

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAZ MOTORLU BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN
BİR BOYUTLU SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Atamer DERİNPINAR

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

HAZİRAN 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAZ MOTORLU BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN
BİR BOYUTLU SİMÜLASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Atamer DERİNPINAR
(503121106)**

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Isı Akışkan Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE

HAZİRAN 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503121106 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Atamer DERİNPINAR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GAZ MOTORLU BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN BİR BOYUTLU SİMÜLASYONU” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Yakup Erhan BÖKE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Derya Burcu ÖZKAN**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sertaç ÇADIRCI
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **03 Mayıs 2018**
Savunma Tarihi : **07 Haziran 2018**



ÖNSÖZ

Bu tez çalışması enerji verimliliğinin önem kazandığı günümüzde enerjiyi verimli kullanma metodlarından olan kojenerasyon sistemlerini tanıtmak ve bu alandaki çalışmalara katkı sunmak amacıyla hazırlanmıştır. Öncelikle kojenerasyon sistemleri genel hatları ile anlatılmıştır. Akabinde MWM marka gaz motorları üzerinden, gaz motorları ve gaz motorlu kojenerasyon sistemleri ekipmanları ile birlikte tanıtılmıştır. Bunun yanı sıra MATLAB programında oluşturulan termodinamik model ile çalışan bir simülasyon programı oluşturulmuştur. Bu simülasyon programında MWM marka gaz motorlu bir kojenerasyon santralinden belli girdilere göre elde edilen çıktılar hesaplanabilmektedir. Bu simülasyon programı ile kojenerasyon alanında yapılan akademik çalışmalara katkı sunmak ve serbest piyasada kullanılabilir hale gelmesi sağlanarak sektöre fayda sağlamak hedeflenmiştir.

Tez çalışmalarım sırasında kojenerasyon ve enerji verimliliği alanında bilhassa ülkemizde yapılan çalışmaların artırılması gerektiği kanısına varmış bulunmaktayım. Doktora çalışmalarım için bir temel teşkil edecek bu programı daha da geliştirerek enerji verimliliği alanında kullanıma sunmayı hedeflemekteyim. Çalışmalarım sırasında öncelikle yol göstericiliğiyle yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr.Yakup Erhan Böke'ye çok teşekkür ederim. Desteklerini hiç esirgemeyen iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime de ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım. Her zaman manevi desteklerini hissettiğim sevgili anneme, babam ve kardeşlerime, çalışmalarım sırasında sabrıyla desteğini üzerimden eksik etmeyen eşim Şeyma Akdeniz Derinpınar'a teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2018

Atamer Derinpınar
Makine Mühendisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Araştırması	3
2. KOJENERASYON SİSTEMLERİ	5
2.1 Atık Isı.....	5
2.2 Kojenerasyon Sistemleri Tanımı.....	5
2.3 Kojenerasyon Sisteminin Avantajları.....	6
2.4 Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulama Alanları.....	7
2.5 Kojenerasyon Teknikleri	8
2.5.1 Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri.....	8
2.5.2 Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri	9
2.5.3 İçten yanmalı motorlu kojenerasyon sistemleri	10
2.5.3.1 Dizel motorlu kojenerasyon sistemleri.....	11
2.5.3.2 Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri.....	12
3. GAZ MOTORLU KOJENERASYON SİSTEMLERİ.....	13
3.1 MWM Gaz Motorları	13
3.2 MWM Gaz Motoru Sistem Ekipmanları	16
3.2.1 Gaz yolu	17
3.2.2 Hava hattı	18
3.2.3 Gaz mikser veya karbüratör	18
3.2.4 Turbocharger kompresör bölümü.....	19
3.2.5 Throttle valfi	21
3.2.6 İntercooler yada ara soğutucu	21
3.2.7 Emme manifoldu.....	22
3.2.8 Yanma odası ve gaz motoru çalışma prensibi.....	23
3.2.9 Egzoz manifoldu	26
3.2.10 Turbocharger türbin bölümü	27
3.2.11 Motor yağlama sistemi.....	27
3.2.12 Motor soğutma sistemi, HT ve LT hatları.....	28
3.2.13 Alternatör	30
3.2.14 Motor kontrolü ve izleme sistemi	30
3.2.15 Gaz Motoru Yardımcı Ekipmanları	31

3.3 Kojenerasyon Sistemi Gaz Motoru Harici Ekipmanları.....	31
3.3.1 Ceket suyu eşanjörü	31
3.3.2 Buhar yada sıcak su kazanı	32
3.3.3 Soğutucular.....	32
4. GAZ MOTORLU BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN BİR BOYUTLU SİMULASYONU	35
4.1 Kompresör Sıkıştırma Simülasyonu.....	35
4.1.1 Kompresör giriş basıncının bulunması.....	36
4.1.2 Kompresör çıkış basıncı ve sıcaklığı.....	37
4.2 İntercooler Soğutma Simülasyonu	39
4.3 LT Hattı Simülasyonu	41
4.4 Gaz Motorunda Yanma Ve Güç Eldesi Simülasyonu	43
4.4.1 Yanma denklemi	43
4.4.2 Adyabatik alev sıcaklığının bulunması	45
4.4.3 Güç eldesi simülasyonu.....	46
4.4.4 Elektriksel verim	48
4.5 HT Hattı Simülasyonu.....	48
4.6 Kullanıcı Hattı, Kazan Isıtma Ve Soğutma	51
4.6.1 Beslemesi kullanıcı hattı olan sıcak su kazanı	53
4.6.2 Kullanıcı hattı ayrı olan sıcak su kazanı.....	57
4.6.3 Buhar kazanı.....	58
4.6.4 Soğutma.....	60
4.6.5 Isıl Verim.....	60
5. GAZ MOTORLU KOJENERASYON SİSTEMİNİN FARKLI KOŞULLAR İÇİN BİR BOYUTLU SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ÖNERİLER	61
5.1 Farklı Rakım Koşulları	62
5.1.1 Farklı rakım koşullarında simülasyon sonuçları	62
5.1.2 Farklı rakım koşulları için öneriler.....	66
5.2 Farklı Hava Sıcaklığı Koşulları	66
5.2.1 Farklı hava sıcaklığı koşullarında simülasyon sonuçları	66
5.2.2 Farklı hava sıcaklığı koşulları için öneriler.....	69
5.3 Farklı Motor Tipi Koşulları	70
5.3.1 Farklı motor tipi koşullarında simülasyon sonuçları.....	70
5.3.2 Farklı motor tipi koşulları için öneriler	73
5.4 Farklı Motor Yüğü Koşulları.....	73
5.4.1 Farklı motor yüğü koşullarında simülasyon sonuçları	73
5.4.2 Farklı motor yüğü koşulları için öneriler	75
KAYNAKLAR.....	77
EKLER.....	79
ÖZGEÇMİŞ.....	147

KISALTMALAR

AID	: Yakıt Alt Isıl Değeri
HHYO	: Hacimsel Hava Yakıt Oranı
HYO	: Hava Yakıt Oranı
KMA	: Krank Mili Açısı
LNG	: Liquified Natural Gas
PLC	: Programmable Logic Controller
TC	: Turbocharger
TEP	: Ton Eşdeğer Petrol



SEMBOLLER

$a_{gerçek}$	: Gerçek Yanma Denkleminde Havanın Katsayısı
a_{sto}	: Stokiyometrik Yanma Denkleminde Havanın Katsayısı
AID_g	: Gazın Alt Isıl Değeri
cp_{ex}	: Egzoz Gazı Özgöl Isısı
cp_{HT}	: HT Hattındaki Akışkanın Özgöl Isısı
$cp_{HT,ant}$	: HT Hattındaki Antifiriz Özgöl Isısı
$cp_{HT,su}$	: HT Hattındaki Suyun Özgöl Isısı
$cp_{khattı}$	: Kullanıcı Hattındaki Akışkanın Özgöl Isısı
cp_{LT}	: LT Hattındaki Akışkanın Özgöl Isısı
$cp_{LT,ant}$	: LT Hattındaki Antifiriz Özgöl Isısı
$cp_{LT,su}$	: LT Hattındaki Suyun Özgöl Isısı
D	: Yanma Odası Çapı
d_{HT}	: HT Hattındaki Akışkanın Yoğunluğu
$d_{LT,ant}$	: HT Hattındaki Antifiriz Yoğunluğu
$d_{LT,su}$	: HT Hattındaki Suyun Yoğunluğu
d_{LT}	: LT Hattındaki Akışkanın Yoğunluğu
$d_{LT,ant}$	: LT Hattındaki Antifiriz Yoğunluğu
$d_{LT,su}$	: LT Hattındaki Suyun Yoğunluğu
g	: Yerçekimi İvmesi
H	: Yanma Odası Strok Boyu
h	: Rakım
h_{buhar}	: Talep Edilen Buharın Entalpisi
$h_{kazanbes}$	: 10 bar Basıncındaki Doymuş Suyun Entalpisi
h_0	: Deniz Seviyesindeki Rakım
$HYO_{gerçek}$	: Gerçek Hava Yakıt Oranı
$HHYO_{ind}$	: Yanma Odasındaki Hacimsel Hava Yakıt Oranı
HYO_{sto}	: Stokiyometrik Hava Yakıt Oranı
k	: Havanın Adyabatik Üs Katsayısı
k_{ex}	: Egzoz Gazı Adyabatik Üs Katsayısı

L	: Motor Yüğü
m	: Kütöe
$\dot{m}_{bypass}$	: Bypassa Giden Egzoz Gazı Debisi
$\dot{m}_{ex}$	: Egzoz Gazı Debisi
$\dot{m}_{exkazan}$	: Kazana Giden Egzoz Gazı Debisi
M_g	: Gazın Mol Kütöesi
$\dot{m}_g$	: Gazın Debisi
$m_{g,gerçek}$	: Gerçek Yanma Denklemindeki Gazın Kütöesi
M_h	: Havanın Mol Kütöesi
$\dot{m}_h$	: Havanın Debisi
$m_{h,gerçek}$	: Gerçek Yanma Denklemindeki Havanın Kütöesi
$\dot{m}_{hmin}$	: Minimum Yanma Havası Miktarı
$\dot{m}_{HT}$	: HT Hattı Debisi
$\dot{m}_{khattı}$	: Kullanıcı Hattı Debisi
$\dot{m}_{LT}$	: LT Hattı Debisi
$\dot{m}_{mix}$	: Karışımın Debisi
$\dot{n}_g$	: Gazın Molar Debisi
$\dot{n}_h$	: Havanın Molar Debisi
$\dot{n}_{mix}$	: Karışımın Molar Debisi
n_m	: Motor Devir Sayısı
P_1	: Giriş Havası Basıncı
P_2	: Kompresör Çıkış Basıncı
P_3	: İntercooler Çıkış Basıncı
P	: Basıncı
$P_{doyma@T1}$	: T1 Sıcaklığındaki Havanın Su Buharı Doyma Basıncı
P_e	: Elektriksel Güç
P_g	: Gazın Yakılmasıyla Elde Edilen Güç
P_{ind}	: İndike Güç
p_{klepe}	: Kazan Klepe Pozisyonu
P_m	: Mekanik Güç
P_o	: Deniz Seviyesi Ortam Basıncı
P_r	: Kompresör Sıkıştırma Oranı
Q_{blok}	: Motor Bloğundan HT Hattına Transfer Edilen Isı Miktarı
Q_{HT}	: HT Hattı Isı Kapasitesi
Q_{HTint}	: İntercoolerden HT Hattına Transfer Edilen Isı Miktarı

$Q_{HT\text{Radyatör}}$	: HT Hattı Radyatörü Kapasitesi
$Q_{\text{Isıl}}$	: Atık Isıdan Aktarılan Toplam Isı Miktarı
Q_{int}	: İntercoolerden Transfer Edilen Isı Miktarı
Q_k	: Kayıp Isı Miktarı
Q_{kazan}	: Kazan Isıl Gücü
Q_{kazanbes}	: Kazan Besi Suyuna Aktarılan Isıl Güç
$Q_{\text{kazankayıp}}$	: Kazandaki Kayıp Isı Miktarı
Q_{kazanmax}	: Kazandan Alınabilecek Maksimum Isıl Güç
$Q_{\text{khattı}}$	: Kullanıcı Hattına Aktarılan Isı Miktarı
$Q_{\text{khattımax}}$	: Kullanıcı Hattı Maksimum Isıl Güç
Q_{LT}	: İntercoolerden LT Hattına Transfer Edilen Isı Miktarı
$Q_{LT\text{Radyatör}}$	: LT Hattı Radyatörü Kapasitesi
$Q_{\text{yağ}}$	: Yağ Eşanjörü Isı Kapasitesi
R	: İdeal Gaz Sabiti
T	: Sıcaklık
T_1	: Karışımın Giriş Hava Sıcaklığı
T_2	: Karışımın Kompresördeki İzantropik Çıkış Sıcaklığı
T_2'	: Karışımın Kompresördeki Gerçek Çıkış Sıcaklığı
T_3	: Karışımın İntercooler Çıkış Sıcaklığı
T_4	: Adyabatik Alev Sıcaklığı
T_5	: Motoru Terk Eden Egzoz Gazı Sıcaklığı
T_6	: Bypassa Giden Egzoz Gazı Sıcaklığı
T_7	: Kazandan Çıkan Egzoz Gazı Sıcaklığı
T_8	: Bacadan Çıkan Egzoz Gazı Sıcaklığı
T_{201}	: LT Hattı İntercooler Giriş Sıcaklığı
T_{202}	: LT Hattı İntercooler Çıkış Sıcaklığı
T_{301}	: HT Hattı Motor Giriş Sıcaklığı
T_{302}	: HT Hattı Motor Çıkış Sıcaklığı
T_{303}	: HT Hattı Kullanıcı Eşanjörü Çıkış Sıcaklığı
T_{304}	: HT Hattı Yağ Eşanjörü Giriş Sıcaklığı
T_{401}	: Kullanıcı Hattı Eşanjör Giriş Sıcaklığı
T_{402}	: Kullanıcı Hattı Eşanjör Çıkış Sıcaklığı
T_{403}	: Kullanıcı Hattı Kazan Çıkış Sıcaklığı
$T_{403_{\text{max}}}$	: Kullanıcı Hattı Elde Edilebilecek Maksimum Kazan Çıkış Sıcaklığı
T_{501}	: Kazan Hattı Kazan Giriş Sıcaklığı

T502	: Kazan Hattından Elde Edilebilecek Maksimum Kazan Çıkış Sıcaklığı
T502_{max}	: Kazan Hattı Kazan Çıkış Sıcaklığı
V_{g,ind}	: Yanma Odasına Giren Gaz Hacmi
V_H	: Yanma Odası Hacmi
V	: Hacim
v	: Motor Silindir Sayısı
$\dot{V}_{HT}$	: HT Hattı Hacimsel Debisi
$\dot{V}_{LT}$	: LT Hattı Hacimsel Debisi
$\dot{V}_g$	: Tüketilen Gazın Hacimsel Debisi
$\dot{V}_g$	: Gazın Hacimsel Debisi
W_{ind}	: İndike İş
W_{k,g}	: Kompresörün Yaptığı Gerçek İş
W_{k,izan}	: Kompresörün Yaptığı İzantropik İş
x_{HT}	: LT Hattı Antifiriz Oranı
x_{LT}	: LT Hattı Antifiriz Oranı
ΔT_{HT}	: HT Hattına Giren ve Çıkan Akışkanın Sıcaklık Farkı
Δh_{mix}	: İntercoolere Giren ve Çıkan Karışımın Molar Entalpi Farkı
ΔT_{LT}	: LT Hattına Giren ve Çıkan Akışkanın Sıcaklık Farkı
ε	: Yanma Odası Sıkıştırma Oranı
η_e	: Sistem Elektrik Verimi
$\eta_{ısıl}$	: Sistem Isıl Verimi
η_k	: Kompresör İzantropik Verimi
η_t	: Sistem Toplam Verimi
η_{tmax}	: Sistemden Elde Edilebilecek Maksimum Toplam Verim
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
ρ	: Yoğunluk
ρ_g	: Gazın Yoğunluğu
$\rho_{g,ind}$	: Yanma Odasına Giren Gazın Yoğunluğu
$\rho_{h,ind}$	: Yanma Odasına Giren Havanın Yoğunluğu
ϕ	: Bağıl Nem Yüzdesi

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: MWM TCG 2016 50 Hz gaz motoru broşür verileri.....	15
Çizelge 3.2: MWM TCG 2020 50 Hz gaz motoru broşür verileri.....	16
Çizelge 3.3: MWM TCG 2032 50 Hz gaz motoru broşür verileri.....	16
Çizelge 3.4: MWM motor tiplerine ve motor yüküne göre minimum yanma havası miktarı.	18
Çizelge 3.5: MWM tarafından kullanılan TC özellikleri.....	21
Çizelge 4.1: MWM motor serilerine göre sıkıştırma oranları.	50
Çizelge 4.2: Egzoz gazı bileşenleri özgül ısıları.....	51
Çizelge 5.1: Program kullanıcıdan istenilen girdi değerleri.	61
Çizelge 5.2: 0-100-250-500-750-1000 m rakım değerleri için ortak girdiler.....	62
Çizelge 5.3: 0-100-250-500-750-1000 m rakımda değişken girdi değerleri olarak kullanıcı hattı debileri.....	63
Çizelge 5.4: 0-100-250 m rakım için sistem verileri simülasyon sonuçları.	63
Çizelge 5.5: 500-750-1000 m rakım için sistem verileri simülasyon sonuçları.	64
Çizelge 5.6: 0-100-250 m rakım için gaz motoru ve atık ısı verileri simülasyon sonuçları.	64
Çizelge 5.7: 500-750-1000 m rakım için gaz motoru ve atık ısı verileri simülasyon sonuçları.	65
Çizelge 5.8: 10-15-20-25-30-35 °C hava sıcaklık değerleri için ortak girdiler.	67
Çizelge 5.9: 10-15-20 °C hava sıcaklığı için sistem verileri simülasyon sonuçları...	67
Çizelge 5.10: 25-30-35 °C hava sıcaklığı için sistem verileri simülasyon sonuçları.	68
Çizelge 5.11: TCG 2016-TCG 2020-TCG 2032 motor tipleri için girdiler.	71
Çizelge 5.12: TCG 2016-TCG 2020-TCG 2032 motor tipleri için sistem verileri simülasyon sonuçları.....	71
Çizelge 5.13: %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için girdiler.	74
Çizelge 5.14: %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için sistem verileri simülasyon sonuçları.	74



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Kojenerasyon sistemi şematik gösterim.	6
Şekil 2.2: Trijenerasyon sistemi şematik gösterim.	6
Şekil 2.3: Gaz türbinli kojenerasyon sistemi.	9
Şekil 2.4: Buhar türbinli kojenerasyon sistemi.	10
Şekil 2.5: İçten yanmalı motorlu kojenerasyon sistemi.	11
Şekil 3.1: MWM TCG 2016 gaz motoru.	14
Şekil 3.2: MWM TCG 2020 gaz motoru..	14
Şekil 3.3: MWM TCG 2032 gaz motoru..	15
Şekil 3.4: Gaz yolu ve ekipmanları.....	17
Şekil 3.5: Gaz mikser iç yapısı.	19
Şekil 3.6: TC kompresör ve türbin iç yapısı.	20
Şekil 3.7: İki kademeli intercooler şematik gösterimi.	22
Şekil 3.8: İntercooler lamelleri ve boruları.....	22
Şekil 3.9: İçten yanmalı motorda yanma öncesi iş çevrimi şematik gösterimi.	24
Şekil 3.10: İçten yanmalı motorda yanma sonrası iş çevrimi şematik gösterimi.	25
Şekil 3.12: TCG 2016 motor silindir kafası.....	26
Şekil 3.12: Piston ve biyel kolu.	26
Şekil 3.13: Hava gaz karışımının izlediği yol şematik gösterim.	27
Şekil 3.14: HT, LT ve Gaz Hattı Şematik Gösterim.	30
Şekil 3.15: Örnek bir kazan, ceket suyu eşanjörü ve kullanıcı hattı dizaynı.	33
Şekil 4.1: Kompresör giriş ve çıkış şematik gösterim.	35
Şekil 4.2: İntercooler giriş ve çıkış şematik gösterim.....	39
Şekil 4.3: LT hattı şematik çizimi.	42
Şekil 4.4: HT hattı şematik çizimi.	50
Şekil 4.5: Beslemesi kullanıcı hattı olan sıcak su kazanı akış diyagramı.....	56
Şekil 4.6: Kullanıcı hattı ayrı olan sıcak su kazanı/buhar kazanı akış diyagramı.	59
Şekil 5.1: Farklı rakım koşullarında verim değerleri.....	65
Şekil 5.2: Farklı rakım değerlerinde güç değerleri.	66
Şekil 5.3: Farklı hava sıcaklık koşullarında verim değerleri.	69
Şekil 5.4: Farklı hava sıcaklık koşullarında güç değerleri.....	69
Şekil 5.5: Farklı motor tiplerinde verim değerleri.	72
Şekil 5.6: Farklı motor tiplerinde güç değerleri.....	72
Şekil 5.7: Farklı motor yüklerinde verim değerleri.	75
Şekil 5.8: Farklı motor yüklerinde güç değerleri.....	76



GAZ MOTORLU BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN BİR BOYUTLU SİMÜLASYONU

ÖZET

Enerji verimliliği konusu ülkemizde ve tüm dünyada hassasiyet kazanmış bir konu haline gelmiştir. Ülkeler ve kuruluşlar bazında olduğu gibi bireysel bazda dahi enerji kullanımında verimlilik sağlanması yönünde bilinçlenme artmaktadır. Özellikle enerji maliyetlerindeki artış, arz güvenliği, çevre kirliliği vb. hususlardan ötürü enerji verimliliği önemli gündem maddesi olarak karşımızdadır.

Kojenerasyon sistemleri enerjiyi verimli kullanma avantajlarından ötürü günümüzde gittikçe yaygınlaşan sistemlerdir. Bu sistemlerde elektrik üretimi yapılırken açığa çıkan atık ısıdan faydalanmak suretiyle bunun için ayrıca enerji tüketimi yapılmaz. Fabrikalar, hastaneler, oteller, üniversite kampüsleri, havalimanları ve alışveriş merkezleri gibi hem elektrik hem ısı enerjisine ihtiyaç duyan büyük komplekslerde enerji maliyetleri kojenerasyon sistemleri sayesinde ciddi miktarda düşürülebilir. Ayrıca, yakıt sarfiyatının azalması ile beraber emisyon yönetmelerine uygunluk ve çevre kirliliğini azaltmaya katkı sağlanır. Kojenerasyon sistemlerinde gaz türbinleri, buhar türbinleri ve içten yanmalı motorlar kullanılarak enerji üretimi sağlanabilir. Hangi tür makinenin kullanılacağı, talep edilen enerji miktarı, çevresel şartlar ve fizibilite sonuçlarına göre belirlenir.

Fiyatının uygun olması, işletme kolaylığı ve temiz enerji kaynağı olması gibi sebeplerden dolayı doğalgaz enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ülkemiz için dışa bağımlılık durumu doğalgazla enerji üretimi konusunda bir handikap olsa da doğalgaz tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de popüleritesini korumaktadır.

Kojenerasyon sistemi kurulumu öncesinde bir çok fizibilite çalışması yapılması gereksinimi vardır. Fizibilite çalışması basamaklarından birisi girdi değerlerine göre hangi çıktı değerlerinin elde edilebileceği ve bunun analizidir. Yani sıcaklık, basınç ve bunun gibi parametrelerin güç, verim ve yakıt sarfiyatını nasıl etkilediği, sistem yatırım kararı ve sistem kârlılık hesabında etkin rol oynayacaktır.

Bu tez çalışmasında gaz motorlu bir kojenerasyon sisteminin simülasyonunu yapan bir program oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında öncelikle kojenerasyon sistemleri, kullanım alanları ve tekniklerinden bahsedilmiştir. Sonrasında MWM marka gaz motorları özelinde kojenerasyon sistemleri, gaz motoru ve kojenerasyon santrali ekipmanları detaylandırılmıştır. Gaz motorlu kojenerasyon santralinin çalışma prensibi anlatılmış, şematik şekiller ve resimler ile desteklenmiştir. Simülasyon programı için oluşturulan termodinamik model içerdiği tüm denklemler ve kabuller ile 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 konulur ve denklemler çözülür. Hesaplamaların bitmesinin ardından excel sayfası şeklinde bir datasheet oluşturulur ve kullanıcıya sunulur. Bu datasheet 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. Motor yükü konusunda ise tam yükten aşağı yük değerlerinde verim değerlerinin düştüğü görülmüştür.



ONE DIMENTIONAL SIMULATION OF A GAS ENGINE COGENERATION SYSTEM

SUMMARY

Energy efficiency has become a sensitive issue in Turkey and all around the world. There is an increasing awareness about efficient usage of the energy sources among countries, among companies and among individual basis. Especially, efficiency of energy is an important agenda item because of the rising energy costs, security of supply and environmental pollution.

Cogeneration systems become widespread during last years due to the efficiency on energy usage. Thanks to these systems there will be no extra energy consumption by using waste heat which is emitted during electricity production. In large complexes which need both electricity and heat, such as factories, hospitals, hotels, university campuses, airports and shopping malls, energy costs can be significantly reduced by cogeneration systems. In addition, reduction of fuel consumption, compliance with emissions regulations and reducing environmental pollution can be provided, too. Gas turbines, steam turbines or internal combustion engines can be used for energy production in cogeneration systems. Amount of energy demand, environmental conditions and feasibility results are the most significant factors about which type of machine should be selected for energy production.

Natural gas is frequently used as a clean energy source as well as easy operation and reasonable price. Even though external dependence is a handicap, natural gas is keep its preferableness all around the world as well as in Turkey.

Before a cogeneration system investment, many feasibility studies are required. One of the feasibility study steps is analyzing the output values which can be provided by input values. In other words, how the parameters such as temperature, pressure and so on affect power, efficiency and fuel consumption which play active roles in system investment decision and system profitability calculation.

In this thesis, a program which simulates a gas engine cogeneration system is created. At first, cogeneration systems, usage areas and techniques are mentioned in the thesis. Thereafter specifically MWM brand gas engine cogeneration systems and cogeneration plant equipments are detailed. The working principle of the system is explained and supported by schematic shapes and pictures. The thermodynamic model which is generated for the simulation program is explained by all the equations and assumptions it contains. Thermodynamic model begins with the compression of gas air mixture and goes forward with intercooling phase, the combustion process in the gas engine combustion chambers, calculation of the power output, the exhaust output and ends with waste heat energy output. The codes of thermodynamic model is created in MATLAB software. The requested values from the user are entered in MATLAB interface. Related values are used in the thermodynamic model and the equations are solved. After end of calculations, a datasheet is created as an excel sheet and presented to the user by simulation

program. This datasheet shows the output values which can be obtained from the system according to the values entered.

At the end of the study, several analysis are performed in the simulation program. Output value comparisons are done for different input value conditions. These comparison cases are altitude change, different ambient temperature conditions, different gas engine type situations and different engine load cases. According to the results of this analysis, rising of altitude and rising of ambient temperature cause to power and system efficiency decrease. In addition, it is observed that TCG 2032 series of MWM brand has more efficiency than TCG 2020 and TCG 2016 series under same input conditions. For engine load cases, simulation results shows that efficiency values decrease if engine load drops.



1. GİRİŞ

Sanayileşme, teknoloji ürünlerine rağbet ve insanoğlunun konfor tercihleri gibi faktörler ve talepler geçmişten bugüne giderek yükselen enerji ihtiyacını beraberinde getirmiştir. Üretim, lojistik gibi sanayi faaliyetlerinden, ulaşım, aydınlatma, ısınma, beslenme gibi birçok sosyal hayat faaliyetleri için enerji gereksinimi vardır. Bu enerji ihtiyacının ne kadarının karşılanabildiği yani ne kadar enerji tüketildiği doğrudan gelişmişlik göstergesi sayılmaktadır [1].

Özellikle artan enerji talepleri enerjinin üretim metodları, sevkiyatı, değerlendirilebilirliği, sürdürülebilirliği ve verimliliği konularında sosyal, ekonomik ve mühendislik çalışmalarının akademik düzeyde yapılmasını gerektirmiştir. Ayrıca, enerji hükümetlerin öncelikli konularından olmuş ve enerji alanında politikalar geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Ülkeler arası diplomaside enerji ve enerji kaynakları önemli bir amaç ve araç haline dönüşmüştür.

Dünyada enerji üretimi ağırlıklı olarak petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [1]. Bu kaynakların yanı sıra hidroelektrik, nükleer ve yenilenebilir enerji gibi kaynaklar da enerji üretiminde gittikçe önem arz etmektedir.

2017 yılı Temmuz ayında yayımlanan BP Statistical Review of World Energy raporuna göre 2016 yılı sonu itibariyle petrol yaklaşık %33,28 oranla dünyada en fazla kullanılan birincil enerji kaynağıdır. Bunu yaklaşık %28,1 oranla kömür ve %24,1 oranla doğalgaz takip etmektedir. Geriye kalan %14,5 lük pay ise hidroelektrik santrallerinden, nükleer enerji santrallerinden ve yenilenebilir enerji santrallerinden sağlanmaktadır. Tüm dünyadaki enerji tüketim miktarı ise bir önceki yıla göre %1,1 lik artış ile 2016 yılında 13.276,3 milyon TEP e yükselmiştir. Diğer bir ifade ile 154.000 TWh lik bir enerji tüketimine karşılık gelmektedir. Bu değerler tüm dünyadaki elektrik üretimi, ulaşım, sanayi, ısınma ve diğer tüm amaçlarla kullanılan enerji miktarıdır [2].

Tüm dünyada elektrik ihtiyacı da gittikçe artmaktadır. Bilhassa sanayileşmiş ülkelerin hali hazırdaki ihtiyaçları ile sanayileşmekteki ülkelerin giderek artan tüketimleri ve şehirleşmenin getirdiği konfor talepleri elektrik üretimine olan talebi arttırmaktadır. Öyleki dünyada 2015 yılında 24.215,5 TWh olan elektrik üretimi 2016 yılında 24.816,4 TWh e çıkarak %2,48 artmıştır [2].

Dünya ile benzer olarak Türkiye de artan bir enerji ihtiyacı ile karşı karşıyadır. Ancak, diğer ülkelerden farklı olarak nüfus artış hızının yüksek olması ve sanayileşen bir ülke olması dolayısıyla yıllara göre enerji ihtiyacı dünya ortalamasının üzerindedir. Türkiye'nin 2016 yılındaki enerji tüketimi 137,9 milyon TEP yani yaklaşık 1603,78 TWh kadardır. Bir önceki yıla göre artışı ise %4,2 dir [2]. Türkiye'nin enerji tüketim değeri enerji kaynaklarına göre sınıflandırıldığında, kömür tüketiminin son yıllarda arttığı görülmektedir. 2015 yılı oranı %26,3 olan kömür payı 2016 yılında %27,8 civarındadır. Doğalgazın toplam tüketimdeki payı ise 2015 yılında %29,7 iken 2016 yılında %27,48 civarına düşmüştür [2]. Türkiye'nin elektrik tüketimi 2009 yılından bu yana artış göstermektedir. Türkiye İstatistik Kurumunun verilerine göre, 217,3 TWh olan 2015 yılı elektrik tüketimi %6,4 artarak 2016 yılında 231,2 TWh düzeyine erişmiştir [3]. Yakıt tipine göre üretimde ise kömürün payı ciddi oranda yükselmektedir. 2016 yılı itibarıyla %33,7 ile elektrik üretiminde en büyük pay kömüre aittir. Bunu %32,5 ile doğalgaz ve %24,5 ile hidroelektrik izlemektedir. Yenilenebilir enerji yatırımları dünyayla paralel olarak Türkiye'de de artış göstermiştir. Bunun sonucu 2016 yılı elektrik üretiminin %8,6 sı yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmıştır [3].

1.1 Tezin Amacı

Enerji tüketiminin gün geçtikçe artması dünyada bazı olumsuz sonuçlara da yol açmaktadır. Bunlardan ilki sera gazı etkisi ve çevre kirliliğidir. Sera etkisi, fosil kaynakların yakılması sonucu açığa çıkan karbondioksit (CO₂) gazının yeryüzüne ulaşan güneş ışınlarını atmosferde tutmasıdır. Küresel ısınma olarak karşımıza çıkan bu durum dünyanın ekolojik dengesinin bozulmasına sebep olabilecek bir etkidir. Ayrıca, yakıtların yanması sonucu atmosfere salınan diğer gazlar karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), yanmamış hidrokarbonlar (HC) ve partiküller hava ve çevre kirliliğinin en önemli nedenleri arasındadır [4].

