

154206

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GAZ TÜRBİNİ TAHRİKLİ YÜKSEK SÜRATLI
GEMİLERDE İŞLETME PARAMETRELERİNİN
PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Makine Mühendisi Dündar BAYRAM

**FBE Gemi İnşaatı Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Doç.Dr.Uğur KESGİN

*Danışman : Doç.Dr. Uğur KESGİN U. Keskın
Doç.Dr. Sükrü BEKDEMİR
Doç.Dr. Ahmet ALKAN*

İSTANBUL , 2004

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ.....	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. GAZ TÜRBİNLERİNİN TANITILMASI	4
2.1 Gaz Türbinlerinin Çalışma İlkesi.....	4
2.2 Gaz Türbinlerinin Tarihçesi.....	5
2.3 Gaz Türbinlerinin Elemanları	7
2.3.1 Kompresör	8
2.3.1.1 Merkezkaç (Radyal Akışlı) Kompresörler	8
2.3.1.2 Eksenel Akışlı Kompresörler.....	10
2.3.2 Yanma Odası	11
2.3.2.1 Yanma Odası İçin Gerekli Özellikler	12
2.3.3 Yakıt Nozulları	14
2.3.4 Türbin	15
2.3.4.1 Türbin Tipleri.....	15
2.3.4.1.1 Radyal Akışlı Türbinler	16
2.3.4.1.2 Eksenel Akışlı Türbinler.....	16
2.4 Gaz Türbinlerinin Gemilerde Uygulanması	19
2.5 Gaz Türbinlerinin Diğer Makinalarla Karşılaştırılması.....	23
2.5.1 Basitlik, Ağırlık, Büyüklük	23
2.5.2 Güvenilirlik, Kullanma Deneyimi, Bakım.....	25
2.5.3 Yedek Parçalar, Maliyet	25
2.5.4 Emme ve Egzoz Manifoldları	26
2.5.5 Özgül Yakıt Tüketimi, Sürat, Kumanda Çabukluğu	26
2.5.6 Personel İhtiyacı, Uzaktan Kontrol.....	28
2.5.7 Vibrasyon, Gürültü, Şok.....	28
2.5.8 Yakıt	29

2.5.9	Ortam Şartlarına Duyarlılık	29
3.	GAZ TÜRBİNLERİNİN TEMEL PRENSİPLERİ	32
3.1	Termodinamik Kavramlar	32
3.2	Gaz Türbini Çevrimleri.....	35
3.3	Gaz Türbinlerinin Tasarımı	38
4.	GAZ TÜRBİNLİ GEMİ TAHRİK SİSTEMLERİNDE YARDIMCI SİSTEMLER	42
4.1	Yakıt Sistemi	42
4.2	Ateşleme Sistemi	45
4.3	Soğutma Havası	46
4.4	Giriş Havası Sistemi	46
4.4.1	Giriş Ağız Yerleştirmesi	47
4.4.2	Giriş Havası Akış Bozukluğu	47
4.4.3	Çoklu Makine Montajlar.....	47
4.4.4	Tuz Ayrışımı	47
4.5	Giriş Havası Soğutma Sistemleri.....	49
4.5.1	Buharlaştırılmalı Soğutma	49
4.5.2	Sis Yapıcılar.....	50
4.5.3	Isı Değiştiricili Sistemler	51
4.5.4	Doğrudan Soğutma	52
4.5.5	Isıl Depolama.....	52
4.5.6	Giriş Havası Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması	52
4.6	Egzoz Sistemi:	53
4.7	İlk Hareket Sistemi:	53
4.7.1	Pnömatik starter :	53
4.7.2	Hidrolik Starter :	53
4.7.3	Elektro-Hidrolik Starter :	53
4.7.4	Elektrikli Starter :	54
4.8	Gaz Türbini Su Yıkama Sistemi	55
4.9	Gaz Türbini Kontrolleri ve Kontrol Elemanları	57
4.9.1	Gaz Türbini Kumanda ve Kontrol Elmanları	57
4.9.2	Acil Durumda Durdurma	61
4.9.2.1	Elle Durdurma:	61
4.9.2.2	Otomatik Durdurma:.....	62

4.9.2.3	Aşırı Devir Önleme Sistemi (Overspeed Trip):.....	62
4.9.2.4	Titreşim Kesme Sistemi (Vibration Trip):	62
4.9.2.5	Düşük Yağlama Yağı Basıncı Sistemi:	62
5	ÖRNEK BİR GAZ TÜRBİNLİ GEMİ SİSTEMİNİN TANITILMASI	63
5.1	GE LM 2500 Gaz Türbini Tahrik Sisteminin Tanıtılması.....	63
5.1.1	Gaz Türbini	63
5.1.1.1	Yerleştirme Özellikleri	63
5.1.1.2	Karşılaştırma.....	64
5.2	Genel Karakteristik Özellikler.....	64
5.2.1	Gaz Türbini Sistem Tanıtımı	64
5.2.1.1	Sistemin Amacı	64
5.2.1.2	Sistemin Kapasitesi	68
5.2.1.3	Sistemin Tanımı.....	68
5.2.1.4	Tipik Fiziksel Boyutları.....	69
5.3	Ana Redüktör.....	69
5.4	SSS (Self Syncro Shifting) Kavrama	73
5.5	Güç Türbini Frenleri.....	74
5.6	Pervane Şaft Frenleri	76
5.7	Ana Tahrik Şaft Sistemi	77
5.7.1	Tahrik Şaftları.....	77
5.8	Piç Kontrol Sistemi.....	77
5.9	Yağlama Yağı Prüfayeri	78
5.10	Motorin Prüfayeri	78
6.	GAZ TÜRBİNİ İÇİN MATEMATİK MODEL.....	79
6.1	Giriş Havası Soğutucusu.....	80
6.2	Gaz Türbini	81
7.	GAZ TÜRBİNİ PARAMETRELERİNİN VE GİRİŞ HAVASININ SOĞUTULMASININ PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ	84
7.1	Giriş	84
7.2	Giriş Havası Sıcaklığının Etkileri.....	85
7.3	Bağıl Nemin Etkileri.....	87
7.4	Türbin Giriş Sıcaklığının Etkileri	89

7.5	Sıkıştırma Oranının Etkileri.....	91
7.6	LM 2500 ve TF50A Gaz Türbini İçin Sonuçlar	93
7.6.1	LM 2500 ve TF50A Gaz Türbinlerinde Giriş Havaşı Soğutulmasının Performansa Etkisinin İncelenmesi.....	94
7.6.2	LM 2500 ve TF50A Gaz Türbinlerinde Bağlı Nemin Performansa Etkisinin İncelenmesi	97
7.7	Özetlenmiş Sonuçlar.....	100
8	SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	102
KAYNAKLAR.....		104
ÖZGEÇMİŞ.....		106



SİMGE LİSTESİ

C_p	Sabit basınçta özgül ısı
c_v	Sabit hacimde özgül ısı
AF	Hava – yakıt oranı
f	Yakıt
h	Entalpi
k	Özgül ısılar oranı
m	Kütle
N_g	Gaz jeneratörü devri
N_{pt}	Güç türbini devri
q	Isı
P	Basınç
$P_{5.4}$	Güç türbini giriş basıncı
P_f	Statik yakıt besleme basıncı
r	Sıkıştırma oranı
r_c	Kompresör sıkıştırma oranı
s	Entropi
sfc	Özgül yakıt tüketimi
T	Sıcaklık
T_a	Gaz türbini giriş havası sıcaklığı
T_{db}	Kuru termometre sıcaklığı
T_{wb}	Yaş termometre sıcaklığı
T_{03}	Türbin giriş sıcaklığı
v	Hacim
V_{gg}	Gaz jeneratör devri
V_{pt}	Güç türbini devri
w	İş
w_c	Kompresör işi
w_{net}	Net iş
w_t	Türbin işi
w_a	Mutlak nem
Δh_c	Yakıtın ısı değeri
ΔT	Sıcaklık farkı
γ	Özgül ısılar oranı
ϕ	Bağıl nem
η_k	Kompresör verimi
η_s	Soğutucu verimi
η_t	Türbin verimi
η_{th}	Isıl verim

KISALTMA LİSTESİ

CCW	Saat yönünün tersi - Counter Clock Wise
CO	Bütünleşik - Combined
CODAD	Bütünleşik Diesel ve Diesel - Combined Diesel and Diesel
CODAG	Bütünleşik Diesel ve gaz türbini - Combined Diesel and Gas Turbine
CODAGX	Bütünleşik çapraz bağlı Diesel ve gaz türbini - Combined Diesel and Gas Turbine X
CODOG	Bütünleşik Diesel veya gaz türbini - Combined Diesel or Gas Turbine
CODADX	Bütünleşik çapraz bağlı Diesel ve Diesel - Combined Diesel and Diesel X
CODOGX	Bütünleşik çapraz bağlı Diesel veya gaz türbini - Combined Diesel or Gas Turbine X
COGAG	Bütünleşik gaz türbini ve gaz türbini - Combined Gas Turbine and Gas Turbine
COGAGX	Bütünleşik çapraz bağlı gaz türbini ve gaz türbini - Combined Gas Turbine and Gas Turbine X
COGAGX-DX	Bütünleşik çapraz bağlı gaz türbini ve gaz türbini ve Diesel - Combined Gas Turbine and Gas Turbine- Diesel X
COGAS	Bütünleşik gaz türbini ve buhar türbini - Combined Gas Turbine and Steam Turbine
COGOG	Bütünleşik gaz türbini veya gaz türbini - Combined Gas Turbine or Gas Turbine
CONAG	Bütünleşik nükleer ve gaz türbini - Combined Nuclear and Gas Turbine
CONAS	Bütünleşik nükleer ve buhar türbini - Combined Nuclear and Steam Turbine
COSAG	Bütünleşik buhar türbini ve gaz türbini - Combined Steam Turbine and Gas Turbine
COSAS	Bütünleşik buhar türbini ve buhar türbini - Combined Steam Turbine and Steam Turbine
CP	Değiştirilebilir kanat açısı - Controllable Pitch
CW	Saat yönü - Clock Wise
D	Diesel
ECC	Elektronik kontrol konsolu - Electronic Control Console
G	Gaz türbini - Gas turbine
GG	Gaz jeneratörü - Gas generator
HP	Beygir gücü - Horse power
HOPM	Hidrolik yağ güç ünitesi - Hydraulic oil power module
HSFCS	Yüksek hızlı esnek bağlantı şaftı - High speed flexible coupling shaft
IGV	Giriş kılavuz kanatçıkları - Inlet guide vane
LOP	Yerinden kontrol paneli - Local Operating Panel
LOSCA	Yağlama yağı depolama ve dinlendirme sistemi - Lube Oil Storing and Conditioning Assembly
MCSG	Gaz türbini izleme ve kontrol sistemi - Monitoring and Controlling System of Gas Turbine
MGB	Karakol botu - Motor Gun Boat
MTBO	Bakımlar arası ortalama süre - Mean Time Between Overhauls
OD	Yağ dağıtım - Oil distribution
PCC	Ana tahrik kontrol konsolu - Propulsion Control Console
PLA	Güç seviye kolu - Power Level Actuator
PT	Güç türbini - Power turbine
S	Buhar - Steam
SCC	Gemi kontrol konsolu - Ship Control Console

SFC	Özgöl yakıt tüketimi - Spesific Fuel Consumption
SHP	Şafta iletilen güç - Shaft horse power
SSS	Kendiliğinden bağlanan - Self syncro shifting
VMS	Titreşim izleme sistemi - Vibration Monitoring System



ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Gaz türbini ana yapısı	4
Şekil 2.2	Basit bir kapalı gaz türbini çevrimi	7
Şekil 2.3	Merkezkaç kompresör (A. Tek Girişli B. Çift Girişli)	10
Şekil 2.4	Eksenel kompresör rotorları (A. Dram Tip B. Disk Tip)	11
Şekil 2.5	Kompresör verimleri.....	12
Şekil 2.6	Yanma odası iç yüzeyi.....	15
Şekil 2.7	Yakıt nozulu modeli	16
Şekil 2.8	Türbin stator kesit görünüşü	16
Şekil 2.9	Radyal akışlı türbin.....	17
Şekil 2.10	Eksenel akışlı türbin	18
Şekil 2.11	Tepki-impuls türbini.....	19
Şekil 2.12	Bütünleşik buhar ve gaz türbini tahrik sistemi	19
Şekil 2.13	Bütünleşik buhar veya gaz türbini tahrik sistemi	21
Şekil 2.14	Bütünleşik Diesel ve gaz türbini tahrik sistemi.....	20
Şekil 2.15	Bütünleşik Diesel veya gaz türbini tahrik sistemi	20
Şekil 2.16	Bütünleşik gaz türbini veya gaz türbini tahrik sistemi	21
Şekil 2.17	Bütünleşik gaz türbini ve gaz türbini tahrik sistemi.....	21
Şekil 2.18	GE LM-2500 gaz türbini	22
Şekil 2.19	Yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması.....	27
Şekil 3.1	Brayton çevriminin T-s ve P-v diyagramları (Çengel ve Boles ,1996).....	32
Şekil 3.2	Gerçek gaz türbini çevriminin T-s diyagramı (Çengel ve Boles ,1996)	34
Şekil 3.4	Rejeneratörlü bir gaz türbini T-s diyagramı	35
Şekil 3.5	Ara soğutuculu bir gaz türbini çevrimi	36
Şekil 3.6	Ara kızdırmalı bir gaz türbini çevrimi.....	37
Şekil 3.7	Ara soğutuculu , ara kızdırmalı ve rejeneratörlü bir gaz türbini çevrimi	37
Şekil 3.8	Ara soğutuculu , ara kızdırmalı ve rejeneratörlü bir gaz türbini çevriminin	38
	T-s diyagramı (Boles ve Çengel , 1996).....	
Şekil 3.9	Tipik bir gaz türbini tasarım süreci.....	43
Şekil 4.1.	Makineye monteli tipik sıvı yakıt sistem	44
Şekil 4.2.	Ateşleme sistemi blok diyagramı	45
Şekil 4.3.	Tipik hava giriş yapısı	48
Şekil 4.4.	Giriş kanalındaki nem önleyicinin yerleşimi.....	48
Şekil 4.5.	Tipik bir buharlaştırarak soğutma sistemi	50
Şekil 4.6	Tipik bir sis yapıcı soğutma sistemi	51
Şekil 4.7	Tipik bir ısı değiştiricili soğutma sistemi	51
Şekil 4.8	Tipik bir pnömatik ilk hareket çalıştırma sistemi	54
Şekil 4.9	Tipik bir elektrohidrolik starter sistemi	55
Şekil 4.10	Gaz türbini yıkama sistemi.....	56
Şekil 4.11	Su yıkama sistemi diyagramı	57
Şekil 5.1.	LM-2500 gaz türbininin gelişimi	66
Şekil 5.2.	LM-2500 ve TF39/CF6-6 ' in karşılaştırılması	67
Şekil 5.3	Ana redüktör.....	71
Şekil 5.4	Ana redüktör	72
Şekil 5.5	SSS Kavrama.....	73
Şekil 5.6	SSS Kavrama ana elemanlar.....	74
Şekil 5.8	Pervane şaft freni	76
Şekil 6.2	Soğutucunun yapısı	80
Şekil 7.1	Giriş havası sıcaklığına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan gaz türbininin ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	86
Şekil 7.2	Bağıl neme bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan gaz türbininin ısı verim	

	güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	88
Şekil 7.3	Türbin giriş havası sıcaklığına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan gaz türbininin ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	90
Şekil 7.4	Sıkıştırma oranına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan gaz türbininin ısı verim, güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	91
Şekil 7.5	Giriş havası sıcaklığına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı LM2500 için ısı verim , güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	95
Şekil 7.6	Giriş havasına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı TF50A için ısı verim, güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	96
Şekil 7.7	Giriş havası bağıl nemine bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı LM 2500 için ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	98
Şekil 7.8	Giriş havası bağıl nemine bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı TF50A için ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi	99



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Bütünleşik gemi tahrik sistemleri.....	23
Çizelge 2.2	Gemi Tahrik Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	31
Çizelge 4.1	F-76 (Motorin) ve JP-5'in özellikleri	42
Çizelge 4.2	Giriş havası soğutma sistemlerinin karşılaştırılması	52
Çizelge 7.1	İşletme ve tasarım parametreleri	84
Çizelge 7.2	Akışkanların fiziksel özellikleri (Alhazmy ve Najjar , 2003)	84
Çizelge 7.3	LM 2500 gaz türbini performans şartları	93
Çizelge 7.4	TF50A gaz türbini performans şartları.....	93



ÖNSÖZ

Uzun yıllar çalışmış olduğum gaz türbini tahrikli gemilerin gerek işletim kolaylıkları gerekse de çok az sayıda çıkardıkları arızalar nedeniyle donanmamızda ve ticaret gemilerinde kullanılmasının yaygınlaşmasını her zaman istemişimdir. Bu nedenle bu çalışmayı yaparken gerçekten büyük keyif aldım ve gaz türbinlerine olan ilgim daha da arttı.

Yüksek lisans eğitimine başladığım zaman aklımda bu konuyla ilgili bir çalışma yapmak vardı ve tez aşamasına geçince hiç tereddüt etmeden gaz türbinleri ile ilgili yenilikleri araştırma isteğimi tez danışmanıma ilettim. Kendisinin de yoğun katkı ve sabrı ile elinizde tuttuğunuz bu çalışma hazırlanabilmiştir.

Tüm bu süreç içerisinde bana katkılarını esirgemeyen hocam ve danışmanım Doç.Dr.Uğur Kesgin'e, çalışmalarında katkılarını esirgemeyen donanmamızın gaz türbini tahrikli gemilerinde çalışan personeline, derslere katıldığım günlerde ve tez çalışmaları esnasında yardım ve desteklerini esirgemeyen mesai arkadaşlarıma ve her şeyden öte büyük sabrı ve anlayışıyla hayatımın her anında olduğu gibi bu konuda da hep yanımda olan biricik eşim Dr.Hatice Bayram'a en içten teşekkürlerimi sunuyor ve bu çalışmanın bundan sonra bu konuyla ilgili yapılacak çalışmalara bir rehber niteliğinde olmasını diliyorum.



ÖZET

Bu çalışma yüksek hızlı gemi tahriki için gaz türbini sistemleri üzerinedir. Öncelikle, savaş gemileri için kullanılan iki gaz türbini sistemine dayalı olarak, gaz türbinlerinin çalışma prensibi, sistem elemanları ve yardımcı sistemleri ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Daha sonra, giriş havası soğutmalı/soğutmasız bir gaz türbininin performansını tahmin etmek üzere bir matematik model geliştirilmiştir. Çevre havasının sıcaklığı, bağıl nem, yanma sıcaklığı ve sıkıştırma oranının türbin performansına etkisini elde etmek için bu model kullanılarak bir parametrik çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmanın sonuçları gaz türbini sistemlerinin yüksek bir gelişme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Gaz türbini , giriş havasının soğutulması , gemi tahriki



ABSTRACT

This study deals with the gas turbine systems for high speed ship propulsion. First, the gas turbine system is explained in details regarding working principles, system components, auxiliary systems based on two gas turbines for warships. Then a mathematical model is developed to estimate the performance of gas turbines with/without inlet air cooling systems. Using this model a parametric study is investigated to obtain the effects of ambient air temperature, relative humidity, combustion temperature, and compression ratio on the turbine performance.

The results of this study show the gas turbine systems have a high improvement potential.

Keywords: Gas turbine , gas turbine inlet cooling, ship propulsion



1. GİRİŞ

Günümüzün önemli bir enerji üretim aracı olan gaz türbini sistemleri gerek endüstriyel alanda gerek ulaşım alanında oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Sistem Diesel motorlarına ve buhar makinalarına göre daha sessiz çalışma, yüksek devirlerde düşük özgül yakıt tüketimi, farklı yakıt tiplerine uyumluluk gösterme gibi önemli avantajlara sahip olduğundan özellikle yüksek süratli ticari ve askeri amaçlı gemilerde gittikçe artan oranda kullanılmaktadır. Burada gaz türbini tahrikli yüksek süratli gemilerde, gaz türbinlerinin performansına etki eden parametreler saptanmış ve bu parametrelerin gaz türbini performansında ne gibi etkileri olduğu gösterilmiştir.

Gaz türbini performansına etki eden birçok parametre olmasına karşın bu çalışmada üzerinde yoğunlaşılan konu daha çok halen kullanımda olan gaz türbinlerinin değiştirilebilir özellikleri olmuştur. Öncelikle gaz türbini ile ilgili temel kavramlar ve örnek bir gaz türbinli gemi tahrik sistemi açıklanmıştır. Daha sonra gaz türbini tasarımında kompresör giriş havası sıcaklığı, atmosferdeki bağıl nem, kompresör sıkıştırma oranı ve türbin giriş sıcaklığı parametrelerinin performans ve verime etkilerini incelemek için bir matematik model geliştirilmiştir. Bu matematik model kullanılarak General Electric firmasına ait GE LM 2500 gaz türbini ve Allied Signal firmasına ait TF50A gaz türbini için kompresör giriş havası sıcaklığı ve giriş havası bağıl neminin performansa etkisi giriş havasının soğutulduğu ve soğutulmadığı durumlar için incelenmiş ve sonuçta matematik modelin önermelerini doğrulayan veriler elde edilmiştir.

Burada yapılmış olan araştırmalar son yıllarda bilimsel çabaların gaz türbinlerinin performans ve verimlerinin artırılması konusunda yoğunlaştığını göstermektedir. Birçok bilim adamının gaz türbinli sistemlerde ne gibi düzenlemeler yapılarak verim ve performansının arttırılabileceği konusunda yayınlar yapmış oldukları görülmüştür.

Bu konuyla ilgili olarak Badran (1999) gaz türbininin çalıştığı yerin yerin coğrafi konumu ve ikliminin, kompresör türbin ve verimlerinin, kompresör sıkıştırma oranının ve türbin giriş sıcaklığının gaz türbini verim ve performansına önemli oranda etkisini olduğunu ortaya koymuştur.

Hejazi ve Ameri (2003) ise çalışmalarında absorbe edici tip bir soğutucu kullanımı yolu ile türbin giriş havası soğutulan bir 16.60 MW'lık gaz türbinin gücünde %11.3'lük bir artış sağlandığını ve bu artışın finansal yönden %23.4'lük bir kazanım getirdiğini ve soğutucu için harcanan paranın amortismanın 4,2 yıl içinde sağlandığını tespit etmişlerdir .

Mee III (1999) ise gaz türbini giriş havasının sis yapıcı soğutma sistemini NO_x emisyonu açısından incelemiş ve havaya %0,7 oranında su püskürtülmesi sonucunda NO_x emisyonunda %22'lik bir azalmanın oluşacağını göstermiştir.

Kim vd. (1999) tarafından yapılan çalışmada kompresör giriş havası sıcaklığının artmasının sisteme giren su buharını arttıracak ve bu sebeple kompresör işini arttıracak ve net özgül işin ise azalacağını göstermişlerdir.

Kakaras vd.(2002) çalışmasında da absorbe edici tip bir soğutucu vasıtasıyla giriş havası soğutulan bir gaz türbinindeki verim ve güç artışının buharlaştırıcı tip bir soğutucuya oranla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Wang ve Chiou'nun (2003) Taipower Frame 7B gaz türbini üzerinde yaptıkları çalışma sonucunda, yanma odasına buhar püskürtülmesi ve giriş havasının soğutulması ile net güçte %20,4'lük bir artış sağlandığı saptanmıştır.

Cardu ve Baica (2001) gaz türbini yanma odasına su püskürtülmesi ile NO_x emisyonunun 25 ppm'e kadar düşürülebildiğini saptamışlardır.

Bassily (2003) ara soğutmalı , ara kızdırmalı ve reküperatörlü bir gaz türbinin giriş havasının soğurmalı ve buharlaştırıcı soğutucular kullanılarak soğutulduğu bir sistemi incelemiş ve sistem veriminin %1,55 ile % 6,6 arasında arttırılabildiği sonucuna varmıştır.

Amell ve Cadavid (2002) bir elektrik santralinde kullanılan gaz türbinindeki ısı yüklenmeleri bağıl nem açısından incelemiş ve bağıl nem arttıkça ısı yüklenmesinde arttığını tespit etmişlerdir.

Salvi ve Pierpaoli (2001) Allison 501 KH gaz türbini üzerinde yaptıkları çalışmada giriş havasının absorbe edici tip bir soğutucu ile soğutulması sonucunda giriş sıcaklığının 32 °C'den 15°C'ye düşürülebildiğini ve net gücün %5,6 oranında arttığını, yanma odasına su püskürtme olanağının da katılması sonucunda ise net güçteki artışın %17'ye vardığını tespit etmişlerdir.

Bassily (2001) reküperatörlü bir gaz türbinin giriş havasının buharlaştırıcı soğutucu kullanılarak soğutulduğu bir sistemi incelemiş ve sistem veriminin %3,2 oranında arttığını gücün ise %110 seviyelerine ulaştığını göstermiştir.

Alhazmy ve Najjar (2003) gaz türbini performansının soğutucular kullanılarak artırılması konusunda yaptıkları çalışmada, sis yapıcı tip bir soğutucu kullanılarak giriş havası soğutulan bir gaz türbininde sıcaklığın 3-15°C düşürülerek net güçte %1-7 arasında verimde ise %3 civarında bir artışın sağlanabileceğini, ısı değiştiricili bir soğutucu ile ise aynı türbinde %10-18 arasında bir güç artışı olmasına rağmen, gaz türbini sisteminde çekilen net gücün %6,1-%37 arasında düşeceğini göstermişlerdir.

