



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAZ MOTORLU BİR ISIL GÜÇ ÇEVİRİM
SANTRALİNİN ATIK ISI GERİ KAZANIMININ
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

AYŞE KÜBRA PAKSOY

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2019

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GAZ MOTORLU BİR ISIL GÜÇ ÇEVİRİM
SANTRALİNİN ATIK ISI GERİ KAZANIMININ
TERMOEKONOMİK ANALİZİ

AYŞE KÜBRA PAKSOY

Bu tez,
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2019

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Ayşe Kübra PAKSOY tarafından hazırlanan “GAZ MOTORLU BİR ISIL GÜÇ ÇEVİRİM SANTRALİNİN ATIK ISI GERİ KAZANIMININ TERMOEKONOMİK ANALİZİ ” adlı bu tez, jürimiz tarafından 05/08/2019 tarihinde oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Muharrem İMAL (DANIŞMAN)
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr.Üyesi Mehmet ERMURAT
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Dr. Öğr.Üyesi İbrahim KARTERİ
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Mustafa YAZICI

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ayşe Kübra PAKSOY



**GAZ MOTORLU BİR ISIL GÜÇ ÇEVİRİM SANTRALİNİN ATIK ISI GERİ
KAZANIMININ TERMOEKONOMİK ANALİZİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

AYŞE KÜBRA PAKSOY

ÖZET

Artan yakıt maliyetleri ile orantılı olarak endüstriyel işletmelerde kullanılan yakıt birim maliyetleri gün geçtikçe artmaktadır. Endüstriyel tesislerde sistemi daha efektif ve verimli hale getirebilmek için, doğal enerji kaynaklarının verimsiz olarak yanan yakıtlarından çıkan atık ısının tekrar sistemde kullanılmasıyla verimin artırılması yöntemi işletmelerde maliyetler belirli ölçüde azaltılacaktır.

Sistem olarak yüksek enerji tüketimi ve maliyeti olan işletmelerde; kullanılan yakıt giderlerini daha aza indirmek yani daha verimli kullanabilmek için sistemde atık ısının kullanılması tercih edilir. Böylelikle çevreyi kirleten atık ısı ve kirliliğin salınımı daha aza indirgenir. İşletme açısından bakıldığında, ısı güç çevrim santralleri kurulmasıyla işletmenin maliyetleri daha aza indirgenerek, sistemden kazanılan verim artırılmaktadır.

Bu çalışmada, bir işletmenin elektrik ve buhar ihtiyaçları göz önünde bulundurularak seçilen gaz motorlu kojenerasyon tesisi, termodinamiğin 1. Kanunu ile termoeconomik analizi yapılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. İşletmenin belirlenen elektrik ve buhar ihtiyacı kapasitesine yakın olarak seçilen 2 adet gaz motorunun ayrı ayrı enerji ve termoeconomik analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ile 1.deney TCG 2020 V20 motor ile verim %90,78 olarak hesaplanmış ve sistemin 2,44 yılda sistem kendini amorti ettiği bulunmuştur. 2. Deney TCG 2020 V16 motor ile verim %90,74 olarak hesaplanmış, sistemin 2,73 yılda kendini amorti ettiği bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Atık ısı geri kazanım, gaz motoru, termoeconomik analiz

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Ağustos / 2019

Danışman: Doç. Dr. Muharrem İMAL

Sayfa sayısı: 76

**THERMOECONOMIC ANALYSIS OF WASTE HEAT RECOVERY OF A
THERMAL POWER CYCLE POWER PLANT WITH GAS ENGINE
(M.Sc. THESIS)**

AYŞE KÜBRA PAKSOY

ABSTRACT

In paralel with increasing fuel costs, fuel unit costs used in industrial enterprises are increasing day by day. In order to make the system more efficient in industrial plants, the costs of the waste heat from the inefficient combustion fuels rather than natural energy sources in the system can be used again in order to make the system more efficient.

In systems with high energy consumption and cost; In order to minimize the costs given to the fuels used, it will be using waste heat in the system in order to use them more efficiently. Thus, the waste heat polluting the environment and the release of polluted particles will be reduced. From the operational point of view, the efficiency of the system is increased by reducing the costs of the enterprise by establishing thermal power cycle power plants.

In this study, the results of energy analysis and thermoeconomic analysis which is the first law of thermodynamics of cogeneration plant gas engine selected by considering electricity and steam needs of an enterprise are evaluated. Energy and thermoeconomic analyzes of two gas engines, which are chosen as close to the electricity and steam requirements, were obtained. In the first experiment TCG 2020 V20 engine with 90,78% efficiency was calculated and 2.44 years the system amortizes itself. In the second experiment with TCG 2020 V16 engine, efficiency is calculated as 90,74% and 2.73 years the system amortizes itself..

Key words: Waste heat recovery, gas engine, thermoeconomic analysis

University of Kahramanmaraş Sütçü İmam
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechaical Engineering , August / 2018

Supervisor: Doç. Dr. Muharrem İMAL

Page Numbers: 76

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıŐması sűresince engin bilgi ve tecrűbelerinden faydalandıĐım ve çalıŐmamın her aŐamasında saĐladıĐı bilimsel katkılardan dolayı Doç. Dr. Muharrem İMAL'a, her fırsatta bilgi ve birikimlerinden yararlandıĐım tűm bűlűm hocalarıma ve bana her konuda destek olan araŐtırma gűrevlisi arkadaŐlarıma teŐekkűr ederim.

Son olarak, bu gűnlere gelmemde her tűrlű maddi ve manevi desteklerini gűrdűĐűm aileme sonsuz teŐekkűrlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	9
3. GENEL BİLGİLER.....	12
3.1. Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Elektrik Santralleri Sistemleri	12
3.1.1. Nükleer güç santralleri.....	12
3.1.2. Termik elektrik santralleri	12
3.1.3. Hidroelektrik santralleri.....	12
3.1.4. Yenilenebilir enerji santralleri	12
3.2. Isıl Güç Santralleri Sistemi, Tanımı	13
3.3. Isıl Güç Çevrim Santralleri Sistem Bileşenlerinin Tanımlanması.....	15
3.3.1. Güç üreten sistem bileşenleri.....	16
3.3.2. Trafo Ve OG Sistem Bileşenleri	22
3.3.3. Atık Isı Geri Kazanım Sistem Bileşenleri	22
3.3.4. Kontrol Sistemi Bileşenleri.....	23
3.4. Isıl Güç Santrallerinde Termodinamiğin Birinci Kanunu.....	23
3.4.1. Kütlelerin Korunumu Kanunu	23
3.4.2. Enerjinin Korunumu Kanunu	23
3.4.3. İdeal Rankine Çevrimi Bileşenleri İçin Birinci Kanun Analizi.....	24
3.4.4. Kazan Birinci Kanun Analizi.....	24
3.4.5. Türbin Birinci Kanun Analizi	24
3.4.6. Yoğuşturucu Birinci Kanun Analizi	25
4. MATERYAL METOD.....	26
4.1. Endüstriyel Tesisin Elektrik Enerjisi İhtiyacının Belirlenmesi	26
4.2. Endüstriyel Tesisin Buhar Enerjisi İhtiyacının belirlenmesi	30
4.3. Endüstriyel Tesis İçin Isıl Güç Çevrim Santrali Sistemi Seçimi	34

4.4. Isı Güç Çevrim Santralının Dizayn Edilmesi.....	35
4.5. Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin Dizayn Edilmesi	35
4.5.1. TCG 2020 V16 Gaz Motoru İçin Atık Isı Sisteminin Tasarım Hesaplamaları	37
4.5.2. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru İçin Atık Isı Sisteminin Tasarım Hesaplamaları	40
4.5.3. TCG 2020 V20 Gaz Motoru Sistem Ekipmanlarının Enerji Analizinin Tanımlanması	42
4.5.4. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Sistem Ekipmanlarının Enerji Analizinin Tanımlanması	46
4.6. Gaz Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrallerinin Termoekonomik Analizinin İncelenmesi	50
4.6.1. Amortisman Bedelinin Hesaplanması (AB)	50
4.6.2. Dinamik Geri Ödeme Süresi Hesaplanması	51
5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR	52
5.1. Isıl Güç Santralının Enerji Analizleri Sonuçları	52
5.2. Isıl Güç Santralının Termoekonomik Analizi.....	54
5.2.1. Seçilen İki Adet Isıl Güç Santralının Proje Basit Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması	54
5.2.2. Seçilen İki Adet Isıl Güç Santralının Amortisman Bedelinin Hesaplanması	56
5.2.3. Seçilen İki Adet Isıl Güç Santralının Dinamik Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması	57
6. SONUÇ	62
7. KAYNAKLAR.....	65
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. 2018 Yılı Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynak Oranları	1
Şekil 1.2. 2018 Yılı Sonu Kurulu Gücün Kaynaklara Göre Dağılımı	2
Şekil 1.3. Elektrik Enerjisi Üretim Santrallerinin Kaynaklara Göre Adetleri	3
Şekil 1.4. 2017 Yılı Doğalgaz Tüketiminin Sektörlere Göre Yüzdelerle Dağılımı	4
Şekil 1.5. 2017 Yılı Doğalgaz Yakıtının Sanayi Tüketiminin Sektörlere Göre Yüzdelerle Dağılımı	5
Şekil 1.6. 2017 Yılı Elektrik Enerjisi Üretimi (Gwh) İle Kurulu Güç Kapasitesi (Mw) İlişkisi	6
Şekil 1.7. 2017 Yılı Doğalgaz Kurulu Güç Kapasitesi İle Elektrik Enerjisi Üretimi Arasındaki İlişki	7
Şekil 3.1. Gaz Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrali Sistemi	13
Şekil 3.2. Kojenerasyon Verimliliği (Öztürk H., Kaya D.,2014)	15
Şekil 3.3. Isıl Güç Çevrim Santrali Sistemlerinin Çeşitleri	16
Şekil 3.4. Gaz Türbininin Bileşenleri (Öztürk H., Kaya D., 2014)	17
Şekil 3.5. Karşı Basıncılı Buhar Türbinli Isıl Güç Çevrim Santrali Gösterimi	18
Şekil 3.6. Ara Buhar Almalı Buhar Türbinli Isıl Güç Çevrim Santrali Gösterimi	19
Şekil 3.7. Gaz/Dizel Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrali Şeması (Öztürk H., Kaya D., 2014)	20
Şekil 4.1. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Aylara Göre Tüketilen Elektrik Enerjisi	28
Şekil 4.2. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Aylara Göre Tüketilen Elektrik Enerjisi Maliyetinin Değişimi	28
Şekil 4.3. Endüstriyel İşletmenin Ocak Ayı Örnek Bir Gün Elektrik Tüketim Miktarı	29
Şekil 4.4. Endüstriyel İşletmenin Aylara Göre Buhar İhtiyacı (Kg/h)	31
Şekil 4.5. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Temmuz Ayı Örnek Gün İçin Buhar İhtiyacı	32
Şekil 4.6. Endüstriyel İşletmenin 2018 Yılı Aylara Göre Doğalgaz Tüketimi	33
Şekil 4.7. Mwm Marka Gaz Motoru Görseli	35
Şekil 4.8. Gaz Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrali Akış Şeması	36

Şekil 4.9. Atık Isı Kazanı Sistemi Sıcaklıklar Gösterimi	37
Şekil 4.10. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru Sistemi Ve Ekipmanları Akış Şeması	38
Şekil 4.11. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru Sistemi Ve Ekipmanları Akış Şeması	40
Şekil 4.12. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru Sistemi Şematik Gösterimi	43
Şekil 4.13 .TCG 2020 V 20 Gaz Motoru Ekipmanı Şematik Gösterimi	44
Şekil 4.14. TCG 2020 V 20 Isı Eşanjörü Ekipmanı Şematik Gösterimi	44
Şekil 4.16. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru Sistemi Şematik Gösterimi	47
Şekil 4.17. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru Ekipmanı Şematik Gösterimi	48
Şekil 4.18. TCG 2020 V 16 Isı Eşanjörü Ekipmanı Şematik Gösterimi	49
Şekil 4.19. TCG 2020 V 16 Atık Isı Kazanı Ekipmanı Şematik Gösterimi	49
Şekil 5.1. Seçilen İki Adet Gaz Motorunun Verim Bilgileri	54
Şekil 6.1. Seçilen İki Gaz Motoru Arasında Kıyaslama.....	63
Şekil 6.2. Seçilen İki Gaz Motoru Arasında Amortisman Bedeli Kıyaslaması.....	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 4.1. Akedaş Ocak 2018 yılı birim fiyat tablosu.....	26
Çizelge 4.2. Endüstriyel Tesisin 2018 yılı elektrik tüketimi ve maliyeti	27
Çizelge 4.3. Endüstriyel tesisin Ocak ayı örnek bir gün elektrik tüketim miktarı	29
Çizelge 4.4. Endüstriyel Tesisin 2018 yılı aylara göre buhar ihtiyacı.....	30
Çizelge 4.5. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı Temmuz ayı örnek gün için buhar ihtiyacı .	31
Çizelge 4.6. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı aylara göre doğalgaz tüketimi ve maliyeti ..	33
Çizelge 4.7. Seçilen iki model gaz motoru üretici firma kapasiteleri.....	35
Çizelge 4.8. Seçilen iki model gaz motoru verileri	36
Çizelge 4.9. TCG 2020 V20 İşletme Değerleri Tablosu	42
Çizelge 4.10. TCG 2020 V16 İşletme Değerleri Tablosu	46
Çizelge 4.11. 2019 yılı Haziran ayı güncel enerji maliyetleri	50
Çizelge 5.1. Seçilen iki adet gaz motorunun enerji analiz sonuçları.....	52
Çizelge 5.2. Seçilen iki adet gaz motorunun verim sonuçları	53
Çizelge 5.3. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları.....	54
Çizelge 5.4. TCG 2020 V16 Yatırım Bilgileri	55
Çizelge 5.5. TCG 2020 V20 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları.....	55
Çizelge 5.6. TCG 2020 V20 Yatırım Bilgileri	56
Çizelge 5.7. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları.....	58
Çizelge 5.8. TCG 2020 V16 Gaz Motoru İşletme Gelir ve Gider Tabloları	59
Çizelge 5.9. TCG 2020 V20 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları.....	60
Çizelge 5.10. TCG 2020 V20 Gaz Motoru İşletme Gelir ve Gider Tabloları	61
Çizelge 6.1. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru İçin İşletme Gelirleri Tablosu	62
Çizelge 6.2. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru İçin İşletme Gelirleri Tablosu	62
Çizelge 6.3. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru İçin İşletme Giderleri Tablosu	62
Çizelge 6.4. TCG 2020 V 16 gaz motoru için işletme giderleri tablosu	63

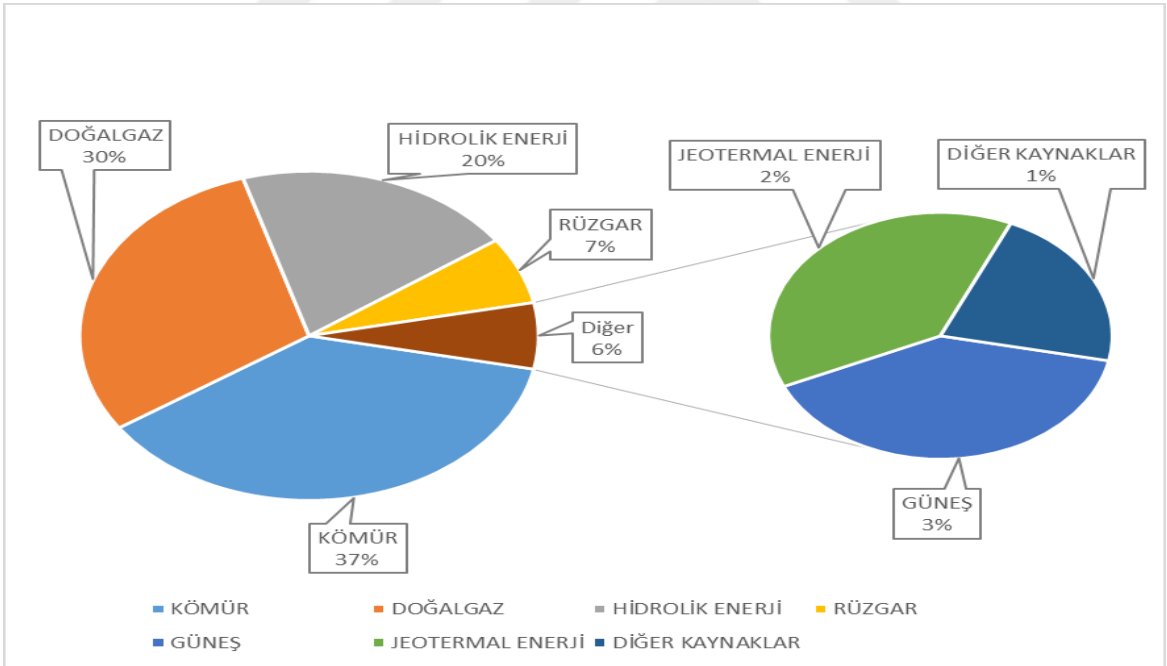
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

P	: Basınç (bar)
h	: Özgül Entalpi (kJ/kg)
I	: İlk yatırım değeri (TL)
İ	: Yıllık Faiz Oranı (%)
n	: Kullanım Süresi (yıl)
DGÖS	: Dinamik Geri Ödeme Süresi (yıl)
AB	: Amortisman Bedeli (TL/yıl)
Gi	: Yıllık Net Kazanç (TL)
Gy	: İlk Yatırım Maliyeti (TL)
f	: Yıllık Faiz Oranı (%)
COP	: Soğutma Performans Katsayısı
Te	: Evaporatör Sıcaklığı (°C)
Cp	: Özgül Isı (kcal/kg °C)
η	: Verim
m	: Kütleli Debi (m ³ /h)
Q	: Isı Enerjisi (kcal/h)
ρ	: Yoğunluk (kg/m ³)

1. GİRİŞ

Enerji dünden bugüne kalkınmanın temel girdisi olarak kabul görmektedir ve enerji üretimi ile ilgili geçmişten bu yana pek çok farklı sistem ve yöntem kullanımına devam edilmektedir. Her geçen gün enerjinin üretiminde farklı yöntemler artmasına rağmen, artan enerji maliyetleri ve enerji üretimi için kullanılan geleneksel yakıtların azalması ile endüstriyel işletmelerin bu maliyetleri en aza indirmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanması ya da daha verimli sistemler kullanarak enerji verimliliği sağlaması gerekmektedir.

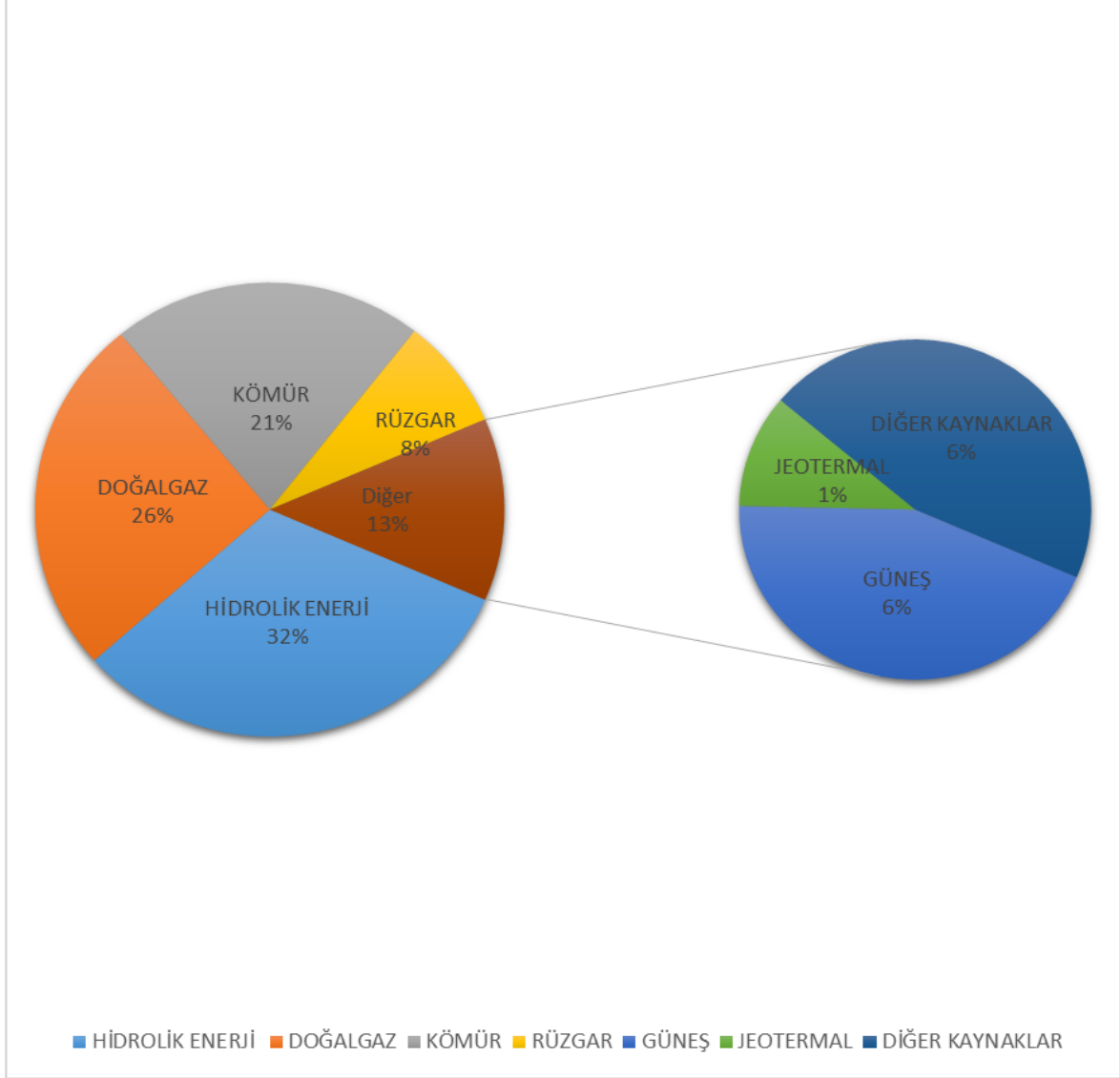
Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının, üretimdeki miktar ve kaliteyi düşürmeden, ekonomik kalkınmayı ve sosyal refahı engellemeden en aza indirilmesidir. Daha geniş bir biçimde enerji verimliliği ve enerji tasarrufu; gaz, buhar, ısı, hava ve elektrikteki enerji kayıplarını önlemek, çeşitli atıkların geri kazanımı ve değerlendirilmesi veya ileri teknoloji ile üretimi düşürmeden enerji talebini karşılaması, daha verimli enerji kaynakları, gelişmiş endüstriyel süreçler, enerji geri kazanımları gibi etkinliği artırıcı önlemlerin bütünüdür.



Şekil 1.1. 2018 Yılı Elektrik Üretiminde Kullanılan Kaynak Oranları

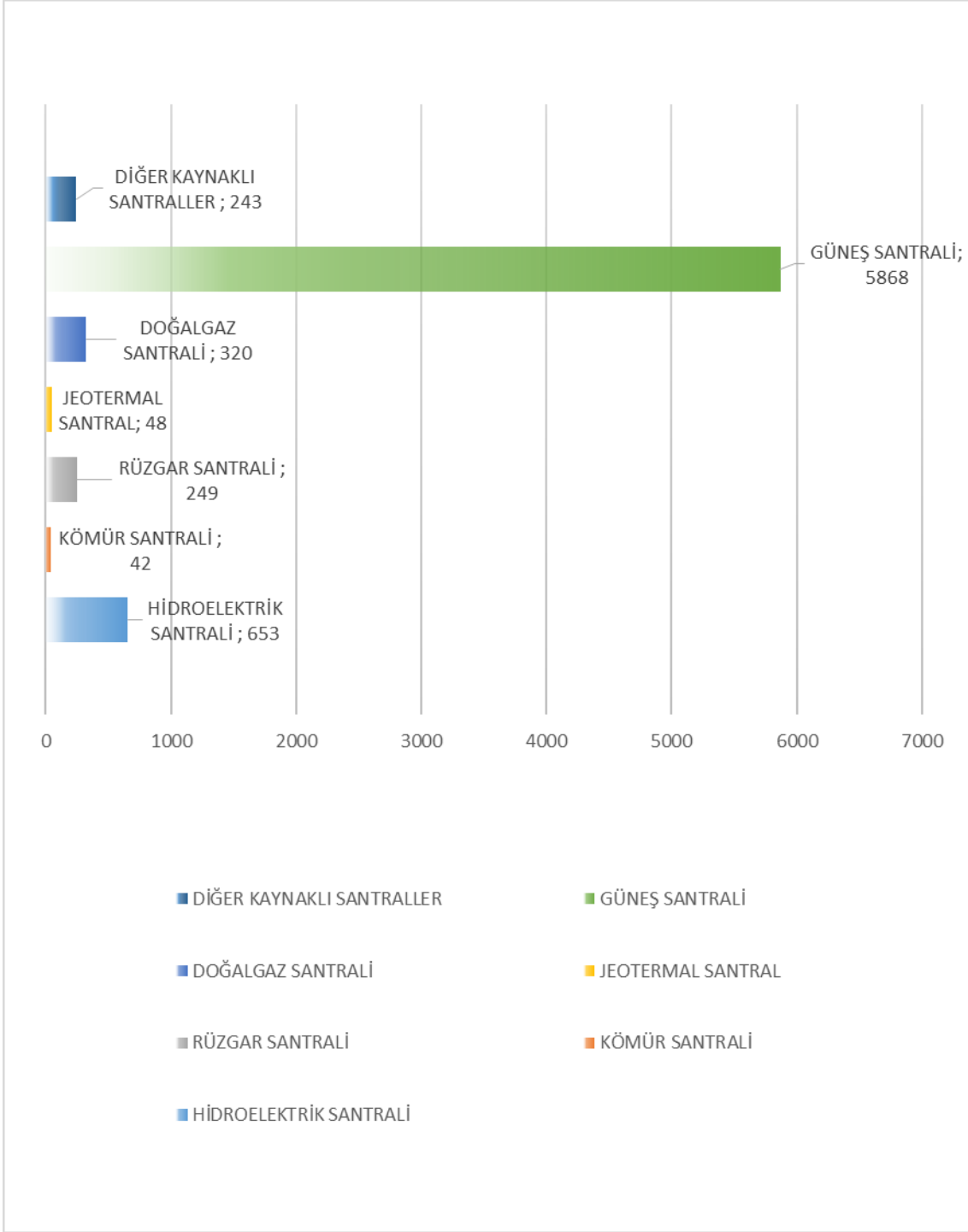
Yukarıdaki Şekil 1.1.'deki sonuçları göre 2018 yılında Türkiye'de elektrik üretiminin, %37,3'ü kömürden, %29,8'i doğal gazdan, %19,8'i hidrolik enerjiden, %6,6'sı rüzgârdan, %2,6'sı güneşten, %2,5'i jeotermal enerjiden ve %1,4'ü diğer kaynaklardan elde edilmiştir. Bu veriler ışığında fosil yakıtlardan üretilen elektrik üretim miktarı diğer kaynaklara göre daha yüksek orandadır.

Aşağıda verilen Şekil 1.2.'de 2018 yılı sonunda Türkiye'nin kaynaklara göre dağılımı; yüzde 31,9'u hidrolik enerji, yüzde 25,6'sı doğal gaz, yüzde 21,5'i kömür, yüzde 7,9'u rüzgâr, yüzde 5,7'si güneş, yüzde 1,4'ü jeotermal ve yüzde 5,9'u ise diğer kaynaklar şeklindedir.