Enerji amaçlı yakıt tüketimi artışlarının doğurduğu bu sonuçları engellemek için Birleşmiş Milletler nezdinde uluslararası düzeyde çalışmalar yapılmıştır. Canlıların sağlığını da doğrudan tehdit eden bu tehlikeye karşı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ve Kyoto Protokolü oluşturulmuştur. Bu çalışmalar ile ülkelerin emisyon salınımlarının yıldan yıla azaltılması hedeflenmiştir [1]. Enerji alanında emisyonların yanı sıra maliyetler ve dışa bağımlılık riski bir diğer ciddi handikaptır. Özellikle ülkeler arası diplomaside bir koz olarak kullanılabilen enerji kaynakları, ülkelerin birbirleri üzerinde manipülasyon yapabilme aracı olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca, enerji maliyetleri endüstride ciddi bir maliyet kalemidir. Bu sebeple enerji maliyeti düşük olan kuruluşlar global pazardaki rekabette her zaman avantajlı durumda olacaktır.

Tüm bu faktörlerden ötürü enerjiden maksimum düzeyde faydalanabilmek büyük önem arz etmektedir. Tüketilen enerjinin verimli olarak kullanılabilmesi için geliştirilmiş yöntemlerden biri kojenerasyon sistemleridir. Kojenerasyon sistemleri işletmelerin enerji ihtiyaçlarını yüksek verimlilikle sağlayan sistemler olarak günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Sadece elektrik üretimi amacıyla çalışan basit çevrimli bir santraldeki verimler %35-%45 civarlarındadır. Kojenerasyon ve trijenerasyon sistemlerinde ise elektrik üretimi için yakılan yakıtlardan açığa çıkan atık ısı da kullanılır. Böylelikle elektrik ve ısı güç ihtiyaçları aynı anda karşılanabilir ve toplamda %85-%90 civarlarına kadar varacak verimlilik sağlanabilir [5]. Bu çalışmada önce kojenerasyon sistemlerinin genel özellikleri, türleri ve avantajları anlatılmıştır. Akabinde bir kojenerasyon sisteminin 1 boyutlu simülasyonunu yapmak için oluşturulan simülasyon programı anlatılmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Kojenerasyon sistemleri konusunda çok sayıda akademik çalışmalar mevcuttur. Bu tez çalışmasında da birçok kez bu akademik çalışmalardan faydalanılmıştır.

Aklilu ve Gilani 2010 yılında gaz türbinli bir kojenerasyon tesisinin matematik modelini içeren “Mathematical modeling and simulation of a cogeneration plant” isimli bir makale yayımladılar. Makale kojenerasyon tesisinin ana bileşenleri olan kompresör, yanma odası, gaz türbini ve atık ısı kazanının performans ve parametresel değerlerini bulmayı sağlayan termodinamik hesapları içermektedir [6].

Badami, Ferrero ve Portoraro 2012 yılında “Simulation Model And Experimental Validation Of A Chp Plant With Micro Gas Turbine” isimli bir makale yayımladılar. Makale mikro gaz türbinli bir kojenerasyon santralinin simülasyonunu yapan bir Matlab programının analiz sonuçlarını içermektedir [7].

Cho, Luck ve Chamra 2009 yılında yayımladıkları makalelerinde pistonlu içten yanmalı motorlu bir kojenerasyon santralinin termodinamik denklemler ile matematiksel modelini oluşturmuşlardır. Motorun ürettiği güç ve atık ısıdan elde edilecek ısı gücü, modeldeki parametrik değerlerin yerine konulması ile bulunabilmektedir. Bu parametrik değerler bir motorda daha önce test edilmiş veriler olup, model sonuçları ile motorun test sonuçları kıyaslanmıştır [8].

İ.Gezer, 2014 yılındaki tez çalışmasında gaz motorlu bir kojenerasyon santrali yatırımının fizibilite analizini yapmıştır. Sistemden elde edilecek elektriksel güç ve ısı gücü gelir olarak hesaplayıp buna karşılık olan giderleri hesaplamıştır. Gaz motoru, ekipmanları, inşaat işleri gibi ilk yatırım maliyetleri, tüketilen doğalgaz ve yağ, bakım ve işletme maliyetlerini gider kalemleri olarak almıştır. Çıkan sonuçları birbirleri ile kıyaslayarak yatırımın geri ödeme süresini hesaplamıştır [9].

H.V.Yener, 2009 yılındaki tez çalışmasında Entek Elektrik Üretimi A.Ş. firmasına ait olan gaz türbinli kojenerasyon santralinin Cycle-Tempo 5.0 programında termodinamik bir modelini oluşturmuştur. Bursa’daki bu santralin farklı kondisyonlarda performansının nasıl değiştiği kıyasları yapılmıştır [10].

Literatür araştırmaları sırasında gaz motorları konusunda da araştırmalar yapılmıştır. Dr.J.B.Heywood tarafından 1988 yılında yayımlanmış olan “Internal Combustion Engine Fundamentals” isimli kitap, içten yanmalı motorlar hakkında birçok veri içermektedir. İçten yanmalı motorlardaki yanma, soğutma, enerji ve ekserji analizlerinin yanı sıra, teorik ve gerçek çevrim hesaplama modellerini, dizayna yönelik birçok hesaplamayı detaylıca anlatmaktadır [11].

2. KOJENERASYON SİSTEMLERİ

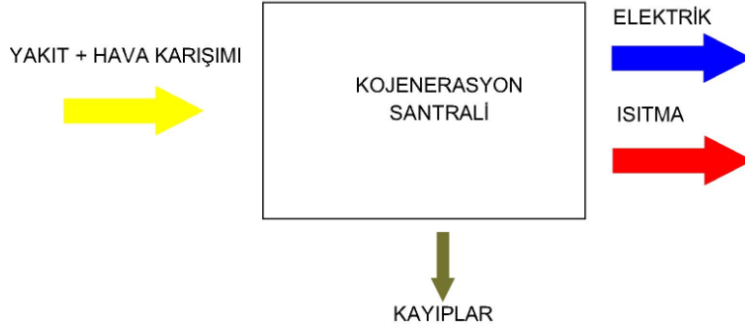
2.1 Atık Isı

Basit çevrimli elektrik üretim tesislerinde yakıtın yakılması ile sadece elektrik üretimi sağlanır. Gaz türbinleri, gaz motorları, dizel motorlar ve buhar türbinleri gibi enerji üretimi amacıyla kullanılan basit çevrimli sistemlerde yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazları doğrudan atmosfere verilir [12].

Giriş kısmında belirtilen maliyet ve çevre kirliliği gibi sebeplerden ötürü enerji verimliliğinin önem kazanması, elektrik üretimi sırasında açığa çıkan gazların değerlendirilmesini gündeme getirmiştir [4]. Açığa çıkan gazlar yüksek sıcaklıkta olduğundan ötürü bir enerji potansiyeline sahiptir. Bu atık ısı potansiyeli kapsamına elektrik üreten motorlarda sadece egzoz gazları değil, motor yağı soğutmasında ve motor gövdesi soğutmasında kullanılan soğutma suyu da girmektedir. Kojenerasyon sistemleri atık ısı enerjisinin ihtiyaç duyulan ısıl enerji ihtiyacında kullanılmasını sağlar.

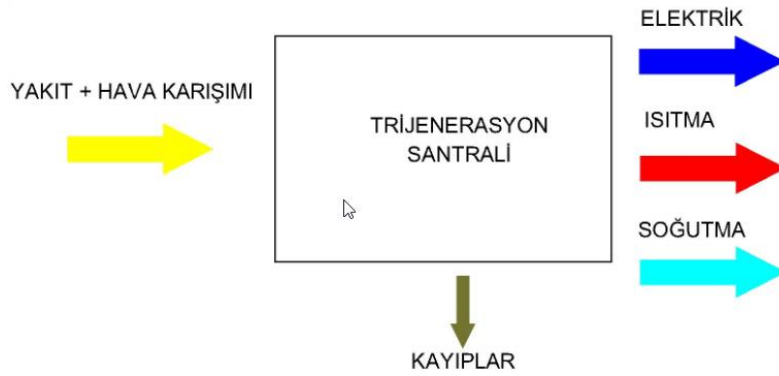
2.2 Kojenerasyon Sistemleri Tanımı

Kojenerasyon sistemleri, Şekil 2.1’de gösterildiği üzere elektrik ve ısıнын çeşitli amaçlarla eş zamanlı olarak üretildiği sistemlere verilen isimdir [13]. Sistemi oluşturan bileşenler elektrik üretimi yapan turbo yada içten yanmalı motor, motordan çıkan egzoz gazının atık ısı olarak değerlendirildiği kazan ve diğer yardımcı mekanik, elektrik ve elektronik ekipmanlardır. Son yıllarda gittikçe yaygınlaşan bir enerji üretim metodu olarak karşımıza çıkan bu sistemlerde, fosil yakıtlar kullanılarak elde edilen enerjinin büyük kısmından elektrik ve ısı enerjisi olarak fayda sağlanır. Kojenerasyon sistemlerinden %30-%45 arasında elektriksel verim ve aynı değerler aralığında ısıl verim sağlanır. Böylece toplam sistem verimi %90 mertebelerine ulaşarak kayıplar asgari düzeyde tutulmuş olur [14].



Şekil 2.1: Kojenerasyon sistemi şematik gösterim.

Kojenerasyon sistemlerinde sadece sıcak su yada buhar eldesi değil, soğuk su eldesi de sağlanabilir. Bunun için bir kazan yerine absorpsiyon chiller kullanılarak soğuk su eldesi sağlanabilir. Bu sistemdeki sadece ısıtma veya sadece soğutma eldesinin aynı anda sağlandığı sistemler ise trijenerasyon sistemleri olarak adlandırılır [14]. Şematik olarak Şekil 2.2’de gösterilen trijenerasyon sistemlerinde hem kazan hem de absorpsiyon chiller mevcuttur ve elektrik üretimi yapan motordan çıkan egzoz her ikisine de gider [14]. Burada egzozun hangi debide hangi cihaza doğru yol alacağı dizayna bağlıdır.



Şekil 2.2: Trijenerasyon sistemi şematik gösterim.

2.3 Kojenerasyon Sisteminin Avantajları

Kojenerasyon sistemleri kullanıcılarına işletmesel ve ekonomik olarak büyük katkılar sağlayan sistemlerdir. Bu avantajların bazıları aşağıda sıralanmıştır;

- Yüksek sistem verimi ile birim enerji maliyetlerinin çok ciddi seviyelerde düşmesini sağlar. Bu sayede işletmelerde enerji maliyetlerinin düşerek

karlılığın artmasına, yerleşim alanlarında fatura bedellerinin azalmasına, ülkeler bazında ise dışa bağımlılık ve enerji ithalatının azalmasına katkıda bulunur [13].

- Çevreci bir teknolojidir. Birim enerjinin daha az yakıt ile eldesiyle atmosfere salınan emisyonların azalmasını sağlar [13].
- Elektrik ve ısı enerjisinin eş zamanlı olarak eldesine olanak sağlar [13].
- İşletmelerin kendi enerji üretimlerini kendilerinin kontrol etmelerine olanak sağlar [13].
- Şebekedeki elektrik kesintilerinin kullanıcılar için yaratabileceği olumsuz durumların ortadan kalkmasını sağlar [13].
- Kojenerasyon santralleri enerji tüketiminin olduğu lokasyona kurulabilirler. Bu sayede enerji nakli sırasında hatlarda yaşanan kayıplar ciddi miktarda azaltılmış olur [14].

2.4 Kojenerasyon Sistemlerinin Uygulama Alanları

Kojenerasyon sistemleri 100 yılı aşkın süredir kullanımı olan ekonomik ve temiz bir enerji üretim metodudur [14]. Elektrik üretiminin beraberinde ısı enerjisi alınabilmesi sayesinde sadece sanayi değil sanayi dışındaki iş kolları tarafından da rağbet edilen ve kullanılan sistemlerdir.

Endüstride sıcak su ve buhar ihtiyacı olan birçok sektör mevcuttur. Kojenerasyon sistemi sayesinde bu türlü kuruluşlar elektrik enerjilerini karşılarken ek olarak sıcak su veya buhar ihtiyaçlarını da ortaya çıkan atık ısıdan temin ederler. Ayrıca, elektrik şebekesindeki frekans yada gerilim dalgalanmaları fabrikalardaki cihazları olumsuz yönde etkileyebildiğinden , kendi elektriğini üretmek endüstriyel kuruluşlar için daha cazip hale gelmektedir. Tekstil, kimya, petrol, kağıt, orman ürünleri, gıda üretim tesisleri gibi endüstri dalları kojenerasyon sistemlerini talep eden sektörlerle örnek olarak verilebilir [9]. Ayrıca, soğutma, şoklama ve soğuk oda gibi uygulamalar bilhassa gıda sektöründe kullanılmaktadır. Trijenerasyon sistemleri ile bu türlü talepler karşılanmaktadır [9].

Hastaneler, oteller, üniversite kampüsleri, toplu konutlar, büyük siteler, alışveriş merkezleri ve havalimanları gibi ısıtma, soğutma ve havalandırma ihtiyaçları olan büyük kompleksler de kojenerasyon sistemlerini tercih eden diğer iş kolları olarak karşımıza çıkmaktadır [14]. Bu türlü tesislerde elektrik tüketimleri bir fabrika kadardır, buna ek olarak mahal koşullandırma gibi ihtiyaçları olan dolayı trijenerasyon ve kojenerasyon sistemleri sıkça tercih edilmektedir.

2.5 Kojenerasyon Teknikleri

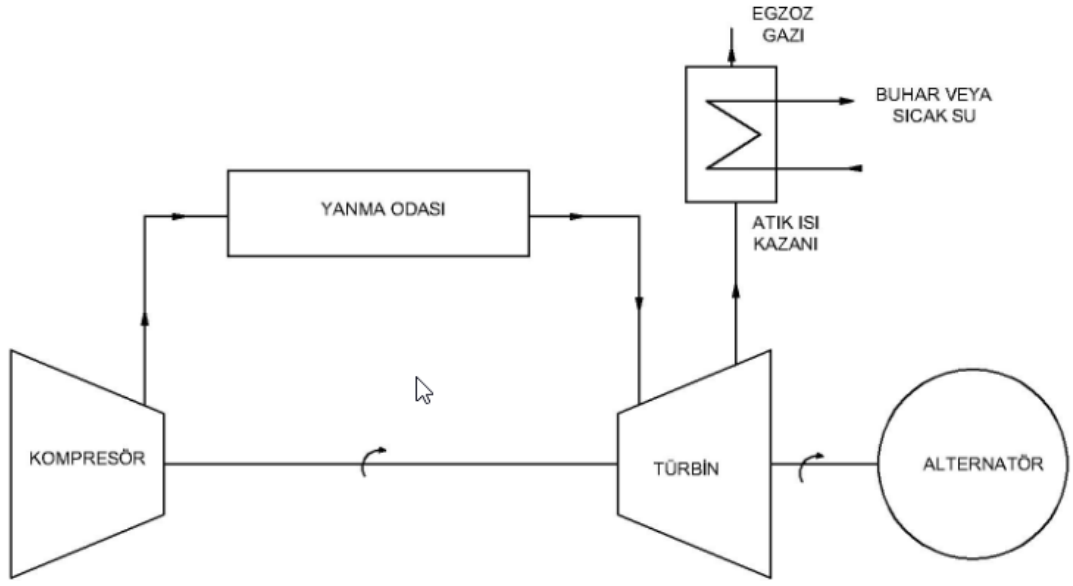
Kojenerasyon enerji üretiminin birkaç farklı yolu vardır. Bu başlık altında detayları verilmiştir.

2.5.1 Gaz türbinli kojenerasyon sistemleri

Şekil 2.3 te de gösterildiği üzere, gaz türbinli bir kojenerasyon sisteminde öncelikle hava kompresör tarafından emilerek yüksek basınçlara kadar sıkıştırılır. Akabinde yüksek basınçlı hava yanma odasına ulaşarak yakıt ile karışır. Sağlanan bu yakıt hava karışımının ateşleme ile yanması sağlanır. Yanma sonucu açığan çıkan egzoz gazları gaz türbininden geçirilir. Böylece gaz türbinin dönmesi sağlanmış olur ve türbine bağlı alternatör tahrik edilmiş olur. Bu sayede alternatör elektrik enerjisi üretilir [15].

Gaz türbinli kojenerasyon sistemlerinde, gaz türbininden çıkan atık ısı bir kazana verilir. Bu kazandan buhar ve sıcak su eldesi sağlanır. Elde edilen buhar ve sıcak su gerekli olan proseslerde kullanılabilir. Diğer bir olasılık ise elde edilen buhar bir buhar türbinine verilerek ek elektrik enerjisi sağlanır. Buhar türbini vasıtası ile üretim yapan tesisler özel olarak kombine çevrim santrali olarak adlandırılır. Atık ısı kazanında kullanıcının kullanımına dönüşen egzoz gazı, çok daha düşük bir sıcaklıkta bacadan atmosfere salınır [15].

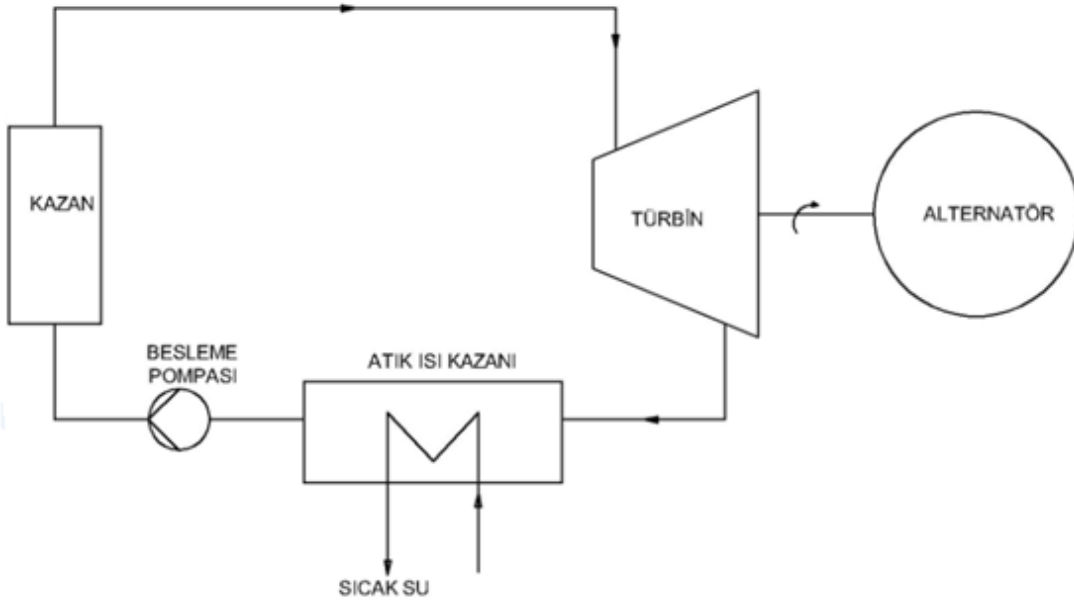
Gaz türbinleri hızlı devreye girme, birim hacimdeki ve birim ağırlıktaki üretilen güç miktarının yüksek olması, yan ekipmanlarının az olması, geniş güç aralıklarında türbin çeşitlerinin olması ve hem doğalgaz hem petrol türevi yakıtlarla çalışabilme gibi avantajlara sahiptir. Gaz motorlarına göre daha düşük verim, yüksek gürültü, daha yüksek proses basıncı ve düşük güçlerde kW başına maliyetlerin yüksek olması gibi dezavantajları vardır [15].



Şekil 2.3: Gaz türbinli kojenerasyon sistemi.

2.5.2 Buhar türbinli kojenerasyon sistemleri

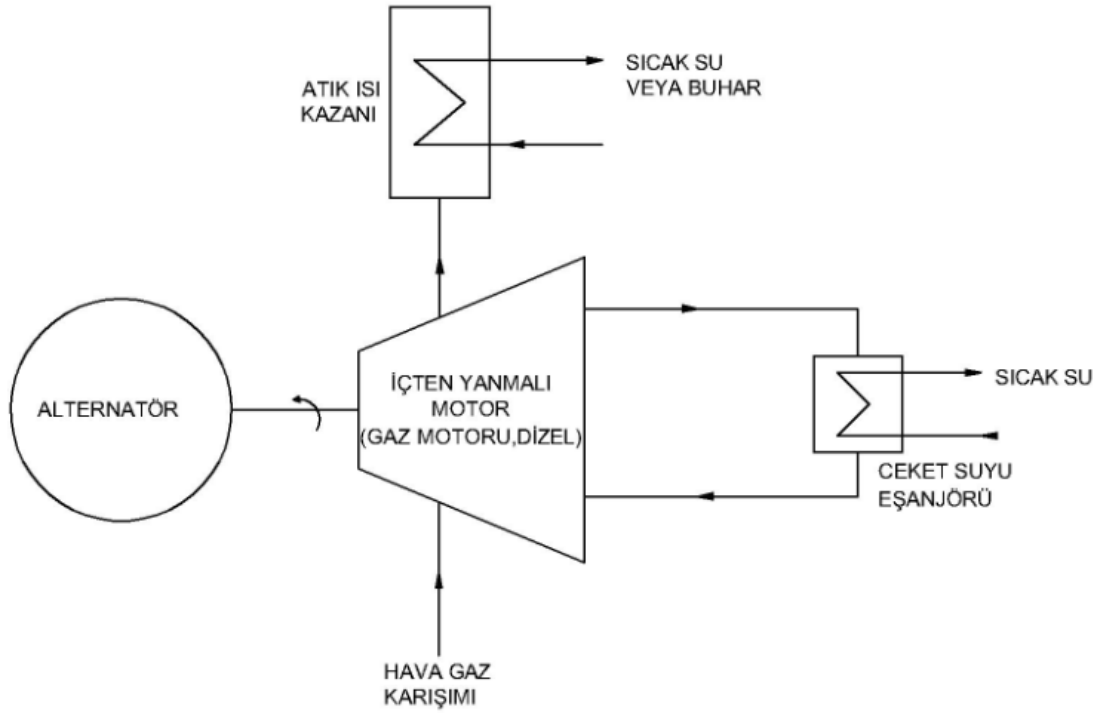
Bu türdeki sistemlerde buhar bir kazanda yakılan yakıttan elde edilir (Şekil 2.4). Yüksek basınç ve sıcaklıktaki kızgın buharın karşı basınçlı buhar türbinine basılması ile buhar türbini tahrik edilir. Buhar türbinine bağlı olan alternatörde türbin tarafından tahrik edilerek elektrik enerjisi üretilir. Karşı basınçlı buhar türbinlerinin özelliği buhar türbini daha yüksek bir basınç ve dolayısı ile daha yüksek bir sıcaklıkta terk eder. Yani bir atık ısı eşanjöründe değerlendirilebilir kondisyonda türbinden ayrılır. Klasik Rankine Çevriminde türbinden çıkan buharın gittiği kondenser yerine bu ısının değerlendirildiği bir atık ısı eşanjörü bulunur. Buraya gönderilerek ısı ihtiyacının giderilmesinde kullanılabilir. Ancak, ısı gücü ihtiyaçlarında değişkenlik olması durumunda ara buhar almalı buhar türbinleri kullanılabilir. Türbinde henüz son kademeye gelmemiş kızgın haldeki buhardan bir miktar çekilerek atık ısı kazanına verilir ve daha yüksek ısı gücü elde sağlanabilir [15].



Şekil 2.4: Buhar türbinli kojenerasyon sistemi.

2.5.3 İçten yanmalı motorlu kojenerasyon sistemleri

İçten yanmalı dizel veya gaz motoruna giren yakıt hava karışımının yanması ile elektrik elde edilen ve yanma sonucu açığa çıkan egzozun atık ısı kazanında değerlendirildiği sistemlerdir. Şekil 2.5 te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5: İçten yanmalı motorlu kojenerasyon sistemi.

2.5.3.1 Dizel motorlu kojenerasyon sistemleri

Güç üretiminin içten yanmalı bir dizel motor ile kojenerasyon sistemleridir. 2 zamanlı veya 4 zamanlı bir dizel motor ile güç üretimi sağlanarak alternatör tahrik edilir ve elektrik üretilir [15]. Dizel motordaki yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazı yine bir atık ısı kazanına yada bir absorpsiyon chillere verilerek ısı enerjisi elde sağlanır.

Türbinlerden farklı olarak motor gövdesinin soğutması su ile yapılmaktadır. Gövdenin soğutulması sırasında ısınan sudaki enerji ve motorun yağlanması sırasındaki ısınan yağın enerjisi de bir eşanjör vasıtası ile faydalı bir hale dönüştürülebilir. Yani bu sistemlerde egzozun yanısıra soğutma suyu da bir atık ısı olarak faydalı hale dönüştürülebilir [15].

2 zamanlı ve 4 zamanlı olmak üzere 2 farklı dizel motor türü vardır. Ayrıca düşük devirli ve yüksek devirli türlere göre motor verimleri %35-55 arasında değişiklik gösterir. Yüksek güç eldesi, yüksek elektrik/ısı oranı, yüksek emre amadelik ve hemen devreye girebilme gibi avantajları bulunmaktadır. Ayrıca mazot yada fuel-oil olarak çift yakıtlı çalışabilme özellikleri vardır [15].

2.5.3.2 Gaz motorlu kojenerasyon sistemleri

Gaz motorları, içten yanmalı ve Otto çevrimi ile çalışan benzinli motorlar ile aynı çalışma prensibine sahiptir. Yakıt olarak genellikle doğalgaz kullanılır. Fakat LNG, biogaz ve çöp gazı gibi metan gazı (CH_4) içeren gazlar da kullanılabilir [16].

Dizel motorlar ile kıyaslandıklarında verimleri ve güç değerleri daha düşüktür. Fakat dizel motorlardaki gibi çok sayıda yan ekipman ihtiyacı yoktur. Ayrıca, doğalgazın emisyon değerlerinin düşük olması, yakıt teminin kolay ve çoğu dünya ülkelerinde daha düşük olması gibi avantajları tercih edilmelerinde önemli etkenlerdir [9].

Gaz motorlu kojenerasyon sistemlerinde de egzoz gazları atık ısı olarak değerlendirilir. Ayrıca, dizel motorlardaki gibi motor bloğunu soğutan ceket suyu ve yağ hattının enerjisinden de yararlanılır [16].

Gaz motorlarının elektrik verimleri güçlerine göre %35 ile %45 aralığındadır. Elektrik ve ısı yüklerin birbirine yakın olduğu zaman tercih edilirler [9].

3. GAZ MOTORLU KOJENERASYON SİSTEMLERİ

Enerji santrali yatırımlarında, yatırım öncesinde teknik ve finansal fizibilitelerin yapılarak doğru analizler yapılmış olması şarttır. Aksi durumda sistemden beklenen performans ve kazanç sağlanamayabilir.

Teknik fizibilitenin ilk adımı, mevcut girdilerle hangi çıktıların elde edileceğinin analizidir. Bu tez çalışması kapsamında gaz motorlu bir kojenerasyon sistemi yatırımı için bir sistem simülatörü oluşturulmuştur. Detayları daha sonraki bölümlerde anlatılacak olan bu simülatör, MWM marka gaz motoru firmasının TCG 2016, TCG 2020 ve TCG 2032 modelleri için hesap yapabilecektir. Bu bölümde simülasyon anlatılmadan önce MWM gaz motorları ve kojenerasyon sistem ekipmanları anlatılmıştır.

3.1 MWM Gaz Motorları

Otomotiv ve içten yanmalı motorlar gibi mekanik alanlarda çalışmalar yapan ve birçok patent sahibi olan Carl Benz, 1800 lü yılların sonlarına doğru Almanya'nın Mannheim şehrinde bir şirket kurmuştu. Mechanische Werkstätte Mannheim (MWM) olarak kurulan bu şirket gaz motoru ve dizel motor üretim faaliyetlerinde bulunmuştur. Zaman içinde birçok kez elde değiştiren MWM firması şuanda Caterpillar şirketler grubunun altında kojenerasyon, trijenerasyon ve basit çevrimli enerji santralleri sektöründeki ihtiyaca göre çeşitli kapasitelerde gaz motoru üretimi yapmaktadır. Üretilen başlıca modeller TCG 3016, TCG 2016, TCG 2020 ve TCG 2032 isimleri ile adlanmışlardır [17]. TCG 3016 tip gaz motorları bu tez çalışması kapsamı dışında olacaktır. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te ilgili gaz motorlarına ait görseller bulunmaktadır.



Şekil 3.1: MWM TCG 2016 gaz motoru [18].



Şekil 3.2: MWM TCG 2020 gaz motoru [18].



Şekil 3.3: MWM TCG 2032 gaz motoru [18].

MWM tarafından üretilen TCG 2016, TCG 2020 ve TCG 2032 serisi gaz motorları V tipi motorlardır. Alternatör karşı cepheye alındıktan sonra sol tarafaki silindirler A taraf, sağ taraf silindirler ise A taraf olarak isimlendirilmiştir. Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te MWM tarafından verilen ilgili motorlara ait bazı broşür bilgileri verilmiştir. V olarak verilen değerler silindir sayılarıdır.

Çizelge 3.1: MWM TCG 2016 50 Hz gaz motoru broşür verileri [18].

	TCG 2016		
	V8 C	V12 C	V16 C
Silindir Sayısı	8	12	16
Motor Devri [dev/dk]	1500	1500	1500
Ağırlık [kg]	5340	7000	8450
Elektriksel Güç [kW] (Doğalgaz / Biyogaz)	400 / 400	600 / 600	800 / 800
Isıl Güç [kW] (Doğalgaz / Biyogaz)	428 / 393	654 / 593	854 / 788
Elektriksel Verim [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	42,3 / 42,8	42 / 42,7	42,5 / 42,8
Isıl Verim [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	45,2 / 42	45,8 / 42,2	45,3 / 42,2
Sistem Toplam Verimi [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	87,5 / 84,8	87,8 / 84,9	87,8 / 85

Çizelge 3.2: MWM TCG 2020 50 Hz gaz motoru broşür verileri [18].

	TCG 2020		
	V12	V16	V20
Silindir Sayısı	12	16	20
Motor Devri [dev/dk]	1500	1500	1500
Ağırlık [kg]	11700	13300	17900
Elektriksel Güç [kW] (Doğalgaz / Biyogaz)	1200 / 1200	1560 / 1560	2000 / 2000
Isıl Güç [kW] (Doğalgaz / Biyogaz)	1190 / 1194	1560 / 1560	1977
Elektriksel Verim [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	43,6 / 43	43,2 / 42,6	43,7 / 43
Isıl Verim [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	43,3 / 42,8	43,8 / 43,1	43,2 / 43,3
Sistem Toplam Verimi [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	86,9 / 85,8	87 / 85,7	86,9 / 86,3

Çizelge 3.3: MWM TCG 2032 50 Hz gaz motoru broşür verileri [18].

	TCG 2032	
	V12	V16
Silindir Sayısı	12	16
Motor Devri [dev/dk]	1000	1000
Ağırlık [kg]	43100	51200
Elektriksel Güç [kW] (Doğalgaz / Biyogaz)	3333 / -	4300 / 3770
Isıl Güç [kW] (Doğalgaz / Biyogaz)	3238 / -	4164 / 3496
Elektriksel Verim [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	43,9 / -	44,1 43
Isıl Verim [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	42,6 / -	42,7 / 39,8
Sistem Toplam Verimi [%] (Doğalgaz / Biyogaz)	86,5 / -	86,8 / 82,8

3.2 MWM Gaz Motoru Sistem Ekipmanları

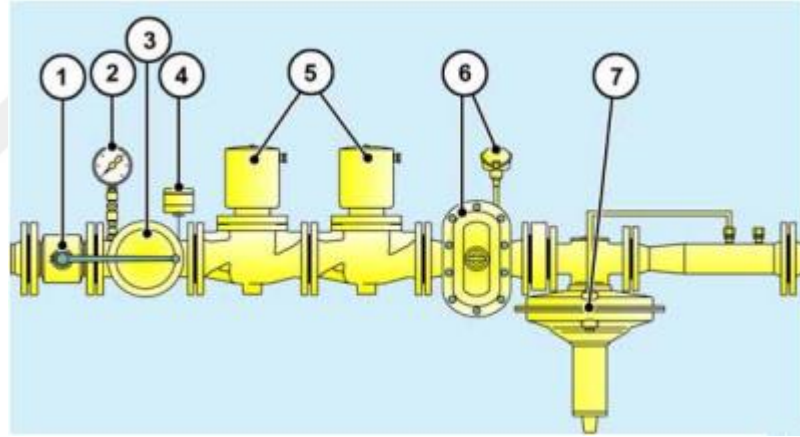
Bölüm 2.5.3.2’de belirtildiği üzere gaz motorları Otto Çevrimi ile çalışan, yakıt olarak doğalgaz, biyogaz, LNG, çöpgazı ve bu gibi CH₄ içerikli gazların yakılması ile çalışan içten yanmalı motorlardır. MWM tarafından doğalgaz gibi yüksek CH₄ içerikli gazlar “High”, biyogaz ve çöp gazı gibi düşük CH₄ içerikli gazlar ise “Low” gaz tipi olarak sınıflandırılmaktadır. Oluşturulan simülasyon programı sadece

doğalgaz için hesaplama yapabilecektir. Programda doğalgaz dışındaki gazlar için yapılacak hesaplar doğru olmayacaktır. Ancak program farklı kalorifik değerdeki doğalgaz için hesap yapılmasına müsaade etmektedir.

Doğalgaz ile çalışan bir MWM gaz motoruna ait sistem ekipmanları sırasıyla detaylandırılacaktır. Bu sırada içten yanmalı bir gaz motorunun çalışma prensibi de anlatılmış olacaktır.

