yükü takibinde ısı üretim kapasite ve yüksek yükleri ....	57
Şekil 4.6 Binanın ısı yükü takibinde elektrik üretim kapasite ve yüksek yükleri ....	58
Şekil 4.7 Binanın ısı yükü takibinde ısı üretimi kapasite ve yüksek yükleri.....	58
Şekil 4.8 Tam güç kapasite çıkışı modeli birikmiş nakit akış grafiği.....	60
Şekil 4.9 Elektrik enerjisi yük takibi modeli birikmiş nakit akış grafiği .....	61
Şekil 4.10 Isıtma yükü takibi enerji modeli birikmiş nakit akış grafiği.....	61

## ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1 Varsayılan ısı- güç oranı değerleri [EU, 2004] .....	37
Çizelge 3.2 EU 2004/8/EC direktifine göre referans ısı ve elektrik üretim verimleri .....	38
Çizelge 4.1 Binanın aylık kurulu ısı ve elektrik yük değerleri.....	54
Çizelge 4.2 Enerji modeline göre salım değerleri .....	59

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

$\dot{m}_g$	kontrol hacmine giren kütle
$\dot{m}_ç$	kontrol hacminden çıkan kütle
$\dot{E}_g$	sisteme giren toplam enerji
$\dot{E}_ç$	sistemden çıkan toplam enerji
$\Delta\dot{E}_{\text{sistem}}$	sistemin toplam enerjisindeki değişim
$\dot{Q}$	kontrol hacmine giren net ısı
$\dot{W}$	kontrol hacmine giren net iş
$h_g$	kontrol hacmine giren akışkanın entalpisi
$h_ç$	kontrol hacminden çıkan akışkanın entalpisi
$\dot{E}_g$	kontrol hacmi içerisine giren ekserji değeri
$\dot{E}_ç$	kontrol hacminden çıkan ekserji değeri
$\dot{E}_D$	ekserji yıkım değeri
$\dot{E}_{\text{ısı}}$	kontrol hacmine giren net ısı ekserjisi
$T_0$	ölü hal sıcaklığı
$e_ç$	kontrol hacminden çıkan akışkan ekserji
$e_g$	kontrol hacmine giren akışkan ekserjisi
$h_0$	ölü hal entalpisi
$s_0$	ölü hal entropisi
$q_{\text{LHV}}$	doğalgazın alt ısı değeri
$\dot{m}_{\text{yakıt}}$	doğalgazın kütle debisi
$e_{\text{yakıt}}$	yakıtın ekserjetik alt ısı değeri
$\text{CHPH}_\eta$	birlikte ısı güç üretim tesisinin ısı verimi

$CHPE_{\eta}$	birlikte ısı güç üretim tesisinin elektrik verimi
$REFH_{\eta}$	referans ısı üretim tesisi/sistemi verimi
$REFE_{\eta}$	referans elektrik üretim tesisinin verimi
PES	birinci enerji tasarruf oranı
CHP	birlikte ısı güç sistemi (BIG)

## 1.GİRİŞ

Gelişen teknoloji, küreselleşen dünya, hızla artan nüfus yoğunluğu ve insanoğlunun daha konforlu yaşam tutkusu enerji ihtiyacının artmasına neden olmaktadır.

Küreselleşen dünyamızda enerji ihtiyacının artması, yakıt rezervlerinin her geçen gün azalması ve buna bağlı olarak çevre kirlenmesi, insanoğlu için giderek artan bir tehdit olmaya başlamıştır [5].

Yapılan araştırmalar neticesinde, 2005 yılı sonu itibariyle Dünya petrol rezervlerinin 2040, doğal gazın 2065 ve kömürün 2227 yılında tükenecek olması öngörülmektedir [1]. Bu durum ise alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve projelerin artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca enerji israfından vazgeçilmesi ve enerjiyi en yüksek verimle kullanabilecek teknolojik yenilikleri de gerçekleştirmek gerekmektedir [5].

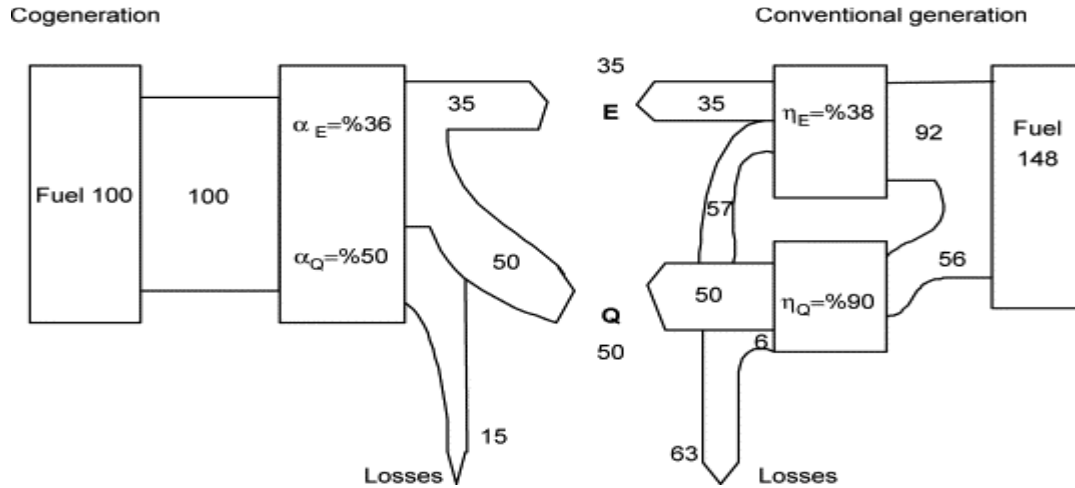
Geçen yüzyıldan bu yana dünyamızda enerji üretimi 100 kat, çevre kirliliği ise 50 kat artmıştır. Bu artışların ortalama %55'i son yirmi yıl içerisinde olmuştur. Geçen yüzyıldan bu yana fosil yakıt kullanımı ve hava kirliliği 30 kat artmıştır. Bitki ve hayvan türlerinin %20'si yok olmuş, orman yüzölçümü %25 azalmış, 480 milyon hektar toprak erozyona uğramıştır. Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Teşkilatına (OECD) bağlı ülkelerde, yılda 20 milyon ton oksijen tüketici madde deniz, göl ve nehirlere endüstriyel atık olarak atılmaktadır. Bu olumsuzluklar enerjinin gerek üretim gerekse kullanma aşamalarında rasyonel değerlendirilmemesinden kaynaklanmaktadır [5,2]. Bu veriler doğrultusunda enerji üretiminde verimli, ekonomik ve zararlı salımların azaltılmasında, sürdürülebilir teknolojilerin geliştirilmesi büyük bir zorunluluktur. Sürdürülebilir enerji teknolojileri ve sistemleri, dünyamızın geleceği açısından gittikçe büyük önem kazanmıştır.

Birincil yakıt rezervlerinin azaldığı ve dünya çapında rekabetin arttığı günümüz ortamında enerji girdilerinde süreklilik, kalite ve asgari maliyetleri sağlamak, kaçınılmaz olmuştur. Birlikte ısı-güç üretim sistemleri, günümüz çağdaş "enerji yönetimi" teknikleri içinde ön sıralarda yer almaktadır.

Birlikte ısı-güç üretim sistemleri, enerjinin hem ısı hem de elektrik formlarının birlikte ve eş zamanlı üretildikleri sistemlerdir. Enerjinin bu yöntemle üretilmesi, ısı ve elektriğin farklı birim ve yerlerde üretilmesinden ekonomik, verimli ve çevresel yönlerden daha temiz enerji üretimi olanağı sağlamaktadır.

Basit çevrimde çalışan konvansiyonel enerji sistemleri, yani sadece elektrik üreten bir gaz türbini ya da motor, kullandığı enerjinin % 30-40 kadarını elektriğe çevirebilir. Diğer bir ifade ile birincil enerji kaynağının % 55-65'ini atık ısı şeklinde çevreye atar.

Buna karşılık bir birlikte ısı-güç üretim sistemleri elektrik üretimi sırasında ortaya çıkan ısı, ısı değiştirgeci yardımıyla çeşitli ısı ihtiyaçları için (süreç ısısı, buhar, absorpsiyonlu soğutma vb.) değerlendirilebilmektedir. Böylece birlikte ısı-güç sistemlerinin kullanılması halinde, sistemden dışarıya atılan ısı geri kazanılarak, enerjisinin büyük bir bölümü de kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek, toplam enerji girişinin % 70-90 arasında değerlendirilmesi sağlanabilir. Şekil 1,1'de Sankey diyagramında geleneksel üretim teknolojileri ve birlikte ısı-güç üretim sistemlerinin üretim verimleri kıyaslanmıştır.



Şekil 1.1. Sankey diyagramı [19]

Birlikte ısı-güç sistemlerinin diğer bir özelliği ise enerji üretimi ile tüketiminin yerinde (on-site) olmasıdır. Böylece enerji üretim ve dağıtım kayıplarının önüne geçilmiş olur. Bu sebepten, birlikte ısı-güç santralleri ısı enerjisinin ihtiyaç duyulduğu bölgenin olabildiğince yakınında olmak ve ihtiyacı karşılayabilecek boyutlarda kurulmalıdır. Bu koşul sağlanmadığı takdirde bir ara ısıtıcıya gerek



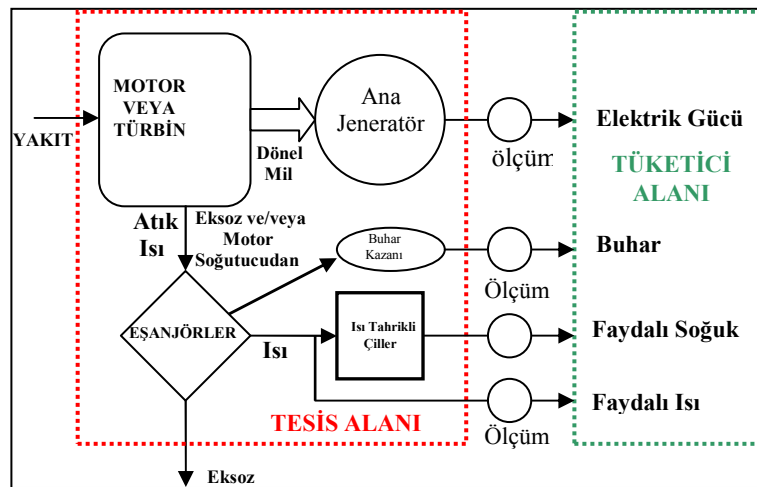
duyulacaktır. Birlikte ısı-güç sistemlerinin, en önemli noktası bu sözü edilen konumlandırılmadır. Zira elektrik enerjisinin, taşınması ısı enerjisine göre daha uygulanabilir ve ekonomiktir.

Elektrik enerjisinin az üretilmesi sonucunda ihtiyacı karşılamak için ekstra bir alım gerekli olabileceği gibi proje ısı enerjisi ihtiyacını karşılamak için planlandığında normalde gerekenden daha çok elektrik üretilcektir ve bu fazla enerji dağıtım hattından başka tüketicilere sunulabilir.

Birlikte ısı-güç sistemleri ile yerinde üretim yapan tesisler, elektrik üretim hattında bağımsız olmaları ile şebeke kirliliklerinin neden oldukları verimsizlikler ve arızalarından etkilenmezler. Enerji kalitesinin yüksek olması, süreç içerisinde kullanılan elektronik donanım ve kontrol ünitelerinin zarar görmemesine ve bakım maliyetlerinin yüksek olmamasını sağlar. Bakım ve arıza işlemlerinde şebekeden tekrar elektrik alınarak üretim süreci devam ettirilebilir.

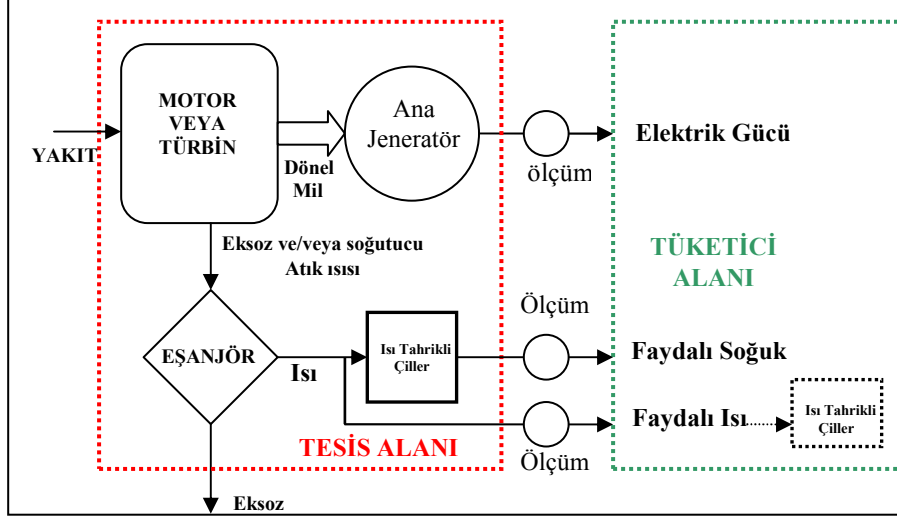
### 1.1. Birlikte Üretim Sistemlerinin Tanımı

Birlikte Üretim (BÜ), tek bir yakıt girdisinden mekanik/elektrik gücü ve faydalı ısıya dayalı farklı enerji türlerini aynı tesis veya ünite de eş zamanlı olarak üretilip, tesis dışındaki tüketicilere, ölçerek, sürekli, sürdürülebilir, faydalı ve verimli bir şekilde sağlayan üretilimdir. BÜ, çoklu birlikte üretim (ÇÜ). Üçlü birlikte üretim (ÜÜ) ve birlikte ısı ve güç (BIG) üç alt başlıkta incelenir.



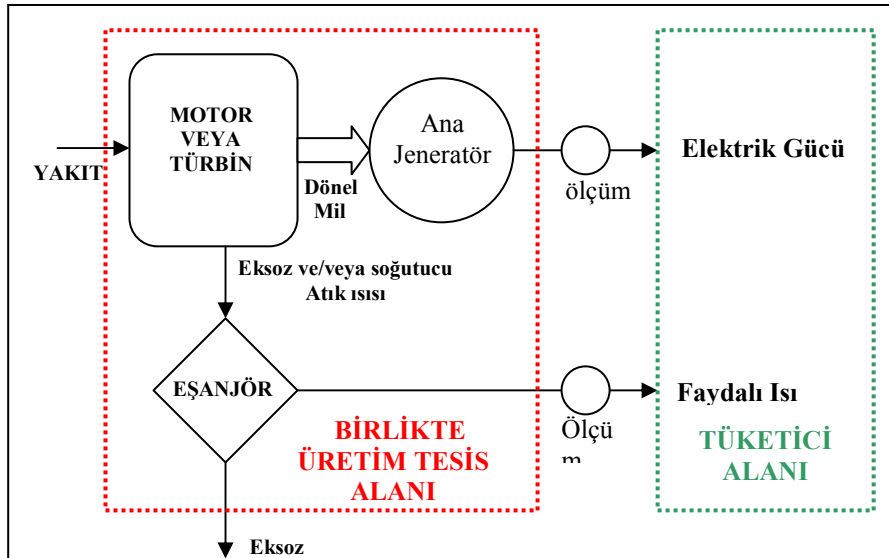
Şekil 1.2 ÇÜ tesis örneği

ÇÜ, faydalı ısıdan buhar, soğutulmuş su, sıcak servis suyu gibi farklı ekonomik talepleri aynı tesis veya ünite de üretebilen ve tüketiciye sağlayan birlikte üretimdir. ÜÜ, aynı tesis veya ünite de faydalı ısıdan sadece ısıtma ve soğutma enerjisi üreten çoklu birlikte üretimdir. Şekil 1.2'de ÇÜ ve Şekil 1.3'de ÜÜ tesis örneklerinin, şematik akış diyagramları verilmiştir.



Şekil 1.3 ÜÜ tesis örneği

Birlikte ısı ve güç (BIG) ise bileşik ısı ve güç üretimini kapsayan birlikte üretimdir. Şekil 1.3'de BIG üretim tesisi şematik akış diyagramı verilmiştir.

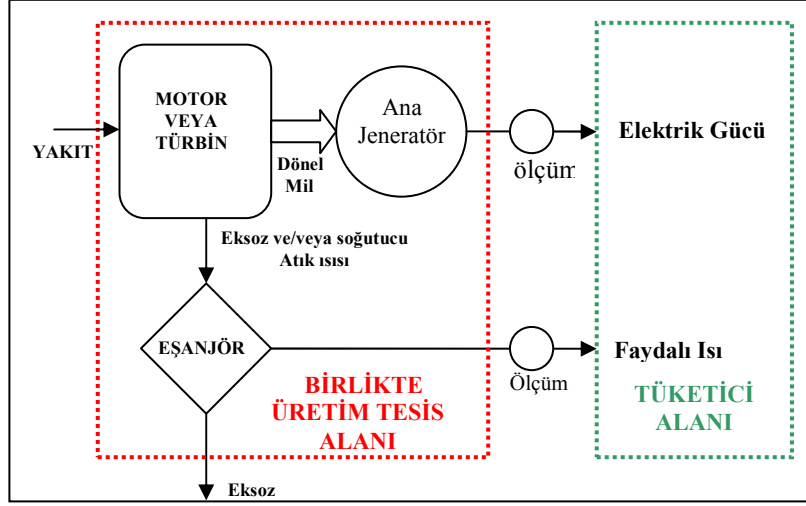


Şekil 1.4 BIG tesis örneği

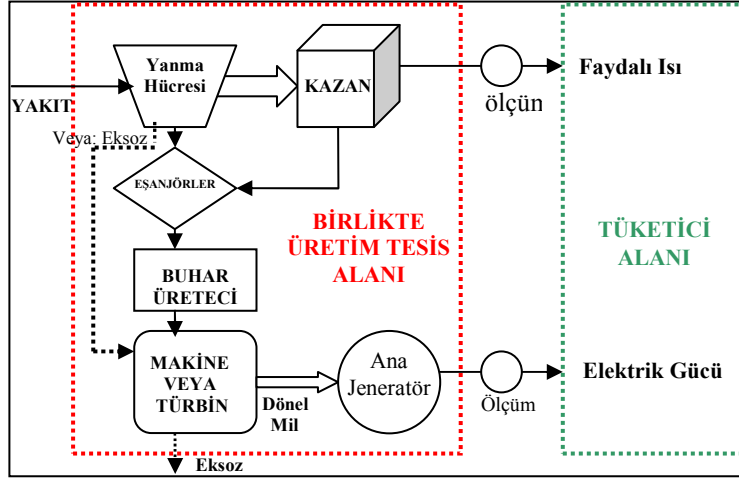
BIG sistemlerinin kurulum ve çalışma süreçlerinde önemle üzerinde durulan diğer önemli nokta ise kurulacak sistemin boyutlarıdır. Kurulacak sistemin boyutlandırılmasında önemle üzerinde durulan kavramlar ise sistemin yük takibi ve süreç stratejisidir.

BIG tesisleri, güç öncelikli yük takibi ve ısı öncelikli yük takibi olarak iki farklı süreç takibi ile çalışmaktadır. Güç öncelikli yük takibi, tüketicinin değişken güç yüklerini takip eden ve öncelikle güç taleplerini karşılayan yük takibidir. Isı yükü öncelikli yük takibi ise tüketicinin değişken faydalı ısıya dayalı enerji yüklerini takip eden ve öncelikle faydalı ısı taleplerini karşılayan yük takibidir.

BIG tesisleri farklı iki çevrim ile birlikte çalışırlar. Güç öncelikli çevrim (bottoming cycle) ve ısı öncelikli çevrim (topping cycle) BIG sistemlerinde görülen iki farklı süreç stratejisidir. Isı öncelikli çevrim ile çalışan süreç, yakıt girdisi öncelikle faydalı ısı üretiminde kullanılan çevrimdir. Güç öncelikli çevrim ise yakıt girdisi öncelikle güç üretiminde kullanılan çevrimdir. Şekil 1.5 ve Şekil 1.6'da sırası ile güç öncelikli çevrim ve ısı öncelikli çevrim çalışma prensiplerinin şematik akış diyagramları verilmektedir.



Şekil 1.5 BIG güç öncelikli tesis örneği



Şekil 1.6 BIG ısı öncelikli tesis örneği

Tek bir sistemden eş zamanlı olarak elektrik ve/veya mekanik güç ile kullanılabilir ısı üretilmesi demek olan BIG sistemleri tekniğinde ana kaynak; kullanılan güç üreticinin sağladığı mekanik güç ile ceket soğutma suyu, egzoz atık ısı ve dizel motorlarda yağlama yağı atık ısıdır.

## 1.2. Tarihçe

BIG teknolojisinin, ilk basit örnekleri 19. yüzyılın ilk yarısında görülmüştür. Bilgisayar ve kontrol sistemlerindeki teknolojik yetersizlikler ile ucuz yakıt arzı konunun öneminin unutulmasına neden olduysa da 1973-1979 Arap petrol

ambargosu ile yakıt fiyatlarının yükselmesi, BIG sistemleri ile enerji üretimine ilgiyi tekrar artırmıştır.

BIG, 20. yüzyılın başlarından itibaren, güç santrallerinin yerleşim birimlerinde kurulması ve bölge ısıtması yapılmasıyla başlamıştır. Bölge ısıtması konutların ve işyerlerinin ısıtma, sıcak su ve süreç ısılarının bir veya birkaç merkezden sağlanmasıdır. Bölge ısıtması, 1940'lı yıllarda yakıt fiyatlarının düşmesiyle çekiciliğini yitirmiştir. Ama 1970'li yıllarda yakıt fiyatlarının hızla yükselmesi, bölge ısıtmasına ilgiyi dünya çapında yeniden uyandırmıştır. BIG sistemi teknolojisi, yakıt tasarrufuna katkısı nedeniyle ekonomik açıdan kazançlı olmuştur. Bunun sonucu olarak son yıllarda bu tür santrallerin kurulması hızlanmıştır.

BIG sistemleri, merkezi ısıtma uygulamalarının yaygın olarak kullanıldığı ülkelerde daha erken gelişme ve kullanılma olanağı bulmuştur. ABD' de binalar çok yüksek olduğundan sıcak su ile ısıtma yapılamamakta, bunun yerine yüksek basınçlı buhar kullanılarak ısıtma yapılmaktadır. Bu yüzden merkezle kullanım alanı arasında yüksek basınçlı buhar tercih edilmektedir. Yüksek basınçlı buhar kullanılmasının diğer sebebi ise yaz aylarında büyük klima tesisleri için buhara olan ihtiyaçtır. Bu nedenle BIG merkezlerin yıllık verimi yüksek olmaktadır. Bu yüzyılın sonuna kadar ABD'de elektriğin % 15'inin BIG tesislerinden sağlanması beklenmektedir.

İngiltere'de 1945 yılından itibaren gelişen bölgesel ısıtma teknolojileri, özellikle son 25 yıllık dönem içinde BIG sistemlerinin gelişmesi ile oldukça hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır.

Fransa'da bölge ısıtması ile ilgili ilk büyük tesis Paris'te yapılmıştır ve buharlı olan bu sistem devamlı olarak gelişmesinde ek olarak BIG sistem merkezinden ve destek olarak yalnız buhar üreten çöp yakma merkezleri tarafından beslenmektedir.

Almanya'da ise bölge ısıtma uygulamalarında, 1930'lardan sonra kaynar suya ve özellikle BIG üretimine geçilmiştir. Merkezde ayrıca çöp yakan büyük kapasitedeki buhar kazanları, BIG tesislerine destek ünite amaçlı kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda işletme rantabilitesinin yüksek olduğu görülmektedir.

İskandinav ülkeleri, BIG ile enerji üretimi ve bölgesel ısıtma uygulamaların da diğer ülkelere göre daha sık rastlanılmaktadır. Danimarka, İsveç, Finlandiya ve Norveç'te toplam binaların % 30-80' i bu sistemle ısıtılmakta olup ısıtma merkezleri BIG üretimi şeklinde düzenlenmiştir.

### **1.3. Birlikte Isı-Güç Üretim Sistemlerinin Amacı**

Tüm dünyadaki endüstriyel tesis ve ticari amaçlı yapılar enerjinin başlıca kullanıcılarıdır. Asya-Pasifik bölgesinde bulunan gelişmekte olan ülkelere, sanayi sektörünün toplam enerji talebi içinde elektrik, yaklaşık %20'lik bir paya sahiptir. Talebin geri kalanının büyük bir kısmını ise termal enerji oluşturur. Aynı şekilde, tropikal iklim bölgelerindeki modern ve yüksek yapıların %60 gibi büyük bir oranının talebiyse soğutma ve konfor amacıyla doğmuştur. Normalde, devlete ait enerji şirketleri elektriği sağlarken, bölgesel kazan ve soğutucular da kullanıcıların ısıtma ve soğutma ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar.

Gelişmekte olan birçok ülkede, elektrik üretimi için en önemli kaynak termal enerji santralleridir. Güç santraline sağlanan birincil gücün dörtte birinin kullanıcıya elektrik olarak sağlandığı düşünüldüğünde, güç üretimi ve müşteriye iletimin tipik yöntemi masraflı bir yoldur. Güç üretimindeki kaybın en büyük kaynağı güç jeneratörlerinde kullanılan farklı termodinamik çevrimlerindeki zorunluluklara bağlı olarak ısının çevredeki suya veya havaya atılmasıdır. Ayrıca, kullanıcılar üretim yerinden uzakta olabilirler, bu da ek bir iletim ve şebekeye dağıtım masrafına yol açar. BIG sistemleri kavramının temelini, üretilen atık ısının önemli bir kısmıyla kullanıcıların ısıtma/soğutma talebinin karşılandığı bölgesel güç üretimini içeren termal kademelendirme prensibi oluşturur. Böylece tüm çevrim veriminde kayda değer bir artış görülmektedir.

BIG sistemleri, düşük maliyetli yatırımı, daha kısa kuruluş süresi, düşük yakıt tüketimi ve bunlarla birlikte çevre kirliliği ve giderek artan yakıt çeşitliliğine bağlı olarak dünya çapında tipik güç ve ısı üretim seçeneklerinin yerini alacak cazip bir alternatif olarak bilinmektedir.

BIG üretim sistemleri kavramı yüzyılı aşkın bir süredir bilinmesine rağmen, popülaritesini ve yükselen ilgiyi 70'lerin ikinci yarısı ve 80'lerin başlarında

kazanmıştır. Bu duruma gelinmesinin başlıca etkenleri, düşük masraflı ve tipik büyük çaplı elektrik üretim üniteleri ile rekabet edebilen verimli ve küçük çaplı BIG sistemlerinin doğmasına ve enerji fiyatlarındaki oynamalara yol açan iki petrol şokudur. Birçok devlet düzeyindeki yetkili, BIG üretim sistemlerinin gelişimini hızlandırmak için çeşitli önlemler almıştır.

80'lerin ortalarında enerji fiyatlarının düşmeye başlamasıyla, bazı ülkeler, özellikle de üretim kapasiteleri fazlasıyla çok olanlar bu teknolojiye karşı ilgilerini kaybetmiştir. Avrupa örneğini ele alırsak, üye ülkeler arasında büyük bir çeşitlilik olduğu gözlenebilir; Hollanda'da BIG üretim sistemleri sistemiyle üretilen elektrik ortalama % 34 iken, Fransa'da % 1.5'den daha azdır.

BIG üretim sistemlerinin tekrar önem kazanmasının asıl nedenleri hızla artan elektrik talebi, devlet düzeyindeki yetkililerin ek güç üretim kapasitesi finanse etmelerindeki zorluklar ve enerji kullanımına bağlı olarak çevre salımları ve kirliliği sınırlandırma konusunda artan endişelerdir. BIG üretim sistemleri, günümüzde mevcut tesislerin genişletilmesi, yeni endüstriyel bölgelerin kurulması, zamanı dolmuş buhar üretim sistemlerinin değiştirilmesi gibi gelişmeler planlanıyorsa veya enerjinin maliyeti fazlaysa ve güç satımına olanak varsa tavsiye edilir.

#### **1.4. BIG Sistemlerinin Faydaları [34]**

BIG sistemleri farklı sanayi üretim tesislerinde kullanılabildiği gibi ulusal elektrik şebekesini beslemek içinde kullanılabilir. Bu sebepten dolayı, BIG sistemlerinin faydalarını ülke düzeyi ve işletmeler düzeyinde ayrı ayrı incelenir.

##### Ülke Düzeyinde BIG Sistemlerinin Faydaları:

1. Enerji üretiminin tüketim noktasında gerçekleştirilmesi sonucunda elektrik enerjisi iletim ve dağıtım kayıplarının ortadan kaldırılması,
2. Yüksek birincil enerji kullanım verimliliğinin sağladığı milli veya ithal enerji kaynaklarının tasarrufu,
3. Üretilen yararlı ısı, güç birimi başına çevreye bırakılan gaz, sıvı ve katı madde miktarının, yalnız elektrik üreten elektrik santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri, tesisine göre az olması,

4. Merkezi enerji üretim santrallerine göre daha kısa inşaat ve devreye alma sürelerinin sağladığı kısa sürede elektrik enerjisi arzı,
5. Sanayi sektöründe tüketilen elektrik enerjisinin az sayıda merkezi santral yerine, dağıtılmış bir şekilde tüketim noktalarında üretilmesinin risk azaltmasına getireceği katkı,
6. Küresel ısınmanın geldiği son durum çerçevesinde, zorunlu olarak hidrokarbon türevi yakıtlar kullanılması halinde, BIG enerji yönetimi sayesinde karbondioksit salım düzeyinin azaltılması,

olarak sayılabilir.

#### İşletme Düzeyinde BIG Sisteminin Faydaları:

1. İşletmenin toplam enerji giderlerinin azalması, ürün kalitesini düşürmeden maliyetini azaltacak ve şirketin rekabet gücünü arttıracaktır.
2. İşletmeye sürekli enerji temini güvence altına alınacak, enerji kesintilerinin yol altına alınacak, enerji kesintilerinin yol açtığı zararları ortadan kalkacaktır.
3. Sürekli enerji temini güvencesi yanı sıra, temin edilen enerjinin kalitesinin de güvence sağlanarak, elektrik potansiyeli dalgalanmalarından ortaya çıkan arıza ve zararlar da ortadan kalkacaktır.

BIG sistemleri farklı işletme ve sektörde kullanım alanı bulmaktadır. Sektörlere göre kullanım alanları çeşitlilik gösterir. Aşağıda yaygın olarak BIG kullanımı görülen sektörlerde kullanım alanları sıralanmaktadır.