Şekil 1.2. 2018 yılı sonu kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı

Ek olarak Şekil 1.3. te gösterildiği üzere Türkiye'de elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2018 yılı sonu itibarıyla 7.423'e (Lisanssız santraller dahil olmak üzere) yükselmiştir. Mevcut santrallerin 653 adedi hidroelektrik, 42 adedi kömür, 249 adedi rüzgâr, 48 adedi jeotermal, 320 adedi doğal gaz, 5.868 adedi güneş, 243 adedi ise diğer kaynaklı santrallerdir.



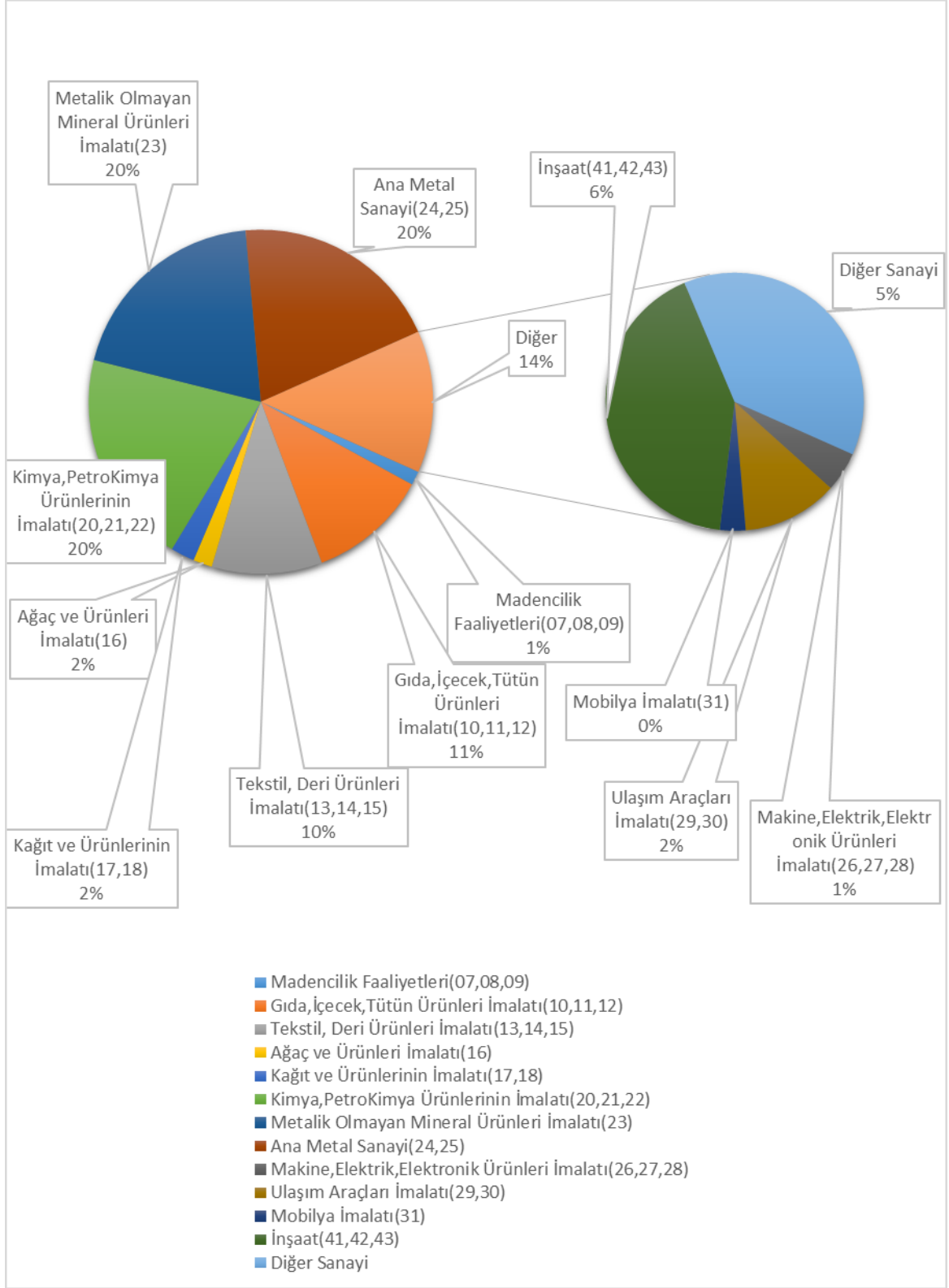
Şekil 1.3. Elektrik enerjisi üretim santrallerinin kaynaklara göre adetleri

Ek olarak, doğalgaz yakıt tüketiminin sektörlere göre dağılımı şekil 1.4.'de belirtilmiştir. Bu verilere göre doğalgaz yakıtı %78 oranında konutlarda,%21 oranında ticaret ve hizmetler sektörlerinde,%1 oranında ise tarım ve hayvancılık sektöründe kullanılmaktadır.



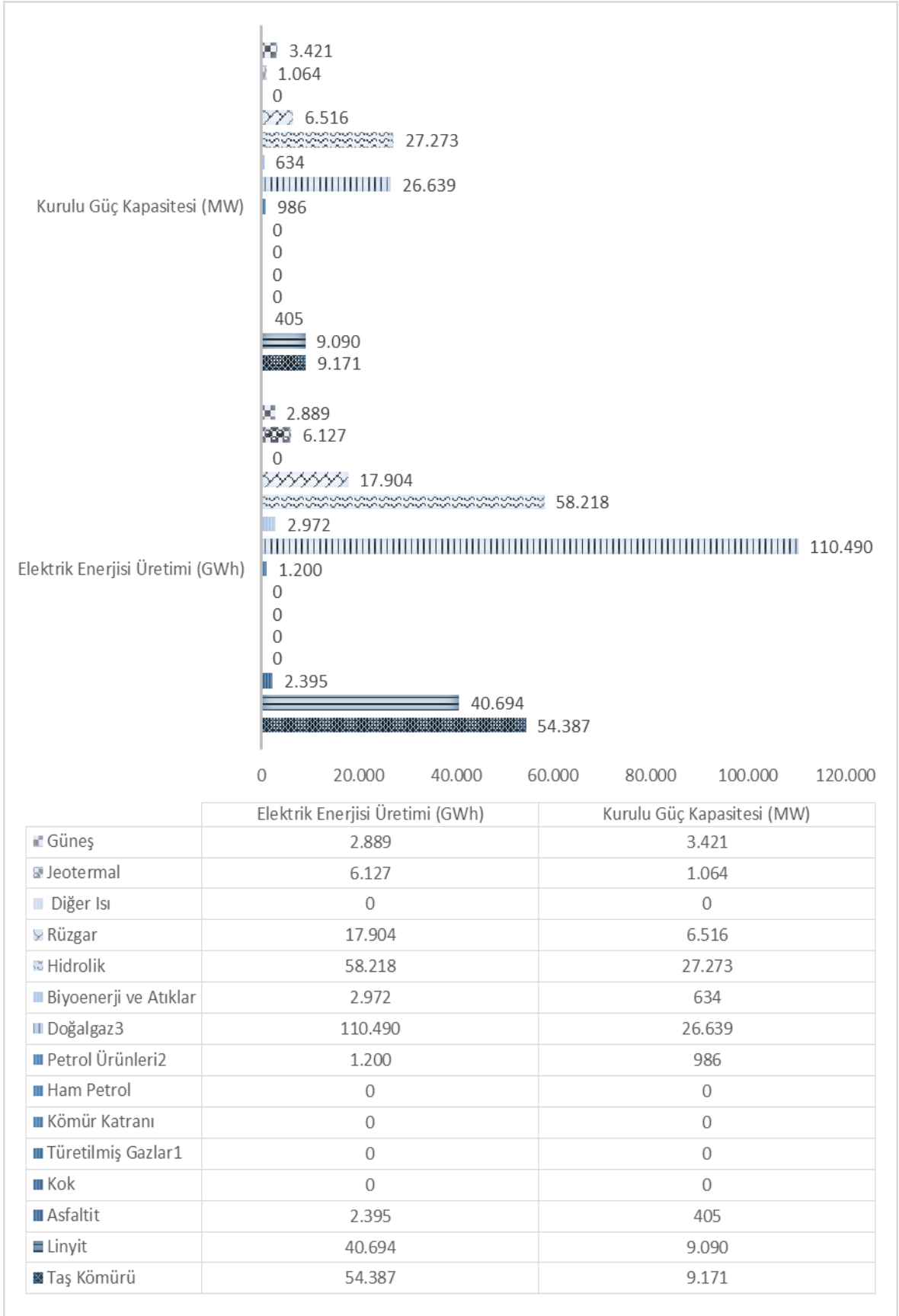
Şekil 1.4. 2017 yılı doğalgaz tüketiminin sektörlere göre yüzdeleri dağılımı

Şekil 1.5. ile 2017 yılı doğalgaz yakıtının sanayi tüketimlerinde sektörlere göre yüzdeleri dağılımı verilmiştir. Şekil 1.5’de de görüldüğü üzere en yüksek tüketimin metalik olmayan mineral ürünleri imalatı %20, kimya petrokimya ürünlerinin imalatı %20, ana metal sanayi %20 oranındadır.



Şekil 1.5. 2017 yılı doğalgaz yakıtının sanayi tüketiminin sektörlere göre yüzdelik dağılımı

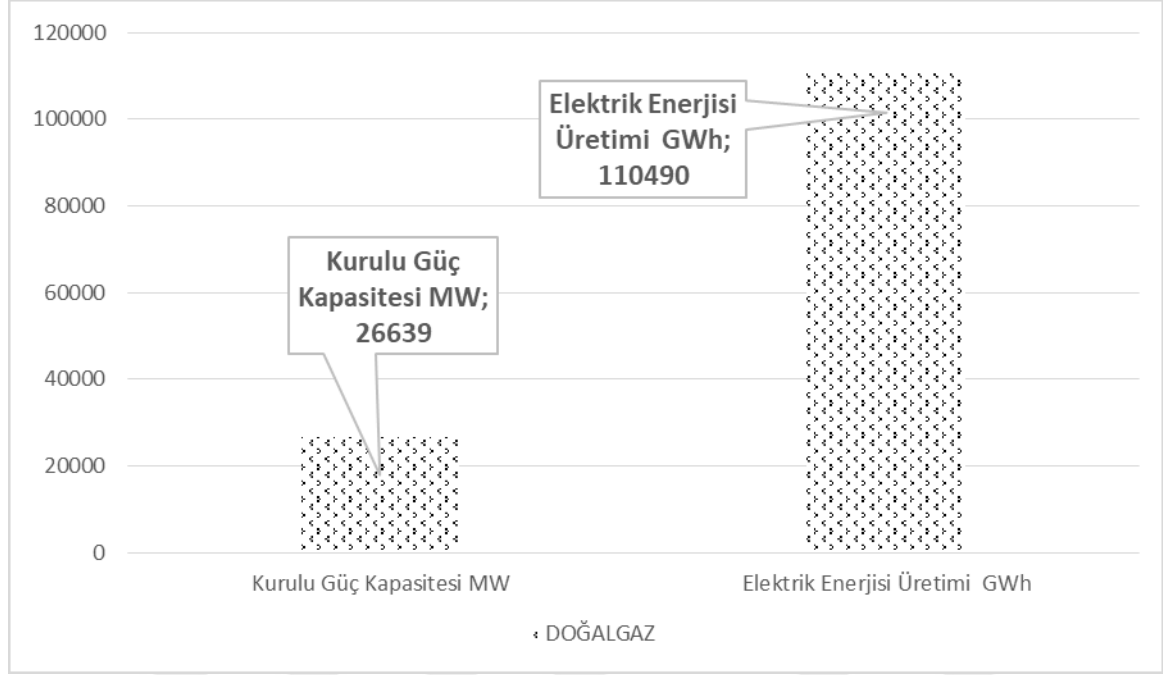
Aşağıda bulunan şekil 1.6. ile 2017 yılı elektrik enerjisi üretimi ile kurulu güç kapasite bilgileri verilmiştir.



Şekil 1.6. 2017 Yılı Elektrik Enerjisi üretimi (GWh) ile kurulu güç kapasitesi (MW) ilişkisi

Önümüzdeki 6 aylık periyotta; Türkiye'de elektrik ve doğal gaz taleplerine iklim koşullarının etkisinin geçmiş yıllara oranla Ocak ayında ortalama seviyenin üzerinde gerçekleşeceği tahmin edilmektedir.

Aşağıdaki Şekil 1.7. ile 2017 yılı bilgilerine göre doğalgaz yakıtlı kurulu güç kapasitesi ile elektrik enerjisi üretimi arasındaki ilişkiye dair tablo oluşturmuştur.



Şekil 1.7. 2017 yılı doğalgaz kurulu güç kapasitesi ile elektrik enerjisi üretimi arasındaki ilişki

Enerji verimliliği endüstriyel işletmelerde, üretim kalitesi ve miktarının düşüşüne yol açmadan, birim hizmet veya ürün miktarı başına sisteme giren enerji tüketiminin azaltılmasıdır. Enerji verimliliği çerçevesinde aynı cihazda bir tür yakıt kullanılarak, birden fazla enerji açığa çıkaran sistemlerin ya da sistem atığı olarak çıkan atık ısının bir kısmının sistemde tekrar kullanılması ile kurulan sistemler günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemleri en uygun örnekleridir. Bu sistemler ile sistemdeki enerji verimliliği artırılmaktadır.

Bu sistemlerden olan ve günümüzde yaygın olarak kullanılan gaz motorlu ısı güç santrali sistemleri bir yakıt girdisi ile hem elektrik üretilmekte hem de buhar, sıcak su üretimi sağlayarak sistemin verimliliğini üst seviyelere çıkartılmakta aynı zamanda tesisin enerji ihtiyacı maliyetinin belirli oranda düşürülmesini sağlamaktadır.

Kojenerasyon sistemlerinde enerji üretimi tüketildiği yerde gerçekleştiğinden şebekedeki ani voltaj düşümlerinden etkilenmemektedir. Yakıt olarak başta doğalgaz, fuel-

oil, biyogaz ve biyo-yakıt kullanabilen kojenerasyon sistemleri; buhar üretimi, elektrik ve sıcak su ve ile kısa sürede yatırımını amorti edebilmektedir.

Gaz motorlu ısı gücü çevrim santrali kullanılması ile gaz motorundan çıkan atık ısının sistemde tekrar kullanılabilir enerjiye çevrilmesi hem de tüketim noktalarının yakın olmasından kaynaklı sistemdeki kayıplar en düşük seviyeye indirgenmiş olmaktadır. Bu şekilde sistem daha verimli çalışmaktadır ve enerji verimliliği sağlanmaktadır.

Tek bir santralden buhar, elektrik ve sıcak suyu yakın çevredeki endüstriyel, ticari ya da konuttaki ihtiyaç noktasına iletilmesine imkân veren bir sistemdir. İleri teknoloji ürünü olan gaz motoru ile kullanılan yakıttan elde edilen atık ısıdan yararlanılarak toplamda çevrim verimi artmakta ve özellikle CO₂, sera gazı emisyonları önemli miktarda azaltılmaktadır.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dizel motorlarının doğal gaz motorlarına dönüştürülmesi ele alınarak tek yakıtlı motor incelenmiştir. Doğal gaz motorlarının performansları, yakıt sarfiyatları ve doğal gaz motorlarının çeşitli konularda diğer tip motorlarla karşılaştırılmaları yapılmıştır.(Pancar,1994)

Örnek olarak verilen kojenerasyon santrali Şubat 2005 'te üretime geçmiştir. Kojenerasyon sisteminin termodinamik ve ekonomik analizini içermekte olup, bölgedeki tekstil fabrikalarına sağladığı avantajlar tablolarında gösterilmiştir. Santralde üretilen buhar ve sıcak su miktarları hesaplanmış, santralin ısı enerjisi müşterilerinin tüketimleri incelenerek dağıtım hatları projelendirilmiştir. Kojenerasyon santrali kurulduğu bölgede fabrikaların maliyetlerini önemli ölçüde azaltmıştır. Fabrikalar ve santral için ekonomik analizler hesaplanarak, tablolarında gösterilmiştir.(Gül,2005)

Günümüzde enerji verimliliğine verilen önem nedeniyle, ısı pompalarının en yeni tiplerinden birisi olan gaz motoru tahrikli ısı pompalarına (GMIP) ilgi artmaktadır. GMIP; açık tip bir kompresörün gaz motoru ile tahrik edildiği yeni tip bir ısı pompasından oluşmaktadır. GMIP sistemleri, özellikle ısı geri kazanımı (motor silindir ceketlerinden ve egzoz gazından ısı geri kazanımı) sayesinde yüksek enerji verimi ile çalışan, düşük enerji tüketiminden dolayı çevre ile uyumlu, gaz kaynağının ayarlanmasıyla kolaylıkla çalışma hızı ayarlanabilen, dış ortam sıcaklığından fazla etkilenmeyen, ekonomik sistemler olarak öne çıkmaktadır.

Üç farklı tıbbi aromatik bitki (Foeniculum vulgare, Malva sylvestris L., Thymus vulgaris) 45 °C sıcaklıkta ve 1 m/s hava hızında GMIP kurutucu sisteminde kurutulmuştur.Tüm sistemin ekserji kayıp ve akış (Grassmann) diyagramı çizilmiştir. Ekserji analizi sonuçlarında sistemdeki en önemli bileşenin gaz motoru olduğu görülmüştür. Kurutma işlemi ekserjetik verimliliği % 0,80-1,62 değerleri arasında bulunmuştur. Gaz motoru, genişleme vanası ve kurutma kanalları sistemdeki ekserji değerinin % 60'ından fazlasını içermektedir. Isı pompası ünitesinin ekserjetik verimliliği % 77,68-79,21, GMIP ekserjetik verimliliği % 39,26-43,24, kurutma çemberinin ekserjetik verimliliği % 81,29-81,56 ve tüm kurutma sisteminin ekserjetik verimliliği % 48,24-51,28 olarak hesaplanmıştır (Güngör,2010).

Kentsel atıklardan enerji üretim teknolojileri değerlendirilmiş ve Malatya ilinde kurulu bulunan çöp depolama sahasından üretilen çöp gazı ile çalışan bir gaz motor tesisi

ele alınmıştır. Sistemin kurulu gücü 2x1,2 MWe olarak tasarlanmıştır. Elektrik üretiminde kullanılan mevcut gaz motorlarının egzozundan atılmakta olan yanma ürünlerinin taşıdığı duyulur ısının geri kazanımı üzerinde çalışılmıştır. Yapılan teorik tasarım ile gaz motorunun atık ısılarından atık ısı kazanı, buhar türbini, jeneratör yardımıyla sistemin veriminin artırılması ve ek elektrik enerjisi üretimi incelenmiştir. Motor egzoz gazı giriş/çıkış sıcaklığı 446 °C/107 °C olarak hesaplanmış ve toplam 3242 kW termal kayıp enerjinin bir bölümünün geri kazanılabileceği anlaşılmıştır. Atık ısı kazanında 370°C'de 35 bar basınçta 1154 kg-buhar/saat kızgın buhar üretilebileceği hesaplanmıştır. Türbinde iş yapan buhardan 403,06 kW elektrik enerjisi üretilebileceği ve sistemin çöp gazının ısı enerjisinden elde edilen elektrik verimi %41,6'dan %48,6'a çıkarılabileceği anlaşılmıştır(Kankılıç,2016).

Gaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin simülasyonunu yapan bir program oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında öncelikle kojenerasyon sistemleri, kullanım alanları ve tekniklerinden bahsedilmiştir. Sonrasında MWM marka gaz motorlu kojenerasyon sistemleri, gaz motoru ve kojenerasyon santrali ekipmanları detaylandırılmıştır. Gaz motorlu kojenerasyon santralinin çalışma prensibi anlatılmıştır. Termodinamik model hava gaz karışımının sıkıştırılması, ara soğutma safhası, gaz motoru yanma odalarındaki yanma prosesi ve güç eldesi, egzoz safhası ve en son atık ısıdan enerji eldesi hesaplamalarını kapsamaktadır. Oluşturulan termodinamik model MATLAB programında kodlanmıştır. MATLAB arayüzünde kullanıcıdan bazı değerler talep edilir. Programa girilen bu değerler program tarafından termodinamik modeldeki yerine konular ve denklemler çözülür. Hesaplamaların bitmesinin ardından excel sayfası şeklinde bir datasheet oluşturulur ve kullanıcıya sunulur. Bu veri yapısı girilen değerlere göre sistemden elde edilebilecek çıktı verilerini kullanıcıya sunacaktır. Çalışmanın sonuç kısmında simülasyon programında yapılan birkaç simülasyona yer verilmiştir. Bu simülasyonlarda farklı girdi koşullarında hangi çıktı değerlerinin alındığı kıyaslanmıştır. Bu kıyaslar rakımın değişimi, farklı ortam sıcaklıkları, farklı gaz motoru tipi ve gaz motoru yükünün artması yada azalması şeklindedir. Bu analiz sonuçlarına göre rakımın artışı ve sıcaklığın yükselmesi elde edilen güç değerlerinde ve sistem veriminde düşüğe sebep olmaktadır. Ayrıca, MWM markasına ait TCG 2032 serileri aynı girdi koşullarında TCG 2020 ve TCG 2016 serisi gaz motorlarına göre daha verimlidir. (Derinpınar,2018)

Biyogazın özellikleri, kullanım alanları, oluşum aşamaları, değerlendirilmesi, tarihsel gelişimi, üretilmesi ve biyogaz tesisleri incelenmiştir. Hem elektrik hem de ısı

enerjisinin birlikte üretildiği sistemler olan kojenerasyon sistemleri ve özellikle gaz motorlu kojenerasyon sistemleri araştırılmıştır. Son olarak Kırşehir ili çevresinde biyogaz enerjisi kullanarak 1 MW elektrik gücü üreten gaz motorlu bir kojenerasyon sistemi temel ekipmanları ile tasarlanmıştır. Bu tasarımda sadece hayvansal atıklar kullanıldığında maliyetin çok yüksek olduğu gözlemlenmiş ve bu maliyeti düşürmek için hayvansal atıklara Kırşehir ili bünyesinde kolaylıkla tedarik edilebilen bitkisel atıklar karıştırılmıştır. Sonuç olarak atık türünün tesis tasarımı ve amortisman süresine doğrudan etkisi olduğu gösterilmiştir. (Akkuş,2018)

Isıl güç santrali çevrim yapısı ve termodinamik verimi, öngörülen santral kapasitesine göre optimize edilmiş ve verim üzerinde etkili olan parametreler ele alınarak incelenmiştir. Çalışmada, termik santralin soğuk ucunda yer alan, besleme suyu ön ısıtıcılardaki sıcaklık dağılımının, elektrik üretimi üzerindeki etkisinin incelenmesi amacı ile uygulanan bir yöntem geliştirilmiş, öngörülen santral kapasitesine bağlı olarak, en uygun besleme suyu ön ısıtıcılarındaki sıcaklık dağılımlarını hesaplamak için gerekli bilgisayar programı hazırlanmıştır (Çetinelli,1988).

3. GENEL BİLGİLER

3.1. Elektrik Enerjisi Üretiminde Kullanılan Elektrik Santralleri Sistemleri

Artan elektrik enerjisi ihtiyacı oranını karşılayabilmek amacıyla kurulan ve tek bir merkezden kolay dağıtım sağlanabilen sistemlere elektrik santralleri denir. Elektrik santrallerini çeşitlendirmek gerekirse;

- Nükleer Güç Santralleri,
- Termik Elektrik Santralleri,
- Hidroelektrik santraller,
- Yenilenebilir enerji santralleri (jeotermal, rüzgâr, güneş vb.)

olarak sınıflandırmak mümkündür.

3.1.1. Nükleer güç santralleri

Radyoaktif element atomlarının parçalanması sonucu açığa çıkan ısı enerjisi kullanılarak, elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilen santrallere denilir.

3.1.2. Termik elektrik santralleri

Katı, sıvı ya da gaz olarak yakıt türü kullanılarak, açığa çıkan ısının elektriğe dönüştürüldüğü santrallerdir. Kömür, doğalgaz, petrol, biyogaz ve biyomas vb. kaynaklar kullanılmaktadır.

3.1.3. Hidroelektrik santralleri

Hidrolik kaynakların potansiyel ve kinetik enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilen santrallere denir.

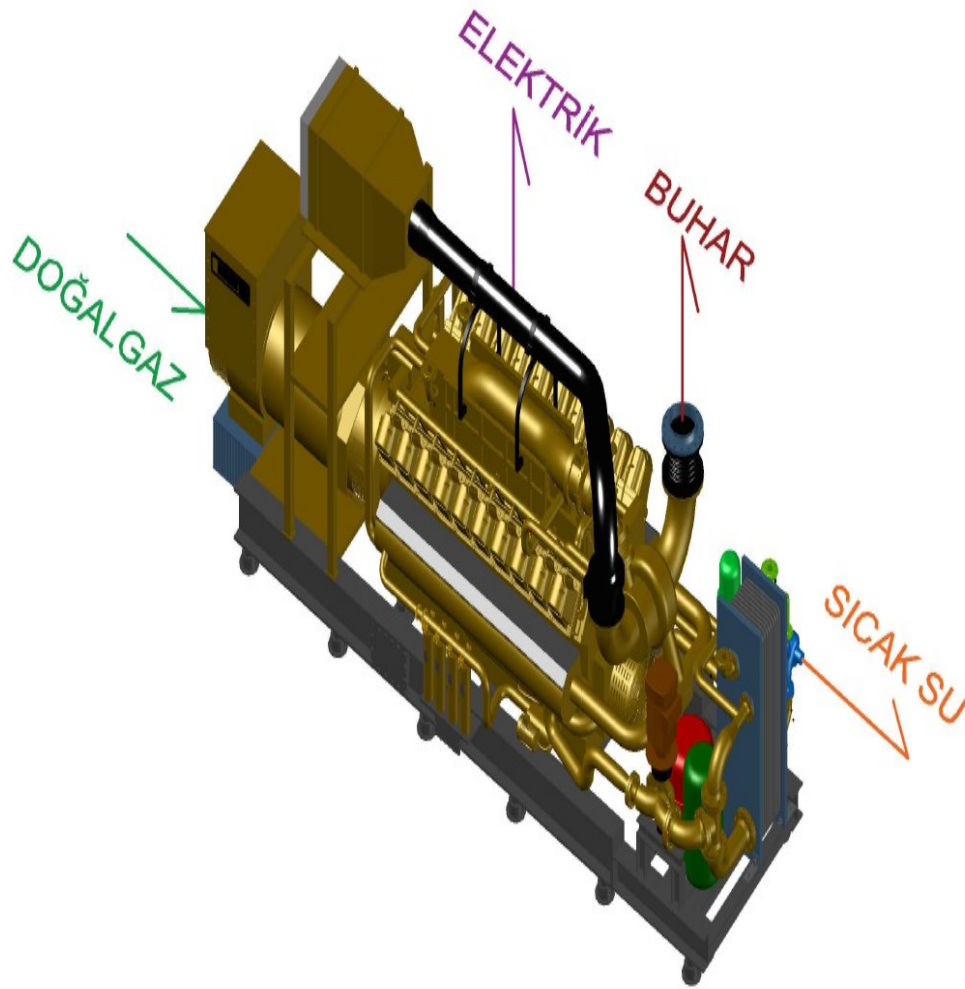
3.1.4. Yenilenebilir enerji santralleri

Sürekli olarak doğada bulunan enerji kaynaklarından üretilen enerjiden elektrik üretimi gerçekleştirilen santrallere denir. Yenilenebilir enerji santralleri genellikle,

- Güneş enerjisi
- Rüzgâr enerjisi
- Biyokütle enerjisi
- Jeotermal enerji
- Hidroelektrik enerji
- Hidrojen enerjisi
- Dalga enerjisi olarak çeşitlendirilebilir.