3.2.1 Gaz yolu

Gaz motoruna gelecek doğalgazın belli bir basınçta olması gerekmektedir. Bu şartlandırmayı sağlamak amacıyla MWM tarafından özel dizayn bir gaz hattı dizayn edilmiştir. Gaz yolu, 150-200 mbar civarlarına kadar düşürülmüş doğalgazı motor giriş basıncına getirmeye (atmosfer basıncına çok yakın bir değere) yarayan ekipmanları içermektedir. Gaz yoluna ait ekipmanlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Gaz yolu ve ekipmanları.

(1- küresel vana, 2- manometre, 3- gaz filtresi, 4- fark basınç şalteri, 5- selenoid valfler, 6- alev tutucu (sadece low gazlar için), 7- sıfır basınç regülatörü)

Gaz motoru çalıştırıldığında otomasyon sisteminden gelen emir ile 2 adet gaz selenoid valfleri sırası ile açılır. Böylece motora doğru bir doğalgaz akışı başlamış olur. En son sıfır basınç regülatörü ile doğalgazın etkin basıncı 150-200 mbar civarından yaklaşık olarak 0 mbar civarına düşer. Yani gazın mutlak basıncı atmosfer basıncı civarına gelir.

3.2.2 Hava hattı

Doğalgazın gaz motoru içerisinde yanması için gerekli olan hava, hava hattından gelir. Gerekli miktardaki hava doğrudan ortamdan emilebilir fakat çoğunlukla bir hava fanının motor mahaline hava basması ile sağlanır. Fan ile havalandırmanın, motor mahaline fazla hava basılmak suretiyle motorun hava emişini kolaylaştırmak ayrıca ortama basılan hava debisini sıcaklık ve basınca göre kontrol edebilmek gibi avantajları olacaktır.

Fan vasıtasıyla basılan hava havalandırma kanalındaki filtrelerden geçtikten sonra, MWM tarafından gaz motoruna yerleştirilmiş olan hava filtrelerine gelir. Bu filtrelerden de geçtikten sonra varsa bir hava ön ısıtıcısına girer. Hava ön ısıtıcısının görevi çok düşük ortam sıcaklıklarında motora giren hava sıcaklığını motorun rejim sıcaklığına getirmektir. Buradan çıkan hava bir kanal vasıtası ile gaz mikser, doğalgaz ile karışmaya gider.

Gerekli olan hava miktarı, seçilen motor tipine, gaz motorunun bulunduğu deniz seviyesine göre yüksekliğe, motorun yüküne, hava sıcaklığına ve bağıl neme göre değişiklik gösterecektir. MWM tüm bu parametreleri kapsayacak şekilde gerekli hava miktarının alttaki Çizelge 3.4'te belirtilen miktarda olduğunu bildirir. Belirtilen debileri sağlayacak şekilde havalandırma fanının seçilmesi istenilen sistem performansına erişmede önemli bir etkidir.

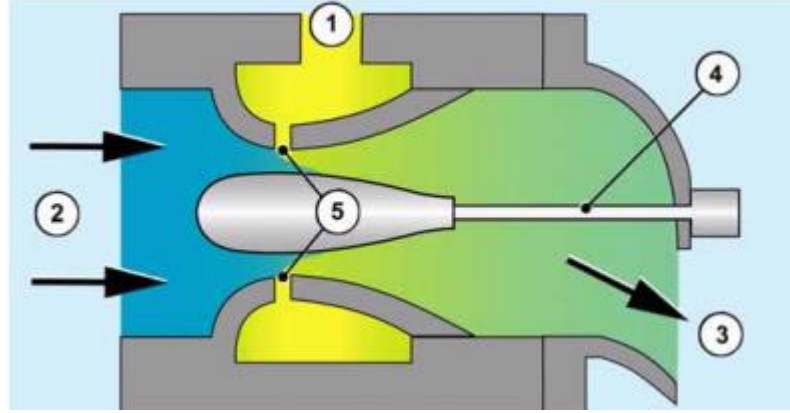
Çizelge 3.4: MWM motor tiplerine ve motor yüküne göre minimum yanma havası miktarı.

Motor Tipi	Yanma Havası Miktarı ($\dot{m}_{hmin}$) [kg/kWh]		
	%0-75 yük	%75-100 yük	%100 yük
TCG 2016	5,6	5,4	5,3
TCG 2020	5,6	5,3	5,2
TCG 2032	5,4	5,1	5

3.2.3 Gaz mikser veya karbüratör

Gaz mikser veya karbüratör olarak adlandırılan ekipman doğalgaz ve havanın içerisinde birbirine karıştığı ekipmandır. (Şekil 3.5) İçerisinden sürekli hava akışı olan bir ventüri tüpün içine gaz akışı ile karışım sağlanır. Ventüri tüp sağa sola

gittikçe gazın giriş yaptığı kanalın kesiti değişir. Bu sayede içeri giren gaz miktarı azalır veya artar.



Şekil 3.5: Gaz mikser iç yapısı.

(1- doğalgaz girişi, 2- emme havası girişi, 3- hava-doğalgaz karışımı, 4- gaz mikser adım motoru bağlantı şaftı, 5- gaz giriş kanalı)

Gaz motorunun ilk kalkış anında kendi ataletini yenebilmesi için rejim halinde çalıştığı durumdan daha fazla güç gerekmektedir. Bunun için ilk kalkış anında fazlaca gaz gereksinimi vardır. Fazla gaz verebilmek için gaz motoru PLC programına gaz mikser start parametre değeri tanımlanır. Girilen bu değer, motorun çalıştığında gaz mikserdeki gaz kanalı açıklığının normalden fazla olmasını sağlar. Böylece gaz mikserde giden gaz miktarı artar. Bu parametre ile gaz motoru çalıştırıldığı anda start pozisyonuna gelir. Motor çalışma rejimine ulaştıktan sonra ise kanal açıklığı ventüri tüpün kısıması sayesinde daralır. Kanalin açıklığı yanma odalarından gelen silindir sıcaklıkları bilgisine göre olacaktır. Silindir sıcaklıklarının düşüşünde içeriye daha fazla gaz, yükselişinde daha az gaz alınır. Kısaca gaz mikserin tek görevi motorun zengin yada fakir karışım gereksinimine göre hava gaz karışımının oranını sağlamaktır.

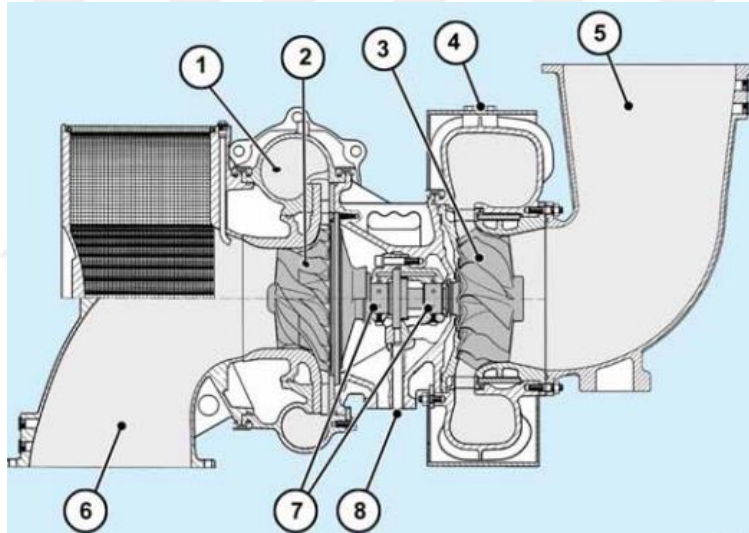
TCG 2016 ve 2020 serilerinde 1 er adet gaz mikser bulunurken, TCG 2032 serilerinde ise A taraf ve B taraf olmak üzere 2 ayrı gaz mikser bulunmaktadır.

3.2.4 Turbocharger kompresör bölümü

Turbocharger (TC) içten yanmalı motorlarda havanın sıkıştırılarak aynı hacimde kütlece daha fazla gaz eldesi sağlayan bir turbo makinadır. Böylece aynı hacimdeki hava ile yani aynı hacimdeki yanma odası ile daha yüksek güçlere ulaşılabilmeyi sağlar. Günümüzde en çok kullanılan aşırı dolgu metodudur [11].

TC kompresör, türbin ve bunları birbirine bağlayan şaft olmak üzere 3 ana ekipmandan meydana gelir. Gaz motorundan gelen egzoz gazı ile tahrik edilen türbin döndürülür. Türbindeki tork bir mil vasıtasıyla kompresöre aktarılır. Bu tork sayesinde kompresör de dönmeye başlar. Gaz mikserden gelen hava gaz karışımı yüksek devirde dönen kompresör içerisine doğru emilir. Emilen karışım sabit ve hareketli kanatların geometrisinden ötürü kompresör içerisinde sıkıştırılarak daha yüksek bir basınca çıkarılmış olur.

Kompresör tarafında sıkıştırılan hava gaz karışımının basıncı yükselirken sıcaklığı da yükselecektir. Bu durumda hava yoğunluğu düşeceğinden gaz motoru verimine olumsuz etki edecektir. Verim düşüşüne engel olmak için bir ara soğutucu kullanılarak hava soğutulur. Böylece düşük sıcaklıkta, yüksek basınçta ve dolayısıyla yüksek yoğunlukta karışım elde edilir. Şekil 3.6'da TC ve ekipmanları gösterilmiştir.



Şekil 3.6: TC kompresör ve türbin iç yapısı.

(1- hava gaz karışımı girişi, 2- kompresör kanatları, 3- türbin kanatları, 4- egzoz gazı girişi, 5- egzoz gazı çıkışı, 6- hava gaz karışımı çıkışı, 7- mil ve yatakları, 8- yağlama kanalı)

Her TC kompresörü dizayn şartlarına göre belli bir basınca kadar sıkıştırma yapabilir. Sıkıştırma sonu basıncı kompresör sıkıştırma oranı P_r parametresi ile bulunabilir. MWM in motorlarında kullandığı TC tipleri ve sıkıştırma oranı Çizelge 3.5 te verilmiştir. Programda yapılacak analizlerde bu sıkıştırma değerleri üzerinden hesaplamalar yapılacaktır.

Çizelge 3.5: MWM tarafından kullanılan TC özellikleri.

	TC Marka	TC Model	TC Adeti	Kompresör Sıkıştırma Oranı (P_r)
TCG 2016 V8	ABB	TPS 44	1	3,5
TCG 2016 (V12-V16)	ABB	TPS 48	1	3,5
TCG 2020 (V12-V16)	ABB	TPS 52	1	3,5
TCG 2020 V20	ABB	TPS 48	2	3,7
TCG 2032	ABB	A 140	2	4,5

3.2.5 Throttle valfi

TC de sıkıştırılan hava gaz karışımının debisi throttle valfi tarafından ayarlanır. TCG 2016, TCG2020 V12 ve V16 serisi motorlarda throttle valfi intercoolerden önce, TCG 2020 V20 ve TCG 2032 seri motorlarda intercoolerden sonradır. Throttle, motorun ürettiği elektrik gücünden sinyal alarak motordan istenilen yük ve performansa göre karışımın debisini arttırıp azaltır ve elde edilen güce doğrudan müdahale eder.

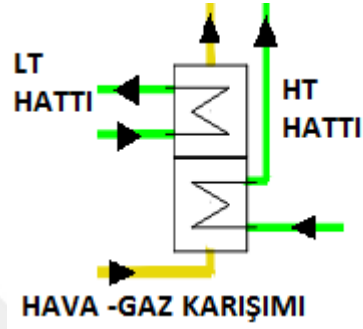
3.2.6 İntercooler yada ara soğutucu

İntercooler yada diğer adıyla ara soğutucu, lameller ve lamellerin arasından geçen borulardan oluşan, havanın soğutulmasını sağlayan ısı değiştiricilerdir. Alüminyum yada bakırdan yapılan lamellerin arasından geçen yüksek sıcaklıktaki hava gaz karışımı, üzerindeki ısıyı bakır borulardan geçen soğutucu akışkana aktarır.

MWM motorlarında intercoolerler 2 kademeli olup önce HT devresinin girdiği yüksek sıcaklık kademesi ve LT devresinin girdiği düşük sıcaklık kademesi mevcuttur. Bu sayede karışım daha yavaş soğutulmuş olur ve termik gerilmeler engellenir. HT ve LT hatlarıyla ilgili detaylar sonraki bölümlerde anlatılacaktır.

TCG 2016 serisi motorlarda sadece 1 adet intercooler mevcut iken, TCG 2020 ve TCG 2032 serisi motorlarda A ve B taraf olmak üzere 2 şer adet ara soğutucu mevcuttur.

İntercooler lamelleri ve boruları çalışma şartlarına göre farklı alaşımlardan da imal edilebilir. Örneğin, tropikal iklimlerde havanın taşıdığı nem miktarının fazla olmasından ötürü intercoolerde soğuyan hava lamellerin arasındaki yoğuşabilir. Bunun için MWM firmasının kısmi paslanmaz çelik intercooler tasarımları mevcuttur. Şekil 3.7’de intercooler şematığı ve Şekil 3.8’de ekipmanın gerçek resmi görülmektedir.



Şekil 3.7: İki kademeli intercooler şematik gösterimi.



Şekil 3.8: İntercooler lamelleri ve boruları.
(1-lameller, 2-bakır borular)

3.2.7 Emme manifoldu

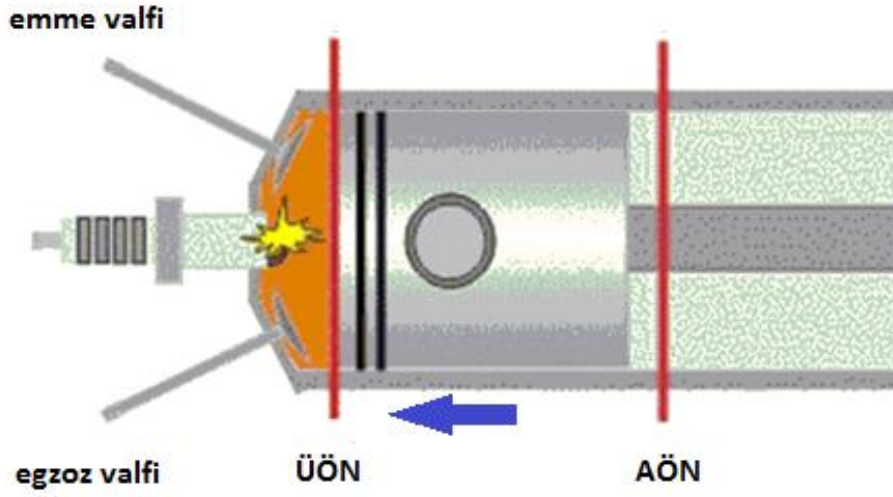
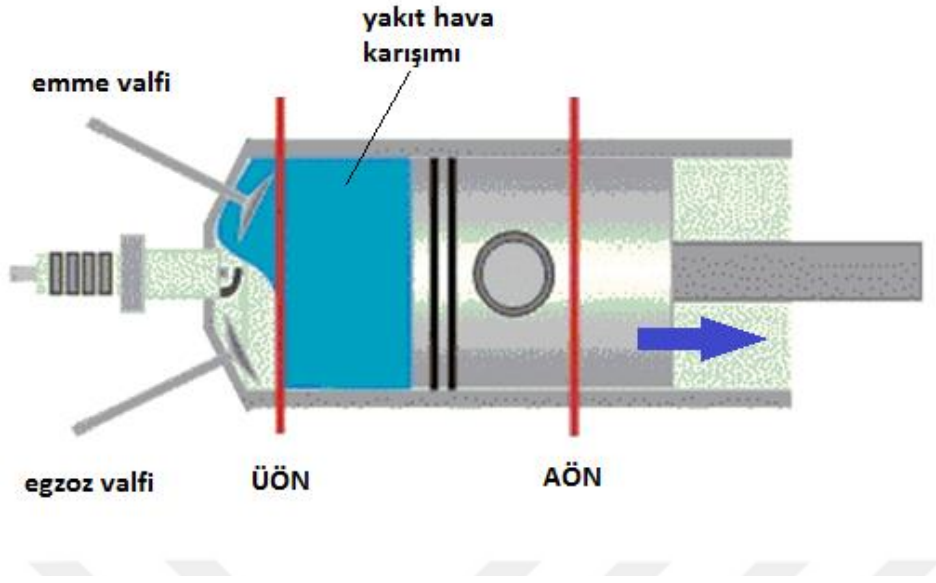
İntercoolerde soğuyan hava gaz karışımı silindirlere dolmadan önce emme manifolduna giriş yapar. Emme manifoldunda biriken karışım, emme valfleri açık olan silindirin yanma odasına doğru hareket eder.

3.2.8 Yanma odası ve gaz motoru çalışma prensibi

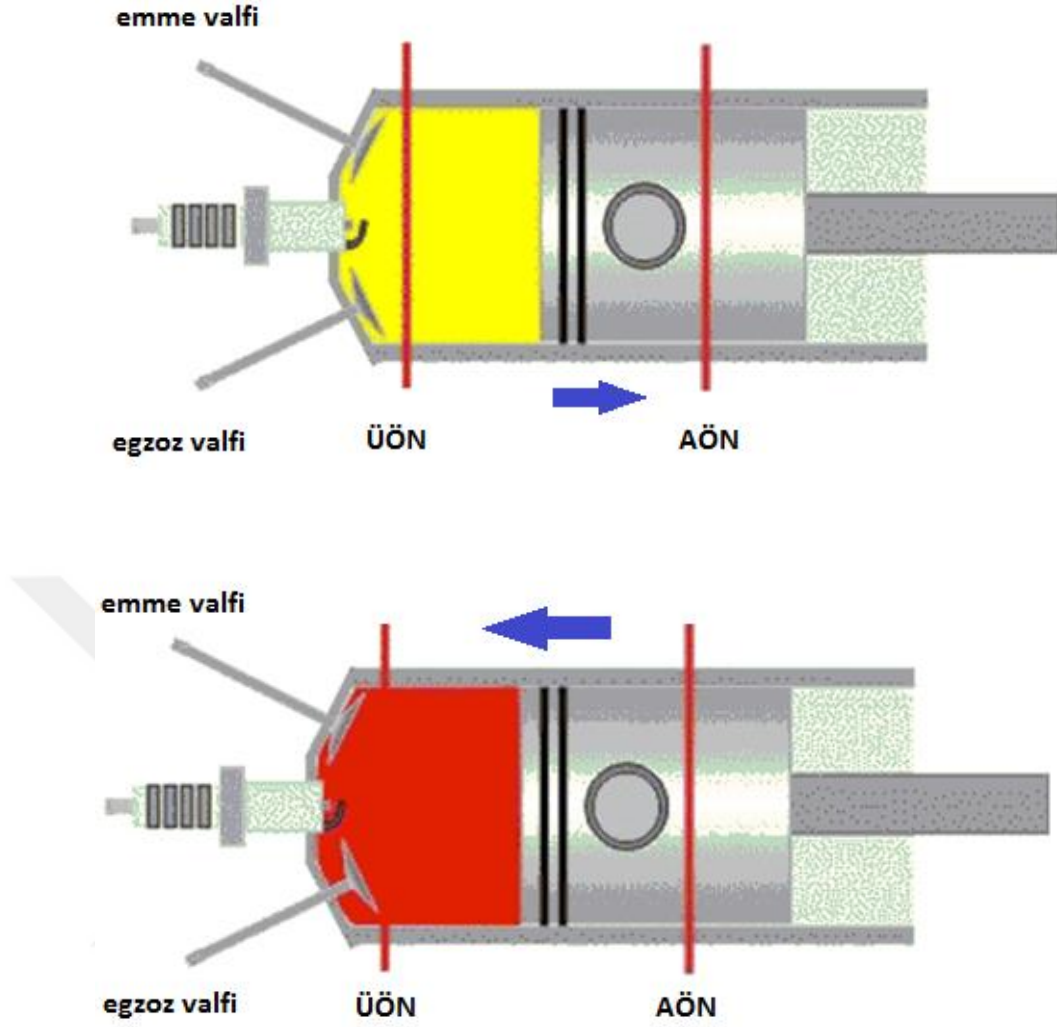
Gaz motorunun yanma odasını oluşturan ekipmanlar; silindir kafası, liner, piston, segmanlar ve biyel koludur. Tüm MWM motorlarında silindir başına 2 şer adet emme ve egzoz valfleri mevcuttur. Bu valfler silindir kafası üzerinde bulunmaktadır. Liner veya gömlek ise yanma odasının duvarı görevini görür. Silindirin soğutması ceketin etrafındaki ceket suyu ile sağlanır. Her pistonda 3 er adet segman bulunmaktadır. Segmanlar hem yanma odasında sıkışan hava gaz karışımının sızdırmazlığını sağlarlar, hem de sürekli yağ püskürtülen liner yüzeyindeki yağın sıyırılmasını sağlarlar. Biyel kolu ise yanma sonucu açığa çıkan enerjiyle doğrusal hareket yapan pistonun hareketini krank miline aktararak krankın dönmesini sağlar [15].

Gaz motorları Otto Çevrimine göre çalışan gaz motorları olduğundan dolayı enerji eldesi emme, sıkıştırma, genişleme ve egzoz zamanları olarak 4 zamanda gerçekleşir. 4 zaman sonunda 1 iş çevrimi gerçekleşmiş olur. 1 iş çevrimi için krank mili 2 tur dönmüş olur.

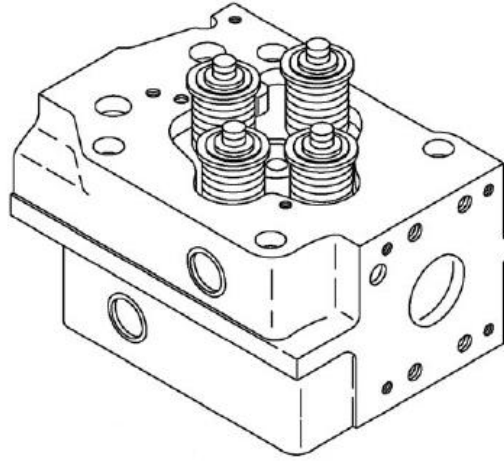
Emme zamanı gelen silindirin emme valfleri, kam mili vasıtasıyla açılır. Bu sayede emme manifoldundaki hava gaz karışımı emme valfleri açan silindire dolar. Piston silindirin alt ölü noktasına ulaşır tekrar üst ölü noktaya doğru harekete başladıktan hemen sonra emme valfleri kapanır. Pistonun üst ölü noktaya doğru hareketiyle hava gaz karışımı sıkıştırılarak basıncı artırılır. Piston üst ölü noktaya gelmeden bir süre önce ilgili silindire ait buji ateşler ve karışım tutuşturulur. Her silindirin üst ölü noktaya kaç KMA yaklaştığında ateşleyeceği dizayna bağlıdır. Bu motora ait PLC üzerinden değiştirilebilir bir değerdir. Yanma sonucu açığa çıkan enerji ile piston aşağı doğru itilerek doğrusal bir hareket sağlanır. Bu hareket biyel kolu aracılığı ile krank miline aktarılır. Aynı işlemler farklı anlarda motordaki tüm silindirlerde gerçekleşir ve bu sayede krank miline hareket kazandırılmış olur. Krank miline farklı zamanlarda hareket aktaran silindirler sayesinde alt ölü noktaya gelmiş olan piston, tekrar üst ölü noktaya doğru harekete başlar. Bu sırada yine kam mili tarafından egzoz valfleri açılmış olduğundan yanma sonucu açığa çıkan egzoz gazları egzoz manifolduna doğru yol alır. Ateşleme zamanları Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 da görsel olarak gösterilmiştir. Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 de silindir kafası ve biyel kolu gibi bazı motor parçaları görselleri mevcuttur.



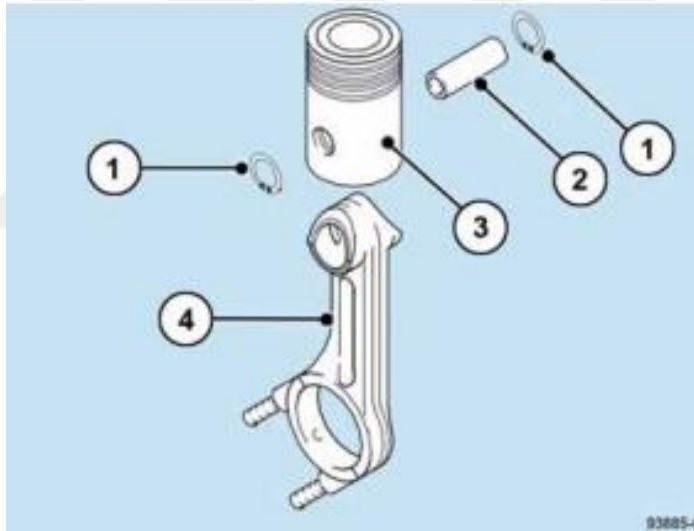
Şekil 3.9: İçten yanmalı motorda yanma öncesi iş çevrimi şematik gösterimi.
(1- emme zamanı, 2- sıkıştırma ve ateşleme zamanı)



Şekil 3.10: İçten yanmalı motorda yanma sonrası iş çevirimi şematik gösterimi.
(1- genişleme zamanı, 2- egzoz zamanı)



Şekil 3.11: TCG 2016 motor silindir kafası.

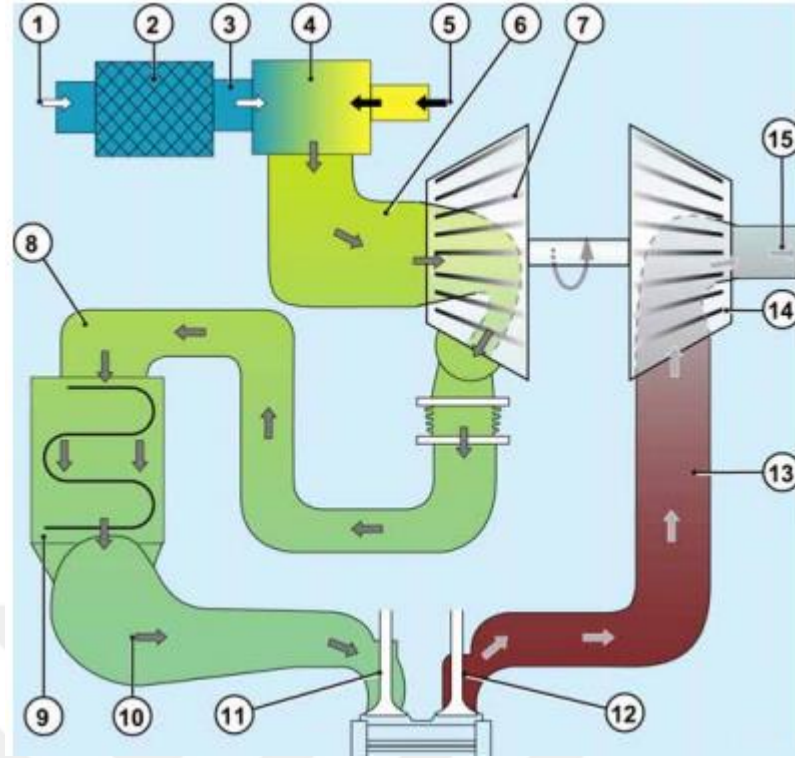


Şekil 3.12: Piston ve biyel kolu.

(1- Piston pim segmanları, 2- Piston pimi, 3- Piston, 4- Biyel kolu)

3.2.9 Egzoz manifoldu

Yanma odalarında açığa çıkan egzoz gazları egzoz valflerinin açması ile egzoz manifolduna doğru gider. Tüm silindirlerde açığa çıkan yüksek sıcaklıktaki egzoz gazları, bu manifold üzerinden TC nin türbin kanatlarına doğru hareket eder (Şekil 3.13).



Şekil 3.13: Hava gaz karışımının izlediği yol şematik gösterim.

(1-emiş havası, 2-hava filtresi, 3-filtre edilmiş hava, 4-gaz mikser, 5-gaz girişi, 6-hava gaz karışımı, 7-TC kompresör bölümü, 8-yüksek basınçlı hava gaz karışımı, 9-intercooler, 10-emme manifoldu, 11-yanma odası emme valfi, 12-yanma odası egzoz valfi, 13-egzoz manifoldu, 14-TC türbin bölümü, 15-egzoz gazı)

3.2.10 Turbocharger türbin bölümü

Egzoz manifoldundan gelen egzoz son olarak TC türbin kısmına girer. TC nin hareketli kanatlarındaki geometri dolayısıyla türbin çok yüksek hızlara ulaşır. Bu yüksek devir ile oluşan tork bir mil vasıtasıyla türbinden kompresöre doğru aktarılarak hava gaz karışımının sıkıştırılması sağlanır.

Türbin kanatları, üzerinden geçen egzoz sıcaklığı çok yüksek olduğundan ötürü özel imalat teknikleri ve alaşımlar ile imal edilmektedir. O sebeple türbin kanatları, maliyeti olarak kompresör kanatlarına göre çok daha pahalıdır.

3.2.11 Motor yağlama sistemi

İçten yanmalı motorlarda krank mili yatakları, kam mili yatakları, ceket yüzeyleri, TC yatakları ve bu gibi mekanik aksamaların yağlanması gerekliliği vardır. Bu sayede mekanik aksamaların aşınması önlenir ve aynı zamanda yardımcı soğutma sağlanmış olur.

Motor çalıştırıldığı anda devreye giren harici bir pompa olan ön yağlama pompası yağı depolandığı karterden emerek yağlanması gereken mekanik aksamlara iletir. Motor çalışıp kendi çalışma devrine çıktıktan sonra ön yağlama pompası devreden çıkar. Artık krank miline bağlı olan dişli yağ pompası emiş yaparak motor yağını motor bloğuna ve yağlanacak aksamlara doğru daha yüksek bir basınçla basar. Yağlama motorun çalışma müddetince aralıksız devam eder.

Yanma odasındaki piston segmanları ve liner yüzeyi arasında da yağlama yapılması gerekliliği vardır. Fakat linerlerin yağlanması yağın da yanmaya kısmen katılmasına sebep olur. Bu sebeple motor bir miktar yağ da tüketecektir. Tüketilen yağ yerine temiz yağ tankından gelen takviye ile yağ seviyesi tamamlanır. Temiz yağ tankı doğrudan motorun karterine bağlıdır. Yağ yer çekimi yada harici bir pompa ile kartere gider. Yağ hattında 2 adet selenoid vana vardır. Motorun yağ seviye sensörü ile sürekli kontrol edilen yağ belli bir seviyeye düştüğünde yağ besleme hattında 2 adet selenoid vana açılır ve kartere yağ akışı başlar.

Motor çalıştıkça yağ ısınacaktır. Yüksek sıcaklığa çıkan yağın viskozitesi ve böylece yağlama özelliği değişecektir. O sebeple yağın tekrar istenilen fiziksel özelliklerine gelmesi için soğutulması gerekmektedir. Yağın soğutulması yağ eşanjörü ile yapılır ve soğutucu olarak HT hattı soğutma suyu kullanılır. TCG 2016 ve 2020 serilerinde yağ eşanjörü motora aküple halde iken, TCG 2032 seri motorlarda ise motordan ayrı plakalı bir eşanjördür.

3.2.12 Motor soğutma sistemi, HT ve LT hatları

Gaz motorundaki yanma reaksiyonu çok yüksek sıcaklıklarda ve sürekli gerçekleşir. Bu durum motor gövdesinin ve motor yağının ısınmasına sebebiyet verir. Isınan motor gövdesinin ve motor yağının soğutulması gerekmektedir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere TC kompresör kısmında sıkıştırılan hava gaz karışımının basıncı artarken sıcaklığı da artmaktadır. Verim düşüşünü engellemek için karışımın soğutulması için intercooler kullanılmaktadır.