#### İnşaat Sektörü:

- Villalar, evler ve apartmanlar,
- Hastaneler
- Polis merkezleri ve hapishaneler,
- Okullar ve Üniversite yerleşkeleri,
- Hükümet binaları ve bankalar,



- Ofis ve ticari merkezler.

#### Servis Sektörü:

- Oteller, tatil köyleri,
- Yüzme havuzları ve eğlence merkezleri,
- Mağaza ve süpermarketler,
- Havaalanları,
- Alışveriş merkezleri
- Lokantalar,
- Kuru temizleyiciler,
- Çeşitli yıkama ve kurutma merkezleri.

#### Sanayi Sektörü:

- Gıda işletme,
- Tekstil üretimi,
- Kereste üretimi,
- Kimya sanayi,
- Sanayi bölgeleri ve teknoparklar.

#### Tarım Sektörü:

- Balık üretim merkezleri,
- Seralar,
- Tahıl ve ağaç kurutma,
- Hayvan barınakları.

## 1.5. Literatür Taraması

Birlikte ısı-güç üretim sistemleri son on yılda hız kazanması ile birlikte literatürde çok fazla çalışmaya rastlanılır.

Swith ve Twidel (1995) tarafından yapılan çalışmada, küçük ölçekli BIG üretim sistemleri için ekonomik analizde geri ödeme süresi ve net karın önemi üzerinde durulmuştur. Geri ödeme süresi ilk yatırım masraflarının yıllık net kara bölünmesi ile bulunmuştur. Yıllık kar, enerji üretimi ile sağlanan kazançtan yatırım ve yakıt masraflarının çıkartılması sonucunda elde edilmiştir.

Gilijams ve Boonstra (1995) tarafından yapılan çalışmada, konut ısıtılmasında ve sıcak su üretiminde yakıt tüketiminin azaltılması için BIG sisteminin kurulması ve konutlardaki ısı kaybını azaltacak önlemlerin alınması gerektiğini savunmuşlardır. Bunun için günlük ve mevsimlik değişiklikler kaydedilmiştir ve yüksek oranda tasarruf ve geri dönüşüm sürelerinde azalmalar görülmüştür.

Derbentli (1996) yaptığı çalışmada, BIG sisteminin seçiminde kullanılacak parametreleri incelemiş, termodinamik ve ekonomik analizi bir örnekle açıklamıştır. BIG sisteminin, ekonomik olup olamayacağını yıllık kazançlar ile yıllık giderlerin kıyaslanması ile tespit edilebileceğini belirtmiştir. BIG sistemlerinin ekonomik olabilmesi için elektrik ve ısı gelirlerinin yakıt ve kredi giderlerinden fazla olabilmesi gerektiğini belirtmiştir.

Bojic (1996) yaptığı çalışmada, tersinmez Carnot makinesinde bileşik ısı-güç üretimini belirleyen fiziksel ve ekonomik parametreleri inceleyip, sonlu termodinamik yöntemlerle üretimin yıllık değerinin analizini yapmıştır. Carnot makinesinde, BIG üretim sisteminin fiziksel modellemede kullanılan sıcak ve soğuk yüzeyler için ısı transferi katsayıları belirlenmiştir. Aynı şekilde ekonomik analizinde ise; elektrik ve ısı üretimi, ilk yatırım maliyeti, yakıt gideri ve maliyetin hesabını incelemiştir. Çalışma sonucunda tersinmez Carnot makinesinin sıcak ve soğuk tarafındaki ısı transferininin ve ısı transfer katsayılarının eşit olması gerektiği belirtilmiştir. Böylece yıllık maksimum değer için Carnot makinesinin yüksek ve düşük sıcaklıklar oranının en uygun değerde olması gerektiği gösterilmiştir.

Riad ve Michel (1998) çalışmalarında, üretim tesislerinde enerjinin korunması, rasyonel kullanımı ve enerji yönetiminin gerekliliği üzerinde durmuşlardır. Enerjini kaynaklarının tasarruflu kullanımı ile çevre kirliliğinin önleneceğini savunmuşlardır. BIG sistem donanımının ekonomik maliyet ve ömürlerinin, ilk yatırım maliyetlerinin geri kazanılmasında önemli olduğunu göstermişlerdir.

Bilgen (2000), BIG sistemlerinden gaz türbinleri için ekserji analizini yapmış ve bir gaz türbini modellemiştir. Gaz türbinin, uygun değer enerji verimliliği ve ekserji verimliliği noktalarının çevre sıcaklığı ve yüklerle ilişkili olduğunu göstermiştir.

Malinowska ve Malinovski (2000), ısı pompası ilave edilmiş orta ölçekli bir BIG sisteminin sıcak su ısıtıcısı ve elektrik enerjisi ile ısı üretiminin birleştirilmesi ile oluşan sistem için ekserji verimliliği analizi yapmışlardır.

Klaus Lucas (2000) tarafından yapılan çalışmada BIG sistemlerinin termodinamik analizi yapılmıştır ve bu çalışmanın sonucunda BIG sistemlerinin yüksek oranda birincil enerji tasarrufu sağladığı belirtilmiştir. BIG ve ayırık üretim sistemleri için ekserji kaybı analizi yapılmış ve BIG sistemlerinin üstünlüğü vurgulanmıştır.

Casella ve arkadaşları (2001), BIG sistemlerinde ürün fiyatlarının azaltılması için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada fiyat/ürün kalite oranının, ürün satış ve alış üzerinde etkileri incelenmiştir.

Arpacı (2002), "Doğal Gazlı Kojenerasyon Sistemlerinde Exergy Analizi" isimli yüksek lisan tez çalışmasında, enerji denkliliği eşitliğinin uygulandığı ısı sistemin ana sistem parçalarını modellemiştir. Bu model çalışmasında ekserji içeren ayrı kuramlarını sistemin parçaları içerisinde ekserji akışı, entropi üretim akışı, kullanılabilir iş gibi ekserji oranı terimlerine ayırmıştır.

Tekeli (2003), "Gaz Türbinli Bileşik Isı-Güç Üretim Sisteminin Termodinamik Çözümlemesi" isimli yüksek lisans tezi çalışmasında endüstriyel tesisler ve toplu konut yerleşim alanlarının elektrik ve ısı ihtiyaçlarının karşılanmasında gaz türbinli BIG sistemini önermiş ve bu sistemin ekserji ve enerji analizlerini yapmıştır.

Çomaklı (2003), "Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi" isimli doktora tezi çalışmasında kızgın su dağıtım hatları bulunan ve yılda 10000

(on bin) ton kalorifer yakıtı tüketen ısıtma sistemi için enerji ve ekserji analizi yapmıştır.

Yılmaz (2003) yaptığı çalışmada, BIG sistemlerine uyarlanmış bir Carnot çevrimi üzerinde dış kaynaklı tersinmezliklerde dikkate alınarak BIG sistemleri için alternatif performans ölçütleri incelemiştir. İnceleme sonucunda BIG sistemleri için uygun elektrik ısı oranının teorik olarak bire eşit olması gerektiğini göstermiştir. Eğer üretilen ısı üretilen elektriğe eşit olursa teorik hesaplamalara göre ısı veriminin maksimum olacağı savunulmuştur.

Badami (2005) çalışmasında, FIAT Research Center'da 120 kWe elektrik gücüne sahip doğalgaz motorlu sisteminin farklı elektrik ve ısı yüklerine cevap verebilmesi ve farklı devirlerde çalışabilmesi üzerine oluşturulan iki parametre geliştirmiştir. Çalışmanın sonucunda araç motorunun değişik yüklerde verimli çalışmasından dolayı konvansiyonel sistemlere göre daha verimli olduğu düşünülmüştür. Motorun elektriksel verimi % 50 olarak belirlenmiş ve yüksek performanslı olarak değerlendirilmiştir.

Chen ve arkadaşları (2005), BIG sistemleri için bir algoritma geliştirmişler; BIG sistemlerinin planlanması, yakıt fiyatları ve üretilen elektriğin satış fiyatlarının uygun değer şartların sağlanması için önemli parametreler olduğu gösterilmiştir. Bu parametrelerin oluşturduğu algoritma ile sistemin ekonomik yönden daha verimli çalışması için en uygun şekle sokma çalışmaları yapmışlardır.

Kılış (2009), "BIG sistemlerinin Mukayesesi için Teknik Ve Ekonomik Eş-Taban Metriği" adlı çalışmasında BIG sistemleri için ekonomik ve teknik performans ölçütleri geliştirmiştir. Performans ölçütleri ile ortak bir puan metriği oluşturarak, belirli puan aralıklarına harfler vermiş ve altı adet puan derecesine ayırmıştır.

Bingöl ve arkadaşları (2010), " Comparison Of Poly-Generation Systems For Energy Savings, Exergetic Performance And Carbon Footprint" adlı çalışmasında BIG sistemleri için uygun değer birincil enerji tasarruf oranı ve ekserji gömülü birincil enerji tasarrufu oranları için güç-ısı oranının bire yaklaşması ile gerçekleştiğini göstermişlerdir. Ayrıca ekserji verimliliğinin, karbon ayak izine etkisini incelemişlerdir.

Bingöl ve arkadaşları (2010), "Different Exergy Analysis Techniques for High Efficiency Poly/Co-Generation Systems for Various Operating Loads" adlı çalışmalarında farklı termal ve elektrik yüklerinde BIG sisteminin termodinamik analizini deneysel olarak yapmışlar ve sonucunda uygun değer koşulların %70-75 motor yüklerinde gerçekleştiğini göstermişlerdir.

### **1.6. Tezin Amacı**

Bu çalışmada EU F.P. 6 HEGEL( High Efficiency Poly/Co-Generation Applications) projesi çerçevesinde geliştirilen 120 kWe güç ve 157 kWh ısı kapasitelerine sahip BIG sistemi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Mimarlık Araştırma, Tasarım, Planlama, Uygulama Merkezi'nin (MATPUM) ısı ve elektrik yüklerini karşılamaktadır [40].

Proje çerçevesinde kurulan sistemin çalışmanın ilk aşamasında, termodinamiğin 1. ve 2. kanunlarına göre enerji denklikleri ve verimlilik analizleri yapılmıştır. Sistem için yeni geliştirilen termodinamik kavramlar; Birinci Enerji Tasarrufu, Akılcı Ekserji Yönetim Modeli, Ekserji Gömülü Birincil Enerji Tasarrufu ve Akılcı Ekserji Gömülü Karbon Salım Tasarrufu deneysel sonuçlar doğrultusunda değerlendirilmiştir [42].

Çalışmanın ikinci aşamasında; kurulan sistemin RETScreen Temiz Enerji Analiz Programı kullanılarak farklı yük takibi modellerinde, bina enerji modeli, sera gazı salım analizleri ve ekonomik analizleri yapılmıştır [40].

Böylece tez çalışması çerçevesinde, önceki çalışmalardan farklı olarak bina enerji modelinin oluşturulmasında bilgisayar tabanı kullanılmıştır ve içten yanmalı motorlu BIG sisteminin termodinamik analizi yapılmıştır.

## **2. ANA GÜÇ SAĞLAYICILAR**

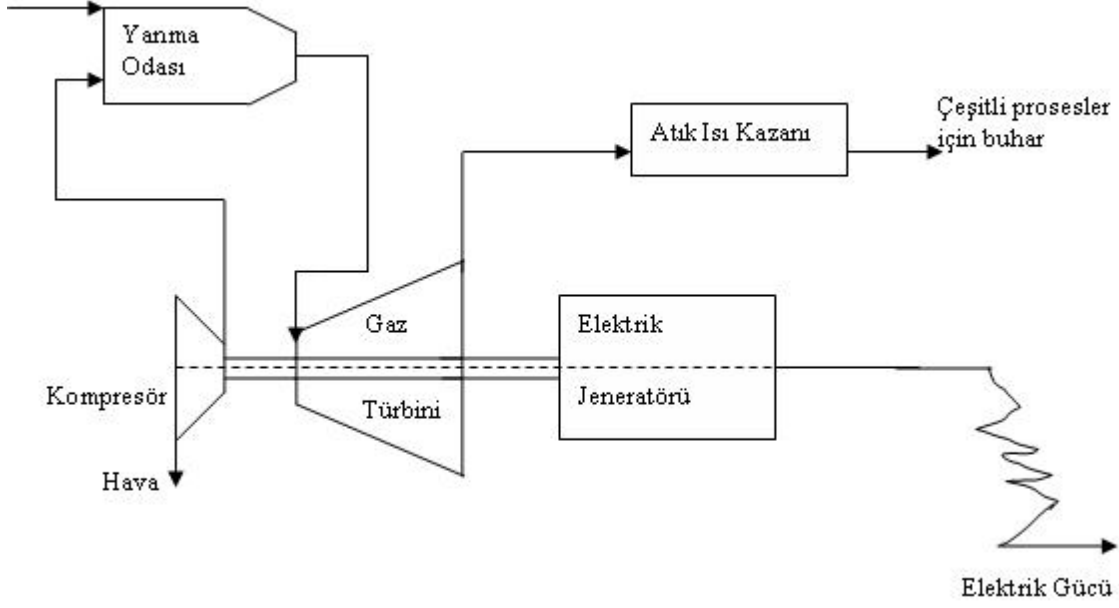
BIG, termodinamik olarak enerjinin iki türünü art arda tek bir enerji kaynağından üretirken, ana güç sağlayıcılar ise kimyasal ya da termal enerjiyi güce çeviren ve BIG'in temelini oluşturan sistemlerdir. BIG sistemlerinde, yaygın olarak kullanılan, ana güç sağlayıcılar; gaz türbinleri, buhar türbinleri ve içten yanmalı motorlardır [2].

### **2.1 Gaz Türbinleri**

Gaz türbinleri basit çevrim olarak kullanıldığı gibi bir buhar türbini ile kombine edilerek kombine çevrimin bir parçası olarak da kullanılabilir. Bu yöntem BIG sistemleri ile enerji üretiminde en büyük pastaya sahip konumdadır. Gaz türbinini temel alan uygulamalar, birkaç yüz kW kurulu güçlerden başlayarak, geniş bir yelpaze boyunca artış gösterir ve 1000 MW kapasiteye kadar ulaşır. Ticari olarak gaz türbinlerine 200 kW ile 150000 kW arasında ulaşabilmek mümkündür. Gaz türbini uygulamaları temel yük ihtiyacını karşılamak için kullanılabilirdiği gibi yük tıraşlaması uygulamalarında da kullanılabilir. Ayrıca gaz türbinlerinin yüksek sıcaklıkta ısı geri kazanımları, güvenilirlik, kullanılabilirlik, düşük bakım maliyetleri ve dramatik yük dalgalanmalarına karşı esnek olarak verdiği cevaplar gaz türbinlerinin tercih edilmesinin nedenleridir [2].

#### **2.1.1 Teknolojik Yapısı**

Gaz türbini teknolojisi diğer ana güç sağlayıcılarına kıyasla daha basit ve anlaşılabilir bir yapıya sahiptir. Basit açık çevrim gaz türbininde üç ana bileşen vardır ve Brayton çevrimi boyunca çalışır.



Şekil 2.1 Gaz türbinli basit çevrim BIG sistemleri akış şeması [31].

Uygulamada ilk temel bileşen kompresördür ve açık hava basıncında ki havayı türbinde yanma için gerekli basınç koşullarına kadar sıkıştırır. Sıkıştırma işlemi sırasında ısı transferi gerçekleşmez. Eski ve küçük türbinler 2.067 kPa basınca kadar ve sıkıştırma oranı 15:1 ile sıkıştırabilir. Yeni ve büyük endüstriyel türbinler ise 4.137 kPa basınca ve 30:1 sıkıştırma oranına ulaşır. Bu işlem sırasında ısı transferi olmasa da sıkıştırma işlemi sırasında sıcaklıkta artış gözlemlenir. Sıkışmış hava, dağıtaçtan (difüzer) geçerek yanma odasına ulaşır ve burada yakıt ile birlikte yakılır. Yanma işlemi sırasında gerçekleşen işlem sonucunda türbin için gerekli sıcaklığa ulaşırken, basınçta %1-2 oranında kayıplar olur. Bu işlemlerin sonucunda, 1200 °C sıcaklık ve %15-16 oksijen derişikliği ile egzoz gazı yanma odasını terk eder.

Yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı türbine ulaştırılır. Türbinde, egzoz gazlarının ısı enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülür ve sonra kinetik enerjide, mekanik enerjiye dönüştürülür. Sistemde ısı enerjisinin düşük bir miktarı mekanik enerjiye çevrilir. Isının fazlası yüksek sıcaklıkta dışarı atılır. Sistemde kullanılan atık ısı, kullanıcının istediği miktardan az ise verimi artırmak için yeteri kadar oksijene sahip egzoz gazı, doğal gaz ile tekrar yakılabilir.

Diğer taraftan, ısıdan çok mekanik enerjiye ihtiyaç varsa, buhar türbininden ve gaz türbininden oluşan birlikte sistem kullanılır. Gaz türbininden çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazı ile buhar üretilir. Üretilen buharın, buhar türbininden geçirilmesiyle ek güç elde edilebilir.

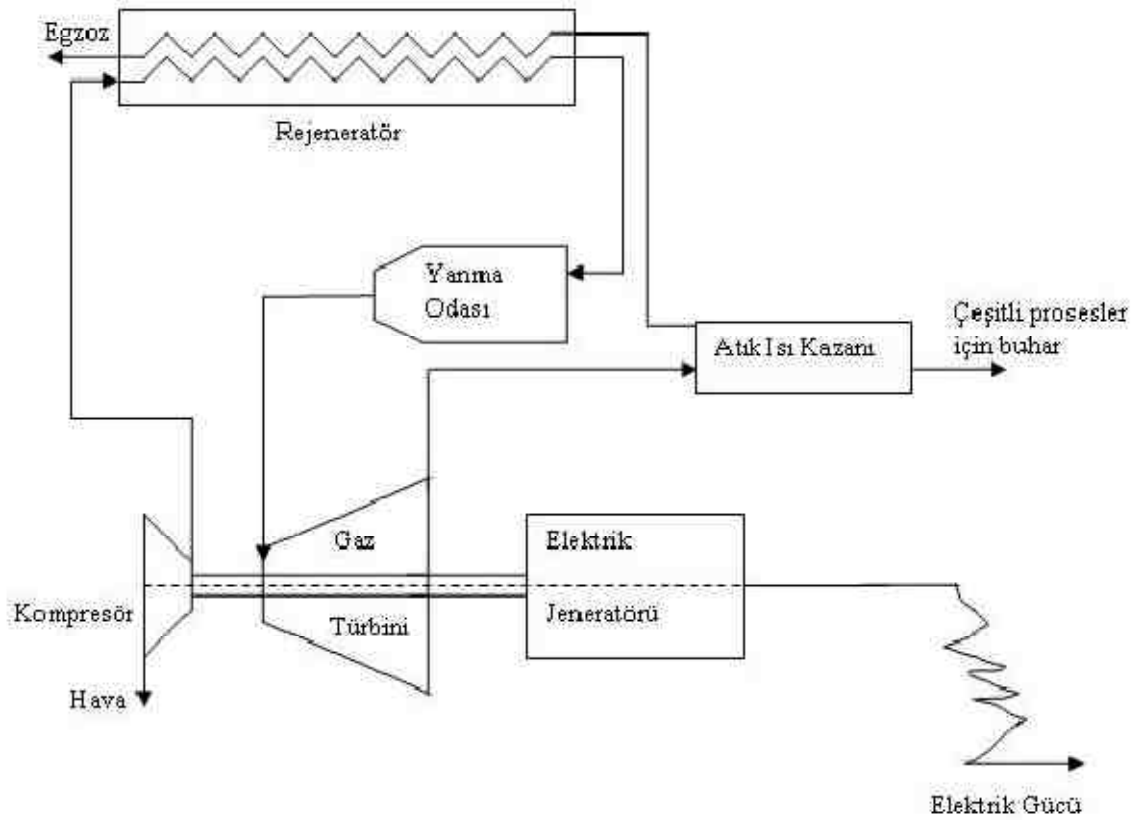
### **2.1.2 Verimlilik**

Gaz türbinlerinin verimi, türbin giriş ve egzoz gaz sıcaklık oranlarının bir fonksiyonudur. Verimlilik, türbin giriş sıcaklığının artırılması ile doğru orantılı artış gösterir. Üreticiler, bu sebepten dolayı türbin giriş sıcaklığını 1316 °C olarak önerirler. Düşük egzoz sıcaklıkları ise verimliliği artırıcı yönde etki eder [2].

Tekrar üretir (Regeneratif) türbinlerde, süreç karmaşıklığı ve ilk yatırım maliyetlerinde artış gözlemlenmesine rağmen, mekanik verimde ve güç üretiminde artış gözlemlenir. Diğer taraftan ısı geri kazanım miktarında bir azalma görülür ve yakıt tüketimi de azalır. Fakat türbin fiyatlarında ki artışın ısı geri kazanımında azalmaya karşılık, güç üretiminde ki artış değerlendirilirse bu tür türbinlerin fiyat etken olduğu görülür [2].

Verimlilik artışında diğer bir yaklaşım ise yüksek sıcaklıkta bulunan ısı kaynağının tekrar yakılarak düşük basınç türbininden geçirilmesidir. Bu yaklaşıma göre ikinci bir yanma odasına egzoz edilir. Türbin egzoz gazları %15 O<sub>2</sub> içerirler ve tekrar bir yakıt ile beslendikten sonra yakılır ve düşük basınç türbininde ikincil bir üretimi sağlarlar. Tekrar ısıtılma işlemi, türbin mekanik veriminin ve Carnot veriminin artırılmasını sağlar [2].





Şekil 2.2. Gaz türbinlerinde tekrar üretir sistemlerin akış şeması [31].

### 2.1.3 Değişken Yüklerde Çalışma

Türbin tarafından üretilen yükün %50'den fazlası havanın sıkıştırılması için kompresör tarafından kullanılır. Tek mil, basit çevrimler sabit hızlarda çalışırlar ve bundan dolayı kütle debisi sabittir; kompresör çalışma yükü dikkate değer ölçüde yük değişimi ile değişmez. Kompresör parazitik yüklerinin sabit olduğu durumlarda, türbin çıkış gücü düşerse, türbinin genel verimi belirgin şekilde düşer.

Çoklu mil (multi spool) türbinler hava akışını azaltabilir veya kompresör işini üretimin fonksiyonu haline getirebilirler. Kompresör işi için gerekli net türbin işi doğrusal bir şekilde azalmaz, çünkü türbin işi içindeki kısım işin azalması ile kesirsel olarak artar. Bundan dolayı kısmi yüklerde türbin verimliliği düşer.

#### 2.1.4. Bakım ve Kullanılabilirlik

Gaz türbinin kullanılabilirliği, doğal gaz gibi temiz bir gazlı yakıtla çalıştırıldığında % 95'in üzerindedir. Kirli atık yakıtın veya diğer yakıtların kullanımı, koruyucu bakım için motorun daha sık durdurulmasını gerektirdiğinden kullanılabilirliği azaltır [6].

Tüm ana güç sağlayıcılar, görsel olarak her gün incelenmeli ve gözden geçirilmelidir. Ancak gaz türbinlerinde, genellikle kapsamlı incelemelerin aylık temel düzeyde yapılması gerekir fakat bu işlem sistemin tamamen durdurulması ile olur. 4000 saatlik çalışma zamanından sonra, enjektörler, duyurga, türbin bıçakları, yakıt filtreleme sistemleri ve yanma odası detaylı bir şekilde bakımdan geçirilir. Bu işlem küçük türbinlerde bir gün, büyük sistemlerde üç günlük bir durma gerektirir [2].

Gaz türbinleri sürekli olarak çalıştırılabilirler. Sürekli olarak çalıştırılan bir gaz türbinin bakım maliyeti, 1000 saat aralıklarla çalıştırılan gaz türbin bakım maliyetinin yaklaşık üç katıdır. Diğer bir bakım maliyet artırıcı etki ise; türbin, tasarım performans sıcaklığı üzerinde çalıştırıldığında sıcak bölge parçalarının bakımı ve yenilenme (revizyon) sayısı artar. Yakıt-yağı (Fuel-oil) ile çalıştırılan türbinin bakım maliyeti, doğal gaz ile çalıştırılan türbin ile karşılaştırıldığında bakım maliyetlerinde % 20-25 artış olur.

Türbin bakım maliyeti genellikle sürekli çalışan bir süreç aralığı temel alınarak fiyatlandırılır. Tepe (Pik) yükler (peaking load) ve bekleme süreleri, gaz motorlarının çalışma süreleri ve tekrar başlangıç sayıları hesaba katılarak hesaplanır. Çünkü bakım fiyatları genellikle yükten bağımsızdır ve değişken yük aralıklarında çalışan sistemlerde, birim yük başına (kWh) bakım maliyeti artar. Büyük kurulu güçlere sahip sistemlerde, birim bakım maliyetleri 0.0048 TL/kWh'dır. 1000 kWh altında türbinler küçük sistemler olarak kabul görür ve bu sistemlerin bakım maliyetleri 0.0079 TL/kWh artış gösterebilir.

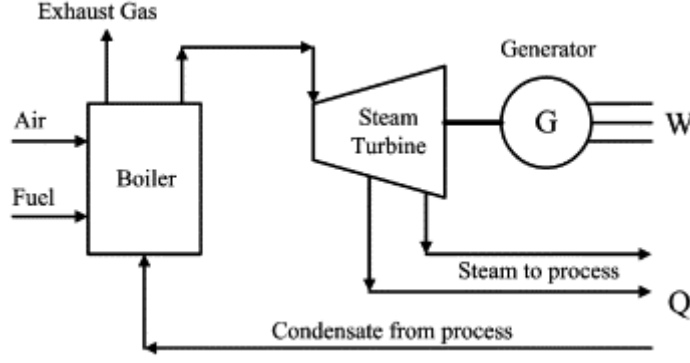
### **2.1.5. Salım Karakteristiği**

Gaz türbinlerinde genel olarak yanma sonucu ortaya çıkan gazlar NO<sub>x</sub> (nitrojen oksit), CO (karbon monoksit), UHC (yanmamış hidrokarbonlar), SO<sub>x</sub> (sülfür oksit), parçacıklar ve yanıcı maddeye özel diğer kalıntılar olarak sıralanabilir. Ancak doğal gaz ile çalışan gaz türbinlerinde salımlar NO<sub>x</sub>, CO ve UHC olarak sınırlandırılır. Doğal gaz ile çalışan sistemlerde sülfür salımları küçük türbinlerde dikkate alınmayacak kadar azdır fakat akışkan yakıtların kullanıldığı durumlarda önemli olan yakıtın sülfür miktarını azaltmaktır. Büyük sistemlerde yıllık üretim miktarlarına bakıldığında önemli bir miktarda üretim olduğu görülür ve kontrol için destek donanımlara ihtiyaç duyulur.

Gaz türbinleri, dönel makineler oldukları için nispeten sessiz ve vibrasyonsuzdur. Genel olarak yüksek frekansta ses salımlarına sahiptirler ve bu sesler ucuz ve kolay şekilde engellenebilirler. Fakat 1 m seviyesinde maksimum ses şiddeti 85 db, üretim sisteminin dışında ise 55 db ile 65 db'dir.

### **2.2 Buhar Türbinleri**

Buhar türbini temelli güç üretim çevrimi, enerji üretim sistemlerinin temel lokomotifidir. Buhar türbinleri, 100 kW üretim kapasitelerinden, 1000 MW üretim kapasitelerine kadar geniş aralıkta mevcuttur. Geçmiş yıllara kadar buhar türbini endüstrisi, türbin kapasiteleri üzerine yoğunlaşmış olmasına rağmen günümüzde teknolojik alt yapı verimlilik ve kullanılabilirlik üzerine yoğunlaşmıştır. Buhar türbinlerinin enerji karakteristikleri ve buharın çevrim içerisindeki görevi nedeni ile buhar türbinleri öncelikle temel yüklerin karşılanması için kullanılmaktadır. Sonuç olarak ise buharın süreç boyunca çeşitli sıcaklık kademelerinde, sistemden uzaklaştırılabilir olması, buhar türbini sistemlerine termal yüklerin karşılanmasında esneklik kazandırır.



**Şekil 2.3 Ara buhar almalı buhar türbin sistem akış şeması [19].**

### 2.2.1 Teknolojik Yapısı

Buhar türbini ile güç üretimi yapan özgün bir tesisin ana elemanları; ısı kaynağı, buhar türbini ve ısı kuyusudur. Eğer sistem yoğuşturucu ile birlikte çalışıyorsa çevrim Rankine çevrimi esasında çalışır.

Sistem ısı kaynağı olarak sıvı, gaz veya katı yakıt kullanan kazanlardır. Eğer sistemde yüksek sıcaklık ve basınçta buhar gerekiyorsa, bu yakıtlar özel yakıtlar ile kombine edilebilir. Ayrıca klasik yakıtlarda kullanılmak zorunda değildir. Nükleer reaktörler, atık ısı veya atıklarda buhar çevrim santrallerinde kullanılabilir. Birçok durumda, ısı kaynağı olarak ısı geri kazanım buhar jeneratörü (heat recovery steam generator) kullanılabilir. Eğer bir gaz türbinin egzoz çıkışı kullanılarak, buhar türbini kombine ediliyorsa kombine çevrim adı verilir.

Türbin giriş basınç ve sıcaklık değerleri geniş bir aralıkta değişir. Basınç değerleri 1,033 kPa ile 20,670 kPa değişirken, sıcaklık değerleri 1,033 kPa basın için kızdırılmış buhar değerlerinden, 583 °C sıcaklıklarına kadar çıkabilir. BIG, uygulamalarında, buhar basınçları 4,823 kPa ile 5,512 kPa basınç ve 427 °C sıcaklık değerlerinde sonlandırılır.

Buhar türbinlerini ile güç üretiminde ikinci ana bileşen ise ısı kuyusudur. Türbin içerisinde buhar genişleyerek, enerji diğer adıyla iş üretimi yapıyor ise türbin çıkış buharının bir yerden atılması gerekir. Isı kuyusu çevrimin tamamlanması için şarttır fakat BIG uygulamalarında termal bir süreç, basit çevrimlerde ise atıktır.

### **2.2.2 Verimlilik**

Buhar türbini azami verimliliği Carnot verimi ile sınırlıdır. Isı kuyusu ve ısı kaynağı sıcaklıklarının bir fonksiyonudur ama bu verimlilik mekanik verimsizlikler, buhar kayıpları ve sürtünme kayıpları ile azalır.