3.2. Isıl Güç Santralleri Sistemi, Tanımı

Tek bir yakıt girdisi ile birden fazla formda ısı ve gücü aynı motordan sağlayabildiğimiz sistemlere Isıl Güç Çevrim Santrali denilmektedir. Ek olarak, CHP Birleşik ısı ve güç sistemi ya da kojenerasyon sistemi olarak da adlandırılmaktadır. Yakıt girdisi genellikle doğalgaz olmakla birlikte fuel-oil, biyogaz ve biyo-yakıt da kullanılabilir. Şekil 3.1.'de gaz motorlu ısı güç çevrim santrali sistemi görülmektedir.



Şekil 3.1. Gaz motorlu ısı güç çevrim santrali sistemi

Isıl güç çevrim santralleri geleneksel olarak elektrik üreten basit çevrimdeki santrallere ek olarak, sistemden çıkan atık ısı enerjisinin yani egzoz ısısının sistemde kullanılabilir enerjiye dönüştürülerek, buhar ve sıcak su üretmektedir. Özetle, tek bir sistem kurularak birden fazla ısı ve güç üretebilmeyi sağlamaktadır. Ayrıca, elektrik

üretimi sonrası sistemden egzoz yoluyla çıkan atık ısının direkt olarak çevreye salınımı önlenerek, atık ısının sistemde değerlendirilmesi sağlanarak, sistemin ısı verimi artırılmaktadır.

Doğalgaz ile elektrik üreten termik santrallere oranla gaz motorlu ısı güç çevrim santralleri hem verim yönünden daha verimli, hem de sistem teknolojisi açısından daha ileri düzeydedir.

Gaz motorlu ısı güç çevrim santralının, geleneksel olarak nitelendirilen elektrik santrallerine göre en belirgin temel özelliği elektrik üretiminin sağlanması ve elektrik enerjisi sonrası açığa çıkan atık ısı enerji ile buhar ve sıcak su üretilmesidir.

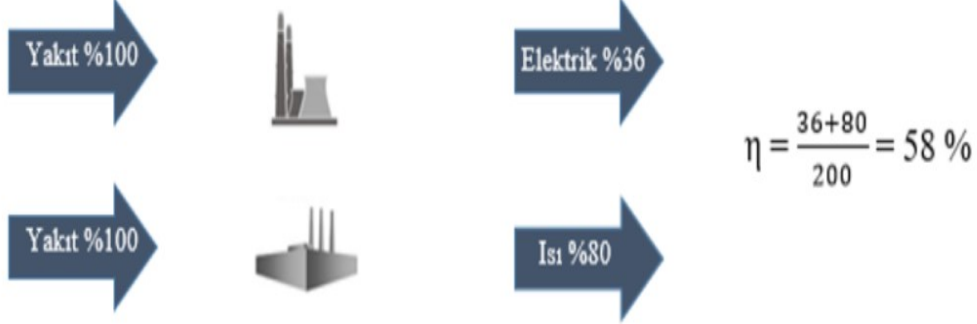
Elektrik enerjisini şebekeden sağlayan birçok işletme ya da kuruluş ısı, buhar ve soğutma ihtiyaçlarını kendi kurmuş oldukları tesislerinde üretmektedirler. Şebekeden temin edilen elektrik hem maliyet yönünden pahalı olmakta hem de iletim hatlarında yaşanan kayıplar nedeni ile verimliliği azalmaktadır. İşletmelerde elektriğin temin edilmesinin yanı sıra ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyaçları için ayrı ayrı enerji kaynaklarına ve enerji üretim sistemlerinin kurulmasına neden olmaktadır. Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri bize bu ayrı enerji gereksinimlerini tek bir sistemde üretebilmemizi sağlamaktadır (Orhan, 2003).

Geleneksel enerji üretimini ele aldığımızda, elektrik üretimi için verimlilik %36 oranında olurken, buhar ya da sıcak su üretimi için verimlilik oranı %80 lere ulaşmaktadır. Toplam olarak iki sistemi tek olarak kurulduğunda verimlilik, Şekil 3.2. te gösterildiği üzere %58 civarında olmaktadır.

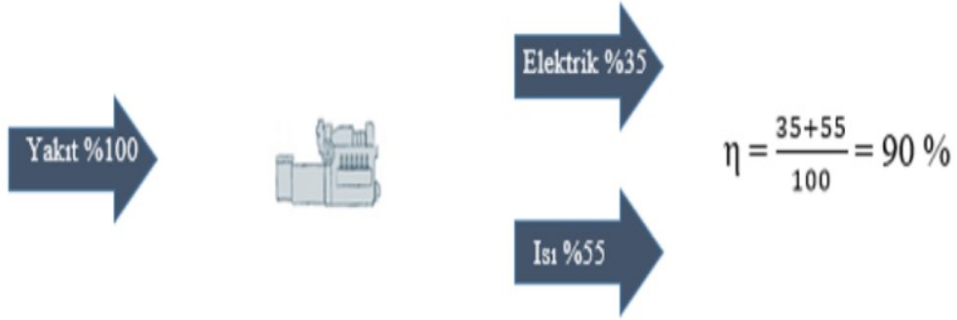
Isıl güç santralleri verimliliğini ele aldığımızda tek bir yakıt girdisi ile elektrik verimi %35 oranında, sistemden sağlanan ısı verimi ise %55 oranında hesaplanmıştır ve tek bir ısı güç santrali kurulmasıyla toplam verim yine Şekil 3.2 te gösterildiği üzere %90 olmaktadır.

İki sistem arasında değerlendirme yapılarak, geleneksel sistemler yerine tek bir sistem kurulması ile, toplamda %45 oranında verim artırılmaktadır.

GELENEKSEL ENERJİ ÜRETİMİNDE VERİMLİLİK



KOJENERASYON SİSTEMİNİN VERİMLİLİĞİ



Şekil 3.2. Kojenerasyon verimliliği (Öztürk H., Kaya D.,2014)

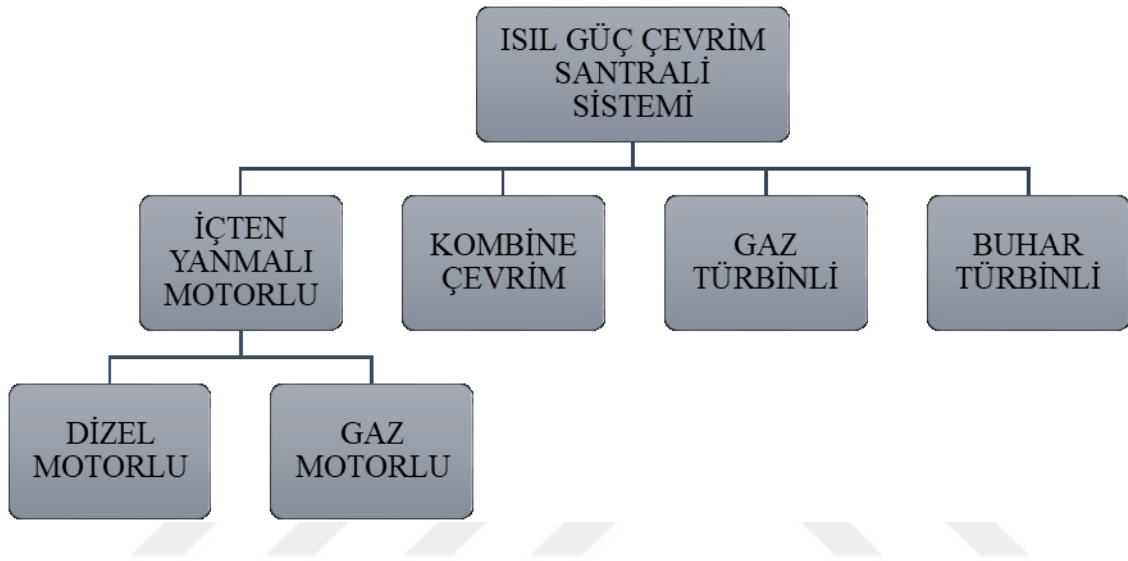
3.3. Isıl Güç Çevrim Santralleri Sistem Bileşenlerinin Tanımlanması

Isıl Güç Çevrim Santralleri toplamda dört ana sistem bileşeninden oluşmaktadır. Bunları sıralarsak,

- Güç üreten sistem bileşenleri
- Trafo ve OG sistem bileşenleri
- Atık Isı Geri Kazanım Sistem bileşenleri
- Kontrol sistemi bileşenleri olarak gruplandırılabilir.

3.3.1. Güç üreten sistem bileşenleri

Güç üreten sistem bileşenleri genel olarak dört ana grupta listelenmektedir. Şekil 3.3.' te gösterildiği üzere sistemler, içten yanmalı motor, kombine çevrim, gaz türbinli ve buhar türbinli sistemler olarak çeşitlendirilmektedir.

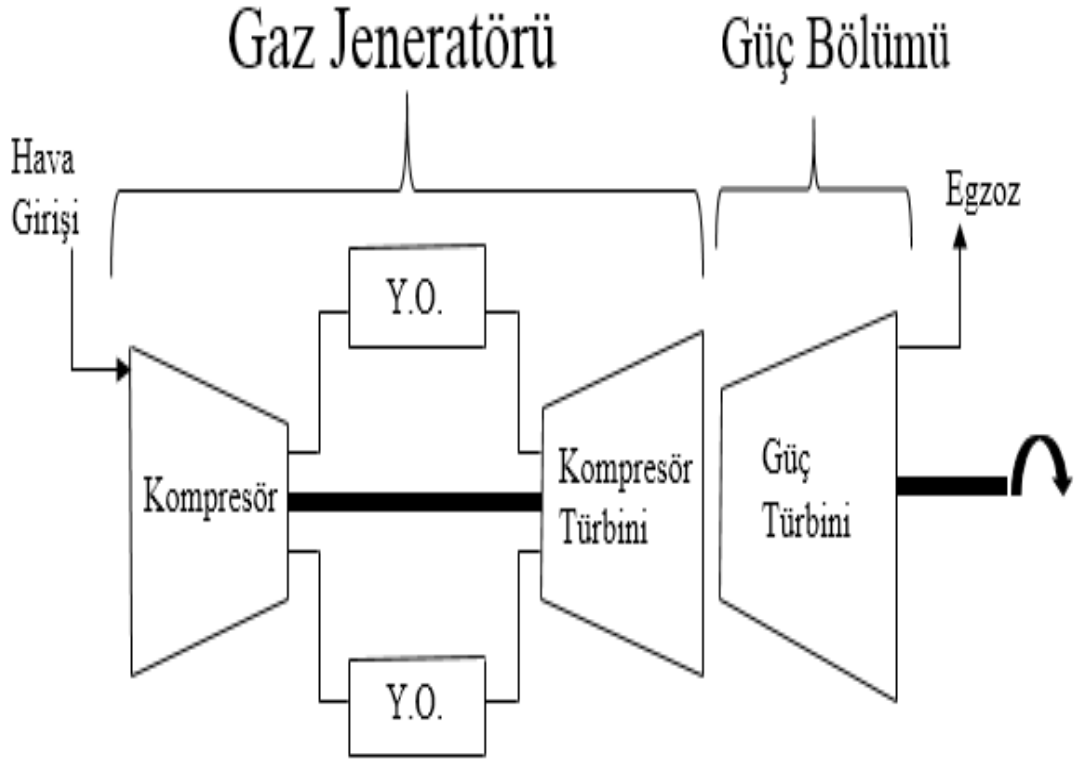


Şekil 3.3. Isıl Güç Çevrim Santrali Sistemlerinin Çeşitleri

(i) 3.3.1.1. Gaz Türbinli Isıl Güç Çevrim Santrali

Gaz türbinli ısı gücü çevrim santrallerinin çalışma prensibi, kompresör vasıtasıyla şekil 3.4.'te görüldüğü üzere, sıkıştırılan hava ile yakıt karışımı karıştırılarak yanma sağlanır. Yanma sonucu elde edilen enerji türbin bölümüne aktararak, türbinin mekanik olarak dönmesini ve elektrik üretilmesini sağlamaktadır.

Gaz türbinlerinde yakıt olarak en çok doğal gaz kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra biyogaz, gazyağı, damıtılmış yağlar, LPG ve sıvı yakıtlarda kullanılmaktadır. Gaz türbin sistemleri yüksek hız ve sıcaklıkta çalışan sistemlerdir. Bu nedenle kullanılan yakıt kaliteli olmalıdır. Yanma gazlarının içerisinde türbin kanatlarında aşınmaya neden olabilecek partikül bulunmamalıdır. Ayrıca korozyona neden olabilecek istenmeyen bileşenler de belirli bir seviyede olmalıdır (Sancar, 2010).



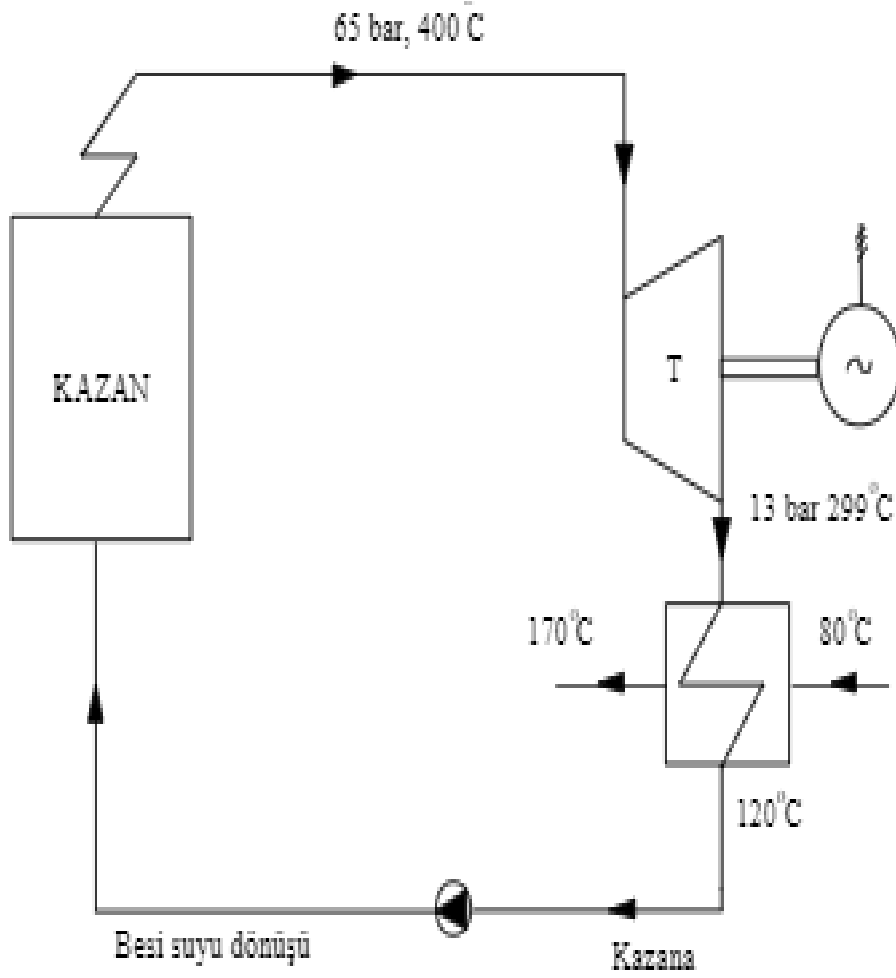
Şekil 3.4. Gaz türbininin bileşenleri (Öztürk H., Kaya D., 2014)

(ii) 3.3.1.2. Buhar Türbinli Isıl Güç Çevrim Santrali

Buhar türbinli ısı gücü çevrim santrallerini tanımlarsak, kazanda üretilen buhar, sistemde bulunan türbine aktararak sistemde elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Buhar türbinli ısı gücü çevrim santralleri buhar türbininden çıkış basıncına göre iki kısım olarak incelenmektedir. Karşı basınçlı türbin sistemi ve ara buhar almalı buhar türbinli sistem olarak ikiye ayrılır. Buhar türbinli ısı gücü santrallerinde Rankine çevrimi uygulanmaktadır.

1) 3.3.1.2.1. Karşı basınçlı buhar türbinli ısı gücü çevrim santrali

Bu santraller sistemde gerekli ısı ve elektrik ihtiyacının sabit olduğu ve zamanla değişmediği durumlarda kullanılmaktadır. Şekil 3.5. te de gösterildiği gibi kazanda üretilen buhar, buhar türbininden geçirilmekte ve türbin sonrasında sabit değerde enerji üretilmektedir.

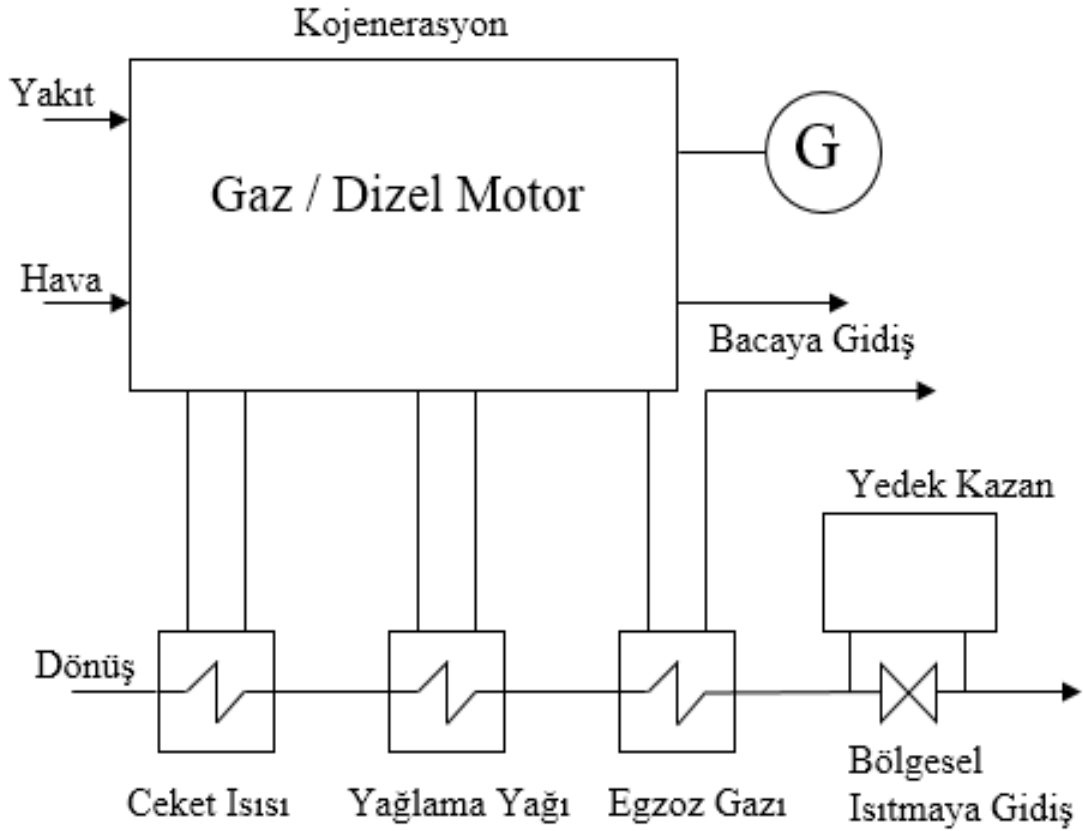


Şekil 3.5. Karşı basınçlı buhar türbinli ısı güç çevrim santrali gösterimi

2) 3.3.1.2.2. Ara Buhar Almalı Buhar Türbinli Isıl Güç Çevrim Santrali

Ara buhar almalı buhar türbinli ısı güç çevrim santralleri ise ısı gereksiniminin elektriğe göre değişken olduğu durumlarda seçilir. Şekil 3.6.'da de gösterildiği gibi kazanda üretilen buhar, buhar türbinlerinden ayrı ayrı geçirilmekte ve türbin sonrasında değişken değerlerde enerji üretilmektedir.

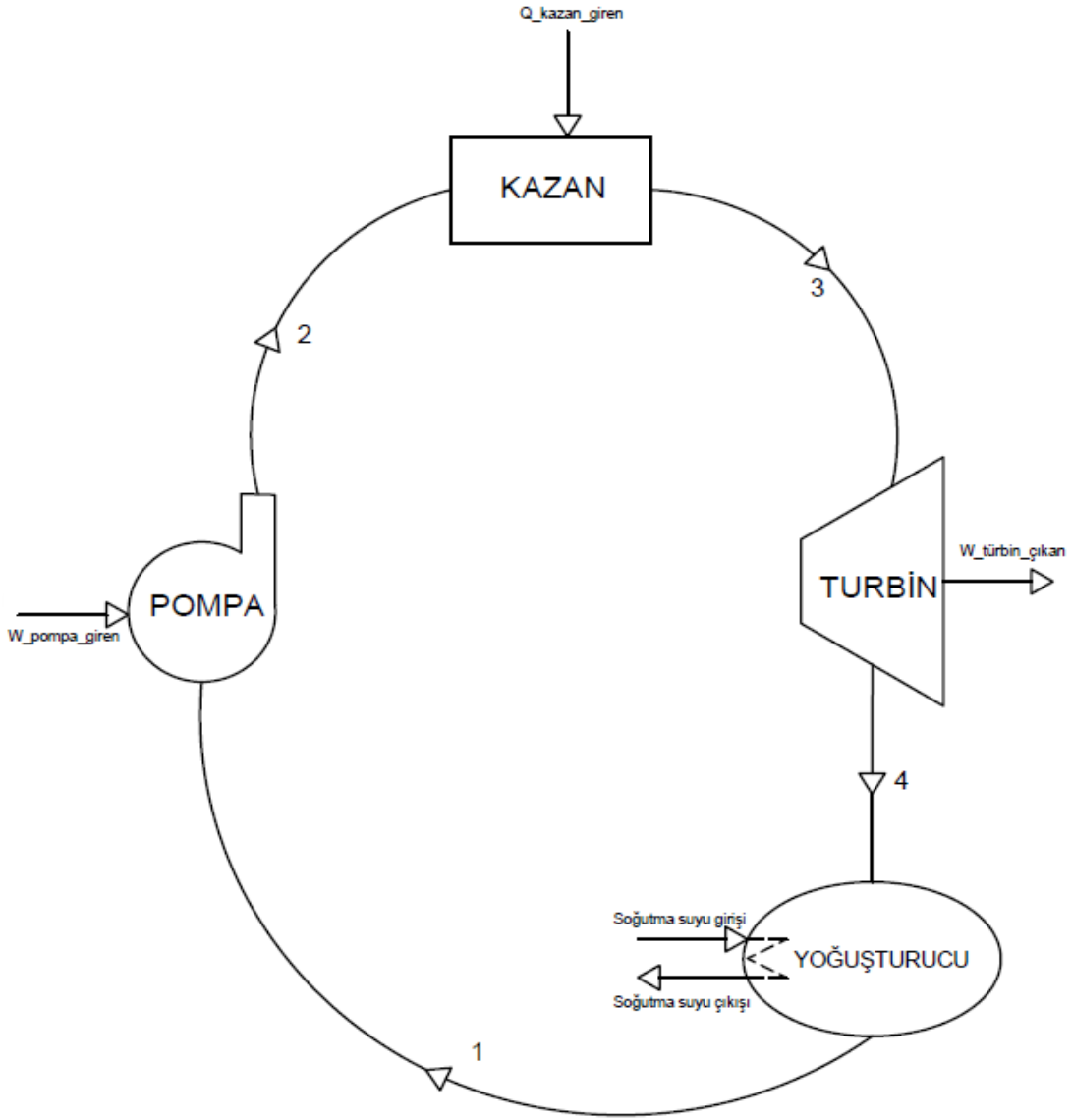
Egzoz gazlarından ısı geri kazanımı ile sıcak su veya düşük/yüksek basınçlı buhar üretimi mümkündür. Gaz/dizel motorlu ısı güç çevrim santrali şeması şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Gaz/Dizel Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrali Şeması (Öztürk H., Kaya D., 2014)

(iv) 3.3.1.4. Kombine Çevrim Isıl Güç Çevrim Santrali

Gaz türbini ile buhar türbininin birlikte kullanılarak elektrik üretimi gerçekleştirilen sistemlerdir. Öncelikle bir ısı güç santralini ele aldığımızda sistemin bileşenleri temel olarak pompa, kazan, türbin ve yoğuşturucudan oluşur. Isıl güç santrallerinde genellikle akışkan olarak su kullanılır. Sistemin enerjisi akışkan su vasıtasıyla transfer edilir. Sistemin çalışma prensibi temel olarak pompa ile basınçlandırılan su kazana gönderilerek, yakıt yakılarak kazanda ısı enerjisi elde edilir. Kazan içerisinde dolaşan suyu kazan yakıtı vasıtasıyla yüksek basınçta kızgın buhar elde edilerek, türbine aktarılır.



Şekil 3.8. İdeal rankine çevrimi

Yukarıda şekil 3.8.'de ideal Rankine çevrimi gösterimi bulunmaktadır. Yüksek basınca sahip kızgın buhar türbin kanatçıklarına çarparak, sistemden mekanik enerji eldesi sağlanır. Türbinin mekanik milindeki jeneratör vasıtasıyla mekanik enerjiden elektrik enerjisi elde edilir. Böylelikle sistemden elektrik elde edilmesi bu şekilde gerçekleşir. Buhar türbininden daha düşük basınçta çıkan buhar ise yoğuşturucudan geçirilir ve sıcaklığı düşürülerek buhar fazından sıvı fazına geçişi sağlanır. Yoğuşturucudan çıkan düşük sıcaklık ve düşük basınçtaki sıvı tekrar pompaya aktarılarak döngü tamamlanmış olur. Bu şekilde çalışan santrallere birleşik ya da kombine ısı güç santrali denmektedir. Bu santrallerde genellikle ideal Rankine çevrimi kullanılmaktadır.

İdeal Rankine çevriminde içten tersinmezliğin olmadığı 4 hal değişimi vardır.

1-2 Pompayla izantropik sıkıştırma

2-3 Kazanda, sisteme sabit basınçta (P) ısı geçişi

3-4 Türbinde izantropik genişleme

4-1 Yoğuşturucuda, sistemden sabit basınçta (P) ısı atılması

Sistem tasarımı yapılırken aşağıdaki varsayımlar kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır.

- Sistemin tüm bileşenleri kararlı rejim şartları altındadır.
- Gaz fazında olan hava ve egzoz gazları için ideal gaz denklemleri kabul edilmiştir.
- Yanma odasında yanma reaksiyonlarının tamamı bitirilerek, yanma tamamen gerçekleşmiştir.
- Potansiyel ve kinetik enerji farklılıkları yok sayılmıştır.

3.3.2. Trafo Ve OG Sistem Bileşenleri

Sistemde üretilen mekanik enerji, elektrik enerjisine dönüştürme esnasından ve sonrasında işletmeye elektrik verilmesini sağlayan elektrik sistemlerine denir.

3.3.3. Atık Isı Geri Kazanım Sistem Bileşenleri

Isıl güç çevrim santrallerinde sistem çıkışında egzoz olarak atık ısının değerlendirilmesi ile oluşturulan sistemlerdir. Genellikle baca çıkışına ekonomizer ya da reküperatör uygulaması ile ısı güç çevrim santralinde kullanılmayan ve baca yoluyla atılan ısının tekrar sisteme verilmesi yöntemi ile oluşturulmaktadır. Baca gazından çıkan sıcaklık doğalgaz yakıtı kullanılması durumunda ortalama 140 °C olabilmektedir.

Isıl güç santrali sistemlerinde elde edilen atık ısı enerjisinin kullanım yerleri;

- Ortam ısıtma: Sıcak su, buhar, sıcak hava
- Kurutma prosesi: Sıcak su, buhar, sıcak hava veya gaz
- Yağ alma ve temizleme: Sıcak su
- Kazan besleme suyu ön ısıtma: Kızgın su
- Kızgın buhar üretimi: Kombine çevrimli santral
- Ergitme (plastik): Kızgın yağ üretme
- Absorbsiyonlu soğutma makinesi: İklimlendirme sistemi

Şeklindedir. (Çalışıcı, 2005).