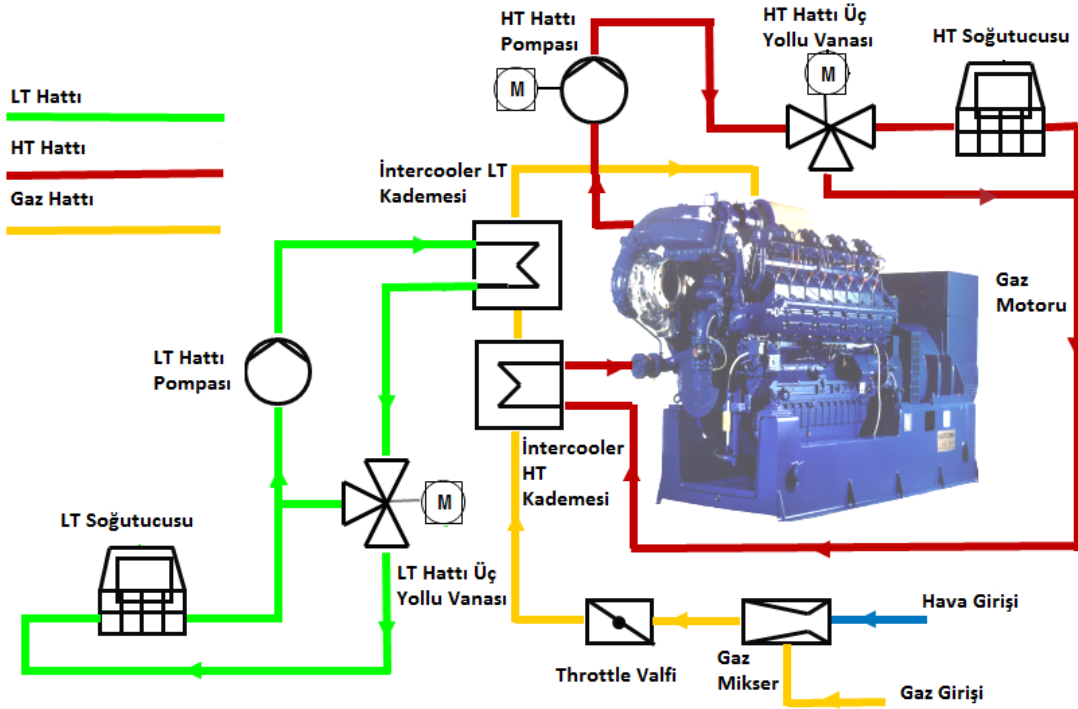
Bu soğutma işlemleri için 2 adet soğutma hattı vardır; HT ve LT soğutma hatları. Motor gövdesi ve motor yağını soğutan, ceket suyu hattı olarak da adlandıracağımız hat MWM firması tarafından HT hattı olarak adlandırılır. Sıkıştırılan hava gaz

karışımı ise intercoolerde büyük oranda LT ve kısmen HT hattı tarafından soğutulur. Her iki hattaki soğutucu akışkan korozyon inhibitörlü yada antifirizli sudur.

HT hattının üzerine aldığı ısı yükü kullanıcı tarafından değerlendirilir. Motordan çıkan ceket suyu önce kullanıcı hattı eşanjörüne gelir. Bu eşanjörde kullanıcının ihtiyacı yada tasarımda belirlenen miktardaki enerji kullanıcı hattına aktarılır. Ceket suyu eşanjör çıkışında bir miktar soğumuş olacaktır. Fakat hattın motor bloğu giriş yada TCG 2032 serisi motorlar için yağ eşanjörüne giriş sıcaklığına kadar soğutulması gerekmektedir. Eğer kullanıcı hattı eşanjörü çıkışında bu sıcaklığa ulaşamadıysa eşanjörden çıkıp HT hattı soğutucusuna gider. HT hattı soğutucusu, ortam ve iklim şartlarına göre bir kuru soğutucu, soğutma kulesi yada bir eşanjör olabilir. Soğutucu çıkışında artık ceket suyu sıcaklığı istenilen sıcaklığa düşürülmüş olur. Hattın dizaynı kullanıcının ihtiyacına göre birden fazla eşanjör yada eşanjörsüz olarak değişiklik gösterebilir.

LT hattı sadece intercoolerdeki ısı yükünü almak için kullanılır ve yüksek miktarda ısı kapasitesi yoktur. Yani hattan büyük bir ısı kazancı sağlanamadığından ve sıcaklık değeri düşük olduğundan genellikle kullanıcı hattında LT hattından faydalanılmaz. O sebeple intercoolerden çıkan su doğrudan LT hattı soğutucusuna gider. Hat sıcaklığı intercooler çıkış sıcaklığından intercooler giriş sıcaklığına düşürülür. Soğutucu ise yine kuru soğutucu, soğutma kulesi yada eşanjör olabilir. Ancak, kullanıcı hattı dönüşü intercooler çıkış sıcaklığından düşük olan sistem dizaynlarında ön ısıtma amacıyla LT hattından da fayda sağlanabilir.

Şekil 3.14'te soğutma hatları ve gaz hatlarına ait şematik çizim görülmektedir.



Şekil 3.14: HT, LT ve Gaz Hattı Şematik Gösterim.

3.2.13 Alternatör

Kojenerasyon sistemlerindeki gaz motorlarında elektrik üretimi için fırçasız ve senkron elektrik motorları olan alternatörler ile yapılmaktadır. Kullanıcıdan gelecek talebe göre 400 V dan 690 V a kadar alçak gerilim yada 3 kV dan 15 kV a kadar orta gerilim alternatör tipleri kullanılabilir. Alternatör şaftı kauçuk bir kaplin ile krank miline bağlıdır. Kranktan aldığı tahrik ile alternatör şaftına tork aktarılır ve elektrik üretimi sağlanır.

3.2.14 Motor kontrolü ve izleme sistemi

Motorun beyni durumundaki PLC motordan, hatlardan ve yardımcı ekipmanlardan gelen sıcaklık, basınç, pozisyon gibi değerleri derleyip gerekli kontrollerin yapılmasını sağlar. Ayrıca, kullanıcı ile sistem arasında bir arayüz oluşturarak manuel yapılan ayarların sistemde uygulanmasını sağlar. Bunun yanı sıra sistemde limit değer atanmış parametrelerin limitlerin dışına çıkması durumunda motorun çalışmasına gerekli müdahaleyi yapar. Bu müdahale sistemin durdurulması yada optimum bir düzeye getirilmesi şeklinde olabilir. MWM firması PLC yi de içine alan bu otomasyon kumanda sistemine TEM System adını vermektedir.

Motorun çalışması sırasındaki tüm veriler bir izleme ekranı ile kullanıcıya sunulur. Üretilen güçten, sensörlerden gelen anlık bilgilere kadar her türlü veri bu ekran vasıtası ile izlenebilir. Bu sayede gerekli üretim verileri alınabilir, sistemin çalışmasına olumsuz etki edecek bir durum erken tespit edilebilir yada sistemde karşılaşılan problemin ne olduğu ve ne yapılması gerektiği incelenebilir.

3.2.15 Gaz Motoru Yardımcı Ekipmanları

Gaz motorunda belirtilen ana ekipman ve tesisatların yanı sıra birçok yardımcı ekipman mevcuttur. Marş motoru, aküler, ateşleme kutusu, basınç, sıcaklık ve devir sensörleri, vanalar ve pompalar başlıca mekanik yardımcı ekipmanlardır.

Bu mekanik ekipmanların yanı sıra bir çok elektronik ekipman motorun çalışmasında önemli rol oynamaktadır. Elektrik şebeke bağlantı kesicileri ve ayırıcıları, topraklama sistemi ekipmanları, data kabloları, elektrik sigortaları ve röleler bu ekipmanlardan bazılarıdır.

3.3 Kojenerasyon Sistemi Gaz Motoru Harici Ekipmanları

Bir kojenerasyon tesisinde gaz motoru enerji elde etmek için kullanılır. Elde edilen bu enerji ise kullanıcı hatlarında bulunan ekipmanlar aracılığıyla kullanıcının kullanımına sunulur. Gaz motoru dışında kalan santral ekipmanları bu bölümde detaylandırılacaktır.

3.3.1 Ceket suyu eşanjörü

Gaz motoru yağ eşanjörünü ve motor bloğunu soğutan ceket suyunun üzerine aldığı ısıнын değerlendirilmesi ceket suyu eşanjöründe olur. Bu eşanjörün kapasitesi kullanıcının ihtiyacına göre değişiklik gösterir.

Eşanjörün bir tarafına soğuk haldeki kullanıcı hattı, diğer tarafına ise motor bloğundan çıkan yüksek sıcaklıktaki ceket suyu girer. Ceket suyunun sahip olduğu ısı enerjisi eşanjörde kullanıcı hattına transfer olur ve ısı enerjisi kullanıcıya sunulur. Bu sayede bir enerji verimliliği sağlanmış olur.

Ceket suyundan elde edilen sıcaklık değeri kullanıcı için yeterli olmayabilir. Daha yüksek sıcaklık değerleri için motorun egzoz gazı sıcaklığından yararlanılabilir.

Bunun için ceket suyu eşanjöründen çıkan kullanıcı hattı suyu sıcak su kazanına girerek hat basıncındaki doyma sıcaklığına kadar çıkarılabilir.

3.3.2 Buhar yada sıcak su kazanı

Gaz motorundan çıkan egzoz gazı, katalitik konvertörden ve susturucudan geçtikten sonra bir kazana girer. Kazanda egzoz gazının enerjisi kullanıcının hizmetine sunulur. Talep edilen akışkanın buhar yada sıcak su olma durumuna göre ve talep edilen sıcaklık değerine göre kazan tasarımı değişiklik gösterir.

Buhar kazanı olması durumunda kazan sistemine bir ekonomizer ilave edilir. Ekonomizer, kazandan çıkan düşük sıcaklıktaki egzoz gazı ile kazan besleme hattından gelen düşük sıcaklıktaki suyun bulunduğu kısımdır. Burada bir miktar ısıtılan su, daha sonra kazana girerek buhar fazına kadar ısıtılarak dizayn edilen sıcaklık değerine ulaştırılır. Kazandan çıkan egzoz gazı ise baca vasıtası ile atmosfere atılır.

Sıcak su kazanında ise ekonomizer olmaksızın kullanım mümkündür. Kazan besleme suyu, egzoz gazı sıcaklığı istenilen sıcaklık değerine ulaştırılarak kullanıcının kullanımına sunulur. Tek limit kullanıcı hattı basıncındaki doyma sıcaklığına kadar çıkılabilir.

3.3.3 Soğutucular

Bölüm 3.2.12 de anlatıldığı üzere HT ve LT hatları üzerine aldıkları ısıyı bir soğutucu ile üzerlerinden atar. Soğutucu olarak kullanılan ekipmanlar ise kuru soğutucular ve soğutma kuleleridir.

Kuru soğutucular üzerinde lameller bulunan borulardan geçen soğutucu suyun fan yardımıyla emilen hava ile soğutulduğu cihazlardır. Akışkının tipi, debisi, sıcaklığı ve ortam sıcaklığı gibi parametrelere göre seçim kriterleri vardır. Çok yüksek hava sıcaklığı olan bölgelerde yeterli soğutma kapasitesi sağlanamayacağından dolayı tercih edilmezler. Piyasada soğutucu akışkan türüne ve kullanım amacına göre farklı türleri bulunmaktadır.

Soğutma kuleleri, açık çevrim yada kapalı çevrim çalışan soğutma ekipmanlarıdır. HT veya LT hattından gelen suyun kuledeki püskürtme ekipmanları ile ısı transferi

Soğutucular ve soğutma kuleleri dışında, soğuk bir kaynaktan gelen suyun hatların soğutmasında kullanıldığı sistemler de mevcuttur. Bir eşanjör vasıtasıyla deniz suyu yada chiller gibi soğuk bir kaynaktan gelen su ile soğutma sağlanabilir.

33



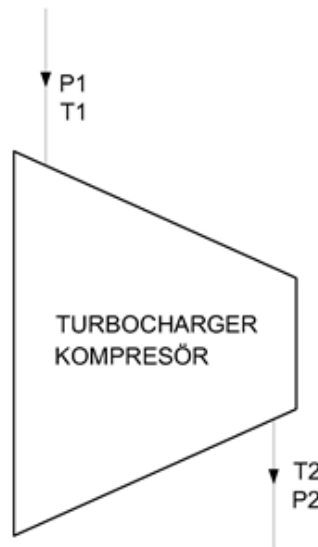
4. GAZ MOTORLU BİR KOJENERASYON SİSTEMİNİN BİR BOYUTLU SİMULASYONU

Bu çalışmada MWM marka gaz motorlu bir kojenerasyon santralini, gerekli verilerin girilmesi ile simüle eden bir program oluşturulmuştur. Program kojenerasyon santralini bir boyutlu termodinamik analizini yaparak girilen verilere göre hangi çıktı değerlerinin elde edilebileceğini hesaplar.

Programda sistemi oluşturan bileşenler ayrı ayrı analiz edilerek sistem simülasyonu yapılmaktadır. Oluşturulan termodinamik modeldeki denklemler, kabuller ve bu gibi veriler detaylandırılacaktır.

4.1 Kompresör Sıkıştırma Simülasyonu

Bölüm 3.2.4 te anlatıldığı üzere TC kompresör kısmı hava gaz karışımını sıkıştırarak yanma odalarına daha yüksek miktarda dolgu gitmesini sağlar (Şekil 4.1). Kompresörde sıkıştırılan havanın, kompresör çıkışında hangi basınca erişeceği bazı parametrelere bağlıdır. Kompresörün sıkıştırma oranı, kompresöre giren akışkanın basınç ve sıcaklığı, bağıl nem gibi faktörler bu parametrelerin başlıcalarıdır.



Şekil 4.1: Kompresör giriş ve çıkış şematik gösterim.

4.1.1 Kompresör giriş basıncının bulunması

Analiz sırasında kompresöre giren karışım basıncı ve P_1 ve T_1 , çıkan akışkanın basınç ve sıcaklığı ise P_2 ve T_2 olarak gösterilecektir. Buradaki karışımdaki hava miktarının çok fazla olmasından ötürü karışımın sadece hava olduğu kabulü yapılacaktır. Böylece giren akışkanın basıncı sistemin bulunduğu ortamın basıncı olarak kabul edilecektir.

$$P = P_o - \rho \cdot g \cdot \Delta h = P_o - \rho \cdot g \cdot (h - h_o) \quad (4.1)$$

$$\Delta P = - \rho \cdot g \cdot \Delta h \quad (4.2)$$

Denklem 4.1 deki h kojenerasyon sisteminin bulunduğu bölgenin rakımını, h_o ise referans rakımı yani deniz seviyesini gösterir. Burada $h_o = 0$ m olacaktır.

Kompresöre giren karışımın hava kabulü ve havanın ideal gaz kabulü ile;

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T \quad (4.3)$$

$$P = \rho \cdot R \cdot T \quad (4.4)$$

$$\rho = P / R \cdot T \quad (4.5)$$

Denklem 4.5, denklem 4.2 de yerine konulduğunda;

$$\Delta P = (- P \cdot g / R \cdot T) \cdot \Delta h \quad (4.6)$$

$$\frac{\Delta P}{P} = - \frac{g \cdot \Delta h}{R \cdot T} \quad (4.7)$$

Denklem 4.7 diferansiyel boyutta yazılırsa;

$$\int \frac{dP}{P} = \int - \frac{g \cdot dh}{R \cdot T} \quad (4.8)$$

$$\ln P = (-g \cdot h / R \cdot T) + c_1 \quad (4.9)$$

$$P = e^{\frac{-g \cdot h}{R \cdot T} + c_1} \quad (4.10)$$

$$P = c_2 \cdot e^{\frac{-g \cdot h}{R \cdot T}} \quad (4.11)$$

Sınır şartları;

Deniz seviyesinde $h=0$ m $\rightarrow$

$$P_0 = c_2 \cdot 1 \quad (4.12)$$

$$c_2 = P_0 \quad (4.13)$$

Denklem 4.11 buna göre düzenlenirse;

$$P = P_0 \cdot e^{-g \cdot h / R \cdot T} \quad (4.14)$$

Denklem 4.14 belli bir yükseklik ve hava sıcaklığında ortam basıncının bulunmasını sağlar. Ancak, kompresöre giren hava basınç değeri olan P_1 in bulunması için bu denklem yeterli olmayacaktır. P_1 basıncına etki eden diğer faktör bağıl nemdir. Gaz motoruna giren hava basınç değerini bulabilmek için atmosfer basıncından su buharı basıncını çıkarmak gerekmektedir. Buna göre;

$$P_1 = P_{atm} - \phi \cdot P_{doyma} \quad (4.15)$$

$$P_{atm} = P_0 \cdot e^{-g \cdot h_1 / R \cdot T_1} \quad (4.16)$$

$$P_1 = P_0 \cdot e^{-g \cdot h_1 / R \cdot T_1} - \phi \cdot P_{doyma@T_1} \quad (4.17)$$

Denklem 4.17 ile kompresöre giren havanın basınç değeri bulunabilir. Denklemdaki ϕ ortamın bağıl nemini, $P_{doyma@T_1}$ ise T_1 sıcaklığında havadaki su buharının doyma basıncına karşılık gelir.

Simülasyon programında rakım, ortam sıcaklığı ve ortamın bağıl neminin veri olarak girilmesi gerekecektir. Program içerisine su buharı doyma basıncı tablosu işlenmiştir. Böylece ilgili hava sıcaklığındaki su buharının doyma basıncı da bu tablodan alınarak kompresör giriş basıncı bulunacaktır.

4.1.2 Kompresör çıkış basıncı ve sıcaklığı

Kompresördeki sıkıştırma işinin adyabatik olduğu kabulü yapılmıştır. Buna göre ;

$$P_1 \cdot V_1^k = P_2 \cdot V_2^k \quad (4.18)$$

$$P_1/P_2 = (V_2/V_1)^k \quad (4.19)$$

İdeal gaz denkleminde göre;

$$P_1.V_1 = m.R.T_1 \text{ ve} \quad (4.20)$$

$$P_2.V_2 = m.R.T_2 \quad (4.21)$$

Denklem 4.20 ve 4.21 birbirine bölünürse;

$$P_1/P_2 = (V_2/V_1).(T_1/T_2) \quad (4.22)$$

Denklem 4.19, denklem 4.22 de yerine yazılarak kompresör çıkış sıcaklığı T_2 bulunabilir;

$$(T_2/T_1) = (P_2/P_1)^{k-1/k} \quad (4.23)$$

Kompresör çıkış basıncı P_2 ise kompresör sıkıştırma oranı P_r ye bağlıdır;

$$P_2 = P_r.P_1 \quad (4.24)$$

Kompresörün adyabatik fakat tersinmez olduğu kabulüyle kompresörden çıkan gerçek sıcaklık değeri T_2' olacaktır. Kompresör tarafından yapılan gerçek iş, kompresörün yaptığı izantropik işin kompresör verimine oranıdır. Kompresör verimi değeri sürtünmelerden kaynaklanan kayıplardan dolayı vardır. Buna göre;

$$W_{k,g} = W_{k,izan} / \eta_k \quad (4.25)$$

$$c_p.(T_2' - T_1) = c_p. (T_2 - T_1) / \eta_k \quad (4.26)$$

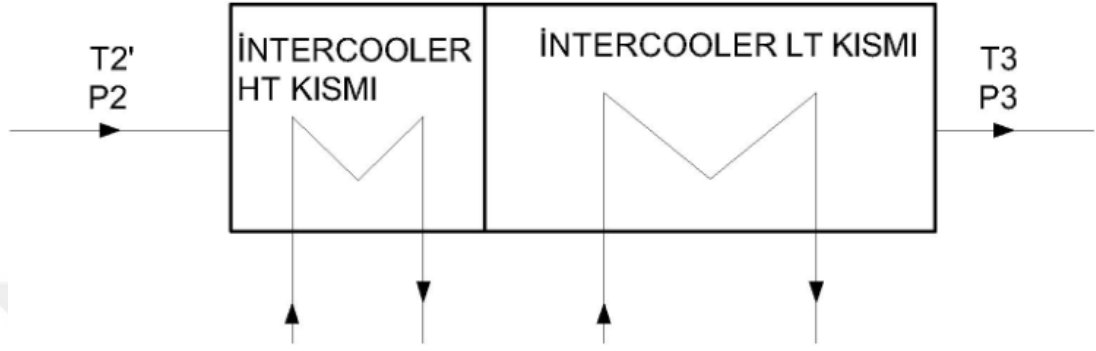
Denklem 4.23 ve 4.24, denklem 4.26 da yerine yazıldığında;

$$T_2' = T_1. \left[1 + \frac{\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\eta_k} \right] \quad (4.27)$$

Kompresör verimi η_k için programda kabul yapılarak verim değeri %85 alınacaktır. Havanın adyabatik üs katsayısı k tablosu ise termodinamik tablolarından alınarak programa işlenmiştir.

4.2 İntercooler Soğutma Simülasyonu

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere kompresörden çıkan karışımın soğutulması intercooler tarafından yapılmaktadır. HT ve LT kademelerinden oluşan intercooleri terk eden karışımın sıcaklığı T_3 ve basıncı P_3 olarak ifade edilecektir. (Şekil 4.2)



Şekil 4.2: İntercooler giriş ve çıkış şematik gösterim.

İntercoolerin soğutma yükünü bulmak için intercoolere giren hava gaz karışımının ısı gücü bulunur. Bu ısı gücü intercoolere giren soğutucu akışkanlara aktarılır. Buna göre;

$$Q_{int} = Q_{HTint} + Q_{LT} \quad (4.28)$$

$$Q_{int} = \dot{m}_{mix} \cdot \Delta h_{mix} = \dot{m}_{HT} \cdot c_{pHT} \cdot \Delta T_{HTint} + \dot{m}_{LT} \cdot c_{pLT} \cdot \Delta T_{LT} \quad (4.29)$$

Program analiz yaparken HT hattının intercoolerdeki soğutma etkisi ihmal edilecektir. Bunun sebebi pratikte HT hattının karışımı soğutma etkisi LT hattı yanında çok azdır. O sebeple;

$$Q_{int} = \dot{m}_{mix} \cdot \Delta h_{mix} = \dot{m}_{LT} \cdot c_{pLT} \cdot \Delta T_{LT} \quad (4.30)$$

Karışımın çoğunluğu hava olduğundan dolayı, karışımın entalpisi bulunurken karışımın hava olduğu kabulü yapılmıştır.

$$\Delta h_{mix} = \int_{T_2'}^{T_3} c_p \cdot dT \quad (4.31)$$

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (4.32)$$

Denklem 4.32, denklem 4.31 de yerine konularak integre edildiğinde ;

$$\Delta h_{\text{mix}} = a.T + b. \frac{T^2}{2} + c. \frac{T^3}{3} + d. \frac{T^4}{4} \Big|_{T_2}^{T_3} \quad (4.33)$$

$$\Delta h_{\text{mix}} = a.(T_3 - T_2) + \frac{b}{2}.(T_3^2 - T_2^2) + \frac{c}{3}.(T_3^3 - T_2^3) + \frac{d}{4}.(T_3^4 - T_2^4) \quad (4.34)$$

Denklem 4.34 deki a,b,c ve d değerleri termodinamik tablolarından hava için okunur. Buna göre ilgili katsayılar $a=28,11$, $b=0,001967$, $c=0,000004802$, $d= - 0,000000001966$ olarak alınacaktır.

Emme manifolduna yada yanma odalarına giriş sıcaklık değeri olan T_3 , MWM tarafından belirlenen değerler aralığında olmalıdır. Emme manifoldu sıcaklığı MWM motorda manuel olarak ayarlanır. LT hattının intercoolere giriş sıcaklığı değişerek, T_3 sıcaklığı ayarlanan değere getirilir. Bu çalışmada intercoolerden emme manifolduna giden karışımın sıcaklık değerleri TCG 2016 serileri için 45 °C, TCG 2020 serileri için 47 °C, TCG 2032 serileri için 50 °C olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılacaktır.

Denklem 4.34 de verilen hava gaz karışımının entalpisi, tüm değerler yerine yazılarak bulunabilir. İntercoolere giren hava gaz karışımının ısı gücünü bulmak için karışımın debisi olan $\dot{m}_{\text{mix}}$ değerinin de bilinmesi gerekmektedir. Buna göre;

$$\dot{m}_{\text{mix}} = \dot{m}_h + \dot{m}_g \quad (4.35)$$

Çizelge 3.4 te belirtildiği üzere her motor tipi için MWM in belirlemiş olduğu minimum hava debisi vardır. MWM tarafından belirlenen bu değer kg/kWh cinsindendir. Bu durumda motorun gücü ile minimum hava debisinin çarpılması ile ortama basılması gereken minimum hava kütlesi bulunmuş olunur.

$$\dot{m}_h = \dot{m}_{h\text{min}} . Pe / 3600 \quad (4.36)$$

$$\dot{m}_g = \dot{m}_h / \text{HYO}_{\text{gerçek}} \quad (4.37)$$

Denklem 4.36 ve 4.37 sayesinde bulunan hava gaz karışımı debisi $\dot{m}_{\text{mix}}$, karışımın entalpisi Δh_{mix} ile çarpılarak karışımın ısı gücü bulunur. Denklem 4.37 te verilen gerçek hava yakıt oranı ($\text{HYO}_{\text{gerçek}}$) değeri daha sonraki bölümde anlatılacaktır.

Denklem 4.34 deki entalpi değeri kJ/kmol birimindedir. O sebeple akışkanın molar debisinin bulunması gerekmektedir. Molar debilerin bulunması için hem havanın hem de gazın kütsel debilerinin mol kütlelerine bölünmesi gerekir. Doğalgazın CH_4 olduğu kabulü ile $M_g=16$ kg/kmol gazın molar kütsesini, ($\text{O}_2+3,76 \text{ N}_2$) hava kabulü ile 137,28 kg/kmol havanın molar kütsesini ifade eder.

$$\dot{n}_{\text{mix}} = \dot{n}_h + \dot{n}_g \quad (4.38)$$

$$\dot{n}_h = \dot{m}_h / M_h \quad (4.39)$$

$$\dot{n}_g = \dot{m}_g / M_g \quad (4.40)$$

Buna göre son durumda Denklem 4.41 ile intercooler ısı yükü bulunabilir.

$$Q_{\text{int}} = \dot{n}_{\text{mix}} \cdot \Delta h_{\text{mix}} \quad (4.41)$$

4.3 LT Hattı Simülasyonu

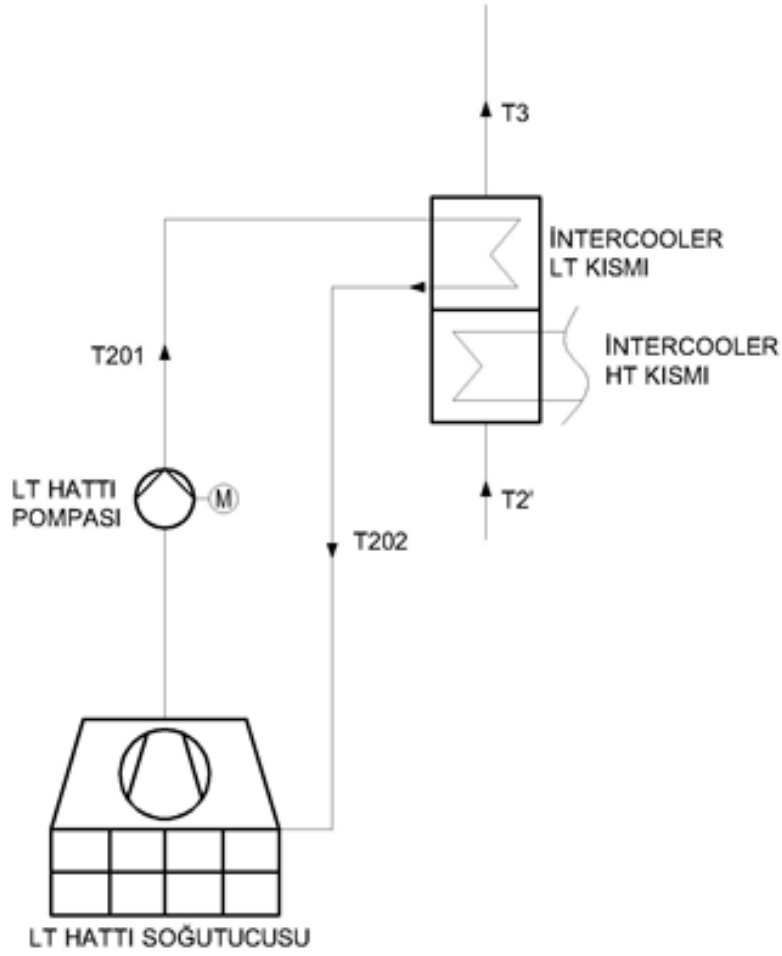
İntercoolerdeki soğutma işinin sadece LT hattı ile yapıldığı kabulüne göre LT hattı hesabı yapılmıştır (Şekil 4.3). LT hattında soğutucu akışkan olarak antifirizli yada korozyon inhibitörlü su kullanılır. Ancak, sistemin çalışmadığı zamanlarda don riski olabilecek yerlerde antifiriz mutlaka kullanılmalıdır.

LT hattı soğutucu akışkan özgül ısısı c_{pLT} ile MWM tarafından belirlenmiş olan LT hattı sıcaklık farkı ΔT_{LT} denklem 4.30'da yerlerine yazılarak LT hattının debisi bulunabilir. MWM LT giriş sıcaklığı T201 in 36-45 °C arasında ayarlanmasını bir dizayn koşulu olarak belirlemiştir. Giriş (T201) ve çıkış sıcaklığı (T202) arasındaki farkı ise 5 °C olarak belirlemiştir. Böylece analizlerde $\Delta T_{LT} = 5$ °C olarak alınacaktır.

$$c_{pLT} = c_{pLT,su} \cdot (1 - x_{LT}) + c_{pLT,ant} \cdot (x_{LT}) \quad (4.42)$$

$$d_{LT} = d_{LT,su} \cdot (1 - x_{LT}) + d_{LT,ant} \cdot (x_{LT}) \quad (4.43)$$

Yukarıdaki denklemlerde bulunan x_{LT} hattaki antifiriz oranıdır. Bu oran programda kullanıcıya sorulacaktır. Girilen oran değerine LT hattı özgül ısısı ve akışkan yoğunluğu hesaplanacaktır. Hattaki akışkan bileşenleri olan su ve antifiriz için özgül ısı ve yoğunluk değerleri termodinamik tablolarından alınarak programa işlenmiştir.



Şekil 4.3: LT hattı şematik çizimi.

Bu veriler ışığında;

$$\dot{m}_{LT} = Q_{int} / (c_{pLT} \cdot \Delta T_{LT}) \quad (4.44)$$

Hacimsel debi V_{LT} ise;

$$V_{LT} = \dot{m}_{LT} / d_{LT} \quad (4.45)$$

Seçilmesi gereken LT hattı soğutucusu LT hattının ısı yükü ile eşit olmalıdır. Yani intercooler yükü kadar olacaktır. Ancak, atmosfer sıcaklıklarının yükselmesi yada radyatörün soğutma kapasitesinin kirlilik vs gibi işletme problemlerinden dolayı düşmesi muhtemeldir. O sebeple LT soğutucusunun kapasitesi %20 oranında daha büyük seçiliyor olacaktır.

$$Q_{LTradyator} = (Q_{int}) \cdot 1,2 \quad (4.46)$$

4.4 Gaz Motorunda Yanma Ve Güç Eldesi Simülasyonu

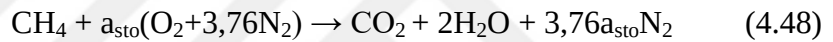
MWM firması motorlarının $\lambda=1,4$ civarlarında en verimli halde çalıştığını belirtmektedir. λ değeri gerçek hava yakıt karışım oranının stokiyometrik hava yakıt karışımına olan oranıdır.

$$\lambda = \frac{HYO_{\text{gerçek}}}{HYO_{\text{sto}}} \quad (4.47)$$

4.4.1 Yanma denklemi

Stokiyometrik ve gerçek hava yakıt oranlarını bulmak için stokiyometrik yanma denklemi yazılır. Yanma denklemlerinde doğalgazın içeriği metan (CH_4) kabulü yapılacaktır.

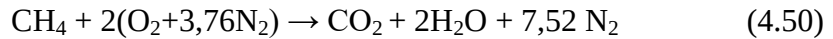
Stokiyometrik yanma denklemi;



O_2 dengesi;

$$2. a_{\text{sto}} = 2 + 2 \rightarrow a_{\text{sto}} = 2 \quad (4.49)$$

Böylece stokiyometrik denklem;

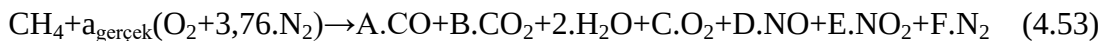


Daha önce de belirtildiği üzere programda doğalgazın içeriği metan (CH_4) olarak kabul edilecektir.

$$HYO_{\text{sto}} = \frac{m_{h,\text{sto}}}{m_{g,\text{sto}}} = \frac{2 \cdot ((2.16) + (3,76.2.14))}{16} = 17,16 \quad (4.51)$$

$$HYO_{\text{gerçek}} = \lambda \cdot HYO_{\text{sto}} = 17,16 \cdot \lambda \quad (4.52)$$

Gerçek yanma denklemi;



$$HYO_{gerçek} = \frac{m_{h,gerçek}}{m_{g,gerçek}} = \frac{a_{gerçek} \cdot ((2.16) + (3,76.2.14))}{16} = 17,16 \lambda \quad (4.54)$$

$$a_{gerçek} = 2 \lambda \quad (4.55)$$

Programda λ değeri kullanıcıdan istenecektir. Girilecek λ değerine göre yanma denklemindeki hava ve ürünlerin katsayıları değişkenlik gösterecektir. Ayrıca, yanma ürünleri katsayıları bulunurken bazı kabuller yapılacaktır.

C dengesi;

$$A+B= 1 \quad (4.56)$$

O dengesi;

$$A+2B+2+2C+D+2E=2.a_{gerçek} \quad (4.57)$$

N₂ dengesi;

$$D+E+2F=7,52.a_{gerçek} \quad (4.58)$$

Ayrıca programda;

$$D=2E \quad (4.59)$$

şeklinde bir kabul yapılacaktır.