Buhar türbinleri oldukça yüksek verimlilikte çalışan tesislerdir. Buhar türbinli tesisler % 65-80 verimlerde çalışabilirler ve kısmi yük durumlarında verimleri düşebilir. Buhar türbinlerinin elektrik üretim verimleri % 25-42 arasında değişir [6].

Genel olarak, türbin verimliliğini artırmanın yolu, türbin giriş ve çıkışı arasındaki enerji miktarının farkını artırmaktır. BIG, uygulamalarında türbin çıkışının sahip olduğu enerji miktarının azaltılması ısı geri kazanım miktarının azalmasına neden olabilir. Ayrıca, yoğuşturucu sıcaklığının azaltılması buhar içindeki nem miktarını artırır ve bu işlem ek bakım maliyetleri doğurur.

### **2.2.3 Değişken Yüklerde Çalışma**

Buhar türbinleri, süreç içerisinde çalıştırılırken türbinin taşıyabileceği maksimum yükte çalıştırılır. Genel olarak bu yük, buhar türbininin optimize verimlilik noktasıdır. Optimum verimlilik sınırı % 95 yük oranı seviyelerindedir [2].

BIG uygulamaları için düşünülen buhar türbini uygulamalarında, yoğuşan ve ara buhar almalı türbin uygulamaları tercih edilir. Aynı zamanda her türbinin kısmi yük uygulamalarında, kendine özgü performans özellikleri vardır. Uygulamada kullanılan iş akışkanının su buharı olmasından dolayı yük artırımlarında uygun performansa geçebilmesi için 1-2 saatlik zaman dilimi gerekir.

### **2.2.4 Bakım ve Kullanılabilirlik**

Buhar türbinlerinde, genel olarak elde edilebilirlik fazladır fakat %1 seviyesinde kayıplar olur. Birçok türbin verimlilik kesintilerinin sebebi türbin bıçakları üzerindeki korozyondur ki korozyonun ana nedeni buhar türbinine kaynak olarak kullanılan suyun yeterince şartlandırılmamasıdır. Bu sebepten dolayı, türbin bakım maliyetleri ve yararlanabilirliğinde ana kısıt, iş akışkanı olarak kullanılan suyun kalitesidir. Buhar türbini, buhar kaynağını dış kazan yardımı ile besleniyor ise yakıt

tipi ve kalitesi bakım maliyetlerini ve yararlanabilirliğini etkilemez. Sonuç olarak, yardımcı donanımlar, pompalar, valflar ve kazan yararlanabilirliğini etkiler ve gereğinden fazla yardımcı eleman bazen fiyat efektif çözümler üretilmesine de yardımcı olabilir.

### **2.2.5 Salım Karakteristiği**

Buhar türbinleri üç çeşit salım üretirler. Gürültü, küresel ısınmayı tetikleyici gazlar ve ısı salımlardır. Isıl salımlar, yoğunlaşma işlemi sırasında üretilirler. Gürültü ve gaz salımları sistemin çalışmasının sonucudur.

Yakıt yağı ve ya doğal gaz kullanan bir buhar türbinin salımları, gaz türbinin salımları  $NO_x$ , CO ve UHC (unburned hydrocarbons) türevlerinden oluşur. Eğer yakıt-yağı kullanan bir sistem ise  $SO_x$  ve parçacık, kül ve eser element salımları da oluşur. Kazan seçimi salımlar yönünden önemlidir.

Yakın seviyede ses salımları seviyesi 85 db'dir. Diğer yardımcı donanımlar, borular, pompalar, valflar ve yakıt tahrik sistemi ses salımlarının artmasında etkin rol oynar.

### **2.3 İçten Yanmalı Motorlar**

İçten yanmalı motorlar, doğrudan mil ile güç sağlamak amacıyla ve güç üretim uygulamaları için kullanılabilir. Doğrudan güç sağlama uygulamaları; hava kompresörleri, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimleri, ısı pompaları ve mekanik güç sağlayıcılarıdır. Elektrik güç üretim uygulamaları; destek ve acil servis uygulamaları, tepe yük tıraşlamalarında, kesintisiz güç kaynağı ve ana güç sağlayıcılarıdır. İçten yanmalı motorlar, bir ısı geri kazanım sistemi ile geliştirilirse, eş zamanlı olarak ısı ve güç sağlayabilen, BIG sistemini destekler. Bununla birlikte, içten yanmalı motorlar 10 kW ile 10 MW arasında geniş bir yelpazede ticari olarak bulunabilir. Küçük kapasite aralıklarında da verimli çalışabilirler. Birçok yakıt sistemi ile uyumlu çalışabilir ve küçük binalar, meskenler, ticari binalar ve endüstriyel yükleri karşılayabilir.

### 2.3.1 Teknolojik Yapısı

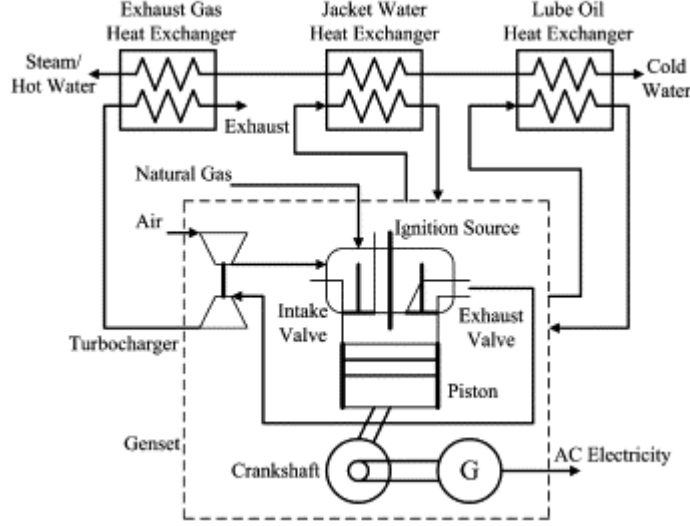
İçten yanmalı motorlar, motor üç farklı basit çevrim ile çalışır. İlk çevrim, ateşlemeyi ve hızlı bir yanmanın ardından, hızla genişleyen gazlardır. İkinci çevrim, hızla genişleyen gazların pistonları hareket ettirmesi ile enerjinin aktarılmasıdır. Üçüncü çevrim ise lineer hareketin, dönel harekete çevrilmesi yani krank (mil) hareketinin sağlanmasıdır.

Üreticiler üretim kapasitelerini hesaplarırken, motorların görevlerini dikkate alırlar; ana güç sağlayıcı, yük tıraşlama veya yardım gibi... Fakat gaz motorlarında tasarım farklı güç izlekleri ve durumları göz önüne alınır. ISO 3046, gaz motorlarının seçimi ve tasarımı konusunda küresel kabul görür. ISO, gaz türbinleri tasarımında yükseklik, açık hava basıncı ve sıcaklığı dikkate alır.

İçten yanmalı motorların kapasiteleri, birden fazla tasarım faktörünü içerir, motor hızı, motor emişi, çalışma çevrimi, salım kontrolü ve gaz motorları kadar olmasa da yükseklik ve sıcaklıktır.

Doğal emişli, turbo şarjlı ve kompresörlü motorlar motorun kapasitesinin yanı sıra bakım ve üretim maliyetlerini de etkilerler. Turbo şarjlı motorlar, motor bloğunun kapasitesini %30-40 seviyesinde artırabilirler ve aynı zamanda doğal emişli motorlara göre daha fiyat etkindir. Turbo şarj sistemi, yanma verimi ve motor verimini artırır. Tasarımsal özellikleri nedeni ile bakım maliyetlerini de artırır [2].

Motor kapasitesi, doğrudan motor hızının fonksiyonudur. İçten yanmalı motorlar, yüksek hızlı (900-1000 devir/dakika), orta hızlı (300-900 devir/dakika) ve düşük hızlı ( <300 devir/dakika) olarak sınıflandırılır [2]. Yüksek motor hızları ekonomik sonuçlar verirler çünkü ilk yatırım maliyetlerini birim güç başına düşürür. Düşük hızlı motorlar, gemi motorları olarak kullanılır. Gemi motorları zor çalışma koşullarına dayanıklı ve düşük kalitede yakıtları verimli bir şekilde kullanabilirler. Aynı zamanda kısmi yüklerde, yüksek hızlardaki motorlara göre daha verimlidir [2].



Şekil 2.4 İçten yanmalı BIG sistemlerinin iş akış şeması [14].

Birçok içten yanmalı motor, dört zamanlı, iki ayrı krank merkezli ve dört pistonlu olarak tasarlanır. Her bir piston, bir çevrim boyunca alt ölü nokta ile üst ölü nokta arasında hareket ederler. Otto çevrimli motorlar, dizel motorlar ile aynı çevrimi takip ederler fakat Otto çevrimli motorlarda, dışarıdan zorlamalı bir ateşleme olur.

### 2.3.2 Verimlilik

İçten yanmalı motorların verimi % 25-45 aralığında değişkenlik gösterirler. Genel olarak, dizel motorların verimleri kıvılcım ateşlemeli motorlara göre daha yüksektir. Çünkü dizel motorlarda sıkıştırma oranları daha yüksektir [17]. Sıkıştırma oranı, pistonun üst ölü noktadaki hacmi ile alt ölü nokta arasındaki hacimlerinin oranıdır. Yüksek sıkıştırma oranları, daha fazla yakıt yakarak daha fazla güç üretimi sağlamaktadır.

İçten yanmalı motorları kabuller ve fabrika ayarları, 25°C ve 1 bar da ISO şartlarına göre kabul edilir. Güç ve verim hesapları, 333 metre yükseklikten sonra her 333 m yükseklikte % 4 düşer ve 25°C sıcaklığın üstünde her 5.6 °C sıcaklık artışında %1'lik oranda kayıp yaşar [15].

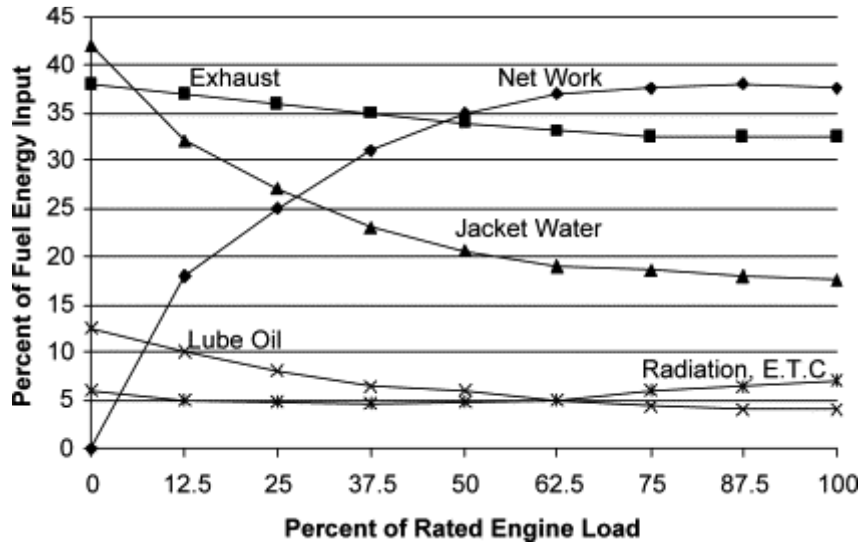
Üreticilerin verdikleri sonuçlar değerlendirilirse, içten yanmalı motorların kullanıldığı BIG sistemlerinin toplam verimleri %85-90 seviyelerinde değişir. Bu sonuçlara göre elektrik üretim verimleri ise %28-39 aralığındadır.



Otto çevrimlerinde, yakıt ve hava karışımının yanma sıcaklığının altında tutamamak genel olarak Otto çevrimlerinin sıkıştırma oranını kısıtlar. Erken tutuşma olarak adlandırılan durum, pistonun uygun değer pozisyona gelmeden önce yanma işleminin başlamasıdır. Motor kapasitesini ve verimliliğini düşürücü bir etki yapar. Aynı zamanda bakım maliyetlerini yükseltir ve kullanılabilirliği düşürür.

### 2.3.3 Değişken Yüklerde Çalışma

BIG uygulamalarında motorun güç/ısı oranı kritik bir noktadır. Yakıt kaynağının üretim için kullanılan yüzde miktarına karşılık motorun kapasite yüzdesi şekil 2.5'de grafikte gösterilmiştir. Şekil 2.5'de görüldüğü üzere, motorun kapasitesi % 75 seviyesinde mekanik güç için gerekli yakıt yüzdesi sabittir. Fakat % 75 kısmı yük miktarından sonra düşmeye başlar. Grafik ekseninde yaşanan düşüş kWh elektrik başına daha fazla yakıt gerektiği anlamına gelir ve bu noktadan sonra verim düşmeye başlar. Aynı zamanda şekil 2.5' de görüldüğü üzere ceket soğutma suyu ve egzoz gazından üretilen ısı miktarı artması , elektrik veriminin azalmasına neden olmaktadır [15].



Şekil 2.5 İçten yanmalı motorlarda yakıt tüketimi ve kısmi yük ilişkisi [14].

### 2.3.4 Bakım ve Kullanılabilirlik

İçten yanmalı motorlarda, türbinlere göre daha yoğun bir bakım gerekmektedir. Motorun ilk çalışması ile birlikte günlük olarak fiziksel bir inceleme yapılması

önerilmektedir. Çalışma sırasında olağan dışı koku, sesi soğutucu akışkan ve yağ sızıntıları takip edilmelidir.

Diğer bakım işleri ise motorun çalışma saati ve kullandığı yakıtın tipine göre takvimlendirilir. Ayrıntılı bakım gereken süreçte ise hava ve yağ filtreleri değiştirilir. Kayış ve hareketli mekanizmalar 250 saat veya 1 haftalık süreçte kontrol edilmelidir.

Bakım kullanım saatlerindeki artış ile birlikte detaylandırılır. 500-1000 saat aralığında ise bir önceki bakıma göre daha detaylı bakıma alınır. Yağ, yağ filtresi ve kayışlar değiştirilir. Kontrol ve kontrol mekanizmaları, valf ayarları kontrol edilir. Bu bakım seviyesinde yağın fiziksel çözümlenmesinin yapılması gerekir. Çünkü yağ çözümlenmesi, motorun çalışma koşullarının neden olduğu arızaları gösterebilir. Yağ çözümlenmesi sonuçlarına göre de bakım aralıkları değiştirilmelidir.

Eğer sistem doğal gaz veya damıtılmış yakıt yağı kullanıyorsa 12000- 30000 saat arasında ayrıntı bakıma girmelidir. Kalıntı veya 4 numara yakıt yağı kullanılıyorsa 2250-4500 saat arasında bakım yapılması gerekir [2].

Otomobil motorlarının türevlerinde, programlanmış bakım programına uyulması halinde kullanılan saat başına bakım maliyetleri 1,58-3,16 TL'dir. Orta boyutlarda, yüksek hızlı motorlarda bakım maliyetleri 0,0119-0,317 TL/ kWh başına değişir.

Orta ve yüksek hızlı motorlara bir yıl içerisinde kullanılabilirlik 7200 ve 8200 saat arasında değişmektedir.

### **2.3.5 Salım Karakteristiği**

İçten yanmalı motorlarda ana salım maddeleri  $NO_x$ , CO ve UHC bileşikleridir.  $SO_x$  ve partiküller salımlarının görülmesi daha çok yakıt çeşidi ve motor çeşidi ilişkilidir.  $SO_x$  salımları ise daha çok büyük, düşük hızlı motorlar ve yakıt olarak ağır yakıt kullanan motorlarda görülür [17]. İçten yanmalı motorlarda genellikle zenginleştirilmiş yanma olur. Fakat gaz motorlarında yanma sıcaklığını düşürdüğü için tercih edilmez. Bu işlem  $NO_x$  miktarını düşürür ama CO ve UHC miktarını yükseltir.

NO<sub>x</sub> salımları içten yanmalı motorlar için önemli noktalardan biridir. NO<sub>x</sub> salımları O<sub>2</sub>'nin ortamda bulunması ile üretilir. NO<sub>x</sub> üretimi sıcaklık, basınç, yanma odasının geometrisi ve hava/yakıt karışımı gibi birçok değişkene bağlı olarak değişir. Birçok farklı durumda, NO ve NO<sub>2</sub> bileşiklerinin salımlar içerisindeki miktarları değişkenlik gösterebilir. Zengin karışimli, doğalgazlı motorlar en az, dizel motorlar ise en fazla NO<sub>x</sub> üretimini gerçekleştirir.

NO<sub>x</sub> salımlarının düzeyi zengin yanmalı motorların hava/yakıt oranlarının kontrol edilmesi ile azaltılabilir ve stokiometrik motorlarda ise üç yollu katalitik değiştirici (konvertörler) aracılığı ile azaltılabilir [18].

### **2.3.6 Isı Geri Kazanım Karakteristiği**

İçten yanmalı motorlarda güç üretimi sırasında atık olan ısıyı çekebilmesi öncelikle sistemin tasarımının, verimli bir şekilde ısıyı geri kazanılabilecek şekilde ısıyı geri kazanabilmesine bağlıdır. İkinci olarak ise, ısı geri kazanımının ekonomik olarak kullanılabilir ve uygulanabilir olmasıdır. Isı geri kazanımında yeterli olan ısının dışında fazladan çekilecek ısı motor arızalarına neden olurken, az çekilmesi ise ekonomik sonuçların ve verimliliğin uygun olmamasına neden olabilir.

İçten yanmalı motorlarda ısı geri kazanımı, motor bloğundan, egzoz gazlarından, yağlama sisteminden, ceket suyu bölümlerinde sağlanabilir. Isı geri kazanımı aynı zamanda motor hızı, motor gücü, yanma teknolojisi, üretici ısı çekme stratejisidir.

Isı geri kazanımının karakteristiği belirlenirken, üreticinin sunduğu özelliklere çok dikkat edilmesi gerekir. Çünkü bu hususta uluslar arası kabul görmüş standartlar yerine, ısı çekme sıcaklıkları uygulamada dikkate alınır.

İçten yanmalı motorların kullanıldığı, BIG uygulamalarında, ısı geri kazanımında yaygın olarak motor egzoz gazlarından yararlanır. Egzoz gazlarından yüksek sıcaklıkta ısı geri kazanılabilir. Egzoz sıcaklıkları 454°C sıcaklığı aşarken, motor soğutma suyu 132°C sıcaklıklarda çalışabilir.

### 3. TEORİ VE ANALİZ YÖNTEMİ

Termodinamik işlemlerin analizinde ve termik sistemlerin uygun değer koşullarının, termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarını birlikte değerlendirerek gerekli analizler yapılabilir. Birinci kanun enerji dengesi, ikinci kanun ise tersinmezlik, entropi üretimini ve daha ileri bir aşamada ekserji analizini yapar. Özellikle ısı sistemlerinin en uygun şekilde kurulmasında, ekserji analizi önemli bir yöntemdir. Ekserji yani kullanılabilir enerji sistem bazında değerlendirilerek mekanik işin ekserjisi, sisteme giren ve sistemden çıkan madde ekserjisi önemli birer parametre olarak dikkate alınır [13].

BIG sistemlerinde termodinamik analizler sürekli akışlı açık sistemlere göre değerlendirilir. Eğer belirli bir zaman için enerji ve ekserji denklemleri yazılır ise;

$$\text{Enerji girdisi} - \text{Enerji çıktısı} = \text{Enerji birikimi} \quad (3.1)$$

$$\text{Ekserji girdisi} - \text{Ekserji çıktısı} - \text{Ekserji tüketimi} = \text{Ekserji birikimi} \quad (3.2)$$

Yukarıdaki denklemlerde görüldüğü üzere enerji ve ekserji arasında önemli bir fark vardır. Enerji korunumu gerçekleşebilirken, ekserji tersinmezlikler ile tükenir.

Ekserji, enerjinin kalitesini belirtir ve hiçbir gerçek süreçte korunamaz yani kaybolur veya yıkılır. BIG sistemleri için yapılacak termodinamik analiz için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- İçten yanmalı motor sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilmiştir.
- Egzoz gazı için ideal gaz modeli uygulanmıştır.
- Yanma reaksiyonu içten yanmalı motor (kıvılcım ateşlemeli) içinde tamamlanmıştır.
- Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmiştir.
- Egzoz çıkış sıcaklığı dikkate alınarak, yakıtın alt ısı değeri (LHV) kabul edilmiştir.
- Ölü hal basıncı olarak açık hava basıncı, ölü hal sıcaklığı olarak ortalama toprak sıcaklığı alınmıştır.

### 3.1 BIG Sistemlerinde Termodinamik Model

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içerisindeki toplam kütle zamanlar değişmez. Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütle ile kontrol hacminden çıkan toplam kütle birbirine eşit olması gerekir [16].

#### 3.1.1 Kütle Denkliği

Kütlenin korunumu prensibine göre kontrol hacmi içerisindeki net kütle transferi veya değişimi işlem boyunca aşağıdaki eşitliğe göre değişir.

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_ç = \frac{dm_{KH}}{dt} \quad (3.3)$$

$\dot{m}_g$ : Kontrol hacmine giren kütle miktarı

$\dot{m}_ç$ : Kontrol hacminden çıkan kütle miktarı

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmi içerisindeki toplam kütle zamanla değişmez ( $\Delta m_{KH} = \text{sabit}$ ). Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \quad (3.4)$$

#### 3.1.2 Enerji Denkliği

Termodinamiğin birinci kanuna göre enerjinin korunumu ilkesi bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin toplam enerjisindeki net değişim (artma veya azalma) sisteme giren toplam enerji ile sistemden çıkan toplam enerjinin farkına eşit olduğunu ifade eder ve eşitlik 3.5 şeklinde ifade edilir [16].

$$\dot{E}_g - \dot{E}_ç = \Delta \dot{E}_{sistem} \quad (3.5)$$

$\dot{E}_g$ : sisteme giren toplam enerji

$\dot{E}_\zeta$ : sistemden çıkan toplam enerji

$\Delta \dot{E}_{sistem}$ : sistemin toplam enerjisindeki değişim

Kontrol hacmine giren toplam kütle ve enerji, kontrol hacminden çıkan toplam kütle ve enerjiye sürekli eşit olmak zorundadır, çünkü  $\Delta m_{KH}$  ve  $\Delta E_{KH}$  sabittir.

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_i \right) = \dot{Q}_\zeta + \dot{W}_\zeta + \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) \quad (3.6)$$

$h_g, h_\zeta, V_g, V_\zeta, z_i, z_\zeta$  sırası ile ortama giren ve çıkan kütlelerin entalpi, hız ve yükseklikleridir. Eğer eşitlik 3.6 yeniden düzenlenirse, eşitlik 3.7 gibi ifade edilebilir.

$$\dot{Q} + \dot{W} = \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_i \right) - \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7 de bulunan potansiyel enerji ve kinetik enerjinin değişimi ihmal edilirse eşitlik 3.7, eşitlik 3.8 şeklinde ifade edilir.

$$\dot{Q} + \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \cdot h_\zeta + \sum \dot{m}_g \cdot h_g \quad (3.8)$$

$\dot{Q}$ : Kontrol hacmine giren net ısı

$\dot{W}$ : Kontrol hacmine giren net iş

$h_g$ : Kontrol hacmine giren akışkanın entalpisi

$h_\zeta$ : Kontrol hacminden çıkan akışkanın entalpisi

### 3.1.3 Ekserji Denkliği [32]

Termal sistemlerin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi aynı zamanda kaynakların verimsizliklerinin veya verimliliklerinin ve sistem elemanlarının birbiri ile etkileşimlerini anlamak için önemlidir. Bir sistemin toplam ekserjisi farklı dört bileşenden oluşur. Fiziksel ekserji, kinetik ekserji, potansiyel ekserji ve kimyasal ekserji farklı dört bileşendir.

$$E_{sistem} = E_{fiziksel\ ekserji} + E_{kinetik\ ekserji} + E_{potansiyel\ ekserji} + E_{kimyasal\ ekserji} \quad (3.9)$$

Fakat tüm termodinamik süreçler kütlelerin korunumu ve enerjinin korunumu yasaları ile ifade edilirler. Kütle ve enerjinin korunumu yasalarınca, kütle ve enerji süreç içerisinde yoktan var edilemez ve yıkılmaz. Fakat ekserji, süreç içerisinde korunamaz ve tersinmezlikler ile birlikte yıkılırlar. Bu yüzden ekserji denkliği ifadesinde her zaman ekserji yıkımı terimi bulunur. Genel ekserji denkliği;

$$\frac{dE_{KH}}{dt} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q}_K - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{KH}}{dt}\right) + \sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\zeta - \dot{E}_D \quad (3.10)$$

$\dot{E}_g$ : kontrol hacmi içerisine giren ekserji değeri

$\dot{E}_\zeta$ : kontrol hacminden çıkan ekserji değeri

$\dot{E}_D$ : ekserji yıkım değeri

$T_0$ : ölü hal sıcaklığı

Ekserji yıkımı entropi üretiminin bir fonksiyonudur ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\dot{E}_D = T_0 \dot{S}_{üretim} \quad (3.11)$$

Isı geçişine daima bir ekserji geçişi eşlik eder. Mutlak sıcaklık T değerinde, belirli bir yerdeki Q ısı geçişine her zaman ekserji geçişi de eşlik eder. Isıl ekserji geçişi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir [16].

$$\dot{E}_{ısı} = \sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} \quad (3.12)$$

Sürekli akışlı sistemlerde kontrol hacimleri içerisinde kütle, enerji, entropi ve ekserji içeriklerinde zamanla bir değişim gözlenmez. Bu nedenle, bu tür sistemler için  $\frac{dE_{KH}}{dt} = 0$  ve  $\frac{dV_{KH}}{dt} = 0$  yazılabilir ve sürekli akışlı sistemin tüm

biçimlerinde giren ekserji akımı, sistemi terk eden ekserji akımı ve ekserji yıkımına eşit olmalıdır. O halde birim zaman içerisinde genel ekserji dengesi aşağıda ki şekilde basitleştirilebilir.

$$\dot{E}_{ısı} + \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \cdot e_\zeta + \sum \dot{m}_g \cdot e_g + \dot{E}_{yıkılan} \quad (3.13)$$

$\dot{E}_{1s1}$ : Kontrol hacmine giren net ısı ekserjisi

$e_c$ : Kontrol hacminden çıkan akış ekserjisi

$e_g$ : Kontrol hacmine giren akış ekserjisi

Sürekli akışlı bir sistemde, kontrol hacmine giren toplam ekserji kütle ile orantılıdır. Kontrol hacmine giren toplam ekserji;

$$\dot{E} = \dot{m}e \quad (3.14)$$

Şeklinde ifade edilir.

Akış ekserjisi kontrol hacmine giren belirli mutlak sıcaklıkta akışkanın ekserjisini ifade eder.  $h$ ,  $s$  mutlak sıcaklığı bilinen akışkanın entalpi ve entropi değerleridir ve akış ekserji eşitlik 3.15 gösterildiği gibi tanımlanabilir.

$$e = (h - h_o) - T_o.(s - s_o) \quad (3.15)$$

$h_o$ : Ölü hal entalpisi

$s_o$ : Ölü hal entropisi

## 3.2 Birlikte Isı ve Güç Sistemlerinde Performans

BIG üretim sistemlerinde olurluk veya kullanılabilirliğe karar verebilmek için bazı parametreler kullanılır. Enerji verimliliği, ekserji verimliliği, güç-ısı oranı, birincil yakıt tasarrufu (*PES*, Primer Energy Saving), akılcı ekserji yönetim modeli (*REMM*, Rational Exergy Manegement Model), akılcı ekserji gömülü birincil yakıt tasarrufu (*PES<sub>R</sub>*), akılcı ekserji gömülü karbon salım tasarrufu (*C<sub>R</sub>*), basit geri ödeme süresidir.

### 3.2.1 Enerji Verimliliği

Termal sistemlerde önemli bir performans ölçütü olarak değerlendirilen termal verim, BIG sistemlerinde de önemlidir. Verimlilik modelinin temeli, kullanılan birim



yakıta karşılık, üretilen kullanılabilir ısı ve iş/elektriğin ifade edilmesidir. BIG sistemi için verimlilik analizleri motor, ısı değıştircisi ve birlikte ısı güç üretim sistemi için tanımlanabilir.

$$\eta = \frac{\text{enerji üretimi}}{\text{toplam enerji}} \quad (3.16)$$

Enerji verimliliği sırası ile motor, ısı değıştircileri ve birlikte ısı güç üretim sistemi için;

$$\eta_{motor} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{giren}} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{m}_{yakıt} \cdot q_{LHV}} \quad (3.17)$$

$q_{LHV}$  : doğalgazın alt ısıl değeri

$\dot{m}_{yakıt}$ : doğalgazın kütle debisi

$$\eta_{ısı değıştircisi} = \frac{\dot{m}_{soğuk} [h_e - h_i]}{\dot{m}_{sıcak} [h_i - h_e]} \quad (3.18)$$

$\eta_{ısı değıştircisi}$ : ısı değıştirgeci ısıl verimi

$$\eta_{BIG} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{Q}_{ısı}}{\dot{Q}_{giren}} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{m}_{su} \cdot [(h_\phi - h_g)]}{\dot{m}_{yakıt} \cdot q_{LHV}} \quad (3.19)$$

Eşitlik 3.18, eşitlik 3.19 ve eşitlik 3.20 şeklinde ifade edilebilir.