3.3.4. Kontrol Sistemi Bileşenleri

Isıl güç çevrim santralinde sistemin takibini ve izlenebilirliğini sağlayan sistemlerdir. Sistemde oluşan güç bilgilerini, motor ve pompa çalışma bilgilerini, arıza bilgilerini tek bir kontrol ekranı ile görüntülenebilmektedir. Üretilen elektrik bilgisini görerek, ihtiyaç durumundan fazla üretimin şebekeye aktarılma işlemleri de kontrol sistemi vasıtasıyla yapılabilmektedir.

3.4. Isı Güç Santrallerinde Termodinamiğin Birinci Kanunu

Bir ısı güç santralinde ideal rankine çevrimine göre ısı sistem bileşenleri arasındaki etkileşimin anlaşılması için her bir çevrim elemanına termodinamiğin 1.kanunu uygulanmaktadır.

Termodinamiğin birinci kanunu ile toplam enerjinin sabit kalması koşulu ile enerjinin şekilden şekle dönüşebileceği, bir formdan başka bir forma geçebileceği, sistemde bulunan bir çevrim elemanından diğer çevrim elemanına transfer olacağı anlatılmaktadır. Toplamda enerji miktarının değişmeyeceği yani enerjinin bir formdan diğer bir forma geçeceği, enerjinin yok olmayacağı kısaca enerjinin korunumu olarak da tanımlanır.

3.4.1. Kütle Korunumu Kanunu

Kütle korunumu kanunu sonucu sisteme giren kütle çıkan kütleye eşittir.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi \quad (3.1)$$

(3.1.a)

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

3.4.2. Enerjinin Korunumu Kanunu

Termodinamiğin birinci kanununa göre enerjinin korunumu ile giren enerji çıkan enerji miktarına eşittir.

$$\dot{Q} + \dot{W} = \sum \dot{m}_\varphi U_\varphi - \sum \dot{m}_g U_g \quad (3.2)$$

Bu eşitliklerde,

\dot{m} Kütleli debi, \dot{Q} Toplam net ısı girişi, \dot{W} Toplam net iş girişi, \dot{h} Entalpi, g ve ç indisleri ise giren ve çıkan anlamında kullanılmaktadır.

3.4.3. İdeal Rankine Çevrimi Bileşenleri İçin Birinci Kanun Analizi

(v) 3.4.3.1.Pompa Bileşeni İçin Kütleli Korunumu

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_{SU} \quad (3.3)$$

(vi) 3.4.3.2.Pompa Bileşeni İçin Enerjinin Korunumu

$$\dot{m}_1 h_1 = \dot{m}_2 h_2 - W_P \eta_P \quad (3.4)$$

$$W_P = \dot{m}_s (h_2 - h_1) / \eta_P \quad (3.4.1)$$

3.4.4.Kazan Birinci Kanun Analizi

(vii) 3.3.4.1.Kazan Bileşeni İçin Kütleli Korunumu

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dot{m}_{SU} \quad (3.5)$$

(viii) 3.3.4.2.Kazan Bileşeni İçin Enerjinin Korunumu

$$\dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 - \dot{Q}_K \quad (3.6)$$

$$\dot{Q}_K = \dot{m}_{su} (h_3 - h_2) \quad (3.6.1)$$

3.4.5.Türbin Birinci Kanun Analizi

(ix) 3.4.5.1.Türbin Bileşeni İçin Kütleli Korunumu

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_{SU} \quad (3.7)$$

(x) 3.4.5.2.Türbin Bileşeni İçin Enerjinin Korunumu

$$\dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_4 h_4 + W_T \eta_T \quad (3.8)$$

$$W_T = \dot{m}_s (h_3 - h_4) / \eta_T \quad (3.8.1)$$

3.4.6.Yoğuşturucu Birinci Kanun Analizi

(xi) 3.4.6.1.Yoğuşturucu Bileşeni İçin Kütleinin Korunumu

$$\dot{m}_4 = \dot{m}_1 = \dot{m}_{SU} \quad (3.9)$$

$$\dot{m}_{SS1} = \dot{m}_{SS2} = \dot{m}_{SS} \quad (3.9.1)$$

(xii) 3.4.6.2.Yoğuşturucu Bileşeni İçin Enerjinin Korunumu

$$\dot{m}_4 (h_4 - h_1) = \dot{m}_{SS} (h_{SS2} - h_{SS1}) \quad (3.10)$$



4. MATERYAL METOD

Endüstriyel bir tesiste enerji maliyetlerini düşürmek amacıyla aylara göre tüketilen elektrik miktarı ile işletme içinde bulunan proseslerde kullanılan buhar kapasitesi ihtiyaçları aylık olarak toplamda bir sene boyunca ölçülmüştür ve 2018 yılına ait tüketim değerleri elde edilmiştir.

Bu çalışma ile endüstriyel bir tesiste 2018 yılı elektrik ve buhar kullanım miktarına göre analiz yapılarak (elektrik ve buhar kullanan kapasitelerin değişmediği yada sabit kaldığı varsayımı yapılmıştır.) tesise en uygun gaz motoru modelinin seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Kurulması düşünülen sistemin yakıt cinsinin doğalgaz olarak seçilmesine ve gaz motorlu sistem olarak dizayn edilmesine karar verilmiştir. Gaz motorlu ısıl güç çevrim santrallerinin tüketim ve kapasite bilgilerine göre enerji ve termoekonomik analizi yapılmıştır. Verim artırıcı etkenler ve verim artırma oranları ile ilgili bilgiler verilmiştir.

4.1. Endüstriyel Tesisin Elektrik Enerjisi İhtiyacının Belirlenmesi

Endüstriyel tesisin 2018 yılına dair toplam elektrik tüketim toplamı aylık olarak bir yıl boyunca çizelge halinde verilmiştir.

Aşağıda Çizelge 4.1. ile gösterilen Akedaş'ın 2018 yılı yayınladığı fiyatlandırma verileri alınarak tablo hazırlanmıştır ve bu bilgiler ışığında tesisten alınan elektrik tüketim bilgileri birleştirilerek Çizelge 4.2. ile 2018 yılı elektrik tüketimi ve şebekeden elektrik alınması durumundaki aylık maliyetlerin hesaplaması yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Akedaş Ocak 2018 yılı birim fiyat tablosu

BİRİM FİYAT	GÜNDÜZ	PUANT	GECE
TARİFE GRUBU: Üç Zamanlı	06:00 -17:00	17:00 -22:00	22:00 -06:00
Mesken (TL/kwh)	0,4463	0,6769	0,2797
Ticarethane (TL/kwh)	0,4501	0,6807	0,2835
Toplam saat	11	5	8
BİRİM FİYAT ORTALAMA (TL/kwh)	0,442608333		

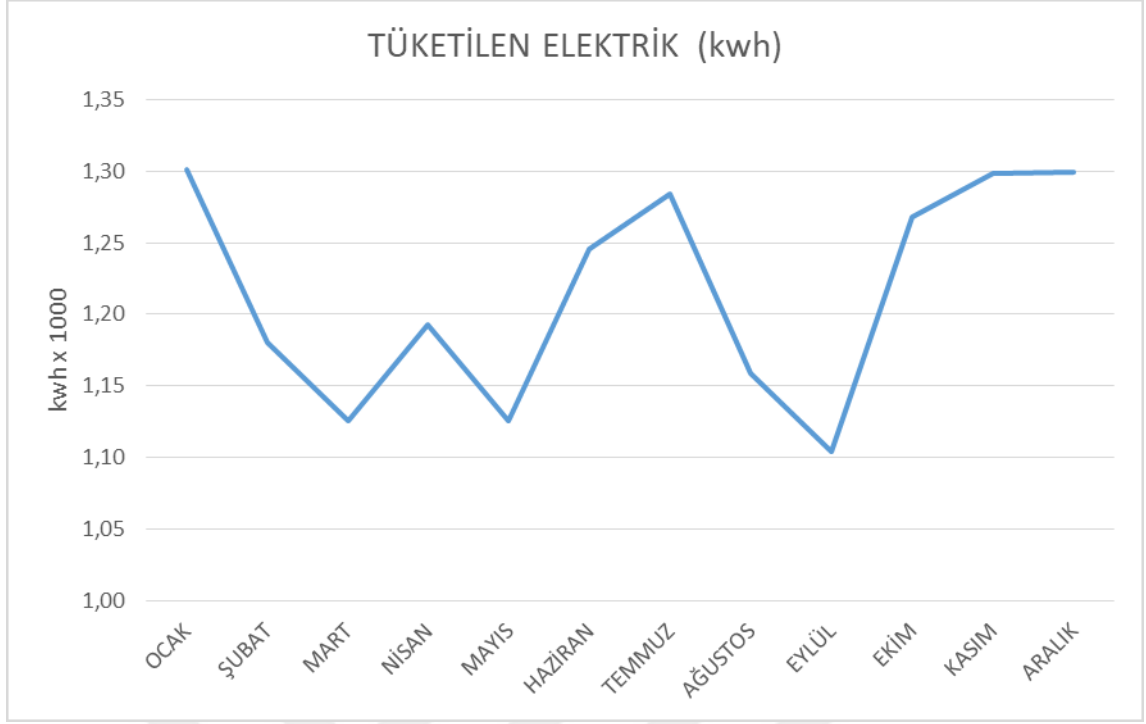
Endüstriyel tesise dair yıllık elektrik tüketimi ve güncel maliyet hesaplanmış ve çizelge 4.2. de verilmiştir. Ayrıca Çizelge 4.2. de bir yıllık tüketim değerleri elektrik

faturalarında belirtilen kwh birim cinsinden alınarak, güncel ortalama birim elektrik maliyet fiyatı ile çarpılmış ve tesisin güncel elektrik giderleri bulunmuştur.

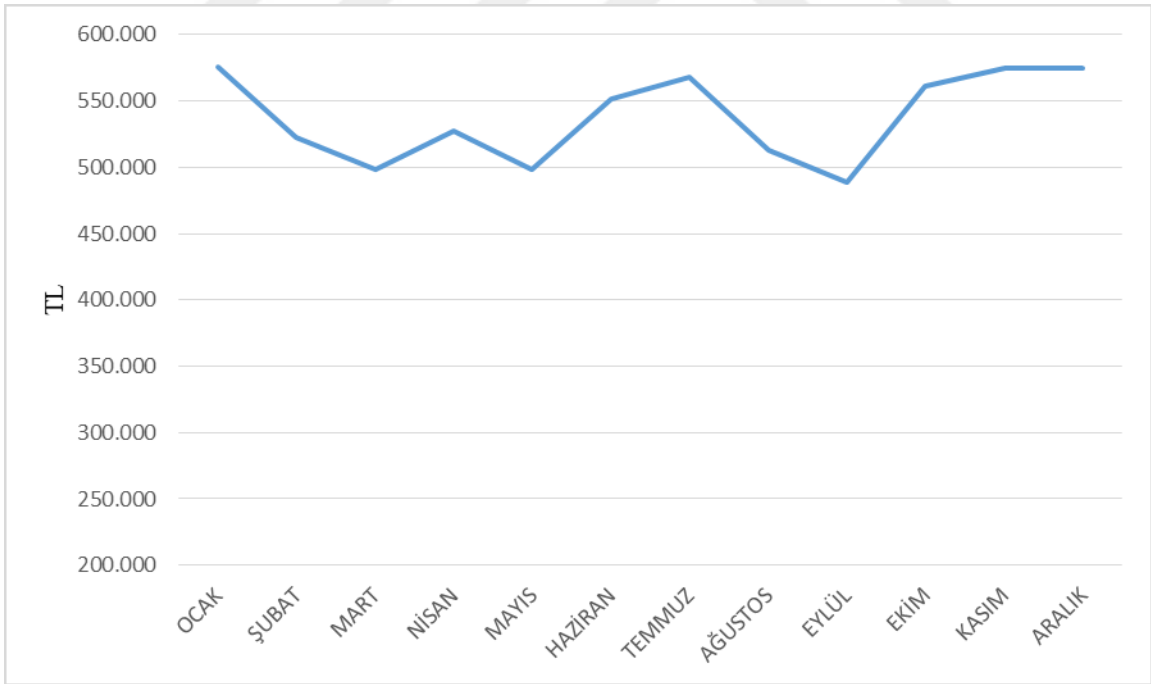
Çizelge 4.2. Endüstriyel Tesisin 2018 yılı elektrik tüketimi ve maliyeti

AYLAR	TÜKETİLEN ELEKTRİK (kwh)	MALİYET (ŞEBEKEDEN ALINDIĞINDA) (TL)
OCAK	1.300,78	575.740
ŞUBAT	1.180,53	522.510
MART	1.125,88	498.320
NİSAN	1.192,46	527.790
MAYIS	1.125,26	498.050
HAZİRAN	1.245,97	551.480
TEMMUZ	1.284,31	568.450
AĞUSTOS	1.159,13	513.040
EYLÜL	1.104,59	488.900
EKİM	1.267,59	561.050
KASIM	1.298,52	574.740
ARALIK	1.299,49	575.160
TOPLAM	14.584,50	6.455.220
ORTALAMA	1.215,37	

Çizelge 4.2. incelendiğinde, endüstriyel tesisin 2018 yılı ortalama elektrik birim fiyatları baz alınarak hesaplanan yıllık toplam elektrik enerjisi tüketimi 14.584.498 kwh ve bu tüketiminden kaynaklanan toplam maliyet 6.455.220,35 TL dir. Şekil 4.1. de aylık bazda elektrik tüketim maliyetleri kwh olarak grafikte gösterilmiştir. Şekil 4.2.'de de maliyetler TL cinsinden grafikte gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı aylara göre tüketilen elektrik enerjisi



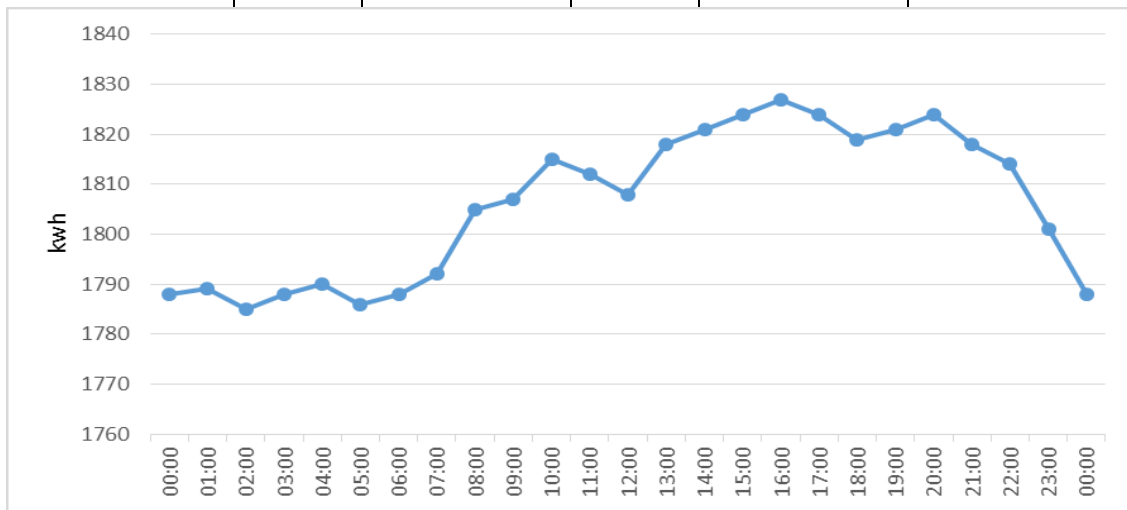
Şekil 4.2. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı aylara göre tüketilen elektrik enerjisi maliyetinin değişimi

Endüstriyel tesisin elektrik ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda aylık elektrik tüketiminin en düşük olduğu ay 1.104.587 kwh ile Eylül ayında tespit edilmiştir. Elektrik tüketiminin en yüksek olduğu ay ise 1.300.782 kwh ile Ocak ayında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Aşağıda bulunan Çizelge 4.3. ile endüstriyel tesisin elektrik tüketiminin en yüksek olduğu ay olan Ocak ayında herhangi bir güne ait olan elektrik tüketimi (kwh) saatlik değişimi verilmiştir. Şekil 4.3. ile de saatlik elektrik tüketim miktarları grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Endüstriyel tesisin Ocak ayı örnek bir gün elektrik tüketim miktarı

SAAT	TÜKETİLEN ENERJİ kwh	SAAT	TÜKETİLEN ENERJİ kwh
00:00	1788	13:00	1818
01:00	1789	14:00	1821
02:00	1785	15:00	1824
03:00	1788	16:00	1827
04:00	1790	17:00	1824
05:00	1786	18:00	1819
06:00	1788	19:00	1821
07:00	1792	20:00	1824
08:00	1805	21:00	1818
09:00	1807	22:00	1814
10:00	1815	23:00	1801
11:00	1812	00:00	1788
12:00	1808		



Şekil 4.3. Endüstriyel işletmenin Ocak ayı örnek bir gün elektrik tüketim miktarı

4.2. Endüstriyel Tesisin Buhar Enerjisi İhtiyacının belirlenmesi

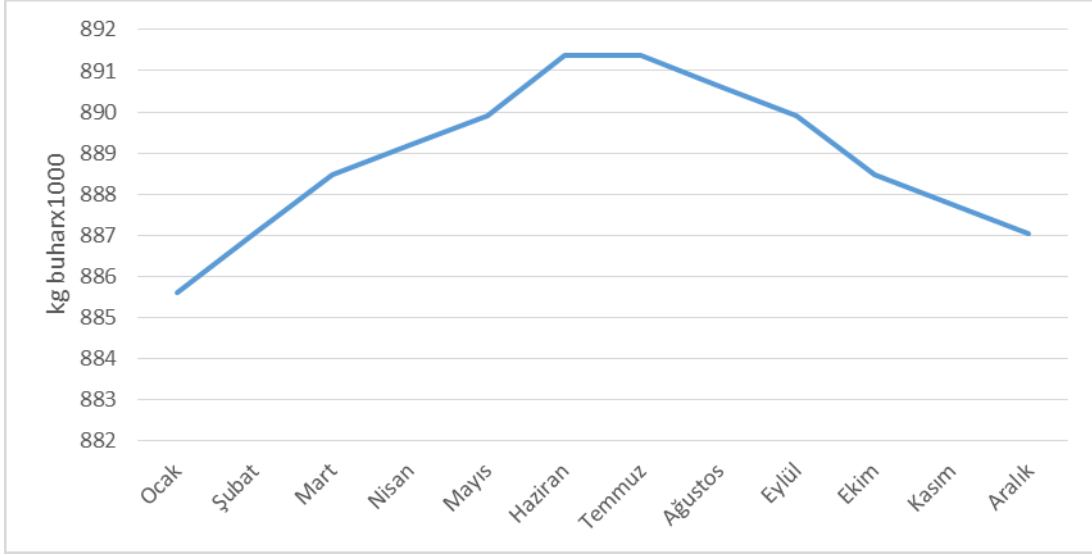
Endüstriyel tesiste proseslerde kullanılan buhar üretimi mevcutta bulunan 2000 kg/h, 1.200.000 kcal/h kapasiteli, 7 bar çalışma basıncı olan skoç tip buhar kazanından karşılanmaktadır. 2018 yılı buhar ihtiyacı verileri kazan üzerinde bulunan buhar sayacından alınan değerlere göre çıkarılmıştır. Endüstriyel tesisten alınan bu bilgiler ışığında 2018 yılı proseslerde kullanılan toplam buhar ihtiyacı aşağıda bulunan Çizelge 4.4. ile tablo haline getirilmiş ve şekil 4.4. ile kg/h cinsinden grafikte gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Endüstriyel Tesisin 2018 yılı aylara göre buhar ihtiyacı

Aylar	Buhar İhtiyacı (Kg/h)	Aylık Toplam Buhar İhtiyacı (Kg Buhar)
Ocak	1230	885600
Şubat	1232	887040
Mart	1234	888480
Nisan	1235	889200
Mayıs	1236	889920
Haziran	1238	891360
Temmuz	1238	891360
Ağustos	1237	890640
Eylül	1236	889920
Ekim	1234	888480
Kasım	1233	887760
Aralık	1232	887040

Çizelge 4.4.'e göre göre buhar kapasitesi tüketimi en düşük Ocak ayında saatlik 1230 kg/h aylık 885.500 kg ile en yüksek buhar kapasitesi tüketimi ise saatlik 1238 kg/h kapasite ve 891.360 kg ile Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Buhar tüketiminin en yüksek olduğu aylardan olan Temmuz ayı herhangi bir gün için, endüstriyel tesisten alınan buhar ihtiyacı kapasitesi verileri saatlik değişimi Çizelge 4.5. te verilmiştir.

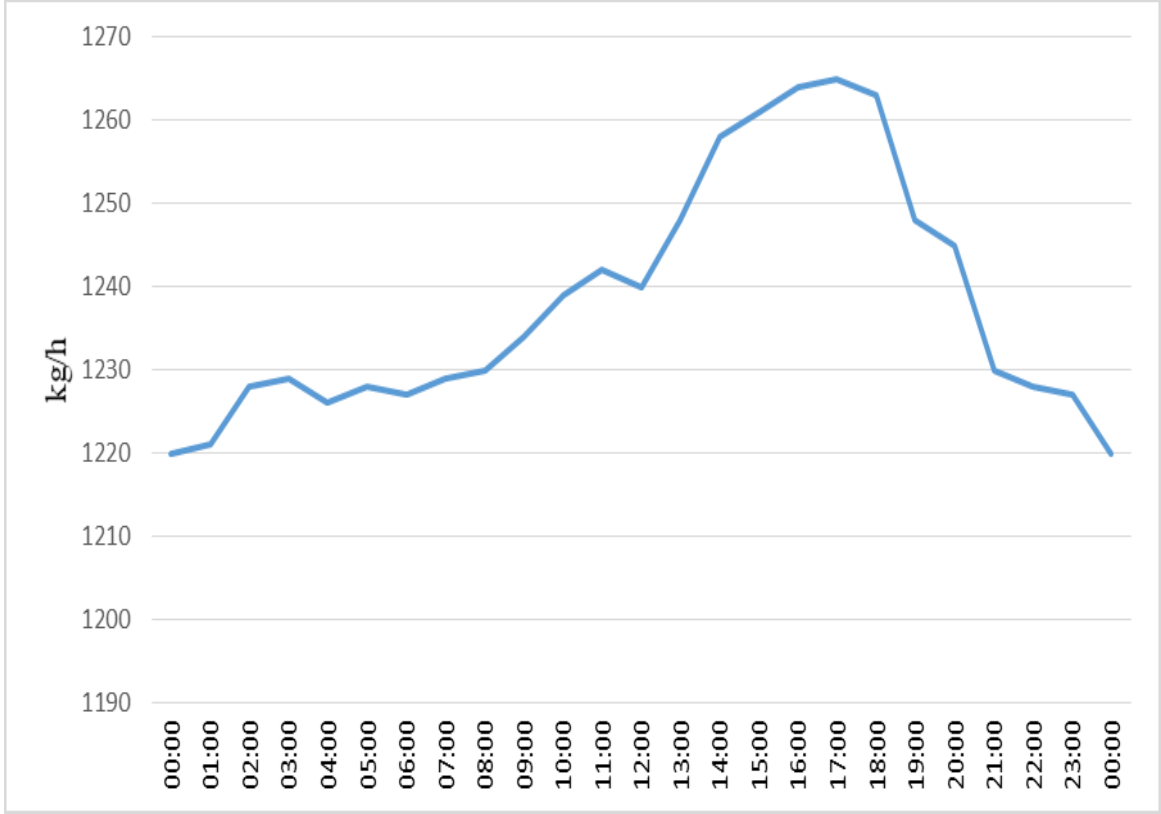


Şekil 4.4. Endüstriyel işletmenin aylara göre buhar ihtiyacı (kg/h)

Çizelge 4.5. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı Temmuz ayı örnek gün için buhar ihtiyacı

Saat	Buhar ihtiyacı (kg/h)	Saat	Buhar ihtiyacı (kg/h)
00:00	1220	13:00	1248
01:00	1221	14:00	1258
02:00	1228	15:00	1261
03:00	1229	16:00	1264
04:00	1226	17:00	1265
05:00	1228	18:00	1263
06:00	1227	19:00	1248
07:00	1229	20:00	1245
08:00	1230	21:00	1230
09:00	1234	22:00	1228
10:00	1239	23:00	1227
11:00	1242	00:00	1220
12:00	1240		

Çizelge 4.5.teki veriler ışığında Şekil 4.5. ile Temmuz ayı örnek bir gün için verileri toplanan değerlerden grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.5. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı Temmuz ayı örnek gün için buhar ihtiyacı

Gerçekleşen buhar ihtiyacı kapasitelerinden doğalgaz tüketimi ile 2018 yılı güncel doğalgaz bedeli çarpılarak aylık ve yıllık toplam doğalgaz maliyeti hesaplanmıştır. Buhar kazanı sistemi doğalgaz hattı üzerinde sayaç olmadığından dolayı buhar ihtiyacı kapasitesine göre doğalgaz tüketimleri hesaplanmıştır.

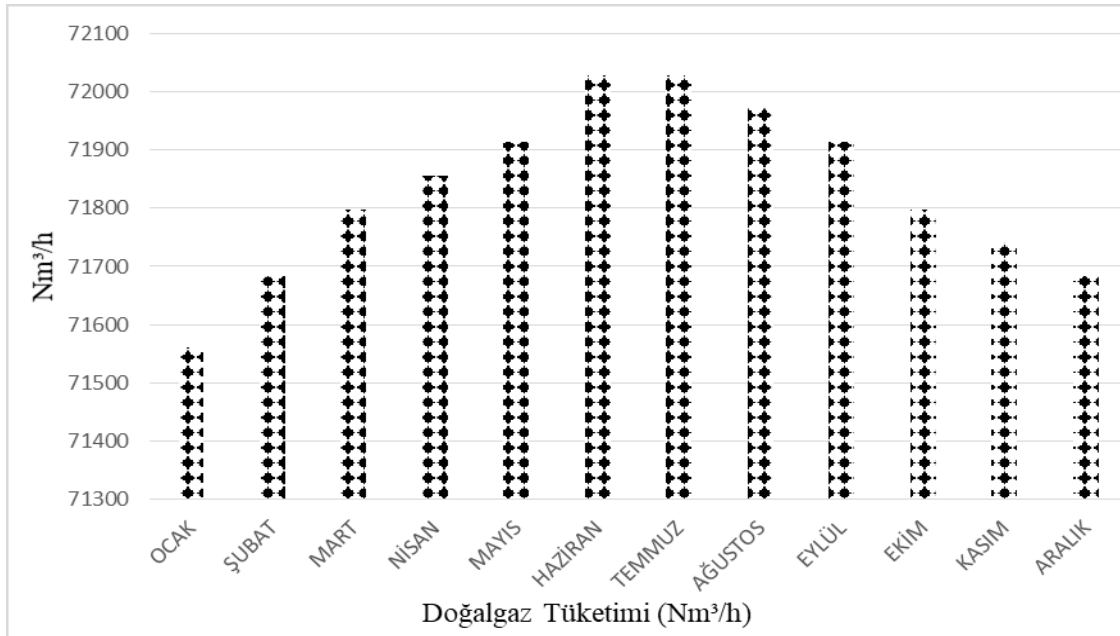
Kahramanmaraş ili için doğal gaz dağıtım hizmeti veren Armadaş Doğal Gaz Dağıtım A.Ş.' den alınan 2018 yılı birim fiyatların toplamının ortalama değeri alınmadan önce işletmenin tüketim tarifesinin senelik 0-100.000 m³ aralığındaki tarife değerine uyduğu belirlenmiştir. Bu şekilde endüstriyel işletmenin tüketim değeri 1,028 TL (KDV dâhil) olarak belirlenmiştir. Armadaş Doğal Gaz Dağıtım A.Ş.'ye ait 2018 yılı tüketim tarifeleri ve değerleri Ek.3 olarak verilmiştir.