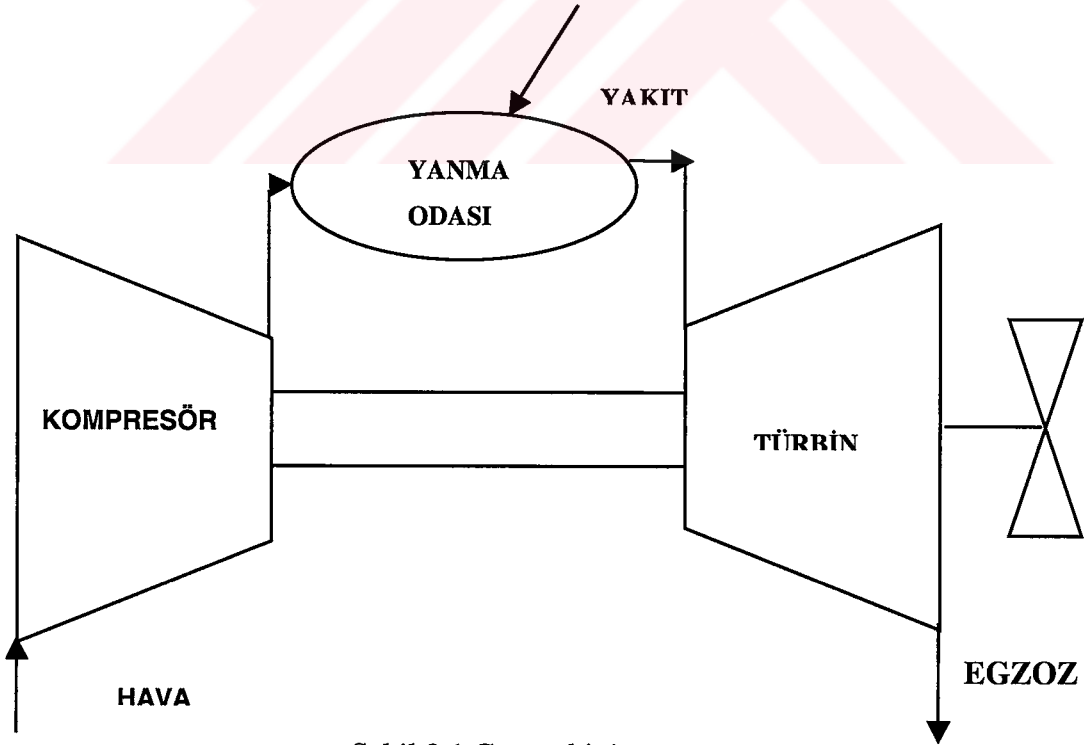
2. GAZ TÜRİNLERİNİN TANITILMASI

Burada gaz türbinlerinin kullanılması ve çalışma ilkeleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş ve sistem tanımlanmıştır.

2.1 Gaz Türbinlerinin Çalışma İlkesi

Gaz türbinleri iş akışkanı gaz olan bir türbin motorudur. Türbinde genleşmeyi sağlamak maksadıyla öncelikle belirli bir sıkıştırma oranına sahip bir kompresör yardımıyla akışkanı sıkıştırmak gerekmektedir. Sıkıştırılan havanın türbin tarafından genleştirilerek güç elde edilebilmesi için havanın ısı enerjisinin artırılması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için sıkıştırılmış hava üzerine yanma odasında yakıt püskürtülerek yanma gerçekleştirilir ve böylelikle yanma odası çıkışında entalpisi artırılmış bir yanmış gaz karışımı elde edilir. Bu yanmış gaz karışımının türbinde genleştirilmesi sonucunda hem kompresörü çalıştırmak için hem de yük için gerekli olan güç sistemden elde edilmiş olur . Gaz türbini çalışma ilkesi basit olarak bu şekilde tarif edilebilir.

Gaz türbini, temel olarak bir kompresör, bir yanma odası ve bir türbinden oluşan bir makine olup basit temel yapısı Şekil 2.1’de olduğu gibidir.



Şekil 2.1 Gaz türbini ana yapısı

Uygulamada hem kompresör hem de türbinde kayıplar olduğundan kompresörün çektiği iş artarken net güçte bir azalma olur. Bu nedenle sistem veriminde bir düşüş yaşanır. Net gücün arttırılabilmesi için türbin giriş havasının arttırılması bunun için de hava/yakıt oranının yükseltilmesi gerekir, ancak bu durum tamamen türbin kanatlarında ve gövdesinde kullanılan malzemenin ısıya dayanıklılığına bağlıdır.

2.2 Gaz Türbinlerinin Tarihçesi

Türbin sistemleri ilk olarak suyun türbinleri çevirerek elektrik enerjisi ürettiği hidro-elektrik santralleri ile endüstriyel anlamda hayatımıza girmişlerdir. Yirminci yüzyılın başlarında buhar türbinleri öne çıkmaya başlamış ve elektrik üretiminde önemli bir rol almışlardır. Günümüzde buhar türbinleri halen 1000 MW'a varan güçleri ve %40'a varan verimleri ile kullanımdadırlar. Buhar türbinleri gemilerde de uzun süre kullanılmış ancak 1970'lerin ortalarında yakıt tüketiminin öneminin artmasıyla verim ve yakıt tüketimi açısından Diesel motorlarla yarışamadıklarından yavaş yavaş bu alandan çekilmek zorunda kalmışlardır. Ancak halen nükleer güçle tahrik edilen bazı gemi ve denizaltılarda kullanımına devam edilmektedir (Saravanamutto, 2001).

Gaz türbinlerinin ciddi olarak hayatımıza girmesi İkinci Dünya Savaşı'ndan hemen önce olmakla birlikte gemilerde uygulanması düşünülen sistem savaş nedeniyle ertelenmiş ve öncelikle uçaklarda uygulamaya geçilmiştir. 1950'lerin ortalarında gaz türbinleri diğer alanlarda rakipleriyle yarışabilir hale gelmiş ve her alanda kendisini göstermeye başlamıştır.

Amerikalılar 2. Dünya Savaşı başlarına kadar gaz türbinlerine fazla ilgi duymamışlardır. 1941 yılında General Electric firması ortak yabancı tasarımı bir gaz türbini için çalışmaya başlamış ve bir yıl sonra da makine ile ilk jet uçağı uçurulmuştur. 1941 yılında yine bir Amerikan firması olan Westinghouse firması ilk Amerikan yerli malı gaz türbinini gerçekleştirmiştir. Bu aynı zamanda eksenel akışlı kompresörü ve çevresel yanma odası olan ilk gaz türbini olmuştur. İngiliz donanmasındaki MGB 2009 (Motor Gun Boat) tipi botlara 1947 yılında Metropolitan Vicker firmasının 1886 kW gücündeki açık çevrimli G-1 gaz türbini konmuştur. Bu ilk deniz uygulamasının amacı gaz türbinlerinin deniz şartlarında çalışması ve bakım tutumu hakkında tecrübe kazanmaktı ve bunda da oldukça başarılı olunmuştur.

Gaz türbininin gelişimi sırasında en önemli problem yeterli sıkıştırma oranını ve yüksek kompresör verimini sağlamak olarak belirmiş olup bu konuda çalışmalar halen tam olarak

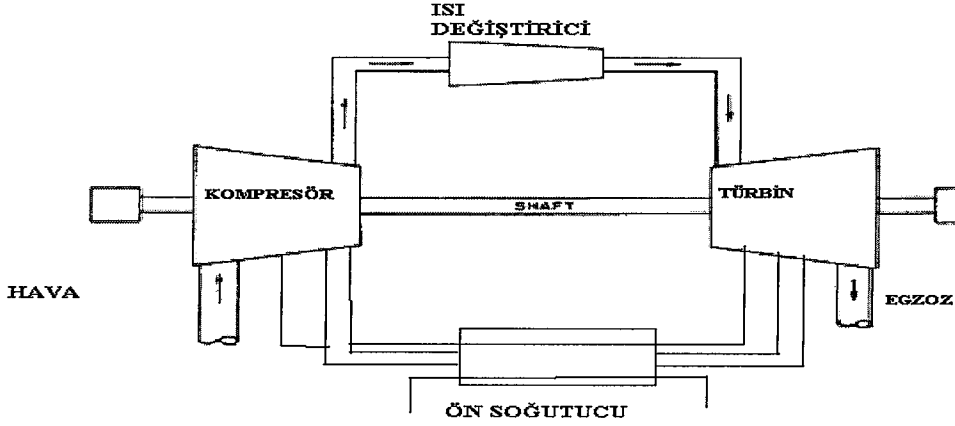
sonuca ulaşamamıştır. Gaz türbini sisteminin iyileştirilmesi aerodinamik ve metalurjinin gelişimiyle yakından ilgili bir konudur ve ilerlemeler bu iki dalın gelişmesi ile mümkün görünmektedir. Günümüzde 35:1 oranında bir sıkıştırma oranına ve 1380°C'ye varan bir türbin giriş sıcaklığına ulaşılabilmiştir.

Gaz türbinlerinin ilk gelişimi esnasında sabit basınçta ve sabit hacimde olmak üzere iki tip yanma sistemi üzerinde durulmuştur. Teorik olarak, sabit hacimde yanmanın sağladığı ısı verim daha yüksek olsa da mekanik güçlükler oldukça fazla ön plana çıkmıştır. Sabit hacimde ısı eklenmesi durumunda valflerin yanma odasını kompresör ve türbinden izole etmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu durumda gaz türbininin verimli olarak çalıştırılması olanaklı görünmemektedir. Nitekim 1908-1930 yılları arasında Almanların bu tip bir türbin yapma çalışmaları devam edememiştir. Sabit basınçta yanmada ise valflerin yanma odasını izole etmesi gerekmemektedir. Bu nedenle ileriki dönemde sabit basınçta yanma üzerinde çalışmanın daha uygun olacağı kabul görmüş ve çalışmalar bu yönde ilerletilmiştir. Sabit basınçta yanmanın bir başka faydası ise yüksek hava akışı sağladığından yüksek güçlere çıkabilme olanağını da sunmasıdır (Saravanamuttoo, 2001).

Gaz türbinlerinde sıkıştırma – yanma –genleşme işlemleri pistonlu makinelerde olduğu gibi tek bir eleman içinde gerçekleşmemektedir. Bu nedenle her bir eleman ayrı ayrı tasarlanabilir, test edilebilir ve geliştirilebilir özelliğe sahiptir. Bu nedenle gaz türbininin gelişimi esnasında sisteme birden çok kompresör, ara ısıtıcı ve soğutucu, türbin eklenmiş ve sistemin verimi bu yolla arttırılmaya çalışılmıştır.

Sisteme başka elemanlar eklenmesi dışında gelişim açısından bahsedilmesi gereken bir başka husus gaz türbininde kullanılan açık ve kapalı çevrimlerdir. Daha çok kullanılan açık çevrimde atmosferden alınan hava kompresörde sıkıştırılıp yanma odasında yanma sağlanarak gaz türbininde genleştirildikten sonra tekrar atmosfere atılmaktadır (Şekil 2.2).

Daha az kullanılan kapalı çevrimde ise türbinden çıkan egzoz gazları bir ısı değiştiriciden geçirilerek tekrar kompresöre verilmektedir. Bu tip gaz türbininde sisteme eklenmesi gereken enerji yanma odasından ayrı olarak bir gaz ısıtıcısında başka bir hava kaynağından eklenen havanın yakılmasıyla mümkün olmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Basit bir kapalı gaz türbini çevrimi

Gaz türbini gelişiminin son aşamasında günümüzde genellikle elektrik üretiminde kullanılan buhar çevrimi ve gaz çevriminin kombine uygulamaları gelmekte olup bu sistemin verimi %60'lara kadar çıkmaktadır (Saravanamuttoo, 2001). Bu sistemde 500–600°C'deki gaz türbini egzozu atık ısı kazanı veya buhar jeneratöründeki buharı arttırarak elde edilen buharla bir buhar türbininden elektrik üretilmesine katkı sağlamaktadır.

Tüm bu gelişmelerden sonra özellikle 1970'lerden başlayarak gaz türbinleri, elektrik üretimi, deniz ulaşımı, savaş gemileri ve uçaklarda geniş kullanım alanı bulmuş olup araştırmalar durmaksızın devam etmiştir. Nitekim aerodinamikteki gelişmeler nedeniyle gaz türbini verimi %40'lara ulaşmış, ABD'de 1990'larda başlatılan gelişmiş türbin sistemleri çalışmaları sayesinde 4 MW güce ve %42 verime sahip Solar Mercury gaz türbinin üretilmesi sağlanmıştır. Günümüzde 40 MW ve daha yukarı güçlere sahip gaz türbinleri üretilmektedir (Saravanamuttoo, 2001).

2.3 Gaz Türbinlerinin Elemanları

Daha önce de bahsedildiği gibi bir gaz türbini esas olarak kompresör, yanma odası ve türbin kısımlarından oluşur. Bu ana elemanlara ilaveten yardımcı eleman ve sistemler olarak ilk hareket motoru, emme ve egzoz kanalları, yağlama yağı sistemi, yakıt sistemi, devir düşürme sistemi, kumanda ve kontrol sistemi, elektrik sistemi, soğutma sistemi, hava akış sistemi ve verim arttırıcı ilave sistemler sayılabilir.

2.3.1 Kompresör

Bir pompa veya kompresör esas itibarı ile aynı fonksiyondadırlar. Bu araçlar iş akışkanının basıncını arttıırırlar ve ısı ilavesi yapılacak olan bir sonraki elemana iletirler. Kompresörlerde iş akışkanı gazlardır. Bu nedenle sıkıştırmaları nedeniyle meydana gelecek giriş çıkış arasındaki kinetik enerji değişimleri ihmal edilebilir. Kompresörlerde sıcaklık artışı da ihmal edilebilir çünkü çoğu kez kademeler arasında akışkan soğutmaya tabi tutulur. Bir gaz türbini kompresörü atmosferden aldığı havayı belli bir basınca sıkıştırır. Yüksek basınçlı bu hava yanma odasına sevk edilir. Yakıtın yakılmasıyla meydana gelen sıcak gazlar türbin rotorunu çevirirler ve çıkış şaftından faydalı iş alınır. Yanma odasında açığa çıkan enerji kullanılan hava miktarı ile doğrudan orantılıdır. Bu nedenle kompresörün verimli çalışması (azami sıkıştırma-kademeler arası düşük sıcaklık) toplam sistem veriminin temelidir. Günümüzde kompresörler 35/1'e ulaşan sıkıştırma oranları ve %90'a ulaşan çalışma verimleri ile hava akımları sağlarlar (Saravanamuttoo, 2001).

Gaz türbinlerinde kullanılan kompresör tipleri :

1. Radyal akışlı kompresörler
2. Eksenel akışlı kompresörler

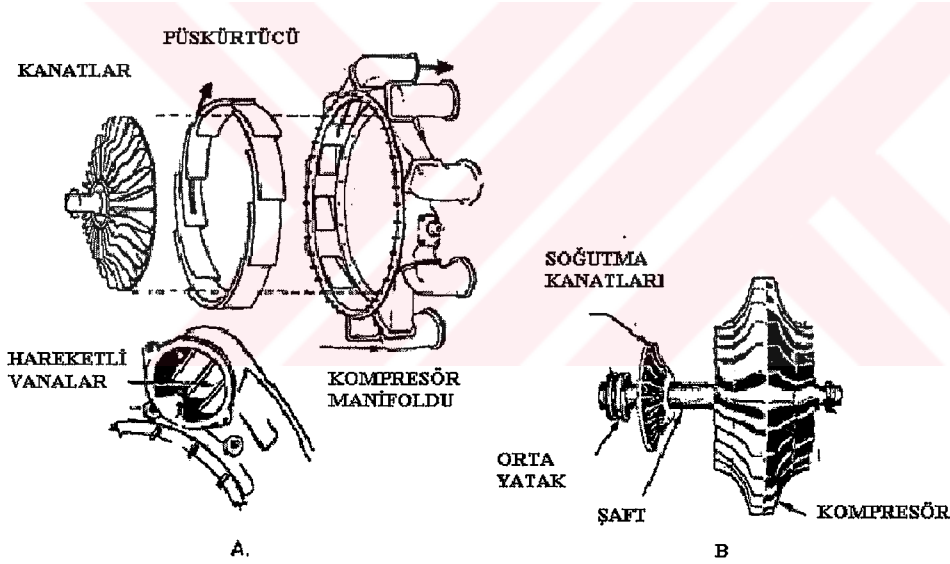
olmak üzere iki tiptir.

2.3.1.1 Merkezkaç (Radyal Akışlı) Kompresörler

Bu tür kompresörler bir şaft üzerine yerleştirilmiş ve şaftla birlikte dönen bir impeller ve gövde üzerine tesbit edilmiş sabit difüzer kanatlarından meydana gelmiştir (Şekil 2.3). Yüksek süratli yaklaşık 548-640 m/sn'lik yüksek teğetsel hızla dönen impeller havayı impeller göbeğinden emer ve yüksek dönme hızının meydana getirdiği merkezkaç kuvvetiyle radyal istikamette çevreye doğru ivmelendirerek kinetik enerjisini artırır. İmpeller kanatlarını yüksek hızla terkeden hava difüzer kanatlarına girer. Burada havanın kinetik enerjisi hızla azalarak basınç artışı sağlanır. Bu tür kompresörler küçük gaz türbinlerinde kullanılır.

Merkezkaç kompresörler tek kademeli, çok kademeli, çift taraflı tiplerde imal edilirler. Merkezkaç tip kompresörlerin özellikleri basit, dayanıklı ve ucuz olmalarıdır. Sağlam yapıları nedeniyle yabancı cisimlerin meydana getirecekleri zararlara karşı daha az duyarlıdır. Radyal akışlı kompresörün her kademesi için nispeten yüksek basınç oranı elde edilebilir. Bu kompresörlerde 2.5 - 4 arasında sıkıştırma oranında, %80-85 verim, 4 - 10 arasındaki sıkıştırma oranlarında ise %75-80 arasında verim sağlanır.

Dikkat edilirse yüksek basınç oranları verimi hızla düşürmektedir. Bunun nedeni de aşırı yüksek hızlarda impeller kanatlarının ucunda şok dalgası oluşumudur. Bazı merkezkaç akışlı makinalarda çok kademeli kompresörler kullanılarak daha yüksek basınç oranları sağlanır.

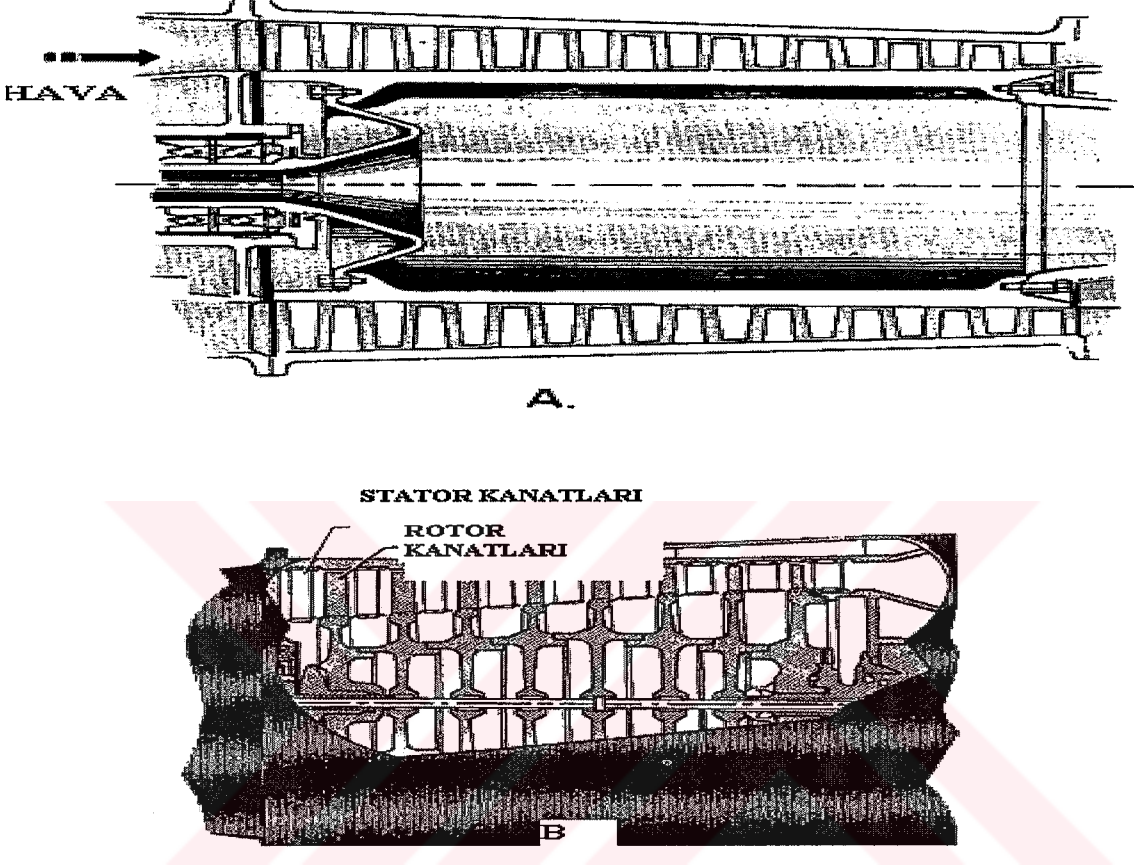


Şekil 2.3 Merkezkaç kompresör (A. Tek Girişli B. Çift Girişli)

Bu kompresörler bir seri dönen kanatlar ile bir seri sabit kanatlardan oluşmuştur. Hava makinanın eksenine paralel bir yönde sıkıştırılır. Kompresör rotor şaftı üzerine geçirilmiş bir seri disklerin çevresine yerleştirilmiş hareketli rotor kanatları ve gövdesi üzerine monte edilmiş bir seri sabit stator kanatlarından meydana gelmiştir. Kompresör girişindeki giriş kılavuz kanatçıkları (IGV: Inlet Guide Vane) sırasında basınç artışı yoktur. Bunlar nozul

görevi görürler ve hava akışını hızlandırarak birinci kademe hareketli rotor kanatlarına uygun açılarda girmesini sağlarlar.

2.3.1.2 Eksenel Akışlı Kompresörler



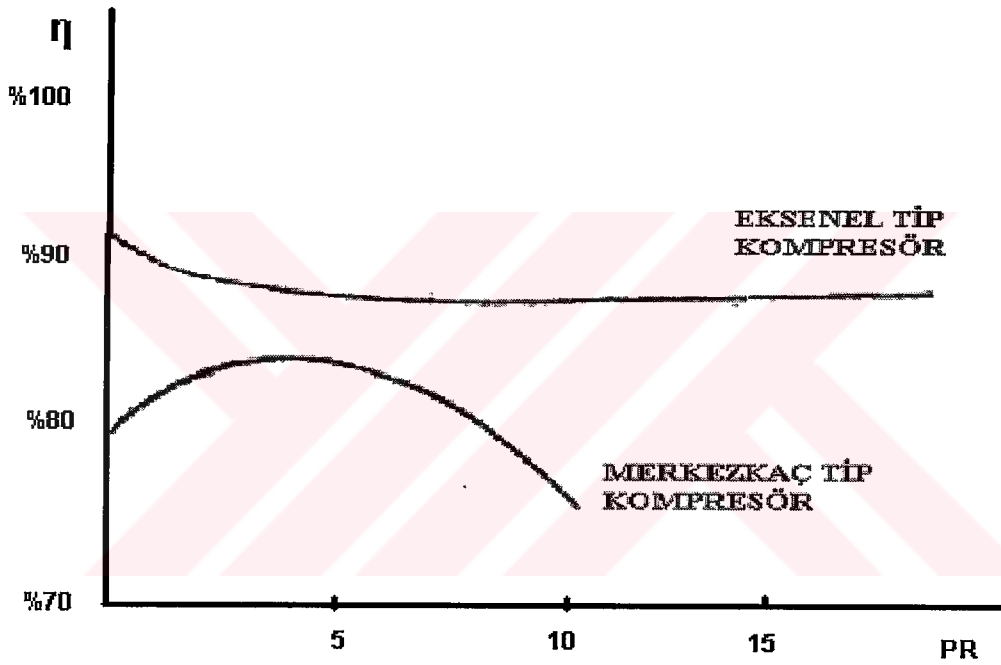
Şekil 2.4 Eksenel kompresör rotorları (A. Dram Tip B. Disk Tip)

Bir kompresör kademesi bir rotor kanat sırasıyla bunu takip eden bir stator kanat sırasından oluşur. Eksenel akışlı kompresör her biri belirli miktar basınç artışı sağlayan çok sayıda kademedan meydana gelir (Şekil 2.4). İstenen toplam sıkıştırma oranına göre kademe sayısı 6-20 arasında olabilir. Eksenel akışlı kompresörler çok yüksek basınç oranına ve yüksek verime sahip olmakla büyük bir üstünlük sağlar. Sıkıştırma için kullanılan sabit ve dönen kanatların sayısı büyük gaz türbinlerinde bin civarındadır. Bu tür kompresörler çok karışık ve imalatları çok pahalıdır. İyi tasarlanmış eksenel akışlı bir kompresörde basınç oranı 8/1 olduğu zaman kompresör verimi %82-88'e kadar çıkar.