Yönetmeliklere göre NO_x emisyonu 500 mg/Nm³ ve CO emisyonu 650 mg/Nm³ ile sınırlandırılmıştır. Bu değerler NO_x ve CO nun atmosfer koşullarındaki yoğunluklarına bölünürse ilgili bu bileşiklerin emisyon gazı içerisindeki hacimsel oranları bulunur. NO_x u oluşturan NO, NO₂ nin 2 katı kadar kabul edildiği için gaz sabiti değeri de 2 katı kadar alınır. Denklem 4.59 da gösterilmiştir.

$$P_{NOx} = \rho_{NOx} \cdot R_{NOx} \cdot T \quad (4.60)$$

$$P_{CO} = \rho_{CO} \cdot R_{CO} \cdot T \quad (4.61)$$

$$R_{NOx} = (2 \cdot R_{NO} + R_{NO2}) / 3 \quad (4.62)$$

$$1,01.10^5 = \rho_{NO} \cdot \left(\frac{2 \cdot 277,1 + 1 \cdot 188,9}{3} \right) \cdot 273 \quad (4.63)$$

$$1,01.10^5 = \rho_{CO} \cdot (296,8) \cdot 273 \quad (4.64)$$

$$\rho_{NO_x} = 1,493 \text{ kg/m}^3 \quad (4.65)$$

$$\rho_{CO} = 1,246 \text{ kg/m}^3 \quad (4.66)$$

$$\text{NO}_x \text{ için; } \frac{500.10^{-6} \text{ kg/Nm}^3}{1,493 \text{ kg/m}^3} = 334,9 \text{ ppm}$$

$$\text{CO için; } \frac{650.10^{-6} \text{ kg/Nm}^3}{1,246 \text{ kg/m}^3} = 521,7 \text{ ppm}$$

Şeklinde hacimsel oranlar bulunur. Bu değerler yuvarlanarak 335 ppm ve 522 ppm olarak NO_x ve CO hacimsel oranları yani % 0.0335 NO_x ve % 0.0522 CO değerleri bulunmuş olacaktır. Buna göre;

$$D+E=0.000335 \cdot (A+B+2+C+D+E+F) \quad (4.67)$$

$$A=0.000522 \cdot (A+B+2+C+D+E+F) \quad (4.68)$$

Denklem 4.55 den sonraki eşitlikler ile gerçek yanma denkleminin ürünler katsayıları bulunur.

4.4.2 Adyabatik alev sıcaklığının bulunması

Gerçek yanma denklemindeki ürünler ile girenlerin enerjileri eşit olmak durumundadır. Ürünler ve girenlerin katsayıları yerlerine yazıldıktan sonra enerji dengesi denklemi yazılır;

$$E_g = E_{\dot{u}} \quad (4.69)$$

Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilir ve enerji denklemi yazılır;

$$Q_g + W_g + H_g = Q_{\dot{u}} + W_{\dot{u}} + H_{\dot{u}} \quad (4.70)$$

$$Q_g + W_g + \sum N_{\dot{u}} \cdot (h_{ol}^0 + \dot{h} - \dot{h}^0)_{\dot{u}} = Q_{\dot{u}} + W_{\dot{u}} + \sum N_g \cdot (h_{ol}^0 + \dot{h} - \dot{h}^0)_g \quad (4.71)$$

Yanmanın adyabatik olarak gerçekleştiği kabulü ile Q=0 ve iş yapılmadığı kabulüyle W=0 olarak alınarak Denklem 4.72 elde edilir. Bu denklem sayesinde

ateşleme sırasındaki alev sıcaklığı bulunacaktır. Alev sıcaklığı analizde T_4 olarak ifade edilecektir.

$$\sum N_{\bar{u}} \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{\bar{u}} = \sum N_g \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_g \quad (4.72)$$

Denklem 4.72 yanma denklemindeki ürünler ve girenlere göre açılırsa aşağıdaki gibi bir denklem elde edilir.

$$\begin{aligned} & A \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{CO} + B \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{CO_2} + 2 \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{H_2O} + C \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{O_2} + D \cdot \\ & (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{NO} + E \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{NO_2} + F \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{N_2} = 1 \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{CH_4} + a_{gerçek} \cdot \\ & (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{O_2} + 3,76 \cdot a_{gerçek} \cdot (h_{ol}^0 + \bar{h} - \bar{h}^0)_{N_2} \end{aligned} \quad (4.73)$$

Yanmaya katılan ve yanma sonucu oluşan her bir gazın h_{ol}^0 ve $\bar{h}$ entalpileri ile $\bar{h}$ değerleri ise EK A.7 ve EK A.8'de verilmiştir.

Yanma denklemindeki katsayılar ile entalpiler Denklem 4.73 de yerlerine konulur. Ancak yanma sıcaklık değeri belli olmadığı için $\bar{h}$ değerleri bilinemeyecektir. Denklem son halinde CO, CO₂, H₂O, O₂, NO, NO₂ ve N₂ nin $\bar{h}$ değerleri için toplam bir değer bulunur. 7 bilinmeyenli bu denklemi çözebilmek için herhangi bir sıcaklık değeri tahmini yapılır ve bu değere göre her bileşenin $\bar{h}$ değeri EK A.8'den okunarak yerine yazılır. Yerine konulan değerler, bulunan toplam değere eşit olana kadar sıcaklık tahmini yapmaya devam edilir. Denklemlerin eşitliğini sağlayan sıcaklık değeri adyabatik alev sıcaklığı T_4 olacaktır.

4.4.3 Güç eldesi simülasyonu

Silindirlere alınan yakıt hava karışımının yakılması ile açığa çıkan enerji pistonlara hareket verir. Pistonların bu hareketi ile açığa çıkan iş indike iş olarak adlandırılır. Pistonlar tarafından yapılan indike iş;

$$W_{ind} = V_{g,ind} \cdot A \cdot I_{Dg} \cdot L \quad (4.74)$$

Yanma odasına giren gaz hacmi $V_{g,ind}$, yanma odasındaki hacimsel hava yakıt oranı olan HHYO_{ind} e oranıdır.

$$V_{g,ind} = \frac{V_H}{HHYO_{ind}} \quad (4.75)$$

Motordaki tüm silindirlerin toplam hacmi ise bir silindire ait yanma odası hacmi ile silindir sayısının çarpımı kadardır. D silindir çapı, H ise silindir strok boyudur.

$$V_H = \pi \cdot (D^2/4) \cdot H \cdot v \quad (4.76)$$

Hacimsel hava yakıt oranı, havanın ve gazın hacimsel debilerinin oranıdır. Yanma odasına giren hava ve gaz daha öncesinde kompresörde sıkıştırıldıkları için başlangıçtaki yoğunluk değerinden farklı yoğunluk değerlerinde olurlar. Bu yoğunlukluk değeri indike yoğunluk ρ_{ind} olarak gösterilecektir. Havanın ve gazın hacimsel debisi daha önceden bilinen kütleli debilerinin yoğunluğa oranı olacaktır.

$$HHYO_{ind} = \frac{\frac{\dot{m}_h}{\rho_{h,ind}}}{\frac{\dot{m}_g}{\rho_{g,ind}}} \quad (4.77)$$

Motorun indike gücü, indike iş ile motor devrinin çarpımının 2 ye bölünmesi ile elde edilir. 2 ye bölünme sebebi, krankın 2 devrinde 1 iş çevrimi elde edilmesinden ötürüdür.

$$P_{ind} = W_{ind} \cdot n_m / 2 \quad (4.78)$$

P_{ind} değeri motor tarafından üretilen gücü ifade eder. Ancak, üretilen bu gücün bir kısmı soğutma, sürtünmeler ve izolasyon kayıplarına gitmektedir. Bu sebepten ötürü indike güçten elektriksel güce geçişte ciddi miktarda düşüş olacaktır. MWM den verilen motor veri sayfalarından yapılan yaklaşımlar doğrultusunda, motor bloğu tarafında %5 civarında radyasyonla ısı kaybı ve kaplin ile alternatöre aktarılan güçte %2,5 civarlarında mekanik bir kayıp olduğu şeklinde kabul yapılacaktır. O sebeple programda toplam kayıplar %7,5 olarak kabul edilecektir.

$$Q_k = P_e \cdot L \cdot 0,075 \quad (4.79)$$

İndike güçten kayıplar çıkarıldıktan sonra bloktan ceket suyuna aktarılan ısıl güç ve elektriksel güç kalır. Bu motor mekanik gücüdür. Mekanik güçten elektriksel gücü çıkardığımızda ise motor bloğundan ceket suyuna aktarılan güç bulunmuş olur;

$$P_m = P_{ind} - Q_k \quad (4.80)$$

$$Q_{blok} = P_m - (P_e.L) \quad (4.81)$$

4.4.4 Elektriksel verim

Motor verimi üretilen elektriksel gücün tüketilen yakıtın gücüne oranıdır. Tüketilen yakıtın gücü, yakıtın alt ısıl değeri ile hacimsel debisinin çarpımı ile elde edilir. Gazın hacimsel debisi motora giren gazın kütledebisinin motora giriş koşulundaki yoğunluğuna oranıdır.

$$\eta_e = \frac{P_e}{P_g} \quad (4.82)$$

$$P_g = V_g \cdot AID_g \quad (4.83)$$

$$\dot{V}_g = \frac{\dot{m}_g \cdot 0,75}{\rho_g} \quad (4.84)$$

Yakıtın alt ısıl değeri birim hacimdeki yakıtın yanma reaksiyonundan sonraki açığa çıkan ve su buharı enerjisinin kullanılmadığı durumdaki enerjidir. Çalışmada AID kısaltması ile kullanılacaktır. Kullanılacak gazın niteliği değişebileceği için programda gazın alt ısıl değeri bir veri olarak kullanıcıya sorulacaktır. Girilecek AID ye göre yakıt tüketim ve verim hesabı yapılacaktır.

Tüketilen gazın miktarı $\dot{m}_g$ debisinin %75 i kadardır. Geriye kalan %25 lik miktarın intercoolerde ve emme manifoldunda olduğu kabulü yapılmıştır.

4.5 HT Hattı Simülasyonu

Bloktan ceket suyuna aktarılan ısıl güç Q_{blok} ve yağ eşanjöründen çekilen ısıl güç $Q_{yağ}$ HT hattının toplam ısıl yükünü oluşturacaktır. Yani;

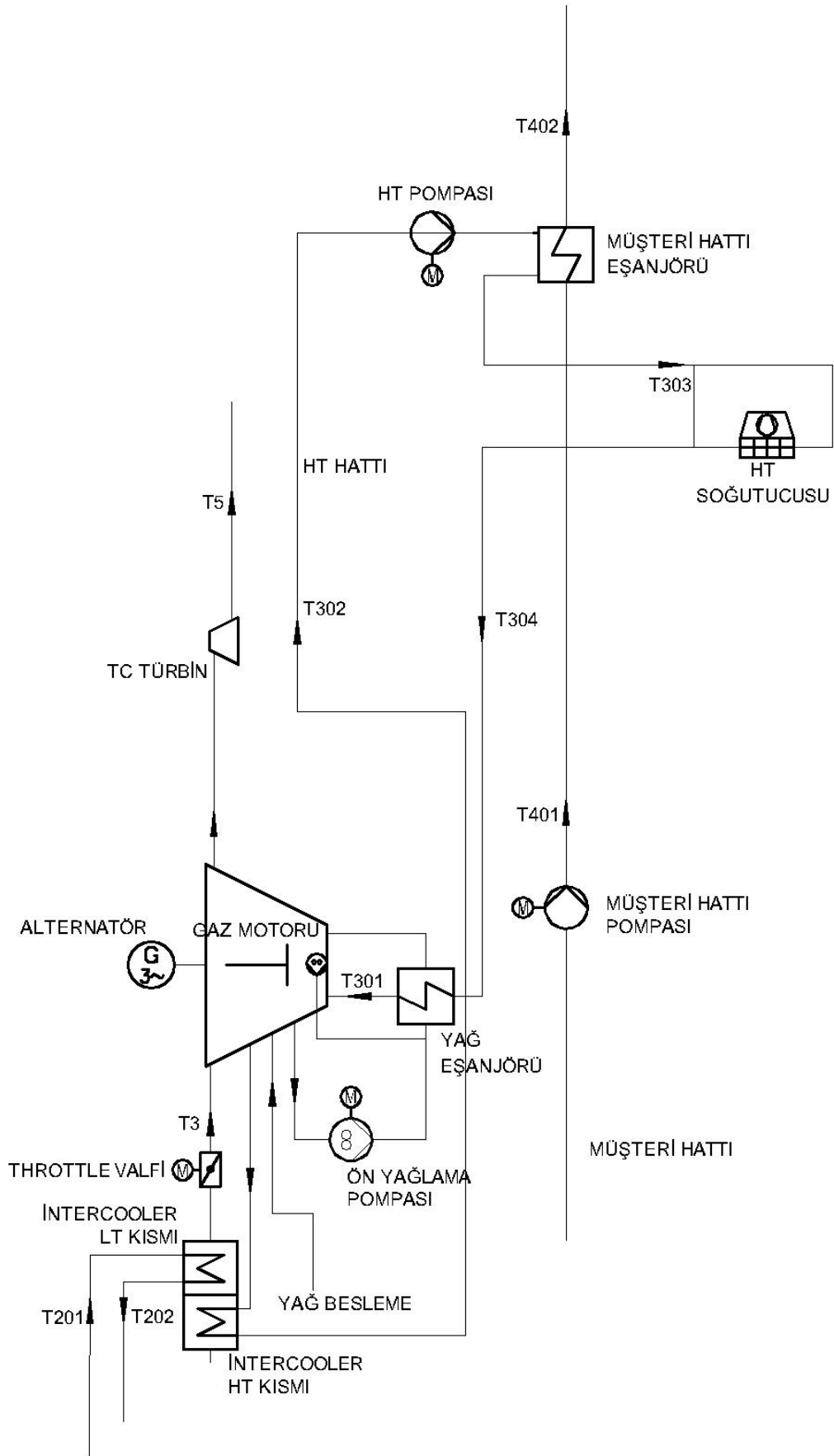
$$\Delta Q_{HT} = Q_{\text{blok}} + Q_{\text{yağ}} \quad (4.85)$$

Ceket suyu ısı gücü gücünün nasıl bulunacağı bölüm 4.4.3’de anlatılmıştı. Yağ eşanjöründen çekilen ısı gücü ise MWM tarafından verilmiştir. HT hattının toplam yükü aşağıda denklem 4.86’da gösterilmiştir;

$$\Delta Q_{HT} = \dot{m}_{HT} \cdot c_{pHT} \cdot \Delta T_{HT} \quad (4.86)$$

Motor ceket suyu bloğa giriş sıcaklığı T301 ve bloktan çıkış sıcaklığı T302 olarak ifade edilecektir. Yağ eşanjörüne giriş sıcaklığı T304 ve yağ eşanjöründen çıkış sıcaklığı bloğa giriş sıcaklığı olan T301 olacaktır (Şekil 4.4).

TCG 2032 serisi motorlarda ceket suyu eşanjörü motora aküple değildir. O sebeple sıcaklık farkı ΔT_H TCG 2032 serisi motorlarda eşanjöre giriş sıcaklığı ile motor bloğundan çıkışı arasındaki farka, diğer motor tiplerinde ise motor bloğuna giriş ve motor bloğundan çıkış arasındaki farka eşittir. Program MATLAB de buna göre yazılmıştır.



Şekil 4.4: HT hattı şematik çizimi.

TCG 2020 ve TCG 2016 tipi gaz motorları için;

$$\Delta T_{HT} = T_{302} - T_{301} \quad (4.87)$$

TCG 2032 tipi gaz motorları için;

$$\Delta T_{HT} = T_{302} - T_{304} \text{ (TCG 2032 için)} \quad (4.88)$$

ΔT_{HT} değeri için MWM in istediği değer TCG 2016 ve 2020 için 8 °C ve 12 °C dir. TCG 2032 için ise 16 °C dir.

x_{HT} hattaki antifiriz oranıdır. HT hattındaki antifiriz oranı programda yine kullanıcıya sorulacaktır. HT hattındaki soğutucu akışkanın özgül ısısı denklem 4.89 de verilen şekilde hesaplanır. Antifiriz ve suyun özgül ısıları termodinamik tablolarından okunur.

$$c_{pHT} = c_{pHT,su} \cdot (1 - x_{HT}) + c_{pHT,ant} \cdot (x_{HT}) \quad (4.89)$$

Denklem 4.86'daki veriler yerine yazılarak hattın kütleli debisi hesaplanır.

$$\dot{m}_{HT} = \Delta Q_{HT} / (c_{pHT} \cdot \Delta T_{HT}) \quad (4.90)$$

Aynı şekilde antifirizin ve suyun yoğunlukları termodinamik tablolarından okunur v, denklem 4.91'de verilen şekilde akışkanın yoğunluğu bulunur;

$$d_{HT} = d_{HT,su} \cdot (1 - x_{HT}) + d_{HT,ant} \cdot (x_{HT}) \quad (4.91)$$

Buna göre hacimsel debi V_{HT} ise;

$$V_{HT} = \dot{m}_{HT} / d_{HT} \quad (4.92)$$

4.6 Kullanıcı Hattı, Kazan Isıtma Ve Soğutma

Gaz motorlu bir kojenerasyon santralinde motorun ceket suyunun ve egzozunun enerjisi kullanıcının kullanımına sunularak santralden ne yüksek oranda fayda alınmaya çalışılır. Motorun ceket suyundaki ısının bir eşanjör vasıtası kullanıcının kullanımına sunulduğu hattın adı kullanıcı hattıdır. Egzoz hattında ise egzozun bir sıcak su yada buhar kazanına verilmesi ile kazandan sıcak su veya buhar eldesi sağlanabilir.

Kazana giren egzozun enerjisini aktardığı hat ise kazan besleme hattıdır. Kullanıcı hattı ile kazan besleme hattı aynı hat olabilir. Bunun için programda önce kazanın tipinin sıcak su mu yoksa buhar kazanı mı olduğu sorgulanır. Sonra ise kullanıcı hattının kazan besleme suyu ile aynı olup olmadığı sorgulanır.

Motor yanma odasında buji ateşlemesi ile bir anlık T_4 sıcaklığına erişilir. Açığa çıkan egzoz gazının sıcaklığı genişleme ve ısı kayıplardan dolayı düşer. Egzoz manifolduna giden bu soğumuş gazın sıcaklığı T_5 olarak ifade edilecektir. Genişlemeden dolayı bu sıcaklık düşüşü adyabatik olarak kabul edilecektir. Buna göre;

$$T_5 = T_4 / \epsilon^{\text{kex}-1} \quad (4.93)$$

Yanma odası sıkıştırma oranı ϵ , yanma odası hacminin ölü hacime olan oranıdır. MWM tarafından her motor serisi için farklı bir ϵ değeri vardır. Çizelge 4.1 de bu değerler verilmiştir. kex ise egzoz gazı adyabatik üs katsayısıdır. $\text{kex}=1,4$ olarak kabul yapılacaktır.

Çizelge 4.1: MWM motor serilerine göre sıkıştırma oranları.

	ϵ
TCG 2016	12
TCG 2020	13
TCG 2032	13

Egzozun kazan çıkış sıcaklığının doyma sıcaklığına kadar düşürülmesiyle kazandan maksimum miktarda güç alınmış olunur. Programda bu sıcaklık değeri için 120 °C kabulü yapılacaktır. Buna göre kazandan alınabilecek maksimum güç;

$$Q_{\text{kazanmax}} = \dot{m}_{\text{ex}} \cdot c_{\text{pex}} \cdot (T_5 - 120) \quad (4.94)$$

Egzoz gazının özgül ısısı, egzoz gazını oluşturan bileşenlerin kazan giriş ve çıkışındaki sıcaklık değerlerinin ortalamasına göre alınmıştır. Yani her bir yanma ürününün T_5 ve T_7 sıcaklığındaki özgül ısı değeri alınıp, yanma ürünlerindeki hacimsel ağırlığıyla orantılı olarak egzoz gazı özgül ısısı bulunmuştur. Ancak, NO ve NO₂ nin katkısı çok düşük olduğu için bu bileşenlerin özgül ısıları hesaba dahil edilmemiştir (Çizelge 4.2). Buna göre;

$$c_{p_{ex}} = \frac{(c_{p_{CO}} \cdot A \cdot M_{CO} + c_{p_{CO_2}} \cdot B \cdot M_{CO_2} + c_{p_{H_2O}} \cdot 2 \cdot M_{H_2O} + c_{p_{O_2}} \cdot C \cdot M_{O_2} + c_{p_{N_2}} \cdot F \cdot M_{N_2})}{A \cdot M_{CO} + B \cdot M_{CO_2} + 2 \cdot M_{H_2O} + C \cdot M_{O_2} + F \cdot M_{N_2}} \quad (4.95)$$

Çizelge 4.2: Egzoz gazı bileşenleri özgül ısıları.

Sıcaklık	CO Özgül Isısı	CO ₂ Özgül Isısı	H ₂ O Özgül Isısı	O ₂ Özgül Isısı	NO Özgül Isısı	NO ₂ Özgül Isısı	N ₂ Özgül Isısı
273	1,048	0,811	1,874	0,9287	0	0	1,035
323	1,039	0,8666	1,874	0,9217	0	0	1,042
373	1,041	0,9148	1,887	0,9318	0	0	1,041
423	1,049	0,9574	1,908	0,9476	0	0	1,043
473	1,06	0,9952	1,935	0,9647	0	0	1,05
573	1,085	1,06	1,997	0,9971	0	0	1,07
673	1,111	1,112	2,066	1,025	0	0	1,095
773	1,135	1,156	2,137	1,048	0	0	1,12
1273	1,226	1,292	2,471	1,121	0	0	1,213

Egzoz gazı debisi $\dot{m}_{ex}$ ise $\dot{m}_{mix}$ e eşit olacaktır.

$$\dot{m}_{mix} = \dot{m}_{ex} \quad (4.96)$$

4.6.1 Beslemesi kullanıcı hattı olan sıcak su kazanı

Kullanıcı hattının aynı zamanda kazan besleme hattı olması durumunda, kullanıcı hattı eşanjörü giriş T401, kazan çıkış T403 ve hattın debisi $\dot{m}_{khattı}$ kullanıcıya sorulur. Hat basıncı 10 bar kabul edilecektir. T403 sıcaklığının maksimum değeri için suyun 10 bar basınçta suyun doyma sıcaklığı olan 179,88 °C den az olması için 170 °C sınır kabulü yapılmıştır (Şekil 4.5).

Kullanıcı hattı ile kazanın besleme hattı aynı hat olduğu durumda kullanıcı hattının maksimum değeri HT hattındaki yükün tamamına ve kazandan alınacak maksimum değere eşit olacaktır.

$$Q_{khattımax} = Q_{HT} + Q_{kazanmax} \quad (4.97)$$

Denklem 4.85 de verildiği üzere $Q_{HT} = Q_{blok} + Q_{yağ}$ dır.

Kullanıcı hattından sağlanacak maksimum değer ile elde edilecek $T_{403_{max}}$ değeri belirlenir. Akabinde programa kullanıcı tarafından girilen T403 değeri $T_{403_{max}}$ ile kıyaslanır. Eğer girilen T403 değeri olabilecek maksimum değerden yüksek ise

program bu değerin uygun olmadığını bildirir ve maksimum olabilecek değer ile işleme devam edip etmemeyi sorar. Eğer kabul edilirse kazandan alınabilecek maksimum değere göre işlemlere devam edilir.

$$T403_{\max}=T401+(Q_{\text{khattmax}}/(m_{\text{khatt}} \cdot c_{p,\text{khatt}})) \quad (4.98)$$

$$T402_{\max}=T401+(Q_{\text{HT}}/(m_{\text{khatt}} \cdot c_{p,\text{khatt}})) \quad (4.99)$$

Eğer talep edilen $T403$ değeri $T402_{\max}$ değerine yakın veya eşitse, yani kullanıcı tarafından talep edilen sıcaklık değeri HT hattı tarafından sağlanabiliyorsa, kazanın çalışmasına gerek kalmayacaktır. Bu durumda kazan klepesi kapalı pozisyonda olacaktır. Program da buna göre yazılmıştır.

Kazana egzozdan geçen ısı miktarı kazan besleme suyuna aktarılan ısı ile kayıpların toplamı kadardır. TSE 4041 standartında belirtilen kazan dış yüzey kayıpları için verilen grafik baz alınarak, kayıplar kazan gücünün %1 i kadar kabul edilmiştir [19].

$$Q_{\text{kazan}}=Q_{\text{kazanbes}}+Q_{\text{kazankayip}} \quad (4.100)$$

$$Q_{\text{kazanbes}}=m_{\text{khatt}} \cdot c_{p,\text{khatt}} \cdot (T403-T402) \quad (4.101)$$

$$Q_{\text{kazankayip}}=Q_{\text{kazan}} \cdot 0,01 \quad (4.102)$$

Denklem 4.102, denklem 4.100'de yerine yazılırsa;

$$Q_{\text{kazankayip}}=(Q_{\text{kazanbes}}/0,99) \cdot 0,01 \quad (4.103)$$

Talep edilen $T403$ sıcaklık değerini sağlamak için kazana aktarılması gereken ısı Q_{kazan} olacaktır. Bu enerjinin aktarılabilmesi için kazan klepe pozisyonunu belli bir seviyede açık olması gerekecektir. Klepe pozisyonunu ve kazana gönderilmesi gereken egzoz debisi için;

$$p_{\text{klepe}}=Q_{\text{kazan}}/Q_{\text{kazanmax}} \quad (4.104)$$

$$m_{\text{exkazan}}=(p_{\text{klepe}}) \cdot m_{\text{ex}} \quad (4.105)$$

Buna göre kazan çıkış sıcaklığı;

$$T7=T5-(Q_{\text{kazan}}/(m_{\text{exkazan}} \cdot c_{p,\text{ex}})) \quad (4.106)$$

T7 sıcaklığının 120 °C nin altında olması durumunda kazan çıkış sıcaklığının uygun olmadığı program tarafından bildirilir. O sebeple dizaynda değişiklik yapılması gerekecektir.

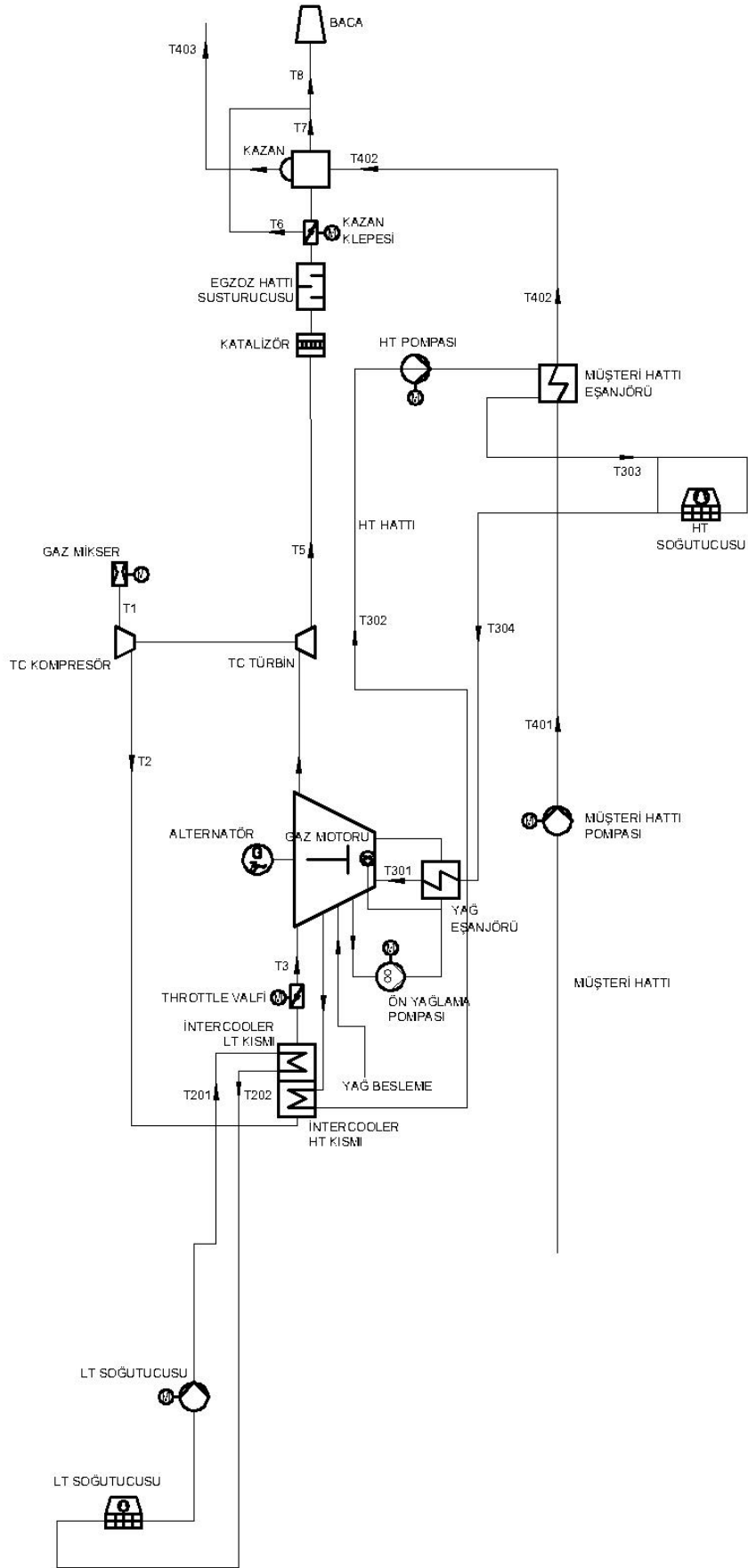
Kazan klepesinin tam açık olmaması durumunda egzozun bir kısmı bypassa giderek atmosfere atılacaktır. Bypassa giden egzoz kütlesi ve sıcaklığı;

$$m_{\text{bypass}} = m_{\text{ex}} - m_{\text{exkazan}} \quad (4.107)$$

$$T6 = T5 \quad (4.108)$$

Kazan çıkışından gelen soğumuş egzoz gazı ile bypasstan gelen egzoz gazları tekrar birleşecek ve bacadan atmosfere atılacaktır. Atmosfere atılan egzoz gazı sıcaklığı;

$$T8 = ((m_{\text{exkazan}} \cdot T7) + (m_{\text{bypass}} \cdot T6)) / m_{\text{ex}} \quad (4.109)$$



Şekil 4.5: Beslemesi kullanıcı hattı olan sıcak su kazanı akış diyagramı.

4.6.2 Kullanıcı hattı ayrı olan sıcak su kazanı

Kazan besleme hattının kullanıcı hattı olmaması durumunda kullanıcı hattı ile kazan hesapları ayrı ayrı yapılacaktır. Her iki hattın basıncı da 10 bar kabul edilecektir.

Kullanıcı hattı, sadece HT hattından besleniyor olacaktır. Yani sadece ceket suyu eşanjörüne girerek HT hattından ısı çekecektir. Kullanıcıdan ceket suyu eşanjörüne giriş sıcaklığı olan T401 ve çıkış sıcaklığı olan T402 değerleri ile hattın debisi veri olarak istenecektir. Sağlanabilecek en yüksek kullanıcı hattı sıcaklığı ceket suyu motor çıkış sıcaklığı ve en yüksek ısı HT hattının tamamı kadar olacaktır. Programda istenilen T402 değeri bu değerin üzerinde olursa program uyarı verecektir.

$$T402_{\max}=T302 \quad (4.110)$$

$$Q_{\text{khattimax}}=Q_{\text{HT}} \quad (4.111)$$

Denklem 4.85 de verildiği üzere $Q_{\text{HT}}=Q_{\text{blok}}+Q_{\text{yağ}}$ dir.

Kazan besleme hattı ayrı bir hat olacaktır. Kazana giren suyun sıcaklığı T501 ve çıkan suyun sıcaklığı T502 ile ifade edilecektir. T501, T502 ve hattın debisi yine programı kullanana sorulacaktır.