### 3.2.2 Ekserji Verimliliği

Sistemlerin termodinamik olarak analizi açısından ekserji verimliliği kesin bir sonuç çıkartır. Ekserji verimliliği sistemin aynı koşullarda çalışan farklı bir sistem ile karşılaştırma ve değeriendirilmesinde önemli bir araçtır.

$$\eta_{||} = \frac{\text{ekserji ürünü}}{\text{toplam ekserji}} \quad (3.20)$$

Ekserji verimliliği sırası ile motor, ısı değıştircileri ve birlikte ısı güç üretim sistemi için tanımlanır ise;

$$\eta_{\parallel, motor} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_{yakıt}} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{m}_{yakıt} e_{yakıt}} \quad (3.21)$$

$$\eta_{\parallel, ısı değiştirici} = \frac{\dot{m}_{soğuk} [(h_{\check{c}} - h_g) - T_0 (s_{\check{c}} - s_g)]_{soğuk}}{\dot{m}_{sıcak} [(h_g - h_{\check{c}}) - T_0 (s_g - s_{\check{c}})]_{sıcak}} \quad (3.22)$$

$$\eta_{\parallel, BIG} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{E}_{süre\check{c}}}{\dot{E}_{yakıt}} = \frac{\dot{W}_{net} + \dot{m}_{su} [(h_{\check{c}} - h_g) - T_0 (s_{\check{c}} - s_g)]}{\dot{m}_{yakıt} e_{yakıt}} \quad (3.23)$$

$e_{yakıt}$  : yakıtın ekserjik alt ısı değerı

Yakıtların ekserjik değerleri kimyasal olarak belirlenebilir fakat Brzustowski ve Brena [35] yaptıkları deneylerin sonuçlarında birçok homolog serili yakıt için alt ısı değerlerine yaklaşık olan oranları belirlemişlerdir. Eşitlik 3.25, doğalgazın ekserjik alt ısı değerı ile alt ısı değerı arasındaki oranı ifade etmektedir.

$$\frac{e_{yakıt}}{q_{LHV}} = 1.044 \quad [32] \quad (3.24)$$

### 3.2.3 Güç-Isı Oranı

Bilindiği üzere BIG sistemlerinde iki tane çıktı bulunur. Bunlar sırası ile ısı ve mekanik iş/elektriktir. Diğer bir durum ise elektriğin, süreç ısısına göre ekserjik kalitesinin yüksek olması ve elektriğin şebekeye aynı zamanlı çalışabilmesidir. Bunun için üretilen ısı miktarına karşılık daha fazla elektrik üretilmesi önemli bir etkinlik metriğidir. Ayrıca güç-ısı oranı (C), BIG sisteminin tasarım önceliğini belirtir ve diğer sistemlerle karşılaştırılması açısından önemli ölçütlerden biridir. Ayrıca C, birlikte ısı güç üretim tesislerinde salım, verimlilik ve yük takibi hakkında fikir veren önemli bir algoritmadır.

$$C = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{ısı}} \quad (3.25)$$

Birlikte ısı güç üretim sistemlerinde üretim biçimine göre varsayılan değerler mevcuttur. Çizelge 3.1'de varsayılan değerler gösterilmektedir.

**Çizelge 3.1 Varsayılan ısı- güç oranı değerleri [EU, 2004]**

BIG Sistemi	Varsayılan C değerleri
Kombine çevrim ve ısı geri kazanımı	0.95
Karşı basınç türbini	0.45
Ara buhar almalı türbin	0.45
Gaz motoru ve ısı geri kazanımı	0.55
İçten yanmalı motor	0.75

### 3.2.4 Birincil Enerji Tasarrufu (*PES*)

Birincil enerji tasarrufu, birlikte ısı-güç üretim sistemlerinin diğer enerji üretim sistemleri veya birlikte ısı güç üretim sistemlerine göre birincil enerji kaynağında sağlanan tasarrufu ifade etmektedir. *PES*, Avrupa Birliğinin EU 2004/8/EC numaralı direktifi olarak ifade edilir. Ayrıca, *PES* birlikte ısı güç üretim sistemlerinde önemli bir performans göstergesidir. Doğrudan birincil enerjide sağlanan azalış veya artışı belirtir. Ayrıca bir üretim tesisinde %15 enerji tasarrufu sağlanması halinde, tesis yüksek verimli BIG sistemi olarak adlandırılır. Aşağıda verilen eşitlik 3.26 ile birincil enerji tasarruf hesabı yapılabilir.

$$PES = \left( 1 - \frac{1}{\frac{CHPH_{\eta}}{REFH_{\eta}} + \frac{CHPE_{\eta}}{REFE_{\eta}}} \right) \cdot 100 \quad (3.26)$$

$CHPH_{\eta}$ : birlikte ısı güç üretim tesisinin ısı verimi

$CHPE_{\eta}$ : birlikte ısı güç üretim tesisinin elektrik verimi

$REFH_{\eta}$ : referans ısı üretim tesisinin verimi

$REFE_{\eta}$ : referans elektrik üretim tesisinin verimi

Avrupa Birliği ülkeleri için bu referans değerler EU 2004/8/EC direktifinde tanımlanmıştır. Çizelge 3.2 de referans değerler gösterilmektedir.

**Çizelge 3.2 EU 2004/8/EC direktifine göre referans ısı ve elektrik üretim verimleri**

Üretim Sistemi Metodu	REFH <sub>η</sub>	REFE <sub>η</sub>
Buhar üretimi	0.90	0.52
Proses ısısı	0.85	0.52

### 3.2.5 Akılcı Ekserji Verimi

Tüm ısı makinelerinden ideal verimi tanımlamak amacı ile Carnot verimi kullanılır. Carnot verimi, tüm süreci tersinir kabul eder ve iki sıcaklık arasında çalışan bir ısı makinesinin sağlayabileceği en yüksek verimsel oranı ifade etmek amacı ile kullanılır. Akılcı ekserji verimi, Carnot verimini temel alarak, arz ve talep ekserjilerinin ne kadar akılcı eşleştirildiğini ifade eder [36].

$$\psi_R = \frac{\left(1 - \frac{T_0}{T_{uygulama}}\right)}{\left(1 - \frac{T_0}{T_{yakıt}}\right)} \quad (3.27)$$

$T_{uygulama}$ : uygulama sıcaklığı

$T_{yakıt}$ : yakıt alev sıcaklığı(kaynak sıcaklığı)

### 3.2.6 Akılcı Ekserji Yönetim Modeli (REMM)

BIG sistemlerinde, ekserji arz ve talep dengelerinin eşleştirilmesinde, *REMM* önemli bir parametredir.  $\varepsilon_{E,max}$ , kaynağın ekserjetik değerini,  $\varepsilon_{E,min}$ , süreç içerisinde elektrik üretimi gerçekleşen sıcaklığın ekserjik değerini,  $\varepsilon_{E,min}$ , süreç içerisinde üretilen sıcak suyun ekserjik değerini ve  $\varepsilon_{H,min}$ , yaşam alanı konfor sıcaklığının ekserjetik değerini ifade etmektedir [36, 37].

$$\psi_{R,CHP} = \frac{\varepsilon_{H,min} + C * (1 - \varepsilon_{E,min})}{\varepsilon_{H,max} + C * \varepsilon_{E,max}} \quad (3.28)$$

$$\varepsilon_{E,max} = \left( 1 - \frac{T_0}{T_{yakıt}} \right) \quad (3.29)$$

$$\varepsilon_{E,min} = \left( 1 - \frac{T_0}{T_{elektrik \ üretim}} \right) \quad (3.30)$$

$$\varepsilon_{H,max} = \left( 1 - \frac{T_0}{T_{uygulama}} \right) \quad (3.31)$$

$$\varepsilon_{H,min} = \left( 1 - \frac{T_0}{T_{konfor}} \right) \quad (3.32)$$

$T_{elektrik \ üretim}$ : Elektrik üretim sıcaklığı

$T_{konfor}$ : Yaşam alanı konfor sıcaklığı

### 3.2.7 Akılcı Ekserji Gömülü Birincil Enerji Tasarrufu ( $PES_R$ )

$PES_R$ , BIG sistemlerinde arz ve talep ekserjilerinin doğru eşleşmesi ile sağlanacak birincil enerji tasarrufunu ifade etmektedir.

$$PES_{RCHP} = \left[ 1 - \frac{1}{\left( \frac{CHPH_\eta}{REFH_\eta} + \frac{CHPE_\eta}{REFE_\eta} \right) * \left( \frac{2 - REF_{\Psi_{RCHP}}}{2 - \Psi_{RCHP}} \right)} \right] \quad (3.33)$$

$REF_{\Psi_{RCHP}}$ : Referans REMM değeri

$REF_{\Psi_{RCHP}}$  olarak kabul edilen  $REMM$  değeri, referans olarak alınan BIG sisteminin en uygun değerleri kullanılarak elde edilir [36]. Referans değer olarak 0,2024 kabul edilmektedir [4, 36, 37].

### 3.2.8 Akılcı Ekserji Gömülü Karbon Salım Tasarrufu

Isı dönüşüm süreçlerinin performansları salım değerleri açısından da önemlidir. Akılcı Ekserji Gömülü Karbon Salım Değerlendirmesi ( $C_R$ ), süreçlerin karbon ayak izlerinin belirlenmesi için kullanılır [36].

$$\Delta CO_2 = \frac{c_i}{\eta_T} (1 - \psi_{R,CHP}) \quad (3.34)$$

$c_i$ : Yakıt salım faktörü (kg/kWh)

$\eta_T$ : BIG sisteminin toplam verimi

Eşitlik 3.35 enerji dönüşüm sistemleri arasında karbon ayak izleri arasında yapılabilecek oransal değerlendirme için eşitlik 3.36 şeklinde ifade edilir [36].

$$\frac{(\Delta CO_2)_1}{(\Delta CO_2)_2} = \frac{\left(\frac{1}{\eta_T}\right)_1 (1 - \psi_{R,CHP})_1}{\left(\frac{1}{\eta_T}\right)_2 (1 - \psi_{R,CHP})_2} \quad (3.35)$$

### 3.2.9 Basit Geri Ödeme Süresi

BIG üretim sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin basit geri ödeme süreleri (*BGS*) yatırımların yönlendirilmesi ve yatırımda stratejik karar alınması süreçlerinde önemlidir. Sera gazı salımları ve birincil enerji tasarruflarının yanı sıra ekonomik faydalarının belirlenmesi gerekmektedir.

BGS, birim yakıt fiyatı ( $a$  TL/kWh), elektrik birim fiyatı ( $b$  TL/kW-h) , ısı gücü ( $Q_h$ ),  $C$  (Güç ısı oranı) ve toplam yıllık çalışma saati ( $h$  saat) değişkenlerine bağlı fonksiyondur. Basit geri ödeme süresinin belirlenmesinde, sistemin temel yükte belirli saat veya kullanılabilirlik ile çalıştığı varsayılmaktadır.

BIG sisteminin, *BGS* hesaplanmasında öncelikle birim zaman için parasal tasarruf ( $PT$ , TL/saat) belirlenmelidir.

$$PT = YTB_{ayrık} - YTB_{BIG} \quad (3.36)$$

$YTB_{ayrık}$  : konvansiyonel sistemlerin yakıt tüketim bedeli

$YTB_{BIG}$  : BIG sistemi toplam yakıt tüketimi bedeli

$YTB_{ayrık}$  ,  $YTB_{BIG}$  eşitlik 3.37 ve 3.38'de ifade edilmiştir.

$$YTB_{ayrık} = h \left[ \frac{a}{\eta_h} \cdot Q_h + \frac{b}{\eta_e} \cdot C \cdot Q_h \right] \quad (3.37)$$

$$YTB_{BIG} = h \left[ \frac{a}{\eta_h} \cdot Q_h \right] \quad (3.38)$$

Eşitlik 3.36 ile elde edilen  $PT$  (TL/saat), yatırım maliyetine ( $YM, TL$ ) oranlanarak,  $BGS$  (saat) hesaplanmaktadır.

$$BGS = \frac{YM}{PT} \quad (3.39)$$

### 3.3. CRF Birlikte Isı Ve Güç Üretim Sistemi

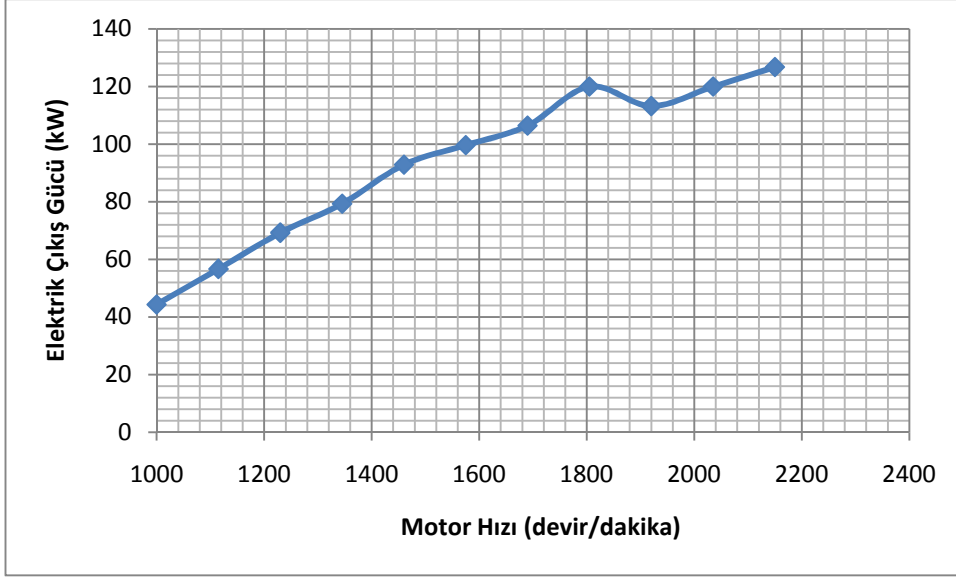
Birlikte ısı-güç üretiminde birçok uygulama yöntemi mevcuttur. Gaz motorlu, buhar türbinli ve içten yanmalı motorlar birlikte ısı-güç üretim sistemlerinde en yaygın uygulama modelleridir. Endüstriyel uygulamalarda gaz motorlu ve buhar türbinli BIG uygulamaları geniş pazar payına sahip olmalarına karşın, meskenler ve ticari binalarda içten yanmalı motorlu BIG sistemleri tercih edilir. İçten yanmalı motorların kullanıldığı BIG sistemleri ısı veya güç yük değişimlerinde dramatik değişimlere, hızlı cevap verebilirler. Bu amaçla üretilen CRF(Centre Research Fiat) BIG sistemi 157 kWh ısı ve 120 kWh elektrik üretimi gerçekleştiren orta ölçekli bir BIG sistemidir.

#### 3.3.1 CRF BIG Sistem Şematığı

CRF birlikte ısı-güç üretim sisteminin işletme kuruluş şeması oldukça önemlidir. BIG sistemi endüstride farklı süreçlerde için kullanılabilirdiği gibi mesken ve binalarda, binanın ısıtma ve elektrik yüklerini karşılamak için kullanılabilir. Şekil 4.1'de verilen sistemde işletme amacı bina ısı ve elektrik yüklerini karşılamak üzere tasarlanmıştır.

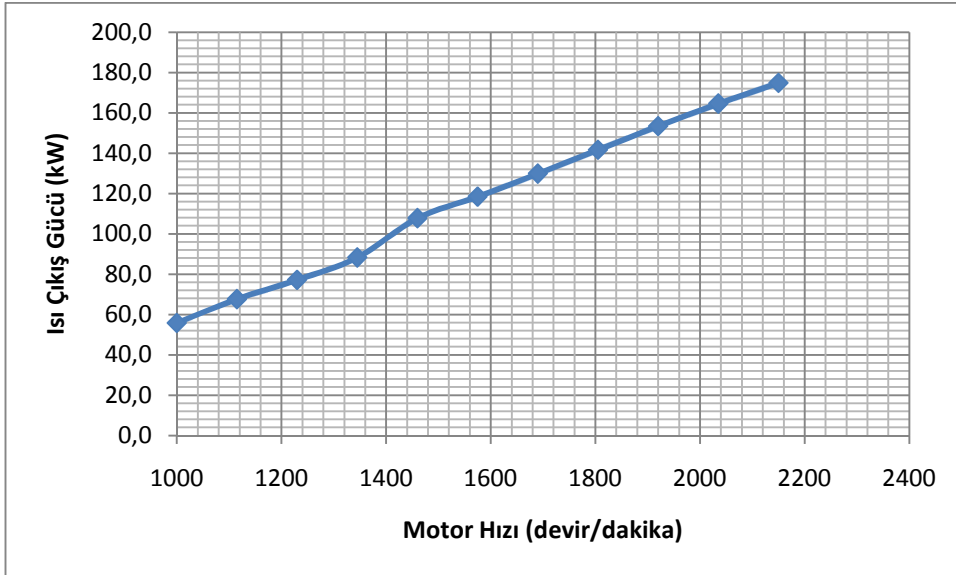




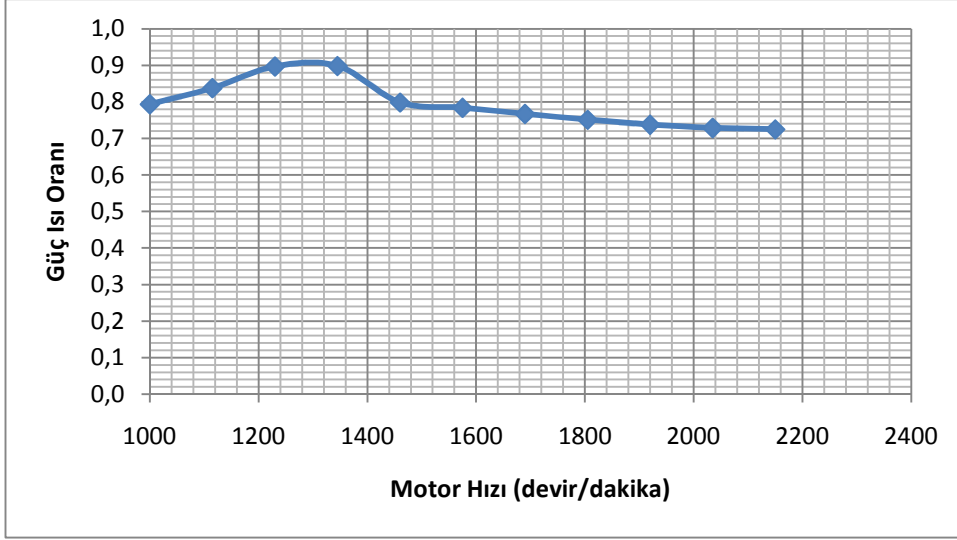


Şekil 3.1 Motor hızı ve elektrik çıkış gücü ilişkisi

BIG sistemin başlangıç motor hızı 1000 devir/dakika'dır. BIG üretim sistemlerinde motor başlangıç hızları sistem özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. Fakat üretilen en düşük motor başlangıç hızı 800 devir/dakika'dır [15]. Motor hızının artışı ile birlikte üretilen elektrik çıkış gücü 1800 devir/dakika 1900 devir/dakika arasında bir azalma gösterir. Fakat bu azalış termal güçte görülmemektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü üzere motor hızı ile termal güç artışı doğrusal olarak artar.

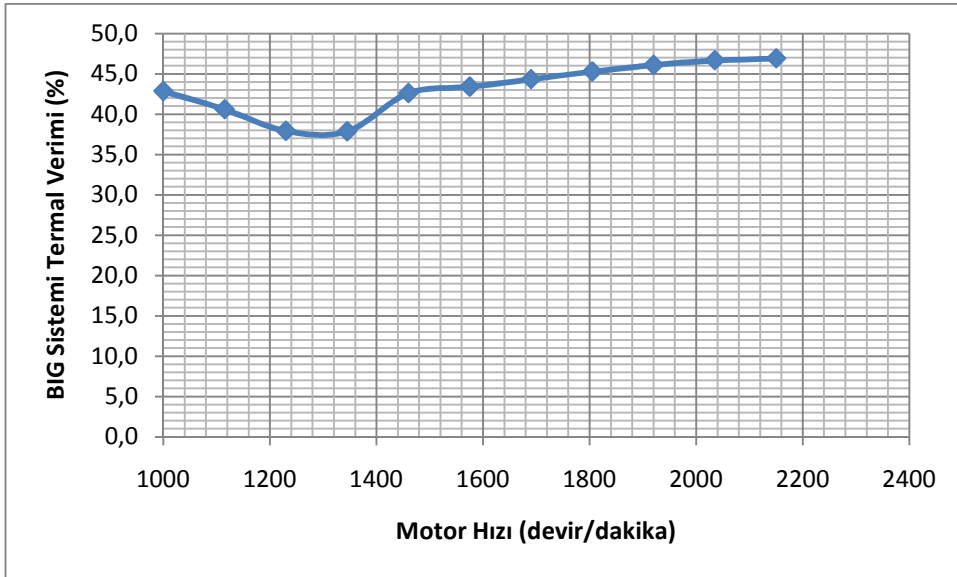


Şekil 3.2 Motor hızı ve ısı çıkış gücü ilişkisi



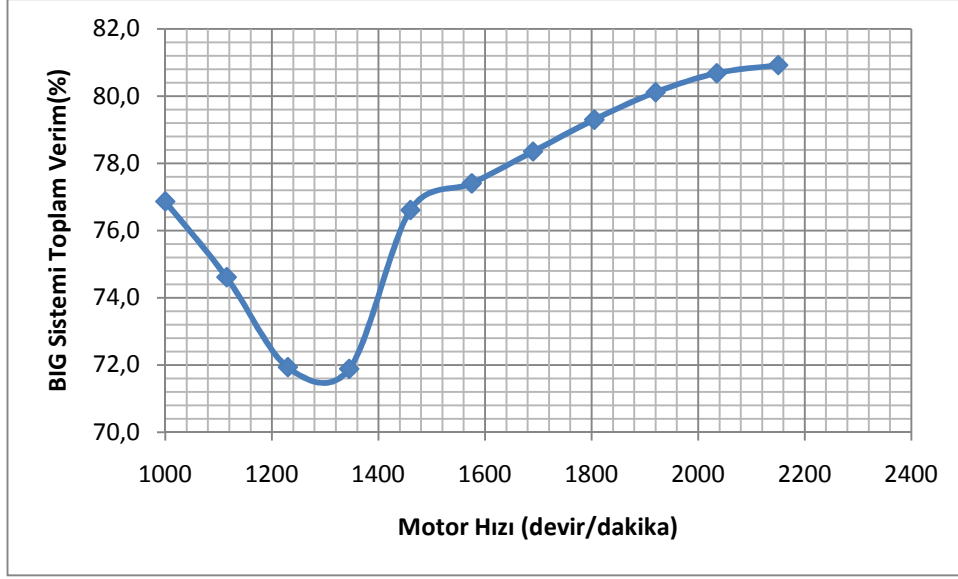
Şekil 3.3 Motor hızı ve güç ısı oranı ilişkisi

Şekil 3.3'de motor hızında görülen artış ile birlikte güç-ısı oranı değişkenlik gösterir. Bu değişkenliğin sebebi ısı ve elektrik üretim miktarlarının, motor hızı ile birlikte aynı oranda artış göstermemesidir. Şekil 3.3'de görüldüğü gibi 1300 devir/dakika sonra birlikte güç-ısı oranı düşmektedir. Motor hızının artması ile birlikte termal gücün artış eğiliminin, elektrik çıkış gücünün artış eğiliminden fazla olması 1300 devir/dakika'dan sonra güç-ısı oranı düşmektedir.



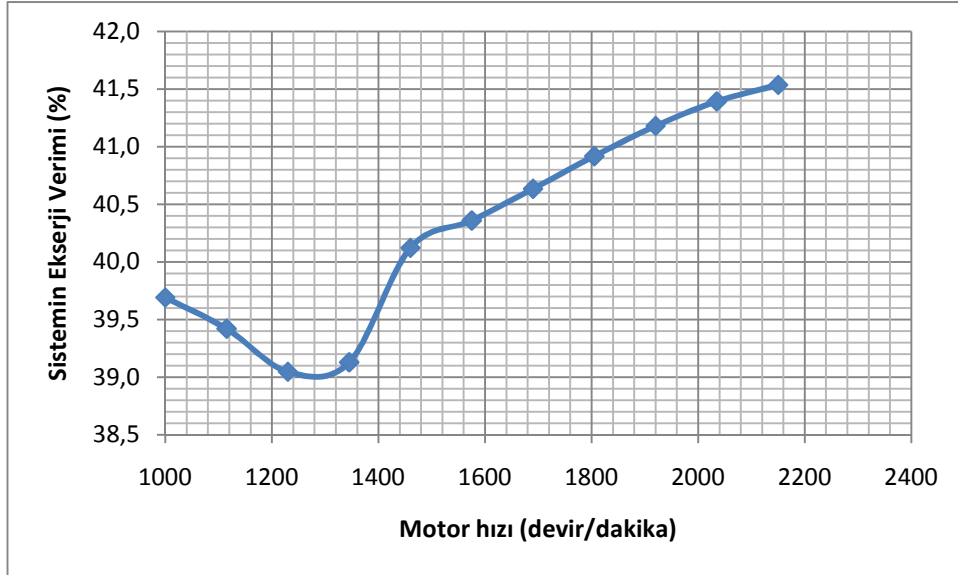
Şekil 3.4 Motor hızı ve termal verim ilişkisi

Şekil 3.4'de 1000 devir/dakika ile 1350 devir/dakika arasında ısı veriminde düşüş gözlemlenir ve 1350 devir/dakika'dan sonra termal verimde tekrar artış gözlemlenmektedir.



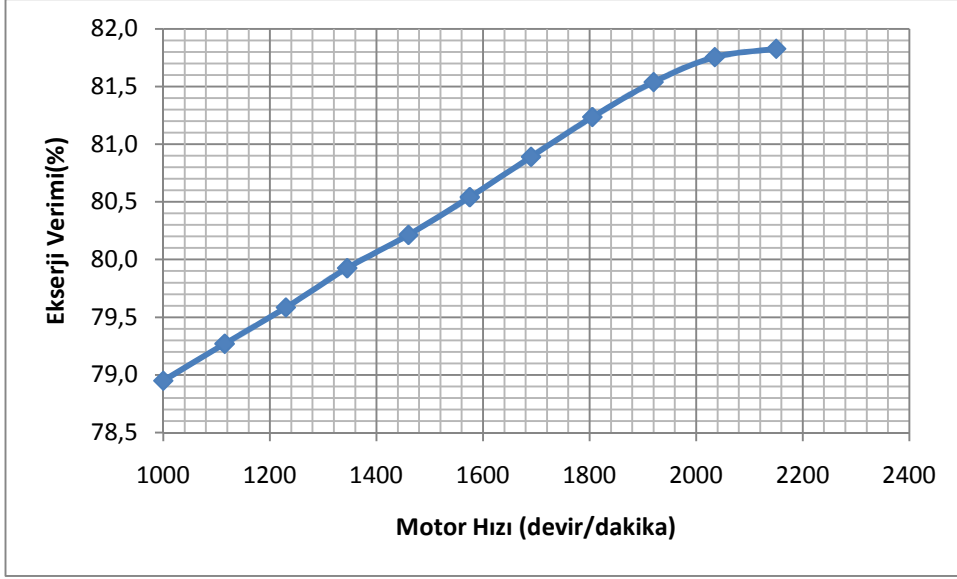
Şekil 3.5 Motor hızı ve toplam verim ilişkisi

Şekil 3.4'de 1000 devir/dakika ile 1350 devir/dakika arasında BIG sisteminin termal veriminde düşüş gözlemlenir ve 1350 devir/dakika'dan sonra termal verimde tekrar artış gözlemlenir fakat bu verim düşüşlerinin gözlemlendiği bölgelerde elektrik üretim verimleri sabit kalır. Şekil 3.5'de 1000 devir/dakika ile 1350 devir/dakika arasında gözlemlenen toplam verimdeki düşüşün nedeni termal verim ile ilişkilidir.



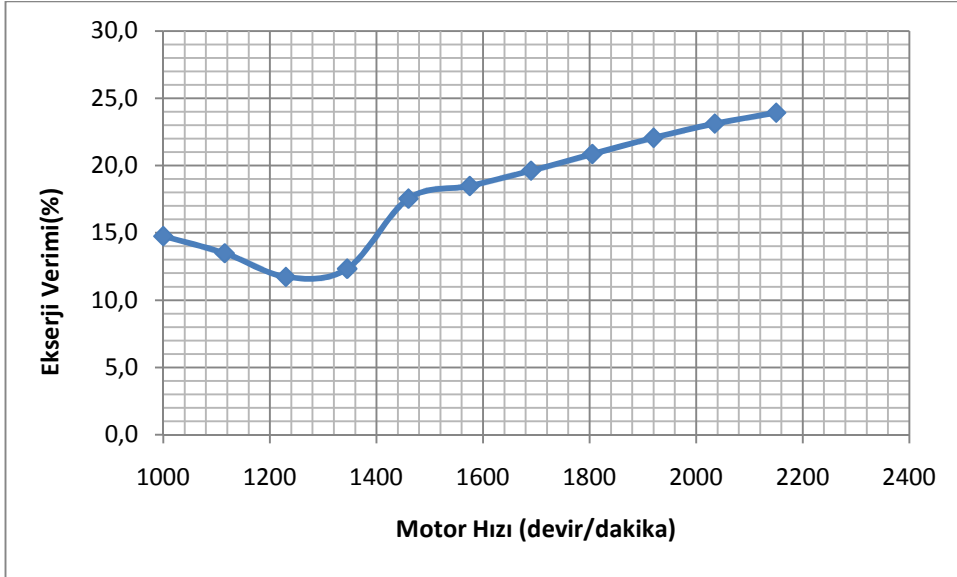
Şekil 3.6 Motor hızı ve sistemin ekserji verimi ilişkisi

Şekil 3.6'da 1000 devir/dakika ile 1350 devir/dakika arasında azalma gözlemlenir. Isıl verimin azaldığı bölgelerde, ekserji veriminde azalma görülmektedir.



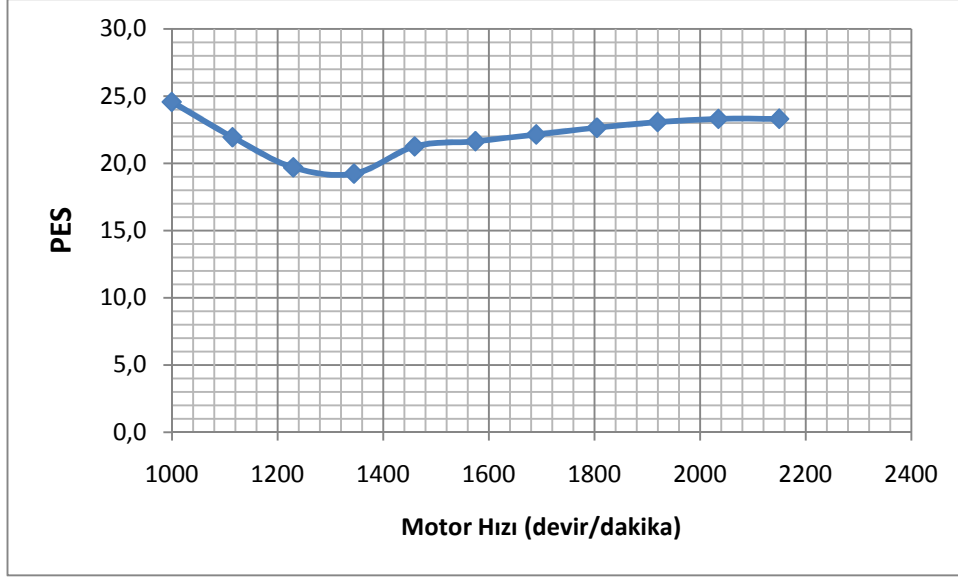
Şekil 3.7 Motor hızı ve ısı değiştirici<sub>A</sub> ekserji verimi ilişkisi

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi ısı değiştirici<sub>A</sub>’nın ekserji verimi sürekli olarak artmaktadır.