Eksenel kompresörlerde basınç oranı her kademe aynı olmakla beraber gerçek basınç yükselmesi kompresörde ilk kademedan son kademeye doğru gittikçe büyür. Ayrıca basınç

oranı dönme hızına bağlı olarak artar ve azalır. Keza içeriye alınan havanın sıcaklığı arttıkça hava yoğunluğunun düşmesine bağlı olarak basınç oranı düşer. İdeal basınç oranı çıkışta en yüksek basıncı yaratan sıkıştırıcıdır. Kompresör diskindeki kanatların boyu kompresörün sonuna doğru gittikçe küçülür ve kompresör içindeki hava nisbeten sabittir. Eğer kompresörde hava sıkıştırılmakta ise havanın çıkış hızı kompresörün son kademelerine doğru yavaşlayacaktır. Yüksek verimli bu kompresörün imalat zorluğu nispeten yüksek maliyet ve ağırlığı vardır.

Her iki kompresörün verim karşılaştırması Şekil 2.5'te olduğu gibidir.



Şekil 2.5 Kompresör verimleri (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

2.3.2 Yanma Odası

Yanma odası, gaz türbininin en basit yapıya sahip elemanıdır. Bununla beraber tasarımı ve geliştirilmesi teorik çalışmalardan çok deneysel ve pratik çalışmalara ve uzun sürede kazanılan tecrübelerle dayanmaktadır. Kısaca belirtmek istersek, yanma odasının görevi iş akışkanı olan havaya ısı enerjisi kazandırmaktır. Bu amaçla yakıt yanma odasında doğrudan doğruya yüksek basınçtaki çalışma havası içinde yakılır, diğer bir ifade ile yanma odası doğrudan ısıtılmalı bir hava ısıtıcısıdır.

Çalışma değerlerini şöyle özetlenebilir; yanma odası giriş sıcaklıkları kompresör basınç oranına bağlı olarak basit gaz türbini için 121-515 °C, rejeneratörlü gaz türbini için 370-594 °C düzeyindedir. Yanma odası çıkış sıcaklıkları sanayi tipi ağır gaz türbinlerinde 648-815 °C, uçak gaz türbinlerinde ise 787-1260 °C civarında olup bunun 1260-1370 °C seviyesine çıkartılması için çalışmalar yapılmaktadır. Yanma odasındaki hava basıncı tam yük için ufak gaz türbinlerinde 3 bar, büyük ve karmaşık gaz türbinlerinde ise 250 bar düzeyindedir (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998).

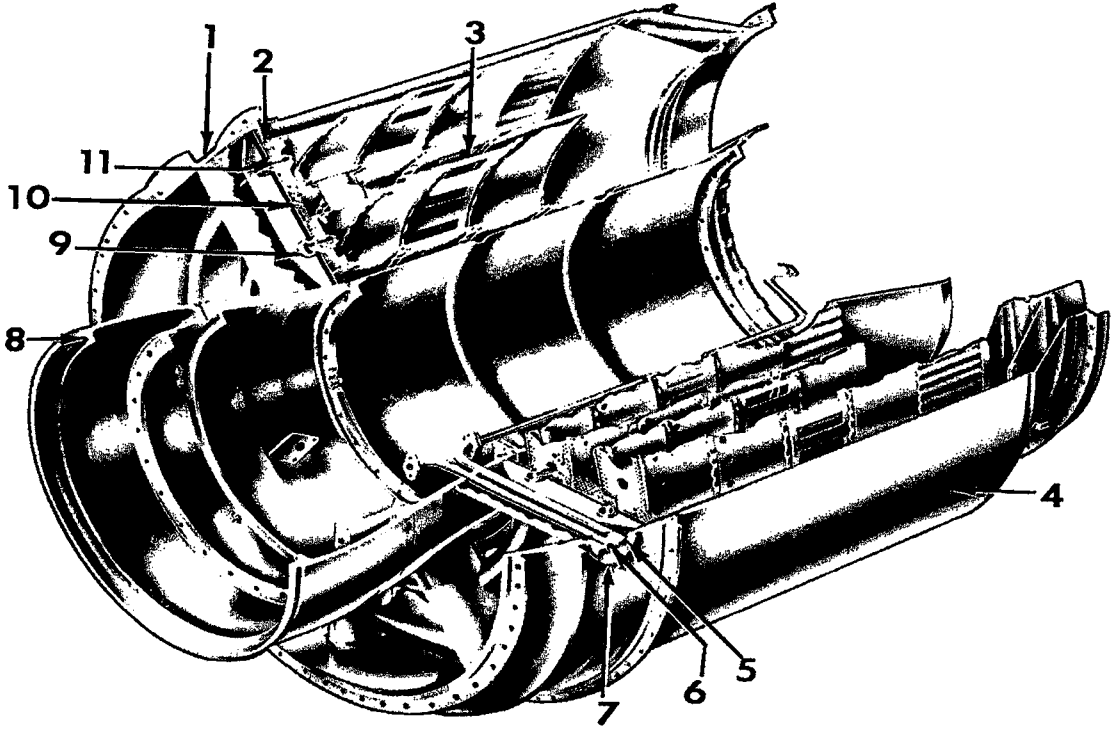
Gaz türbinlerinin saniyede birkaç yüz litreye varan büyük miktarlarda hava kullanması, çalışma havasına çok küçük bir hacimde büyük miktarlarda ısı enerjisi beslemesini gerektirir. Örneğin, modern uçak gaz türbinlerinde kullanılan yanma odalarında açığa çıkan enerji 4308 kW/m/sn düzeyindedir. İş akışkanının dolaylı olarak ısıtıldığı buhar kazanlarında açığa çıkan ısı enerjisi ise 1,5-21,5 kW/m/sn arasındadır. Dolayısıyla yanma odalarında meydana gelen sıcaklıklar da çok yüksek olup yanmanın olduğu bölgedeki alev sıcaklığı 1648-1926 °C civarındadır. En yüksek alaşımlı çeliklerin bile eriyeceği bu sıcaklıklar yanma odasının sıcaklığa maruz yüzeylerinde birtakım önlemlerin alınmasını gerektirir. Bu nedenle yanma odasında beslenen havanın 1/3 'ünden az kısmı yanma için kullanılırken kalan büyük kısmı yanma odası cidarlarını malzemenin dayanabileceği sıcaklığa kadar soğutmak için kullanılır (Şekil 2.6).

2.3.2.1 Yanma Odası İçin Gerekli Özellikler

İyi bir yanma odası için gerekli olan özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz :

1. Yüksek yanma verimi
2. Minimum basınç kaybı
3. Çıkış sıcaklığı düzgünlüğü
4. Yanma kararlılığı
5. Ateşleme kolaylığı, pozitif ateşleme
6. Düşük materyal sıcaklığı
7. Kısa alev boyu
8. Az karbon oluşumu
9. Temiz egzoz

Bunların ilk üçü doğrudan gaz türbini performansını etkileyen özelliklerdir. Yanma verimi yakıt sarfiyatını, basınç kaybı ise hem yakıt sarfiyatını hem de gaz türbininden elde edilen net işi etkiler. Basınç kaybının minimum seviyede tutulması kısa yanma odası boyu ve düşük akış debisi kullanılmasını gerektirir. Diğer taraftan yanmanın iyi olması için hava miktarının belirli limitler içinde tutulması gerekir ve kısa yanma odası boyu türbin kanatlarının alev maruz kalmasına sebep olur. Ayrıca hava akış hızı çok yüksekse alev türbin girişine doğru kayacak, hava hızı çok düşükse alev nozul ucuna doğru geri teperek sönecektir. Dolayısıyla bu özelliklerden bazıları birbiri ile çelişkili özelliklerdir. Çıkış sıcaklığının düzgünlüğü faydalanılabilen türbin giriş sıcaklığını belirleyeceği için gaz türbininden elde edilen net işi etkiler. Sıcaklık dağılımı düzgün değilse ortalama türbin giriş sıcaklığı düşecek, bu ise gaz türbini performansını etkilememekle beraber kararlı çalışma ve uzun bir çalışma ömrü için gerekli özellikler olup eşit derecede önem taşırlar. Yanma kararlılığı, geniş bir yakıt/hava oranı bölgesinde yanmanın dengeli olması ve rölantiden tam yüke kadarki yük değişimlerinde yanmanın kaybolmaması anlamını taşır. Ateşlemenin gecikmesi sebebiyle yanma odasında birikecek yakıtın meydana getireceği sıcak çalıştırmaya (hot start) mani olmak için ateşleme kolaylığı veya pozitif ateşleme özelliği gereklidir. Düşük malzeme sıcaklığı yanma odasına uzun bir çalışma ömrü sağlamak için gerekli bir özelliktir ve ancak yanma odası cidarlarında soğutma uygulamasıyla mümkündür. Yanma odasında karbon birikimi, birikimin meydana geldiği bölgelerin sıcak gaza maruz yerlere nazaran daha düşük sıcaklıkta olmasına ve dolayısıyla yerel deformasyonlara sebep olur. Bunun yanısıra kopabilecek karbon parçaları türbin kanatlarının tahrip olmasına sebep olabilir. Kısa alev boyu türbin kanatlarının doğrudan alev maruz kalmaması için gerekli bir özelliktir. Temiz egzoz, minimum çevre kirliliği için istenen bir özelliktir ve doğrudan doğruya yanma odasındaki yanma işlemiyle ilgilidir. Yukarıda belirtildiği gibi bütün bu özelliklerin çoğu birbirinden bağımsız olmakla beraber bazıları birbiriyle çelişkilidir.



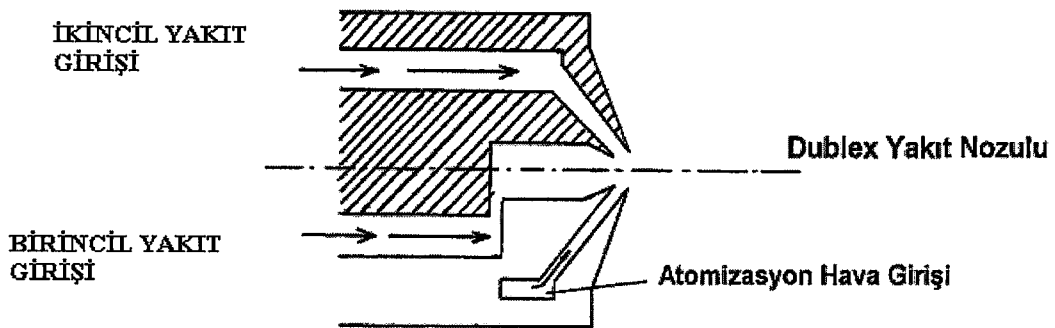
Şekil 2.6 Yanma odası iç yüzeyi (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

2.3.3 Yakıt Nozulları

Yakıt nozullarının görevi iki maddede özetlenebilir;

- Yakıtı yanma odasına buharlaşmış veya çok ince şekilde pulvarize edilmiş olarak püskürtmek
- Yakıtın birinci bölgede düzgün dağılımını sağlamak

Bu maksat için yakıt nozullarında kullanılan en yaygın metod yakıtı yüksek basınçla özel tasarlanmış bir orifisten geçirmektir (Şekil 2.7).

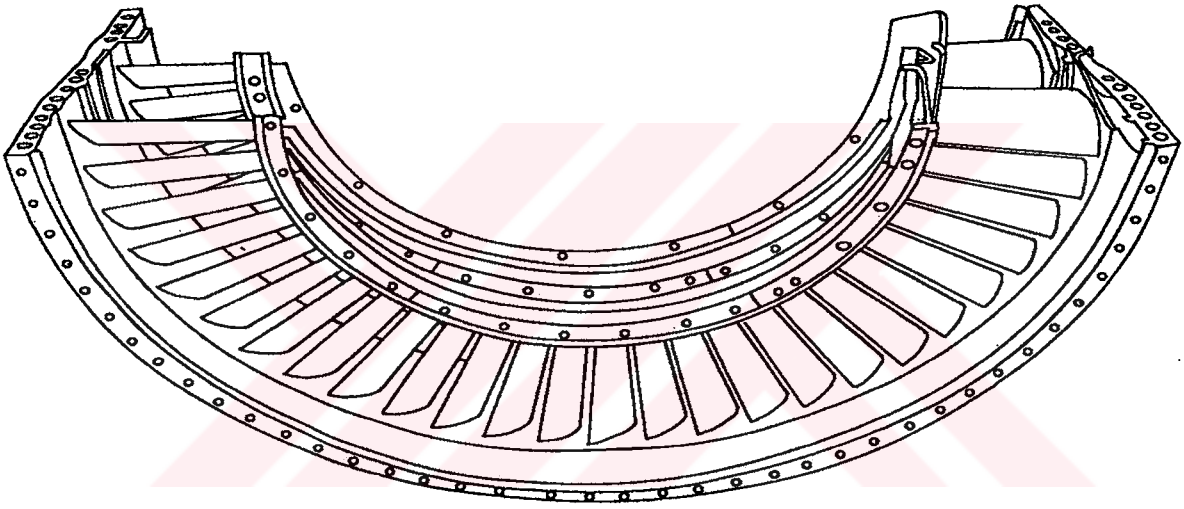


Şekil 2.7 Yakıt nozulu modeli (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

2.3.4 Türbin

Türbin; yanma odasını terkeden sıcak gazların enerjisini mekanik dönme enerjisine çevirerek hem kompresör ve yardımcılara hem de yüke iletir. Türbinin sağladığı gücün kompresör ve yardımcılara harcanan kısmı $2/3$ 'e kadar çıkar.

Türbin tekeri makinanın en yüksek gerilmeye uğrayan kısımlarından biridir. Bu bölüm yalnız $1260\text{ }^{\circ}\text{C}$ civarında çalışmak zorunda kalmaz aynı zamanda dönüş hızlarının doğurduğu merkezkaç yüklere de cevap vermek zorundadır. Sonuç olarak türbini emniyetli çalışma sınırları içinde tutmak için makina hızını ve türbin giriş sıcaklığını devamlı olarak kontrol altında bulundurmak gerekir.



Şekil 2.8 Türbin stator kesit görünüşü (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

Türbin tekeri iki önemli kısımdan oluşmaktadır; disk ve kanatlar. Disk içerisinde fazla oranda krom, nikel ve kobalt ihtiva eden çelik alaşımı olmakla birlikte statik ve dinamik olarak dengelenmiştir. Disk dövüldükten sonra makinadan geçirilerek şekil verilir. Yapısal düzgünlüğünün kontrolü için de röntgen ışınları ve diğer kontrol yöntemleri ile iyice incelenir (Şekil 2.8).

2.3.4.1 Türbin Tipleri

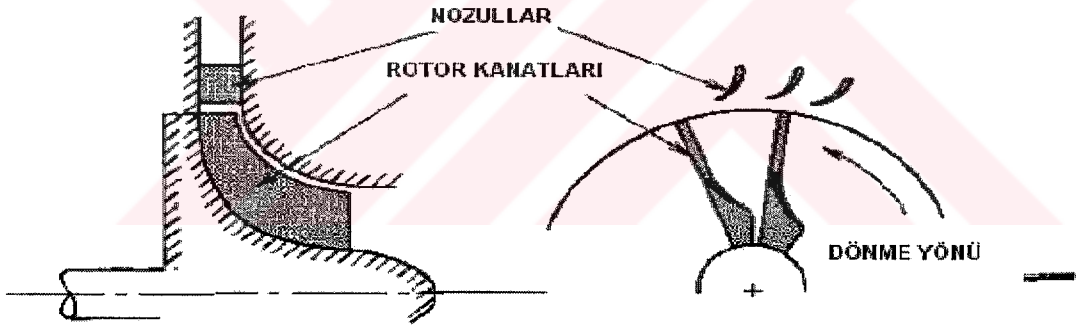
Türbinler kompresörlere benzer şekilde temel olarak iki tipe ayrılırlar. Bunlar ;

1. Radyal akışlı türbinler
2. Eksenel akışlı türbinler

- a. İmpuls tipi türbinler
- b. Hız basamaklı impuls türbini
- c. Basınç basamaklı impuls türbini
- d. Tepki (Reaksiyon) türbinleri
- e. Tepki - İmpuls türbini

2.3.4.1.1 Radyal Akışlı Türbinler

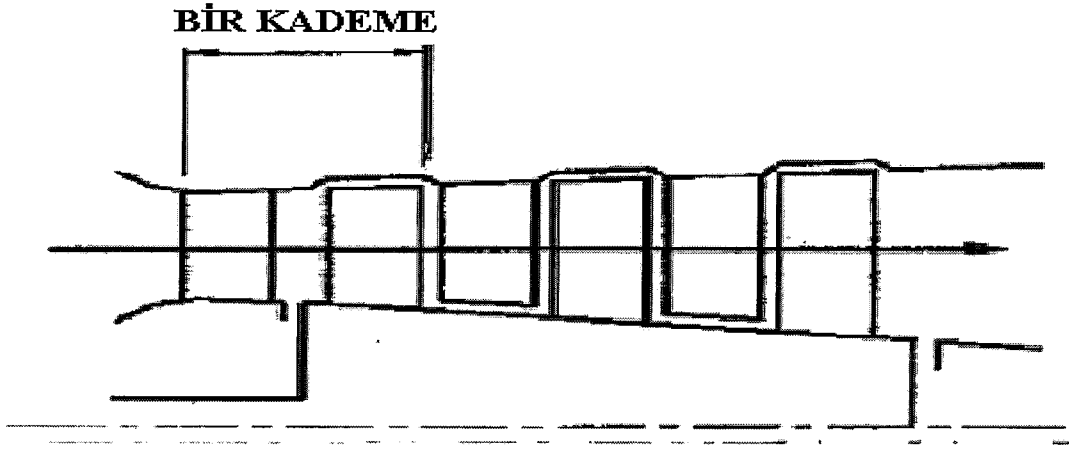
Eksenel akışlı olanlara oranla daha az güç verdiklerinden çoğunlukla yardımcı makinaları döndürmekte kullanılırlar. Yapısal olarak aynı tip kompresörlere benzerler. Tek taraflı veya çift taraflı pervane kanatlarına sahip olup sıcak gazlar çevreden merkeze doğru akarken pervaneyi çevirirler ve shaft etrafından (göbekten) atmosfere atılırlar. Bu tip türbinlerin kullanım sahası çok kısıtlıdır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Radyal akışlı türbin (Batthie, 1995)

2.3.4.1.2 Eksenel Akışlı Türbinler

Dış gövdeye takılan sabit kanatlar ve tambura takılan dönen kanatlardan oluşur. Türbinin sabit kısmı shaft eksenine dik bir düzlem üzerinde duran kanatlar arasındaki boşluk bir daralan boğaz özelliği gösterir. İçinden geçen gazın basıncını düşürerek hızını artırır ve dönen kanatlara doğru yönlendirir. Dönen kanatlara çarpan gaz kinetik enerjisini kanatlara vererek tamburun dönmesini sağlar (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Eksenel akışlı türbin

1. İmpuls Tipi Türbin

Sıcak gaz genişlerken sabit kanatlar arasındaki daralan boğazlardan geçer. Isı ve basınç enerjisi kinetik enerjiye dönüşür. Yüksek hızdaki gaz uygun bir açıda dönen kanatlara çarpar. Kinetik enerjinin büyük bir kısmı türbin şaftında işe çevrilir. Döner kanatlarda kuramsal olarak hiç bir basınç düşmesi veya genişleme olmaz.

2. Hız Basamaklı İmpuls Türbini

Birinci sırada daralan boğazdan çıkan gaz impals türbininde olduğu gibi dönen kanatlara çarpar. Bununla beraber, bu sırayı geride bırakan gaz gövdeye yerleştirilmiş olan sabit kanatlar arasından geçer ve tekrar ikinci dönen kanat sırasına yönlendirilir. Gazlar üzerinde kalan kinetik enerjiyi de bu sırada bıraktıktan sonra atmosfere atılırlar.

3. Basınç Basamaklı İmpuls Türbini

Gazın genişmesi birkaç kademeye bölünmüştür. Her kademe bir veya bir seri daralan boğaz (nozül) ve ardından gelen bir sıra dönen kanatlardan oluşmuştur. Her daralan boğaz sırasında (nozulda) gazın kinetik enerjisi artırılır ve ardından gelen dönen kanat sırasında bu enerjinin büyük bir kısmı yutularak türbin şaftında yararlı işe çevrilir.

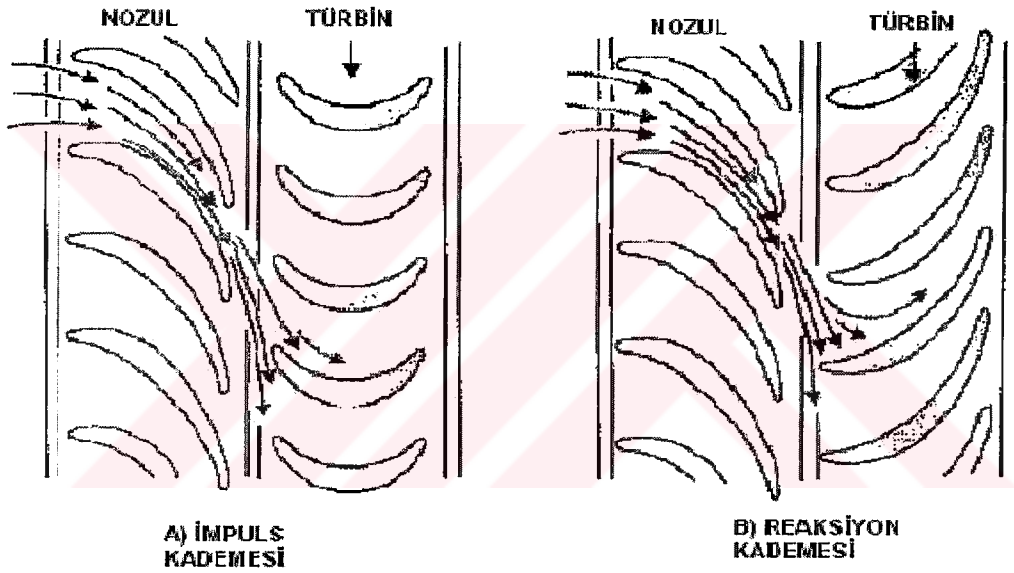
4. Tepki (Reaksiyon) Türbinleri

Daralan boğazlar (sabit kanatlar) ve dönen kanatlar aynı kesite sahiptir. Basınç hem sabit hem de dönen kanatlarda azalır. Ancak hız, sabit kanatlarda arttığı halde dönen kanatlarda azalır.

Sabit kanatlardan geçen gaz genellikle dönen kanatlardan daha yüksek bir hızda bunların üstüne yönlendirilir. Sabit kanatlar bir Impuls türbininin daralan boğazlarının görevini yaptığından tepki türbinleri bu açıdan impuls türbinlerine benzer. Bununla beraber tepki türbininde kullanılan hızlar daha düşüktür ve dönen kanatlara giren bağıl hızın yönü hemen hemen akseneldir .

5. Tepki - İmpuls Türbini

Dönen kanatlara verilen güç, yükün kanat dibinden kanat ucuna kadar dengeli olarak dağılmasını sağlayacak bir kesittir. Kanat dibi impuls türbinlerindeki kesitte, ucu ise tepki türbinlerindeki uç kesitindedir (Şekil 2.11) .



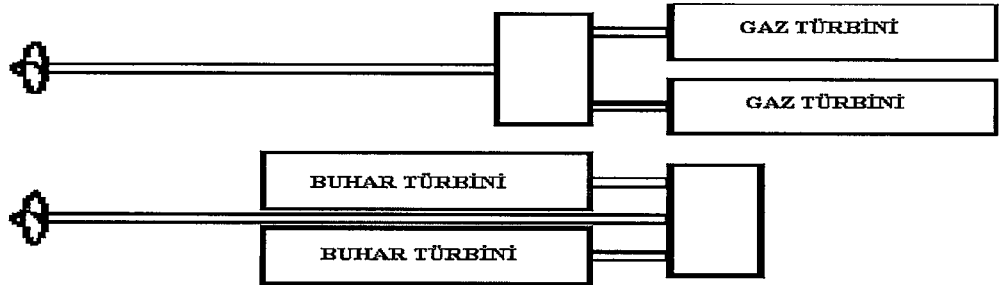
Şekil 2.11 Tepki-impuls türbini (Batthie, 1995)

2.4 Gaz Türbinlerinin Gemilerde Uygulanması

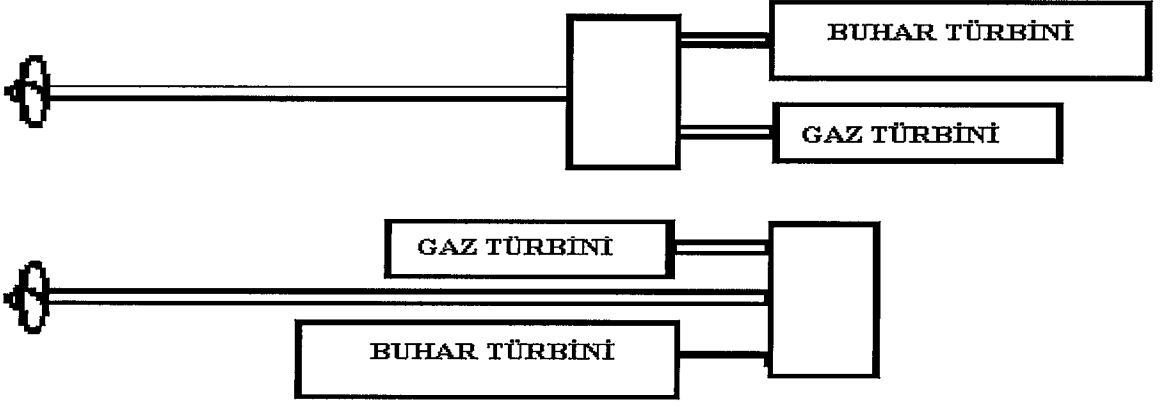
1950'lerin başlarında uçaklarda uygulanmaya başlayan gaz türbini sistemlerinin başarı kazanması sonucunda bu sistemlerin özellikle gemilerde, trenlerde, arabalarda ve kamyonlarda kullanılması düşünülmeye başlanmıştır. İlk gaz türbinlerinin düşük sıkıştırma oranı ve türbin giriş sıcaklığı nedeniyle düşük verimle çalışmaları önceleri bu konuda çalışmaların hızlı ilerleyememesine yol açtı. Trenlerde ve kamyonlarda yapılan ilk uygulamalar başarısızlıkla sonuçlandı. Ancak 1990'ların sonunda gaz türbinleri ticari gemilerde dahil olmak üzere birçok alanda tekrar kullanılmaya başlanmıştır.