Kazan besleme suyuna aktarılan enerji, kazana aktarılan enerji, klepe pozisyonu ve egzoz sıcaklık değerleri aşağıdaki gibi olacaktır;

$$Q_{\text{kazan}}=Q_{\text{kazanbes}}+Q_{\text{kazankayip}} \quad (4.112)$$

$$Q_{\text{kazanbes}}=m_{\text{kazanbes}} \cdot c_{\text{pkazanbes}} \cdot (T502-T501) \quad (4.113)$$

Kazandaki kayıplar, debiler, klepe pozisyonu ve sıcaklık değerleri bölüm 4.6.1'de hesaplandığı gibi hesaplanacaktır;

$$Q_{\text{kazankayip}}=Q_{\text{kazan}} \cdot 0,01 \quad (4.114)$$

$$Q_{\text{kazankayip}}=(Q_{\text{kazanbes}}/0.99) \cdot 0,01 \quad (4.115)$$

$$p_{\text{klepe}}=Q_{\text{kazan}}/Q_{\text{kazanmax}} \quad (4.116)$$

$$m_{\text{exkazan}}=(p_{\text{klepe}}) \cdot m_{\text{ex}} \quad (4.117)$$

$$T7=T5-(Q_{kazan}/(m_{exkazan} \cdot C_{pex})) \quad (4.118)$$

$$m_{bypass}=m_{ex}-m_{exkazan} \quad (4.119)$$

$$T6=T5 \quad (4.120)$$

$$T8=((m_{exkazan} \cdot T7)+(m_{bypass} \cdot T6)) / m_{ex} \quad (4.121)$$

4.6.3 Buhar kazanı

Kazana giren suyun sıcaklığı T501 ve talep edilen buhar sıcaklığı T502 ile ifade edilecektir. T501, T502 ve hattın debisi yine programı kullanana sorulacaktır. Kazan besleme suyu hattı basıncı 10 bar kabulü yapılacaktır (Şekil 4.6). Bu durumda kazan besleme suyunun doymuş su fazındaki entalpisi $h_{kazanbes}=762,51$ kJ/kg olacaktır. Kazandan kazan besleme hattına aktarılan enerji, kazan besleme hattının giriş ve çıkışı arasındaki entalpi farkı ile hattın debisinin çarpımına eşittir. Programda sıcaklık değerine göre çıkan buharın entalpi değeri otomatik olarak gelecektir. Geriye kalan tüm değerler sıcak su kazanındaki gibi bulunur.

$$Q_{kazanbes}=m_{kazanbes} \cdot (h_{buhar} - h_{kazanbes}) \quad (4.122)$$

$$Q_{kazankayıp}=(Q_{kazanbes}/0.99) \cdot 0,01 \quad (4.123)$$

$$Q_{kazan}=Q_{kazanbes}+Q_{kazankayıp} \quad (4.124)$$

$$p_{klepe}=Q_{kazan}/Q_{kazanmax} \quad (4.125)$$

$$m_{exkazan}=(p_{klepe}) \cdot m_{ex} \quad (4.126)$$

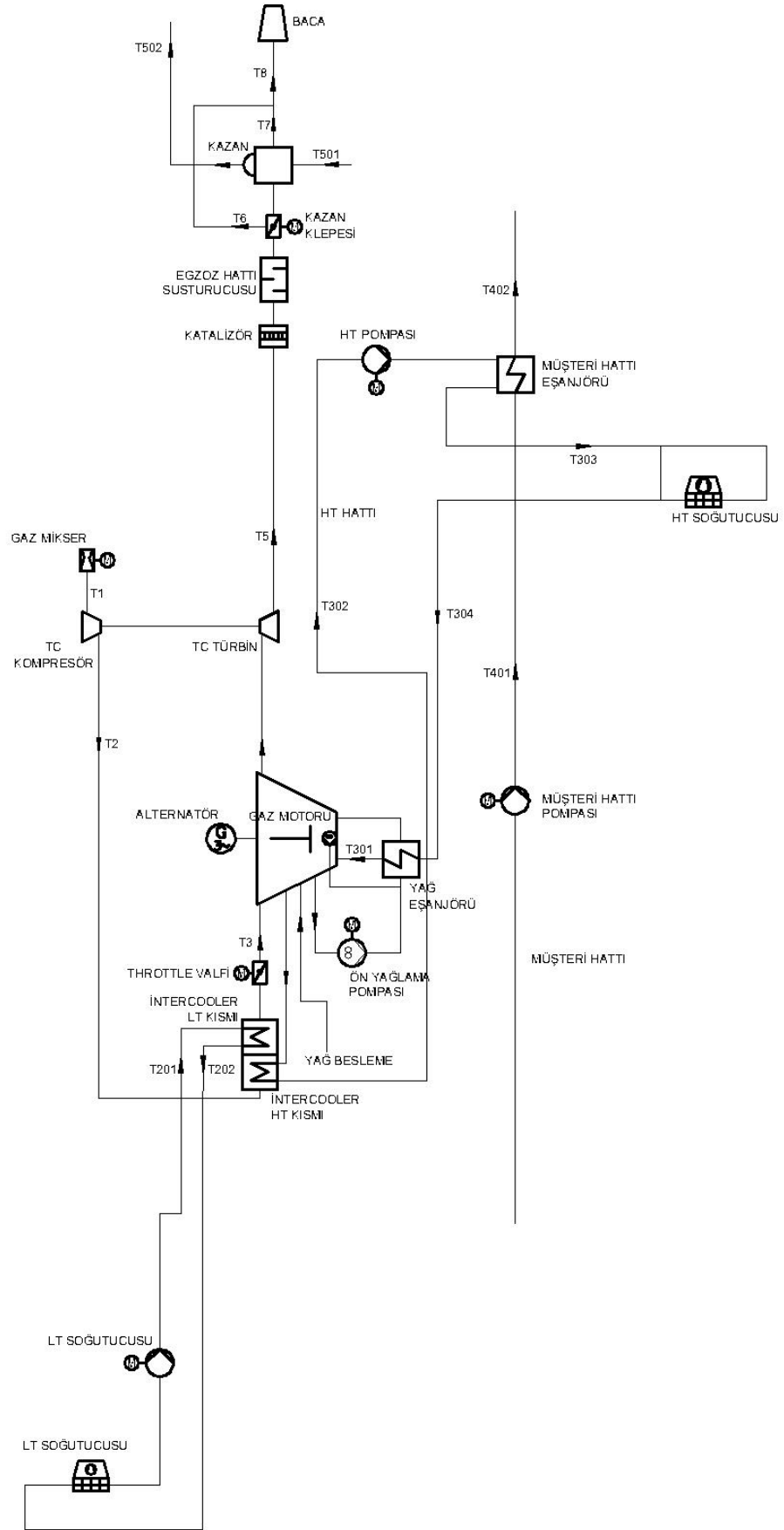
$$T7=T5-(Q_{kazan}/(m_{exkazan} \cdot C_{pex})) \quad (4.127)$$

$$m_{bypass}=m_{ex}-m_{exkazan} \quad (4.128)$$

$$T6=T5 \quad (4.129)$$

$$T8=((m_{exkazan} \cdot T7)+(m_{bypass} \cdot T6))/m_{ex} \quad (4.130)$$

Kullanıcı hattı da yine ayrı bir hat olduğu için bölüm 4.6.2' deki gibi hesaplanacaktır.



Şekil 4.6: Kullanıcı hattı ayrı olan sıcak su kazanı/buhar kazanı akış diyagramı.

4.6.4 Soğutma

Seçilmesi gereken radyatör kapasitesi HT hattının yükü ile eşit olmalıdır. Ancak, atmosfer sıcaklıklarının yükselmesi yada radyatörün soğutma kapasitesinin kirlilik vs gibi işletme problemlerinden dolayı düşmesi muhtemeldir. O sebeple programda radyatörün HT hattı kapasitesinden %20 oranında daha büyük seçilmiş olacaktır.

$$Q_{HT\text{radyator}}=(Q_{HT}).1,2 \quad (4.131)$$

4.6.5 Isıl Verim

Elektriksel verim ifadesine benzer şekilde ısı verim, motordan elde edilen ısı gücünün tüketilen yakıttan elde edilen güce oranıdır. Tüketilen yakıt gücü daha önceki bölümlerde bulunmuştu. Hem kullanıcı hattından hem egzozdan sağlanan kazanç ile elde edilen ısı gücü;

$$Q_{\text{ısı}}=Q_{\text{khattı}}+Q_{\text{kazanbes}} \quad (4.132)$$

Isıl verim ise;

$$\eta_{\text{ısı}}=\frac{Q_{\text{ısı}}}{P_g} \quad (4.133)$$

5. GAZ MOTORLU KOJENERASYON SİSTEMİNİN FARKLI KOŞULLAR İÇİN BİR BOYUTLU SİMÜLASYON SONUÇLARI VE ÖNERİLER

4. bölümde bahsedilen termodinamik hesaplara göre çalışan simülasyon programı kullanıcıdan istenilen girdi değerlerine ve program için yapılan kabullere göre çıktı değerlerini hesaplamaktadır. Program tarafından kullanıcıdan istenilen veriler programa girilir. Program bu verileri termodinamik modelde yerine koyarak ilgili matematiksel işlemleri yapar. Ardından sonuçları hesaplar. Kullanıcı tarafından girilen veya kabul yapılan değerler “Girdiler”, hesaplanan değerler ise “Çıktılar” olarak adlandırılır. İşlemlerin bitiminde karşımıza excel sayfası halinde bir datasheet çıkar. Hesaplanan tüm değerler datasheet içerisine program tarafından otomatik olarak aktarılır. Programda kullanıcıdan istenilen değerler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Program kullanıcıdan istenilen girdi değerleri.

1	Motor tipi
2	Silindir sayısı
3	Motor yükü [%]
4	Lambda değeri
5	Rakım [m]
6	Giriş havası sıcaklığı [°C]
7	Bağıl nem [%]
8	Hava fanı debisi [m ³ /s]
9	LT antifreeze oranı [%]
10	LT hattı int. giriş sıcaklığı [°C]
11	Doğalgazın alt ısı değeri [kJ/kg.K]
12	HT hattı antifreeze oranı [%]
13	Ceket suyu giriş sıcaklığı [°C]
14	Kazan tipi
15	Kullanıcı hattı dönüş sıcaklığı [°C]
16	Kullanıcı hattı talep edilen sıcaklık [°C]
17	Kullanıcı hattı debisi [kg/s]
18	Buhar hattı dönüş sıcaklığı [°C] (Kazan besisi suyu hattı dönüş sıcaklığı)
19	Talep edilen buhar sıcaklığı [°C] (Kazan besisi suyu hattı talep edilen sıcaklık değeri)
20	Kazan besisi suyu debisi [kg/s]

EK B.1'deki örnek datasheette verildiği üzere, programa girilen verilere göre çıktı değerleri elde edilmektedir. Girilen değerlerdeki değişiklikler aynı şekilde çıktılarda kendini gösterecektir. Bu sayede hangi parametrenin ne gibi sonuçları değiştireceği hesaplanabilecek, gaz motorunun seçimi veya fizibilitesi için bir öngörü elde edilebilecektir. Bu bölümde rakım, hava sıcaklığı, gaz motoru tipi ve motor yükü gibi parametrelerdeki değişimlerin motor verimi ile üretilen güç ve tüketilen gaz miktarını nasıl etkilediği incelenecektir. Her değişiklik durumu için bir simülasyon yapılacak ve sonuçları analiz edilecektir.

5.1 Farklı Rakım Koşulları

5.1.1 Farklı rakım koşullarında simülasyon sonuçları

Bir enerji santrali kurulumu için yapılan fizibilite çalışmalarında rakım en öncelikli göz önüne alınması gereken parametrelerdendir. Denklem 4.17'de h ile gösterilen rakım, hava giriş basıncı P_1 'i doğrudan etkilediğinden giren hava miktarını değiştirmekte, bu durum motor güç eldesini, yakıt tüketimini ve dolayısıyla verim değerlerini etkilemektedir.

Rakım değişikliğinin motor veriminde ve güç eldesinde nasıl değişiklikler oluşturduğunu görmek için bu bölümde simülasyonlar yapılmıştır. 0 m, 100 m, 250 m, 500 m, 750 m ve 1000 m de olmak üzere 6 adet simülasyon yapılmış ve buna ait datasheet sonuçları EK C'de verilmiştir. Simülasyondaki girdi değerleri Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.2: 0-100-250-500-750-1000 m rakım değerleri için ortak girdiler.

Motor tipi	TCG 2032
Silindir sayısı	16
Motor yükü [%]	30
Lambda değeri	1.4
Giriş havası sıcaklığı [°C]	25
Bağıl nem [%]	%60
Hava fanı debisi [m ³ /s]	5.1088
LT antifreeze oranı [%]	%35
LT hattı int.giriş sıcaklığı [°C]	40
Doğalgazın alt ısı değeri [kJ/kg.K]	8250
HT hattı antifreeze oranı [%]	%35
Ceket suyu giriş sıcaklığı [°C]	78

Çizelge 5.2(devam): 0-100-250-500-750-1000 m rakım değerleri için ortak girdiler.

Kazan tipi	Buhar
Kullanıcı hattı dönüş sıcaklığı [°C]	18
Kullanıcı hattı talep edilen sıcaklık [°C]	75
Buhar hattı dönüş sıcaklığı [°C]	90
Talep edilen buhar sıcaklığı [°C]	200
Kazan besi suyu debisi [kg/s]	0.8

Kullanıcı hattı debisi sabit bir değer olarak alınamamıştır. Sebebi ise sabit alındığı zaman talep edilen sıcaklık değeri olan 90 °C sağlanamamıştır. 0 m rakım için debi değeri rakım yükseldikçe sağlanamamış ve simülasyon programı çıkış sıcaklığının düşürülmesi gerektiği şeklinde uyarı vermiştir. Ancak simülasyonlarda çıkış sıcaklığı değil debi değişken olarak alınmıştır. Böylece rakım arttırıkça 90 °C olarak elde edilen sıcak su debisi de gittikçe düşmüştür. Simülasyondaki değişken bir girdi olan kullanıcı hattı debisi Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3: 0-100-250-500-750-1000 m rakımda değişken girdi değerleri olarak kullanıcı hattı debileri.

Sistem Koşulları		Rakım Değeri [m]						
		0	100	250	500	750	1000	
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	7	6,9	6,5	5,85	5,2	4,56	$m_{khattı}$

Simülasyon akabinde elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.4: 0-100-250 m rakım için sistem verileri simülasyon sonuçları.

Sistem Verileri		Rakım Değeri			
		0 m	100 m	250 m	
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	9814,883019	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	4300	4250,982583	4178,455005	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	3642,701126	3618,801026	3523,200626	$Q_{ısı}$
Elektriksel verim	%	0,438110163	0,43311597	0,425726419	η_e
Isıl verim	%	0,371140555	0,368705467	0,358965116	$\eta_{ısı}$
Sistem toplam verimi	%	0,809250718	0,801821437	0,784691536	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,825810338	0,813986023	0,796490427	η_{tmax}

Çizelge 5.5: 500-750-1000 m rakım için sistem verileri simülasyon sonuçları.

Sistem Verileri		Rakım Değeri			
		500 m	750 m	1000 m	
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	9814,883019	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	4060,314571	3945,513761	3833,958169	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	3367,849976	3212,499326	3059,538686	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,413689553	0,401992948	0,390626986	η_e
Isıl verim	%	0,343137047	0,327308978	0,311724417	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,7568266	0,729301926	0,702351403	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,767991787	0,740298754	0,713388554	η_{tmax}

Her rakım değeri için yapılan simülasyon sırasında program minimum hava miktarını kullanıcıya sunar. 0 m rakımda $5.1088 \text{ m}^3/\text{s}$ olan minimum hava ihtiyacı, 1000 m rakımda $5.7297 \text{ m}^3/\text{s}$ olacaktır. Yani rakım artışı motor için gerekli olan hava fanı debisinin artmasını gerektirmektedir. Fakat Çizelge 5.2’de belirtildiği üzere simülasyon sırasında hava fanı debisi 0 m ye göre sabit tutulmuştur. Rakım arttıkça arttırılması gereken hava fanı debisinin aynı kalması üretilen motor gücünün düşmesine sebep olacaktır. Güç düşüşü sadece üretilen elektrik üretimini düşürmez. Aynı zamanda bloğa aktarılan ısı miktarı da değişecektir. O sebeple elde edilen ısı güç de düşecektir. Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7’de motordaki güç düşüşü ve ceket suyu hattına aktarılan ısı miktarındaki düşüş gösterilmiştir.

Çizelge 5.6: 0-100-250 m rakım için gaz motoru ve atık ısı verileri simülasyon sonuçları.

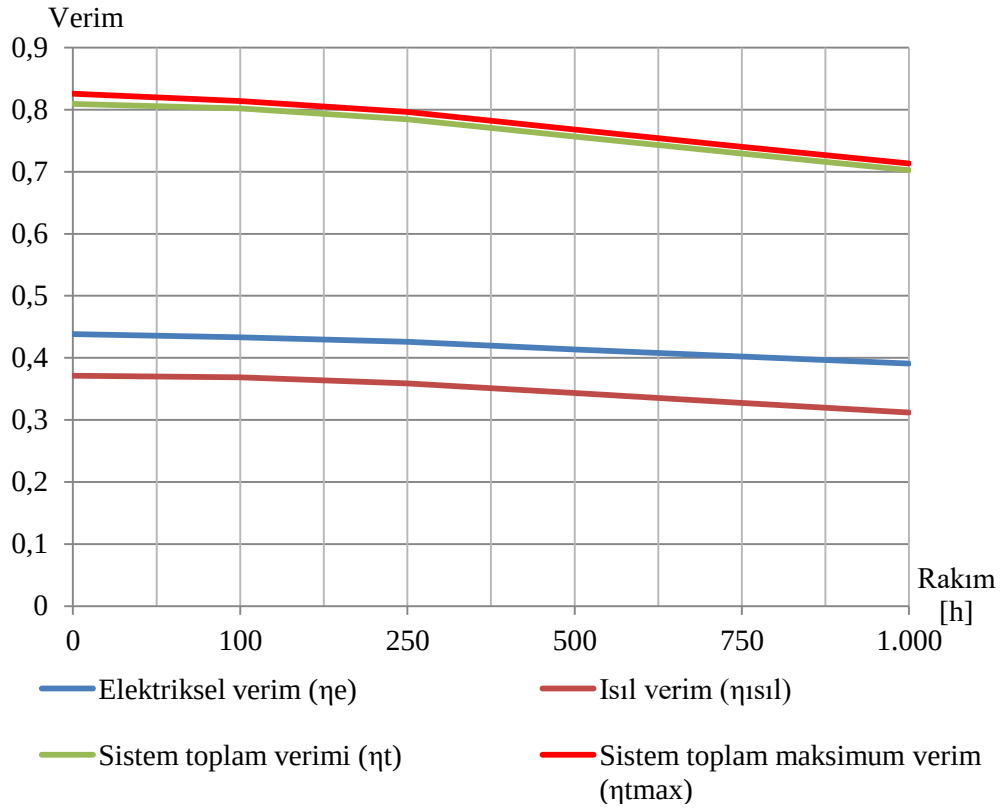
Gaz Motoru ve Atık Isı Verileri		Rakım Değeri [m]			
		0	100	250	
Mekanik güç	kW	5558,235535	5491,198682	5392,00903	P_m
Ceket suyu kapasitesi	kW	1258,235535	1191,198682	1092,00903	Q_{blok}

Çizelge 5.7: 500-750-1000 m rakım için gaz motoru ve atık ısı verileri simülasyon sonuçları.

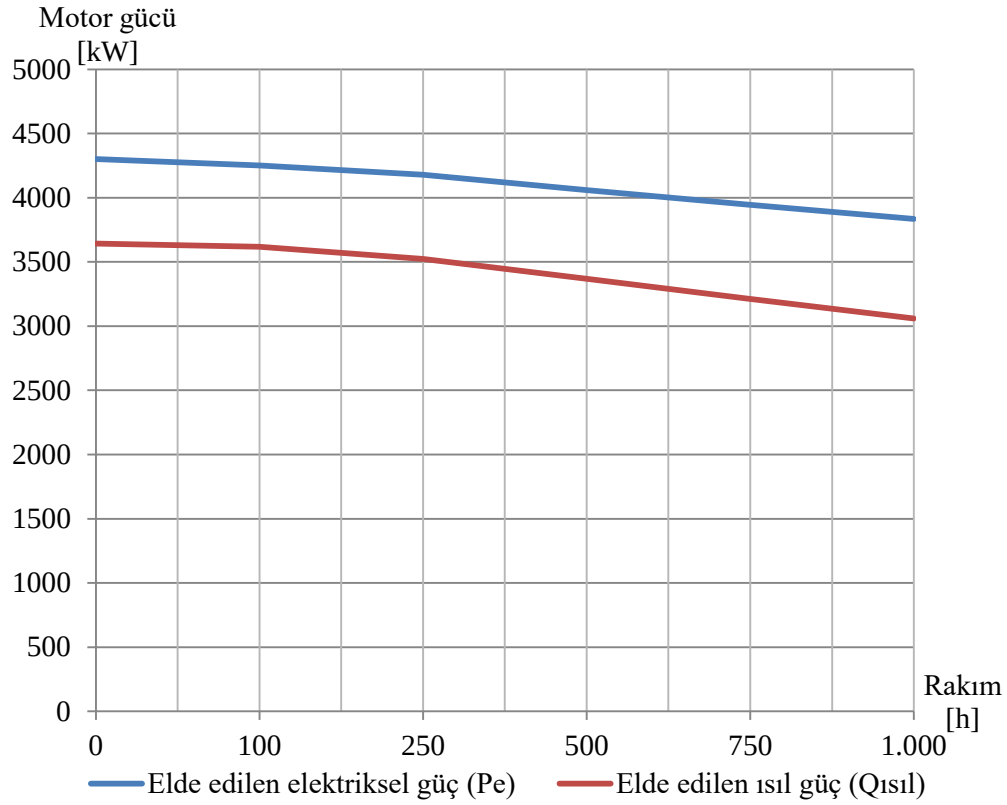
Sistem Verileri		Rakım Değeri [m]			
		500	750	1000	
Mekanik güç	kW	5230,438647	5073,435576	4920,870708	P_m
Ceket suyu kapasitesi	kW	930,4386471	773,4355763	620,8707076	Q_{blok}

Hava miktarının olması gerekenden az olması durumunda otomatik olarak tüketilen gaz miktarı da azalır. Ancak, program girilen motor yüküne erişmek için gaz mikser tarafından hava yakıt oranı değiştirilir ve gaz miktarı arttırılır. Böylece tüketilen yakıt miktarı hava miktarı olması gerekenden az olsa da yani rakım artmış da olsa sabit kalacaktır. Tüketim değerinin sabit kalıp üretilen elektriksel ve ısıl gücün düşmesi elektriksel ve ısıl verimin nihayetinde toplam verimin düşmesine sebep olur.

Şekil 5.1 ve 5.2’de grafiksel olarak sistem verilerinin rakıma göre değişimi görsel hale getirilmiştir.



Şekil 5.1: Farklı rakım koşullarında verim değerleri.



Şekil 5.2: Farklı rakım koşullarında güç değerleri.

5.1.2 Farklı rakım koşulları için öneriler

Bu simülasyonda rakım arttıkça gaz motorunun hava miktarı talebinin m^3/s cinsinden arttığı tespit edilmiştir. Simülasyonda havalandırma fanı debisi aynı tutularak kıyas yapılmış ve verimin düştüğü tespit edilmiştir.

Buna göre rakım artışından dolayı kaynaklanan güç ve verim düşmesini engellemek için hava miktarı arttırılmalıdır. Yani düşük rakımdaki bir gaz motorlu kojenerasyon santralının daha yüksek rakımlı bir yerde çalışabilmesi için daha büyük hava fanı seçilmelidir.

5.2 Farklı Hava Sıcaklığı Koşulları

5.2.1 Farklı hava sıcaklığı koşullarında simülasyon sonuçları

Hava sıcaklığı rakım gibi gaz motorlarının çalışma rejimlerini doğrudan etkileyebilen önemli bir parametredir. Denklem 4.5’de gösterildiği üzere hava sıcaklığı havanın

yoğunluğunu doğrudan etkiler. Hava yoğunluğundaki değişim motorun ihtiyacı olan hava miktarının değişimini getirir.

Bir önceki bölümde olduğu gibi bu bölümde de 6 adet simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlar TCG 2020 V12 model bir motorda 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C, 35 °C hava sıcaklıklarına göre yapılmıştır. Girdi değerleri ise Çizelge 5.8’de belirtilmiştir.

Çizelge 5.8: 10-15-20-25-30-35 °C hava sıcaklık değerleri için ortak girdiler.

Motor tipi	TCG 2020
Silindir sayısı	12
Motor yükü [%]	100
Lambda değeri	1.4
Rakım [m]	200
Bağıl nem [%]	%50
LT antifreeze oranı [%]	%35
LT hattı int.giriş sıcaklığı [°C]	40
Doğalgazın alt ısı değeri [kJ/kg.K]	8250
HT hattı antifreeze oranı [%]	%35
Ceket suyu giriş sıcaklığı [°C]	80
Kazan tipi	Sıcak Su
Kullanıcı hattı dönüş sıcaklığı [°C]	70
Kullanıcı hattı talep edilen sıcaklık [°C]	85
Kullanıcı hattı debisi [kg/s]	15.5

Yapılan simülasyona ait sonuçlar Çizelge 5.9 ve 5.10’da verilmiştir.

Çizelge 5.9: 10-15-20 °C hava sıcaklığı için sistem verileri simülasyon sonuçları.

Sistem Verileri		Hava Sıcaklığı			
		10	15	20	
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2705,21277	2753,008049	2800,803328	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1199,964806	1199,962362	1200	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	976,7325	976,7325	976,7325	$Q_{ısı}$
Elektriksel verim	%	0,443575019	0,435873176	0,428448506	η_e
Isıl verim	%	0,361055704	0,354787375	0,348732983	$\eta_{ısı}$
Sistem toplam verimi	%	0,804630723	0,790660551	0,777181489	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,811215082	0,797129323	0,783559174	η_{tmax}

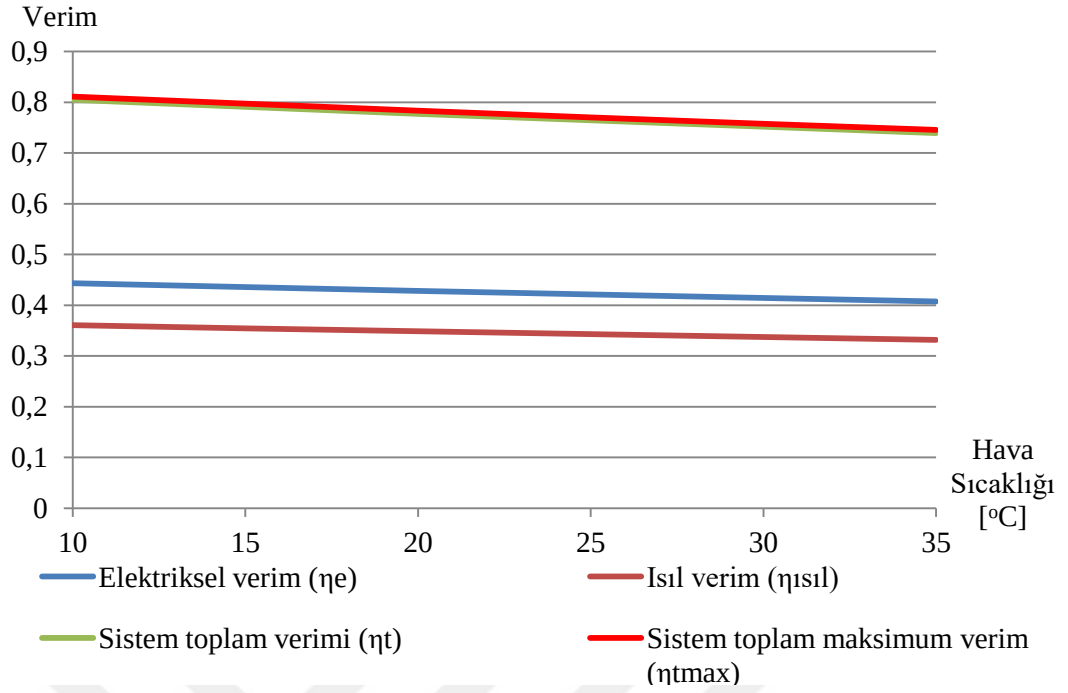
Çizelge 5.10: 25-30-35 °C hava sıcaklığı için sistem verileri simülasyon sonuçları.

Sistem Verileri		Hava Sıcaklığı			
		25	30	35	
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2848,598606	2896,393885	2944,189164	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1200	1199,961799	1199,974183	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	976,7325	976,7325	976,7325	$Q_{ısıl}$
Elektriksel verim	%	0,421259772	0,414295102	0,407573738	η_e
Isıl verim	%	0,342881759	0,337223644	0,331749234	$\eta_{ısıl}$
Sistem toplam verimi	%	0,764141531	0,751518746	0,739322972	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,770412208	0,757667003	0,745377461	η_{tmax}

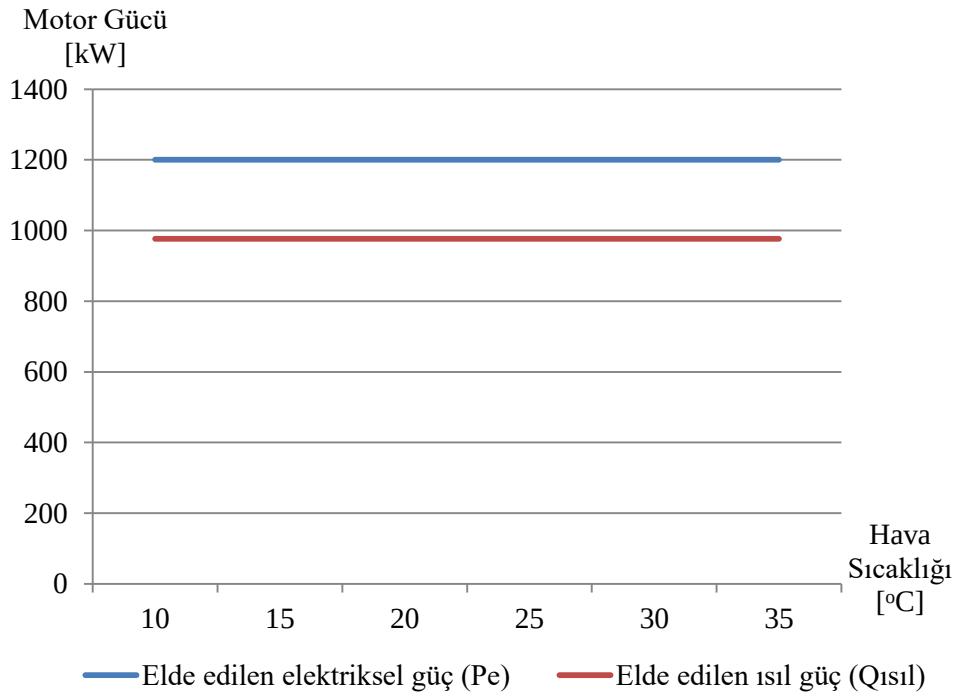
Yapılan simülasyon sonuçları EK D’de görülebilir. Çizelge 5.9 ve 5.10’da verilerin sistem verileri sonuçlarına göre hava sıcaklığının artışı gaz motorunun %100 yüke erişebilmesi için daha fazla gaz tüketmesini gerektirir. Elde edilen elektriksel güç ve ısı güç aynı olsa da sıcaklık artışıyla gelen yakıt tüketiminin artışı tüm verim değerlerini düşürecektir.

10 °C sıcaklıkta 1.4423 m³/s olan hava ihtiyacı 35 °C sıcaklıkta 1.567 m³/s miktarına kadar çıkmaktadır. Hava fanı miktarı her hava sıcaklığı simülasyonunda minimum gerekli olan miktar ne kadar ise o miktarda programa girilmiştir, EK D’de değerler görülmektedir.

Verim ve güç değerlerini grafik halinde gösteren simülasyon sonuçları Şekil 5.3 ve 5.4’te gösterilmiştir.



Şekil 5.3: Farklı hava sıcaklık koşullarında verim değerleri.



Şekil 5.4: Farklı hava sıcaklık koşullarında güç değerleri.

5.2.2 Farklı hava sıcaklığı koşulları için öneriler

Hava sıcaklığının artışının doğurduğu verim düşüşlerini gidermek için ön hava soğutma sistemleri kullanılabilir. Bu türlü soğutma sistemlerinde bir hava eşanjörüne

bir taraftan sıcak hava bir taraftan soğuk bir kaynaktan alına soğuk su giriş yapar. Böylece motora giren sıcak hava eşanjöre giren soğuk su ile soğutulur. Sıcaklığın düşmesiyle hava yoğunluğu yükselir ve verim artışı sağlanmış olunur.

5.3 Farklı Motor Tipi Koşulları

5.3.1 Farklı motor tipi koşullarında simülasyon sonuçları

Kojenerasyon sistemi yatırımlarında motor tipi de sistem yatırımı için önemli bir parametredir. Örnek olarak bir fabrikanın enerji talebini karşılamak için 1 adet büyük kapasitede ve tüm enerji ihtiyacını karşılayacak bir gaz motoru mu yoksa talep edilen gücü 2 adet daha küçük kapasitedeki gaz motoruyla mı karşılamak daha kârlı olur şeklinde bir soru fizibilite çalışmalarında karşılaşılabılır. Burada ilk yatırım maliyetleri dışında kalan işletme maliyetleri, bu soru için belirleyici faktör olacaktır. İşletme maliyetlerin ilk kalemi ise gaz tüketimidir. Bunun için 1 büyük motora karşılık 2 küçük motorun sistem verimliliğini kıyaslamak gerekir.