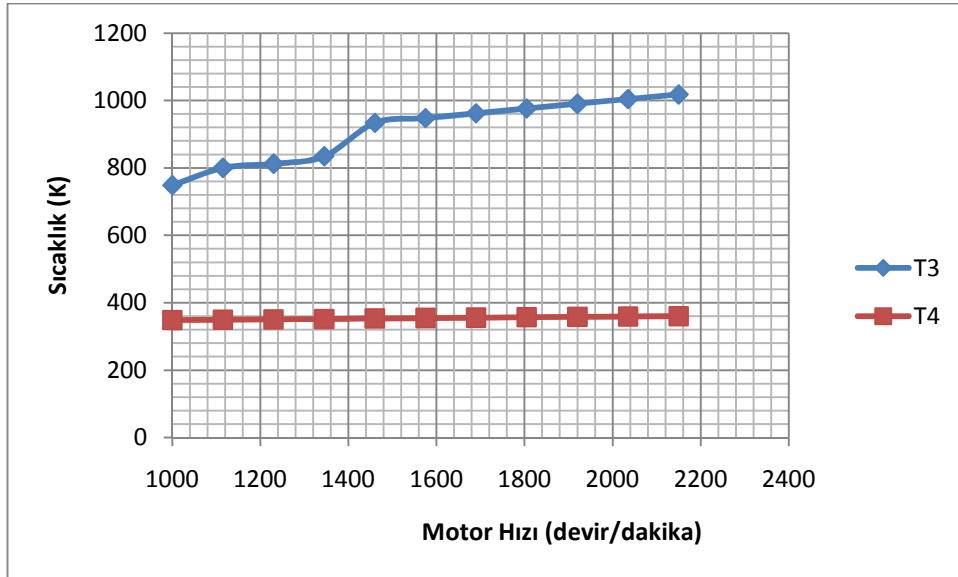
Şekil 3.8 Motor hızı ve ısı değiştirici<sub>B</sub> ekserji verimi ilişkisi

Şekil 3.8’de ısı değiştirici<sub>B</sub>’nin ekserji veriminin motor hızı ile değişimi görülmektedir. 1000 devir/dakika ile 1350 devir/dakika arasında ısı değiştiricisinin ekserji veriminde azalma görülür. 1350 devir/dakika’dan sonra artmaktadır.



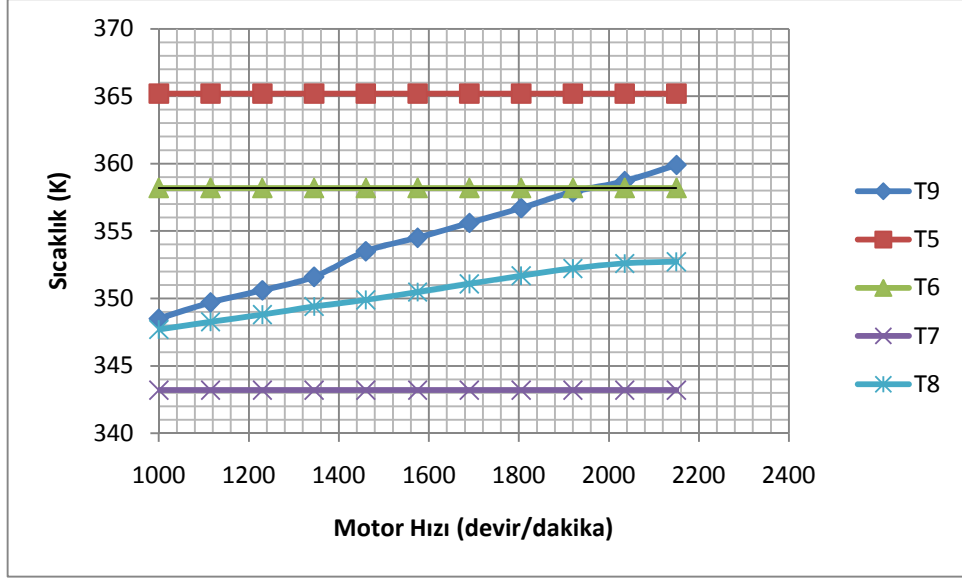
Şekil 3.9 Motor hızı ve *PES* ilişkisi

Şekil 3.9 *PES* ile motor hızı arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Motor hızı ile birlikte ısı üretimi ve elektrik üretiminin artması beklenir. Fakat *PES* oranının artması için elektrik ve ısı verimlerinin de artması gerekmektedir. 1000 devir/dakika ile 1350 devir/dakika arasında gözlenen ısı verimindeki azalma *PES* oranında azalmaya neden olmaktadır.



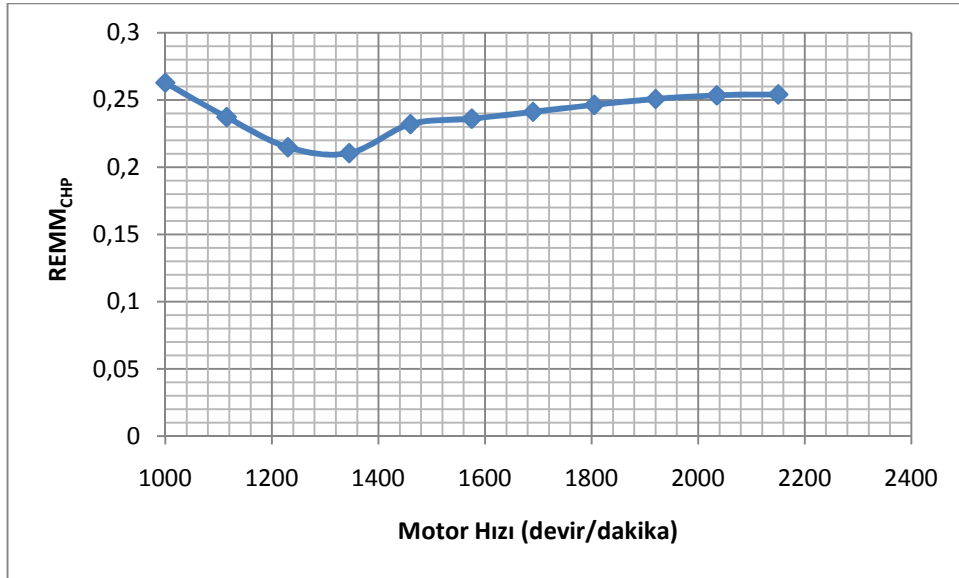
Şekil 3.10 Motor hızı ve gaz sıcaklıkları ilişkisi,  $T_3$ ,  $T_4$

Şekil 3.10'da egzoz sıcaklıkları verilmiştir.  $T_4$  sıcaklığı sistemden çevreye atılan (salım gazı) gazın sıcaklığıdır.  $T_3$  sıcaklığı motor çıkışı egzoz gaz sıcaklığıdır.



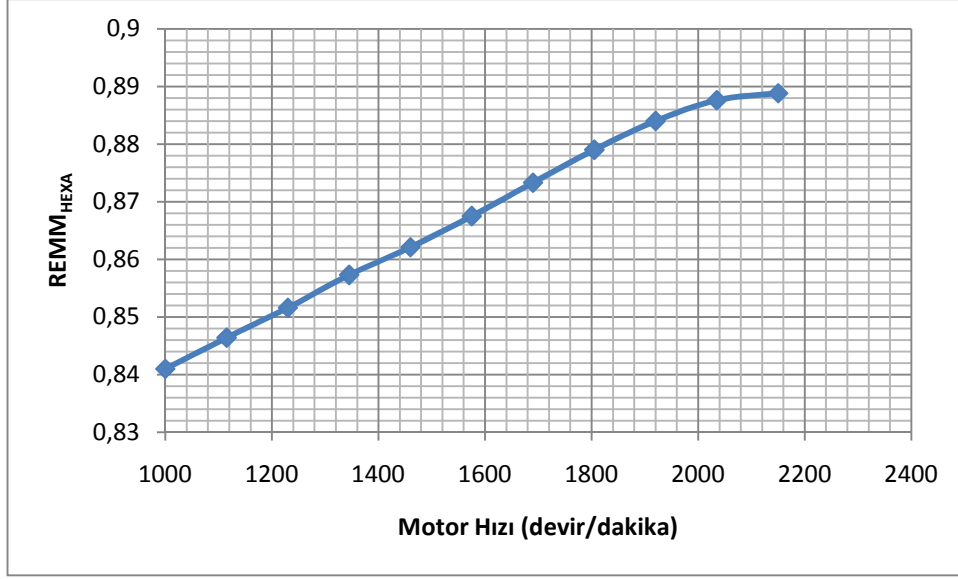
Şekil 3.11 Motor hızı ve sıcaklık ilişkisi,  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_8$ ,  $T_9$

Şekil 3.11'de verilen sıcaklıklar  $T_5$ ,  $T_6$ ,  $T_7$ ,  $T_8$  ve  $T_9$  sistem içerisinde su akışkan sıcaklıklarıdır. Şekil 4.1' de sistem süreç akış diyagramı verilmektedir.



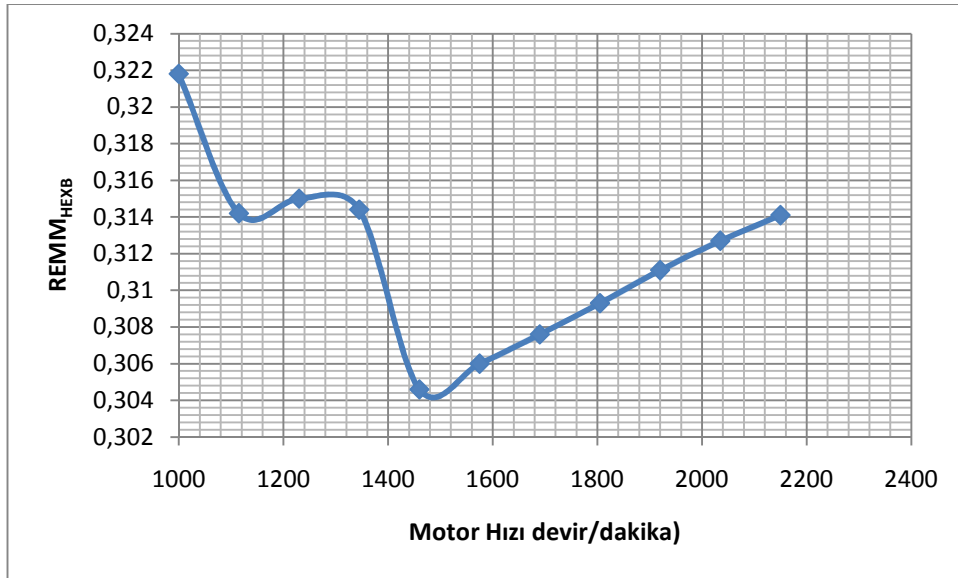
Şekil 3.12 Motor hızı ve  $REMM_{CHP}$  ilişkisi

Şekil 3.12'de  $REMM_{CHP}$  farklı motor hızlarında değişimi ifade edilmiştir. 1000 devir/dakika ve 1350 devir/dakika arasında yaşanan azalmanın nedeni  $T_3$  egzoz gaz sıcaklığının artmasıdır.



Şekil 3.13 Motor hızı ve  $REMM_{HEXA}$  ilişkisi

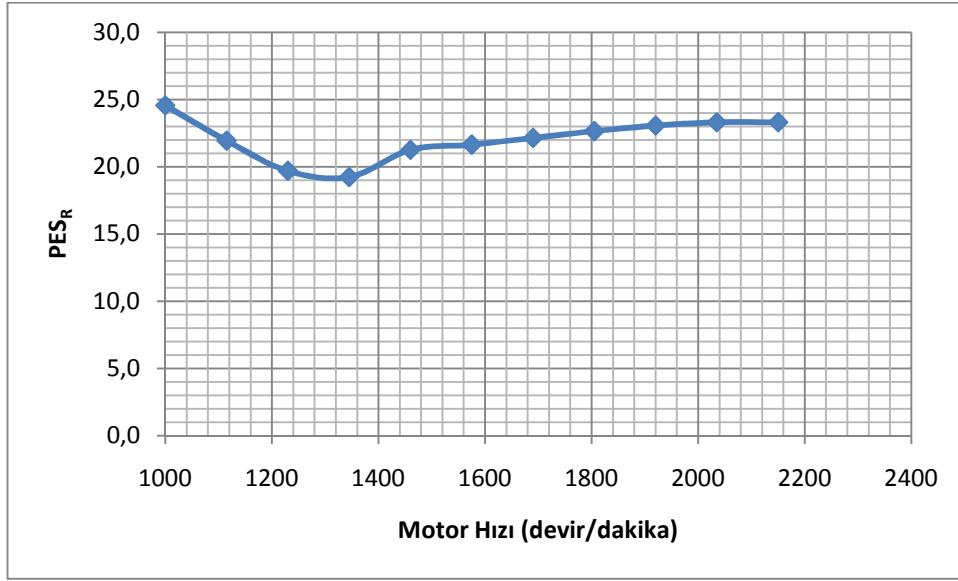
Şekil 3.13'de motor hızı ve  $REMM_{HEXA}$  arasındaki ilişki ifade edilmektedir. Şekil 3.11'de  $T_8$  sıcaklığının motor hızı ile arttığı görülmektedir.  $T_8$  sıcaklığının artması  $REMM_{HEXA}$ 'nın değerinin sürekli olarak motor hızı ile birlikte artmasını sağlar.



Şekil 3.14 Motor hızı ve  $REMM_{HEXB}$  ilişkisi

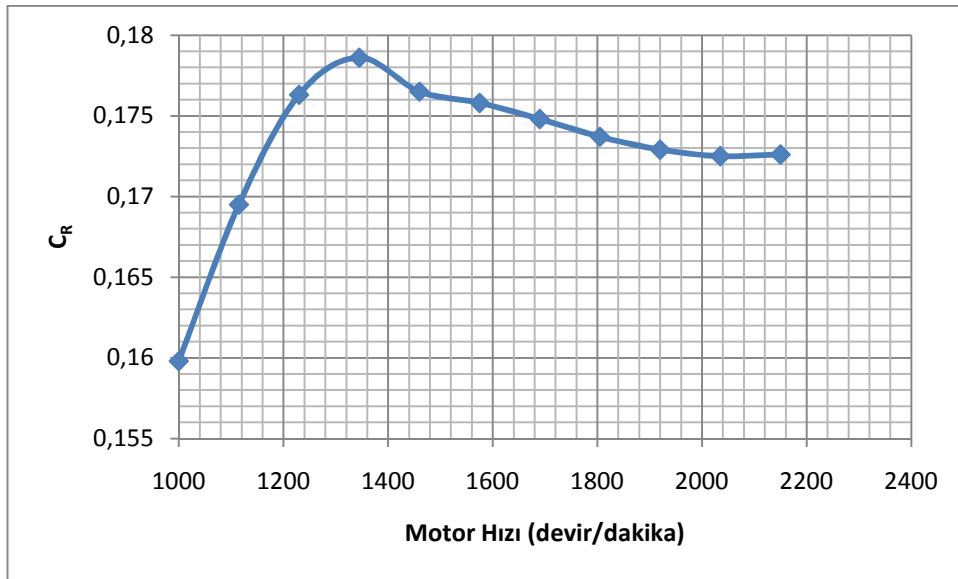
Şekil 3.14'de  $REMM_{HEXB}$  ve motor hızı arasındaki ilişki ifade edilmektedir.  $REMM_{HEXB}$  değeri  $T_3$  ve  $T_9$  sıcaklıkları ile sürekli olarak değiştiği görülmektedir. Şekil 3.10'da  $T_3$  sıcaklığının 1100 devir/dakika ile 1415 devir/dakika arasında

değişim gösterdiği görülmektedir.  $T_3$  sıcaklığının değişim gösterdiği sıcaklık aralıklarında  $REMM_{HEXB}$  değeri değişmektedir.



Şekil 3.15 Motor hızı ve  $PES_R$  ilişkisi

Şekil 3.15'de motor hızı ve  $PES_R$  ilişkisi ifade edilmektedir. Şekil 3.12 'de  $REMM_{CHP}$  1000 devir/dakika ve 1350 devir/dakika arasında değişim gösterdiği görülmektedir.  $REMM_{CHP}$  değerlerinin azalma gösterdiği noktalarda  $PES_R$  değeri de düşmektedir.



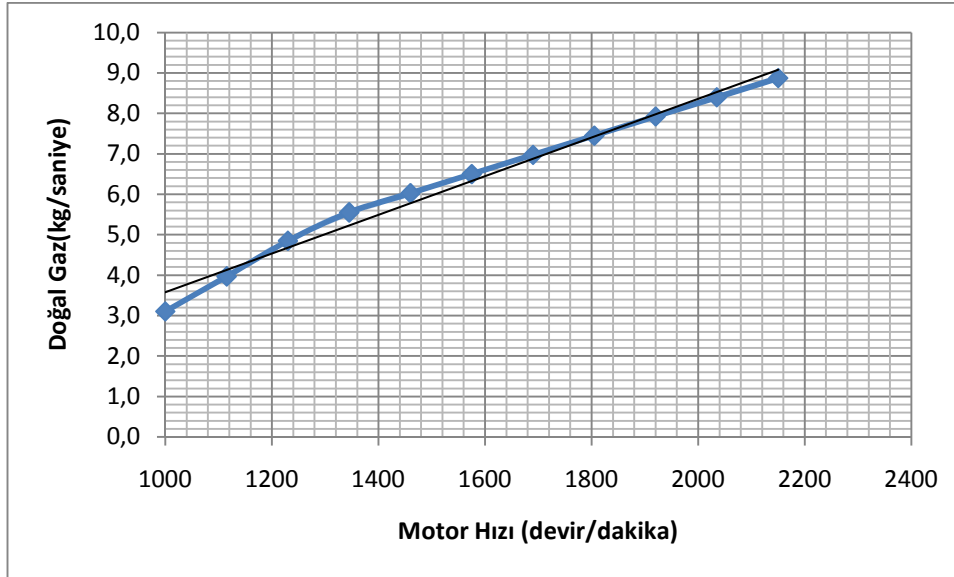


Şekil 3.16 Motor hızı ve  $C_R$  ilişkisi

Şekil 3.16 motor hızı ile  $C_R$  değişimini ifade etmektedir.  $C_R$ 'nin  $REMM_{CHP}$  ile değişimi eşitlik 3.34'de gösterilmiştir. Dolayısı ile  $REMM_{CHP}$ 'nin 1000 devir/dakika ve 1350 devir/dakika arasında gösterdiği eğilim nedeni ile  $C_R$ 'nin eğilimi görülmektedir.

Şekil 3.17 motor hızı ve yakıt tüketimi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yakıtın kütsel debisinin 1200 devir/dakika ve 1600 devir dakika arasında doğrusal çizginin üzerinde olduğu görülmektedir. Yakıt tüketiminin doğrusal çizginin üzerine çıkması yakıt tüketim veriminin azalması olarak değerlendirilmektedir [40]. 1350 devir/dakika'dan sonra doğrusal çizgiye tekrar yakınlaşmaya başladığı görülmektedir.

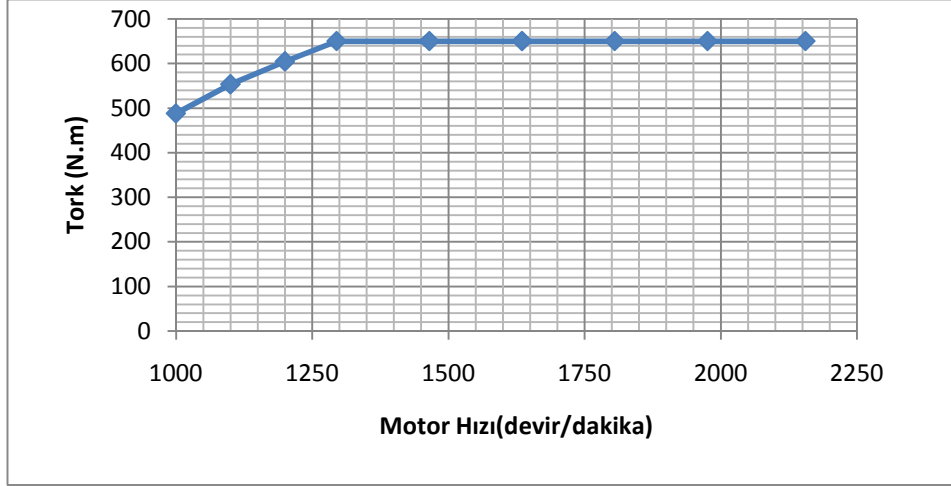
Kompresör ve yakıt soğutucunun devreye girmesi ile yakıt tüketiminde verim artışı bilinen bir uygulamadır [25]. Dolayısı ile 1350 devir/dakika'dan sonra devreye kompresör ve yakıt soğutucunun devreye girmesi yakıt tüketimini azalttığı ve sistem verimini arttırdığı düşünülmektedir.



Şekil 3.17 Motor hızı ve yakıt tüketimi ilişkisi

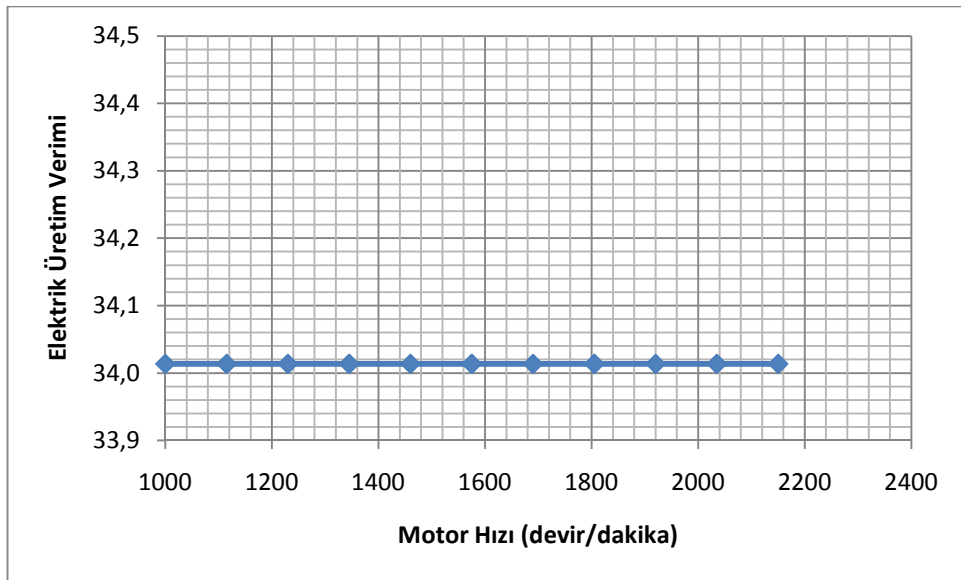
Şekil 3.18 motor hızı ve tork arasındaki ilişkiyi göstermektedir. 1000 devir/dakika ile 1300 devir/dakika arasında tork sürekli olarak artmaktadır. 1300 devir/dakika'dan 2150 devir/dakika arasında sabit kalmaktadır.

Eşitlik 6.13'de (Ek 6.7) ifade edildiği gibi motor hızı ve tork ilişkisi verilmiştir. Tork ve motor hızının gücü etkilediği bilinmektedir. Tork'un artma eğilimi gösterdiği 1000 devir/dakika ve 1300 devir/dakika arasında motorun güç çıkışında doğrusal artış görülememektedir. 1300 devir/dakika'dan sonra tork sabit kalır ve motor hızı ile güç artışı doğrusal olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 3.18 Motor hızı ve tork ilişkisi

Şekil 3.19 motor hızı ve elektrik üretim verimini göstermektedir. Elektrik üretim veriminin motor hızına göre değişimi sabit olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3.19 Motor hızı ve elektrik üretim verimi ilişkisi

## 4. BİNA ENERJİ MODELİ VE UYGULAMA

Birlikte ısı güç uygulamasının yapılacağı binanın enerji karakteristiğinin önceden belirlenmesi gerekir. İşletmede olan tesisler için bina yüklerinin belirlenmesi geçmiş tüketim giderleri aracılığı ile belirlenebilir. Elektrik ve ısı yüklerinin doğru belirlenmesi; ilk yatırım maliyetleri, geri ödeme sürelerinin belirlenmesi ve işletme maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Örnek çalışma kapsamında MATPUM binasının elektrik ve ısı yükleri *RETSCREEN* Yeşil Enerji Analiz Programı ile belirlenmiştir. Bu çalışmanın devamında *RETSCREEN* Yeşil Enerji Analiz Programı ile ilk kurulum maliyetlerine göre geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. *RETSCREEN* Yeşil Enerji Analiz Programı kullanılarak binanın ısı ve elektrik yükleri belirlenir ve grafiğe geçirilmiştir. Grafikselleştirme ile binanın temel elektrik ve ısı yükleri net aylık kurulu güçler olarak gösterilmiştir.

### 4.1 Bina Isı ve Elektrik Yükleri

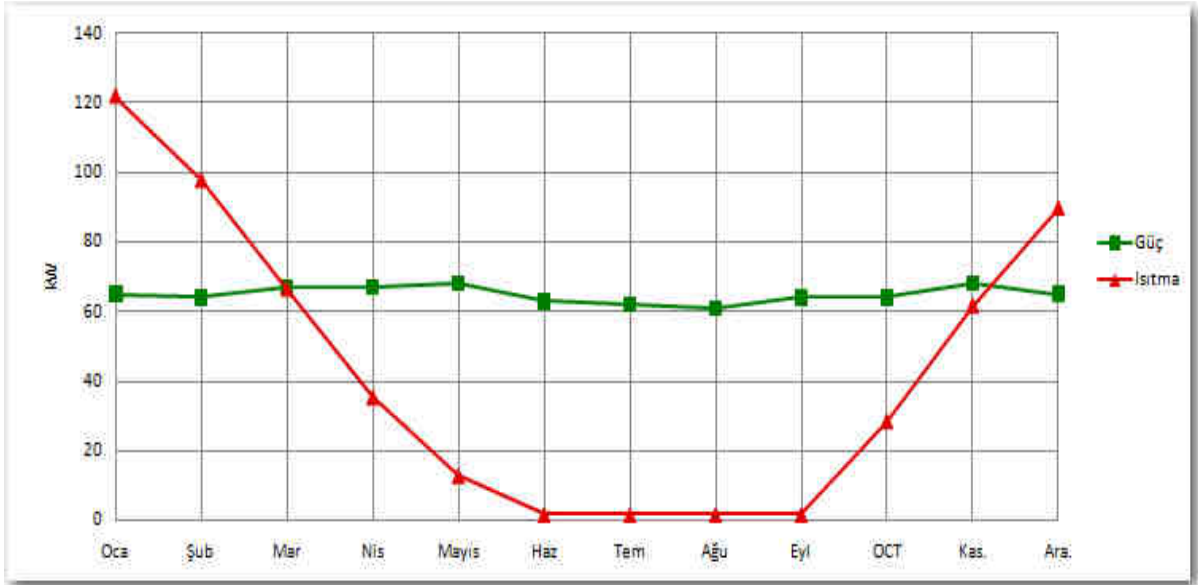
Binaların geçmiş dönemlere ait elektrik ve doğalgaz faturaları kullanılarak aylık tüketim miktarları belirlenebilir. BIG sistemlerinde kurulu gücün hesaplanmasında önemli parametrelerden birisi binaların geçmiş yıllardaki performanslarıdır. Fakat bu çalışmada bina ısı yükü  $65 \text{ W/m}^2$  olarak kabul edilmiştir [40]. Böylece aylık ortalama derece/gün yöntemi ile bina termal yükleri belirlenmiştir. Elektrik yüklerinin belirlenmesinde, işlev halinde binalar veya süreçler için geçmiş tüketim değerlerinin temel alınması önerilmektedir.

Daha önce vurgulandığı üzere, binaların geçmiş sezon veya aylara ait tüketim ve performans değerleri BIG uygulamalarında kurulum ve sürecin analizinde önemli parametre olarak kullanılır [40]. Ek 6.1.2'de Ankara ili iklim ve derece/ay ısıtma değerleri verilmiştir. Ankara İli için yapılan uygulamada Mayıs-Eylül aylarında bina termal yüklerinin kısıtlı olduğu görülür. Bu aylarda BIG sisteminden yararlanılan termal yükler, sıcak su ihtiyacı ile sınırlıdır. Binanın geçmiş ısıtma sezonlarında ise görüldüğü üzere Ekim aylarında bina ısıtma ihtiyacı oldukça kısıtlıdır. Isıtma sezonu etkinliklerine göre yıllık ısıtma etkinliği %67 olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1'de ortalama aylık elektrik ve ısı güçleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.1 Binanın aylık kurulu ısı ve elektrik yük değerleri

Ay	Elektrik net ortalama yük kW	Termal ortalama yük kW
Ocak	65	122
Şubat	64	98
Mart	67	67
Nisan	67	35
Mayıs	68	13
Haziran	63	2
Temmuz	62	2
Ağustos	61	2
Eylül	64	2
Ekim	64	29
Kasım	68	62
Aralık	65	90

Çizelge 4.1’de MATPUM binasının aylık talepleri görsel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 4.1 Binanın elektrik ve ısı yükleri

## 4.2 Bina Enerji Modeli Analizi

Birlikte ısı-güç üretim sistemlerinde, yük takibinde üç farklı model kullanılmaktadır. BIG sistemleri ısıtma yükü, elektrik yükü ve tam güç çıkışı yük takibi modelinde çalıştırılmaktadır. Fakat yaygın olarak uygulamalarda, elektrik ve ısı yükü takibi modelleri ile daha çok karşılaşılmaktadır [41]. Yüklerin değişken olduğu veya yaz kış sezonu termal yüklerinin farklılık gösterdiği uygulamalarda tam güç çıkışı, diğer modellere göre daha verimsiz ve geri ödeme süresi daha uzundur [40].