Savaş gemilerinde ise 1947 yılından itibaren artan oranlarda gaz türbini kullanımına geçilmiştir . Bunda en büyük etken gaz türbininin kompakt bir yapıya sahip olması , yüksek güç yoğunluğu sağlaması ve düşük gürültü seviyesinde çalışması olmuştur. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Kanada, Hollanda, Japonya gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülke donanması gaz türbinli gemileri başarıyla kullanıma soktular. Bu süreç 1958 yılından itibaren daha da hız kazanmıştır. Nitekim ülkemizde de donanma gemilerimiz 1998 yılından itibaren gaz türbinli gemi işletmesinde önemli bir yol katetmiş ve donanmamızda gaz türbini/bütünleşik tahrikli gemi sayısı 12'ye ulaşmıştır.

Gaz türbinlerinin donanma gemilerinde kullanılmasına yönelik en büyük sorun kısmi yüklerdeki yüksek özgül yakıt tüketimi olarak belirmiştir. Bu nedenle gaz türbinleri ile diğer ana makine türlerinin bütünleşik olarak kullanılması fikri ön plana çıktı. Nitekim bunun ilk uygulaması gaz türbini ve buhar türbini kombinasyonu olmuştur (Şekil 2.12-2.13), (COSAG: Combined Steam and Gas Turbine), (COSOG: Combined Steam or Gas Turbine). Tüm bütünleşik sistemler başındaki CO (combined) yani bütünleşik ifadesiyle başlayıp S (steam), D (Diesel), G (gas turbine) ifadeleriyle devam edecek şekilde tanımlanmıştır.

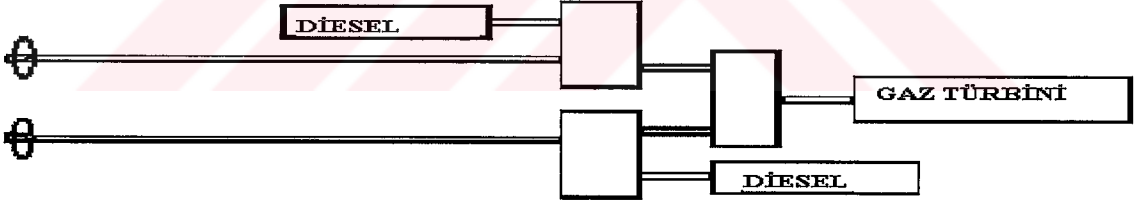


Şekil 2.12 Bütünleşik buhar ve gaz türbini tahrik sistemi

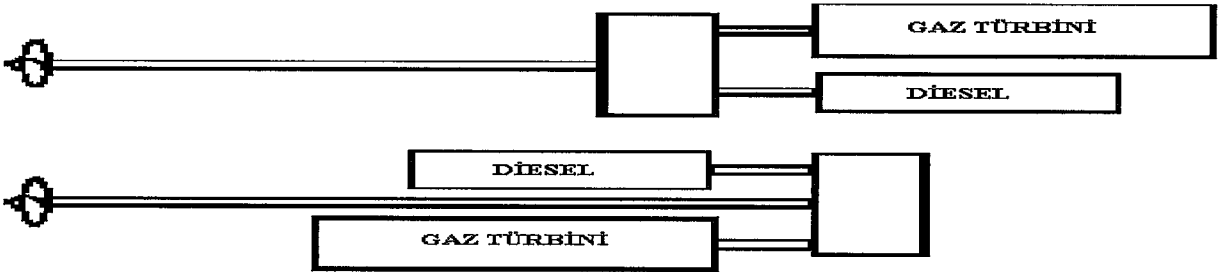


Şekil 2.13 Bütünleşik buhar veya gaz türbini tahrik sistemi

Buhar ve gaz türbini bütünleşik tahrik sisteminden sonra savaş gemilerinde bütünleşik Diesel motoru ve gaz türbini sistemleri kullanılmaya başlandı. Bu sistemlerde Şekil 2.14 –2.15’de gösterildiği gibi yüksek süratler için gaz türbini, ekonomik veya düşük süratler için Diesel motorlar kullanılmıştır (CODOG : Combined Diesel or Gas Turbine , CODAG: Combined Diesel and Gas Turbine).

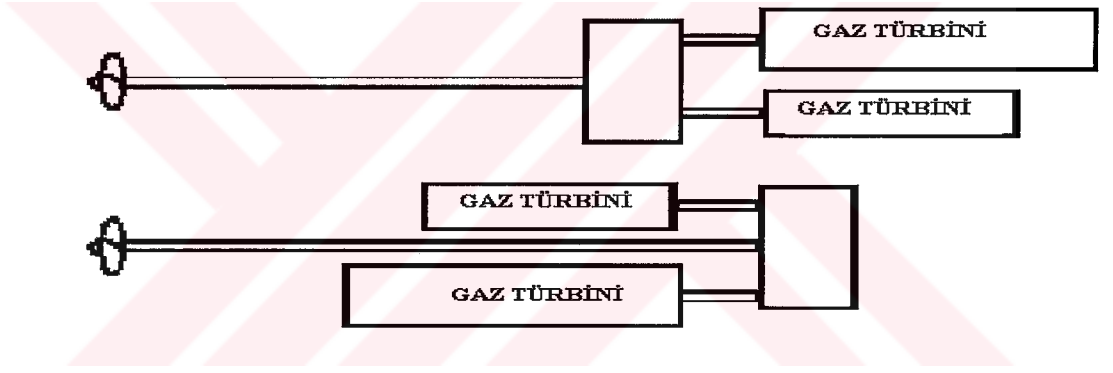


Şekil 2.14 Bütünleşik Diesel ve gaz türbini tahrik sistemi

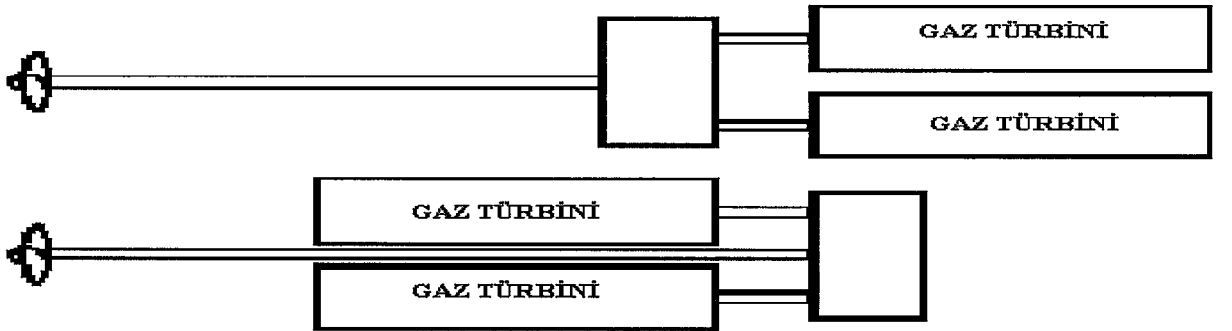


Şekil 2.15 Bütünleşik Diesel veya gaz türbini tahrik sistemi

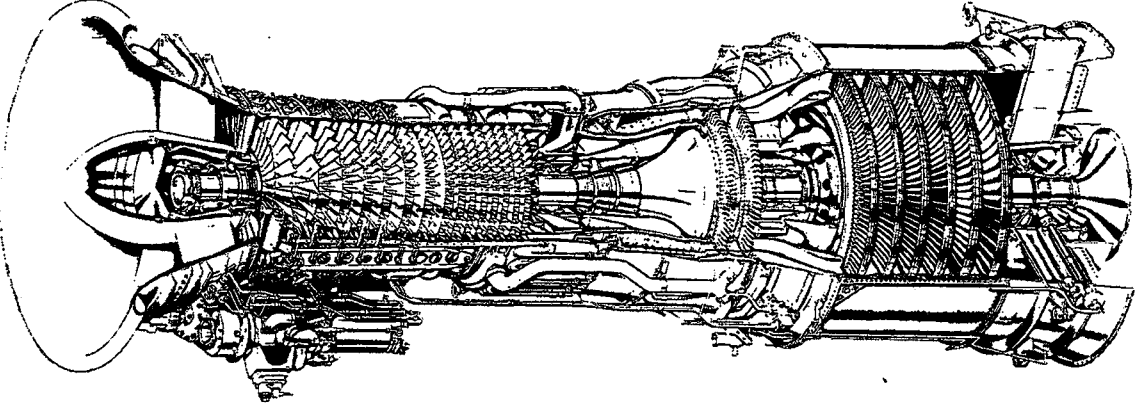
Diesel motoru ve gaz türbini kombinasyonları özellikle düşük süratlerde yakıt sarfiyatı açısından avantaj sağlasa da savaş gemilerinin önemli parametrelerinden olan yer ihtiyacı ve gürültü açısından dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Bu nedenle araştırmalar devam etmiştir. Gaz türbininin bir başka gaz türbiniyle birlikte kullanılarak bu dezavantaj aşılmaaya çalışılmıştır. Özellikle küçük bir gaz türbini (4-5 MW) ile daha büyük bir gaz türbini (20-25 MW) kombinasyonu (COGOG: Combined Gas Turbine or Gas Turbine) ön plana çıkmıştır (Şekil 2.16). Ancak yakıt tüketiminin artması donanmaları tekrar bütünleşik Diesel motoru veya gaz türbini tahrik sistemine (CODOG) yöneltmiştir. Amerikan donanması ise bütünleşik gaz türbini ve gaz türbini (COGAG) (Şekil 2.17) modelini benimseyerek birçok gemisinde GE LM2500 (Şekil 2.18) kullanarak bu tahrik sistemini uygulamıştır (Saravanamuttoo, 2001).



Şekil 2.16 Bütünleşik gaz türbini veya gaz türbini tahrik sistemi



Şekil 2.17 Bütünleşik gaz türbini ve gaz türbini tahrik sistemi



Şekil.2.18 GE LM-2500 gaz türbini (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

Dünyadaki ilk tüm makineleri gaz türbini olan savaş gemisi 1970 yılında Kanada tarafından yapılan DDH-280 sınıfı fırkateyn olmuş ve bu gemide Pratt and Whitney'in FT-4s gaz türbini yüksek süratler, FT-12s gaz türbini ise düşük süratler için kullanılmıştır (Saravanamuttoo, 2001).

1970'lerin başlarında ticaret gemilerinde de gaz türbini kullanımına ağırlık verildi, ancak yakıt sarfiyatının o dönemde önem kazanması sonucu gaz türbini ile tahrik edilen gemilerden bu makineler sökülerek yerlerine Diesel motorlar takıldı. 1990'larda ise ticari gemilerde gaz türbini kullanımı yeniden gündeme geldi ve özellikle GE LM 2500 , GE LM 1600, Solar Taurus ve ABB GT35 gaz türbinleri bu gemilerde kullanılmaya başlanmıştır.

Ana tahrik sisteminin yanı sıra özellikle 1980'lerin sonlarına doğru Allison 570 gaz türbinlerinin gemilerde elektrik üretiminde jeneratör olarak kullanılması oldukça yaygın bir şekilde görülmeye başlandı.

Günümüzde gemilerde kullanılan başka bütünleşik tahrik sistemleri olmakla birlikte özellikle gaz türbini ağırlıklı sistemler anlatılmaya çalışılmıştır. Çizelge 2.1'de gemilerde kullanılan tüm bütünleşik tahrik sistemlerini görmek mümkün olacaktır.

Çizelge 2.1 Bütünleşik gemi tahrik sistemleri

TEK MAKİNE KULLANILAN SİSTEMLER	İKİ MAKİNE KULLANILAN SİSTEMLER	ÇAPRAZ BAĞLI SİSTEMLER
CODAD (Combined Diesel and Diesel)	CODOG (Combined Diesel or Gas Turbine)	CODOGX (Combined Diesel or Gas Turbine)
COGAG (Combined Gas Turbine and Gas Turbine)	CODAG (Combined Diesel and Gas Turbine)	CODAGX (Combined Diesel and Gas Turbine)
COSAS (Combined Steam Turbine and Steam Turbine)	COGAS (Combined Gas Turbine and Steam Turbine)	CODADX (Combined Diesel and Diesel)
	CONAS (Combined Nuclear and Steam Turbine)	COGAGX (Combined Gas Turbine and Gas Turbine)
	CONAG (Combined Nuclear and Steam Turbine)	COGAGX-DX (Combined Gas Turbine and Gas Turbine - Diesel)
	COSAG (Combined Steam Turbine and Gas Turbine)	

2.5 Gaz Türbinlerinin Diğer Makinalarla Karşılaştırılması

Gaz türbinleri diğer makinelere göre çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Bu avantaj ve dezavantajlar değerlendirilirken ihtiyaç duyulan makine sisteminden neler beklendiği, sistemin ne amaçla kullanılacağı, nerede ve hangi koşullarda kullanılacağı büyük önem arz etmektedir. Burada bu avantaj ve dezavantajlar belirtilmiştir.

2.5.1 Basitlik, Ağırlık, Büyüklük

Gaz türbinin avantajlarından biri basit yapıya sahip olmasıdır. Buhar türbinleri ise sistemin çalışmasını sağlayan kazanlar, körükler, tulumbalar, yakıt teçhizatı, kondanserler, yüzlerce metrelik boru devreleri ve valflarla birlikte karmaşık, çok yer işgal eden ve ağır bir sistemdir. Toplam tekne hacminin yarısına yakın yer işgal etmeleri harp gemilerinde şok ve savaş hasarlarına karşı büyük zafiyet meydana getirir. Bütün bir gaz türbini, buhar sisteminin sadece yüksek basınç veya alçak basınç türbiniyle veya kondanseriyle aynı büyüklüktedir.

Dolayısıyla buhar türbini ile karşılaştırıldığında gaz türbini gerek basitlik gerekse ağırlık ve hacim açısından büyük avantaj sağlanmaktadır. Aynı şaft beygir gücünün elde edilmesi için buhar türbinin gaz türbininden takriben üç misli ağır olması, Diesel motorunsa güce bağlı olarak gaz türbininden iki ile beş misli ağır olması gerekmektedir. Halen harp gemilerinde kullanılmakta olan uçak gaz türbinlerinden türetilmiş gemi gaz türbinlerinin özgül ağırlıkları 4.5-9 kg/SHP olup aynı rakam buhar türbinleri için 18-27 kg/SHP, Diesel motorlar için 34 kg/SHP civarındadır.

Hafiflik muhrip ve büyüğü harp gemileri için ilk planda önemli bir etken olmayabilir. Ancak hafifliği ve az yer işgal etmesi özellikle hidrofoil, hücumbot, karakol gemisi ve fırkateyn gibi küçük gemilerde gaz türbinine büyük avantaj sağlar. Diğer taraftan muhrip ve daha büyük gemiler için gaz türbinin hafifliği gemi dengesi açısından menfi bir faktördür. Çünkü geminin ağırlık merkezine göre aşağıda bulunan ana makinaların ağırlığı gemi dengesinin sağlanmasında önemli rol oynar. Gaz türbinleri çok miktarda hava kullanan makinalardır. Hava-yakıt oranları gaz türbini için 62/1 iken Diesel motorlar için 40/1, buhar türbinleri için ise sadece 17/1 civarındadır. Dolayısıyla büyük ve ağır emme ve egzoz manifoldlarına ihtiyaç gösterilir. Bu durum geminin ağırlık merkezi yukarısına ağırlık ilavesi anlamına geldiği için gemi dengesinin daha da azalmasına sebep olacaktır.

Gaz türbinleri küçük ve hafif olmaları nedeniyle büyük arızalarda veya bakım sırasında komple makinanın emme manifoldundan kolayca çıkarılması ve yeni makinanın montesi mümkündür, mevcut uygulamada bu 24 saat içindedir. Aynı şey gaz türbini bünyesindeki yakıt sistemi, yağlama sistemi, kontrol sistemi, vs. gibi yardımcı sistemler için de geçerlidir. Arızalı parça gemi yedeklerinde mevcutsa gemi personeline bir kaç saat içinde değiştirilmesi mümkündür. Özellikle modül halinde tasarlanmış gaz türbinlerinde kompresör, yanma odası, türbin gibi ana elamanların bile gemide değiştirilmesi mümkündür. Buna karşılık, seyir sırasında yardımcı makinalar üzerinde onarım ve değiştirme yapılabilmesine rağmen buhar türbininin kendisi ve kazan gibi ana elemanları üzerinde değiştirme ve onarım işlemlerinin yapılması mümkün değildir.

2.5.2 Güvenilirlik, Kullanma Deneyimi, Bakım

Genel olarak buhar türbinlerinin ve gaz türbinlerinin her ikisinde iyi bir çalışma güvenilirliğine sahiptir. Buhar türbinleri uzun senelerdir bilinen ve kullanılan bir makina olarak üzerlerinde gerek işletmecilik gerekse onarım açısından büyük tecrübe birikimi olan makinalardır. Uzun bir kullanma ömrüne sahiptirler ve bakımlar arası ortalama süre (MTBO: Mean time between Overhauls) uzundur. Buhar sıcaklığının 537 °C, basıncının 40 bar'ın altında tutulması sistemin sorunsuz ve emniyetli bir şekilde çalışmasına büyük ölçüde katkıda bulunmaktadır. Gaz türbinleri daha kısa MTBO için yüksek güvenilirlik sağlayabilirler, bu sürenin yakın bir gelecekte 20000 saate ulaşacağı beklenmektedir. Gaz türbinlerinde MTBO kısa olmakla beraber bu süre içinde sağladıkları güvenilirlik buhar türbinlerinden yüksektir. MTBO nin kısa olması esas olarak çok yüksek sıcaklığın mevcut olduğu sıcak kısım (yanma odası ve ilk türbin kademeleri) deformasyonundan ileri gelmektedir. Gaz türbinlerinde görülen arızaların önemli özelliği saniyelerle ölçülen çok kısa zaman içinde oluşmaları ve büyük hasarlarla neticelenmeleridir.

Gaz türbinlerinin yüksek güvenilirliğe ve daha kısa MTBO ya sahip olması buhar türbininden farklı bakım ve onarım prensiplerinin uygulanmasını gerektirmektedir. Kısa MTBO ve kolay sökülüp-takmanın bir neticesi gaz türbinin buhar türbini veya Diesel motorlu gemide bakım yapılmasının yerine komple bakımı yapılmış gaz türbiniyle değiştirilmesi yönteminin benimsenmesidir. Bu yöntem havacılıkta uygulanmakta olanın benzeridir. Dolayısıyla geminin makina bakımı için tersanede uzun süre görev dışı kalma zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Gemide yapılması gereken bakım ve onarım işlemleri oldukça basittir. Bakım işlemleri sadece kontroller, kompresör temizliği ve gerektiğinde modül veya parça değişiminden ibarettir. Bu kapsamındaki işlemler minimum özel aparat, minimum eğitim ve beceri ile gerçekleştirilebilir. Ayrıca gemide bulundurulması gereken yedek parça sayısı çok azdır.

2.5.3 Yedek Parçalar, Maliyet

Gaz türbinlerinin değiştirilebilir parçalar, komponentler ve modüllerden meydana gelmesi imalatı seri üretim tekniklerinin kullanılmasını sağlamıştır. Dolayısıyla gerek ana elemanlarda gerekse yardımcı sistemlerde kullanılan parçalarda tam bir standardizasyon sağlanmıştır. Diğer taraftan buhar türbinleri özel imalatı gerektiren parçalara sahiptir. Örneğin buharlı muhripte 40 adet türbofit tulumbası mevcutsa bunlarda kullanılan shaft, yatak, vs. gibi parçalar farklı ölçülerde olmakta ve birbirinin yerine kullanılmamaktadır. Bu durum gemide

taşınması gereken yedek sayısını arttırdığı gibi ikmal sisteminin çok karmaşık olmasına sebep olmaktadır. Gaz türbinleri için gerekli yedek parça sayısının az olması ve standart olmaları bakım ve ikmal sistemini basitleştirdiği gibi işletme maliyetinide düşürür. Maliyet değişken bir faktör olmakla beraber belirli bir shaft beygir gücünün (SHP=Shaft Horse Power) olması için gaz türbinlerinin gerek birim fiyatı gerekse montaj maliyeti buhar türbini ve Diesel motorun çok altındadır. Ancak gaz türbinlerini piç kontrollü pervanelerle birlikte kullanılması ve daha gelişmiş redüktörlere gerek duymaları bu avantajı olumsuz yönde etkilemektedir.

2.5.4 Emme ve Egzoz Manifoldları

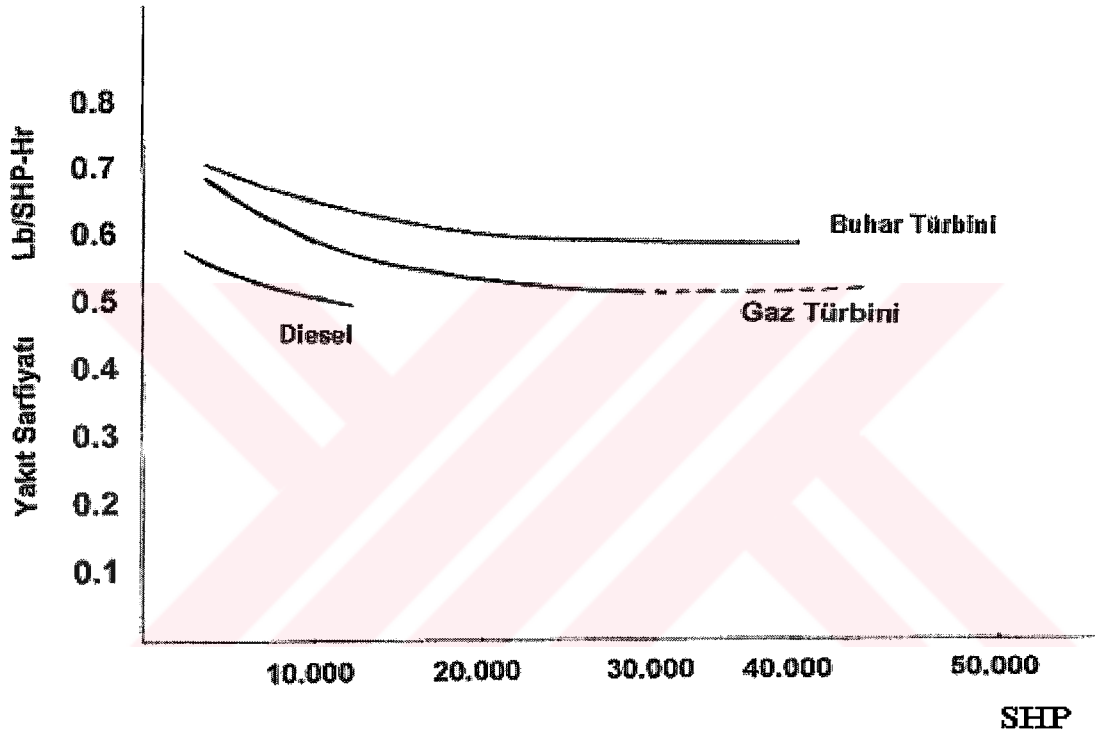
Emme ve egzoz manifoldlarının gemilerde gaz türbinlerine özgü bir denge problemi yarattığına daha önce değinilmişti. Bununla beraber manifoldlar gaz türbinleri için zorunlu olan ve buhar türbinleri için söz konusu olmayan bir takım fonksiyonları üstlenirler. Örneğin, gaz türbinlerini sıcak kısım (yanma odası, türbin) dış yüzey sıcaklığı 537 °C'a kadar yükselir. Dolayısıyla gaz türbin civarında emniyetli bir sıcaklık sağlamak ve yardımcı sistemleri yüksek sıcaklıktan korumak için makinanın hava ile soğutulması gerekir.

Gaz türbini su üstü gürültüsünün esas kaynağı, emme manifoldu ve kompresörde meydana gelen yüksek frekanslı sestir. Bu nedenle personelin emniyet ve konforu açısından emme manifoldunun özel susturuculara ihtiyaç duyarlar. Emme manifoldundan girebilecek veya bünyesinden kopabilecek herhangi bir metal parçası veya yabancı cisim gaz türbini için çok büyük tehlike meydana getiririr. Bu tehlikeye karşı özel süzgeçler ile korunmuşlardır.