Aşağıda Çizelge 4.6. ile aylık buhar tüketimine bağlı olarak kullanılan doğalgaz tüketim miktarı (Nm³/h) ve doğalgaz maliyeti tablosu oluşturularak; Şekil 4.6 ile aylık doğalgaz tüketim maliyeti grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. da verilen doğalgaz tüketim değerleri ışığında 2018 yılı toplam doğalgaz maliyeti 1.230.728,06 TL dir. Doğalgaz tüketiminin ve doğalgaz yakıt maliyetinin en yüksek olduğu ay buhar ihtiyacına paralel şekilde Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.6. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı aylara göre doğalgaz tüketimi ve maliyeti

AYLAR	DOĞALGAZ TÜKETİMİ (Nm ³ /h)	AYLIK DOĞALGAZ TÜKETİMİ Nm ³
Ocak	99,39	71.560,80
Şubat	99,56	71.683,20
Mart	99,72	71.798,40
Nisan	99,8	71.856,00
Mayıs	99,88	71.913,60
Haziran	100,04	72.028,80
Temmuz	100,04	72.028,80
Ağustos	99,96	71.971,20
Eylül	99,88	71.913,60
Ekim	99,72	71.798,40
Kasım	99,64	71.740,80
Aralık	99,56	71.683,20
Toplam Doğalgaz Tüketimi (2018 Yılı)		861.976,80 Nm³



Şekil 4.6. Endüstriyel işletmenin 2018 yılı aylara göre doğalgaz tüketimi

4.3. Endüstriyel Tesis İçin Isıl Güç Çevrim Santrali Sistemi Seçimi

Endüstriyel Tesisin enerji ihtiyaçlarının temin edilmesinde öncelikle elektrik ve buhar ihtiyaçlarının karşılanması amaçlanmıştır. Bu iki tüketimin aynı cihazdan karşılanması ve en yüksek verimin elde edilmesi için ayrı ayrı sistemler yerine ısıl güç santrali kojenerasyon sistemi tercih edilmiştir. Sistem kurulmasında, kullanılacak gaz motoru bilgileri üretici firma tarafından belirtilen motor çalışma bilgilerine ve kapasitelere göre seçim yapılmıştır. Ek olarak, endüstriyel tesisin elektrik tüketim ihtiyacının sorunsuz sağlanabilmesi için kurulacak sistemin elektrik dağıtım şebekesi ile paralel çalışabileceği bir sistem kurulması amaçlanmıştır.

Üretilen yararlı ısı güç birimi başına çevreye atılan katı, sıvı ve gaz madde miktarının, yalnız elektrik üreten merkezi santrali veya yalnız buhar üreten bir endüstri kazanına göre daha az olması nedeniyle bu sistem seçimine karar verilmiştir. Yakıt türü olarak incelendiğinde, endüstriyel tesis içerisinde mevcut bir doğalgaz altyapısı bulunması ve doğalgazın diğer fosil yakıtlara oranla hem daha uygun hem de daha temiz bir yakıt türü olduğundan kullanımına karar verilmiştir.

Endüstriyel tesisin aylık elektrik ihtiyacı incelendiğinde, Çizelge 4.2.'de oluşturulan 2018 yılı gerçekleşen tüketim verilerine göre aylık minimum elektrik tüketiminin eylül ayında, aylık maksimum elektrik tüketiminin ise ocak ayında gerçekleştiği görülmüştür. Ocak ayının tüketim değeri 1.300.782 kwh, eylül ayının tüketimi ise 1.104.587 kWh'tır.

Endüstriyel tesisin buhar kapasitesi ve buna bağlı olarak doğalgaz yakıt tüketimini ise, Çizelge 4.4.'e göre göre buhar kapasitesi tüketimi en düşük Ocak ayında 1230 kg/h, en yüksek buhar kapasitesi tüketimi ise 1238 kg/h kapasite ile Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleştiği tespit edilmiştir.

İşletmenin elektrik enerjisini ve buhar tüketimini karşılayacak şekilde sistem arayışı sonrası, bu iki enerjiyi de aynı sistemden karşılayacak kojenerasyon gaz motoru seçimine karar verilmiştir. Hem ayrı ayrı tüketimleri tek bir cihaz ile üretmek amaçlanmıştır. Hem de ayrı ayrı cihazlar ile enerjiyi üretmek yerine tek cihaz ile yatırım, tesislendirme maliyetleri düşürülmüştür. Elektriği şebekeden almak ile işletmenin kullanacağı elektriği kendisinin üretmesi arasında kıyaslamalar yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucu üretici firmaların modelleri üzerinden kıyaslama yapılarak, MWM marka üzerinden iki model uygun bulunarak, bu kapasiteler üzerinden

çalışmalar yapılmıştır. Şekil 4.7.'de gaz motoruna dair görseli bulunan TCG 2020 V20 ile TCG 2020 V16 gaz motoru arasında kıyaslama yapılmıştır.



Şekil 4.7. MWM Marka Gaz Motoru Görseli

4.4. Isı Güç Çevrim Santralinin Dizayn Edilmesi

Endüstriyel işletmeye dair elektrik tüketimi ve buhar kullanımı kapasitelerini göz önünde bulundurarak, 2018 yılı toplam elektrik tüketim değeri 14.584.498 kwh, toplam buhar tüketimi 10.666.800 kg buhar, toplam doğalgaz tüketimi ise 861.976,80 Nm³ tür. Bu veriler ışığında kapasitelere en uygun olan iki model arasından seçim yapmak üzere enerji ve termoeconomik analizler yapılmıştır.

Aşağıdaki Çizelge 4.7. de en uygun iki model için üretici firmadan alınan kapasiteler tablo olarak hazırlanmıştır.

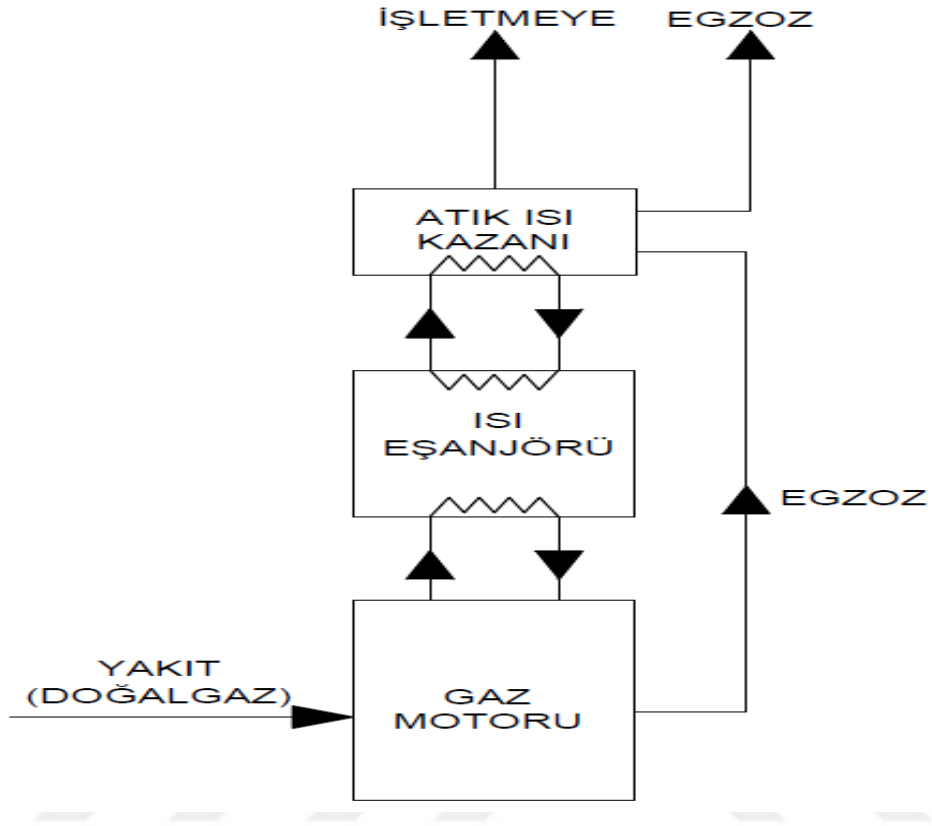
Çizelge 4.7. Seçilen iki model gaz motoru üretici firma kapasiteleri

GAZ MOTORU MODELİ	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Mekanik gücü	1605 kw	2056 kw
Elektrik gücü	1560 kw	2000 kw
Yakıt tüketimi	3608 kw	4577 kw
Egzoz ısısı	806 kw	972 kw
Ceket suyu ısısı	774 kw	1005 kw
Intercooler ısı gücü	134 kw	178 kw

4.5. Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin Dizayn Edilmesi

Gaz motorlu ısıl güç çevrim santrallerinde atık ısıdan faydalanmak için, gaz motoru sonrası egzoz olarak atılan atık ısıdan yararlanma ve motor bloğunun ısı gücünden

yararlanacak şekilde atık ısı geri kazanım sistemleri dizayn edilmektedir. Şekil 4.8.'de gaz motorlu ısıl güç çevrim santralinin akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.8. Gaz Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrali Akış Şeması

Şekil 4.8.'de belirtilen gaz motorlu ısıl güç çevrim santralinin akış şemasına göre atık ısı geri kazanım sistemi dizayn edilebilmesi için üretici firmadan alınan gerekli bilgiler Çizelge 4.8.'de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Seçilen iki model gaz motoru verileri

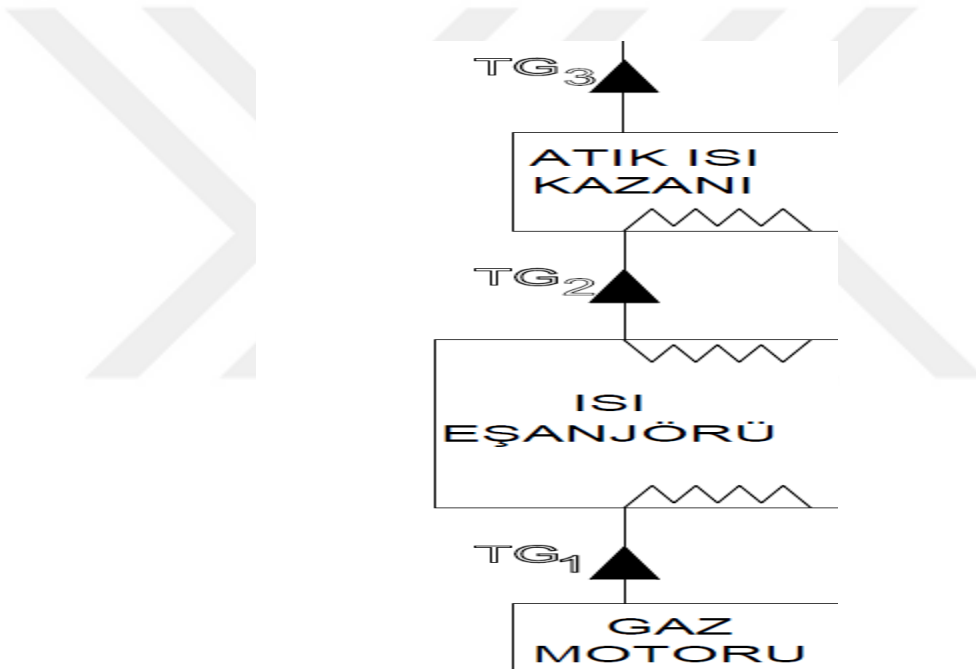
GAZ MOTORU MODELİ	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Egzoz Gaz Çıkış Sıcaklığı	430 °C	414 °C
Egzoz Debisi	8530 kg/h	10851 kg/h
Doğalgaz yakıt tüketimi	3608 kw	4577 kw
Egzoz Isısı	806 kw	972 kw

Atık ısı geri kazanım sistemi yapılmadan önce, sistemde aşağıdaki durumlar varsayım olarak kabul edilmiştir.

- Sistem ekipmanları olan ısı eşanjörü ve atık ısı kazanı verimleri $\eta = 0.90$ olarak kabul edilmiştir.

- Sistem ve tüm bileşenler termodinamik açıdan dengededir.
- Sistemde kullanılacak akışkan olan suyun 80 m³/h debide ve 70 °C sıcaklıkta sisteme girdiği kabul edilmektedir.
- Sistemde kullanılacak akışkan olan suyun özgül ısısı (Cp) sabit kabul edilmiştir.

Şekil 4.9.'da gösterildiği gibi sistemde kullanılacak akışkan olan suyun 80 m³/h debide ve T değerinin 70 °C dönüş sıcaklığında olduğu varsayımının kabul edilmesiyle atık ısı sisteminin tasarımına başlanmıştır. Isı taşıyıcı olarak kullanılan su sıcaklığı önce ısı eşanjörü yardımıyla ceket suyu ısısını absorbe ederek T_{g2} sıcaklığına yükselmektedir. Daha sonra akışkan atık ısı kazanına gelerek T_{g3} sıcaklığında kazandan tüketim yerlerine gönderilmektedir.



Şekil 4.9. Atık Isı Kazanı Sistemi Sıcaklıklar Gösterimi

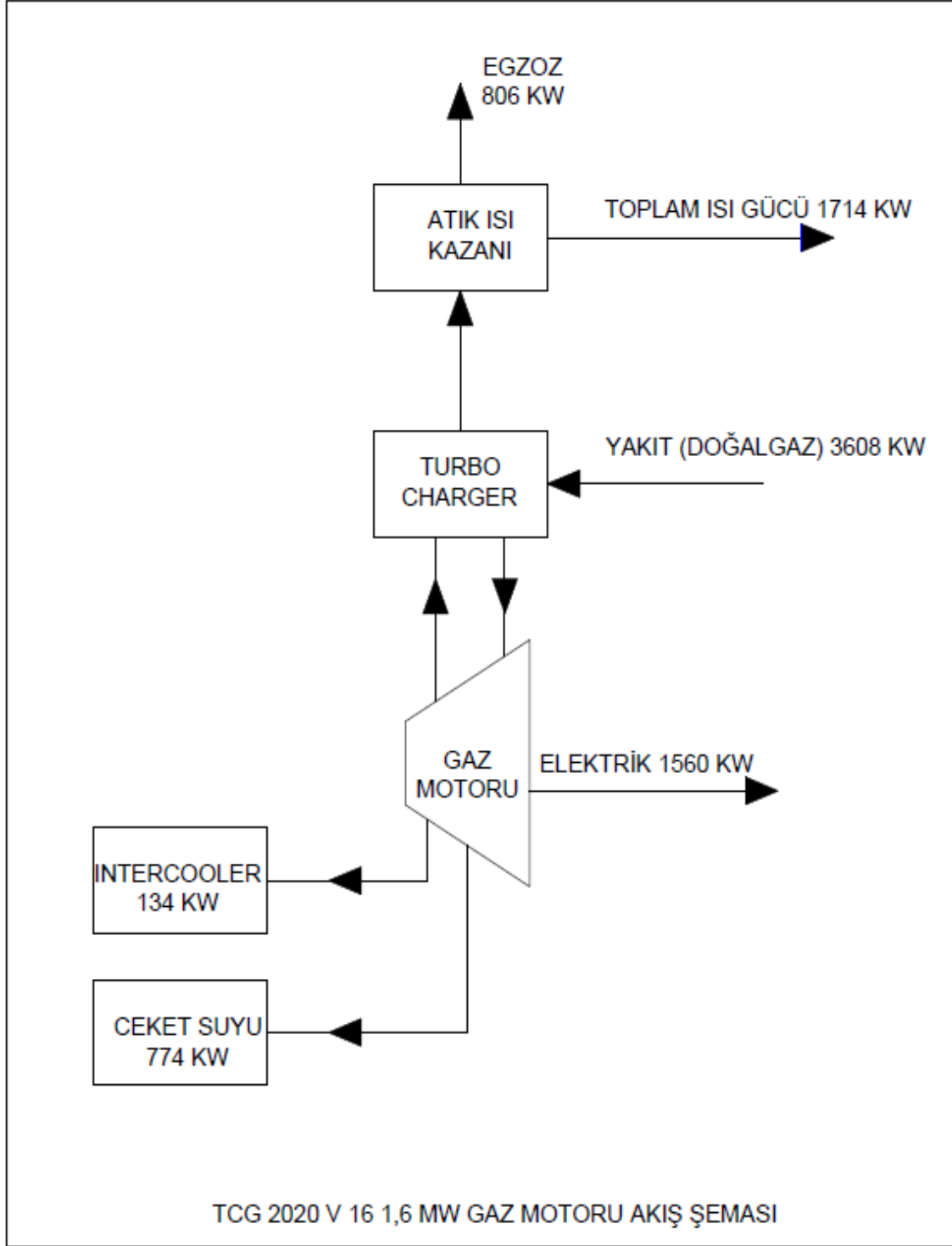
4.5.1. TCG 2020 V16 Gaz Motoru İçin Atık Isı Sisteminin Tasarım Hesaplamaları

Gaz Motoruna dair teknik katalogdan motorun %100 çalışma yükü için ceket suyu ısı yükü Çizelge 4.6'da belirtildiği üzere 774 kW tır. Denklem 4.1.'de ısı eşanjörü verimi ile ısı yükü çarpılarak suya geçen ısı enerjisi bulunur. Aşağıda şekil 4.10.'da TCG 2020 V16 gaz motoruna dair akış şeması bulunmaktadır.

$$Q_{\text{Isı Eşj}} = Q_{\text{Ceket suyu}} * \eta \text{ (Isı Eşanjörü verimi)} \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{Isı Eşj}} = 774 * 0.90 = 696,6 \text{ kW}$$

$Q_{\text{Isı Eşj}} = 696,6 \text{ kW}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.10. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru Sistemi ve Ekipmanları Akış Şeması

Gaz motorunun teknik kataloğundaki verilere göre %100 çalışma yükü için egzoz gazı özellikleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Baca gazı çıkış sıcaklığının düşebileceği minimum sıcaklık değerleri baca gazlarının yoğunlaşma sıcaklığı ile sınırlı olduğundan doğal gaz kullanımında ortalama baca gazı çıkış sıcaklığı 140 °C olarak kabul edilmektedir.

Egzoz gazından elde edilecek ısı enerjisi miktarı ise;

$$\eta (\text{Atık Isı Kazan Verimi}) = 0,90$$

Egzoz gazı için $C_p = 1,098 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{Egzoz}} = \dot{m}_{\text{egzoz}} * C_p * (T_{\text{çıkış egzoz}} - T_{\text{giriş egzoz}}) * \eta \quad (4.2)$$

$$Q_{\text{Egzoz}} = 2,37 \text{ kg/s} * 1,098 * (430 - 140) * 0,90 = 679,2 \text{ kW}$$

$Q_{\text{Egzoz}} = 679,2 \text{ kW}$ olarak hesaplanmıştır.

Tasarlanan atık ısı enerjisi geri kazanım sisteminde $80 \text{ m}^3/\text{h}$ debide ve $70 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta plakalı ısı eşanjörüne giren su, motor çalışma yüküne göre değişen motor blok ısısını ($Q_{\text{Eşanjör ısısı}}$) suya aktararak T_{g2} sıcaklığına ulaşmaktadır.

Suyun $70 \text{ }^\circ\text{C}$ de; yoğunluğu $\rho = 977,52 \text{ kg/m}^3$ ve özgül ısısı $C_p = 4.191 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ dir.

$$\dot{m}_{\text{esj}} = \rho * v \quad (4.3)$$

$$\dot{m}_{\text{esj}} = 977,52 * (80/3600) = 21,72 \text{ kg/s} \text{ olarak hesaplanır.}$$

T_{g2} sıcaklığı burada;

$$Q_{\text{Isı Eşj}} = \dot{m}_{\text{esj}} * C_p * (T_{g2} - T_{g1}) \quad (4.4)$$

$T_{g1} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ olduğundan,

$$T_{g2} = Q_{\text{Isı Eşj}} / (\dot{m} * C_p) + T_{g1}$$

$$T_{g2} = (696,6 / (21,72 * 4.191)) + 70$$

$$T_{g2} = 77.65 \text{ }^\circ\text{C}$$

Eşanjörde T_{g2} sıcaklığına yükselen su atık ısı kazanına girerek burada egzoz gazlarından elde edilen ısı enerjisini absorbe eder ve T_{g3} sıcaklığına ulaşır.

T_{g3} sıcaklığı için denklem 4.4. kullanılarak,

$$T_{g3} = Q_{\text{Egzoz}} / \dot{m} * C_p + T_{g2} \quad (4.5)$$

$$T_{g3} = 679,2 / (21,72 * 4.191) + 77.65$$

$T_{g3} = 85,12 \text{ }^\circ\text{C}$ olarak bulunur.

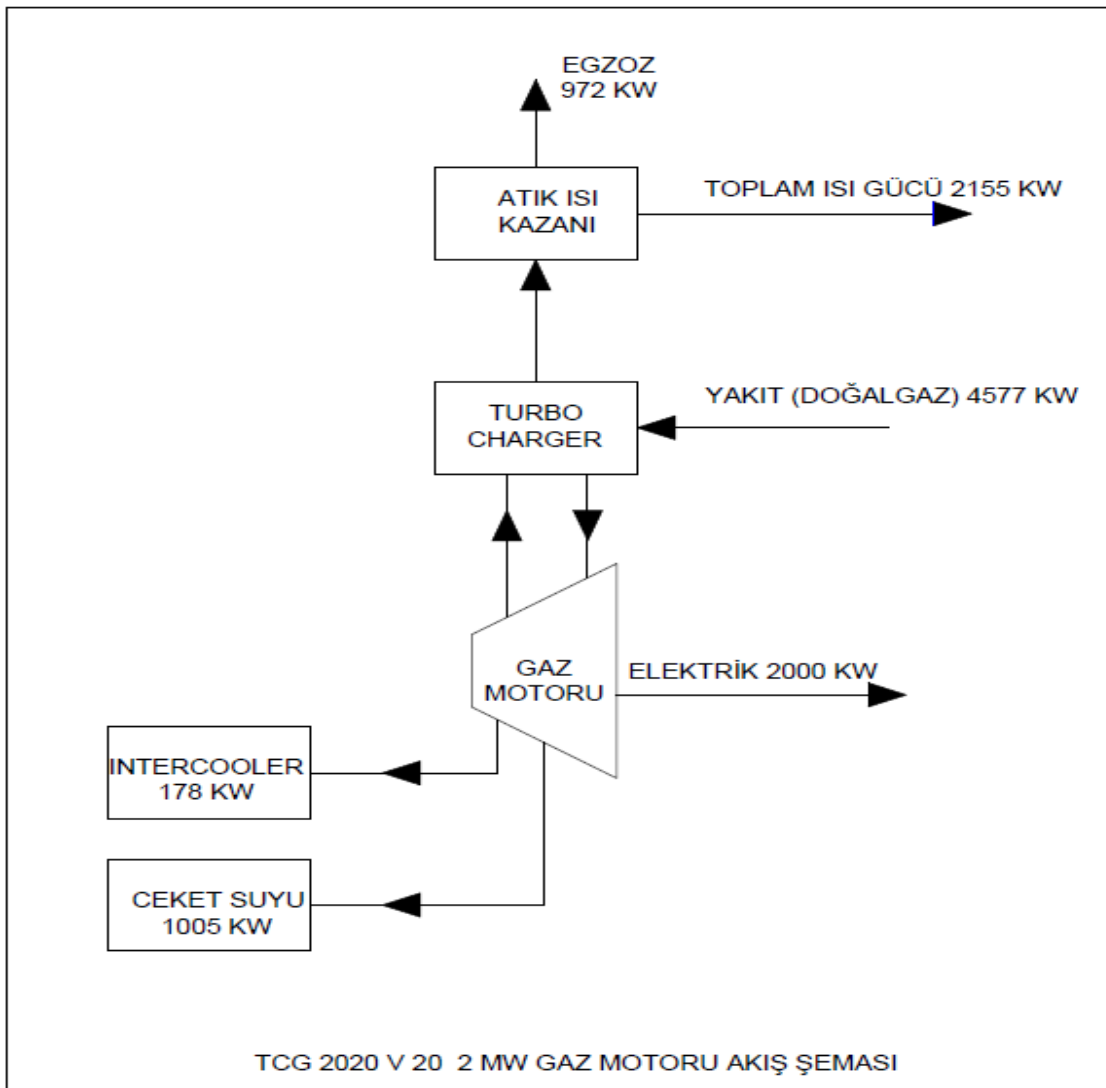
4.5.2. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru İçin Atık Isı Sisteminin Tasarım Hesaplamaları

Gaz motoruna dair teknik katalogdan motorun %100 çalışma yükü için ceket suyu ısısı Çizelge 4.6'da belirtildiği üzere 1005 kW tır. Denklem 4.6 kullanılarak ısı eşanjörü verimi ile çarpılarak suya geçen ısı enerjisi bulunur. Aşağıda Şekil 4.11.'de TCG 2020 V20 gaz motoruna dair akış şeması bulunmaktadır.

$$Q_{\text{Isı Eşj}} = Q_{\text{Ceket suyu}} * \eta \text{ (Isı Eşanjörü verimi)} \quad (4.6)$$

$$Q_{\text{Isı Eşj}} = 1005 * 0.90 = 904,5 \text{ kW}$$

$Q_{\text{Isı Eşj}} = 904,5 \text{ kW}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 11. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru Sistemi ve Ekipmanları Akış Şeması

Gaz motorunun teknik kataloğundaki verilere göre %100 çalışma yükü için egzoz gazı özellikleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Baca gazı çıkış sıcaklığının düşebileceği

minimum sıcaklık değerleri baca gazlarının yoğuşma sıcaklığı ile olduğundan doğal gaz kullanımında ortalama baca gazı çıkış sıcaklığı 140 °C olarak kabul edilmektedir.

Egzoz gazından elde edilecek ısı enerjisi miktarı ise;

$$\eta \text{ (Atık Isı Kazan Verimi)} = 0,90$$

Egzoz gazı için $C_p = 1,098 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$

$$Q_{\text{Egzoz}} = \dot{m}_{\text{egzoz}} * C_p * (T_{\text{çıkış egzoz}} - T_{\text{giriş egzoz}}) * \eta \quad (4.7)$$

$$Q_{\text{Egzoz}} = 3,014 \text{ kg/s} * 1,098 * (430 - 140) * 0,90 = 863,75 \text{ kW}$$

$Q_{\text{Egzoz}} = 863,75 \text{ kW}$ olarak hesaplanmıştır.

Tasarlanan atık ısı enerjisi geri kazanım sisteminde 80 m³ /h debide ve 70 °C sıcaklıkta plakalı ısı eşanjörüne giren su, motor çalışma yüküne göre değişen motor blok ısısını ($Q_{\text{Eşanjör ısısı}}$) suya aktararak T_{g2} sıcaklığına ulaşmaktadır.

Suyun 70 °C de; yoğunluğu $\rho = 977,52 \text{ kg/m}^3$ ve özgül ısısı $C_p = 4.191 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ dir.

$$\dot{m}_{\text{esj}} = \rho * v \quad (4.8)$$

$$\dot{m}_{\text{esj}} = 977,52 * (80/3600) = 21,72 \text{ kg/s}$$
 olarak hesaplanmıştır.

T_{g2} sıcaklığı burada;

$$Q_{\text{Isı Eşj}} = \dot{m}_{\text{esj}} * C_p * (T_{g2} - T_{g1}) \quad (4.9)$$

$T_{g1} = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$ olduğundan,

$$T_{g2} = Q_{\text{Isı Eşj}} / (\dot{m} * C_p) + T_{g1}$$

$$T_{g2} = (904,5 / (21,72 * 4.191)) + 70$$

$$T_{g2} = 79,94 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Eşanjörde T_{g2} sıcaklığına yükselen su atık ısı kazanına girerek burada egzoz gazlarından elde edilen ısı enerjisini absorbe ederek ve T_{g3} sıcaklığına ulaşır.