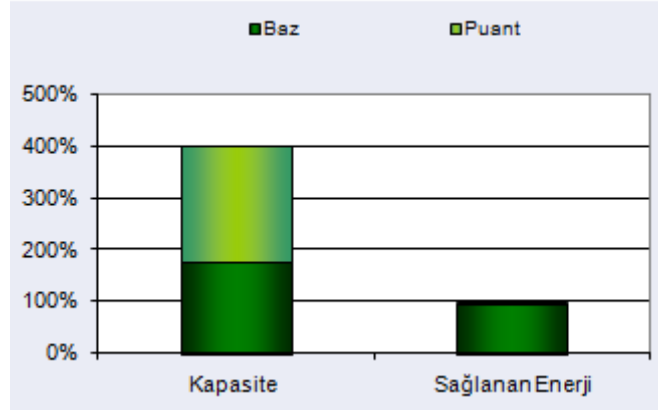
Tam güç kapasite seçimi, BIG sistemi uygulamalarında her zaman etkin değildir. Bina termal yüklerinin kısmi yüklerde seyirinde, gereksiz yakıt tüketimi gerçekleşmektedir. Böylece uygun değer çözüm noktasına ulaşamamış olur.

Bina termal veya elektrik yükünün takip edildiği uygulamalarda ise daha verimli çözümler oluşabilir. Özellikle termal veya elektrik yüklerinin farklı olduğu durumlarda genellikle gücün fazla olduğu yük seçilmektedir [11].

BIG sisteminin, 8322 saat/yıl diğer ifade ile %95 kullanılabilirlik sınırı ile çalışması halinde değerlendirme yapılmıştır. MATPUM binası için yapılan çalışmada 195 kW ısıtma ve 68 kW elektrik kurulu güç talebi olduğu görülmüştür. Isıtma talebinin 157 kW gücü BIG sisteminden karşılanmakta ve yüksek yük kısmı ise binanın geleneksel ısıtma talebinden giderilmektedir. 120 kW elektrik gücü ise bina elektrik yükünü karşılamaktadır.

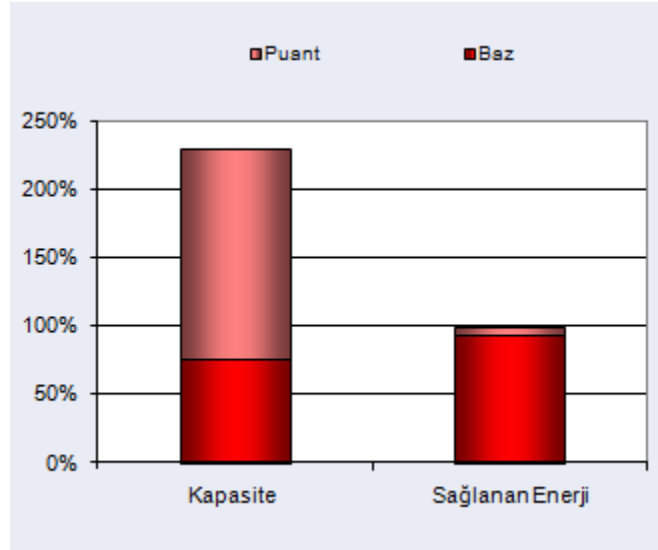
Tam güç kapasite çıkışında geleneksel ısıtma sisteminin de tam kapasite çıkışında çalışmaktadır. Isıtma yükü seçiminde, geleneksel yöntem ve BIG sisteminin, bina termal yük talebini karşıladığı ve üretilen elektrik enerjisi şebeke ile eş zamanlı çalıştırılmaktadır. Elektrik yükü takibinde, bina elektrik yüklerinin BIG sisteminden karşılanması, bina termal yükünün ise geleneksel ısıtma sistemi ile BIG sisteminin eş zamanlı çalışması ile karşılanmaktadır.

MATPUM binası için seçilen uygulamada sırası ile tam güç kapasite çıkışı, elektrik yükü takibinde ve ısıtma yükü takibinde kapasite ve puant yük (yüksek yük) değerleri ifade edilmiştir.



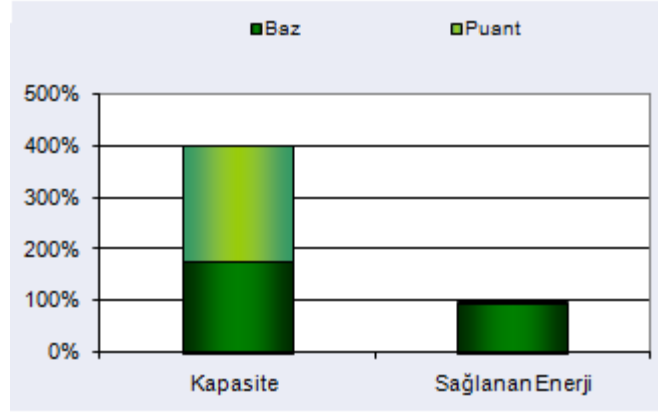
Şekil 4.2 Binanın tam güç takibi elektrik üretimi kapasite ve yüksek yükleri

RETScreen Programı ile yapılan analiz doğrultusunda, 540 MWh temel elektrik yükü ve 28 MWh yüksek yük elektrik enerjisi talebi BIG sisteminden karşılanmıştır. 459 MWh elektrik enerjisi ise bina yüklerinin karşılanmadığı zamanlarda şebekeye yönlendirilmesi gerektiği hesaplanmıştır. Toplam 1027 MWh elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmesi öngörülmektedir.



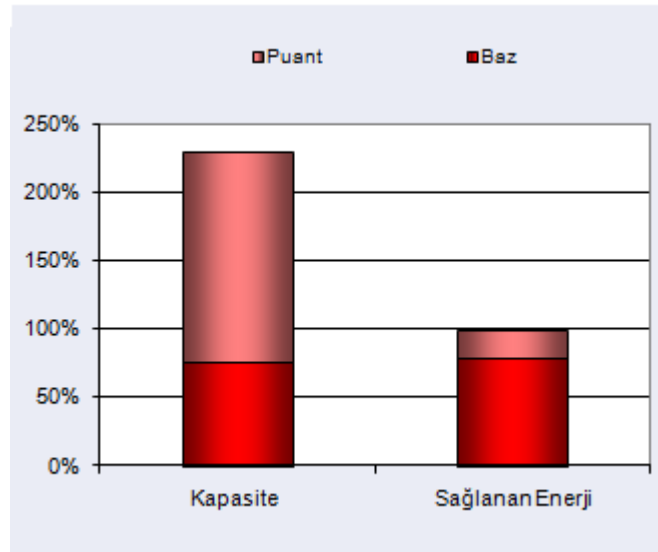
Şekil 4.3 Binanın tam güç takibinde ısı üretimi kapasite ve yüksek yükleri

Tam güç kapasitede çalışma evresinde termal yüklerin analizi ile 374 MWh ısı enerjisi tüketiminin gerçekleştiği, 26 MWh ise yüksek yüklerin olduğu hesaplanmıştır. Yüksek yüklerin karşılanması için sisteme paralel olarak çalıştırılan doğalgazlı kazan (back-up boiler) kullanılması öngörülmektedir.



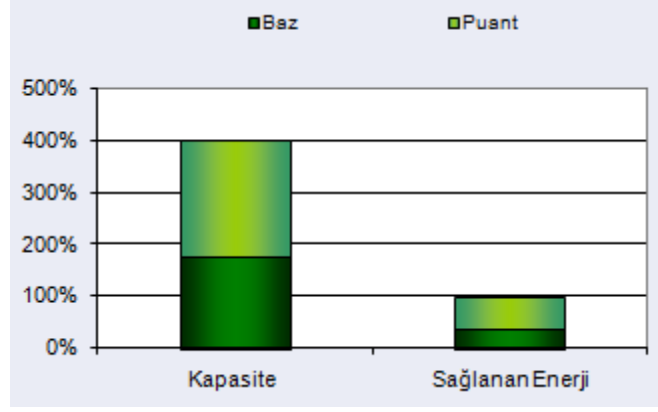
Şekil 4.4 Binanın elektrik yükü takibinde elektrik üretim kapasite ve yüksek yükleri

Elektrik yükü takibi seçiminde elektrik enerjisinin analizi ile elde edilen sonuçlar, 540 MWh elektrik enerjisinin temel yükler tarafından karşılanmasını ve 28 MWh yüksek yük ise şebeke elektriği tarafından karşılanmasının gerektiği öngörülmektedir.



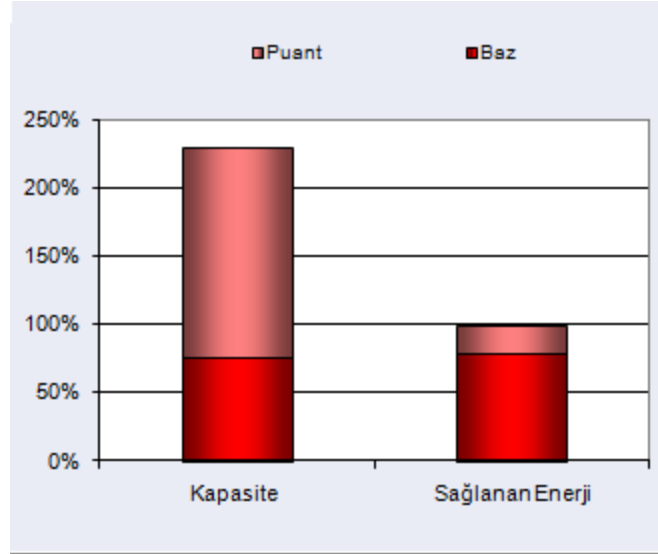
Şekil 4.5 Binanın elektrik yükü takibinde ısı üretim kapasite ve yüksek yükleri

Elektrik yükü takibi ile birlikte ısı yüklerinin analizi elde edilen sonuçlar, 319 MWh temel yüklerden karşılanmış, 82 MWh ise yüksek yüklerden karşılanmıştır. Termal enerji talebinin, 82 MWh yüksek yük kısmının dağalgazlı kazan sisteminin devreye girmesi ile karşılanması öngörülmektedir.



Şekil 4.6 Binanın ısı yükü takibinde elektrik üretim kapasite ve yüksek yükleri

Isıtma yükü takibi modelinin uygulandığı sistemde elektrik enerjisi için analiz değerleri, 211 MWh temel yük talebinin karşılanması, 358 MWh yüksek yük elektrik enerjisi şebekeden karşılanmıştır. 45 MWh elektrik enerjisi ise şebeke elektriğine satılmıştır. Toplamda 613 MWh elektrik enerjisi üretimi öngörülmektedir.



Şekil 4.7 Binanın ısı yükü takibinde ısı üretimi kapasite ve yüksek yükleri

Isı yükü takibinin uygulandığı modelde ısı enerjisinin analizinde 316 MWh ısı enerjisi temel yükleri karşılamış ve 84 MWh ısı enerjisi yüksek yükler tarafından karşılanması öngörülmektedir.



### 4.3 Bina Salım Modeli Analizi

Birlikte ısı-güç sistemlerinin sera gazı salımlarının azaltılmasında etkili rolleri vardır [41]. RETScreen programını ve programın veri tabanı kullanılarak üretilen enerji karşılığında sera gazı salımlarındaki azalma hesaplanabilmektedir.

BIG üretim sistemlerinin, sera gazı salımları azaltılmasında pozitif katkısı bilinmektedir. Buna ek olarak, yük takibi modeli sera gazı salımlarının uygun değere getirilmesinde önemli faktördür [39]. Yük takibi modellerini değiştirerek sera gazı salımlarını azaltmak mümkündür.

Sera gazı salımlarının öngörülmesinde, programın bilgi tabanı kullanılmaktadır. 0,445 ton CO<sub>2</sub>/MWh salım değeri kabul edilmektedir.

Çizelge 4.2'de tam güç kapasite çıkışı, elektrik yükü takibi ve ısı yükü takibi enerji modellerinde salım değerleri verilmiştir.

**Çizelge 4.2 Enerji modeline göre salım değerleri**

<b>Enerji Modeli</b>	<b>BIG (Ton CO<sub>2</sub>/ Yıl)</b>	<b>Konvansiyonel Sistemler (Ton CO<sub>2</sub>/Yıl)</b>	<b>Salım Değişimi (ΔTon CO<sub>2</sub>/Yıl)</b>
Tam kapasite çıkışı	759,8	655,1	+104,7
Elektrik yük takibi	418,1	415,2	+2,9
Isıtma yük takibi	394,5	438,5	-44,0

### 4.4 Bina Ekonomik Model Analizi

BIG sistemlerinde önemli performans parametrelerinden bir diğeri, yatırım geri ödeme süresidir. Yatırım geri ödeme süresi, uygulamada izlenen enerji modeli uygulamasına göre değişiklik gösterebilmektedir.

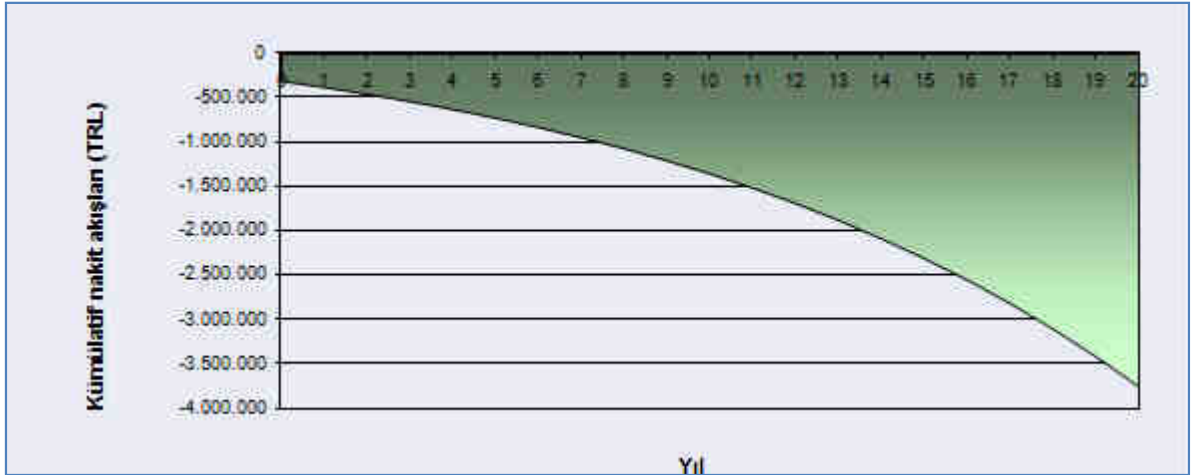
BIG sistemlerinde, yatırım geri ödeme süresini güç başına maliyet, kurulum maliyeti ve işletme maliyeti doğrudan etkileyen etmenlerdir. İşletme maliyetleri, yakıt tüketim giderleri ve bakım maliyetleri olarak öngörülmektedir.

Elektrik enerjisinin üretiminin tüketiminden fazla olduğu zamanlarda, şebeke elektriğine satılan elektrik enerjisi miktarı ise BIG sistemlerinin gelirlerini oluşturmaktadır.

Yakıt tüketim gideri il veya kullanıcı tipi (organize sanayi bölgesi) doğalgaz maliyetleri hesaba katılarak değerlendirilmelidir. Bu çalışmada doğal gaz bedeli, 0,6 TL/m<sup>3</sup> Ankara doğalgaz satış fiyatı alınmıştır.

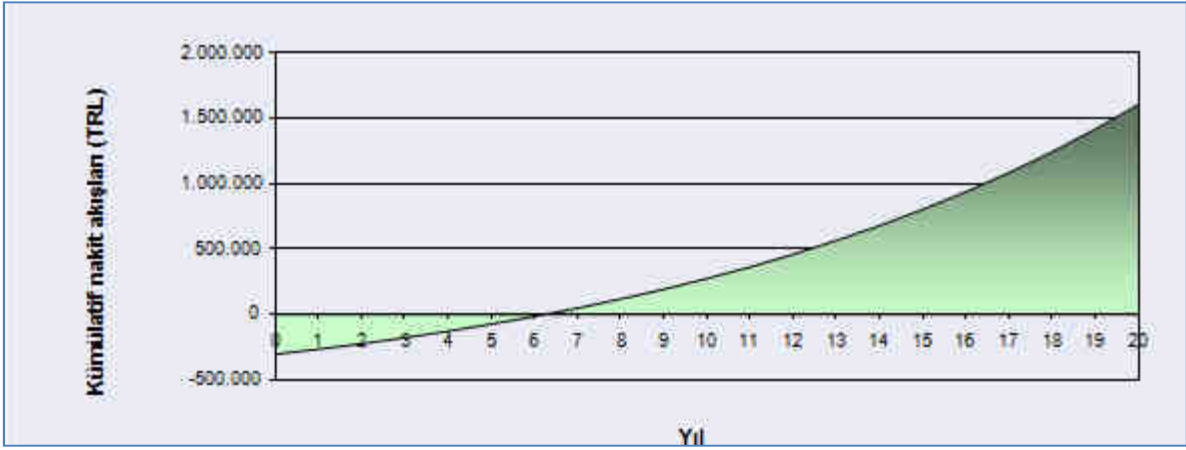
Elektrik enerjisi alış-satış fiyatları, kullanıcı tipi ve illere göre değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada alış-satış fiyatları, Ankara bölgesi fiyatlarına göre 0,022 TL/kWh belirlenmiştir. Elektrik şebekesine satış bedeli 0,012 TL/kWh belirlenmiştir.

Şekil 4.8, şekil 4.9 ve şekil 4.10 bina enerji modeli ile geri ödeme sürelerinde yaşanan değişimleri öngörülerini ifade etmektedir



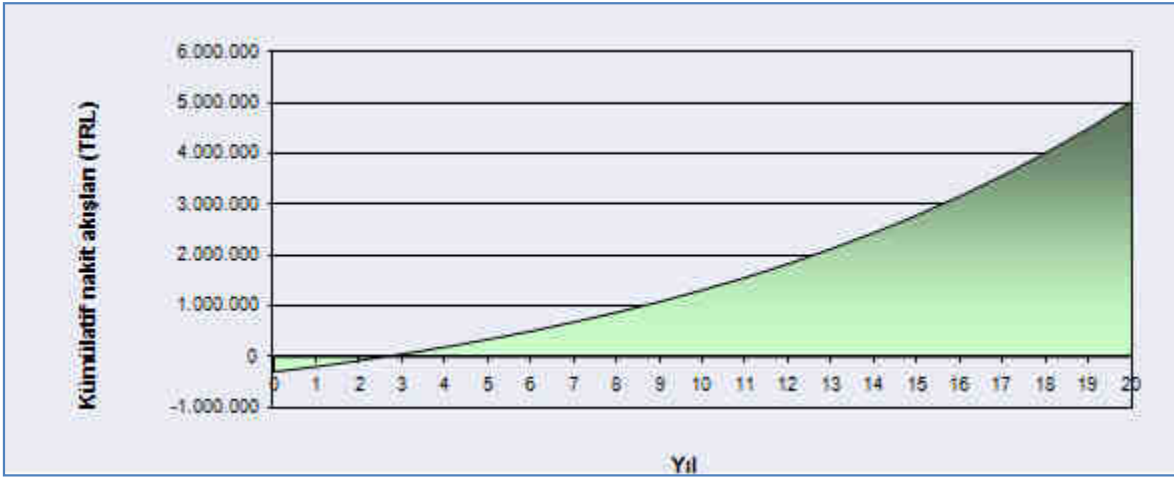
Şekil 4.8 Tam güç kapasite çıkışı modeli birikmiş nakit akış grafiği

Şekil 4.8'da elektrik enerjisi yük takibi modelinin kümülatif (birikmiş) nakit akışlar grafiği verilmiştir. Tam güç kapasite çıkışı enerji modelinde, Mayıs-Eylül aylarında termal arz, taleplerin çok üzerinde üretilmektedir. Fazla elektrik enerjisi üretiminin şebeke satışı halinde sistem gelir üretebilir. Fakat doğalgaz fiyatlarının, elektrik üretim fiyatlarının üzerinde seyretmesi yatırım maliyetlerinin geri ödenememesine neden olacağı öngörülmektedir.



Şekil 4.9 Elektrik enerjisi yük takibi modeli birikmiş nakit akışı grafiği

Şekil 4.9'da elektrik enerjisi yük takibi modelinin birikmiş nakit akışlar grafiği verilmiştir. Yatırım ilk maliyet geri ödeme süresi, öz sermaye geri ödemesi 8,5 yıl ve basit geri ödeme süresi 6,2 yıl öngörülmektedir.



Şekil 4.10 Isıtma yükü takibi enerji modeli birikmiş nakit akışı grafiği

Şekil 4.9'da Isıtma yükü takibi enerji modeli birikmiş nakit akışı grafiği verilmiştir. Yatırım ilk maliyet geri ödeme, öz sermaye geri ödeme süresi 3,0 yıl, basit geri ödeme süresi ise 2,6 yıl öngörülmektedir.

## 5. SONUÇ

Dünya ekonomik pazarının ve tüketim araçlarının sürekli ve hızlı bir şekilde arttığı günümüzde, buna bağlı olarak hammadde, petrol ve petrol türevi kimyasal talebi artmaktadır. Sürdürülebilir kaynaklar olmayan, petrol ve petrol türevi kaynakların tükenmesi kaçınılmazdır. Bu şartlar altında, oluşturulan enerji politikaları arasında, BIG sistemleri, enerji verimliliği, sera gazı salımları azaltıcı etkisi ve ekonomik talepleri karşılama gibi özendirici etkileri ile birlikte ülkemizde ve Dünya'da kullanım alanları hızla artmaktadır.

Yapılan çalışmanın ilk aşamasında, FPT ENT 60 ENG Fiat- Iveco BIG sistemi elektrik gücü, ısı gücü, elektrik verimi, termal verimi, ekserji verimi,  $C$ ,  $PES$ ,  $REMM$ ,  $PES_R$  ve  $C_R$  değerlerinin motor hızları ile ilişkisi incelenmiştir. Termal verim değişiminin, termal gücü, sistem elemanlarının ekserji verimini,  $C$ ,  $PES$ ,  $REMM$ ,  $PES_R$  ve  $C_R$  parametrelerini performansı etkilediği görülmektedir.

FPT ENT 60 ENG modeli için 1100 devir/dakika ve 1350 devir/dakika arasında termal üretim ve termal verimde kısmi azalma görülmektedir. Buna rağmen elektrik üretim veriminin, motor hızı değişiminden etkilenmediği görülmektedir. 1100 devir/dakika ve 1350 devir/dakika arasında yakıt tüketiminin doğrusal artıştan fazla olduğu görülür. Buna bağlı olarak ise termal verim ve toplam verimde azalma gözlemlenmektedir. 1300 devir/dakika'dan sonra kompresör ve ön soğutucunun devreye girmesi, yakıtın doğrusal tüketim çizgisine yaklaşması neden olmaktadır.

Yapılan çalışmanın ikinci aşamasında, ENT 60 ENG Fiat- Iveco BIG sisteminin, bir uygulama binasında sistemin ekonomik, çevresel ve güç hesapları *RETSCREEN* programı kullanılarak öngörülmüş ve tam kapasite güç çıkışı, elektrik yükü takibi ve ısı yükü takibi kullanım modellerinde, ekonomik, çevresel sonuçlar öngörülmüştür.

MATPUM uygulama binası için yapılan öngörü sonuçları doğrultusunda, ısı yükü takibi modeli ile ekonomik ve çevresel sonuçların diğer modeller, tam kapasite güç çıkışı ve elektrik yükü takibi modellerine göre olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

BIG sistemlerinin bina uygulamalarında, amaç genel olarak termal talebin karşılanması ve buna ek olarak üretilen elektrikten ise yararlanmaktır.

Bina uygulamalarında, BIG sisteminin seçimi bina kullanım amacına görede değişmektedir. Çünkü binalar, ticari, oturma, hastahane, havalimanı amaçlı kullanılabilir. Bina kullanım amaçları, güç-ısı oranlarının yani termal ve elektrik yük taleplerinin değişkenlik göstermesine neden olmaktadır. MATPUM binası için yapılan uygulamada elektrik yük talebi, termal yükün altında olması nedeni ile ısı yükü takibi başarılı olmuştur. Bu uygulama, en uygun çözümün sağlanmasında genel bir genelleme yapılamayacağını ve her uygulamanın en uygun çözümünün farklılık gösterebileceğini göstermiştir.

BIG sistemlerinde ön uygulama analizi, en uygun çözümün bulunması için oldukça önemlidir. En uygun çözümün oluşturulmasında, bilgisayar tabanlı modelleme teknikleri zaman kazanılması ve uygulama öncesi başarı tespiti için gereklidir. *RETScreen* programı, BIG sistemleri için oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Fakat *HOMER*, *CHPSizer 2*, *SEA/RENUUE*, *Ready RECKONER* ve *ENERGYPRO 3* programları ticari amaçlı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bu programlara ek olarak BIG firmaları kendi geliştirdikleri paket programlarında kullanılmaktadır. *RETScreen* programı, ücretsiz kullanıma açık olması, kullanıcı dostu arayüzü, ürün kütüphanesi, hibrid sistemlerin analizi ve temiz enerji projelerinin tümünde ön analiz imkânı tanınması ile diğer programlardan farklılaşmaktadır.

## KAYNAKLAR

1. E, Bilgen, Exergetic And Engineering Analysis Of Gas Turbine Based Cogeneration Systems, Energy, vol.25, no.11, s.1217-1219, 2000.
2. JOSEPH, A. Orlando, Cogeneration Design Guide, ASHREA, 1-63, 1996
3. Ş. KILKIS, B. KILKIS, Energy And Exergy Efficiency Comparison Of Poly-Generation And CO-Generation Systems, CHP Congress, Hungary, 2009.
4. A.Bejan, G. Tsatsaronis, M. Michael, Thermal Design And Optimization, A Wiley-Interscience Publication,1996.
5. ENER, Öner, Örnek Bir İşletmede Kojenerasyon Tesisi Uygulaması, M.Sc. thesis, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 1-156, 2006.
6. ORHAN, İlkay, Kojenerasyon Tesislerinde Kullanılan Güç Teknolojileri, M.Sc. thesis, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 1-107, 2003.
7. ELAMİN, Abd Elmonim Mohamed, Cogeneration Of Electricity And Cooling By Gas Turbine, Phd. thesis, İstanbul Technical University, İstanbul, 1-68, 2006.
8. SÖNMEZ, Ahmet, Kojenerasyon Teknolojisi Ve Bir Kombine Çevrim Santralinde Çalışma Şartlarının Belirlenmesi, M.Sc. thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1-61, 1998.
9. ÇAKIR, Duygu, Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinde Yakıt Olarak Doğalgaz Kullanımının İncelenmesi, M.Sc. thesis, Yıldız Üniversitesi, İstanbul, 1-154, 2006.
10. AKDENİZ, Nilay, Doğal Gazlı Kojenerasyon Sisteminin Ekserjetik Analizi, M.Sc. thesis, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 1-134, 2007.
11. ÇALIŞICI, M. Ümit, Kojenerasyon Sistemleri Ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik Ve Ekonomik Uygulanabilirliği, M.Sc. thesis, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 1-109, 2005.

- 12.ÇAKIR, Duygu, Gaz Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinde Yakıt Olarak Doğalgaz Kullanımının İncelenmesi, M.Sc. thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1-154, 2006.
- 13.FARUK, Ömer, Ekserji Analizi Yöntemini Kullanarak Doğal Gazlı Bir Kojenerasyon Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi, M.Sc. thesis, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1-63, 2005.
- 14.D, W.Wu, Combined Cooling, Heating And Power, Energy, vol.32, no.5-6, s.459-495, 2006.
- 15.Lucas, K. Lehrstuhl für Technische Thermodynamik, Germany, 2000.
- 16.ÇENGEL, A.Yunus And BOLES, A. Michael, Termodinamik Mühendislik Yaklaşımıyla, 5<sup>nd</sup> Edition, Güven Bilimsel, 2008.
- 17.Energy Nexus Group, Technology characterization—reciprocating engine. USA. Environ Protection Agency; 2002.
- 18.Major, G. Small scale cogeneration. The Netherlands: Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies. CADDET Energy Efficiency Analysis Series 1. IEA/OECD; 1995.
- 19.V, I.Ugursal, Residential Cogeneration Systems: A Review Of The Current Technology, Renewable and Sustainable Reviews, vol.10, no.5, s.389-431, 2004.
- 20.T.J., Kotas, The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis, A Presented By Britain,1985.
- 21.B. Riad, F., Michael, Energy Conversion Manegement, No:16-18, Vol.39, s.1791-1802, France, 1998.
- 22.M.A.F. Smith, P.C. Twidell, Technical Operational Performance of a Small Scale CHP Plant, Energy, volume.22, no.12, s.1205-1214,1995.