2.5.5 Özgül Yakıt Tüketimi, Sürat, Kumanda Çabukluğu

Uçak gaz türbininden türetilmiş gemi gaz türbinlerinde özgül yakıt tüketimi (SFC= Specific Fuel Consumption) normal güç seviyelerinde 0.5 lb/SHP-hr civarında olup bu rakam Dieselmotorlarıyla olmasa bile buhar türbinleriyle rekabet edebilecek seviyededir. Buhar türbinleri için ortalama SFC 0.6 lb/SHP-hr civarında Diesel için 0.4 lb/SHP-hr civarındadır. Ağır yakıt yakan sanayi tipi gaz türbinlerinde yanma odası çıkış sıcaklığı 871 °C' civarında olduğu için SFC uçak gaz türbinlerine nazaran yüksektir. Çeşitli gemi ana makinalarının yakıt tüketimi karşılaştırılmalı olarak Şekil 2.19'da gösterilmiştir. Tam güç seviyesindeki bu

rekabet kabiliyetine rağmen düşük devirlerde gaz türbini SFC'ı buhar türbini ve özellikle Diesel motora nazaran bir yükselme gösterir. Bu durum hali hazırda gaz türbininin en önemli dezavantajlarından biridir. Problemin mevcut teknolojiyle çözümü için gaz türbinleri düşük sürat Diesel motorlarıyla (CODAG ve CODOG sistemleri) veya daha düşük güçlü düşük sürat gaz türbinleriyle (COGAG ve COGOG sistemleri) veya buhar türbinleriyle (COSAG ve COGAS sistemleri) birlikte kullanılmaktadır. Bu uygulamalar yakıt ekonomisini arttırmakla beraber kontrol sisteminin karmaşılaşmasına sebep olurlar.



Şekil 2.19 Yakıt tüketimlerinin karşılaştırılması (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

Tek bir gaz türbininden elde edilen güç 74500 kW seviyesine henüz ulaşamamış olmakla birlikte aslında bu seviyeye ulaşması gerekli de değildir. Çünkü çok daha hafif iki gaz türbini aynı SHP sağlamak üzere birleştirilebilirler. Bu uygulama DD 963 sınıfı gemilerde 40 Knots üzerinde sürat sağlayarak kendini kanıtlamış bulunmaktadır. Buhar türbinleri büyük seviyelerdeki güçleri düzgün ve devamlı şekilde üretebilmelerine rağmen çabuk güç artışı ve ani yavaşlama isteklerini karşılayamazlar. Gaz türbinleri ise son derece kısa kumanda süresine sahiptirler ve çok çabuk olarak tam güç seviyesine ulaşabilirler. Örneğin, FT4A gemi gaz türbini rölantiden 14914 kW seviyesine 8 saniyede, soğuk çalışmadan 18867,5 kW

seviyesine bir dakikada ulaşabilirler. Soğuk durumdaki buhar türbininin ve sisteminin harekete hazır olması normal şartlarda takriben 4 saattir. Kazanda buhar varsa makinanın harekete hazır olması için yine 1 saate gerek vardır. Ayrıca ileri harekete geçildikten sonra tam yola çıkabilmesi ancak 1 saate yakın bir süre sonunda mümkün olabilir. Gaz türbinli bir gemi ise 2-10 dakika bir süre içinde hareketsiz durumdan 20 knots sürata çıkabilir. Şayet gaz türbini rölanti durumundaysa bu süre iki dakikadan azdır. Benzer şekilde çarpışma tehlikesi durumunda yapılacak geri manevra ile gaz türbinli gemiyi bir gemi boyundan biraz daha uzun mesafede durdurabilir. Bütün bu özellikler mevcut buhar türbinleriyle ve Diesel motorlarla hiç bir surette sağlanamayacak ve savaş gemileri için büyük önem taşıyan özelliklerdir .

2.5.6 Personel İhtiyacı, Uzaktan Kontrol

Ana makina olarak gaz türbini buhar türbinine nazaran çok daha az sayıda makina personeline ihtiyaç gösterir, gaz türbinli gemide eş büyüklükteki buhar türbinli gemideki makine personelinin %50-60'ı yeterlidir. Bakım ihtiyacının az ve işlemlerin basit olması daha az sayıda makina personelinin yeterli olmasının sebeplerinden biridir. Diğer bir faktör de daha az makina vardiya personeline gerek duyulmasıdır. Otomatik bilgi aktarımı ve otomatik kontrol imkanları makina vardiyasını son derece basitleştirmiş ve personel gereksinmesini azaltmıştır. Ancak otomatik bilgi aktarımı ve kontrolde kullanılan otomizasyon en zor bakım ve onarım problemini meydana getirir ve çok iyi eğitilmiş personele gerek gösterir. Makina vardiyası için gerekli personel eş büyüklükteki buharlı geminin %25'i kadardır. Gaz türbininin uzaktan kontrole yatkınlığı da makine personeli azaltan etkenlerdendir. Yeni yapılan gemilerde 24 saat personelsiz makina dairesi fikri bütün makina sisteminin dört beş kişiyle kullanılabilmesine imkan tanımaktadır. Otomatik kontrol sistemi ana makinaların ilk hareket, durdurma ve kontrolünün köprü üstü, makina kontrol odası veya makina dairesinden yapılabilmesini sağlar.

2.5.7 Vibrasyon, Gürültü, Şok

Daha öncede belirtildiği gibi gaz türbininin su üstü gürültüsü esas olarak kompresör ve manifoldlardaki hava akışının meydana getirdiği yüksek frekanslı sestən kaynaklanmaktadır. Bu gürültü manifoldlarda kullanılan özel susturucularla eş büyüklükteki Diesel motorlu veya buhar türbinli geminin altındaki bir seviyeye düşürülebilmektedir. Gaz türbininin meydana

getirdiği su altı gürültüsü ve vibrasyon hem çok sayıda tulumbanın çalıştığı ve metrelerce buhar borusunun bulunduğu buhar türbininden hem de mütenavip hareketli ve patlamalı çalışan bir makina olan Diesel motorundan çok daha düşük bir seviyededir. Bu nedenle özellikle çok uzak mesafelerden tespitine ve tanınmasına imkan veren karakteristik bir su altı ses izi bırakan Diesel motoruna karşı büyük avantaj sağlar. Dolayısıyla gaz türbinleri özellikle denizaltı harbi fonksiyonu icra edecek gemiler için hayati önem taşıyan bir gemi makinasıdır. Amerikan Deniz Kuvvetlerinin yeni geliştirdiği gemilerden olan, 20 knots'lık oldukça düşük denebilecek tasarım süratine sahip FFG-7 sınıfı refakat gemilerinde gaz türbinini tercih etme sebeplerinden biriside bu olması gerekir.

Uzun boru devrelerinin ve geniş hacme yayılmış yardımcı elemanlarının bulunması nedeniyle su altı infilaklarının yaratacağı şoklara karşı gaz türbinleri daha az duyarlıdır. Su altında yapılan tecrübeler gemi gaz türbinlerinin 15 milisaniye süreli büyük şoklarda hasar görmediğini kanıtlamıştır.

2.5.8 Yakıt

Gaz türbinleri genel olarak motorinden doğal gaza kadar çok çeşitli yakıtları yakabilecek şekilde tasarlanabilen makinalardır. Ancak gemilerde kullanılan gaz türbinleri uçak gaz türbinlerinden türetilmiş olmaları nedeniyle yüksek ateşleme sıcaklığına ihtiyaç gösterirler, bu sebeple ısı değeri yüksek ve kolay atomize olabilen JP-4, JP-5 veya motorin gibi kaliteli yakıtların kullanılması gerekir. Ayrıca yakıtın, sıcak elemanlarda yaratacağı korozyon nedeniyle minumum seviyede tortu ihtiva etmesi ve yakıtta korozyonu azaltıcı katkı maddelerinin ilave edilmesi gerekir. Dolayısıyla gemi gaz türbinleri yakıtının seçimi ve muhafazası için özel dikkat gereklidir.

2.5.9 Ortam Şartlarına Duyarlılık

Buhar türbininin aksine gaz türbinleri ortam şartlarındaki değişikliklere, özellikle sıcaklık değişimine karşı çok duyarlıdır. Ortam sıcaklığının yükselmesi kompresörün çektiği gücü arttıracak için gaz türbininden sağlanacak güç düşecek ve verim azalacaktır. Ortam şartlarının yarattığı diğer bir problem havada bulunan tuzlu su spreyinden ileri gelmektedir.

Emme havasıyla birlikte gaz türbinine giren tuz, kompresör kanat formlarını bozarak hava akışını etkilemekte ve performansı düşürmekte ayrıca güç çıkışını da azaltmaktadır. Tuz içinde bulunan sodyumun, yakıttaki faktör ile birleşerek yanma odasında korozyon yaratması da önemli bir problemdir. Deniz suyu spreylene karşı emme manifoldunda özel filtre ve separatörler kullanılmaktadır. Ortam şartlarıyla ilgili diğer faktör olan sıcaklık ise operatörün kontolu dışındadır. Buhar türbininde ise elimine edilen oksijenin dışında, benzer durum sadece besleme suyu veya buhara deniz suyunun karışmasıyla meydana gelebilir. Besleme suyuna herhangi bir nedenle deniz suyu karışması türbin kanatlarında kışır meydana getirmenin yanı sıra, buhar kazanının tahrip olmasına sebep olacaktır. Bu nedenle buhar türbininde makina nöbetçi vardiyası devamlı olarak besleme suyunu kontrol etmek zorundadır. Gaz türbini için benzer bir kontrole gerek yoktur.

Gaz türbini tahrik sisteminin diğer makinelerle özet karşılaştırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2 Gemi Tahrik Sistemlerinin Karşılaştırılması

Tahrik Tipi	Avantajları	Dezavantajları
Konvansiyonel Buhar	Sabit hızla seyirde verimlilik	Büyük, ağır ve hacim kaplayan tesis
	Güvenilirlik	Uzun devreye alma zamanı
Konvansiyonel Buhar	Kısmi yüklerde iyi performans	Büyük yakıt depolama gereksinimi
	Yardımcı fonksiyonlarda kullanılabilirlik	Fazla makina personeli ihtiyacı
Nükleer Buhar		Uzun ve pahalı tamir zamanı
		Yüksek güçte kısa seyir yarıçapı
Nükleer Buhar	En uzun seyir çapı	Düşük hızda verim kaybı
	Yanma için hava gereksinimi olmaması	Işınımdan korunmak için kullanılan kalkanın ağırlığı
Nükleer Buhar	Yakıt harcaması nedeniyle draft değişikliği olmaması	Yüksek konstrüksiyon ve bakım maliyeti
	Güvenilirlik	Personel eğitim programı ihtiyacı
Diesel		Uzun devreye alma zamanı
		Radyolojik problemler
Diesel	Tüm yüklerde yüksek verim	Uzun tamir süresi
	En küçük özgül yakıt tüketimi	Her şaft için gerekli olan birimler için hacim ve yerleştirme problemleri
Diesel	Düşük ilk yatırım maliyeti	Periyodik bakım nedeniyle sık atıl kalma periyotları
	Adaptasyon kolaylığı	Yüksek yağlama yağı tüketimi
Diesel	Düşük devir , küçük devir düşürme dişli grubu gereksinimi	Gürültü
	Güvenilirlik	
Gaz Türbini	Az adamla işletilebilme	
	Hafiflik ve az hacim işgal etme	Büyük miktarda hava gereksinimi nedeniyle büyük giriş ve egzoz kanalları
Gaz Türbini	Yüksek tam yük verimi	Kısmi yüklerde düşük verim
	Kısa devreye alma zamanı	Büyük yakıt depolama gereksinimi
Gaz Türbini	Güvenilirlik	Piç kontrollü pervane sistemi ve kavramalardan kaynaklanan mekanik problemler
	Sessizlik	
Gaz Türbini	Modüler makina değiştirebilme imkanı	

3. GAZ TÜRİNLERİNİN TEMEL PRENSİPLERİ

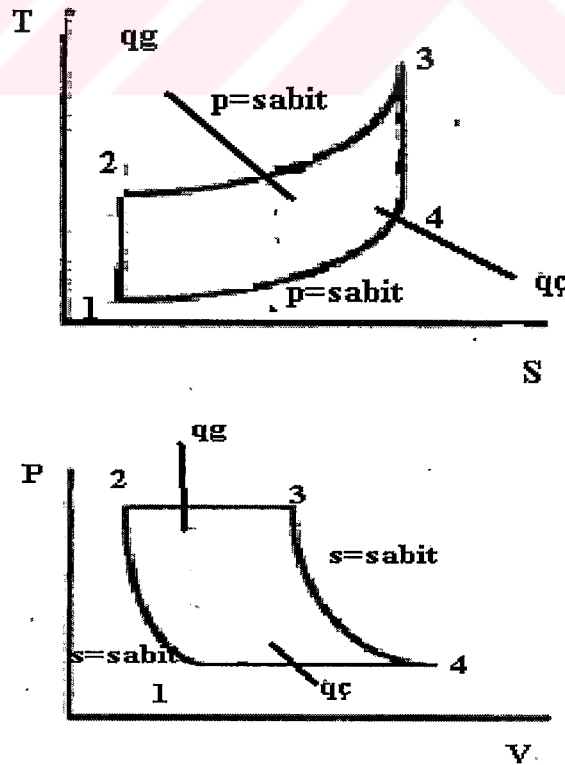
3.1 Termodinamik Kavramlar

Gaz türbinleri için ideal çevrim 1870 yılında George Brayton tarafından geliştirilen Brayton çevrimidir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi açık çevrimde çalışırlar. Çevre koşullarındaki hava kompresör tarafından emilerek sıkıştırılır , basıncı ve sıcaklığı artar, yüksek basınçlı hava daha sonra , yakıtın sabit basınçta yakıldığı yanma odasına girer, yanma sonunda oluşan yüksek sıcaklıktaki gazlar türbinde çevre basıncına genişlerken iş yapar, türbinden çıkan egzoz gazları atmosfere atılır ve böylelikle açık çevrim gerçekleşmiş olur.

Brayton çevrimi dört içten tersinir hal değişiminden oluşur.

- 1-2 Kompresörde izentropik sıkıştırma
- 2-3 Sisteme sabit basınçta ısı verilmesi
- 3-4 Türbinde izentropik genişleme
- 4-1 Çevreye sabit basınçta ısı atılması

İdeal Brayton çevriminin T-s ve P-v diyagramları Şekil - 3.1’de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.1 Brayton çevriminin T-s ve P-v diyagramları (Çengel ve Boles , 1996)

Brayton çevriminin dört hal değişiminin de sürekli akışlı sistemlerde gerçekleştiği gözönüne alınırsa , herbirinin sürekli akışlı açık sistem olarak çözümlenmesi uygun olacaktır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiği zaman , sürekli akışlı açık sistemin enerjinin korunumu denklemi birim kütle için aşağıdaki gibi ifade edilir (Çengel ve Boles, 1996).

$$q - w = h_{\phi} - h_g \quad (3-1)$$

Özgül ısıların sabit kaldığı kabul edilirse sisteme ve sistemden ısı geçişleri şöyle yazılabilir:

$$q_g = q_{23} = h_3 - h_2 = C_p (T_3 - T_2) \quad (3-2)$$

$$q_{\phi} = -q_{41} = h_4 - h_1 = C_p (T_4 - T_1) \quad (3-3)$$

Bu denklemler kullanılarak , ideal Brayton çevriminin verimi aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanabilir (Çengel ve Boles, 1996) :

$$\eta_{brayton} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_{\phi}}{q_g} = 1 - \frac{C_p (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1 ((T_4/T_1) - 1)}{T_2 ((T_3/T_2) - 1)} \quad (3-4)$$

1-2 ve 3-4 hal değişimlerinin izentropik ve basınç kaybının olmadığı kabul edilirse $P_2 = P_3$, $P_4 = P_1$ olduğu bilindiğine göre :

$$\frac{T_2}{T_1} = \left[\frac{P_2}{P_1} \right]^{(k-1)/k} = \left[\frac{P_3}{P_4} \right]^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4} \quad (3-5)$$

olacaktır.

Bu bağıntılar, ısı verim için yazılankenkleme yerine konur ve sadeleştirilirse ;

$$\eta_{brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}} \quad (3-6)$$

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} \quad (3-7)$$

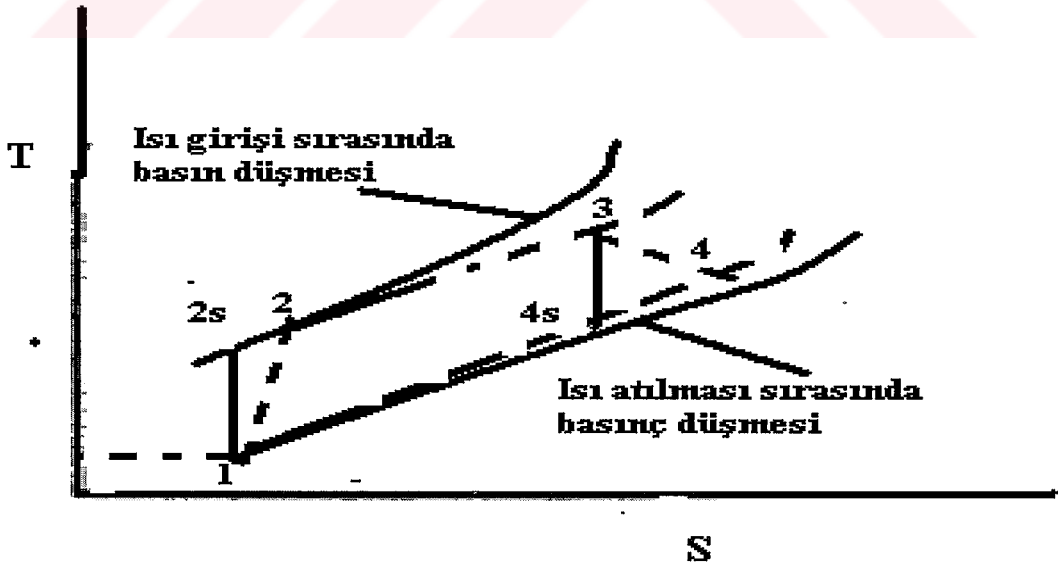
olacaktır. Burada r_p sıkıştırma oranını ifade etmektedir. (Çengel ve Boles,1996)

İdeal Brayton çevrimi ile gerçek gaz türbini arasında bazı farklar vardır. Öncelikle ısı geçişi esnasında az da olsa basınç kaybı vardır. İkinci olarak , sürtünme ve sanki – dengeli olmayan hal değişimlerinden kaynaklanan tersinmezliklerden dolayı kompresör işi daha çok, türbin işi daha az olur . Gerçek türbinin ve kompresörün çalışmasıyla kuramsal genişleme ve sıkıştırma arasında bir ilişki, türbin ve kompresör için adyabatik verim tanımlamalarından yararlanarak kurulabilir (Çengel ve Boles ,1996).

$$\eta_K = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_2} \quad (3-8)$$

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}} \quad (3-9)$$

Burada, 2 ve 4 indisleri, Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, sırasıyla kompresör ve türbindeki gerçek çıkış hallerini, 2_s ve 4_s indisleri ise izentropik sıkıştırma ve genişleme sonrasındaki halleri simgelemektedir. Türbin ve kompresör verimi net işi etkileyeceğinden gaz türbinin ısı veriminde ideal çevrime oranla bir düşme görülecektir.

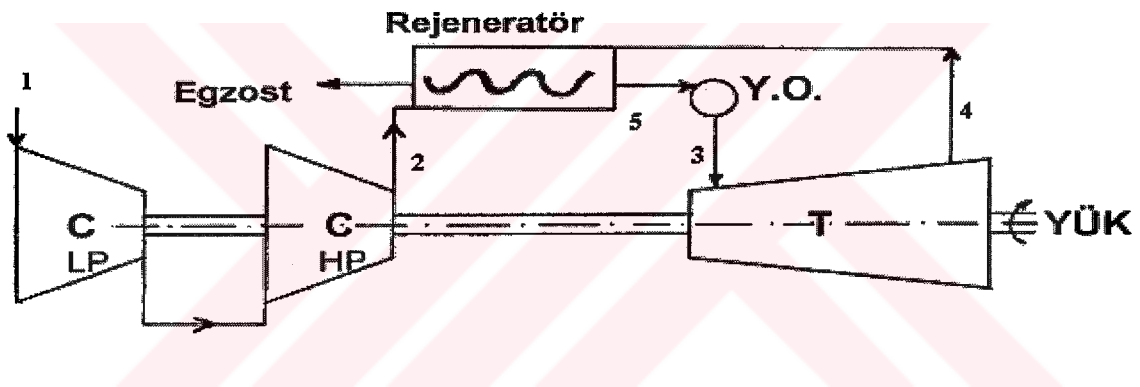


Şekil 3.2 Gerçek gaz türbini çevriminin T-s diyagramı (Çengel ve Boles ,1996)

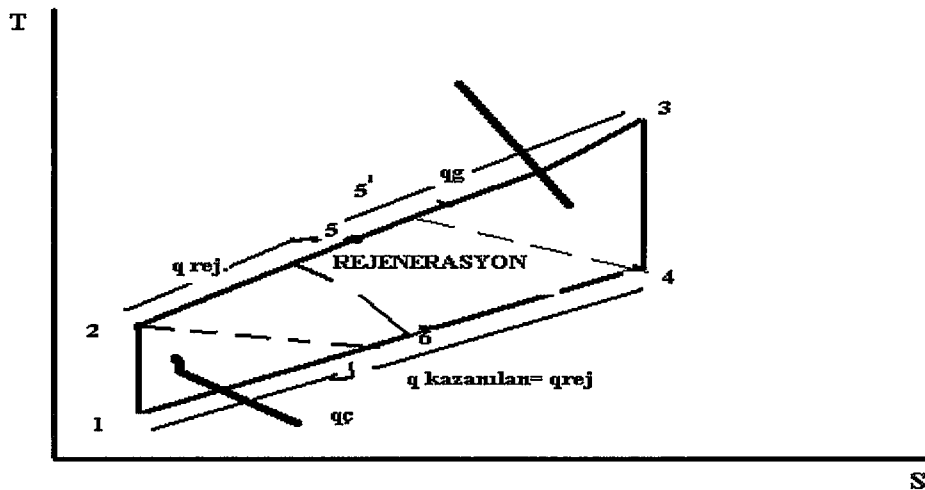
3.2 Gaz Türbini Çevrimleri

Gaz türbini çevrimleri gaz türbini verimlerini arttırabilmek amacıyla Bölüm 3.1’de anlatılan basit çevrime bazı iyileştirici elemanlar eklenmesi sonucu oluşan çevrimlerdir. Bilindiği gibi basit bir gaz türbini çevriminde sadece kompresör, yanma odası ve türbin bulunmaktadır. Ancak basit gaz türbini sistemi ile elde edilebilecek verim ve performans bu üç ünitenin verimlilikleriyle sınırlanmıştır. Bu nedenle basit gaz türbinini geliştirici önlemler işte bu elemanların herbirinin verimliliğini artırıcı yönde olmaktadır.

Gaz türbinlerinde türbinden çıkan yanma sonu gazlarının sıcaklığı, genellikle kompresörden çıkan havanın sıcaklığından çok daha yüksektir. Bu nedenle, kompresörden çıkan yüksek basınçlı hava, rejeneratör veya reküperatör adı verilen ters akışlı bir ısı değiştiricisinde türbinden çıkan sıcak yanma sonu gazlarıyla ısıtılabilir. Rejeneratörlü bir gaz türbininin genel çizimi ve buna dayalı T-s diyagramı Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te gösterildiği gibidir.



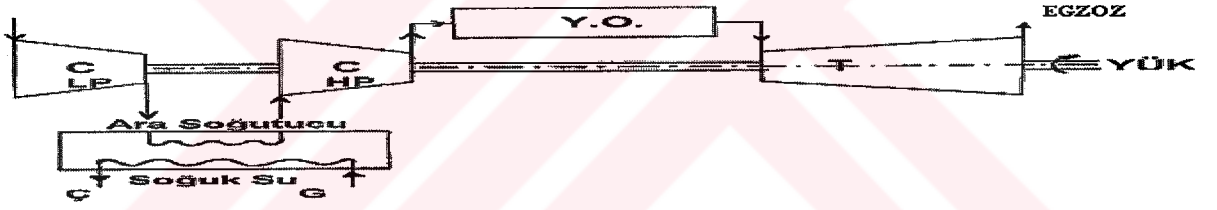
Şekil 3.3 Rejeneratörlü (reküperatörlü) bir gaz türbini (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)



Şekil 3.4 Rejeneratörlü (reküperatörlü) bir gaz türbini T-s diyagramı

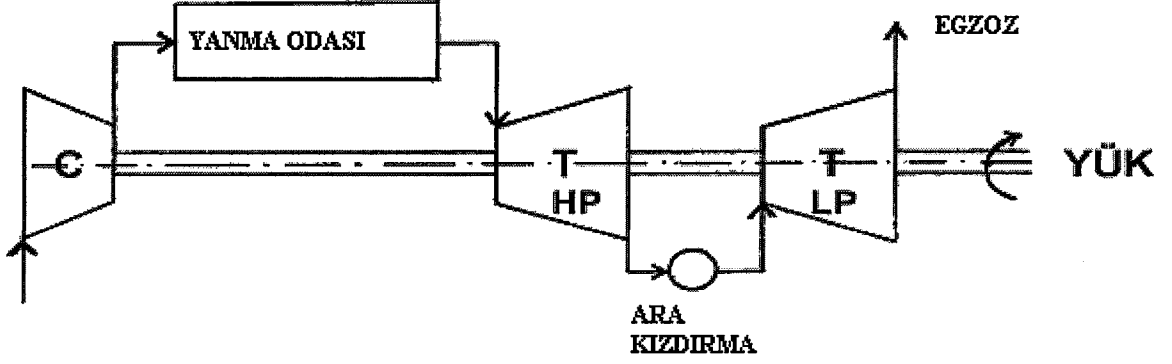
Brayton çevriminin ısı verimi rejeneratörle artar, çünkü basit çerimde yanma sonu gazlarıyla çevreye verilen ısıнын bir bölümü yanma odasına giren havayı ısıtmak için kullanılır. Bu nedenle net iş için, yanma odasında çevrime verilen ısı (yakıt girdisi) azalır. Rejeneratör ancak, türbin çıkış sıcaklığı, kompresör çıkış sıcaklığından büyük olduğu zaman yarar sağlayacaktır. Ters durumda, ısı geçişi havadan yanma sonucu gazlarına olacak ve verim azalacaktır, bu durum çok yüksek basınçlı oranlarda çalışan gaz türbinlerinde ortaya çıkar (Boles ve Çengel, 1996).