T_{g3} sıcaklığı için denklem 4.4. kullanılarak,

$$T_{g3} = Q_{\text{Egzoz}} / \dot{m} * C_p + T_{g2} \quad (4.10)$$

$$T_{g3} = 863,75 / (21,72 * 4.191) + 79,94$$

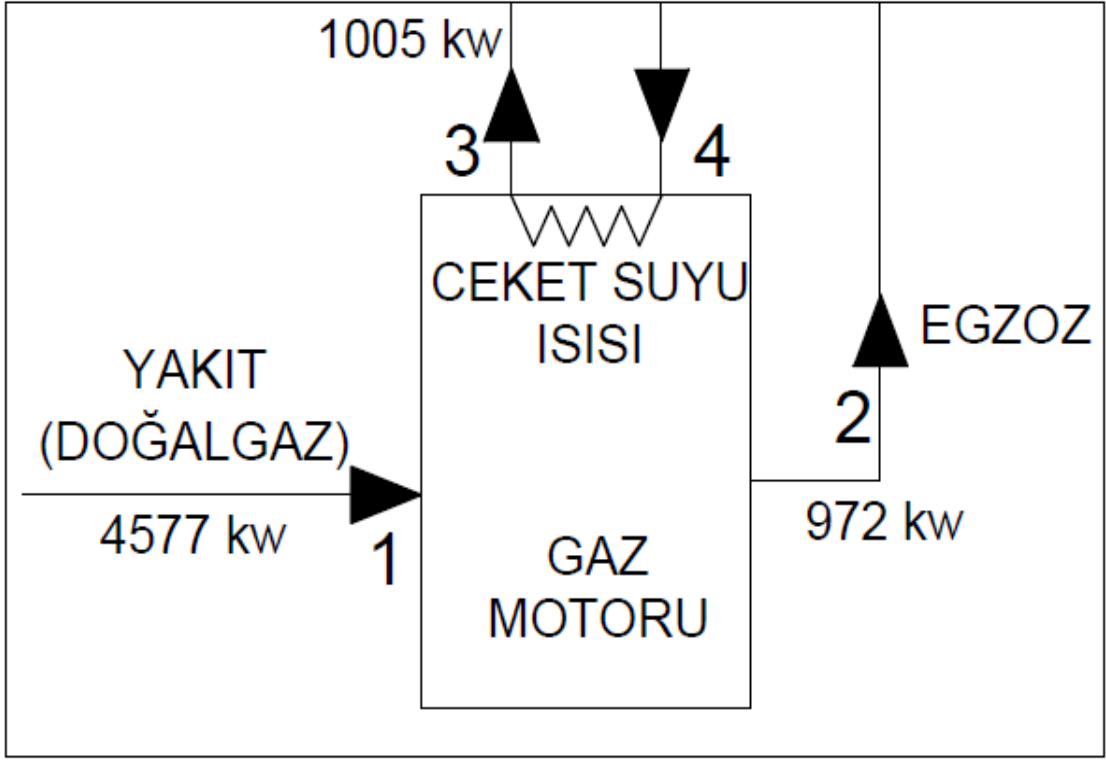
$T_{g3} = 89,43 \text{ } ^\circ\text{C}$ olarak bulunur.

4.5.3. TCG 2020 V20 Gaz Motoru Sistem Ekipmanlarının Enerji Analizinin Tanımlanması

TCG 2020 V20 model gaz motoru için üretici firmadan alınan işletme değerlerin bulunduğu veriler Çizelge 4.9.'da belirtilmektedir.

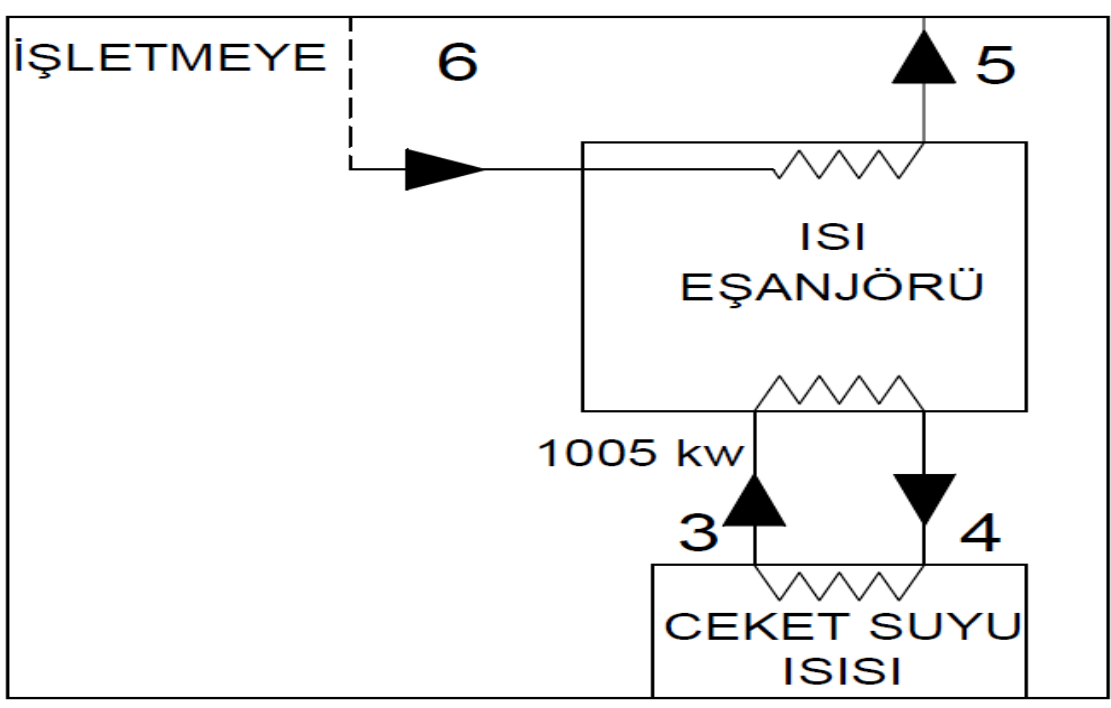
Çizelge 4.9. TCG 2020 V20 İşletme Değerleri Tablosu

İşletme Değerleri TCG 2020 V20		
Modül Çalışma Saatleri	Saat/yıl	8.000
Yakıt Türü		Doğalgaz
Yakıt Isıl Değeri	kcal/m ³	8.250
Yakıt Tüketimi (+%5 tolerans)	kW	4.577
Yakıt Tüketimi	m ³ /saat	477
Senelik Yakıt Tüketimi	m ³ /yıl	3.816.275
Elektrik Üretimi - Brüt (cos phi=1)	kwh	2.000
İç İhtiyaç ve Dâhili Kayıplar	kwh	38
Elektrik Üretimi - Net	kwh	1.962
Senelik Elektrik Üretimi (Net)	kwh/yıl	15.696.000
Yağ Tüketimi	Kg/h	0,4
Egzoz ısı gücü (±%8 tolerans)	kwh	972
Ceket Isı Gücü (±%8 tolerans)	kwh	1005
Intercooler (±%8 tolerans)	kwh	178
Maksimum Toplam Isı Üretim Kapasitesi	kwh	2.155
İşletme Toplam Isı Tüketimi	90% kwh	1.940



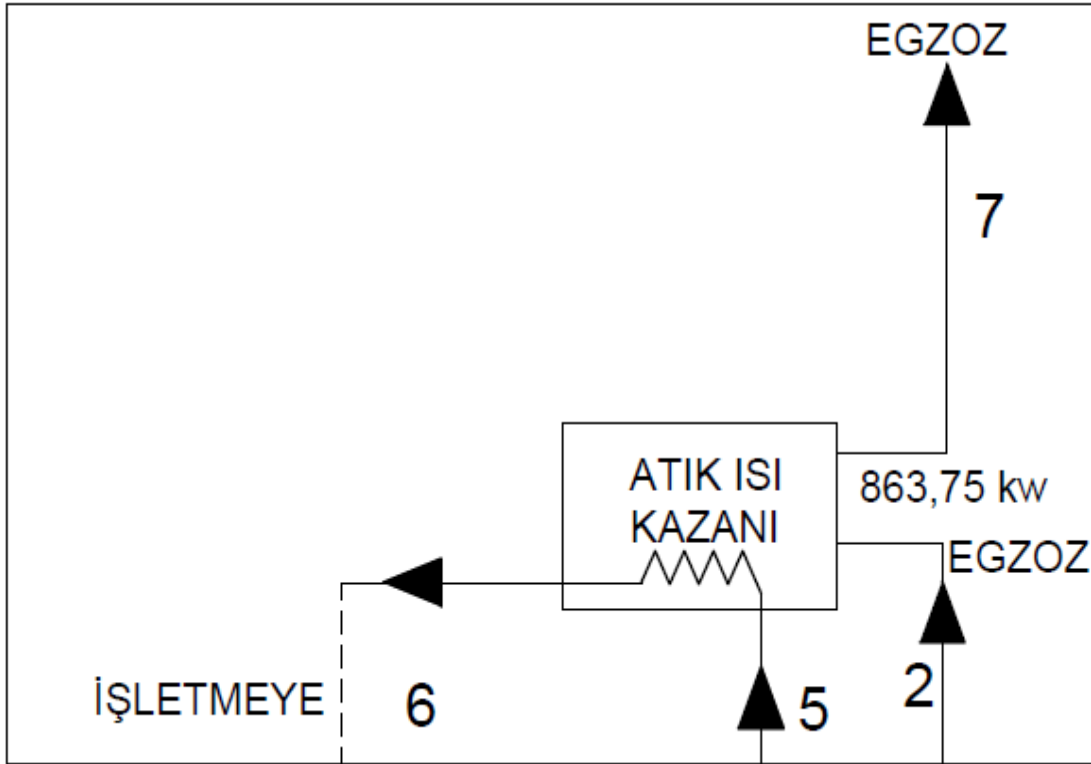
Şekil 4.13. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru Ekipmanı Şematik Gösterimi

Aşağıda Şekil 4.14. ile TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair ısı eşanjörü bölümünün şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.14. TCG 2020 V 20 Isı Eşanjörü Ekipmanı Şematik Gösterimi

Aşağıda Şekil 4.15.ile TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair atık ısı bölümünün şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.15. TCG 2020 V 20 Atık Isı Kazanı Ekipmanı Şematik Gösterimi

Bu eşitliklerde,

\dot{m} Kütleli debi, \dot{Q} Toplam net ısı girişi, \dot{W} Toplam net iş girişi, \dot{h} Entalpi, g ve ç indisleri ise giren ve çıkan anlamında kullanılmaktadır.

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (4.15)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (4.16)$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{m}_3(h_4 - h_3) \quad (4.17)$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_7 + \dot{m}_5(h_6 - h_5) \quad (4.18)$$

4.5.4. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Sistem Ekipmanlarının Enerji Analizinin Tanımlanması

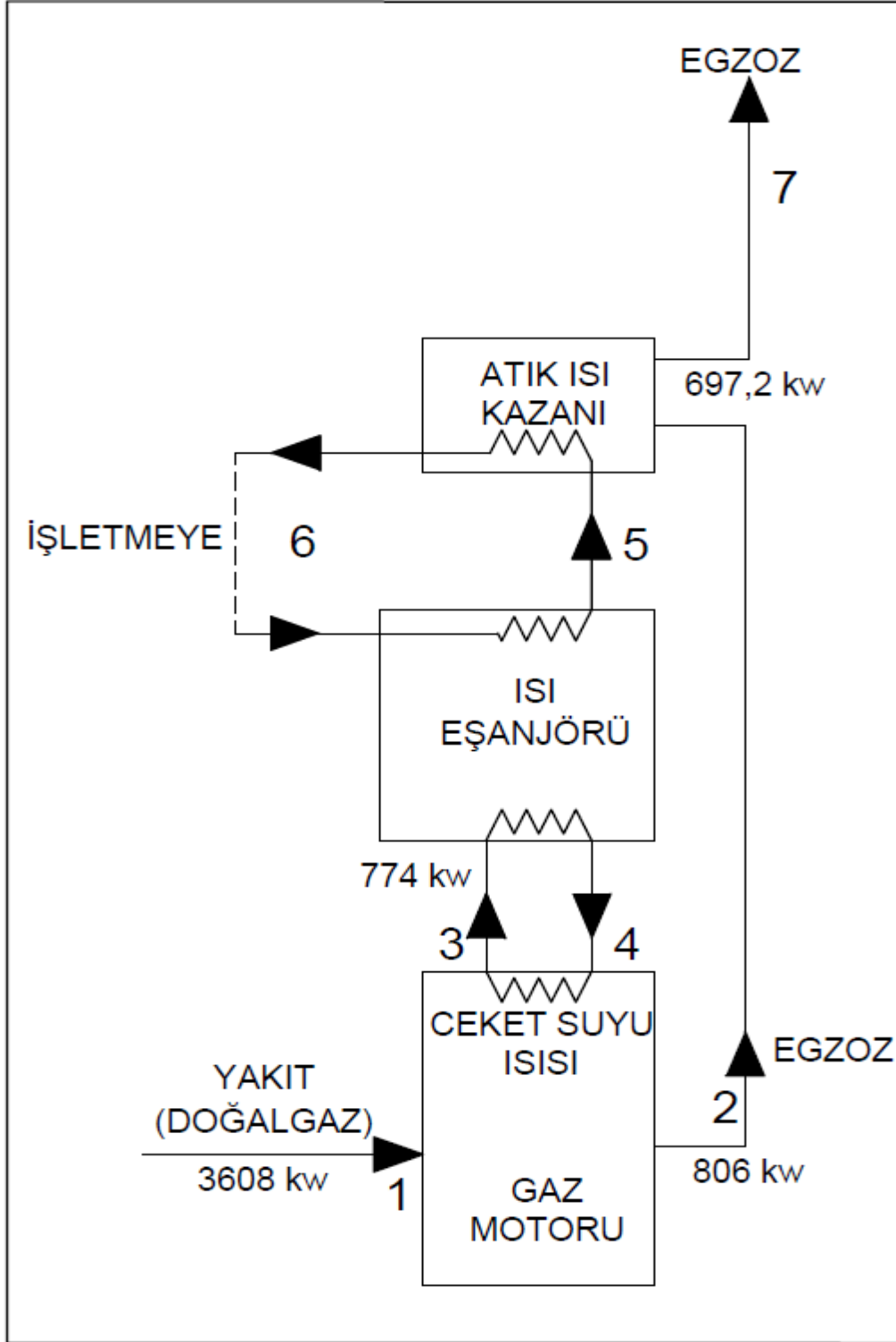
TCG 2020 V20 model gaz motoru için üretici firmadan alınan işletme değerlerin bulunduğu veriler Çizelge 4.10.'da belirtilmektedir.

Çizelge 4.10. TCG 2020 V16 İşletme Değerleri Tablosu

İşletme Değerleri TCG 2020 V16		
Modül Çalışma Saatleri	Saat/yıl	8.000
Yakıt Türü		Doğalgaz
Yakıt Isıl Değeri	kcal/m ³	8.250
Yakıt Tüketimi (+%5 tolerans)	kW	3.608
Yakıt Tüketimi	m ³ /saat	376
Senelik Yakıt Tüketimi	m ³ /yıl	3.008.329
Elektrik Üretimi - Brüt (cos phi=1)	kwh	1.560
İç İhtiyaç ve Dâhili Kayıplar	kwh	30
Elektrik Üretimi - Net	kwh	1.530
Senelik Elektrik Üretimi (Net)	kwh/yıl	12.242.880
Yağ Tüketimi	Kg/h	0,31
Egzoz ısı gücü (±%8 tolerans)	kwh	806
Ceket Isı Gücü (±%8 tolerans)	kwh	774
Intercooler (±%8 tolerans)	kwh	134
Maksimum Toplam Isı Üretim Kapasitesi	kwh	1.714
İşletme Toplam Isı Tüketimi	90% kwh	1.543

(xiv) 4.5.4.1. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Ekipmanının Enerji Analizi

Aşağıda Şekil 4.12.'de TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair sistemin şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.16. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru Sistemi Şematik Gösterimi

Bu eşitliklerde,

\dot{m} Kütleli debi, \dot{Q} Toplam net ısı girişi, \dot{W} Toplam net iş girişi, \dot{h} Entalpi, g ve ç indisleri ise giren ve çıkan anlamında kullanılmaktadır.

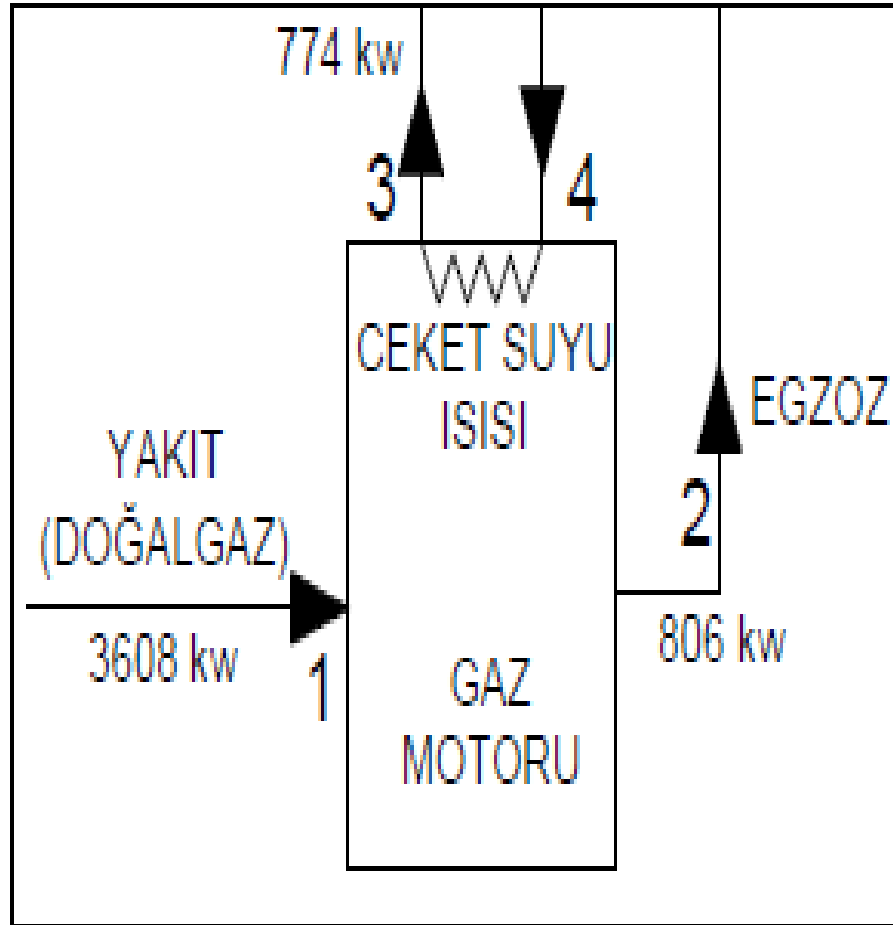
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \quad (4.15)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_6 \quad (4.16)$$

$$\dot{Q}_1 = \dot{Q}_2 + \dot{m}_3(h_4 - h_3) \quad (4.17)$$

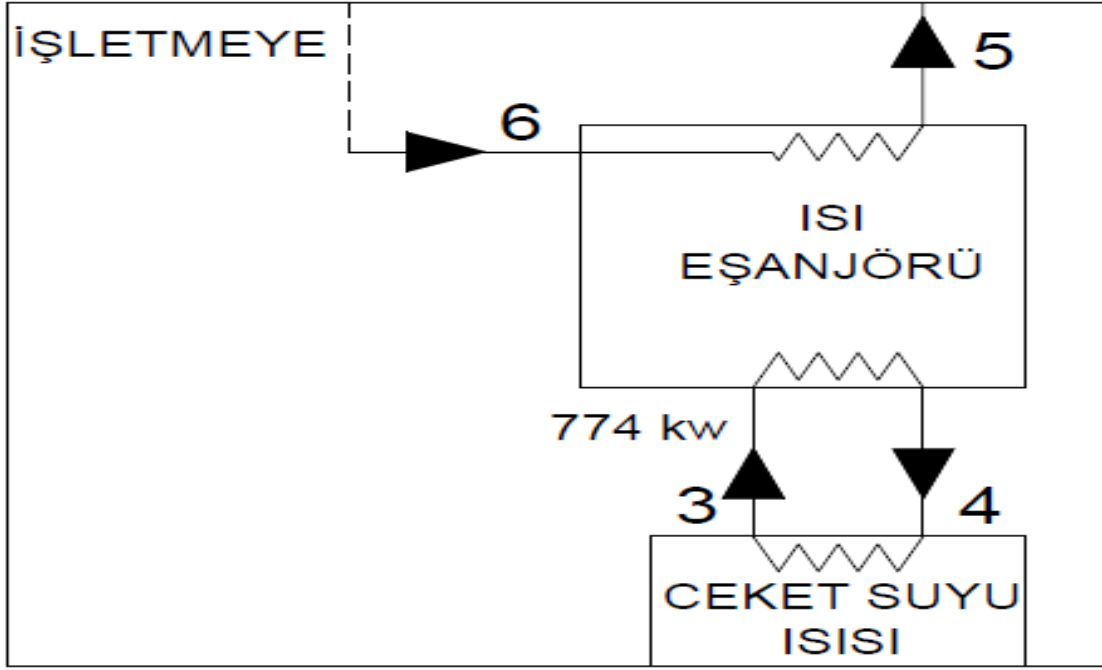
$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_7 + \dot{m}_5(h_6 - h_5) \quad (4.18)$$

Aşağıda Şekil 4.17.ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair gaz motoru bölümünün şematik gösterimi bulunmaktadır.



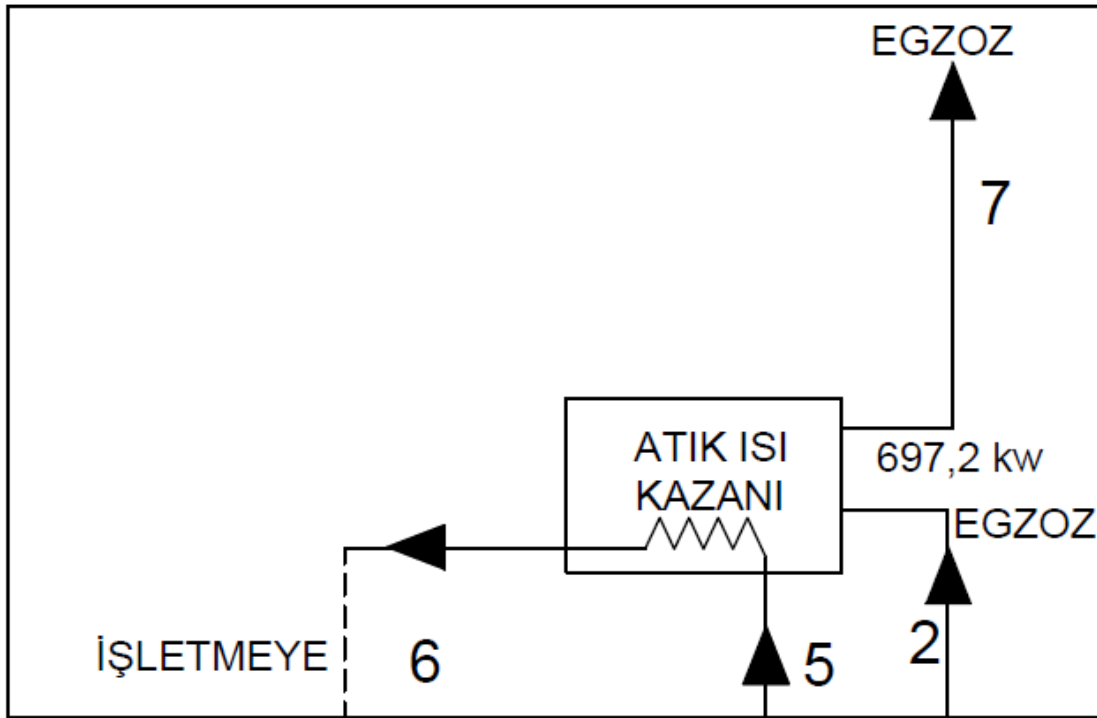
Şekil 4. 17. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru Ekipmanı Şematik Gösterimi

Şekil 4.18.ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair ısı eşanjörü bölümünün şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.18. TCG 2020 V 16 Isı Eşanjörü Ekipmanı Şematik Gösterimi

Aşağıda Şekil 4.19.ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair atık ısı bölümünün şematik gösterimi bulunmaktadır.



Şekil 4.19. TCG 2020 V 16 Atık Isı Kazanı Ekipmanı Şematik Gösterimi

4.6. Gaz Motorlu Isıl Güç Çevrim Santrallerinin Termoekonomik Analizinin İncelenmesi

Gaz motorlu ısıl güç çevrim santrallerinde tüm sistemin ekonomik yönden analiz edilmesi için güncel elektrik ve doğalgaz bedelleri Çizelge 4.11. ile aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 4.11. 2019 yılı Haziran ayı güncel enerji maliyetleri

GÜNCEL ENERJİ FİYATLARI	2019-HAZİRAN
Birim Elektrik Maliyeti	0,4641 TL/kwh
Birim Doğalgaz Maliyeti	0,1871100 TL/kwh

Gaz motoru sistemi ekipmanları dört ana grup olarak bölümlendirilmiş ve maliyetleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu gruplama şöyledir:

- Modül ve yardımcı ekipmanlar
- Isı geri kazanım sistemi (Buhar Kazanı)
- Trafo ve OG Sistemi
- Motor soğutma ünitesi

Proje basit geri ödeme süresinde hesaplanan ve bu ekipmanlar haricinde oluşan diğer ek maliyetler de şöyledir.

- Nakliye, mekanik ve elektrik montajı
- İnşaat işleri (santrale ait bölümler)

4.6.1. Amortisman Bedelinin Hesaplanması (AB)

Yatırım varlıklarının hizmet yoğunluğu ve süresine bağlı olarak amortisman gideri hesaplanarak sabit yıllık amortisman maliyeti elde edilirse (Aybers ve Şahin., 1995);

$$AB = I \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4.19)$$

i=(yıllık faiz oranı)=(%5,5 kabul edilmiştir.)

n=(Sistem ömrü)=(10 yıl kabul edilmiştir.)

I=(Toplam yatırım tutarı)

AB=Amortisman Bedeli

4.6.2. Dinamik Geri Ödeme Süresi Hesaplanması

Endüstriyel kurulması düşünülen ısı gücü çevrim santrali sistemi için sistem maliyeti hesaplandıktan sonra geri ödeme süresinin tespit edilmesinde aşağıda gösterilen dinamik geri ödeme süresi hesabı kullanılacaktır. Dinamik geri ödeme hesabında ilk yatırım maliyeti, yıllık net kazanç ve yıllık faiz oranı belirlenerek geri ödeme süresi hesaplanır (Ekinci 2013).

G_i =Yıllık net kazanç (TL)

G_y =İlk yatırım maliyeti (TL)

f =Yıllık faiz oranı (%5,5 kabul edilmiştir.)

$DGÖS$ =Dinamik Geri ödeme Süresi (yıl)

$$DGÖS = \frac{\ln\left[\left(\frac{G_i}{G_i - G_y f}\right)\right]}{\ln(1+f)} \quad (4.20)$$

5. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Endüstriyel tesis için kapasitelere uygun olarak seçilen iki adet gaz motorlu ısıl güç santrali sisteminden alınan veriler ışığında enerji analiz sonuçları ve termoekonomik analizler sonuçları çıkarılmıştır ve iki gaz motoru arasında kıyaslamalar yapılacaktır.

5.1. Isıl Güç Santralinin Enerji Analizleri Sonuçları

Endüstriyel tesise dair Termodinamiğin birinci kanununa göre enerji korunum denklemi ve kütle korunumu denklemleri kullanılarak Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2.'de belirtilen değerler hesaplanmıştır.