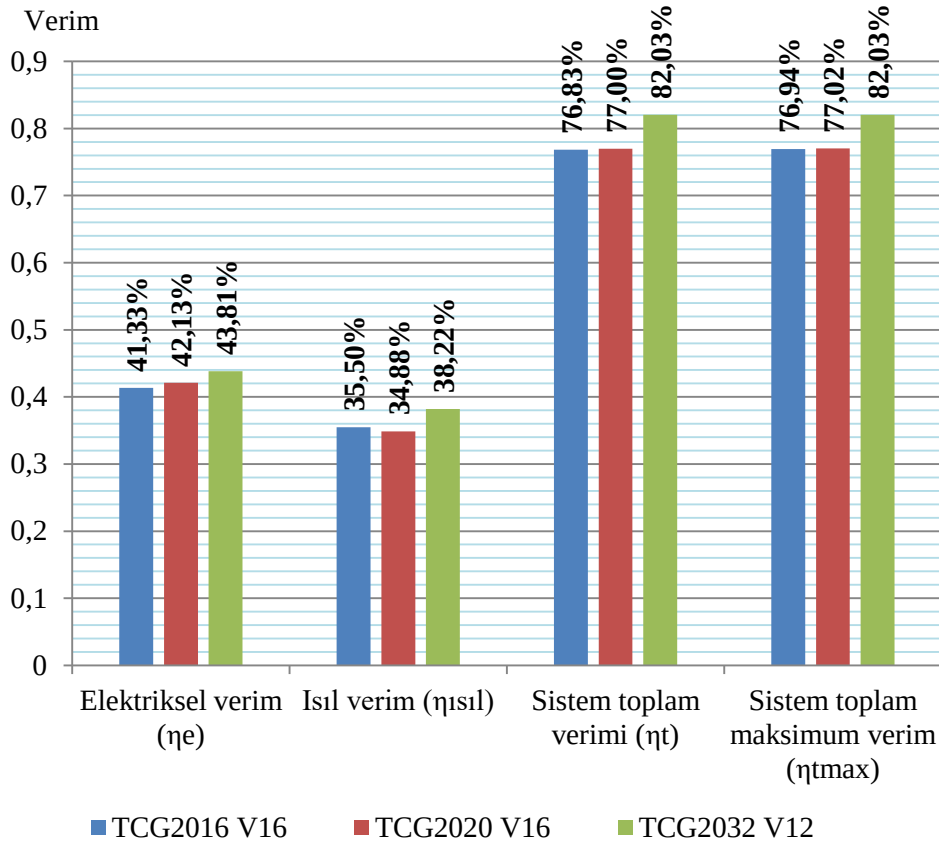
Yukarıda bahsedilen problemden yola çıkılarak, 3200 kW elektrik tüketimine sahip bir fabrika olduğu düşüncesiyle bir simülasyon yapılmıştır. Bu elektrik yükünü 4 adet TCG 2016 V16 veya 2 adet TCG 2020 V16 veya 1adet TCG 2032 V12 tipindeki motorlar karşılayabilir. Hangi motor tipinin verimliliğe nasıl etki edeceği bilinmediğinden programda belirtilen motor tipleri için simülasyon yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Girdi değerleri Çizelge 5.11’de ve sistem verileri Çizelge 5.12’de paylaşılmıştır. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verim ve güç değerleri grafiklere dökülmüştür. Simülasyon sonuçlarını içeren datasheet ise EK E’de verilmiştir.

Çizelge 5.11: TCG 2016-TCG 2020-TCG 2032 motor tipleri için girdiler.

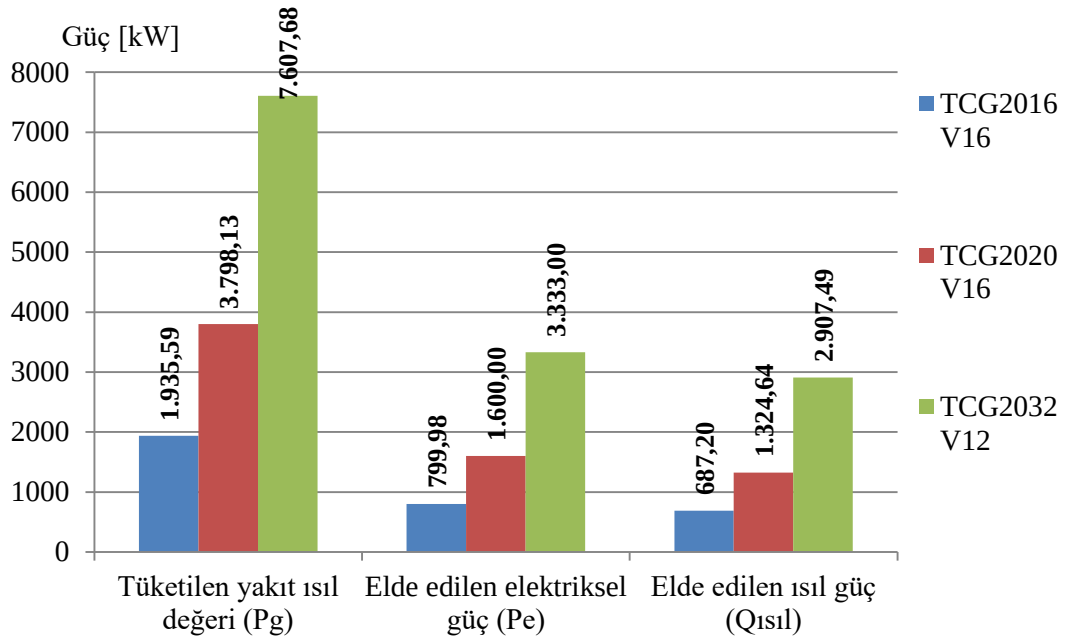
Motor tipi	TCG 2016	TCG 2020	TCG 2032
Silindir sayısı	16	16	12
Motor yükü [%]	100	100	100
Lambda değeri	1.4	1.4	1.4
Rakım [m]	100	100	100
Giriş havası sıcaklığı [°C]	25	25	25
Bağıl nem [%]	%60	%60	%60
Hava fanı debisi [m ³ /s]	1.0191	1.9998	4.0056
LT antifreeze oranı [%]	%35	%35	%35
LT hattı int. giriş sıcaklığı [°C]	40	40	40
Doğalgazın alt ısı değeri [kJ/kg.K]	8250	8250	8250
HT hattı antifreeze oranı [%]	%35	%35	%35
Ceket suyu giriş sıcaklığı [°C]	84	78	78
Kazan tipi	Sıcak Su	Sıcak Su	Sıcak Su
Kullanıcı hattı dönüş sıcaklığı [°C]	70	70	70
Kullanıcı hattı talep edilen sıcaklık [°C]	90	90	89,28
Kullanıcı hattı debisi [kg/s]	3,3	6,9	16
Kazan besisi suyu hattı dönüş sıcaklığı [°C]	70	70	70
Kazan besisi suyu talep edilen sıcaklık değeri [°C]	89,47	89,88	89,33
Kazan besisi suyu debisi [kg/s]	5	8,9	19,2

Çizelge 5.12: TCG 2016-TCG 2020-TCG 2032 motor tipleri için sistem verileri simülasyon sonuçları.

Sistem Verileri		Motor Tipi			
		TCG2016 V16	TCG2020 V16	TCG2032 V12	
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	1935,586233	3798,131475	7607,675605	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	799,9841099	1600	3333	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	687,198997	1324,642346	2907,490318	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,413303265	0,421259772	0,438110163	η_e
Isıl verim	%	0,355034039	0,348761583	0,382178535	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,768337304	0,770021355	0,820288698	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,769437855	0,770157697	0,820288698	η_{tmax}



Şekil 5.5: Farklı motor tiplerinde verim değerleri.



Şekil 5.6: Farklı motor tiplerinde güç değerleri.

5.3.2 Farklı motor tipi koşulları için öneriler

Çizelge 5.12’de verilen sonuçlara göre TCG 2032 motor verimi TCG 2016 ve TCG 2020 motor değerlerinden daha yüksektir. TCG 2020 ve TCG 2016 verim değerleri ise birbirine çok yakındır. Buna göre motor tipi seçiminde işletme maliyetleri kaleminin bir kısmı olan yakıt tüketimi konusunda TCG 2032 modelinin daha avantajlı olduğu sonucu elde edilmiştir. Şekil 5.5 ve Şekil 5.6’da verilen sütun grafiklerde bu durum daha net bir şekilde görülebilir.

5.4 Farklı Motor Yüğü Koşulları

5.4.1 Farklı motor yüğü koşullarında simülasyon sonuçları

Gaz motorları en yüksek yükte en verimli çalışacak şekilde dizayn edilirler. Fakat motorların tam yükten farklı motor yüklerinde çalışması durumu zaman zaman ortaya çıkabilecek bir durumdur. Enerji talebinin düşmesi, gaz motorundaki bir arıza yada bazı girdi değerlerindeki değişiklikler buna sebep olabilir.

Tam yükün altında çalışma durumu gaz motorunda verim düşüşünü beraberinde getirecektir. Bunun sebebi motor yükünün düşmesine bağlı olarak düşen turbocharger devridir. Düşük yüklerde turbochargerın düşük devirli olması yeterli aşırı dolgunun sağlanamamasına sebep olur. Bu durumda gaz tüketimi lineer olarak değil azalarak azalma şeklinde düşer. Örnek olarak; %50 yükteki yakıt tüketimi %100 yükteki yakıt tüketim değerinin yarısından daha fazla olacaktır.

Bu bölümde motor yükünün çıktı değerlerine olan etkisini gösteren bir simülasyon yapılmıştır. Simülasyondaki girdi değerleri Çizelge 5.13’de ve simülasyon sonrasındaki sistem verileri sonuçları ise Çizelge 5.14’de verilmiştir. Simülasyona ait tüm sonuçları içeren datasheetler ise EK F’de verilmiştir.

Çizelge 5.13: %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için girdiler.

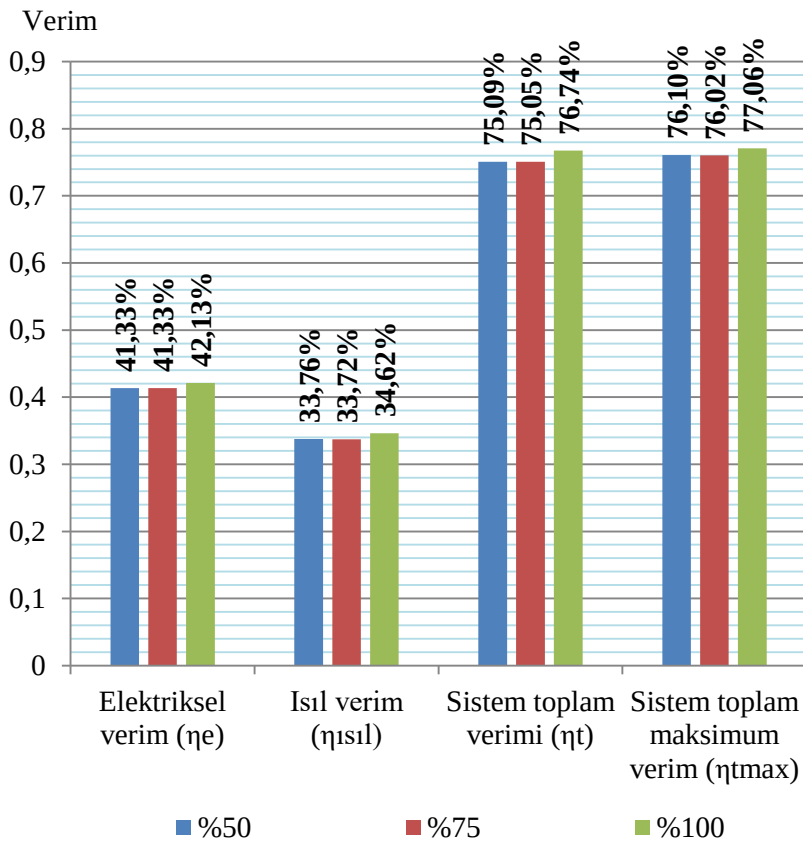
Motor tipi	TCG 2020	TCG 2020	TCG 2020
Silindir sayısı	20	20	20
Motor yükü [%]	50	75	100
Lambda değeri	1.4	1.4	1.4
Rakım [m]	500	500	500
Giriş havası sıcaklığı [°C]	25	25	25
Bağıl nem [%]	55	55	55
Hava fanı debisi [m ³ /s]	1.3337	2.0005	2.6171
LT antifreeze oranı [%]	35	35	35
LT hattı int.giriş sıcaklığı [°C]	40	40	40
Doğalgazın alt ısı 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 besisi suyu hattı dönüş sıcaklığı [°C]	90	90	90
Kazan besisi suyu talep edilen sıcaklık değeri [°C]	285	285	285
Kazan besisi suyu debisi [kg/s]	0.17	0.26	0.35

Çizelge 5.14: %50-%75-%100 motor yüklerinde TCG 2020 V20 motor için sistem verileri simülasyon sonuçları.

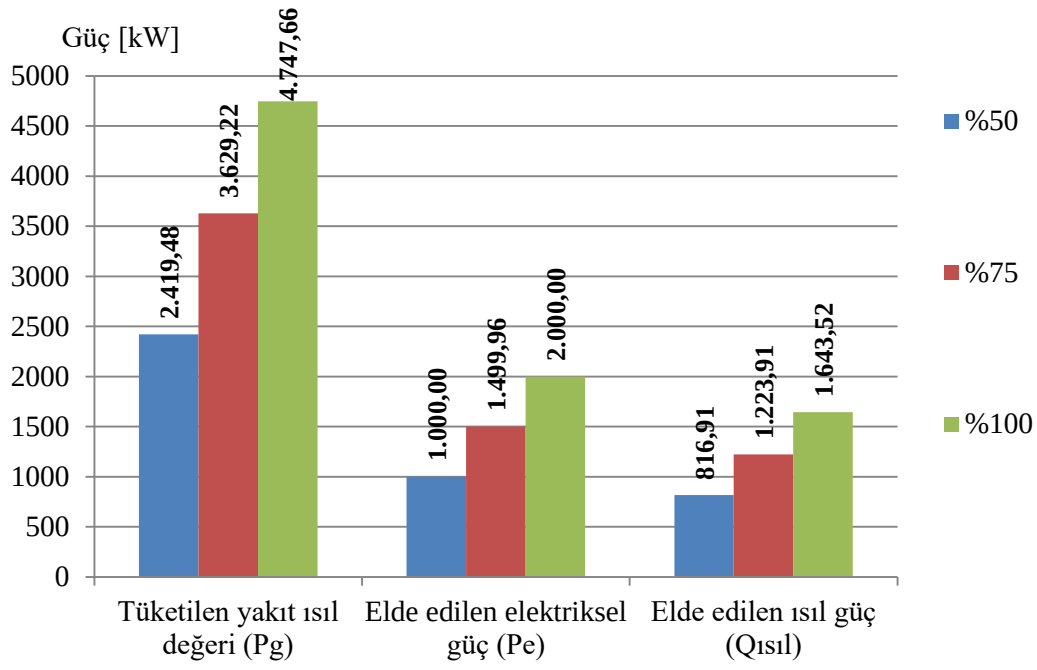
Sistem Verileri		Motor Yükü			
		%50	%75	%100	
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2419,482791	3629,224186	4747,664344	P _g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1000	1499,963416	2000	P _e
Elde edilen ısı güç	kW	816,9095018	1223,907591	1643,52368	Q _{ısıl}
Elektriksel verim	%	0,413311475	0,413301394	0,421259772	η _e
Isıl verim	%	0,337638071	0,337236701	0,346175206	η _{ısıl}
Sistem toplam verimi	%	0,750949545	0,750538095	0,767434978	η _t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,760971522	0,760162373	0,770615817	η _{tmax}

5.4.2 Farklı motor yükü koşulları için öneriler

%50, %75 ve %100 yükte yapılan 3 simülasyon akabinde elde edilen sonuçlara göre motor yükünün düşüşü hem elektriksel hem de ısı verimin düşmesine sebep olacaktır. Böylece yük düşüşü sistem toplam veriminin düşmesi olarak karşımıza çıkmış olacaktır. O sebeple fizibilite çalışmaları sırasında gaz motorunun tam yük yada tam yüke yakın yüklerde çalışacak olmasına göre hesaplar yapılmalıdır. Eğer yük durumu tam yükün çok altında kalıyor ise başka bir model motora bakılmalıdır. Örnek olarak; 2000 kW gücündeki TCG 2020 V20 motoru 1300 kW tüketim kapasitesi olan bir yerde tercih edilmemelidir. Bunun yerine TCG 2020 V16 tercih edilebilir. Sistem verilerinin görsel hali Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir.



Şekil 5.7: Farklı motor yüklerinde verim değerleri.



Şekil 5.8: Farklı motor yüklerinde güç değerleri.

KAYNAKLAR

- [1]Adıyaman, Ç. (2012). *Türkiye'nin yenilenebilir enerji politikaları*. (Yüksek lisans tezi). Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde.
- [2]BP. (2017). *Statistical Review of World Energy*. (66th Edition). Londra: Pureprint Group Limited.
- [3]Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (t.y.) Türkiye Kurulu Gücü ve Brüt Üretimine Göre Elektrik Özellikleri (1970-2016). Retrieved 03.05.2018 from <https://www.teias.gov.tr/tr/ii-turkiye-kurulu-gucunun-kullanım-değerleri>.
- [4]Ertas, N. (2017). *Elektrik üretiminde gaz türbin teknolojilerinin NOx emisyonlarına etkilerinin incelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5]Url-1 < <http://turkoted.org/tr/kojenerasyon-nedir-15>>, erişim tarihi 25.03.2018.
- [6]Aklilu, B.T. & Gilani, S.I. (2010). Mathematical modeling and simulation of a cogeneration plant. *Applied Thermal Engineering* 30 (2010) 2545e2554.
- [7]Badami, M., Mauro, F., & Portoraro, A. (2012). Simulation model and experimental validation of a CHP plant with micro gas turbine. *ASME 2012 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. IMECE2012-89423*. Houston, Texas, USA. November:9-15.
- [8]Cho, H., Luck, R., & Chamra, L.M. (2009). Power generation and heat recovery model of reciprocating internal combustion engines for CHP applications. *ASME 2009 International Mechanical Engineering Congress & Exposition. IMECE2009-11634*. Lake Buena Vista, Florida, ABD. November:13-19.
- [9]Gezer, İ. (2014). *Bir gazbeton fabrikasında doğalgaz motorlu kojenerasyon sistemi yatırımı için fizibilite çalışması*. (Yüksek Lisans Tezi). Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [10]Yener, H.V. (2009). *Birleşik çevrimli kojenerasyon tesisinin performansına hava şartlarının, yük faktörünün ve ara soğutmanın etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- [11]Heywood, J.B. (1988). *Internal combustion engine fundamentals*. Dallas, Teksas, ABD. McGraw-Hill, Inc.
- [12]Kıncay, O. & Yumurtacı, Z. (2006). Bir üniversite kampüsü için uygun enerji sisteminin seçimi. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*. Sayı:95, s.5-12.
- [13]Url-2 <<https://www.cogeneurope.eu/knowledge-centre/what-is-cogeneration>> , erişim tarihi 25.03.2018.

- [14]**Dinçer, İ. & Rosen, M.A.** (2015). Cogeneration, Multigeneration, and Integrated Energy Systems. *Exergy analysis of heating, refrigerating, and air conditioning*. (Vol. 5, pp.169-219). Retrieved from <https://0www.sciencedirect.com/divit.library.itu.edu.tr/science/article/pii/B9780124172036000053>
- [15]**Erdönmez, M.U.** (2014). *Boya fabrikası kojenerasyon tesisinde enerji analizi*. (Yüksek Lisans Tezi). Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16]**Arat, B.** (2006). *Organize sanayi bölgelerinde kojenerasyon santralinin yer optimizasyonu*. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17]**Url-3** <<https://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/about-mwm/mwm-history/>>, erişim tarihi 01.04.2018.
- [18]**Url-4** < <https://www.mwm.net/mwm-chp-gas-engines-gensets-cogeneration/downloads/>>, erişim tarihi 01.04.2018.
- [19]**Türk Standardı** (1983). *Kazanlar anma ısı gücü ve verim deneyleri esasları (TS 4041)*

EKLER

EK A: Termodinamik tabloları

EK B: Örnek datasheet

EK C: Farklı rakım koşulları için simülasyon sonrası datasheetler

EK D: Farklı sıcaklık koşulları için simülasyon sonrası datasheetler

EK E: Farklı motor tipleri için simülasyon sonrası datasheetler

EK F: Farklı motor yükü koşulları için simülasyon sonrası datasheetler

EK G: Simülasyon programı CD'si.



EK A**Çizelge A.1:** Suyun doyma basıncı.

Sıcaklık [°C]	Basınc [kPa]
0,01	0,6117
2	0,7060
4	0,8136
10	1,2282
14	1,5990
18	2,0647
20	2,3393
25	3,1699
30	4,2470
34	5,3251
40	7,3849
44	9,1124
50	12,3520
54	15,0220
60	19,9460
70	31,2010
80	47,4140
90	70,1820
96	87,7710
100	101,4200
110	143,3800
120	198,6700
130	270,2800
140	361,5400
150	476,1600
160	618,2300
180	1.002,8000
200	1.554,9000
220	2.319,6000
240	3.346,9000
260	4.692,3000
280	6.416,6000
300	8.587,9000
320	11.284,0000
340	14.601,0000
360	18.666,0000
370	21.044,0000

Çizelge A.2: Havanın adyabatik üs katsayısı.

Sıcaklık [K]	k
250	1,4010
300	1,4000
350	1,3980
400	1,3950
450	1,3910
500	1,3870
550	1,3810
600	1,3760
650	1,3700
700	1,3640
750	1,3590
800	1,3540
900	1,3440
1000	1,3360
1100	1,3310
1200	1,3240
1300	1,3180
1400	1,3130
1500	1,3090

Çizelge A.3: Suyun yoğunluğu.

Sıcaklık [°C]	Özgül Hacim [m ³ /kg]	Yoğunluk [kg/m ³]
0,01	0,001000	1.000,0000
5	0,001000	1.000,0000
10	0,001000	1.000,0000
15	0,001001	999,0010
20	0,001002	998,0040
25	0,001003	997,0090
30	0,001004	996,0159
35	0,001006	994,0358
40	0,001008	992,0635
45	0,001010	990,0990
50	0,001012	988,1423
55	0,001015	985,2217
60	0,001017	983,2842
65	0,001020	980,3922
70	0,001023	977,5171
75	0,001026	974,6589
80	0,001029	971,8173

Çizelge A.3 (devam): Suyun yoğunluğu.

Sıcaklık [°C]	Özgül Hacim [m ³ /kg]	Yoğunluk [kg/m ³]
85	0,001032	968,9922
90	0,001036	965,2510
95	0,001040	961,5385
100	0,001043	958,7728
105	0,001047	955,1098

Çizelge A.4: Antifirizin yoğunluğu.

Sıcaklık [°C]	Yoğunluk [kg/m ³]
10	1.120,2800
20	1.113,2300
25	1.109,5000
30	1.105,4600
35	1.102,5000
40	1.098,3500
100	1054,49

Çizelge A.5: Suyun özgül ısısı.

Sıcaklık [°C]	Antifiriz Özgül Isısı [kcal/kg°C]
0,01	1,0072
5	1,0043
10	1,0017
15	0,9998
20	0,9989
25	0,9984
30	0,9979
35	0,9979
40	0,9981
45	0,9984
50	0,9986
55	0,9991
60	0,9996
65	1,0000
70	1,0008
75	1,0015
80	1,0024
85	1,0034
90	1,0046
95	1,0060
100	1,0072
110	1,0101

Çizelge A.5 (devam): Suyun özgül ısısı.

Sıcaklık [°C]	Antifiriz Özgöl Isısı [kcal/kg°C]
120	1,0137
130	1,0182
140	1,0237
150	1,0297
160	1,0366
170	1,0438
180	1,0533
190	1,0653
200	1,0748

Çizelge A.6: Antifizin özgül ısısı.

Sıcaklık [°C]	Antifiriz Özgöl Isısı [kcal/kg°C]
-17,8	0,5400
4,4	0,5620
26,7	0,5900
48,9	0,6120
71,1	0,6400
93,3	0,6600
115,6	0,6890
137,8	0,7100

Çizelge A.7: Yanma denklemindeki gazların h_{ol}° ve h° entalpileri.

	h_{ol}° [kJ/kmol]	h° [kJ/kmol]
CO	-110.530	-8.669
CO₂	-393.520	-9.364
H₂O	-241.820	-9.904
O₂	0	-8.682
NO	91.272	-9.179
NO₂	34.181	-10.208
N₂	0	-8.669

Çizelge A.8: Yanma denklemindeki gazların sıcaklıklara göre molar entalpileri.

Not: Sarı dolgulu değerler interpolasyon ile bulunmuştur.

SICAKLIK [K]	$\bar{h}_{\text{CO}}$	$\bar{h}_{\text{CO}_2}$	$\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\bar{h}_{\text{O}_2}$	$\bar{h}_{\text{NO}}$	$\bar{h}_{\text{NO}_2}$	$\bar{h}_{\text{N}_2}$
0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
220	6.391,0	6.601,0	7.295,0	6.404,0	6.776,4	7.536,1	6.391,0
230	6.683,0	6.938,0	7.628,0	6.694,0	7.084,5	7.878,7	6.683,0
240	6.975,0	7.280,0	7.961,0	6.984,0	7.392,5	8.221,2	6.975,0
250	7.266,0	7.627,0	8.294,0	7.275,0	7.700,5	8.563,8	7.266,0
260	7.558,0	7.979,0	8.627,0	7.566,0	8.008,5	8.906,3	7.558,0
270	7.849,0	8.335,0	8.961,0	7.858,0	8.316,5	9.248,9	7.849,0
280	8.140,0	8.697,0	9.296,0	8.150,0	8.624,6	9.591,4	8.141,0
290	8.432,0	9.063,0	9.631,0	8.443,0	8.932,6	9.934,0	8.432,0
298	8.669,0	9.364,0	9.904,0	8.682,0	9.179,0	10.208,0	8.669,0
300	8.723,0	9.431,0	9.966,0	8.736,0	9.234,0	10.277,0	8.723,0
310	9.014,0	9.807,0	10.302,0	9.030,0	9.534,3	10.681,9	9.014,0
320	9.306,0	10.186,0	10.639,0	9.325,0	9.834,6	11.086,8	9.306,0
330	9.597,0	10.570,0	10.976,0	9.620,0	10.134,9	11.491,7	9.597,0
340	9.889,0	10.959,0	11.314,0	9.916,0	10.435,2	11.896,6	9.888,0
350	10.181,0	11.351,0	11.652,0	10.213,0	10.735,5	12.301,5	10.180,0
360	10.473,0	11.748,0	11.992,0	10.511,0	11.035,8	12.706,4	10.471,0
370	10.765,0	12.148,0	12.331,0	10.809,0	11.336,1	13.111,3	10.763,0
380	11.058,0	12.552,0	12.672,0	11.109,0	11.636,4	13.516,2	11.055,0
390	11.351,0	12.960,0	13.014,0	11.409,0	11.936,7	13.921,1	11.347,0
400	11.644,0	13.372,0	13.356,0	11.711,0	12.237,0	14.326,0	11.640,0
410	11.938,0	13.787,0	13.699,0	12.012,0	12.537,3	14.730,9	11.932,0
420	12.232,0	14.206,0	14.043,0	12.314,0	12.837,6	15.135,8	12.225,0
430	12.526,0	14.628,0	14.388,0	12.618,0	13.137,9	15.540,7	12.518,0
440	12.821,0	15.054,0	14.734,0	12.923,0	13.438,2	15.945,6	12.811,0
450	13.116,0	15.483,0	15.080,0	13.228,0	13.738,5	16.350,5	13.105,0
460	13.412,0	15.916,0	15.428,0	13.525,0	14.038,8	16.755,4	13.399,0
470	13.708,0	16.351,0	15.777,0	13.842,0	14.339,1	17.160,3	13.693,0
480	14.005,0	16.791,0	16.126,0	14.151,0	14.639,4	17.565,2	13.988,0
490	14.302,0	17.232,0	16.477,0	14.460,0	14.939,7	17.970,1	14.285,0
500	14.600,0	17.678,0	16.828,0	14.770,0	15.240,0	18.375,0	14.581,0
510	14.898,0	18.126,0	17.181,0	15.082,0	15.552,5	18.837,9	14.876,0
520	15.197,0	18.576,0	17.534,0	15.395,0	15.865,0	19.300,8	15.172,0
530	15.497,0	19.029,0	17.889,0	15.708,0	16.177,5	19.763,7	15.469,0
540	15.797,0	19.485,0	18.245,0	16.022,0	16.490,0	20.226,6	15.766,0
550	16.097,0	19.945,0	18.601,0	16.338,0	16.802,5	20.689,5	16.064,0
560	16.399,0	20.407,0	18.959,0	16.654,0	17.115,0	21.152,4	16.363,0
570	16.701,0	20.870,0	19.318,0	16.971,0	17.427,5	21.615,3	16.662,0
580	17.003,0	21.337,0	19.678,0	17.290,0	17.740,0	22.078,2	16.962,0
590	17.307,0	21.807,0	20.039,0	17.609,0	18.052,5	22.541,1	17.262,0
600	17.611,0	22.280,0	20.402,0	17.929,0	18.365,0	23.004,0	17.563,0

Çizelge A.8 (devam): Yanma denklemindeki gazların sıcaklıklara göre molar entalpileri.

Not: Sarı dolgulu değerler interpolasyon ile bulunmuştur.

SICAKLIK [K]	$\bar{h}_{\text{CO}}$	$\bar{h}_{\text{CO}_2}$	$\bar{h}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\bar{h}_{\text{O}_2}$	$\bar{h}_{\text{NO}}$	$\bar{h}_{\text{NO}_2}$	$\bar{h}_{\text{N}_2}$
610	17.915,0	22.754,0	20.765,0	18.250,0	18.677,5	23.466,9	17.864,0
620	18.221,0	23.231,0	21.130,0	18.572,0	18.990,0	23.929,8	18.166,0
630	18.527,0	23.709,0	21.495,0	18.895,0	19.302,5	24.392,7	18.468,0
640	18.833,0	24.190,0	21.862,0	19.219,0	19.615,0	24.855,6	18.772,0
650	19.141,0	24.674,0	22.230,0	19.544,0	19.927,5	25.318,5	19.075,0
660	19.449,0	25.160,0	22.600,0	19.870,0	20.240,0	25.781,4	19.380,0
670	19.758,0	25.648,0	22.970,0	20.197,0	20.552,5	26.244,3	19.685,0
680	20.068,0	26.138,0	23.342,0	20.524,0	20.865,0	26.707,2	19.991,0
690	20.378,0	26.631,0	23.714,0	20.854,0	21.177,5	27.170,1	20.297,0
700	20.690,0	27.125,0	24.088,0	21.184,0	21.490,0	27.633,0	20.604,0
710	21.002,0	27.622,0	24.464,0	21.514,0	21.817,6	28.136,4	20.912,0
720	21.315,0	28.121,0	24.840,0	21.845,0	22.145,1	28.639,7	21.220,0
730	21.628,0	28.622,0	25.218,0	22.177,0	22.472,7	29.143,1	21.529,0
740	21.943,0	29.124,0	25.597,0	22.510,0	22.800,2	29.646,4	21.839,0
750	22.258,0	29.629,0	25.977,0	22.844,0	23.127,8	30.149,8	22.149,0
760	22.573,0	30.135,0	26.358,0	23.178,0	23.455,3	30.653,1	22.460,0
770	22.890,0	30.644,0	26.741,0	23.513,0	23.782,9	31.156,5	22.772,0
780	23.208,0	31.154,0	27.125,0	23.850,0	24.110,4	31.659,8	23.085,0
790	23.526,0	31.665,0	27.510,0	24.186,0	24.438,0	32.163,2	23.398,0
800	23.844,0	32.179,0	27.896,0	24.523,0	24.765,5	32.666,5	23.714,0
810	24.164,0	32.694,0	28.284,0	24.861,0	25.093,1	33.169,9	24.027,0
820	24.483,0	33.212,0	28.672,0	25.199,0	25.420,6	33.673,2	24.342,0
830	24.803,0	33.730,0	29.062,0	25.537,0	25.748,2	34.176,6	24.658,0
840	25.124,0	34.251,0	29.454,0	25.877,0	26.075,7	34.679,9	24.974,0
850	25.446,0	34.773,0	29.846,0	26.218,0	26.403,3	35.183,3	25.292,0
860	25.768,0	35.296,0	30.240,0	26.559,0	26.730,8	35.686,6	25.610,0
870	26.091,0	35.821,0	30.635,0	26.899,0	27.058,4	36.190,0	25.928,0
880	26.415,0	36.347,0	31.032,0	27.242,0	27.385,9	36.693,3	26.248,0
890	26.740,0	36.876,0	31.429,0	27.584,0	27.713,5	37.196,7	26.568,0
900	27.066,0	37.405,0	31.828,0	27.928,0	28.041,0	37.700,0	26.890,0
910	27.392,0	37.935,0	32.228,0	28.272,0	28.380,8	38.229,5	27.210,0
920	27.719,0	38.467,0	32.629,0	28.616,0	28.720,5	38.758,9	27.532,0
930	28.046,0	39.000,0	33.032,0	28.960,0	29.060,3	39.288,4	27.854,0
940	28.375,0	39.535,0	33.436,0	29.306,0	29.400,0	39.817,8	28.178,0
950	28.703,0	40.070,0	33.841,0	29.652,0	29.739,8	40.347,3	28.501,0
960	29.033,0	40.607,0	34.247,0	29.999,0	30.079,5	40.876,7	28.826,0
970	29.362,0	41.145,0	34.653,0	30.345,0	30.419,3	41.406,2	29.151,0
980	29.693,0	41.685,0	35.061,0	30.692,0	30.759,0	41.935,6	29.476,0
990	30.024,0	42.226,0	35.472,0	31.041,0	31.098,8	42.465,1	29.803,0

Çizelge A.8 (devam): Yanma denklemindeki gazların sıcaklıklara göre molar entalpileri.