Bir başka açık gaz türbini çevrimi de ara soğutmalı çevrimdir (Şekil 3.5). Havanın kompresörde sıkıştırılması işlemi izotermal işleme yaklaştığı oranda kompresör işi azalır. Dolayısıyla sistem verimi artar. Gerçek gaz türbini çevrimlerinde izotermal işleme yaklaşabilmek amacıyla sıkıştırma olayı iki veya daha fazla kademeye bölünür. Hava iki sıkıştırma kademesi arasında bir ısı değiştirici vasıtasıyla soğutulur. Hava soğudukça yoğunluğu artacağı için daha az güç harcanarak gerçekleşir. Adı geçen ısı değiştiriciye ara soğutucu denir.



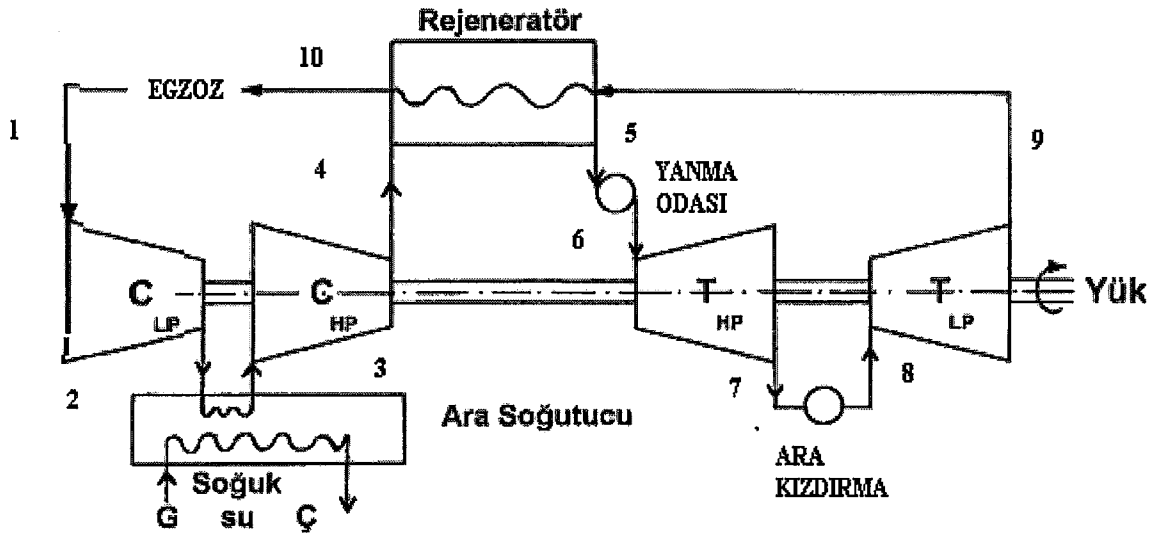
Şekil 3.5 Ara soğutuculu bir gaz türbini (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

Açık gaz türbini çevrimlerinden bir diğeri de ara kızdırmalı gaz türbini çevrimidir (Şekil 3.6). Basit gaz türbin çevrimlerinde gaz karışımı izentropik işlemle genişler. Ancak türbinler izotermal genişlemede daha iyi verim sağlar. Gerçek gaz türbinlerinde yaklaşık izotermal işlem elde edebilmek için genişleme olayı iki veya daha fazla kademeye bölünür ve gazlar birinci türbin kademesinden çıktıktan sonra ikinci kademeye girmeden önce türbin giriş sıcaklığına kadar ikinci bir yanma odası vasıtasıyla ısıtılır. Kademe sayısı arttıkça izotermal işleme yaklaşılr. İkinci yanma odasına ara kızdırma adı verilir.

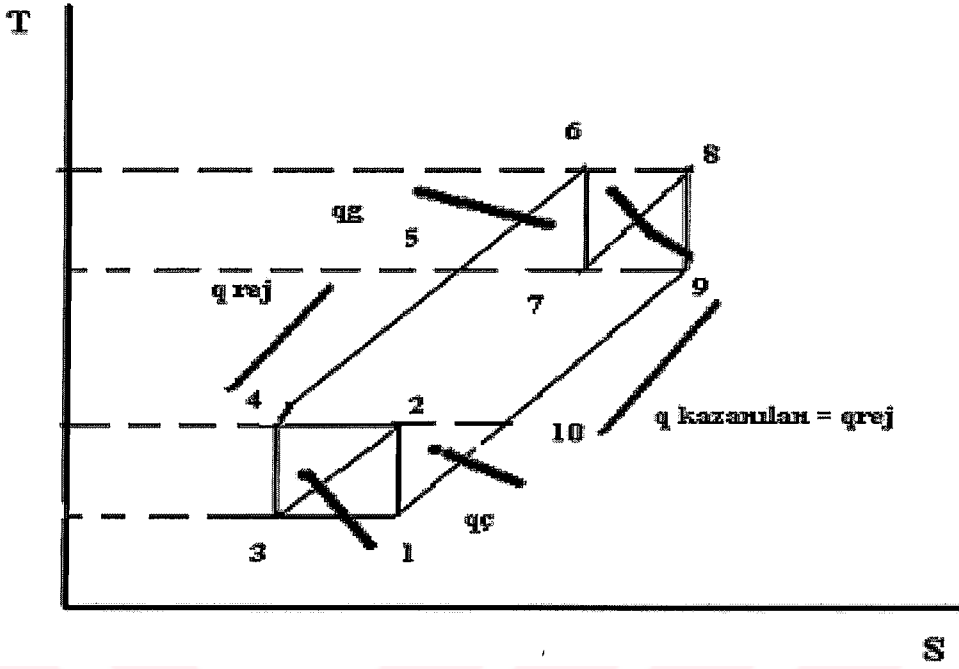


Şekil 3.6 Ara kızdırmalı bir gaz türbini (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

Açık gaz türbinlerinin birlikte kullanıldığı ve ısı verimin en çok arttırılabildiği çevrim ise rejeneratörlü, ara soğutmalı ve ara kızdırmalı Brayton çevrimidir (Şekil 3.7). Bilindiği gibi gaz türbini çevriminin net işini bulmak için, kompresör işi türbin işinden çıkarılır. Bu nedenle net işin artması kompresör işinin azalması veya türbin işinin artması ile mümkün olabilir. Ara soğutma ve ara kızdırma yapıldığı zaman, akışkan basit çevrime oranla kompresörden daha düşük, türbinden daha yüksek bir sıcaklıkta çıkar. Bu durumda çevrime bir rejeneratör eklenmesi yararlı olur, çünkü kompresörden çıkan akışkanla türbinden çıkan akışkanın sıcaklığı arasında daha büyük fark olur. Çevrimin genel çizimi Şekil 3.7’de , sıcaklık – entropi değişimi (T-s) diyagramı ise Şekil 3.8’de verildiği gibidir (Boles ve Çengel, 1996).



Şekil 3.7 Ara soğutuculu, ara kızdırmalı ve rejeneratörlü bir gaz türbini (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)



Şekil 3.8 Ara soğutuculu , ara kızdırmalı ve rejeneratörlü bir gaz türbini çevriminin T-s diyagramı (Boles ve Çengel , 1996)

3.3 Gaz Türbinlerinin Tasarımı

Bir gaz türbinin tasarlanabilmesi için termodinamik, aerodinamik, mekanik ve kontrol sistemlerinin birlikte ele alınması ve bu konudaki çalışmaların birlikte yürütülmesi gerekmektedir. Diğer bir deyişle gaz türbini tasarımı birçok mühendislik uygulamasının kesiştiği bir mühendislik alanı olarak karşımıza çıkar.

Tasarım işlemi istenilen özelliklerin tam olarak belirlenmesi ile başlayıp pazarlamayla biten bir süreçtir (Şekil 3.9). Yüksek performansa sahip yeni bir gaz türbini üretme işlemi oldukça pahalı bir işlem olduğundan genellikle uluslararası konsorsiyuma ihtiyaç duyar. Örneğin, V 2500 turbofan Rolls-Royce, Pratt and Whitney, Fiat, MTU ve Aero Engines'ın biraraya gelmesiyle üretilenmiştir (Saravanamuttoo, 2001).

Tasarlanacak olan gaz türbini özelliklerinin belirlenmesi en basit haliyle gerekli olan güç ve verimin tespit edilmesidir. Diğer önemli faktörler ise uygulamaya göre değişmekle birlikte, ağırlık, maliyet, hacim, kullanım ömrü ve gürültü olarak verilebilir. Yüksek verim maliyeti arttırmakla birlikte işletim harcamalarının azalmasını sağlar. Örneğin, yılda 50 saatten az kullanılacak olan bir acil durum jeneratörünün basit çevrimli ve veriminin düşük olması işletim açısından bakıldığında bir sorun yaratmaz .

Tasarım sürecinin ilk basamağı termodinamik tasarım parametrelerinin belirlenmesi işlemidir. Bu işlem, ünite verimleri, hava kaçakları, değişken akışkan özellikleri ve basınç kayıpları gibi ayrıntılı hesaplamaları kompresör sıkıştırma oranı ve türbin giriş sıcaklığına bağlı olarak ele alır. İstenen güç ve özgül yakıt tüketimi de belirtilen değerlere ek olarak incelenmesi gereken hususlardır. Endüstriyel tasarım esnasında bu tip hesaplamaları yapmak maksadıyla GASTURB gibi yazılımlar kullanılmaktadır. Örneğin, türbin giriş sıcaklığı tanımlanmışsa sıkıştırma oranını gereğinden fazla arttırmak özgül yakıt tüketiminde çok fazla etki göstermeyecek ve mekanik ve aerodinamik yapılar ele alınmadan tasarlanan böyle bir gaz türbini gereksiz yere çok karmaşık ve çok pahalı olacaktır. Tasarım çalışması yapan kişinin tanımlanmış bir çıkış gücü için uygun parametreleri seçerek belirlenen güç için gerekli hava akış miktarını bulabilir.

Çevrimi etkileyen parametrelerin seçimi makinenin boyut ve hava akış miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Düşük güce sahip bir gaz türbini için küçük ve soğutma gerektirmeyen kanatlar kullanılabilse de yüksek güçlerde çalışacak bir gaz türbini için aynı şeylerden bahsetmek mümkün görünmemektedir.

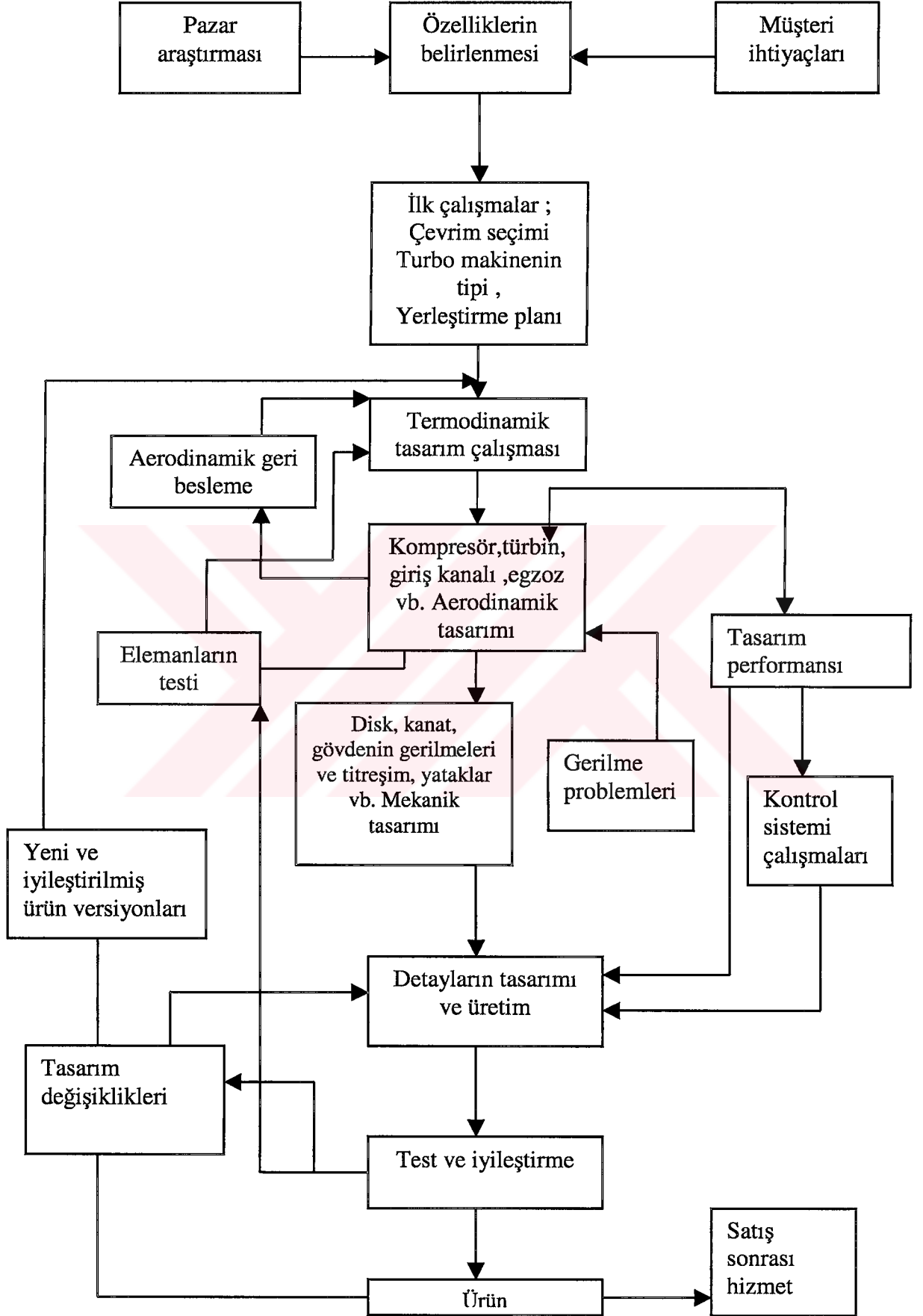
Termodinamik tasarıma ilişkin hesaplamalar sonunda hava akışı, sıkıştırma oranı ve türbin giriş sıcaklığı tespit edilecek ve gaz türbiniyle ilgili aerodinamik tasarım parametrelerinin belirlenmesine geçmek gerekecektir. Bu aşamada çapları, dönüş hızlarını ve kademe miktarlarını belirlemek mümkündür. Bu aşamada termodinamik ve mekanik tasarımları türbin giriş sıcaklığındaki ufak artışlar, sıkıştırma oranında ufak düşüşler veya devirlerde bir miktar artış gibi sorunlar çıkabilir. Aerodinamik tasarım yapılırken üretim açısından fizibilite göz önüne alınmalı ve merkezkaç tip bir kompresör tasarlanırken bağlantı elemanları için gerekli yer ihtiyacı gibi hususlar göz ardı edilmemelidir.

Sistemin mekanik tasarımına geçilebilmesi için termodinamik ve aerodinamik tasarım işlemlerinin sonlandırılmasını beklemek gerekmektedir. Bu aşamada gerilme ve titreşim problemleri sistemde bir takım değişiklikler yapılmasına neden olabilir. Mekanik tasarımla eş zamanlı olarak sistemin tasarım performansı ve kontrol sistemleri tasarımını da geçilmesi gerekmektedir. Kontrol sistemlerinin tasarımı sırasında sistemin güvenli ve otomatik olarak çalışabilmesi için sıcaklık ve basınçta oluşabilecek değişiklikler belirlenerek sistemi koruyucu parametreler seçilmelidir.

Tasarlanan makinenin oluşabilecek gelişmelere adapte edilebilecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. İşletim esnasında oluşabilecek taleplere göre sistem kendini geliştirecek hususlara kapalı olmamalıdır. Sistemin iyileştirilmesi bağlamında üreticinin kütle akışı, türbin

giriş sıcaklığı, ünite verimlerinin artırılması gibi konularda çalışmalar yapması gerekmektedir. Başarılı olarak tasarlanmış bir gaz türbininin süreç içinde gücünü üç kata kadar çıkartabilmesi gereklidir. Nitekim günümüzde kullanılan gaz türbinlerinin çoğunun bu tip bir gelişmeyi gösterdiği bir gerçektir (Saravanamuttoo, 2001).





Şekil 3.9 Tipik bir gaz türbini tasarım süreci

4. GAZ TÜRBLNİ GEMİ TAHRİK SİSTEMLERİNDE YARDIMCI SİSTEMLER

Bu bölümde gaz türbini tahrikli savaş gemilerinde kullanılan ve gaz türbini sistemini destekleyen sistem ve cihazlar genel olarak anlatılmış olup bir sonraki bölümde ele alınacak olan örnek gaz türbinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

4.1 Yakıt Sistemi

a. Yakıt Özelliği

MIL-F-16884 (NATO Sembol F-76)'ya uyan gemi Diesel yakıtı MIL-Y-5624'e uyan JP-5 yakıtı Amerika Birleşik Devletleri donanmasında kullanılan tüm deniz tipi gaz türbinleri için uygundur. Üretici firmanın uygulanabilir teknik dokümanında değişkenlikle ilgili herhangi bir kısıtlama olup olmadığından emin olunması gerekliliği önerildiği halde, herhangi bir gemi gaz türbünündeki JP-5 ve gemi Diesel yakıtı karışımındaki ve kullanımındaki serbest değişebilirlik kabul edilebilir. Yakıtların özellikleri Çizelge 4.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 4.1 F-76 (Motorin) ve JP-5'in özellikleri

Yakıt Özelliği	JP-5	F-76
Setan Sayısı (min)	42	45
Parlama Noktası (°C)	63,3	60
Donma Noktası (°C)	-46	-30
Buharlaşma Sıcaklığı (°C) (%90)	242	357
Sülfür (%) (max)	0,047	1

b. Sistem Tanımı

Şekil 4.1. 'de sıvı yakıt sistemi olarak tipik bir makine olan LM 2500 gaz türbininin yakıt sistemi sunulmuştur. Yakıt, gemi beslemesinden yakıt pompası püskürtücü elemanına gelir. Yakıt, püskürtücü elemandan bir hat süzgecinden geçerek yüksek basınç pompası elemanına

gider. Yüksek basınç elemanından sonra, yakıt filtre edilerek yakıt kontrole gider. Eğer filtre tıkalıysa, bir emniyet valfi yardımı ile yakıtın filtreyi yangeçit etmesi sağlanır.

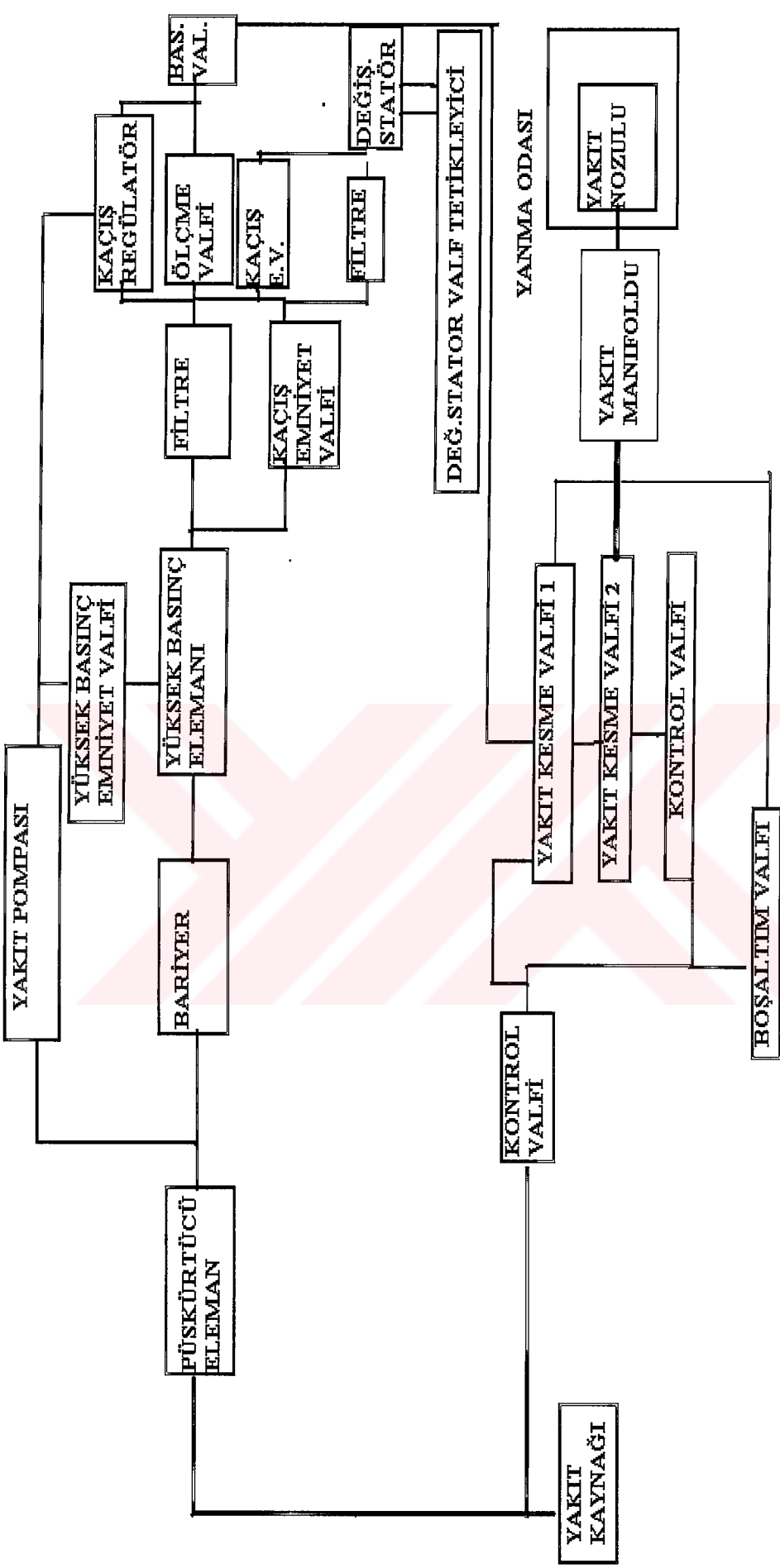
Yakıt sistem pompaları, en düşük çalıştırma süratinde ilk hareket yakıt akış gereksinimlerini sağlayacak şekilde seçilir ve bu pompalar yüksek hızlardaki aşırı akış kapasitesini de sağlamalıdır. Makina işletim aralığında, aşırı akış, bir ölçüm ünitesi (yakıt valfi ve limitler) tarafından tekrar çevrilir. Gemi yakıt sağlama sistemi tarafından temin edilen net yakıt akışı makina tarafından tüketilir. Geri dönüş hattı; portları yakıtı, yakıt pompasının yüksek basınç elemanı giriş perdesine yangeçit eder.

Ayrı çalıştırma nozulları kullanan makinalar için, makina ana yakıt kapama valfi, ölçülmüş yakıtı başlangıç evresinde arka basınç valfine yöneltir. Ana yakıt kapama valfi basınç direncini düzenler. İlk hareket nozullarında elde edilen basınç, soğuk ilk hareket koşulları da ateşlemeye olanak sağlar.

Yakıt yangeçit valfi monte edilmiş olması makinada, ilk hareket sistem güvenliğini artırmak içindir. Fakat gerektiğinde ısıtılmış yakıtı çevirme kabiliyetine sahiptir. Akış bölücü ve boşaltıcı valfleri yakıtı, start ve düşük güç operasyonu için ilk manifolda ve nozul geçişlerine yönlendirir. Bu çift delikli yakıt enjeksiyon sistemi pompa basıncını uygun seviyede tutar, düşük makina gücünde iyi bir püskürtme ilk nozul geçişleri aracılığı ile sağlanır.

Dururken, pompa akışı makina ana kapatma valfi veya (bir engel halinde) yangeçit valfi yoluyla geri dönüş bağlantısına yönlendirilir. Akış bölücüye (yakıt nozuluna) giriş akışının akış yönlendiricisinden kesilmesi ile yaylı boşaltma valfi açılır ve böylece yakıt manifoldu ve besleme hattı ile gemi boşaltım tankına doğru boşalır.