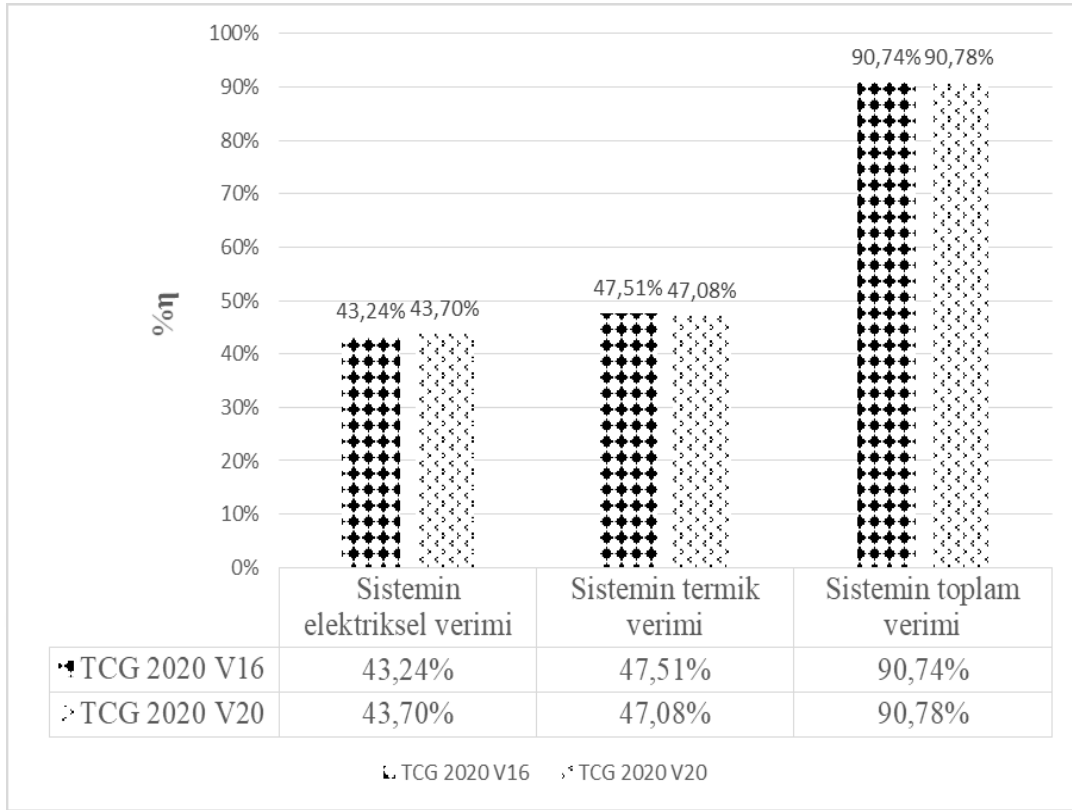
Çizelge 5.1. Seçilen iki adet gaz motorunun enerji analiz sonuçları

TCG 2020 V16			TCG 2020 V20		
Sistemde kullanılacak yakıt miktarı (doğalgaz)	398	m ³ /h	Sistemde kullanılacak yakıt miktarı (doğalgaz)	497	m ³ /h
Baca gazının kütleli debisi	8787,2	kw	Baca gazının kütleli debisi	10984	kw
Baca gazı evaporatör giriş sıcaklığı	419	°C	Baca gazı evaporatör giriş sıcaklığı	419	°C
Baca gazı ekonomizer çıkış sıcaklığı	196	°C	Baca gazı ekonomizer çıkış sıcaklığı	196	°C
Kazan besi suyu sıcaklığı	102	°C	Kazan besi suyu sıcaklığı	102	°C
Besi suyu entalpi değeri	427,541	kJ/kg	Besi suyu entalpi değeri	427,541	kJ/kg
Buhar çıkış sıcaklığı	175	°C	Buhar çıkış sıcaklığı	175	°C
Buharın entalpi değeri	2773,1	kJ/kg	Buharın entalpi değeri	2773,1	kJ/kg
Buharın kütleli debisi	1250	kg /s	Buharın kütleli debisi	1300	kg /s
Buhara aktarılan ısı miktarı	1714	kw	Buhara aktarılan ısı miktarı	2262	kw

Çizelge 5.2. Seçilen iki adet gaz motorunun verim sonuçları

TCG 2020 V16			TCG 2020 V20		
Sisteme verilen enerji	1600	kw	Sisteme verilen enerji	2056	kw
Elde edilen toplam elektrik enerjisi	1560	kw	Elde edilen toplam elektrik enerjisi	2000	kw
Sistemin elektriksel verimi	43,24	%	Sistemin elektriksel verimi	43,7	%
Sistemin termik verimi	47,51	%	Sistemin termik verimi	47,08	%
Sistemin toplam verimi	90,74	%	Sistemin toplam verimi	90,78	%

Çizelge 5.1. de görüldüğü üzere TCG 2020 V16 gaz motorunun elektriksel verimi %43,24, sistemin termik verimi %47,51, sistemin toplam verimi ise bu iki verim toplamından %90,74 olarak hesaplanmıştır. TCG 2020 V20 gaz motorunun elektriksel verimi ise %43,7, sistemin termik verimi %47,08, sistemin toplam verimi ise bu iki verim toplamından %90,78 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler Şekil 5.1.'de grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Seçilen iki adet gaz motorunun verim bilgileri

5.2. Isıl Güç Santralinin Termoekonomik Analizi

5.2.1. Seçilen İki Adet Isıl Güç Santralinin Proje Basit Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması

Çizelge 5.3. ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair yıllık üretim ve tüketim miktarları tablosu ile işletme gelirleri ve giderleri tablosu hazırlanmıştır.

Çizelge 5.3. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları

MEVCUT NET ELEKTRİK ÜRETİMİ kwh/yıl	TÜKETİLEN ELEKTRİK MİKTARI kwh/yıl	MEVCUT NET ATIK ISI KAZANIMI kwhth/yıl	TÜKETİLEN ISIL ENERJİ kwhth/yıl	DOĞALGAZ YAKIT TÜKETİMİ Nm ³ /yıl				
12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329				
İŞLETME GELİRLERİ			İŞLETME GİDERLERİ				TOPLAM	
ELEKTRİK GELİRİ TÜKETİLEN TL	ATIK ISIDAN SAĞLANILAN GELİR TL	TOPLAM İŞLETME GELİRLERİ TL	DOĞALGAZ GİDERİ TL	YAĞLAMA YAĞI GİDERİ TL	BAKIM GİDERİ TL	TESİS SİGORTA BEDELİ %25	TOPLAM İŞLETME GİDERLERİ TL	TOPLAM İŞLETME KARI TL
3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837

Çizelge 5.4. ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair yatırım bilgileri ve proje basit ödeme süresi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. TCG 2020 V16 Yatırım Bilgileri

TCG 2020 V16 Yatırım Bilgileri (TL)	
Modül ve Yardımcı Ekipmanlar	768.000,00
Isı geri kazanım sistemi (Buhar Kazanı)	640.000,00
Trafo ve OG Sistemi	742.400,00
Motor soğutma ünitesi	1.280.000,00
Nakliye, mekanik ve elektrik montajı	268.800,00
İnşaat işleri (santrale ait bölümler)	192.000,00
Toplam Yatırım Tutarı	3.891.200,00
Toplam Yıllık İşletme Karı	1.425.837,00
Proje Basit Ödeme Süresi	2,73 yıl

Aşağıda çizelge 5.5. ile TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair yıllık üretim ve tüketim miktarları tablosu ile işletme gelirleri ve giderleri tablosu hazırlanmıştır.

Çizelge 5. 5. TCG 2020 V20 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları

MEVCUT NET ELEKTRİK ÜRETİMİ kwh/yıl	TÜKETİLEN ELEKTRİK MİKTARI kwh/yıl	MEVCUT NET ATIK ISI KAZANIMI kwhth/yıl	TÜKETİLEN ISIL ENERJİ kwhth/yıl	DOĞALGAZ YAKIT TÜKETİMİ Nm3/yıl				
15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275				
İŞLETME GELİRLERİ			İŞLETME GİDERLERİ				TOPLAM	
ELEKTRİK GELİRİ TÜKETİLEN TL	ATIK ISIDAN SAĞLANILAN GELİR TL	TOPLAM İŞLETME GELİRLERİ TL	DOĞALGAZ GİDERİ TL	YAĞLAMA YAĞI GİDERİ TL	BAKIM GİDERİ TL	TESİS SİGORTA BEDELİ %25	TOPLAM İŞLETME GİDERLERİ TL	TOPLAM İŞLETME KARI TL
4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216

Aşağıda çizelge 5.6. ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair yatırım bilgileri ve proje basit ödeme süresi hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. TCG 2020 V20 Yatırım Bilgileri

TCG 2020 V20 Yatırım Bilgileri (TL)	
Modül ve Yardımcı Ekipmanlar	896.000,00
Isı geri kazanım sistemi (Buhar Kazanı)	768.000,00
Trafo ve OG Sistemi	742.400,00
Motor soğutma ünitesi	1.472.000,00
Nakliye, mekanik ve elektrik montajı	332.800,00
İnşaat işleri (santrale ait bölümler)	256.000,00
Toplam Yatırım Tutarı	4.467.200,00
Toplam Yıllık İşletme Karı	1.829.216,00
Proje Basit Ödeme Süresi	2,44 yıl

5.2.2. Seçilen İki Adet Isıl Güç Santralinin Amortisman Bedelinin Hesaplanması

(xv) 5.2.2.1. Amortisman bedeli TCG 2020 V16

TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair amortisman bedeli denklem 4.21 ile hesaplanmıştır.

$$AB = I \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4.21)$$

i=(yıllık faiz oranı)=%5,5

n=(Sistem ömrü)=10 yıl

I=(Toplam yatırım tutarı)= 3.891.200 TL

$AB=3.891.200 * (0,055(1+0,055)^{10}) / (1+0,055)^{10} - 1 = 516.362,24 \text{ TL /yıl}$

(xvi) 5.2.2.2.Amortisman bedeli TCG 2020 V20

TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair amortisman bedeli denklem 4.22 ile hesaplanmıştır.

$$AB = I \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (4.22)$$

i =(yıllık faiz oranı)=%5,5

n =(Sistem ömrü)=10 yıl

I =(Toplam yatırım tutarı)= 4.467.200 TL

$AB=4.467.200*(0,055(1+0,055)^{10})/(1+0,055)^{10}-1=592.797,44$ TL/yıl

5.2.3. Seçilen İki Adet Isıl Güç Santralının Dinamik Geri Ödeme Süresinin Hesaplanması

(xvii) 5.2.3.1.Dinamik Geri Ödeme Süresi TCG 2020 V16

TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair dinamik geri ödeme süresi denklem 4.23 ile hesaplanmıştır.

$$DGÖS = \frac{\ln\left(\frac{Gi}{Gi-Gy.f}\right)}{\ln(1+f)} \quad (4.23)$$

Gi =Yıllık net kazanç (TL)

Gy =İlk yatırım maliyeti (TL)

f =Yıllık faiz oranı

$DGÖS$ =Dinamik Geri ödeme Süresi (yıl)

Gi =1.425.837 TL

Gy = 3.891.200 TL

f =%5,5

$DGÖS$ =3,047 yıl

(xviii) **5.2.3.2.Dinamik Geri Ödeme Süresi TCG 2020 V20**

TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair dinamik geri ödeme süresi denklem 4.24 ile hesaplanmıştır.

G_i =Yıllık net kazanç (TL)

G_y =İlk yatırım maliyeti (TL)

f =Yıllık faiz oranı

$DGÖS$ =Dinamik Geri ödeme Süresi (yıl)

$$DGÖS = \frac{\ln\left[\frac{G_i}{G_i - G_y \cdot f}\right]}{\ln(1+f)} \quad (4.24)$$

G_i =1.829.216 TL

G_y = 4.467.200 TL

f =%5,5

$DGÖS$ =2,691 yıl

Aşağıda çizelge 5.7. ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair üretim ve tüketim miktarları altı yıllık olarak verilmiştir.

Çizelge 5. 7. TCG 2020 V16 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları

YILLAR	MEVCUT NET ELEKTRİK ÜRETİMİ kwh	TÜKETİLEN ELEKTRİK MİKTARI kwh	MEVCUT NET ATIK ISI KAZANIMI kwhth	TÜKETİLEN ISIL ENERJİ kwhth	DOĞALGAZ YAKIT TÜKETİMİ Nm ³
1	12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329
2	12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329
3	12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329
4	12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329
5	12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329
6	12.242.880	12.242.880	13.712.000	12.340.800	3.008.329

Çizelge 5.8. ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair gelir ve gider tabloları altı yıllık olarak verilmiştir

Çizelge 5.8. TCG 2020 V16 Gaz Motoru İşletme Gelir ve Gider Tabloları

YILLAR	İŞLETME GELİRLERİ			İŞLETME GİDERLERİ					TOPLAM
	ELEKTRİK GELİRİ TÜKETİLEN TL	ATIK ISIDAN SAĞLANILAN GELİR TL	TOPLAM İŞLETME GELİRLERİ TL	DOĞALGAZ GİDERİ TL	YAĞLAMA YAĞI GİDERİ TL	BAKIM GİDERİ TL	TESİS SİGORTA BEDELİ %25	TOPLAM İŞLETME GİDERLERİ TL	TOPLAM İŞLETME KARI TL
1	3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837
2	3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837
3	3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837
4	3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837
5	3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837
6	3.720.429	1.218.701	4.939.130	3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293	1.425.837

Aşağıda çizelge 5.9. ile TCG 2020 V20 model gaz motoruna dair üretim ve tüketim miktarları altı yıllık olarak verilmiştir.

Çizelge 5. 9. TCG 2020 V20 Gaz Motoru Yıllık Üretim Ve Tüketim Miktarları

YILLAR	MEVCUT NET ELEKTRİK ÜRETİMİ kwh	TÜKETİLEN ELEKTRİK MİKTARI kwh	MEVCUT NET ATIK ISI KAZANIMI kwhth	TÜKETİLEN ISIL ENERJİ kwhth	DOĞALGAZ YAKIT TÜKETİMİ Nm3
1	15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275
2	15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275
3	15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275
4	15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275
5	15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275
6	15.696.000	15.696.000	17.240.000	15.516.000	3.816.275

Çizelge 5.10. ile TCG 2020 V16 model gaz motoruna dair gelir ve gider tabloları altı yıllık olarak verilmiştir

Çizelge 5.10. TCG 2020 V20 Gaz Motoru İşletme Gelir ve Gider Tabloları

YILLAR	İŞLETME GELİRLERİ			İŞLETME GİDERLERİ					TOPLAM
	ELEKTRİK GELİRİ TÜKETİLEN TL	ATIK ISIDAN SAĞLANILAN GELİR TL	TOPLAM İŞLETME GELİRLERİ TL	DOĞALGAZ GİDERİ TL	YAĞLAMA YAĞI GİDERİ TL	BAKIM GİDERİ TL	TESİS SİGORTA BEDELİ %25	TOPLAM İŞLETME GİDERLERİ TL	TOPLAM İŞLETME KARI TL
1	4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216
2	4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216
3	4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216
4	4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216
5	4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216
6	4.769.779	1.532.262	6.302.042	4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826	1.829.216

6. SONUÇ

Endüstriyel sanayi tesisinde kurulacak gaz motorlu bir ısı güç santrali sisteminin enerji ve buhar gereksinimlerine göre inceleyerek, iki tip gaz motoru üzerinden enerji ve termoekonomik analizleri yapılarak tablolar oluşturulmuştur. Termodinamiğin birinci kanununa göre sistemin enerji analizleri yapılmıştır. Enerji korunumu üzerinden hesaplamalar yapılarak tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 6.1.'de görüldüğü üzere TCG 2020 V16 gaz motoru için işletme geliri yıllık 4.393.130 TL olarak bulunmuştur. Çizelge 6.2. ile de TCG 2020 V20 gaz motoruna dair yıllık işletme gideri 6.302.042 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.1. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru İçin İşletme Gelirleri Tablosu

İŞLETME GELİRLERİ		
ELEKTRİK GELİRİ TÜKETİLEN TL	ATIK ISIDAN SAĞLANILAN GELİR TL	TOPLAM İŞLETME GELİRLERİ TL
3.720.429	1.218.701	4.939.130

Çizelge 6.2. TCG 2020 V 20 Gaz Motoru İçin İşletme Gelirleri Tablosu

İŞLETME GELİRLERİ		
ELEKTRİK GELİRİ TÜKETİLEN TL	ATIK ISIDAN SAĞLANILAN GELİR TL	TOPLAM İŞLETME GELİRLERİ TL
4.769.779	1.532.262	6.302.042

Çizelge 6.3.'de görüldüğü üzere TCG 2020 V16 gaz motoru için işletme geliri yıllık 3.513.293 TL olarak bulunmuştur. Çizelge 6.4. ile de TCG 2020 V16 gaz motoruna dair yıllık işletme gideri 4.472.826 TL olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.3. TCG 2020 V 16 Gaz Motoru İçin İşletme Giderleri Tablosu

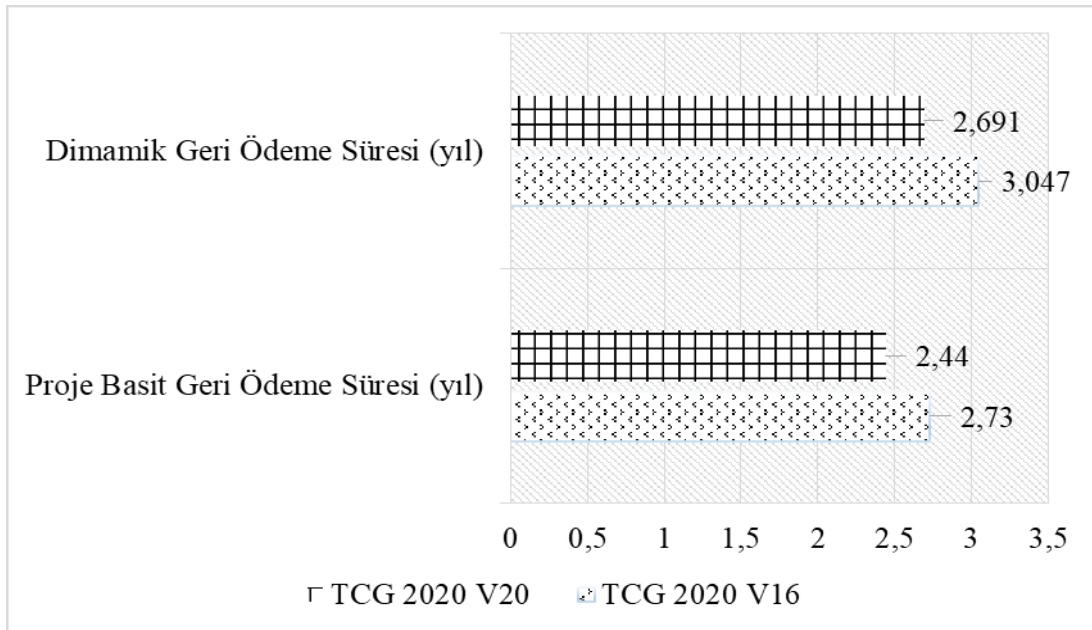
İŞLETME GİDERLERİ				
DOĞALGAZ GİDERİ TL	YAĞLAMA YAĞI GİDERİ TL	BAKIM GİDERİ TL	TESİS SİGORTA BEDELİ %25 TL	TOPLAM İŞLETME GİDERLERİ TL
3.220.429	39.936	243.200	9.728	3.513.293

Çizelge 6.4. TCG 2020 V 16 Gaz motoru için işletme giderleri tablosu

İŞLETME GİDERLERİ				
DOĞALGAZ GİDERİ TL	YAĞLAMA YAĞI GİDERİ TL	BAKIM GİDERİ TL	TESİS SİGORTA BEDELİ %25 TL	TOPLAM İŞLETME GİDERLERİ TL
4.085.338	71.680	304.640	11.168	4.472.826

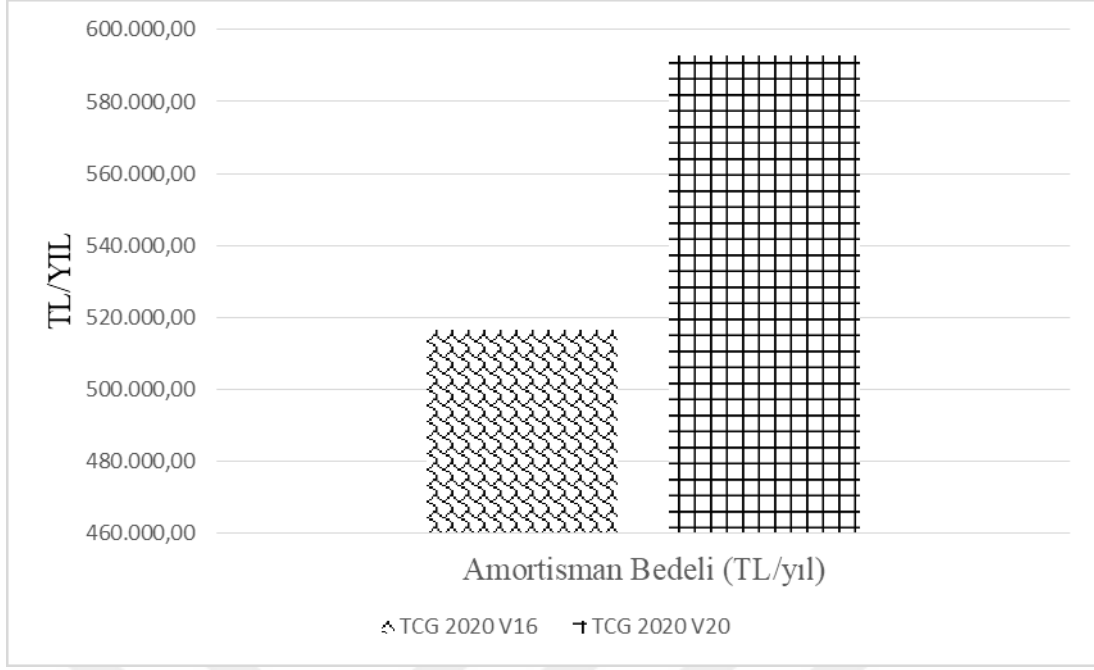
İşletme gereksinimlerine göre seçilen iki adet gaz motorundan TCG 2020 V20 ile TCG 2020 V16 arasında termoekonomik analizler hazırlanmıştır. Termoekonomik analiz ile proje basit geri ödeme süresi, amortisman bedeli ve dinamik geri ödeme süresi hesaplanmıştır.

- Proje basit ödeme süresi TCG 2020 V16 için 2,73 yıl, TCG 2020 V20 için 2.44 yıl olarak bulunmuştur.
- Amortisman bedeli denklemi TCG 2020 V16 516.362,24 TL/yıl, TCG 2020 V20 ise 592.797,44 TL/yıl olarak bulunmuştur
- Dinamik geri ödeme süresi olarak da TCG 2020 V16 3,047 yıl, TCG 2020 V20 2,691 yıl olarak bulunmuştur.



Şekil 6.1. Seçilen iki gaz motoru arasında kıyaslama

Şekil 6.1. ile iki gaz motoru arasında dinamik geri ödeme süresi ve proje geri ödeme süreleri karşılaştırıldığında, TCG 2020 V20 gaz motorunun hem dinamik geri ödeme süresi, hem de proje geri ödeme süresi olarak daha kısadır.



Şekil 6. 2. Seçilen iki gaz motoru arasında amortisman bedeli kıyaslaması

Şekil 6.2'deki grafikte TCG 2020 V20 gaz motorunun amortisman bedeli yıllık bazda daha yüksek olarak görülmektedir.

Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde TCG 2020 V20 gaz motorunun kullanılmasının endüstriyel tesis açısından daha efektif ve verimli olduğu hesaplarla ortaya koyulmuştur. Bu gaz motoru ile yıllık 1.829.216 TL kar sağlanmaktadır.

7. KAYNAKLAR

- Çalışıcı Ü., 2005. Kojenerasyon Sistemleri ve Bir İşletmenin İhtiyacını Karşılacak Kojenerasyon Sisteminin Teknik ve Ekonomik Uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Antakya.
- Yenice O. T., 2005. Kırsal Kesimde Kurulabilecek Doğal Gaz Yakıtlı Otoprodüktör Kojenerasyon Santralleri Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Renedo, C.J., Ortiz, A., Manana, M., Silio, D., Perez, S., 2006. “Study of different cogeneration alternatives for a Spanish hospital center”, *Energy and Buildings*, 38:484-490, (2006).
- Albayrak S., 2007. Kojenerasyonun Bölgesel Isıtma Sisteminde Kullanılabilirliği ve Klasik Bölgesel Isıtma ile Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Akdeniz N., 2007. Doğal gazlı Kojenerasyon Sisteminin Ekserjetik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Çakır U., 2007. Aziziye Araştırma Hastanesi Enerji Gereksinimi İçin Kojenerasyon Sisteminin Uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Sun, Z. G., 2008. “Energy efficiency and economic feasibility analysis of cogeneration system driven by gas engine”, *Energy and Buildings*, 40:126-130, (2008).
- Gün R., 2009. Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Analizi ve Bir Uygulama. Yüksek Lisans Tezi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Aydoğan A., 2009. Toplam İnşaat Alanı Yirmi Bin Metrekareden Büyük Ticari Yapılarda Kojenerasyon Sisteminin Alternatif Sistemlerle Enerji ve Bina Açısından Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Yöntem M.A., 2011. Küçük Ölçekli Kojenerasyon Sistemlerinin Verimliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.

- Çınar Y., 2011. Katı Oksit Yakıt Pili Kojenerasyon Sistemlerinin Konutlarda Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Niğde.
- Sivrioğlu, M., Yurdakul, M., Aydoğan, A., İç, Y.T., 2011. “Büyük Ticari Yapılarda Kurulacak Kojenerasyon Sistemlerinin Ekonomik Açısından Alternatif Sistemlerle Karşılaştırılması”, Çankaya University Journal of Science and Engineering, No: 1, 135-151, (2011).
- Özdemir N., 2011. Çekme Köy İlçesi Toplu Konut Bölgeleri İçin Kojenerasyon Sistemlerinin Analizi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Erzurum.
- Polat D., 2011. Depo Gazı (Lfg) Kojenerasyon Sistemlerinin Teknoekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Şencan A., 1999. Absorbsiyonlu Soğutma Sisteminin Tasarımı ve S.D.Ü Oditoryumunda Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta.
- Şencan A., Selbaş R., Yakut, A. K., 2002. “ Su/Lityum Bromid ve Üçlü Hidroksit Karışımlarıyla Çalışan Absorbsiyonlu Sistemlerin Performanslarının Karşılaştırılması”, Teknoloji, Yıl 5, Sayı 3-4, 2002.
- Şahin T., 2006. İzmir İli İçin Jeotermal Enerji Kaynaklı Absorbsiyonlu Soğuk Oda Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Ziher, D., Poredos, A., 2006. “Economics of a trigeneration system in a hospital”, Applied Thermal Engineering 26 680-687, (2006).
- Seo, H., Sung, J., Oh, S-D., Oh, H-S., 2008. Kawak, H-Y., “Economic optimization of a cogeneration system for apartment houses in Korea”, Energy and Buildings, 40:961-967, (2008).
- Chicco, G., Mancarella, P., 2008. “Assessment of the greenhouse gas emissions from cogeneration and trigeneration systems. Part I: Models and indicators”, Energy 33:410-417, (2008).