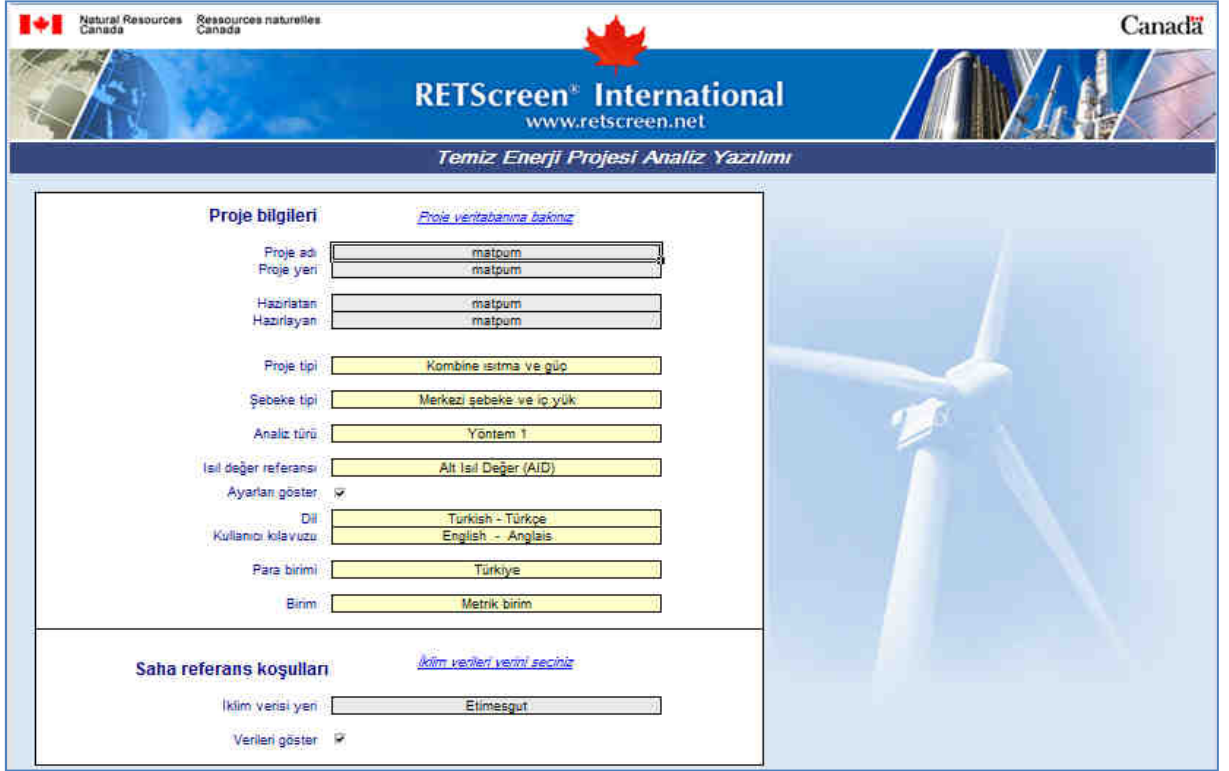
- 23.**T. Gilijamse, M.E., Boonstra, Heat Demand Reduction Versus Cogeneration, Energy And Efficiency in Nea Houses, Netherlands, Amsterdam, 1995.
- 24.**M. Bojic, Cogeneration of Power And Heat By Using Endo Reversible Carnot Engine, Yugoslaviai, 1996.
- 25.**M. Badami, A. Cesetti, F. Anziosso, Performance of Innovative 120 kWe Natural Gas Cogeneration Systems, Energy, vol. 4, no.28, ss.1-11, 2005.
- 26.**S.L. Chen, M.T. Tsay, H.J. Gow, Sheduling of Cogeneration Plants Considering Electricity Wheeling Using Enhanced Immune Algorithm, Electrical Power And Energy Systems. vol.27, no.1, ss.31-38, 2005.
- 27.**E. Bilgen, Exergetic And Engineering Analysis of Gas Turbine Based Cogeneration Systems, Energy, vol. 25, no.12, ss.1215-1219, 2000.
- 28.**W. Malinowska, L. Malinowski, Parametric Study Of Exergetic Efficiency Of A Small-Scale Cogeneration Plant Incorporating A Heat Pump, Applied Thermal Engineering, vol. 23, no.4, ss.459-472, 2003.
- 29.**F. Casella. C., Malezzoni, C., Piroddi, Minimizing Production Costs In Generation And Cogeneration Plants, Control Engineering Practice, vol. 4, no.9, ss.283-295, 2001.
- 30.**A.C. Marquez Heguedas, A.S. Heguedas, B. Jung, Monte Carlo Based Assessment Of Systems Availability: A Case Study for Cogeneration Plants, Reliability Engineering Systems And Safety, vol. 88, no.3, ss. 273-289, 2005.
- 31.**S.H., Sürer, Kombine Gaz/Buhar Türbinli Kojenerasyon Sistemlerinin Termodinamik ve Ekonomik Analizi, Msc. Thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.
- 32.**A. Abuşoğlu, Exergetic And Thermoeconomic Performance Analysis And Optimization of Diesel Engine Powered Cogeneration Systems, Phd. Thesis, Gaziantep University, Gaziantep, 2008.



- 33.**DIRECTIVE 2004/8/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 11 February 2004, Official Journal of the European Union.
- 34.**M. Tosun, Kojenerasyon Enerji yönetimi Avrupa Parlamentosu Ve Konseyinin 11 Şubat '004 Tarihli Direktifi ve Haziran 2006 Tarihli Uygulama Esasları Taslağı, TTMD, sayı:26, ss.28-29, 2007.
- 35.**T.A. Brzustowski, A. Brena, Second Law Analysis Of Energy Processes, Trans. Can. Soc. Mech. Engr. sayı:10, no. 3, ss.121-128, 1986.
- 36.**Ş. KILKIS, B, KILKIS, Upgrading EU Directive With Rational Exergy Model, ASHREA Transactions, vol. 113, part.2, ss.121-128, 2007.
- 37.**Ş. KILKIS, Development Of a Rational Exergy Manegement Model to Reduce CO<sub>2</sub>, Msc. Thesis, Georgetown University, ss.107, 2007.
- 38.**Kılış, I. B. ve C. Güngör. 2000. Düşük Entalpili Alternatif Enerji Kaynaklarının Bölge Isıtma ve Soğutmasında Etkin Kullanımı, Tebliğler Kitabı, s. 731-738, Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 15-17 Kasım, İstanbul, Türkiye.
- 39.**Kılış, I. B. ,Environmental Economy of Low-Enthalpy Energy Resources in District Energy Systems, ASHRAE Transactions, Vol. 108, Part 2, pp. 580-588, 2002.
- 40.**Kaya, O., Bingöl E. Yüksek Performanslı Binalarda Birlikte Isı-Güç Üretim Sisteminin (CHP) Verimlilik, Ekonomik Ve Çevresel Yönlerden Bilgisayar Tabanlı Modellenmesi, ICCI 2010, İstanbul, 2010.
- 41.**Bingöl E. Kaya, O. Comparison Of Poly-Generation Systems For Energy Savings, Exergetic Performance And Carbon Footprint, ICCI 2010, İstanbul, 2010.
- 42.**Bingöl E. Kaya, O. Different Exergy Analysis Techniques for High Efficiency Poly/Co-Generation Systems for Various Operating Loads, CLIMA 2010, Antalya, 2010.

## EKLER LİSTESİ

### Ek 1 RETScreen Giriş Ara Yüzü



The screenshot displays the RETScreen International software interface. The header includes the Canadian flag and the text "Natural Resources Canada" and "Ressources naturelles Canada". The main title is "RETScreen® International" with the website "www.retscreen.net". Below the title is the subtitle "Temiz Enerji Projesi Analiz Yazılımı". The interface is divided into two main sections: "Proje bilgileri" (Project Information) and "Saha referans koşulları" (Site Reference Conditions). The "Proje bilgileri" section contains several dropdown menus and checkboxes for project details. The "Saha referans koşulları" section includes a dropdown for climate data source and a checkbox for displaying data.

Proje bilgileri		<a href="#">Proje veritabanına bakınız</a>
Proje adı	matpum	
Proje yeri	matpum	
Hazırlayan	matpum	
Hazırlayan	matpum	
Proje tipi	Kombine ısıtma ve güç	
Şebeke tipi	Merkezi şebeke ve ip yük	
Analiz türü	Yöntem 1	
İsıl değer referansı	Alt Isıl Değer (AID)	
Ayarları göster	<input checked="" type="checkbox"/>	
Dil	Türkisch - Türkçe	
Kullanıcı kılavuzu	English - Anglais	
Para birimi	Türkiye	
Birim	Metrik birim	

Saha referans koşulları		<a href="#">İklim verileri vermi seçiniz</a>
İklim verisi kaynağı	Elmesgut	
Verileri göster	<input checked="" type="checkbox"/>	

### Ek 2 RETScreen İklim Verileri Ara yüzü

		İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri		
Enlem	'N	40,0	40,0		
Boylam	'E	32,7	32,7		
Rakım	M	806	806		
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1			
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1			
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8			

Ay	Hava sıcaklığı		Bağıl nem %	Günlük güneş radyasyonu yatay kWh/m <sup>2</sup> /d	Atmosferik basınç kPa	Rüzgâr hızı m/s	Yer sıcaklığı °C	Isıtma derece-gün °C-d	Soğutma derece-gün °C-d
	°C	°C							
Ocak	-0,4	78,8%	2,08	89,8	1,7	-0,1	570	0	
Şubat	1,0	73,9%	2,87	89,7	2,4	0,8	478	0	
Mart	5,2	67,3%	4,08	89,6	2,6	5,3	397	0	
Nisan	10,7	63,9%	4,85	89,5	2,6	12,0	219	21	
Mayıs	15,5	60,4%	6,04	89,5	2,6	17,8	78	171	
Haziran	19,3	57,0%	6,89	89,5	2,6	22,5	0	279	
Temmuz	22,9	49,4%	7,16	89,5	3,1	26,2	0	400	
Ağustos	22,9	48,7%	6,25	89,5	2,8	25,2	0	400	
Eylül	18,0	52,8%	5,07	89,8	2,2	20,8	0	240	
Ekim	12,1	64,4%	3,48	90,0	2,0	13,8	183	85	
Kasım	5,4	74,2%	2,32	90,0	1,6	6,0	378	0	
Aralık	2,0	80,2%	1,70	89,9	1,8	1,2	498	0	
Yıllık	11,3	64,2%	4,40	89,7	2,3	12,7	2.797	1.575	
Ölçüm yeri:	M				10,0	0,0			

RETScreen4 2009-11-18 © Minister of Natural Resources Canada 1997-2009. NRCAn/CanmetENERGY

### Ek 3 RETScreen Programı Isıtma Projesi Ara yüzü

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

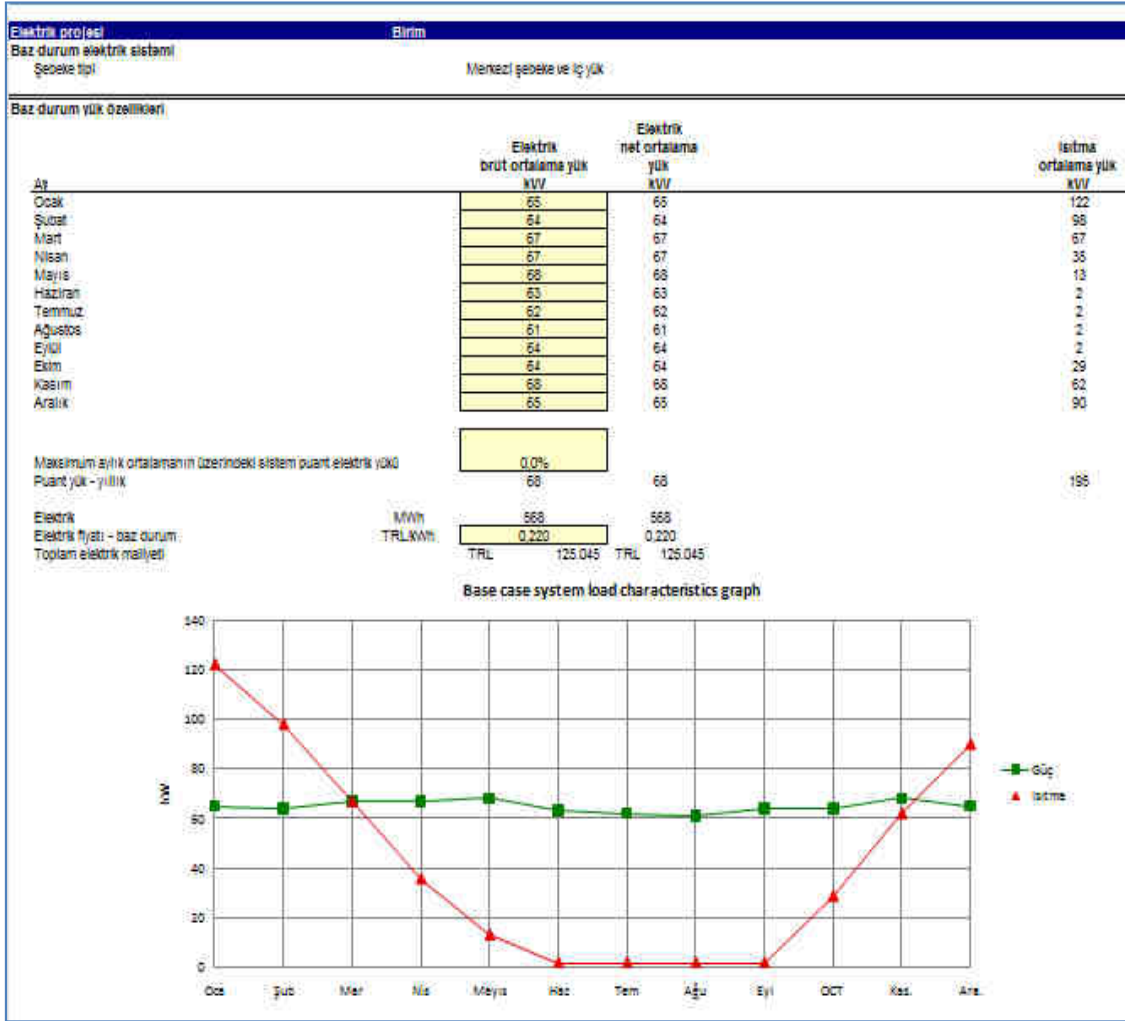
  

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	
Soğutma tasarım sıcaklığı	°C	32,1	
Yer sıcaklığı amplitüdü	°C	22,8	

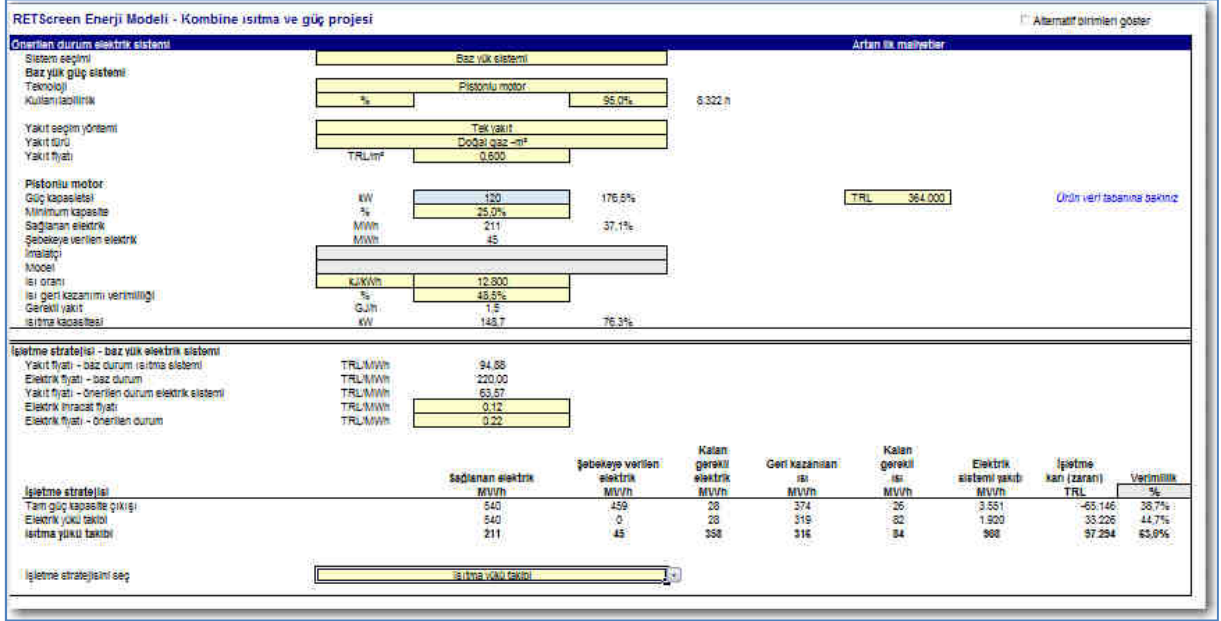
  

İklim verisi		Proje yeri	
Birim		yeri	Proje yeri
Enlem	'N	40,0	40,0
Boylam	'E	32,7	32,7
Rakım	M	806	806
Isıtma tasarım sıcaklığı	°C	-9,1	

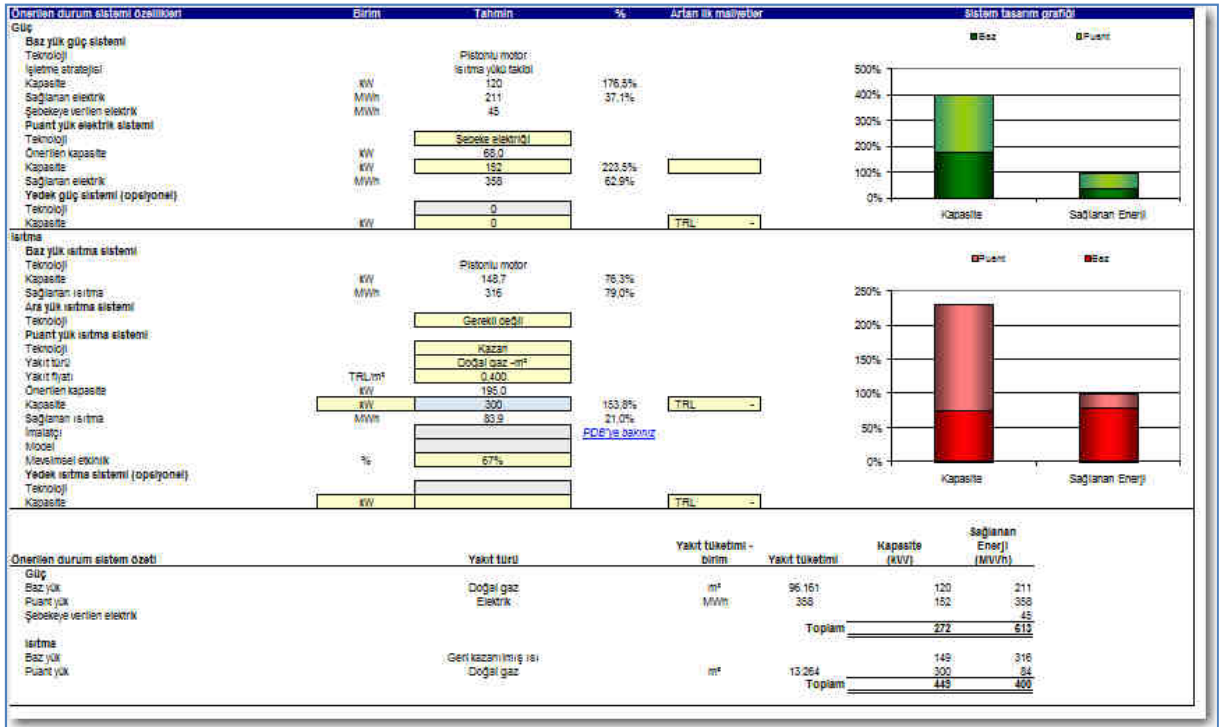
## Ek 4 RETScreen Programı Elektrik Projesi Ara yüzü



## Ek 5 RETScreen Programı Isıtma Yükü Takibi Modeli Ara yüzü



## Ek 6 RETScreen Programı Isıtma Yükü Takibi Modeli Önerilen Durum Sistemi Özellikleri Ara yüzü



## Ek 7 RETScreen Programı Isıtma Yükü Takibi Modeli Salım Analiz Ara yüzü

Emisyon Analizi		Seragazi emisyon faktörü (nakite ve dağılım harici)		İ&D kayıpları	Seragazi emisyon faktörü
Baz durum elektrik sistemi (Temel)	Yakıt türü	İCO2/MWh	%	İCO2/MWh	
Ülke - bölge	Tüm topraklar	0.445	15.0%	0.523	
Şebekeye verilen elektrik	MWh	45		İ&D kayıpları	15.0%
<b>Seragazi emisyonu</b>					
Baz durum	İCO2	438.5			
Önerilen durum	İCO2	394.5			
Brüt yıllık seragazi emisyonu azaltımı	İCO2	44.0			
Seragazi kredileri işlem ücreti	%	0.0%			
Net yıllık seragazi emisyonu azaltması	İCO2	44.0		espejeri	44.0
Seragazi azaltma geliri	TRL/İCO2	0.00			
Seragazi azaltma kredi oranı					

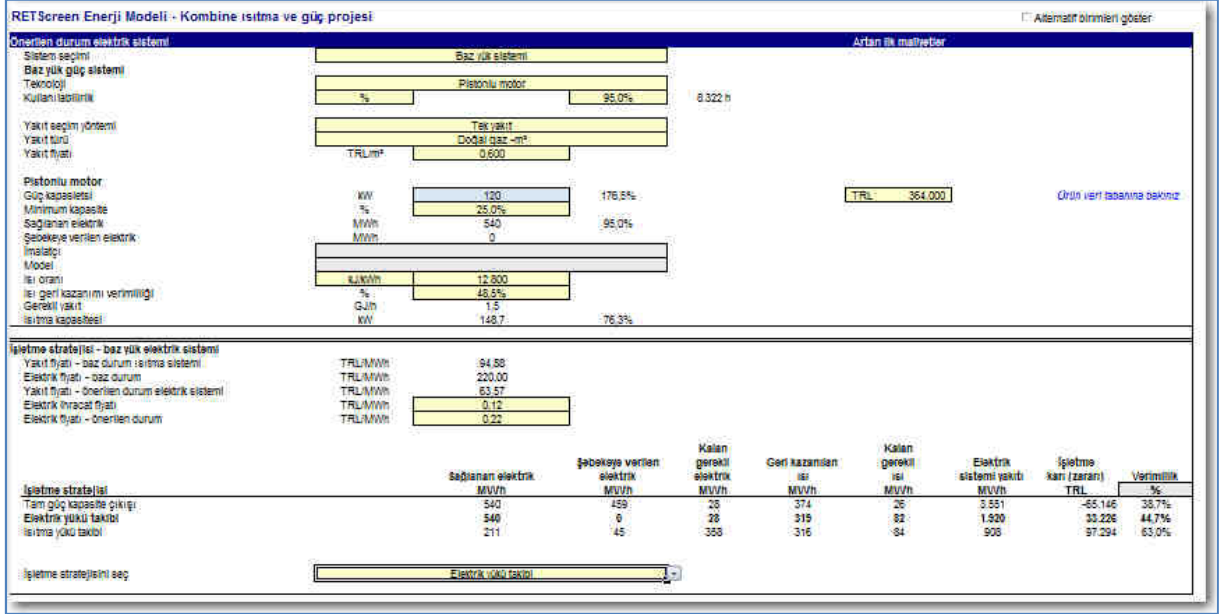
## Ek 8 RETScreen Programı Isıtma Yükü Takibi Modeli Finansal Analiz Ara yüzü

Finansal Analiz					
<b>Finansal parametreler</b>					
Emisyon oranı	%		9.7%		
Proje ömrü	Yıl		20		
Borç oranı	%		0%		
<b>İlk maliyetler</b>					
Elektrik sistemi	TRL	364.000		96.0%	
Isıtma sistemi	TRL	0		0.0%	
Diğer	TRL	15.000		4.0%	
<b>Toplam ilk maliyetler</b>	TRL	<b>379.000</b>		<b>100.0%</b>	
<b>Taahhütler ve hibeler</b>	TRL	<b>75.000</b>		<b>0.0%</b>	
<b>Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri</b>					
İşletme ve bakım (tasarrufları) maliyetleri	TRL	0			
Yakıt maliyeti - önerilen durum	TRL	63.081			
	TRL	0			
<b>Toplam yıllık maliyetler</b>	TRL	<b>63.081</b>			
<b>Yıllık tasarruflar ve gelir</b>					
Yakıt maliyeti - baz durum	TRL	163.023			
Elektrik fiyatı geliri	TRL	0			
<b>Toplam yıllık tasarruflar ve gelir</b>	TRL	<b>163.023</b>			
<b>Finansal sürdürülebilirlik</b>					
Vergi öncesi İGO - İstisnalar	%		44.3%		
Basit geri ödeme	Yıl		3.0		
Ösleme/geri ödeme	Yıl		2.6		

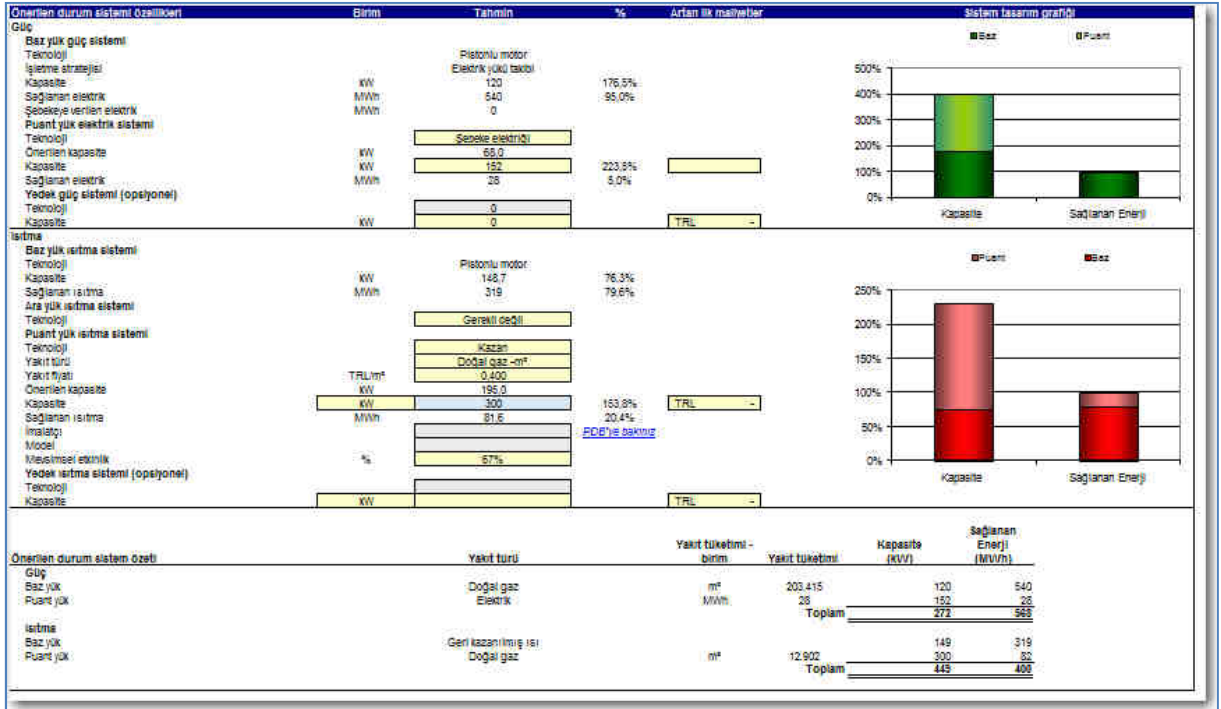
Kümülatif nakit akışları (TRL)

Kümülatif nakit akışları grafiği

## Ek 9 RETScreen Programı Elektrik Yükü Takibi Modeli Ara yüzü



## Ek 10 RETScreen Programı Elektrik Yükü Takibi Modeli Önerilen Durum Sistemi Özellikleri Ara yüzü





## Ek 11 RETScreen Programı Elektrik Yükü Takibi Modeli Salım Analiz Ara yüzü

Baz durum elektrik sistemi (Temel) Ülke - bölge	Yakıt türü	Seragazi emisyon faktörü (nakline ve dağıtım harcı) tCO <sub>2</sub> /MWh	İ&D kayıpları %	Seragazi emisyon faktörü tCO <sub>2</sub> /MWh
Türkiye	Tom tolar	0.445	15.0%	0.453

Seragazi emisyonu				
Baz durum	ICO <sub>2</sub>	415.2		
Önerilen durum	ICO <sub>2</sub>	415.1		
Büyük yıllık seragazi emisyonu azaltımı	ICO <sub>2</sub>	-2.9		
Seragazi kredileri işlem ücreti	%	0.0%		
Net yıllık seragazi emisyonu azaltması	ICO <sub>2</sub>	-2.9	esleğeri	-2.9
Seragazi azaltma geliri				
Seragazi azaltma kredi oranı	TRL/ICO <sub>2</sub>	0.00		

## Ek 12 RETScreen Programı Elektrik Yükü Takibi Modeli Finansal Analiz Ara yüzü

Finansal parametreler				
Enflasyon oranı	%		8.7%	
Proje ömrü	Yıl		20	
Borç oranı	%		0%	

İlk maliyetler				
Elektrik sistemi	TRL	364.000	96.0%	
Isıtma sistemi	TRL	0	0.0%	
Diğer	TRL	15.000	4.0%	
<b>Toplam ilk maliyetler</b>	<b>TRL</b>	<b>379.000</b>	<b>100.0%</b>	

Tasviki ve hibeler				
	TRL	75.000	0.0%	

Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri				
İşletme ve Bakım (tasarrufları) maliyetleri	TRL	0		
Yakıt maliyeti - önerilen durum	TRL	127.216		
	TRL	0		
<b>Toplam yıllık maliyetler</b>	<b>TRL</b>	<b>127.216</b>		

Yıllık tasarruflar ve gelir				
Yakıt maliyeti - baz durum	TRL	163.023		
	TRL	0		
<b>Toplam yıllık tasarruflar ve gelir</b>	<b>TRL</b>	<b>163.023</b>		

Finansal sürdürülebilirlik				
Vergi öncesi IGO - varlıklar	%	19.6%		
Başlı geri ödeme	Yıl	8.5		
Özsermaye geri ödeme	Yıl	6.2		

Kümülatif nakit akışları grafiği, 20 yıllık dönem boyunca nakit akışlarının toplamını göstermektedir. Yatırım başlangıcı negatif bir nakit akışıyla başlar, ancak işletme yıllarında pozitif nakit akışları nedeniyle toplam nakit akışı zamanla pozitif hale gelir ve yaklaşık 1.500.000 TRL'e ulaşır.