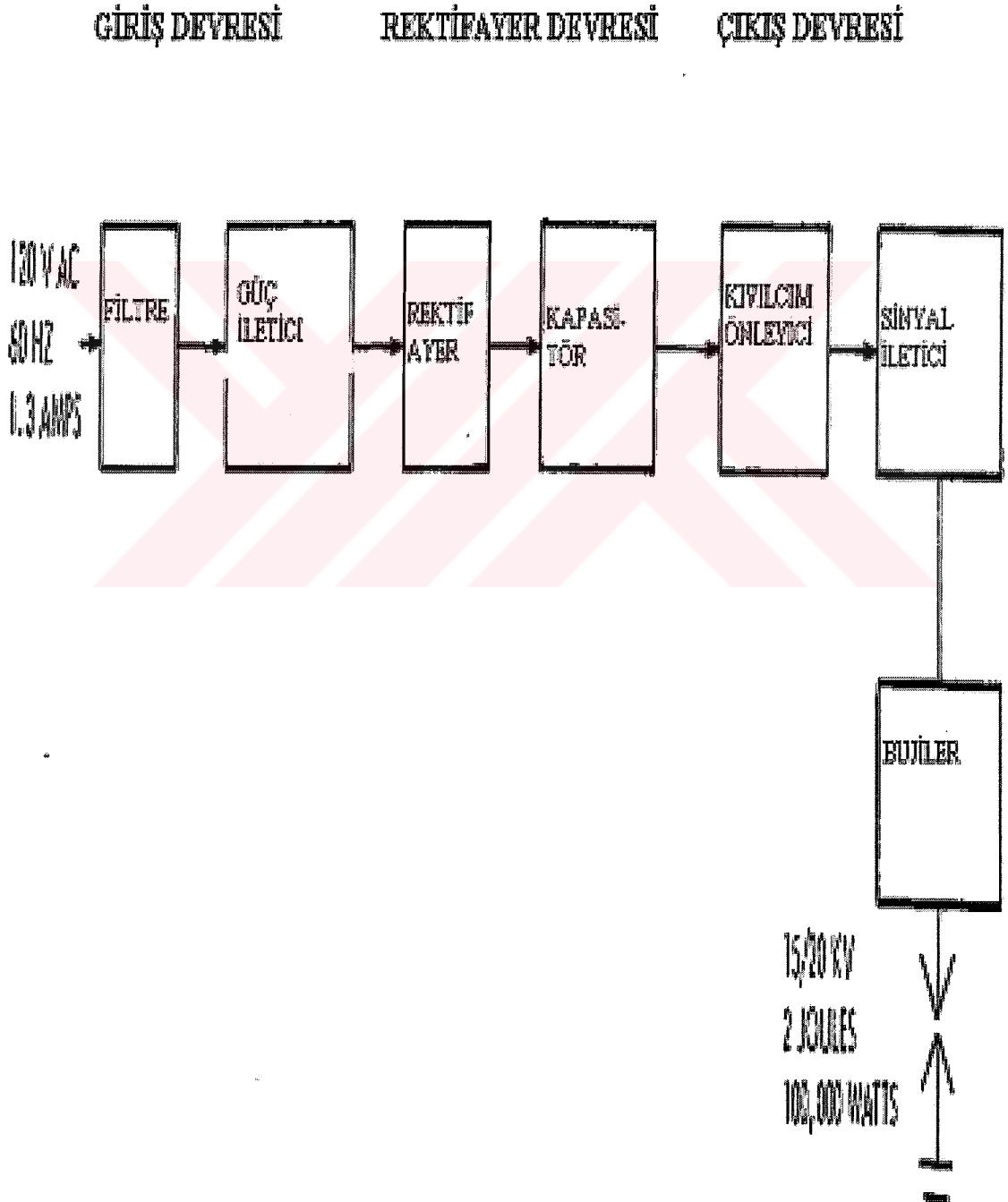
Makinanın durması sırasında, yanma odası hava basıncı, yanmayan yakıtın toplandığı ve yanma odası boşaltım valfinin gemi boşaltım hattına açıldığı noktaya etki eder. Kirli yakıt boşaltım tankı, dururken şaft sigilinden oluşan artıkları toplayabilmek içindir ve buradan gemi yakıt sistemine dahil edilir .



Şekil 4.1 Makineye monteli tipik sıvı yakıt sistem

4.2 Ateşleme Sistemi

Ateşleme sistemi ateşleme tetikleyicisi , ateşleme kabloları ve ateşleme bujilerinden oluşur. Sistemin amacı ilk hareket çevrimi esnasında gaz türbini yanma odasındaki yakıt/hava karışımını ateşlemektir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Ateşleme sistemi blok diyagramı (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

4.3 Soğutma Havası

Bütün gaz türbini makinaları ve yardımcıları, 54.4 °C (130 °F) 'a kadar olan ortam sıcaklığında işletilmek üzere tasarlanmışlardır. Tecrübeler göstermiştir ki bazı elemanlar daha yüksek sıcaklıklarda tatminkar şekilde işletilebilmektedir. 54.4 °C (130 °F) uzun eleman ömrüne ulaşmak için pratik bir limit olarak düşünülür.

Isıya duyarlı elemanlar normal olarak kompresörler üzerine (gaz türbininin en soğuk bölümü) monte edilir ya da bunlar makina üzerindedir. Isıya duyarlı elemanlar ticari kalitededir ve onların doğruluğu, makina özelliklerinden hafifçe etkilenir. Hatalar ufak ve genellikle etkisizdir.

Yerleşime bağlı olarak kompartman soğutması, makina parçalarının ve diğer makina kompartman parçalarının limitler dahilinde tutulmasını ve personel konforunu sağlamayı amaçlar. Kısmi egzoz gazı enerjisini kullanarak soğutma havasını kompartmana çekmek mümkün olmakla beraber bu durum motor durduktan sonra kompartman soğutulmasını sağlamaz.

Doğal ısı transferi (konveksiyon) ve ışıınım (radyasyon) yolu ile motor ısı dağılımı yetersiz olursa, motor durduktan sonra kısa süreli yardımcı soğutma uygulanabilir.

Pek çok gaz türbini uygulamalarında türbinler, modüllerin (kapsüller) içine konmuştur. Her modül havalandırma akış görevi gören hava akış sistemiyle donatılmıştır.

Soğutma havası, modülden gaz türbini egzoz kanalı yoluyla ikincil açılışa çıkar.

4.4 Giriş Havası Sistemi

Hava giriş sistemlerinin tasarımı ve bakım tutumu gaz türbini makina sistemlerinin en kritik yeridir. Geniş bir parametre grubu göz önüne alınmalıdır.

- Basınç kayıplarının azaltılması
- Akış bozukluklarının önlenmesi
- Mekanik deformasyonun azaltılması
- Aero elastik tepkinin azaltılması
- Gürültünün azalması
- Yabancı cisim koruması
- Kum toz filtrasyonu
- Tuz ayrıştırması

- Çoklu makina etkileşimi
- Tüm sistemlerin etkileşimi

Hava giriş sisteminin özellikleri, giriş ağzı yerleştirilmesi, giriş hava akış bozuklukları, çoklu makina montajı, tuz ayrıştırması şeklinde ele alınarak aşağıda incelenmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4).

4.4.1 Giriş Ağzı Yerleştirilmesi

Giriş kanalı girişi egzoz gazlarının tekrar giriş ağzına giremeyecek şekilde yerleştirilir. Giriş ağzı açıklıkları minimum toz konsantrasyonu olan alanda egzoz atıklarının ve hava temizleyicinin çıkış kısmından uzakta yerleştirilir. Denizden gelebilecek serpintileri en aza indirecek şekilde yönlendirilir. Havalandırmalar, su seperatörleri ve tuz seperatörleri genellikle geniş su damlalarının girişini en aza indirmek ve makine giriş düzlemindeki tuz konsantrasyonunu ağırlıkta 0.1ppm'den daha az tutmak için donatılırlar.

4.4.2 Giriş Havası Akış Bozukluğu

Makina giriş düzlemindeki ortam makinanın geliştirildiği ortamdan çok büyük farklılıklar gösterebilir. Giriş makina çalışması için yeterli, tatmin edici akış koşulları sağlamak için tasarlanmıştır. Basınç kaybı ve giriş basınç bozuklukları performans kaybını ya da işletme problemlerini önlemek için minimum yapılmıştır.

4.4.3 Çoklu Makine Montajlar

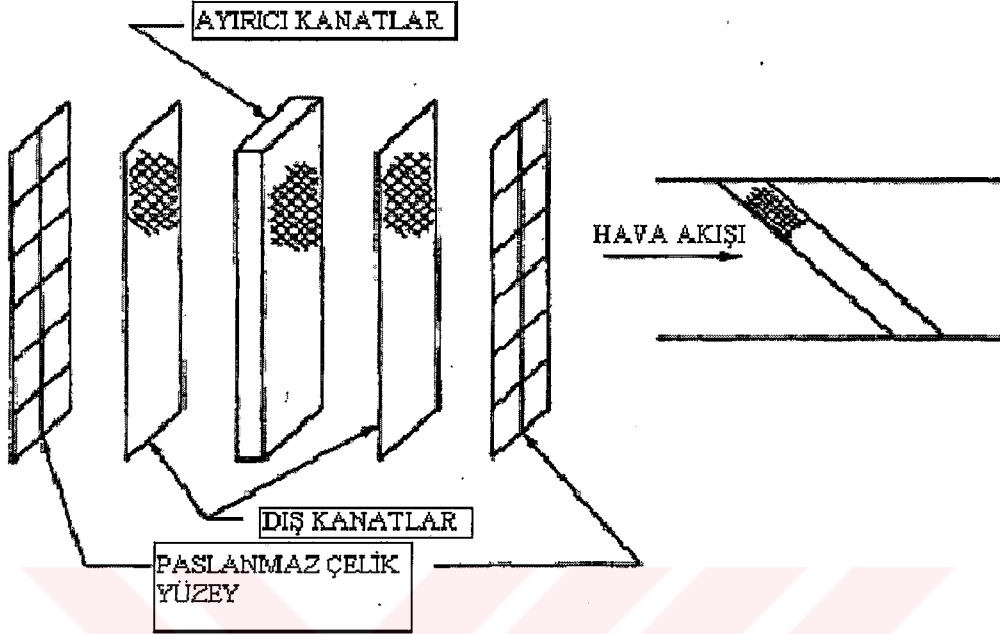
Çan ağzı girişler kullanıldığında, aerodinamik etkileşimi önlemek için genellikle makinalar arasına ayırıcı duvar yerleştirilir. Çoklu makina montajlarında birleşik emiş kanallarının kullanımı için yapılmış özel uygulamalarda aşırı yükleme koşulları yoksa, kanallar her makina için ayrı tutulmalıdır.

4.4.4 Tuz Ayrışımı

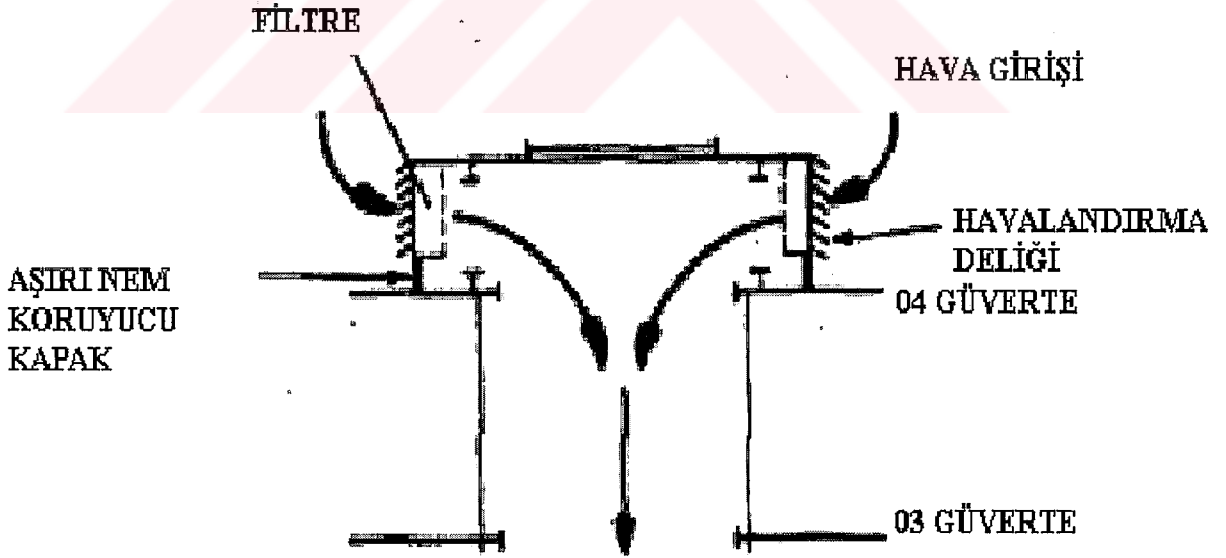
Tuz içeren su damlaları makina işletimi için hem korozyon etkisi hem de aero- dinamik yapı açısından tehlikeli olabilir.

Türbin bileşenlerinin sürfidasyonu (sıcak korozyonu), yoğunlaşma ve türbin alaşımlarının sodyum sülfat tarafından ani hucuma uğramasından meydana gelir. Açıktır ki yanma odasına ulaşan sodyum ya da sülfür miktarı azalabilirse, potansiyel sodyum sülfat oluşumu ve korozyon büyük olasılıkla azalır. Doğrudan oluşan korozyonun büyüklüğü içerilen tuz

miktarına bağlıdır. Sülfür içeren yakıtların sülfüstasyon etkisine sebep olmadığına kanıt vardır. Deniz sulu ortamdaki havanın tuz bileşenini azaltmak için filtrasyon ekipmanlarının kullanımı mümkündür ve faydalı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3 Tipik hava giriş yapısı (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)



Şekil 4.4 Giriş kanalındaki nem önleyicinin yerleşimi (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

4.5 Giriş Hava Soğutma Sistemleri

Sıcak aylarda gaz türbin çıkış gücündeki düşüşleri önlemek amacıyla gaz türbin giriş havasının soğutulması , gücün artırılması için kullanılabilecek uygun bir yöntemdir. Giriş havasının soğutulması gaz türbinine giren hava miktarının artırılmasını sağlayarak kompresör giriş sıcaklığının düşürülmesine neden olur. Giriş havasındaki 5.6° C (10°F)'lik bir düşüş çıkış gücünde %27'lik bir artış sağlar. Jones ve Jacobs III'un (2000) çalışmasında gaz türbin giriş sıcaklığını düşürmek için birkaç metod olduğu anlatılmıştır. Ancak günümüzde iki temel sistem kullanılmaktadır. Bunlardan birinci ve en çok kullanım alanı olan yoğuşturarak soğutmadır. Yoğuşturucu soğutucular havaya püskürtülen suyu buharlaştırarak giriş havasının soğutulmasını sağlarlar. İkinci sistem ise genellikle soğutucu olarak suyun kullanıldığı ve ısı değiştiricili sistemlerdir.

4.5.1 Buharlaştırma Soğutma

Buharlaştırma soğutma hava akışının sıcaklığının suyun buharlaştırılması yoluyla düşürülmesi prensibine dayanır. Suyun sıvı halden buhar haline geçirilmesi için enerji verilmesi gerekmektedir. Bu enerji hava akışından çekilir. Sonuç olarak daha kuru ve soğuk hava elde edilir.

Teorik olarak, havaya su eklenerek elde edilebilecek minimum sıcaklık o anki ıslak – termometre sıcaklığına eşit olabilir. Ancak bu sıcaklığa ulaşmak mümkün olmamaktadır. Gerçek sıcaklık düşüşü cihaz tasarımı ile atmosferik şartların ikisinin de bir fonksiyonudur. Diğer faktörler ise hava akışına iletilen su miktarı ile iletme süresine bağlı sistem verimidir.

Soğutucu verimi ;

$$\eta_s = \frac{T_{1db} - T_2}{T_{1db} - T_{2wb}} \quad (4.1)$$

1: Giriş koşulları

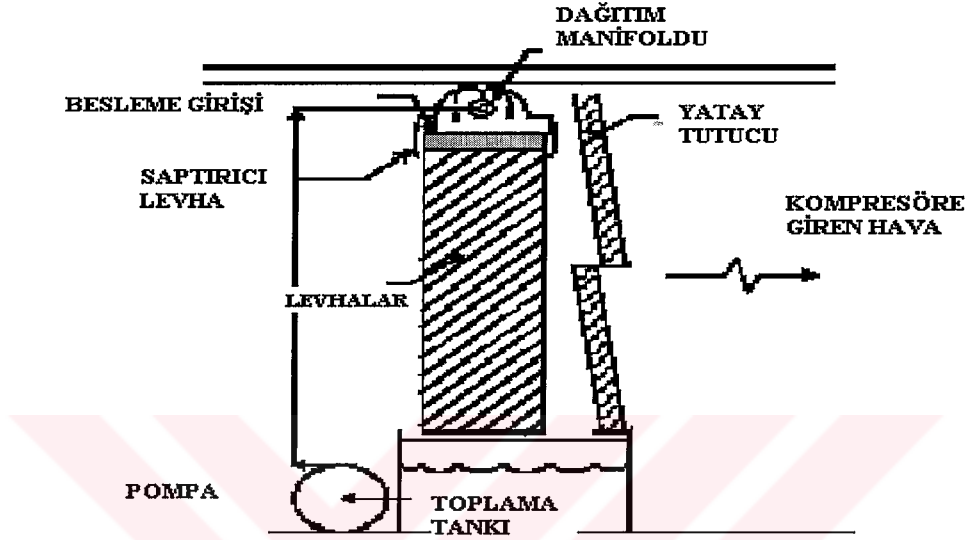
2: Çıkış koşulları

db: Kuru termometre sıcaklığı

wb: Islak termometre sıcaklığı

Tipik soğutucu verimi %85-%90 aralığında olup Şekil 4.5'te genel şekli verilmiştir. Bu verime sahip bir soğutucu sistemde gerçekleşen sıcaklık düşüşü ise aşağıdaki eşitlikle ifade edilir:

$$\Delta T = \eta_s (T_{1db} - T_{2wb}) \quad (4.2)$$

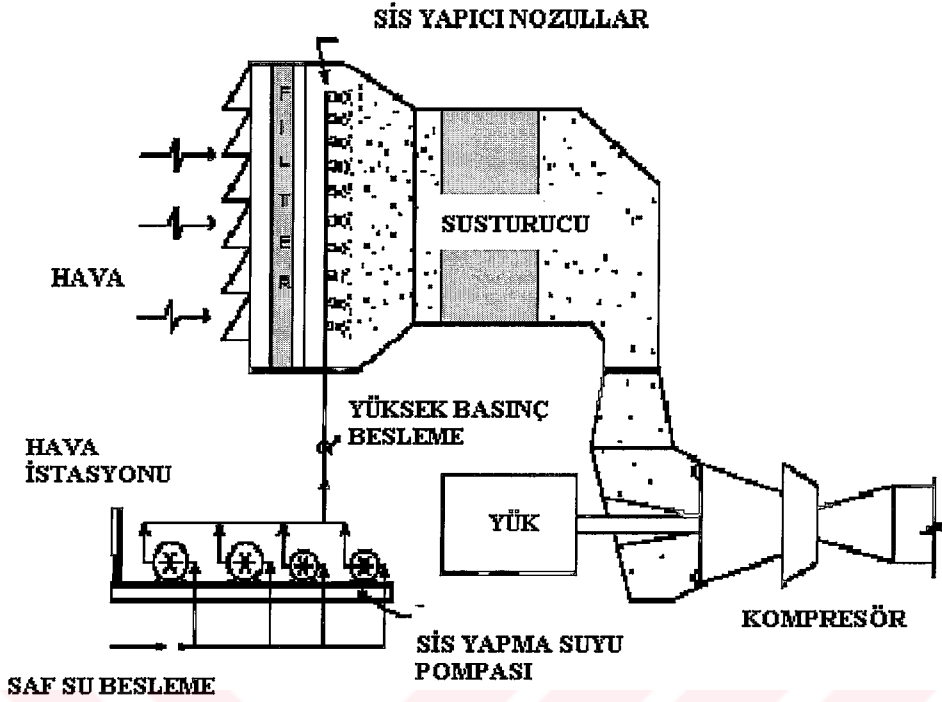


Şekil 4.5 Tipik bir buharlaştırarak soğutma sistemi (Jones ve Jacobs, 2000)

4.5.2 Sis Yapıcılar

Sis yapıcı sistemler besleme suyunu milyarlarca süper küçük küresel damlacığa ayırarak çok geniş bir buharlaşma alanı oluştururlar. Damlacık çapı yüzey alanı oluşturmada önemli bir rol oynar (Şekil 4.6) (Cortes ve Willems, 2003).

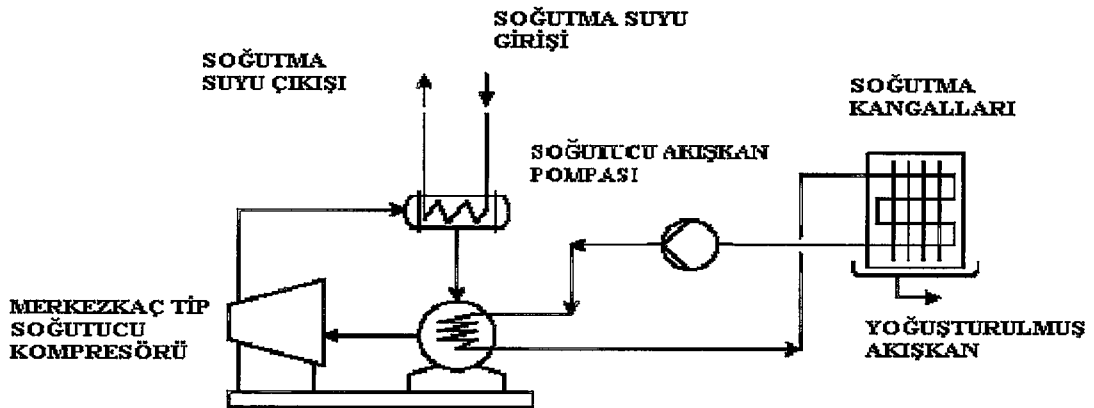
Sis yapıcı nozullar hava filtrelerinin altına yerleştirilir. Sistem için gerekli olan ekipmanlar enjeksiyon sistemiyle aynıdır. Bir tulumba, demineralize su ve sis nozulları sistemin temel elemanlarıdır. Bazı sistemlerde kompresör havası sis nozullarında atomizasyon için kullanılırken , bazı sistemlerde yüksek basınçlı bir tulumba bu işlevi görür. Hava – su oranı 0,6-1 arasında değişir. Yüksek basınçlı tulumbanın basıncı 68 bar (1000 psi) ile 204 bar (3000 psi) arasında değişir (Jones ve Jacobs, 2000).



Şekil 4.6 Tipik bir sis yapıcı soğutma sistemi (Jones ve Jacobs, 2000)

4.5.3 Isı Değiştiricili Sistemler

Isı değiştiricisi ile giriş hava soğutması için iki temel sistem mevcut olup bunlar doğrudan soğutma ve ısı depolamadır. Gerçek sıcaklık düşüşü soğutucu kapasitesi , soğutucu verimi ve kompresörün izin verdiği sıcaklık / nem limitleri ile sınırlandırılmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Tipik bir ısı değiştiricili soğutma sistemi (Jones ve Jacobs, 2000)

4.5.4 Doğrudan Soğutma

Doğrudan soğutma sistemi binalarda kullanılan soğutma sistemiyle aynı prensipte çalışır. Elektrikle çalışan büyük boyutlu mekanik soğutucular türbin giriş havasını soğutur. Bu ısı değıştirciler giriş havası basınç düşümüne 2,54 cm-H₂O'lik katkı sağlarlar. Giriş havası sıcaklığını 7,2° - 10°C (45° - 50°F)'a kadar düşürebilirler. Mekanik soğutucular büyük oranda enerjiye ihtiyaç duyduklarından elde edilen net kazanç absorbe edici sistemlere oranla daha düşüktür.

Doğrudan soğutma için kullanılan iki metod mevcut olup bunlar doğrudan genişleme ve soğuk su sistemleridir. Doğrudan genişleme sistemin giriş kanalına monte edilmiş soğutucuların içinde bir soğutucu (R-22,R-134 vs.) gaz geçer. Soğuk su sisteminde ise giriş havasını bir soğutucu gazla soğutulan su ve su-glikol karışımı soğutur.

4.5.5 Isıl Depolama

Bu sistemde buz veya soğutulmuş su büyük tanklarda depolanır. Kapasitesi ancak birkaç saat yeterli olmaktadır.