- Haberdar F., 2009. Bir İlaç Fabrikasında Trijenerasyon Sistemi Kurulmasının .Termoekonomik Analizi. Yüksek Lisan Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Sancar O., 2010. Ticari Binalarda Uygulanan Kojenerasyon ve Trijenerasyon Sistemlerinin Teknoekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Kurtdere N., 2010. Güneş Enerjisi ile Çalışan Absorbsiyonlu Soğutma Sistemlerinin Termodinamik İncelemesi Sistem Simülasyonu ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- İmal M., Kaya A., Güneş M., Kuyumcu M. E., Sönmez K., 2015. Birleşik Isı ve Güç Üreten Sistemlerin Uygulamalı Analizi ve KSÜ Hastanesi Örnek Çalışması. KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(2), 2015.
- Öztürk H., Kaya D., 2014. Kojenerasyon ve Trijenerasyon Tekniği Kitabı. Umuttepe Yayınları.
- Koç E., Şenel M.C., 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 639, s. 32-44.
- Aybers, N., Şahin, B., Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 1995
- Şahin V. Soğutma İlkeleri. URL (erişim tarihi: 24.05.2019) <http://drvolkansahin.com/ders-notlari/sogutma-teknolojisi.pdf>
- Yıldırım Y., 2011. Yakıt Pilleri. URL (erişim tarihi: 11.04.2019) <http://cevre.beun.edu.tr/dersnotu/yakitpilleri/cev346-yakit-pilleri.pdf>
- Bulut H., 2015. Soğutma ve Klima Tekniği. Harran Üniversitesi. Mühendislik Fakültesi Notları. URL (erişim tarihi: 20.11.2019) <http://docplayer.biz.tr/11188952-Sogutma-ve-klima-teknigi.html>
- BERR INDUSTRY. Kojenerasyon-Trijenerasyon Tesisi Tanımlamaları. URL (erişim tarihi: 20.02.2019) <http://slideplayer.biz.tr/slide/2605778/>
- TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu) Kömür Sektör Raporu. URL (erişim tarihi: 10.03.2018) <http://docplayer.biz.tr/5873315-Komur-linyit-sektor-raporu-2018-turkiye-komur-isletmeleri-kurumu.html>

- TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu
Mayıs 2018. URL(erişim tarihi: 12.07.2018)
http://www.tpao.gov.tr/tp5/docs/imaaj/HP_DG_SEKTOR_RPR_040515.pdf
- Arke Enerji. Mikro Kojenerasyon Sistemleri. URL(erişim tarihi: 12.06.2018)
http://www.arkeenerji.com/cms/uploadedfiles/file/iccci_2008_micro_chp_bildiri_arkeenerji.pdf
- EMO (Elektrik Mühendisleri Odası) Türkiye’de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü. URL
(erişim tarihi: 01.11.2018) http://www.emo.org.tr/ekler/ccf715eae0ff698_ek.pdf
- EİGM (Enerji İşleri Genel Müdürlüğü) Ekim 2018 Aylık Enerji İstatistikleri Raporu. URL
(erişim tarihi: 15.12.2018)
<http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT/1/Documents/E%C4%B0GM%20Periyodik%20Rapor/2018%20Ekim%20Ay%C4%B1%20Enerji%20Raporu.pdf>
- EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu) 2019. URL (erişim tarihi: 05.01.2019)
<http://www.epdk.org.tr/>

EKLER

Ek.1. MWM Gaz motoru teknik kataloğu

Ek.2. Doymuş su buharı tablosu

Ek.3. Armadaş Doğal Gaz Dağıtım A.ř 2018 yılı tüketime tarifeleri

Ek.4. Egzoz gazı bileşenleri özgül ısısı

Ek.5. %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için girdiler (üretici firma kataloğu)

Ek.6. %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için sistem verileri (üretici firma kataloğu)



Ek.1. MWM Gaz motoru teknik kataloğu

İLTEKNO MWM GAZ MOTORLARI / MWM GENSETS

TCG 2020 1200-1560-2000 kW



Motor Tipi / Motor Type		TCG 2020 V12	TCG 2020 V16	TCG 2020 V20
Elektrik çıkış gücü ¹⁾	kW	1200	1560	2000
Devir sayısı	dev/dak	1500	1500	1500
Egzoz sıcaklığı	°C	414	430	414
Egzoz debisi	kg/h	6488	8530	10851
Yanma havası debisi	kg/h	6273	8248	10494
Havalandırma debisi ²⁾	kg/h	30300	40200	50300
Silindir çapı/strok mesafesi	mm	170/195	170/195	170/195
Piston deplasman hacmi	dm ³	53	71	89
Sıkıştırma oranı		13:1	13:1	13:1
Ortalama piston hızı	m/s	9,8	9,8	9,8

Enerji Değerleri / Energy Balance

Elektrik çıkış gücü ¹⁾	kW	1200	1560	2000
Ceket suyu ısı	kW ± %8	609	774	1005
Intercoller ısı LT	kW ± %8	106	134	178
Egzoz ısı (120°C'ye)	kW ± %8	582	806	972
Yakıt tüketimi	kW ± %5	2750	3608	4577
Elektrik verimi	%	43,6	43,2	43,7
İş verimi	%	47,2	47,5	47,1
Toplam verim	%	90,8	90,7	90,8

Sistem Parametreleri / System Parameters

Ceket suyu akış miktarı	m ³ /h	43	55	71
Ceket/intercooler su hacmi ⁴⁾	dm ³	111/20	151/20	210/25
Intercoller suyu akış miktarı	m ³ /h	35	35	40
Ceket/Intc. su basınç kaybı	Bar	1,1/1,4	1,4/1,4	1,5/0,6
Ceket suyu sıcaklığı giriş/çıkış	°C	80/93	80/93	80/93
Intc. su sıcaklığı giriş/çıkış	°C	40/43	40/44	40/45
Egzoz karşı basınç	mbar	30/50	30/50	30/50
Yağlama yağı hacmi	dm ³	205	265	300
Yağlama yağı tüketimi	g/kWh ± %20	0,20	0,20	0,20

Ölçüler / Measurement

Uzunluk	mm	4790	5430	6200
Genişlik	mm	1810	1810	1710
Yükseklik	mm	2210	2210	2190
Makine seti ağırlığı	kg	11,700	13,320	17,900

1) Motor güçleri ve yanma havası debileri ISO 3046/1'e göre

2) Δ T = 15 K' de yanma havası dahil hava miktarı

3) 50 Hz'de cosφ=1

4) %35 hacimsel glikol konsantrasyonuna göre

* Bu sayıdaki verilen değerler sadece ön bilgi vermek amaçlı olup bağlayıcı değildir. Teklif ile sunulan bilgiler nihai olacaktır.

Ek.2. Doymuş su buharı tablosu

Sıcak. °C T_{doyma}	Doyma basıncı kPa P	Özgül hacim m^3/kg		İç enerji kJ/kg			Entalpi kJ/kg			Entropi kJ/(kg · K)		
		Doymuş sıvı v_f	Doymuş buhar v_g	Doymuş sıvı u_f	Doymuş buhar u_g	Doymuş buhar u_{fg}	Doymuş sıvı h_f	Doymuş buhar h_g	Doymuş buhar h_{fg}	Doymuş sıvı s_f	Doymuş buhar s_g	Doymuş buhar s_{fg}
0.01	0.6113	0.001 000	206.14	0.0	2375.3	2375.3	0.01	2501.3	2501.4	0.000	9.1562	9.1562
5	0.8721	0.001 000	147.12	20.97	2361.3	2382.3	20.98	2489.6	2510.6	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	0.001 000	106.38	42.00	2347.2	2389.2	42.01	2477.7	2519.8	0.1510	8.7498	8.9008
15	1.7051	0.001 001	77.93	62.99	2333.1	2396.1	62.99	2465.9	2528.9	0.2245	8.5569	8.7814
20	2.339	0.001 002	57.79	83.95	2319.0	2402.9	83.96	2454.1	2538.1	0.2986	8.3706	8.6672
25	3.169	0.001 003	43.36	104.88	2304.9	2409.8	104.89	2442.3	2547.2	0.3674	8.1905	8.5580
30	4.246	0.001 004	32.89	125.78	2290.8	2416.6	125.79	2430.5	2556.3	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	0.001 006	25.22	146.67	2276.7	2423.4	146.68	2418.6	2565.3	0.5053	7.8478	8.3531
40	7.384	0.001 008	19.52	167.56	2262.6	2430.1	167.57	2406.7	2574.3	0.5725	7.6845	8.2570
45	9.593	0.001 010	15.26	188.44	2248.4	2436.8	188.45	2394.8	2583.2	0.6387	7.5261	8.1648
50	12.349	0.001 012	12.03	209.32	2234.2	2443.5	209.33	2382.7	2592.1	0.7038	7.3725	8.0763
55	15.756	0.001 015	9.568	230.21	2219.9	2450.1	230.23	2370.7	2600.9	0.7679	7.2234	7.9913
60	19.940	0.001 017	7.671	251.11	2205.5	2456.6	251.13	2358.5	2609.6	0.8312	7.0784	7.9096
65	25.03	0.001 020	6.197	272.02	2191.1	2463.1	272.06	2346.2	2618.3	0.8935	6.9375	7.8310
70	31.19	0.001 023	5.042	292.95	2176.6	2469.6	292.98	2333.8	2626.8	0.9549	6.8004	7.7553
75	38.58	0.001 026	4.131	313.90	2162.0	2475.9	313.93	2321.4	2635.3	1.0155	6.6669	7.6824
80	47.39	0.001 029	3.407	334.86	2147.4	2482.2	334.91	2308.8	2643.7	1.0753	6.5369	7.6122
85	57.83	0.001 033	2.828	355.84	2132.6	2488.4	355.90	2296.0	2651.9	1.1343	6.4102	7.5445
90	70.14	0.001 036	2.361	376.85	2117.7	2494.5	376.92	2283.2	2660.1	1.1925	6.2866	7.4791
95	84.35	0.001 040	1.982	397.00	2102.7	2500.6	397.96	2270.2	2668.1	1.2500	6.1659	7.4159
Doyma basıncı MPa												
100	0.101 35	0.001 044	1.6729	418.94	2087.6	2506.5	419.04	2257.0	2676.1	1.3069	6.0480	7.3549
105	0.120 82	0.001 048	1.4194	440.02	2072.3	2512.4	440.15	2243.7	2683.0	1.3630	5.9320	7.2950
110	0.143 27	0.001 052	1.2102	461.14	2057.0	2518.1	461.30	2230.2	2689.5	1.4185	5.8202	7.2387
115	0.169 16	0.001 056	1.0366	482.30	2041.4	2523.7	482.40	2216.5	2695.0	1.4734	5.7100	7.1833
120	0.199 53	0.001 060	0.8910	503.50	2025.8	2529.3	503.71	2202.6	2700.3	1.5276	5.6020	7.1296
125	0.2321	0.001 065	0.7706	524.74	2009.9	2534.6	524.99	2188.5	2713.5	1.5813	5.4962	7.0775
130	0.2701	0.001 070	0.6685	546.02	1993.9	2539.9	546.31	2174.2	2720.5	1.6344	5.3925	7.0269
135	0.3130	0.001 075	0.5822	567.35	1977.7	2545.0	567.69	2159.6	2727.3	1.6870	5.2907	6.9777
140	0.3613	0.001 080	0.5089	588.74	1961.3	2550.0	589.13	2144.7	2733.9	1.7391	5.1908	6.9299
145	0.4154	0.001 085	0.4463	610.18	1944.7	2554.9	610.63	2129.6	2740.3	1.7907	5.0926	6.8833
150	0.4758	0.001 091	0.3928	631.68	1927.9	2559.5	632.20	2114.3	2746.5	1.8418	4.9960	6.8379
155	0.5431	0.001 096	0.3468	653.24	1910.8	2564.1	653.84	2098.5	2752.4	1.8925	4.9010	6.7935
160	0.6178	0.001 102	0.3071	674.87	1893.5	2568.4	675.55	2082.6	2758.1	1.9427	4.8075	6.7502
165	0.7005	0.001 108	0.2727	696.56	1876.0	2572.5	697.34	2066.2	2763.5	1.9925	4.7153	6.7078
170	0.7917	0.001 114	0.2428	718.33	1858.1	2576.5	719.21	2049.5	2768.7	2.0419	4.6244	6.6663
175	0.8920	0.001 121	0.2168	740.17	1840.0	2580.2	741.17	2032.4	2773.6	2.0909	4.5347	6.6256
180	1.0021	0.001 127	0.19405	762.09	1821.6	2583.7	763.22	2015.0	2778.2	2.1396	4.4461	6.5857
185	1.1227	0.001 134	0.17409	784.10	1802.9	2587.0	785.37	1997.1	2782.4	2.1879	4.3586	6.5465
190	1.2544	0.001 141	0.15654	806.19	1783.8	2590.0	807.62	1978.5	2786.4	2.2359	4.2720	6.5079
195	1.3978	0.001 149	0.14105	828.37	1764.4	2592.8	829.98	1960.0	2790.0	2.2835	4.1863	6.4696

Ek.3. Armadaş Doğal Gaz Dağıtım A.Ş 2018 yılı tüketim tarifeleri

TUKETİMLER ALANI	ZİBİ	KADEME	OCAK		ŞUBAT		MART		NİSAN		MAYIS		HAZİRAN		TEMMUZ		AĞUSTOS		EYLÜL		EMİM		KASIM		ARALIK																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
			TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh	TU/\$m3	TU/Kwh																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
PROSES	0 - 100.000.000	(KADEME 1)	1,15791276	0,10628339	1,18949750	0,10875733	1,16186632	0,10919702	1,16193528	1,16899192	0,10957831	1,17033888	1,17428930	0,11038272	1,20177835	0,11189800	1,351166020	0,12702833	1,45374938	0,13663068	1,47011008	0,13816824	1,47748154	0,13886105	1,48222836	0,13956870	1,48701454	0,13999154	1,49150830	0,14042442	1,49599206	0,14084054	1,50048582	0,14125666	1,50498108	0,14166878	1,50947634	0,14208090	1,51397160	0,14249302	1,51846686	0,14290514	1,52296212	0,14331726	1,52745738	0,14372938	1,53195264	0,14414150	1,53644790	0,14455362	1,54094316	0,14496574	1,54543842	0,14537786	1,54993368	0,14579000	1,55442894	0,14620214	1,55892420	0,14661426	1,56341946	0,14702638	1,56791472	0,14743850	1,57240998	0,14785062	1,57690524	0,14826274	1,58139550	0,14867486	1,58589076	0,14908698	1,59038602	0,14949910	1,59488128	0,14991122	1,60000000	0,15032334	1,60449336	0,15073546	1,60906338	0,15114758	1,61363330	0,15155970	1,61820322	0,15197182	1,62277274	0,15238394	1,62734226	0,15279606	1,63191058	0,15320818	1,63647910	0,15362030	1,64104762	0,15403242	1,64561614	0,15444454	1,65018466	0,15485666	1,65475318	0,15526878	1,65932170	0,15568090	1,66389022	0,15609302	1,66845874	0,15650514	1,67302726	0,15691726	1,67759578	0,15732938	1,68216430	0,15774150	1,68673282	0,15815362	1,69130134	0,15856574	1,69586986	0,15897786	1,70043838	0,15938998	1,70499690	0,15980210	1,70955542	0,16021422	1,71411394	0,16062634	1,71867246	0,16103846	1,72322098	0,16145058	1,72777950	0,16186270	1,73232802	0,16227482	1,73688654	0,16268694	1,74144506	0,16309906	1,74599358	0,16351118	1,75054210	0,16392330	1,75509062	0,16433542	1,75963914	0,16474754	1,76418766	0,16515966	1,76873618	0,16557178	1,77328470	0,16598390	1,77783322	0,16639602	1,78238174	0,16680814	1,78693026	0,16722026	1,79147878	0,16763238	1,79602730	0,16804450	1,80057582	0,16845662	1,80512434	0,16886874	1,80967286	0,16928086	1,81422138	0,16969298	1,81876990	0,17010510	1,82331842	0,17051722	1,82786694	0,17092934	1,83241546	0,17134146	1,83696398	0,17175358	1,84151250	0,17216570	1,84606102	0,17257782	1,85060954	0,17298994	1,85515806	0,17340206	1,85970658	0,17381418	1,86425510	0,17422630	1,86880362	0,17463842	1,87335214	0,17505054	1,87790066	0,17546266	1,88244918	0,17587478	1,88699770	0,17628690	1,89154622	0,17669902	1,89609474	0,17711114	1,90064326	0,17752326	1,90519178	0,17793538	1,90974030	0,17834750	1,91428882	0,17875962	1,91883734	0,17917174	1,92338606	0,17958386	1,92793458	0,18000000	1,93248330	0,18041214	1,93702662	0,18082426	1,94157114	0,18123638	1,94611806	0,18164850	1,95066478	0,18206062	1,95521150	0,18247274	1,95975842	0,18288486	1,96429534	0,18329698	1,96880686	0,18370912	1,97331838	0,18412126	1,97782980	0,18453340	1,98234132	0,18494554	1,98685284	0,18535768	1,99136436	0,18576982	1,99587588	0,18618196	2,00038694	0,18659410	2,00489846	0,18700624	2,00940998	0,18741838	2,01392150	0,18783052	2,01843302	0,18824266	2,02294454	0,18865480	2,02745706	0,18906714	2,03196958	0,18947948	2,03648110	0,18989182	2,04099262	0,19030416	2,04550414	0,19071630	2,05001566	0,19112844	2,05452718	0,19154058	2,05903870	0,19195272	2,06355022	0,19236486	2,06806174	0,19277700	2,07257326	0,19318914	2,07708478	0,19360128	2,08159630	0,19401342	2,08610782	0,19442556	2,09061934	0,19483370	2,09513082	0,19524586	2,09964234	0,19565800	2,10415386	0,19607414	2,10866538	0,19648922	2,11317690	0,19690436	2,11768842	0,19731950	2,12219994	0,19773464	2,12671346	0,19814978	2,13122698	0,19856492	2,13574050	0,19898006	2,14025302	0,19939520	2,14476554	0,19981034	2,14927806	0,20022548	2,15379058	0,20064062	2,15830310	0,20105576	2,16281562	0,20147090	2,16732814	0,20188604	2,17184066	0,20230118	2,17635320	0,20271632	2,18086572	0,20313146	2,18537826	0,20354660	2,18989110	0,20396174	2,19440362	0,20437688	2,19891614	0,20479202	2,20342860	0,20520716	2,20794052	0,20562230	2,21245244	0,20603744	2,21696436	0,20645258	2,22147628	0,20686772	2,22598820	0,20728286	2,23050012	0,20769800	2,23501204	0,20811314	2,23952396	0,20852828	2,24403588	0,20894342	2,24854780	0,20935856	2,25305972	0,20977370	2,25757164	0,21018884	2,26208356	0,21060398	2,26659548	0,21101912	2,27110740	0,21143426	2,27561932	0,21184940	2,28013124	0,21226454	2,28464316	0,21267968	2,28915468	0,21309482	2,29366620	0,21351000	2,29817772	0,21392514	3,00000000	0,21434028	3,00000000	0,21475542	3,00000000	0,21517056	3,00000000	0,21558570	3,00000000	0,21600084	3,00000000	0,21641598	3,00000000	0,21683112	3,00000000	0,21724626	3,00000000	0,21766140	3,00000000	0,21807654	3,00000000	0,21849168	3,00000000	0,21890682	3,00000000	0,21932196	3,00000000	0,21973710	3,00000000	0,22015224	3,00000000	0,22056738	3,00000000	0,22098252	3,00000000	0,22139766	3,00000000	0,22181280	3,00000000	0,22222794	3,00000000	0,22264308	3,00000000	0,22305822	3,00000000	0,22347336	3,00000000	0,22388850	3,00000000	0,22430364	3,00000000	0,22471878	3,00000000	0,22513392	3,00000000	0,22554906	3,00000000	0,22596420	3,00000000	0,22637934	3,00000000	0,22679448	3,00000000	0,22720962	3,00000000	0,22762476	3,00000000	0,22803990	3,00000000	0,22845504	3,00000000	0,22887018	3,00000000	0,22928532	3,00000000	0,22969046	3,00000000	0,23010560	3,00000000	0,23052074	3,00000000	0,23093588	3,00000000	0,23135102	3,00000000	0,23176616	3,00000000	0,23218130	3,00000000	0,23259644	3,00000000	0,23301158	3,00000000	0,23342672	3,00000000	0,23384186	3,00000000	0,23425700	3,00000000	0,23467214	3,00000000	0,23508728	3,00000000	0,23550242	3,00000000	0,23591756	3,00000000	0,23633270	3,00000000	0,23674784	3,00000000	0,23716298	3,00000000	0,23757812	3,00000000	0,23799326	3,00000000	0,23840840	3,00000000	0,23882354	3,00000000	0,23923868	3,00000000	0,23965382	3,00000000	0,24006896	3,00000000	0,24048410	3,00000000	0,24089924	3,00000000	0,24131438	3,00000000	0,24172952	3,00000000	0,24214466	3,00000000	0,24255980	3,00000000	0,24297494	3,00000000	0,24339008	3,00000000	0,24380522	3,00000000	0,24422036	3,00000000	0,24463550	3,00000000	0,24505064	3,00000000	0,24546578	3,00000000	0,24588092	3,00000000	0,24629606	3,00000000	0,24671120	3,00000000	0,24712634	3,00000000	0,24754148	3,00000000	0,24795662	3,00000000	0,24837176	3,00000000	0,24878690	3,00000000	0,24920204	3,00000000	0,24961718	3,00000000	0,25003232	3,00000000	0,25044746	3,00000000	0,25086260	3,00000000	0,25127774	3,00000000	0,25169288	3,00000000	0,25210802	3,00000000	0,25252316	3,00000000	0,25293830	3,00000000	0,25335344	3,00000000	0,25376858	3,00000000	0,25418372	3,00000000	0,25459886	3,00000000	0,25501400	3,00000000	0,25542914	3,00000000	0,25584428	3,00000000	0,25625942	3,00000000	0,25667456	3,00000000	0,25708970	3,00000000	0,25750484	3,00000000	0,25792000	3,00000000	0,25833514	3,00000000	0,25875028	3,00000000	0,25916542	3,00000000	0,25958056	3,00000000	0,26000000	3,00000000	0,26041514	3,00000000	0,26083028	3,00000000	0,26124542	3,00000000	0,26166056	3,00000000	0,26207570	3,00000000	0,26249084	3,00000000	0,26290598	3,00000000	0,26332112	3,00000000	0,26373626	3,00000000	0,26415140	3,00000000	0,26456654	3,00000000	0,26498168	3,00000000	0,26539682	3,00000000	0,26581196	3,00000000	0,26622710	3,00000000	0,26664224	3,00000000	0,26705738	3,00000000	0,26747252	3,00000000	0,26788766	3,00000000	0,26830280	3,00000000	0,26871794	3,00000000	0,26913308	3,00000000	0,26954822	3,00000000	0,26996336	3,00000000	0,27037850	3,00000000	0,27079364	3,00000000	0,27120878	3,00000000	0,27162392	3,00000000	0,27203906	3,00000000	0,27245420	3,00000000	0,27286934	3,00000000	0,27328448	3,00000000	0,27369962	3,00000000	0,27411476	3,00000000	0,27452990	3,00000000	0,27494504	3,00000000	0,27536018	3,00000000	0,27577532	3,00000000	0,27619046	3,00000000	0,27660560	3,00000000	0,27702074	3,00000000	0,27743588	3,00000000	0,27785102	3,00000000	0,27826616	3,00000000	0,27868130	3,00000000	0,27909644	3,00000000	0,27951158	3,00000000	0,27992672	3,00000000	0,28034186	3,00000000	0,28075700	3,00000000	0,28117214	3,00000000	0,28158728	3,00000000	0,28200242	3,00000000	0,28241756	3,00000000	0,28283270	3,00000000	0,28324784	3,00000000	0,28366298	3,00000000	0,28407812	3,00000000	0,28449326	3,00000000	0,28490840	3,00000000	0,28532354	3,00000000	0,28573868	3,00000000	0,28615382	3,00000000	0,28656896	3,00000000	0,28698410

Ek.4. Egzoz gazı bileşenleri özgül ısısı.

Sıcaklık [°C]	CO Özgül Isısı [kJ/kg.K]	CO ₂ Özgül Isısı [kJ/kg.K]	H ₂ O Özgül Isısı [kJ/kg.K]	O ₂ Özgül Isısı [kJ/kg.K]	NO Özgül Isısı [kJ/kg.K]	NO ₂ Özgül Isısı [kJ/kg.K]	N ₂ Özgül Isısı [kJ/kg.K]
273	1,048	0,811	1,874	0,9287	-	-	1,035
323	1,039	0,8666	1,874	0,9217	-	-	1,042
373	1,041	0,9148	1,887	0,9318	-	-	1,041
423	1,049	0,9574	1,908	0,9476	-	-	1,043
473	1,06	0,9952	1,935	0,9647	-	-	1,05
573	1,085	1,06	1,997	0,9971	-	-	1,07
673	1,111	1,112	2,066	1,025	-	-	1,095
773	1,135	1,156	2,137	1,048	-	-	1,12
127	1,226	1,292	2,471	1,121	-	-	1,213

Ek.5. %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için girdiler (üretici firma kataloğu)

Motor tipi	TCG 2020	TCG 2020	TCG 2020
Silindir sayısı	20	20	20
Motor yükü [%]	50	75	100
Lambda değeri	1.4	1.4	1.4
Rakım [m]	500	500	500
Giriş havası sıcaklığı [°C]	25	25	25
Bağıl nem [%]	55	55	55
Hava fanı debisi [m ³ /s]	1.3337	2.0005	2.6171
LT antifreeze oranı [%]	35	35	35
LT hattı int.giriş sıcaklığı [°C]	40	40	40
Doğalgazın alt ısıl değeri [kJ/kg.K]	8250	8250	8250
HT hattı antifreeze oranı [%]	35	35	35
Ceket suyu giriş sıcaklığı [°C]	80	80	80
Kazan tipi	Buhar	Buhar	Buhar
Kullanıcı hattı dönüş sıcaklığı [°C]	70	70	70
Kullanıcı hattı talep edilen sıcaklık [°C]	90	90	90
Kullanıcı hattı debisi [kg/s]	4.35	6.35	8.5
Kazan besi suyu hattı dönüş sıcaklığı [°C]	90	90	90
Kazan besi suyu talep edilen sıcaklık değeri [°C]	285	285	285
Kazan besi suyu debisi [kg/s]	0.17	0.26	0.35

Ek.6. %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için sistem verileri (üretici firma kataloğu)

Sistem Verileri		Motor Yüğü			
		%50	%75	%100	
Tüketilen yakıt ısıı değeri	kW	2419,482791	3629,224186	4747,664344	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1000	1499,963416	2000	P_e
Elde edilen ısıı güç	kW	816,9095018	1223,907591	1643,52368	$Q_{ısıı}$
Elektriksel verim	%	0,413311475	0,413301394	0,421259772	η_e
Isıı verim	%	0,337638071	0,337236701	0,346175206	$\eta_{ısıı}$
Sistem toplam verimi	%	0,750949545	0,750538095	0,767434978	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,760971522	0,760162373	0,770615817	η_{tmax}

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Ayşe Kübra PAKSOY
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 29.10.1990 Kahramanmaraş
Medeni hali : Bekâr
Telefon : 0 (535) 854 60 86
e-posta : aysekubrapaksoy@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	KSÜ /Makine Mühendisliği Bölümü	2019
Lisans	Gaziantep Üniversitesi/Makine Müh.	2012
Lise	Çukurova Elektrik Anadolu Lisesi	2008

İş Denevimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Devam	Element Proje A.Ş.	Proje ve Üretim Şefi

Yabancı Dil

İngilizce,Almanca

Yayımlar

1. INTERNATIONAL BLACK SEA COASTLINE COUNTRIES SYMPOSIUM – 2/Gaz Motorlu Bir Isıl Güç Çevrim Santralının Atık Isı Geri Kazanımının Termoekonomik Analizi

Hobiler

Belgesel izlemek, Ata binmek, Doğa yürüyüşü yapmak