## Ek 13 RETScreen Programı Tam Güç Kapasite Çıkışı Takibi Modeli Ara yüzü

RETScreen Enerji Modeli - Kombine ısıtma ve güç projesi									
Önerilen durum elektrik sistemi					Artan ilk maliyetler				
Sistem seçimi	Baz yük sistemi								
Baz yük güç sistemi	Pistonlu motor				8.322 h				
Teknoloji	%				95.0%				
Kullanılabirlik									
Yakıt seçimi yöntemi	Tas yakıt								
Yakıt türü	Düzel gaz -m <sup>3</sup>								
Yakıt fiyatı	TRL/m <sup>3</sup>				0.600				
Pistonlu motor					TRL: 364.000				
Güç kapasitesi	KW	130	176.5%						
Minimum kapasite	%	25.0%	95.0%						
Sağlanan elektrik	MWh	540							
Şebekeye verilen elektrik	MWh	459							
İnşaatı									
Model									
İli oranı	kWh/h	12.800							
İli geri kazanımı verimliliği	%	48.5%							
Gerekli yakıt	GJ/h	1.5							
Isıtma kapasitesi	KW	148.7	76.3%						
İşletme stratejisi - baz yük elektrik sistemi									
Yakıt fiyatı - baz durum ısıtma sistemi	TRL/MWh	94.88							
Elektrik fiyatı - baz durum	TRL/MWh	220.00							
Yakıt fiyatı - önerilen durum elektrik sistemi	TRL/MWh	63.57							
Elektrik fiyatı - önerilen durum	TRL/MWh	0.12							
Elektrik fiyatı - önerilen durum	TRL/MWh	0.22							
İşletme stratejisi									
	Sağlanan elektrik	Şebekeye verilen elektrik	Kalan gerekli elektrik	Geri kazanılan ısı	Kalan gerekli ısı	Elektrik sistemi yakıtı	İşletme xarı (zararı)	Verimlilik	
Tam güç kapasite çıkışı	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh	TRL	%	
Elektrik yükü takibi	540	459	26	374	26	5.551	-65.146	38.7%	
Isıtma yükü takibi	211	45	28	319	82	1.900	33.206	44.7%	
			388	316	84	908	97.294	63.0%	
İşletme stratejisini seç									
Tam güç kapasite çıkışı									



## Ek 14 RETScreen Programı Tam Güç Kapasite Çıkışı Takibi Modeli Önerilen Durum Sistemi Özellikleri Ara yüzü

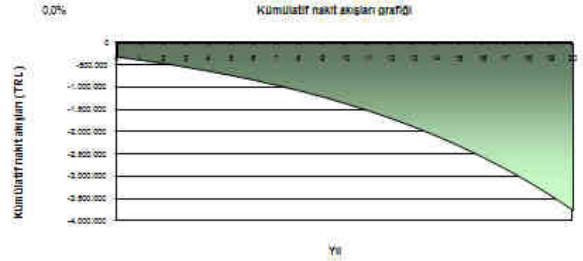
Önerilen durum sistemi özellikleri	Birim	Tahmin	%	Arlanlık maliyetler	Sistem tasarım (grafik)	
<b>Güç</b>						
Baz yük güç sistemi						
Teknoloji		Pistonlu motor				
İşletme stratejisi		Tam güç kapasite çıkışı				
Kapasite	KW	120	176.5%			
Sağlanan elektrik	MWh	540	95.0%			
Sebekeye verilen elektrik	MWh	459				
Puanlı yük elektrik sistemi						
Teknoloji		Genleşme elektrikli				
Önerilen kapasite	KW	63.0				
Kapasite	KW	152	223.6%			
Sağlanan elektrik	MWh	28	5.0%			
Yedek güç sistemi (opsiyonel)						
Teknoloji						
Kapasite	KW	0		TRL		
<b>Isıtma</b>						
Baz yük ısıtma sistemi						
Teknoloji		Pistonlu motor				
Kapasite	KW	149.7	76.3%			
Sağlanan ısıtma	MWh	374	93.4%			
Ara yük ısıtma sistemi						
Teknoloji		Genekli ısıtıcı				
Puanlı yük ısıtma sistemi						
Teknoloji		Kazan				
Yakıt türü		Doğal gaz -m <sup>3</sup>				
Yakıt fiyatı	TRL/m <sup>3</sup>	0.400				
Önerilen kapasite	KW	195.0				
Kapasite	KW	300	153.8%	TRL		
Sağlanan ısıtma	MWh	26.3	6.6%			
İmalatçı				PCB'ye bakınız		
Model						
Müesimsel elektrik	%	67%				
Yedek ısıtma sistemi (opsiyonel)						
Teknoloji						
Kapasite	KW			TRL		
<b>Önerilen durum sistem özeti</b>						
		Yakıt türü	Yakıt tüketimi - birim	Yakıt tüketimi	Kapasite (KW)	Sağlanan Enerji (MWh)
Güç						
Baz yük		Doğal gaz	m <sup>3</sup>	376.205	120	540
Puanlı yük		Elektrik	MWh	28	152	28
Sebekeye verilen elektrik						459
				<b>Toplam</b>	<b>272</b>	<b>1.027</b>
Isıtma						
Baz yük		Geril kazandırmış ısı			149	374
Puanlı yük		Doğal gaz	m <sup>3</sup>	4.159	300	26
				<b>Toplam</b>	<b>449</b>	<b>400</b>

## Ek 15 RETScreen Programı Tam Güç Kapasite Çıkışı Takibi Modeli Salım Analiz Ara yüzü

Baz durumu elektrik sistemi (Tarihi)		Seragazi emisyon faktörü (nakliye ve dağıtım harcı)		İ&D kayıpları		Seragazi emisyon faktörü	
Ülke - bölge	Yakıt türü	TCO\$/MWh	TCO\$/MWh	%	%	TCO\$/MWh	TCO\$/MWh
Türkiye	Tam köler	0.445	0.445	15.0%	15.0%	0.523	0.523
Seskeleje verilen elektrik		MWh	459	İ&D kayıpları		15.0%	
<b>Seragazi emisyonu</b>							
Baz durum	TCO2	655.1					
Onaylan durum	TCO2	759.8					
Brüt yıllık seragazi emisyonu azaltımı	TCO2	-104.7					
Seragazi kredileri işlem ücreti	%	0.0%					
Net yıllık seragazi emisyonu azaltması	TCO2	-104.7		espejeri	-104.7	TCO2	
<b>Seragazi azaltma geliri</b>							
Seragazi azaltma kredi oranı	TRL/TCO2	0.00					

## Ek 16 RETScreen Programı Tam Güç Kapasite Çıkışı Modeli Finansal Analiz Ara yüzü

Finansal parametreler		Finansal parametreler		Finansal parametreler	
Parametre	Ünitesi	Değer	Oran	Parametre	Ünitesi
Enflasyon oranı	%	8.7%		Elektrik sistemi	TRL
Proje ömrü	Yıl	20		İnşaat sistemi	TRL
Borç oranı	%	0%		<b>Ölçer</b>	TRL
<b>İlk maliyetler</b>				Toplam ilk maliyetler	TRL
Elektrik sistemi	TRL	364.000	96.0%	Teşvikler ve hibeler	TRL
İnşaat sistemi	TRL	0	0.0%		75.000
<b>Ölçer</b>	TRL	15.000	4.0%	Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri	TRL
Toplam ilk maliyetler	TRL	379.000	100.0%	İşleme ve bakım (tasarrufları) maliyetleri	TRL
<b>Teşvikler ve hibeler</b>				Yakıt maliyeti - onaylan durum	TRL
	TRL	75.000	0.0%	<b>Toplam yıllık maliyetler</b>	TRL
Yıllık maliyetler ve borç ödemeleri	TRL	0			227.393
İşleme ve bakım (tasarrufları) maliyetleri	TRL	227.393		Yıllık tasarruflar ve gelir	TRL
Yakıt maliyeti - onaylan durum	TRL	0		Yakıt maliyeti - baz durum	TRL
<b>Toplam yıllık maliyetler</b>	TRL	227.393		Elektrik ihracat geliri	TRL
Yıllık tasarruflar ve gelir	TRL	0		Toplam yıllık tasarruflar ve gelir	TRL
Yakıt maliyeti - baz durum	TRL	163.023			163.076
Elektrik ihracat geliri	TRL	55		<b>Finansal sürdürülebilirlik</b>	
Toplam yıllık tasarruflar ve gelir	TRL	163.076		Vergi öncesi İGO - varlıklar	%
<b>Finansal sürdürülebilirlik</b>				Baskı geri ödeme	Yıl
Vergi öncesi İGO - varlıklar	%	negatif		Özsermaye geri ödeme	Yıl
Baskı geri ödeme	Yıl	-4.7			> - proje
Özsermaye geri ödeme	Yıl	> - proje			



## Ek 17 Fiat-Iveco Birlikte Isı-Güç Sistemi Fabrika Teknik Özellikleri

CRF tarafından geliştirilen birlikte ısı-güç üretim sisteminin fabrika teknik özellikleri çizelge 6.1 ve çizelge 6.2'de ifade edilmiştir.

Motor Modeli	FPT ENT 60 NG
Yakıt Tipi	Doğal Gaz (NG)
Alternatör Tipi	Asenkron(su soğutmalı)
Güç Elektroniği	Redresör (AC değiştirici)
Boyutlar	3.5m*1.2m*1.9m
Isı Gücü	157 kWh
Elektrik Gücü	120 kWh
Elektrik Verimi	%32
Toplam verim	%84

Çizelge 6.1 CRF birlikte ısı-güç üretim sistemi teknik özellikleri

## Ek 18 Fiat-Iveco Birlikte Isı-Güç Sistemi Fabrika Motor Teknik Özellikleri

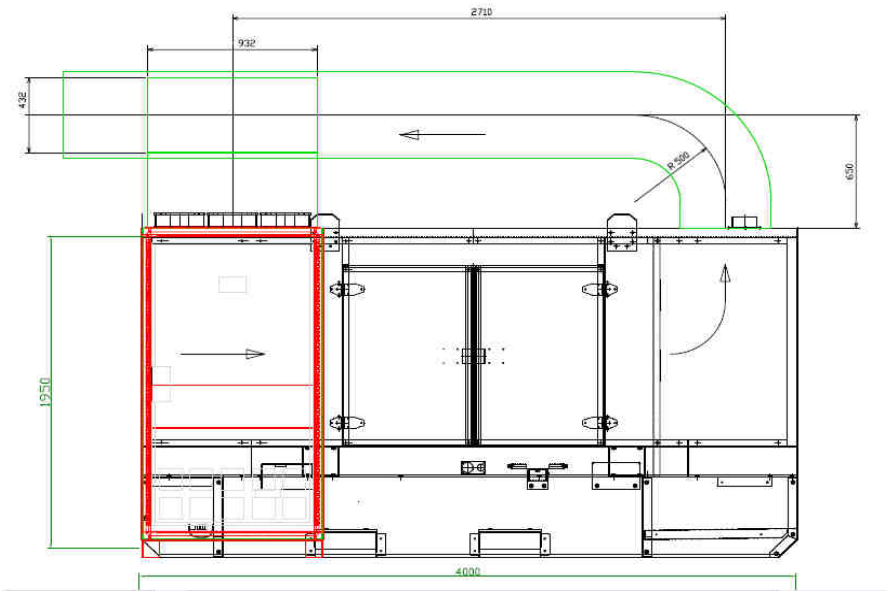
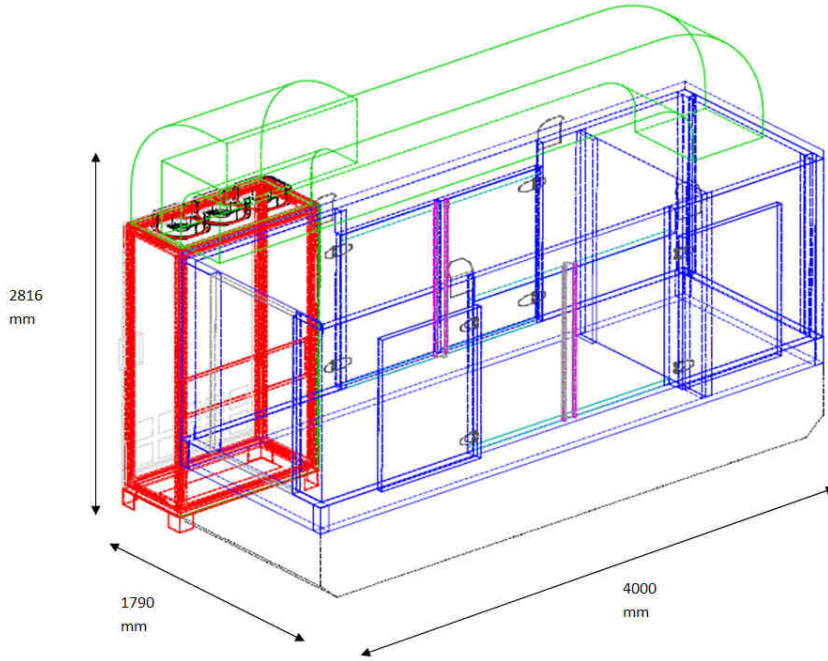
Motor Tipi	Otto 4T
Yakıt Oranı	Stokiyometrik
Yakıt Besleme Tipi	Çoklu Enjektör
Silindir Hacmi	6L
Motor Süpürme Hacmi(cm <sup>3</sup> )	5883
Valf Sayısı	2
Sıkışma Oranı	11:1
Pik Güç (kW)	174
Pik Güçte Hız (devir/dakika)	2700
Maksimum Tork (Nm)	650
Mpeb (m/s)	10.8
Maksimum Torkta Hız (devir/dakika)	1250
Katalik Konvektör	TWC
Boş Ağırlık (kg)	520

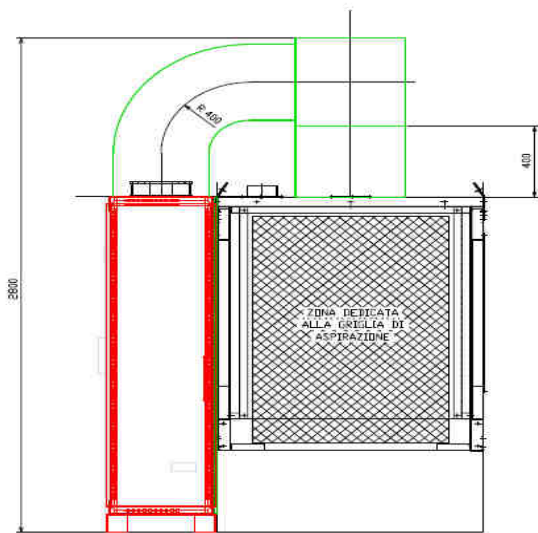
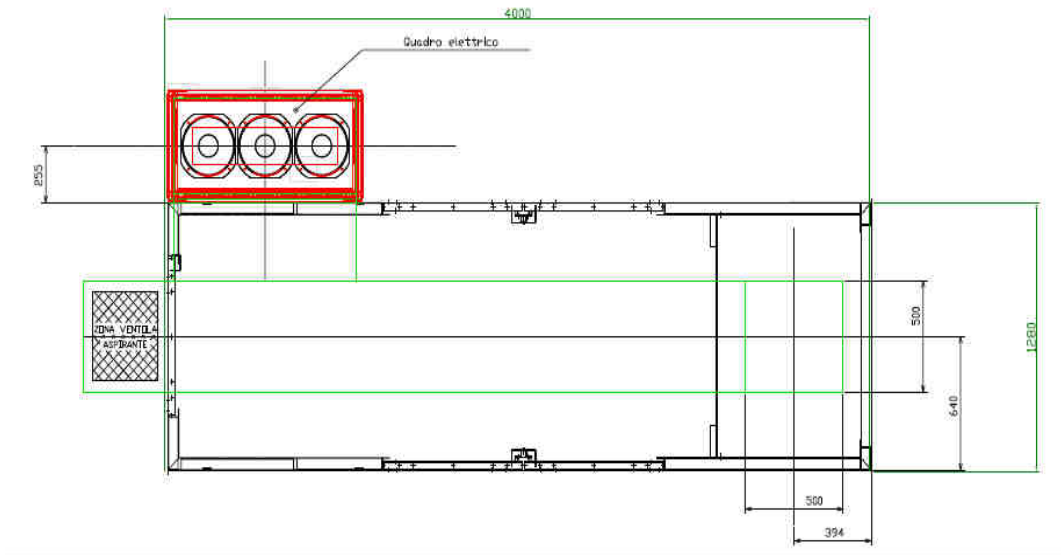
Çizelge 6.2 CRF birlikte ısı-güç üretimi sisteminin motor özellikleri

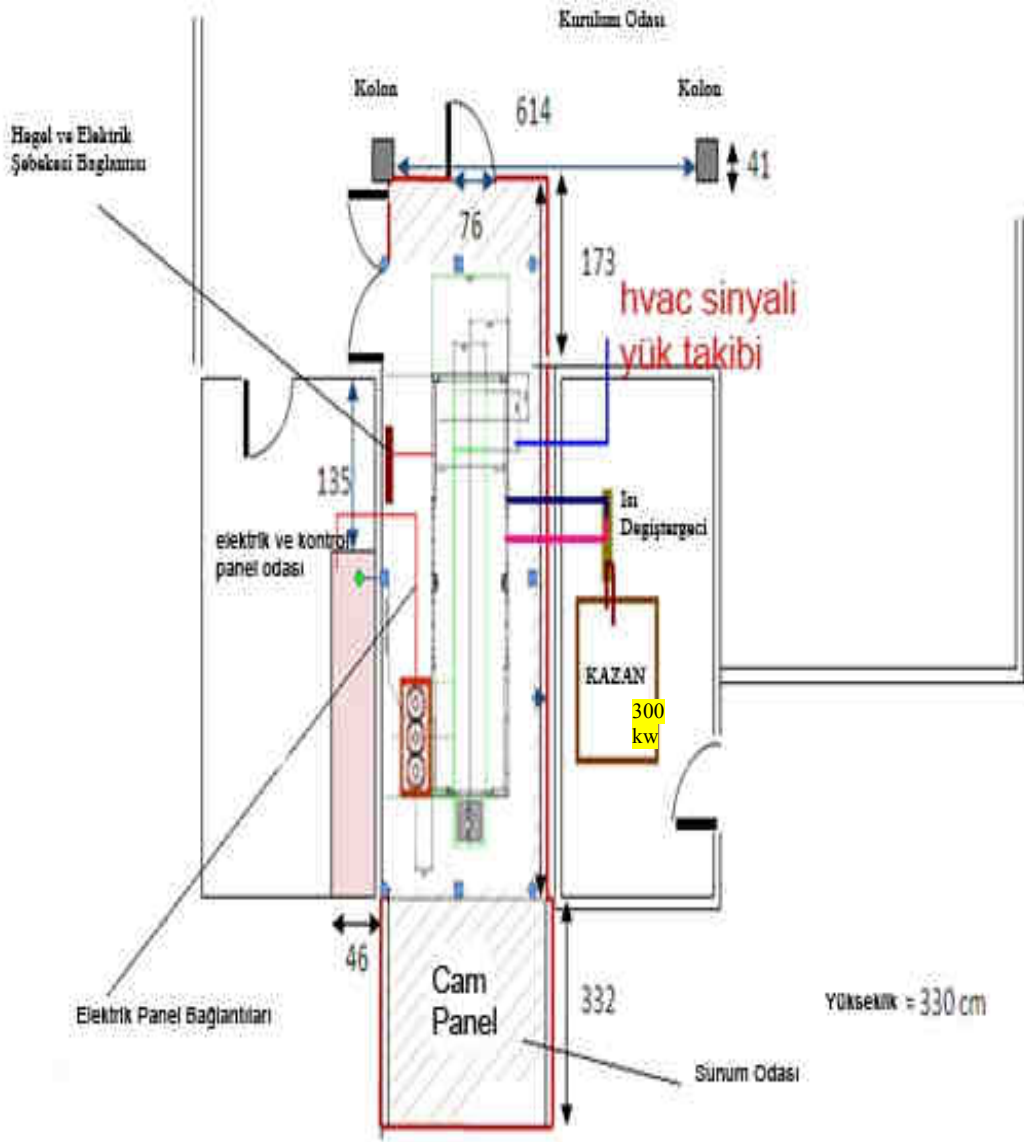
## Ek 19 Fiat-Iveco Birlikte Isı-Güç Sistemi Fabrika Sistem Verileri

Motor Hızı (devir/dakika)	1000	1115	1230	1345	1460	1575	1690	1805	1920	2035	2150
Elektrik Gücü (kW)	44	57	69	79	93	100	106	120	113	120	127
CHPH <sub>η</sub> (%)	42,9	40,6	37,9	37,9	42,6	43,4	44,3	45,3	46,1	46,7	46,9
CHPE <sub>η</sub> (%)	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
CHP <sub>η</sub> (%)	76,9	74,6	71,9	71,9	76,6	77,4	78,3	79,3	80,1	80,7	80,9
Güç Isı Oranı	0,8	0,8	0,9	0,90	0,80	0,78	0,77	0,75	0,74	0,73	0,72
PES (%)	17,8	15,9	13,5	13,4	17,5	18,2	19,0	19,7	20,4	20,8	21,0
Isıtma Gücü (kW)	55,8	67,6	77,2	88,3	107,8	118,4	129,8	141,6	153,4	164,6	174,8
PES <sub>R</sub> (%)	24,6	21,9	19,7	19,2	21,3	21,6	22,1	22,6	23,1	23,3	23,3
ICE <sub>η</sub> <sub>2</sub> (%)	66,3	67,0	67,3	67,6	68,5	68,6	68,6	68,7	68,8	69,0	69,2
HEX <sub>η</sub> <sub>A,2</sub> (%)	78,9	79,3	79,6	79,9	80,2	80,5	80,9	81,2	81,5	81,8	81,8
HEX <sub>η</sub> <sub>B,2</sub> (%)	14,8	13,5	11,7	12,3	17,5	18,5	19,6	20,9	22,1	23,1	23,9
CHP <sub>η</sub> <sub>2</sub> (%)	39,7	39,4	39,0	39,1	40,1	40,4	40,6	40,9	41,2	41,4	41,5
Yakıt debisi (kg/s)	3,1	3,97	4,8	5,55	6,02	6,50	6,97	7,45	7,92	8,40	8,87
Ceket Suyu debisi (kg/s)	1,7	1,9	2,1	2,4	2,5	2,7	3,0	3,2	3,4	3,5	3,6
T <sub>9</sub> (K)	348,5	349,7	350,6	351,6	353,5	354,5	355,6	356,7	357,9	358,7	359,9
T <sub>3</sub> (K)	748,95	800,35	812,51	834,91	933,63	948,08	962,31	976,37	990,31	1004,23	1018,01
T <sub>4</sub> (K)	348,53	349,71	350,67	351,77	353,66	354,71	355,83	356,98	358,14	359,24	360,27
T <sub>5</sub> (K)	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20	365,20
T <sub>6</sub> (K)	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20	358,20
T <sub>7</sub> (K)	343,20	343,20	343,20	343,20	343,20	343,20	343,20	343,20	343,20	343,200	343,20
T <sub>8</sub> (K)	347,70	348,26	348,80	349,40	349,89	350,47	351,08	351,68	352,22	352,59	352,72
C <sub>R</sub> (kg/kWh)	0,1598	0,1695	0,1763	0,1786	0,1765	0,1758	0,1748	0,1737	0,1729	0,1725	0,1726
REMM <sub>CHP</sub>	0,2627	0,2371	0,2147	0,2103	0,2319	0,2359	0,2410	0,2462	0,2506	0,2533	0,2540
REMM <sub>HEXA</sub>	0,8410	0,8464	0,8516	0,8573	0,8621	0,8675	0,8733	0,8790	0,8840	0,8876	0,8888
REMM <sub>HEXB</sub>	0,3218	0,3142	0,3150	0,3144	0,3046	0,3060	0,3076	0,3093	0,3111	0,3127	0,3141

## Ek 20 Fiat-Iveco BIG Sistemi Auto-CAD Çizimleri

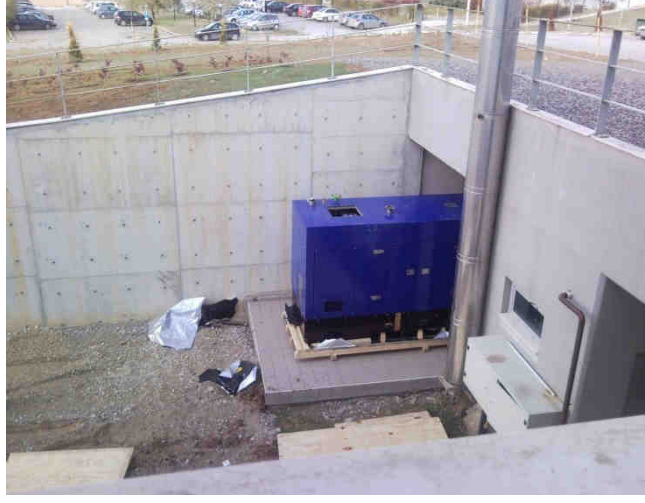






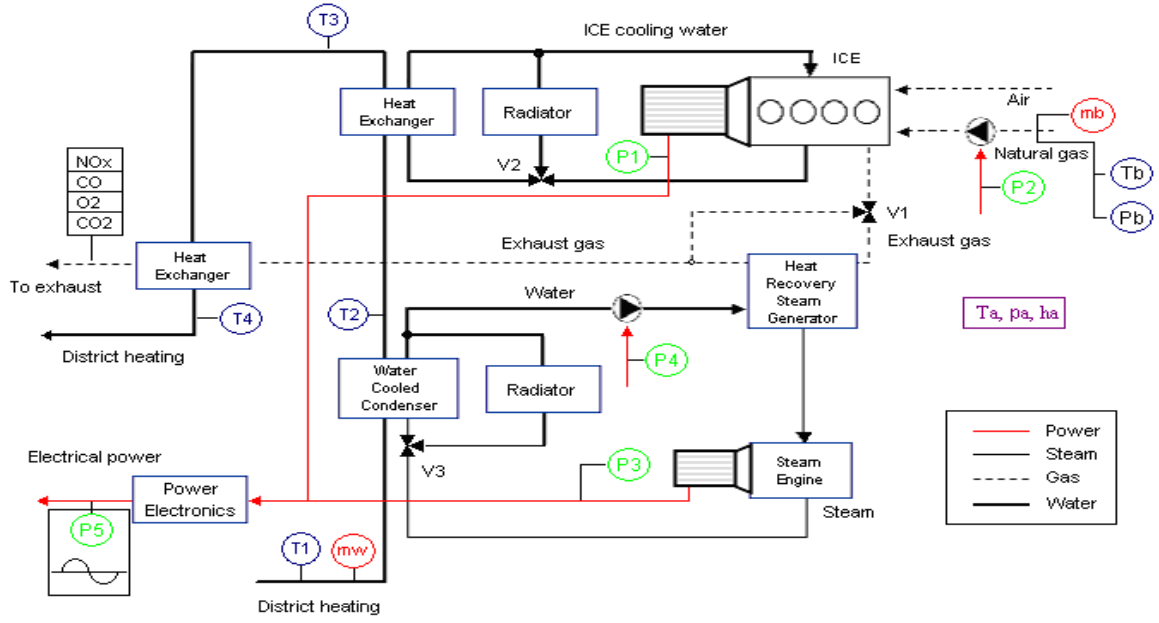


## Ek 21 Fiat-Iveco BIG Sistemi Uygulama Görüntüleri





## Ek 22 Deneş Şematiği (Kaynak: CRF)



## Ek 23 Deney Malzeme Listesi

Yardımcı Ekipman Listesi (enerji)				
Sembol	Control parametresi	Araç	Nominal aralık	Değer Min÷Max
$T_1$	Kullanıcı suyu giriş sıcaklığı	RTD	70 °C	35 ÷ 80 °C
$T_2$	Kondenser çıkış sıcaklığı	RTD	80 °C	35 ÷ 90 °C
$T_3$	Ceket suyu çıkış sıcaklığı	RTD	95 °C	35 ÷ 100 °C
$T_4$	Kullanıcı suyu çıkış sıcaklığı	RTD	95 °C	55 ÷ 110 °C
$\dot{m}_{th}$	Kullanıcı suyu kütle debisi	Debi ölçer	2.5 kg/s	-
$\dot{m}_b$	Doğal gaz kütle debisi	Gaz Debi Ölçer	43 Nm <sup>3</sup> /h	11÷ 43 Nm <sup>3</sup> /h
$H_i$	Yakıtın(NG) alt ısıl değeri	Gas kromotogramı	48900 kJ/kg	-
$P_1$	Motor elektrik üretimi	Wattmetre	126 kW	20 ÷ 130 kW
$P_2$	NG kompresör tüketimi	Wattmetre	5 kW	1 ÷ 5 kW
$P_3 = 0$	SE kompresör tüketimi	Wattmetre	24 kW	3 ÷ 25 kW
$P_4 = 0$	Alt sistem besleme pompası	Wattmetre	1 kW	0 ÷ 1 kW
$P_5$	Şebeke Sayacı	Enerji analizörü	150 kW	23 ÷ 155 kW
$T_a, rh_a$	Çevre sıcaklığı ve nem	Çevre sıcaklık ve basınç sensörü	20 °C, 60%	-10 ÷ 50 °C, 0 ÷ 100%
$p_a$	Çevre basıncı	Basınç Sensörü	1.01bar	0.8 ÷ 1.2 bar
$T_b$	Yakıt sıcaklığı	RTD	20 °C	-10 ÷ 50 °C
$p_b$	Yakıt basıncı	Basınç Sensörü	1.01bar	0.8 ÷ 1.2 bar

## Ek 24 Diğer Eşitlikler

### ISI GİRİŞİ

$$\dot{Q}_{in} = \dot{m}_b \cdot H_i \quad (6.1)$$

### ENERJİ ANALİZÖRÜ

$$P_{gross} = P_5 \quad (6.2)$$

### İÇ ELEKTRİK TÜKETİMİ

$$P_{aux} = P_2 + P_4 \quad (6.3)$$

### NET ELEKTRİK ENERJİSİ

$$P_{net} = P_{gross} - P_{aux} = P_5 - (P_2 + P_4) \quad (6.4)$$

### NET ELEKTRİK ÜRETİM VERİMİ

$$\eta_{el,net} = \frac{P_{net}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{P_5 - (P_2 + P_4)}{\dot{m}_b \cdot H_i} \quad (6.5)$$

### ISI AKIŞI

$$\dot{Q}_{COND} = \dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_2 - T_1) \quad (6.6)$$

$$\dot{Q}_{ICEC} = \dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_3 - T_2) \quad (6.7)$$

$$\dot{Q}_{EXCH} = \dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_4 - T_3) \quad (6.8)$$

### TERMAL ÇIKIŞ

$$\dot{Q}_{th} = \dot{Q}_{COND} + \dot{Q}_{ICEC} + \dot{Q}_{EXCH} = \dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_4 - T_1) \quad (6.9)$$

## TERMAL VERİM

$$\eta_{th} = \frac{\dot{Q}_{th}}{\dot{Q}_{in}} = \frac{\dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_4 - T_1)}{\dot{m}_b \cdot H_i} \quad (6.10)$$

## ENERJİ KULLANIM ORANI (EUF, toplam verim)

$$EUF = \eta_{el} + \eta_{th} \quad (6.11)$$

## BİRCİL ENERJİ TASARRUF ORANI (PES)

$$PES = 1 - \frac{\dot{m}_b \cdot H_i}{\frac{P_5 - (P_2 + P_4)}{\eta_{el}^*} + \frac{\dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot (T_4 - T_1)}{\eta_{th}^*}} \quad (6.12)$$

## GÜÇ

$$\frac{G}{\dot{U}} \quad (k) = \frac{t \cdot (N.m) \cdot 2\pi \cdot r \cdot (d / d)}{60000} \quad (6.13)$$

$\zeta$  BMEP (Brake Mean Effective Pressure)

$$\frac{b}{m} = \frac{G \cdot m}{V_n} \quad (6.14)$$

$e$   
 $p$