Not: Sarı dolgulu değerler interpolasyon ile bulunmuştur.

SICAKLIK [K]	$\bar{h}_{CO}$	$\bar{h}_{CO_2}$	$\bar{h}_{H_2O}$	$\bar{h}_{O_2}$	$\bar{h}_{NO}$	$\bar{h}_{NO_2}$	$\bar{h}_{N_2}$
1000	30.355,0	42.769,0	35.882,0	31.389,0	31.438,5	42.994,5	30.129,0
1020	31.020,0	43.859,0	36.709,0	32.088,0	32.118,0	44.053,4	30.784,0
1040	31.688,0	44.953,0	37.542,0	32.789,0	32.797,5	45.112,3	31.442,0
1060	32.357,0	46.051,0	38.380,0	33.490,0	33.477,0	46.171,2	32.101,0
1080	33.029,0	47.153,0	39.223,0	34.194,0	34.156,5	47.230,1	32.762,0
1100	33.702,0	48.258,0	40.071,0	34.899,0	34.836,0	48.289,0	33.426,0
1120	34.377,0	49.369,0	40.923,0	35.606,0	35.533,5	49.382,6	34.092,0
1140	35.054,0	50.484,0	41.780,0	36.314,0	36.231,0	50.476,2	34.760,0
1160	35.733,0	51.602,0	42.642,0	37.023,0	36.928,5	51.569,8	35.430,0
1180	36.406,0	52.724,0	43.509,0	37.734,0	37.626,0	52.663,4	36.104,0
1200	37.095,0	53.848,0	44.380,0	38.447,0	38.323,5	53.757,0	36.777,0
1220	37.780,0	54.977,0	45.256,0	39.162,0	39.021,0	54.850,6	37.452,0
1240	38.466,0	56.108,0	46.137,0	39.877,0	39.718,5	55.944,2	38.129,0
1260	39.154,0	57.244,0	47.022,0	40.594,0	40.416,0	57.037,8	38.807,0
1280	39.844,0	58.381,0	47.912,0	41.312,0	41.113,5	58.131,4	39.488,0
1300	40.534,0	59.522,0	48.807,0	42.033,0	41.811,0	59.225,0	40.170,0
1320	41.226,0	60.666,0	49.707,0	42.753,0	42.521,6	60.342,9	40.853,0
1340	41.919,0	61.813,0	50.612,0	43.475,0	43.232,2	61.460,8	41.539,0
1360	42.613,0	62.963,0	51.521,0	44.198,0	43.942,8	62.578,7	42.227,0
1380	43.309,0	64.116,0	52.434,0	44.923,0	44.653,4	63.696,6	42.915,0
1400	44.007,0	65.271,0	53.351,0	45.648,0	45.364,0	64.814,5	43.605,0
1420	44.707,0	66.427,0	54.273,0	46.374,0	46.074,6	65.932,4	44.295,0
1440	45.408,0	67.586,0	55.198,0	47.102,0	46.785,2	67.050,3	44.988,0
1460	46.110,0	68.748,0	56.128,0	47.831,0	47.495,8	68.168,2	45.682,0
1480	46.813,0	66.911,0	57.062,0	48.561,0	48.206,4	69.286,1	46.377,0
1500	47.517,0	71.078,0	57.999,0	49.292,0	48.917,0	70.404,0	47.073,0
1520	48.222,0	72.246,0	58.942,0	50.024,0	49.637,2	71.539,8	47.771,0
1540	48.928,0	73.417,0	59.888,0	50.756,0	50.357,4	72.675,6	48.470,0
1560	49.635,0	74.590,0	60.838,0	51.490,0	51.077,6	73.811,4	49.168,0
1580	50.344,0	76.767,0	61.792,0	52.224,0	51.797,8	74.947,2	49.869,0
1600	51.053,0	76.944,0	62.748,0	52.961,0	52.518,0	76.083,0	50.571,0
1620	51.763,0	78.123,0	63.709,0	53.696,0	53.238,2	77.218,8	51.275,0
1640	52.472,0	79.303,0	64.675,0	54.434,0	53.958,4	78.354,6	51.980,0
1660	53.184,0	80.486,0	65.643,0	55.172,0	54.678,6	79.490,4	52.686,0
1680	53.895,0	81.670,0	66.614,0	55.912,0	55.398,8	80.626,2	53.393,0
1700	54.609,0	82.856,0	67.589,0	56.652,0	56.119,0	81.762,0	54.099,0
1720	55.323,0	84.043,0	68.567,0	57.394,0	56.846,6	82.912,2	54.807,0
1740	56.039,0	85.231,0	69.550,0	58.136,0	57.574,2	84.062,4	55.516,0
1760	56.756,0	86.420,0	70.535,0	58.880,0	58.301,8	85.212,6	56.227,0
1780	57.473,0	87.612,0	71.523,0	59.624,0	59.029,4	86.362,8	56.938,0

Çizelge A.8 (devam): Yanma denklemindeki gazların sıcaklıklara göre molar entalpileri.

Not: Sarı dolgulu değerler interpolasyon ile bulunmuştur.

SICAKLIK [K]	$\bar{h}_{CO}$	$\bar{h}_{CO_2}$	$\bar{h}_{H_2O}$	$\bar{h}_{O_2}$	$\bar{h}_{NO}$	$\bar{h}_{NO_2}$	$\bar{h}_{N_2}$
1800	58.191,0	88.806,0	72.513,0	60.371,0	59.757,0	87.513,0	57.651,0
1820	58.910,0	90.000,0	73.507,0	61.118,0	60.484,6	88.663,2	58.363,0
1840	59.629,0	91.196,0	74.506,0	61.866,0	61.212,2	89.813,4	59.075,0
1860	60.351,0	92.394,0	75.506,0	62.616,0	61.939,8	90.963,6	59.790,0
1880	61.072,0	93.593,0	76.511,0	63.365,0	62.667,4	92.113,8	60.504,0
1900	61.794,0	94.793,0	77.517,0	64.116,0	63.395,0	93.264,0	61.220,0
1920	62.516,0	95.995,0	78.527,0	64.868,0	64.128,4	94.426,5	61.936,0
1940	63.238,0	97.197,0	79.540,0	65.620,0	64.861,8	95.589,0	62.654,0
1960	63.961,0	98.401,0	80.555,0	66.374,0	65.595,2	96.751,5	63.381,0
1980	64.684,0	99.606,0	81.573,0	67.127,0	66.328,6	97.914,0	64.090,0
2000	65.408,0	100.804,0	82.593,0	67.881,0	67.062,0	99.076,5	64.810,0
2100	69.044,0	106.864,0	87.735,0	71.668,0	70.729,0	104.889,0	68.417,0
2150	70.864,0	109.898,0	90.330,0	73.573,0	72.574,3	107.823,8	70.226,0
2200	72.688,0	112.939,0	92.940,0	75.484,0	74.419,5	110.758,5	72.040,0
2250	74.516,0	115.984,0	95.562,0	77.397,0	76.264,8	113.693,3	73.856,0
2300	76.345,0	119.035,0	98.199,0	79.316,0	78.110,0	116.628,0	75.676,0
2350	78.178,0	122.091,0	100.846,0	81.243,0	79.965,3	119.590,5	77.496,0
2400	80.015,00	125.152,00	103.508,00	83.174,00	81.820,50	122.553,00	79.320,00
2450	81.852,00	128.219,00	106.183,00	85.112,00	83.675,80	125.515,50	81.149,00
2500	83.692,00	131.290,00	108.868,00	87.057,00	85.531,00	128.478,00	82.981,00
2550	85.537,00	134.368,00	111.565,00	89.004,00	87.394,30	131.468,80	84.814,00
2600	87.383,00	137.449,00	114.273,00	90.956,00	89.257,50	134.459,50	86.650,00
2650	89.230,00	140.533,00	116.991,00	92.916,00	91.120,80	137.450,30	88.488,00
2700	91.077,00	143.620,00	119.717,00	94.881,00	92.984,00	140.441,00	90.328,00

Çizelge A.9: 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
1273	1,226	1,292	2,471	1,121	-	-	1,213

Çizelge A.10: Suyun entalpisi.

Sıcaklık [°C]	Entalpi [kJ/kg]
179,88	2.777,1
200	2.828,3
250	2.943,1
300	3.051,6
350	3.158,2
400	3.264,5
500	3.479,1
600	3.698,1
700	3.924,1

EK B**Çizelge B.1: Örnek datasheet.****GAZ MOTORU BİLGİLERİ**

Motor tipi

Silindir sayısı

Motor devri

dev/dk

 n_m

Yakıt tipi

Turbocharger tipi

GİRDİLER**Giriş Koşulları**

Hava sıcaklığı

 $^{\circ}\text{C}$

T1

Bağıl nem

%

 ϕ

Hava fanı debisi

 m^3/s $V_{\text{havafanı}}$

Yakıt ısı değeri

 kJ/kg.K AID_g

Rakım

m

h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı

 $^{\circ}\text{C}$

T201

LT hattı debisi

 kg/s m_{LT}

LT hattı antifiriz oranı

%

HT hattı giriş sıcaklığı

 $^{\circ}\text{C}$

T301

HT hattı debisi

 kg/s m_{HT}

HT hattı antifiriz oranı

%

Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı

 $^{\circ}\text{C}$

T401

Kullanıcı hattı debisi

 kg/s $m_{\text{khattı}}$

Kazan besleme giriş

 $^{\circ}\text{C}$

T501

Talep edilen kazan besleme çıkışı

 $^{\circ}\text{C}$

T502

Kazan besi suyu debisi

 kg/s m_{kazanbes}

Çizelge B.1 (devam): Örnek datasheet.

ÇIKTILAR		
Gaz Motoru Verileri		
Motor yükü	%	L
Mekanik güç	kW	P _m
Elektriksel güç	kW	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		ε
Yanma sıcaklığı	°C	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	V _g
Atık Isı Verileri		
Kazan Tipi		
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	T8
Intercooler ısı yükü	kW	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	Q _{HTradyatör}

Çizelge B.1 (devam): Örnek datasheet.

Sistem Verileri		
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	η_e
Isı verim	%	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	η_{tmax}

EK C

Çizelge C.1: 0 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ			
Motor tipi		TCG 2032	
Silindir sayısı		16	
Motor devri	dev/dk	1000	n_m
Yakıt tipi		Doğalgaz	
Turbocharger tipi		A140	

GİRDİLER			
Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	5,1088	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	0	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	15,829399	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	29,40006227	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	18	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	7	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	200	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,8	$m_{kazanbes}$

Çizelge C.1 (devam): 0 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	5558,235535	P _m
Elektriksel güç	kW	4300	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	6,220816221	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,284150853	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	75	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	258,9067991	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	200	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	132,7428046	T8
Intercooler ısıl yükü	kW	284,9480327	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	1258,235535	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	2076,996329	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısıl gücü	kW	1969,694126	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	19,89590026	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	341,9376393	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	2073,882642	Q _{HTradyatör}

Çizelge C.1 (devam): 0 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	4300	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	3642,701126	$Q_{ısı}$
Elektriksel verim	%	0,438110163	η_e
Isıl verim	%	0,371140555	$\eta_{ısı}$
Sistem toplam verimi	%	0,809250718	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,825810338	η_{tmax}

Çizelge C.2: 100 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2032		
Silindir sayısı	16		
Motor devri	dev/dk	1000	n _m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	A140		

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	5,1088	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	100	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	15,829399	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	28,25965773	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	18	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	6,9	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	200	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,8	$m_{kazanbes}$

Çizelge C.2 (devam): 100 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	5491,198682	P _m
Elektriksel güç	kW	4250,982583	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	6,220816221	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,284150853	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	75	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	258,9067991	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	200	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	132,7428046	T8
Intercooler ısı yükü	kW	284,9480327	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	1191,198682	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	2076,996329	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	1969,694126	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	19,89590026	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	341,9376393	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	1993,438419	Q _{HTradyatör}

Çizelge C.2 (devam): 100 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	4250,982583	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	3618,801026	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,43311597	η_e
Isı verim	%	0,368705467	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,801821437	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,813986023	η_{tmax}

Çizelge C.3: 250 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2032		
Silindir sayısı	16		
Motor devri	dev/dk	1000	n_m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	A140		

GİRDİLER

Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	φ
Hava fanı debisi	m ³ /s	5,1088	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	250	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	15,829399	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	26,57228243	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	18	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	6,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	200	T502
Kazan besi suyu debisi	kg/s	0,8	$m_{kazanbes}$

Çizelge C.3 (devam): 250 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	5392,00903	P _m
Elektriksel güç	kW	4178,455005	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	6,220816221	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,284150853	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	75	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	258,9067991	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	200	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	132,7428046	T8
Intercooler ısıl yükü	kW	284,9480327	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	1092,00903	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	2076,996329	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısıl gücü	kW	1969,694126	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	19,89590026	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	341,9376393	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	1874,410836	Q _{HTradyatör}

Çizelge C.3 (devam): 250 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	4178,455005	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	3523,200626	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,425726419	η_e
Isıl verim	%	0,358965116	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,784691536	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,796490427	η_{tmax}

Çizelge C.4: 500 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2032
Silindir sayısı	16
Motor devri	dev/dk 1000
Yakıt tipi	Doğalgaz
Turbocharger tipi	A140

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	5,1088	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	500	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	15,829399	m _{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	23,82371071	m _{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	18	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	5,85	m _{khattı}
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	200	T502
Kazan besi suyu debisi	kg/s	0,8	m _{kazanbes}

Çizelge C.4 (devam): 500 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	5230,438647	P _m
Elektriksel güç	kW	4060,314571	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	6,220816221	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,284150853	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	75	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	258,9067991	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	200	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	132,7428046	T8
Intercooler ısı yükü	kW	284,9480327	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	930,4386471	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	2076,996329	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	1969,694126	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	19,89590026	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	341,9376393	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	1680,526377	Q _{HTradyatör}

Çizelge C.4 (devam): 500 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	4060,314571	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	3367,849976	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,413689553	η_e
Isı verim	%	0,343137047	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,7568266	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,767991787	η_{tmax}

Çizelge C.5: 750 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2032		
Silindir sayısı	16		
Motor devri	dev/dk	1000	n_m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	A140		

GİRDİLER

Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	5,1088	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	750	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	15,829399	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	21,1528363	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	18	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	5,2	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	200	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,8	$m_{kazanbes}$

Çizelge C.5 (devam): 750 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	5073,435576	P _m
Elektriksel güç	kW	3945,513761	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	6,220816221	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,284150853	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	75	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	258,9067991	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	200	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	132,7428046	T8
Intercooler ısıl yükü	kW	284,9480327	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	773,4355763	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	2076,996329	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısıl gücü	kW	1969,694126	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	19,89590026	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	341,9376393	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	1492,122692	Q _{HTradyatör}

Çizelge C.5 (devam): 750 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	3945,513761	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	3212,499326	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,401992948	η_e
Isıl verim	%	0,327308978	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,729301926	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,740298754	η_{tmax}



Çizelge C.6: 1000 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2032
Silindir sayısı	16
Motor devri	dev/dk 1000
Yakıt tipi	Doğalgaz
Turbocharger tipi	A140

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	5,1088	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	1000	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	15,829399	m _{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	18,55746284	m _{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	18	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	4,56	m _{khattı}
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	200	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,8	m _{kazanbes}

Çizelge C.6 (devam): 1000 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	4920,870708	P _m
Elektriksel güç	kW	3833,958169	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	6,220816221	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,284150853	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	75	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	258,9067991	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	200	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	132,7428046	T8
Intercooler ısı yükü	kW	284,9480327	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	620,8707076	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	2076,996329	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	1969,694126	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	19,89590026	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	341,9376393	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	1309,044849	Q _{HTradyatör}

Çizelge C.6 (devam): 1000 m rakım için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	9814,883019	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	3833,958169	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	3059,538686	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,390626986	η_e
Isı verim	%	0,311724417	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,702351403	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,713388554	η_{tmax}

EK D

Çizelge D.1: 10 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ			
Motor tipi		TCG 2020	
Silindir sayısı		12	
Motor devri	dev/dk	1500	n_m
Yakıt tipi		Doğalgaz	
Turbocharger tipi		TPS52	

GİRDİLER			
Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	10	T1
Bağıl nem	%	50	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,4423	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	200	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	3,194395274	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,888214538	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	15,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C		T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C		T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	15,5	$m_{kazanbes}$

Çizelge D.1 (devam): 10 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1633,483833	P _m
Elektriksel güç	kW	1199,964806	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,805483405	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,078318663	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	76,70168905	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85,27354613	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	126,2167739	T8
Intercooler ısı yükü	kW	57,50291901	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	433,4838334	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	558,1607596	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	540,3486666	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	5,45806734	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	69,00350281	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	523,6606001	Q _{HTradyatör}

Çizelge D.1 (devam): 10 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2705,21277	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1199,964806	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	976,7325	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,443575019	η_e
Isıl verim	%	0,361055704	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,804630723	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,811215082	η_{tmax}

Çizelge D.2: 15 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020	
Silindir sayısı	12	
Motor devri	dev/dk	1500
Yakıt tipi	Doğalgaz	n_m
Turbocharger tipi	TPS52	

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	15	T1
Bağıl nem	%	50	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,4672	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	200	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	3,410454981	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,888134981	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	15,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C		T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C		T502
Kazan besi suyu debisi	kg/s	15,5	$m_{kazanbes}$

Çizelge D.2 (devam): 15 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1633,480322	P _m
Elektriksel güç	kW	1199,962362	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,805483405	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,079702385	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	76,70163513	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85,27349221	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	126,2149893	T8
Intercooler ısı yükü	kW	61,39225104	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	433,4803224	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	558,1607596	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	540,3521776	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	5,458102804	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	73,67070125	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	523,6563869	Q _{HTradyatör}

Çizelge D.2 (devam): 15 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2753,008049	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1199,962362	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	976,7325	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,435873176	η_e
Isı verim	%	0,354787375	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,790660551	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,797129323	η_{tmax}

Çizelge D.3: 20 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020		
Silindir sayısı	12		
Motor devri	dev/dk	1500	n_m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	TPS52		

GİRDİLER

Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	20	T1
Bağıl nem	%	50	φ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,4922	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	200	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	3,626762966	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,889359935	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	15,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C		T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C		T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	15,5	$m_{kazanbes}$

Çizelge D.3 (devam): 20 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1633,534382	P _m
Elektriksel güç	kW	1200	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,805483405	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,081086107	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	76,70246534	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85,27432242	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	126,2424677	T8
Intercooler ısıl yükü	kW	65,28605236	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	433,5343818	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	558,1607596	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısıl gücü	kW	540,2981182	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	5,45755675	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	78,34326283	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	523,7212581	Q _{HTradyatör}

Çizelge D.3 (devam): 20 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2800,803328	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1200	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	976,7325	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,428448506	η_e
Isıl verim	%	0,348732983	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,777181489	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,783559174	η_{tmax}

Çizelge D.4: 25 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020		
Silindir sayısı	12		
Motor devri	dev/dk	1500	n _m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	TPS52		

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	50	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,5171	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	200	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	3,843320941	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,889359935	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	15,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C		T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C		T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	15,5	$m_{kazanbes}$

Çizelge D.4 (devam): 25 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1633,534382	P _m
Elektriksel güç	kW	1200	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,805483405	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,082469829	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	76,70246534	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85,27432242	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	126,2424677	T8
Intercooler ısı yükü	kW	69,1843538	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	433,5343818	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	558,1607596	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	540,2981182	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	5,45755675	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	83,02122456	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	523,7212581	Q _{HTradyatör}

Çizelge D.4 (devam): 25 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2848,598606	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1200	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	976,7325	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,421259772	η_e
Isı verim	%	0,342881759	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,764141531	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,770412208	η_{tmax}

Çizelge D.5: 30 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020		
Silindir sayısı	12		
Motor devri	dev/dk	1500	n _m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	TPS52		

GİRDİLER

Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	30	T1
Bağıl nem	%	50	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,542	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	200	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	4,059540726	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,888116685	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	15,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C		T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C		T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	15,5	$m_{kazanbes}$

Çizelge D.5 (devam): 30 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1633,479515	P _m
Elektriksel güç	kW	1199,961799	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,805483405	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,083853551	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	76,70162273	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85,27347981	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	126,2145789	T8
Intercooler ısı yükü	kW	73,07656743	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	433,479515	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	558,1607596	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	540,352985	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	5,45811096	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	87,69188091	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	523,655418	Q _{HTradyatör}

Çizelge D.5 (devam): 30 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısııl değeri	kW	2896,393885	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1199,961799	P_e
Elde edilen ısııl güç	kW	976,7325	$Q_{ısııl}$
Elektriksel verim	%	0,414295102	η_e
Isıl verim	%	0,337223644	$\eta_{ısııl}$
Sistem toplam verimi	%	0,751518746	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,757667003	η_{tmax}

Çizelge D.6: 35 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020
Silindir sayısı	12
Motor devri	dev/dk 1500
Yakıt tipi	Doğalgaz
Turbocharger tipi	TPS52

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	35	T1
Bağıl nem	%	50	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,567	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	200	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	4,275592326	m _{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,888519719	m _{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	15,5	m _{khattı}
Kazan besleme giriş	°C		T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C		T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	15,5	m _{kazanbes}

Çizelge D.6 (devam): 35 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1633,497302	P _m
Elektriksel güç	kW	1199,974183	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,805483405	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,085237273	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	76,70189589	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85,27375296	T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C	85	T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C		T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	126,2236198	T8
Intercooler ısı yükü	kW	76,96575351	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	433,4973015	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	558,1607596	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	540,3351985	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	5,457931298	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	92,35890421	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	523,6767619	Q _{HTradyatör}

Çizelge D.6 (devam): 35 °C giriş sıcaklığı için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2944,189164	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1199,974183	P_e
Elde edilen ısı gücü	kW	976,7325	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,407573738	η_e
Isıl verim	%	0,331749234	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,739322972	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,745377461	η_{tmax}

EK E**Çizelge E.1:** TCG 2016 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ			
Motor tipi		TCG 2016	
Silindir sayısı		16	
Motor devri	dev/dk	1500	n_m
Yakıt tipi		Doğalgaz	
Turbocharger tipi		TPS48	

GİRDİLER			
Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,0191	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	100	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	2,494489476	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	84	T301
HT hattı debisi	kg/s	9,48866902	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	3,3	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	70	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	89,47708022	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	5	$m_{kazanbes}$

Çizelge E.1 (devam): TCG 2016 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	1076,826213	P _m
Elektriksel güç	kW	799,9841099	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,226802827	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,056037191	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	90	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	89,47708022	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	89,47708022	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	116,9413991	T8
Intercooler ısı yükü	kW	44,90378116	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	276,8262126	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	409,602997	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	409,602997	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	4,137404011	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	53,88453739	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	335,6714551	Q _{HTradyatör}

Çizelge E.1 (devam): TCG 2016 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısııl değeri	kW	1935,586233	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	799,9841099	P_e
Elde edilen ısııl güç	kW	687,198997	$Q_{ısııl}$
Elektriksel verim	%	0,413303265	η_e
Isıl verim	%	0,355034039	$\eta_{ısııl}$
Sistem toplam verimi	%	0,768337304	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,769437855	η_{tmax}



Çizelge E.2: TCG 2020 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ			
-----------------------------	--	--	--

Motor tipi		TCG 2020	
Silindir sayısı		16	
Motor devri	dev/dk	1500	n_m
Yakıt tipi		Doğalgaz	
Turbocharger tipi		TPS52	

GİRDİLER

Giriş Koşulları			
------------------------	--	--	--

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,9998	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	100	h

Sistem Koşulları			
-------------------------	--	--	--

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	5,124427921	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	13,17709582	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	6,9	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	70	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	89,8810246	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	8,9	$m_{kazanbes}$

Çizelge E.2 (devam): TCG 2020 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	2178,045842	P _m
Elektriksel güç	kW	1600	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	2,407311207	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,109959772	V _g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	90	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	89,8810246	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	89,8810246	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	117,1628606	T8
Intercooler ısı yükü	kW	92,24580506	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	578,0458423	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	2,9	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	744,2143461	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	744,2143461	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	7,517316628	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	110,6949661	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	697,1350108	Q _{HTradyatör}

Çizelge E.2 (devam): TCG 2020 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	3798,131475	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1600	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	1324,642346	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,421259772	η_e
Isı verim	%	0,348761583	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,770021355	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,770157697	η_{tmax}

Çizelge E.3: TCG 2032 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ			
----------------------	--	--	--

Motor tipi		TCG 2032	
Silindir sayısı		12	
Motor devri	dev/dk	1000	n_m
Yakıt tipi		Doğalgaz	
Turbocharger tipi		A140	

GİRDİLER			
----------	--	--	--

Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	60	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	4,0056	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	100	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	12,26962486	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	78	T301
HT hattı debisi	kg/s	22,07386295	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	16	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	70	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	89,93572756	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	19,2	$m_{kazanbes}$

Çizelge E.3 (devam): TCG 2032 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	4160,576651	P _m
Elektriksel güç	kW	3333	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		12	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	422,8014843	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	4,821855922	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,220249952	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Sıcak su kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	89,28163117	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	89,93572756	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	89,93572756	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	116,9413991	T8
Intercooler ısıl yükü	kW	220,8678588	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	827,5766513	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	470	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	1609,913666	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısıl gücü	kW	1609,913666	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	16,26175421	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	265,0414306	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	1557,091982	Q _{HTradyatör}

Çizelge E.3 (devam): TCG 2032 motor tipi için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	7607,675605	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	3333	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	2907,490318	$Q_{ısı}$
Elektriksel verim	%	0,438110163	η_e
Isıl verim	%	0,382178535	$\eta_{ısı}$
Sistem toplam verimi	%	0,820288698	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,820288698	η_{tmax}



EK F**Çizelge F.1:** %50 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.**GAZ MOTORU BİLGİLERİ**

Motor tipi	TCG 2020
Silindir sayısı	20
Motor devri	dev/dk 1500
Yakıt tipi	Doğalgaz
Turbocharger tipi	TPS48

GİRDİLER**Giriş Koşulları**

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	55	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	1,3337	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	500	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	3,264359132	m _{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	8,317797728	m _{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	4,35	m _{khattı}
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	285	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,17	m _{kazanbes}

Çizelge F.1 (devam): %50 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	50	L
Mekanik güç	kW	1361,278651	P_m
Elektriksel güç	kW	1000	P_e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	1,533503534	m_{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,070046489	V_g

Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	90	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	348,4434624	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	285	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	130,981949	T8
Intercooler ısı yükü	kW	58,76235178	Q_{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	361,2786515	Q_{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	5,8	$Q_{yağ}$
Kazan kapasitesi	kW	474,0788503	$Q_{kazanmax}$
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	450,9875018	$Q_{kazanbes}$
Kayıplar	kW	4,555429311	P_k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	70,51482214	$Q_{LTradyatör}$
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	440,4943818	$Q_{HTradyatör}$

Çizelge F.1 (devam): %50 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	2419,482791	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1000	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	816,9095018	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,413311475	η_e
Isı verim	%	0,337638071	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,750949545	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,760971522	η_{tmax}

Çizelge F.2: %75 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020		
Silindir sayısı	20		
Motor devri	dev/dk	1500	n _m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	TPS48		

GİRDİLER

Giriş Koşulları			
Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	55	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	2,0005	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	500	h

Sistem Koşulları			
LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	4,896538698	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	12,41098421	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	6,35	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	285	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,26	$m_{kazanbes}$

Çizelge F.2 (devam): %75 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri

Motor yükü	%	75	L
Mekanik güç	kW	2041,917977	P _m
Elektriksel güç	kW	1499,963416	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	2,3002553	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,105069734	V _g

Atık Isı Verileri

Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	90	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	323,2892273	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	285	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	125,689893	T8
Intercooler ısı yükü	kW	88,14352767	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	541,9179772	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	5,8	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	711,1182755	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	689,745591	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	6,967127182	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	105,7722332	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	657,2615726	Q _{HTradyatör}

Çizelge F.2 (devam): %75 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısııl değeri	kW	3629,224186	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	1499,963416	P_e
Elde edilen ısııl güç	kW	1223,907591	$Q_{ısııl}$
Elektriksel verim	%	0,413301394	η_e
Isıl verim	%	0,337236701	$\eta_{ısııl}$
Sistem toplam verimi	%	0,750538095	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,760162373	η_{tmax}



Çizelge F.3: %100 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

GAZ MOTORU BİLGİLERİ

Motor tipi	TCG 2020		
Silindir sayısı	20		
Motor devri	dev/dk	1500	n _m
Yakıt tipi	Doğalgaz		
Turbocharger tipi	TPS48		

GİRDİLER

Giriş Koşulları

Hava sıcaklığı	°C	25	T1
Bağıl nem	%	55	ϕ
Hava fanı debisi	m ³ /s	2,6171	V _{havafanı}
Yakıt ısı değeri	kJ/kg.K	8250	AID _g
Rakım	m	500	h

Sistem Koşulları

LT hattı giriş sıcaklığı	°C	40	T201
LT hattı debisi	kg/s	6,405534901	m_{LT}
LT hattı antifiriz oranı	%	35	
HT hattı giriş sıcaklığı	°C	80	T301
HT hattı debisi	kg/s	16,50417069	m_{HT}
HT hattı antifiriz oranı	%	35	
Kullanıcı hattı giriş sıcaklığı	°C	70	T401
Kullanıcı hattı debisi	kg/s	8,5	$m_{khattı}$
Kazan besleme giriş	°C	90	T501
Talep edilen kazan besleme çıkışı	°C	285	T502
Kazan besleme suyu debisi	kg/s	0,35	$m_{kazanbes}$

Çizelge F.3 (devam): %100 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

ÇIKTILAR

Gaz Motoru Verileri			
Motor yükü	%	100	L
Mekanik güç	kW	2722,557303	P _m
Elektriksel güç	kW	2000	P _e
Yanma odası sıkıştırma oranı		13	ε
Yanma sıcaklığı	°C	1607	T4
Egzoz gazı çıkış sıcaklığı	°C	400,8768054	T5
Egzoz gazı debisi	kg/s	3,009139009	m _{ex}
Yakıt tüketimi	m ³ /s	0,137449715	V _g

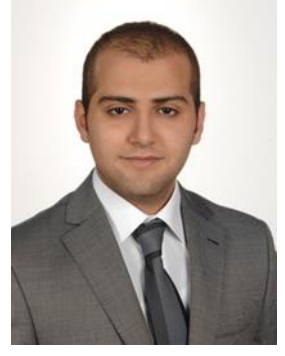
Atık Isı Verileri			
Kazan Tipi		Buhar kazanı	
Kullanıcı hattı çıkış sıcaklığı	°C	90	T402
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı beraber)	°C		T403
Kazan besleme maksimum sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	287,3229131	T502 _{max}
Kazan besleme çıkış sıcaklığı (kazan ile kullanıcı hattı ayrı)	°C	285	T502
Kazan egzoz çıkış sıcaklığı	°C	120	T7
Baca egzoz çıkış sıcaklığı	°C	117,7009239	T8
Intercooler ısı yükü	kW	115,3072563	Q _{int}
Ceket suyu kapasitesi	kW	722,5573029	Q _{blok}
Yağ eşanjörü kapasitesi	kW	5,8	Q _{yağ}
Kazan kapasitesi	kW	930,2679327	Q _{kazanmax}
Kazan kullanılan ısı gücü	kW	928,5036802	Q _{kazanbes}
Kayıplar	kW	9,378825052	P _k
LT hattı soğutucu kapasitesi	kW	138,3687076	Q _{LTradyatör}
HT hattı soğutucu kapasitesi	kW	874,0287635	Q _{HTradyatör}

Çizelge F.3 (devam): %100 motor yükü için simülasyon sonrası datasheet.

Sistem Verileri			
Tüketilen yakıt ısı değeri	kW	4747,664344	P_g
Elde edilen elektriksel güç	kW	2000	P_e
Elde edilen ısı güç	kW	1643,52368	$Q_{\text{ısı}}$
Elektriksel verim	%	0,421259772	η_e
Isı verim	%	0,346175206	$\eta_{\text{ısı}}$
Sistem toplam verimi	%	0,767434978	η_t
Sistem toplam maksimum verim	%	0,770615817	η_{tmax}



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Atamer Derinpınar

Doğum Tarihi ve Yeri : 1988 Malatya

E-posta : atamerderinpınar@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

Yıl	Firma Adı	Görev
2011-2012	Real Asansör	Proje Mühendisi
2012-Devam	İltekno A.Ş.	Servis Planlama Mühendisi

YABANCI DİL:

İngilizce