4.5.6 Giriş Havası Soğutma Sistemlerinin Karşılaştırılması

İncelenen giriş havası soğutma sistemleri halen uygulanmakta olan sistemler olup gaz türbinine verim ve performans açısından katkı sağlamaktadırlar. Çizelge 4.2'de bu sistemlerin birbirine kıyasla sağladıkları avantaj ve dezavantajları özetlenmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.2 Giriş havası soğutma sistemlerinin karşılaştırılması

BUHARLAŞTIRICILI SİSTEMLER	ISI DEĞİŞTİRCİLİ SİSTEMLER
<u>Avantajları</u> • Ekonomik • Basit • %3-%4,7 arasında net güç kazancı	<u>Avantajları</u> • Nemden bağımsız soğutma • Küçük ve büyük sistemlere uygulanabilirlik • 7,2° C varan soğutma kapasitesi • %9-%10,8 arasında net güç kazancı
<u>Dezavantajları</u> • Neme bağı soğutma • Püskürtme için ekstra güç gereksinimi	<u>Dezavantajları</u> • Soğutma için ekstra güç • Buharlaşıcı sistemden daha yüksek basınç kaybı

4.6 Egzoz Sistemi

Egzoz çıkış bacaları, sıcak egzoz gazlarının makinadan alınması içindir. Egzoz gazları sıcaklığı 425°C ile 535°C (800°F - 1000°F) arasındadır. Egzoz gazlarını makina mahalinden uzaklaştırmak için çeşitli metodlar vardır. Bacalar soğutulmuş ya da yavaşlatılmış, düz kesit ya da dik açı veya direkt olarak ortam havasının içinden ya da egzoz gazıyla ısıtılan kazanlardan geçebilir.

4.7 İlk Hareket Sistemi

Gaz türbini ilk hareket sistemleri dört tip starter içerir. Bu starterlerin görevi makineyi rölanti devrine ulaştırarak çalışmalarını sağlamaktır.

4.7.1 Pnömatik starter

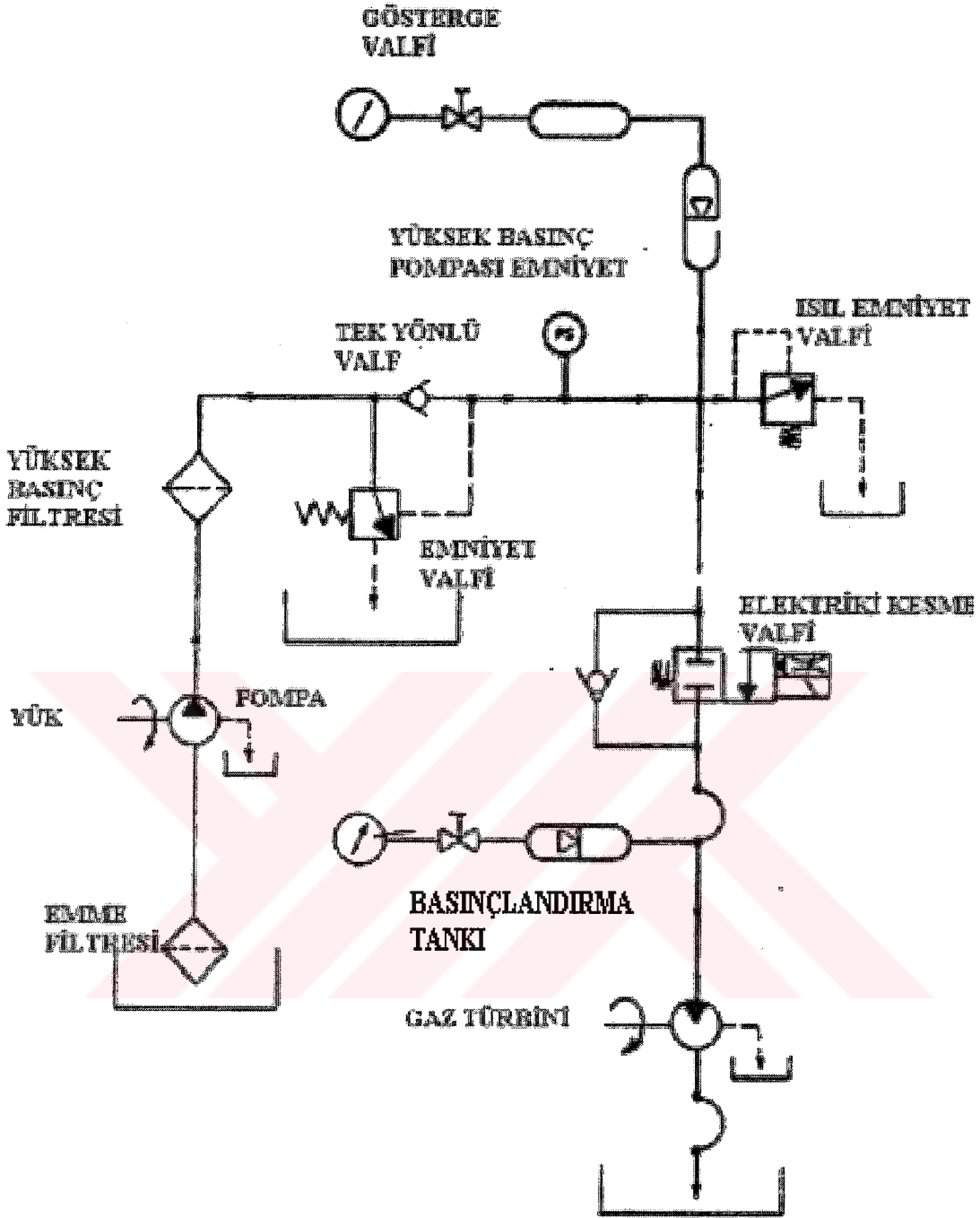
Bir çok serbest türbine sahip gaz türbini pnömatik starterlerle donatılmıştır. İçindeki kanatlara tazyikli hava tarafından güç aktarılan motor şeklindeki starterlere hava, gemi basınçlı hava sisteminden veya diğer türbinin kompresör kaçış havasından alınan hava ile sağlanır. Kavrama mekanizması pnömatik bir piston tarafından ön kavrama yaptırılan bir dişliden ibarettir. İlk hareket pilot selenoid valfi türbin modülü içerisine yerleştirilmiştir. Şekil 4.8 de filtreler, yağlama yağı devreleri, valflar ve ölçülerini içeren tipik bir ilk hareket sistemi şeması görülmektedir.

4.7.2 Hidrolik Starter

Bazı türbin motorları, MIL-L-5606 hidrolik akışkanı ile çalışan sabit basınçlı piston tipi hidrolik starter ile donatılırlar. Kavrama mekanizması genellikle makina dişli grubu içerisinde yer alan püskürtme tipi serbest kavramadır (Şekil 4.8).

4.7.3 Elektro-Hidrolik Starter

Serbest kavramaya sahip hidrolik starterin aksine, elektro hidrolik tiptekiler kayıcı kavrama mekanizmasını işletmek için kendi içindeki 24 VDC selenoidini kullanır. Bu sırasıyla yavaş işletilen hidrolik pilot selenoid valfini harekete geçirir. Böylece sürücüsü dönme hareketi başlama esnasında yüksek aşırı hidrolik basınçtan korunur (Şekil 4.9).

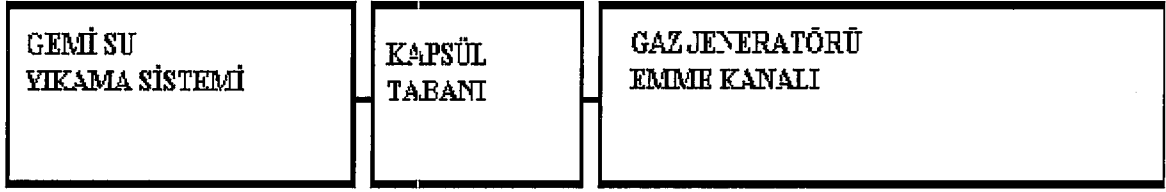


Şekil 4.9 Tipik bir elektrohidrolik starter sistemi (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

4.8 Gaz Türbini Su Yıkama Sistemi

Gaz türbini su yıkama sistemi aşağıdaki ana elemanlardan oluşur. Saf su jeneratöründen saf su ile doldurulmalıdır. Kapasitesi 1500 lt dir (Şekil 4.10) . Yıkama suyu basınç tankı kapasitesi 640 lt, basıncı 6 bardır. Yıkama suyu besleme tankı yaklaşık % 95 oranında (2.3 m^3) doldurulur .

Yıkama suyu, yıkama suyu basınç tankına yıkama suyu depolama tankından ağırlıkla veya tulumba ile beslenir. Tank gaz jeneratörü girişine suyu iletmek için hava ile basınçlandırılır.



Şekil 4.11 Su yıkama sistemi diyagramı (Genel Gaz Türbini Ders Notu, 1998)

4.9 Gaz Türbini Kontrolleri ve Kontrol Elemanları

Gaz türbini sistemleri gelişmiş bir kontrol mekanizması olası arızalara karşı korunmaktadır. Sistemin çok yüksek devirlerde çalışıyor olması ve olası arızaların gemi imkanları ile giderilemeyecek olması bu kontrolleri gerekli kılmaktadır. Ayrıca gemi ortamında çıkabilecek yangınların önlenmesi açısından da kontrol elemanları önemli bir rol üstlenmektedirler. Ayrıca sistemin çalıştırma ve durdurma işlemleri de bu kontroller sayesinde olmaktadır. Şimdi sistemin kontrollerini ve kontrol elemanlarını inceleyelim.

4.9.1 Gaz Türbini Kumanda ve Kontrol Elemanları

Gaz türbinleri kontrol tipleri elle kumandadan tam otomatik kumandaya kadar değişir. Çoğu kontroller otomatik çalışma için tasarlanır. Fakat aşırı yük kullanımları elle kontrol kullanılarak sağlanır. Gaz türbini kontrolleri genellikle karmaşıktır ve onlara, personel her bir kontrol unsuru hakkında tamamen bilgilendirilmedikçe herhangi bir işlem yapılmamalıdır.

1. Gaz türbini makinaları asgari 3 kontrolle donatılır. Bunlar:
 - a- Yakıt kontrol gavarör sistemi (motora monte edilmiştir)
 - b- Güç türbini yüksek hız gavarörü
 - c- Güç türbini aşırı hız kumandası
2. Ekstra gerekli kontroller ise özel uygulamalarla işletiliyor olabilir.
 - a- Otomatik, uzaktan çalıştırma - durdurma ve güç kontrolü
 - b- Otomatik makina başı çalıştırma - durdurma ve güç kontrolü
 - c- Elle uzaktan çalıştırma - durdurma ve güç kontrolü
 - ç- Elle makina başı çalıştırma - durdurma ve güç kontrolü
 - d- Kaçış havasının otomatik ve elle kontrolü, yıkama suyu ve elektrik sistemleri

3 . Kontrol Cihazları

Gaz türbinleri teçhizatlandırılırken, gerekli bilgi, otomatik kontrol teçhizatları ve operatörlerle donatılır.

- 1- Veriler, güvenlik ve doğru çalıştırmalarla gemi kontrolüne mücadele etmek için monitöre gönderilir.
- 2- Bakım yapmak için gerekli prosedürü göstermek
- 3- Arıza tespit bakımı için datalar

Kontrol cihazları bütün gaz türbini tesisatları için donatılır. Örneğin DD963 sınıfı destroyerlerde ve FFG-7 sınıfı fırkateynlerde bulunan General Electric LM2500 motorlarının detaylandırılmış kullanılan tipik kontrol cihazları şunlardır:

- 1- Kompresör giriş toplam basıncı (P_2)

Bir sensör aracılığıyla kompresör giriş basıncı kontrol edilir ve bu basıncın 1 bar'dan az olmaması gereklidir.

- 2- Güç türbini girişi toplam basıncı ($P_{5.4}$)

Güç türbini giriş basıncı 5 barı (75 psi) geçmemelidir.

- 3- Diferansiyel yakıt filtresi basıncı

Diferansiyel yakıt filtresi basıncı 0,40 barı geçmemelidir. Bu basıncın aşılması filtrenin kirlendiğini ve değiştirilmesi gerektiğini gösterir.

- 4- Statik besleme yağlama yağı basıncı (P_1) ve statik yakıt besleme basıncı (P_f)

Statik besleme yağlama yağı basıncı 8,84 barı , statik yakıt besleme basıncı 6,8 barı aşmamalıdır.

- 5- Gaz jeneratörü vibrasyonu (V_{gg})

Gaz türbini işletim parametreleri açısından çok önemli bir konu olan titreşimin artması türbinde kalıcı hasarlar verebilir. Normal koşullarda gaz jeneratörü titreşimi 6 mils'i aşmamalıdır.

- 6- Güç türbini vibrasyonu (V_{pt})

Güç türbini titreşimi 7 mils'i aşmamalıdır.

7- Gaz jeneratörü dönme hızı (N_C)

Gaz jeneratörü devri 9600 rpm'i aşmamalıdır.

8- Güç türbini dönme hızı (N_{pt}) (iki ayrı transdusere göre)

Güç türbini devri 3600 rpm'i aşmamalıdır.

9- Power türbin, overspeed

Güç türbini devri 3600 rpm'i aştığı takdirde türbini korumaya alarak durdurur.

10- Starter, overspeed

İlk hareket kompresörü 51000 rpm'i aştığı takdirde sistem tarafından devre dışı bırakılır.

11- Kompresör giriş toplam sıcaklığı (T_2)

50°C'yi aştığı takdirde sistem veriminde ciddi bir düşüş yaşanacaktır. Sistem 7-50°C arasında çalışması için tasarlanmıştır.

12- Güç türbini giriş toplam sıcaklığı ($T_{5.4}$)

Güç türbini giriş sıcaklığı 832°C'yi aştığı takdirde sistem devre dışı kalır.

13- Türbin yağlama yağı yağ ısısı (T_{1s})

Türbin yağlama yağı sıcaklığı 121°C'yi aşmamalıdır.

14- Rolantide güç kolu açılı pozisyonu (PLA) (Power Level Angle)

Rölantide güç kolu 0 derecede olmalıdır.

15- Tahrik kolu PLA pozisyonu

PLA kolu ile sistemin çıktısı uyumlu olmalıdır.

16- Bilgisayara aktarılan test torku

Tork verisinin alınıp alınmadığını test eden birimdir.

17- Güç türbini çıkış beygir gücü

Güç türbini çıkış beygir gücünün azami 2000 hp'yi aşmaması gerekmektedir.

18- Güç türbini çıkış torku

Çıkış gücüyle uyumlu olams gerekmektedir.

19- Güç türbini aşırı tork alarmı

20- Yakıt besleme sıcaklığı ve düşük alarmı

Yakıt besleme sıcaklığı 15,5°C'nin altına düşmemelidir.

21- LOSCA(Lube Oil Storage and Conditioning Assembly) yağlama yağı tank seviye alarmları

Tank seviyesi 2,78 lt'nin altına düşmemelidir.

22- Yağlama yağı soğutucusu çıkış sıcaklığı ve yüksek alarmı

Yağlama yağı sıcaklığı 82°C'yi geçmemelidir.

23- Soğutma havası çıkış sıcaklığı

Soğutma havası çıkış sıcaklığı 496°C'yi aşmamalıdır.

24- Diferansiyel yakıt filtresi yüksek basınç alarmı

Diferansiyel yakıt filtresi basıncı 0,89 barı aşmamalıdır.

25- Diferansiyel skavenc yağı filtresi yüksek basınç alarmı

Diferansiyel skavenc yağı filtresi 1,63 barı aşmamalıdır.

26- Diferansiyel yağlama yağı filtresi yüksek basınç alarmı

Diferansiyel yağlama yağı filtresi basıncı 1,36 barı aşmamalıdır.

27- Yangın dedektörü arıza alarmı

Yangın dedektöründen sinyal alınamadığında sistem çalıştırmaya izin vermez.

28- Güç türbini takometresi arıza alarmı

Güç türbini takometresinden sinyal alınamadığında sistem çalıştırmaya izin vermez

29- Kaçış havası valf pozisyonu

Kaçış havası valf pozisyonu kontrol panelinden gözlenebilir. Eğer kompresör kaçış havası ile çalıştırılmayacak ise valfin kapalı olması gerekir.

30- Kapsül yangın alarmı

Kapsül içi sıcaklığı 1093°C'yi aşarsa veya duman tespit edilirse yangın alarmı devreye girer.

31- Diferansiyel soğutucu fan basıncı

Gaz türbini stop edildikten sonra türbin içi sıcaklığı 51,6°C'ye gelene kadar , türbin çalışırken ise 4023 kW'a kadar kapsül içi fanı devrede kalır.

32- Hava ventilasyon damperi pozisyonu

Soğutucu fanın çalışma durumuna göre açık veya kapalı olur.

33- Soğutma fanı açık/kapalı

Soğutma fanı açık/kapalı durumunu konsolda gösterir.

34- Start havası açık/kapalı

Start havası açık/kapalı durumunu konsolda gösterir.

35- Ateşleme bujisi açık/kapalı

Ateşleme bujisi açık/kapalı durumunu konsolda gösterir.

36- Yakıt valfi açık/kapalı

37- Yakıt temizleme (boşaltma) valfi açık/kapalı

38- Kompresör disçarç basıncı

39- Yakıt manifold basıncı

40- Starter havası yüksek sıcaklık alarmı

41- Kapsül CO₂ serbest alarmı ve gösterge indikatörü

4.9.2 Acil Durumda Durdurma

Gaz türbini yüksek devirlerde çalışan bir makine olduğundan sistemin normal çalışma koşullarında çalışması büyük önem gösterir. Gaz türbini kontrollerinde çalışma limitler dışında bir durum söz konusu ise gaz türbinini acilen durdurmak gereklidir.

4.9.2.1 Elle Durdurma

Acil durumda durdurma prosedürleri, emercensi ve felakete sebep olabilecek makina hataları dışında kullanılmamalıdır. Acil durumda durdurma prosedürlerine göre bir makina durdurulduğunda, dikkatli bir kontrol yapılmadan ve arızanın sebebi aydınlatılıp düzeltilmeden makina çalıştırmamalıdır. Eğer metal distersiyonu (çarpılma) veya ısı gerilim çatlağı tesbit edilirse, sıcak bölüm bileşenleri kontrol edilmeli ve uygun düzenli harekete alınmalıdır.

4.9.2.2 Otomatik Durdurma

Çoğu gaz türbin makinası 3 otomatik durdurma sistemiyle donatılmıştır. Bu 3 sistemin sensörleri, geri besleme devreleri ve yakıt sisteminin kesme valflerine kumanda eden elektronik selenoidlerden oluşur. Eğer sensörler makina çalışırken, önceden belirlenmiş sınırlarda bir değişim tespit ederlerse, yakıtın makineye gidişinin kesilmesiyle sonuçlanan otomatik durdurma sistemi çalışır.

4.9.2.3 Aşırı Devir Önleme Sistemi (Overspeed Trip)

Gaz türbini şaftı aşırı hız kesme tertibatı ile donatılmıştır. Güç türbini hız aşımı olayında, overspeed gavarnör, şaft hızını tespit edecek ve hız sınırı ulaştığında aşırı hız süvicini harekete geçirecektir. Aşırı hız süvici yakıt kesme valfine gelen gücü kontrol etmektedir. Süvicin harekete geçirilmesi, makineye giden yakıtın kesilmesine neden olacak valfin enerjisini kesecektir.

4.9.2.4 Titreşim Kesme Sistemi (Vibration Trip)

Gaz jeneratörü ve güç türbin şaftı kendinden tesirli vibrasyonları ikaz eden vibrasyonu belirli bir sınırın üstünde tesbit ederse; sensör, yakıt kesme valfinin enerjisini keser, makinaya giden yakıt akışını kapatır. Bazı makinalarda vibrasyon seviyesi belirli seviyeye ulaştığında alarm çalar.

4.9.2.5 Düşük Yağlama Yağı Basıncı Sistemi

Eğer yağlama yağı basıncı belirli bir değerin altına düşerse acil durum durdurmayı sağlar. Diğer tertibatlarda olduğu gibi bu sistem yakıt kesme valfinin enerjisini kesecektir ve makina duracaktır.

5 ÖRNEK BİR GAZ TÜRBİNLİ GEMİ SİSTEMİNİN TANITILMASI

Burada gemilerde yaygın olarak kullanılan GE LM2500 gaz türbini tahrik sistemi ana elemanları ele alınmış ve bir önceki bölümde anlatılan genel gaz türbini yardımcı sistemlerinin uygulamaları gösterilmiştir.

5.1 GE LM 2500 Gaz Türbini Tahrik Sisteminin Tanıtılması

GE LM 2500 gaz türbini tahrik sistemi genel olarak; gaz türbini, ana redüktör, kavrama, güç türbini freni, pervane şaft freni, ana tahrik şaftı, piç kontrol sistemi, yağlama yağı prufayeri, motorin prufayerinden oluşur. Burada bu sistemler genel hatlarıyla anlatılmıştır.

5.1.1 Gaz Türbini

LM2500 gaz türbini yüksek yangeçit orantılı, ticari hava ulaşımında geniş ölçüde kullanılan türbofanlı CF6 ailesi esaslıdır. Gaz jeneratörü, CF6 'nın temel parçaları olan yüksek basınç kompresörü, yanma odası ve yüksek basınç türbinini kullanır (Şekil 5.1).

6 kademeli güç türbini, yüksek güç/ağırlık oranını başarmak için uçak makinalarındaki aynı tasarım konseptlerini kullanır. Yanma odasına aerodinamik olarak bağlanan güç türbininin kanat tasarımı, herbir kademede yüksek eleman verimliliği elde etmek için, yüksek genişlik oranı ve kanat ucu iç siğil konseptini kullanır.

Uçak gaz türbinlerinden türetilen gaz türbini bilyalı yatakları, yüksek sıcaklıklarda çalıştığı için yanmaya dayanıklı sentetik yağlama yağına ihtiyaç duyar.

LM2500 gaz türbini esnek çıkış bağlantısı, yağlama yağı iyileştirme sistemi ve elektronik kontrol sistemi ile birlikte 6 tona yakın ağırlıktadır.

Türbofanlı gaz türbinini LM2500 'e dönüşümünde; ön fan kaldırılmış, ön kısım ve hava emme sistemi değiştirilmiştir. Güç türbini ön şaftı kaldırılmış ve türbin arka kısmı esnek çıkış şaftını tahrik etmek için iyileştirilmiştir. Yeni bir arka kısım ve egzoz kanalı egzoz gazlarını dikey olarak yönlendirmek için tasarlanmıştır .

5.1.1.1 Yerleştirme Özellikleri

Uçak gaz türbini türevi LM 2500 ve güç santrallerinde kullanılan MX serisi gaz türbinleri bazı ortak özelliklere sahiptir. Gaz türbininin modülde bakım-tutumu ve çabuk söküm/montesi en önemli özelliklerdir. Güç türbini ve gaz jeneratörünün her ikisi de, taşıma aracı ve cayraskal kullanılarak, taşıma konteynerinden modüle yerleştirilir. Boyut ve ağırlık nedeniyle, gaz jeneratörü ve güç türbini daima ayrı olarak taşınır. Normal yerleştirme tecrübeli personel ile üç iş gününde yapılabilir. Gaz türbini, gaz jeneratörü ve güç türbini ayrı ayrı konteynerler içinde taşınır .

5.1.1.2 Karşılaştırma

LM-2500 gaz türbini performans, ömür güvenilirlik ve bakım/tutum kolaylığı gibi birçok özellikler açısından büyük gelişimler göstermiştir. Performans bakımından en önemli husus, çok geliştirilmiş çevrim verimi, ömür bakımından en önemli husus uçak gaz türbinlerdeki sıcaklık ve basınç düzeylerinin korunmuş olması, güvenilirlik bakımından en önemli husus geliştirilmiş malzeme ve imalat teknikleri ile emniyet testleri, bakım-tutum olarak önemli husus ise her kısım ayrı bir durum olacak şekilde tasarım özelliğinin, hafif yapısı, kontrol kolaylığı ve durum izleme koşullarının varolmasıdır (Şekil-5.2).

5.2 Genel Karakteristik Özellikler

5.2.1 Gaz Türbini Sistem Tanıtımı

Gaz türbini tahrik sistemi dört ana üiteden oluşur: Modül, gaz türbini, yağlama yağı depolama-iyileştirme sistemi ve elektronik kontrol sistemi. LM2500 Gaz Türbini bir kompresör, yanma odası, yüksek basınç türbini, alçak basınç güç türbini ve yardımcı eçhizelerden oluşur.

5.2.1.1 Sistemin Amacı

Gaz türbininin ana amacı, gücü üretmek ve yüksek süratli esnek bağlantı şaftı (HSFCS) yoluyla gemi redüktörüne ve pervane şaft sistemine iletmektir.

Modül, geminin inşaatı esnasında monte edilmiştir . Modül, şok emici bir taban, kapsül, gaz türbini hava emme ve egzoz sistemi, gaz türbini montaj sistemi, havalandırma sistemi, bir buzlanma ikaz sistemi, yangın ikaz ve söndürme sistemi, bir yakıt/modül ısıtıcısı, aydınlatma sistemi ve bir gaz türbini yıkama sisteminden oluşur.

Gaz türbini, gaz jeneratörü (GG), güç türbini (PT), yüksek süratli esnek bağlantı şaftı (HSFCS), egzoz kollektörü, emme kanalı ve orta gövdeden oluşur. Gaz jeneratörü, egzozu geminin tahrik sistemine güç temin eden bir şaftı döndüren güç türbinini tahrik eder.

LOSCA modülden ayrıdır ve bir tank, yağlama yağı kuleri, ikili filtre ve bir iç dolaşım kontrol valften oluşur. Gaz türbinine soğutulmuş ve filtre edilmiş yağlama yağı sağlar.

Elektronik kontrol sistemi, gaz türbininin kontrolü için elektronik sistemleri içinde bulundurur. LM-2500 gaz türbini elektronik kontrol sistemi ECS-GT 25 sistemi olarak

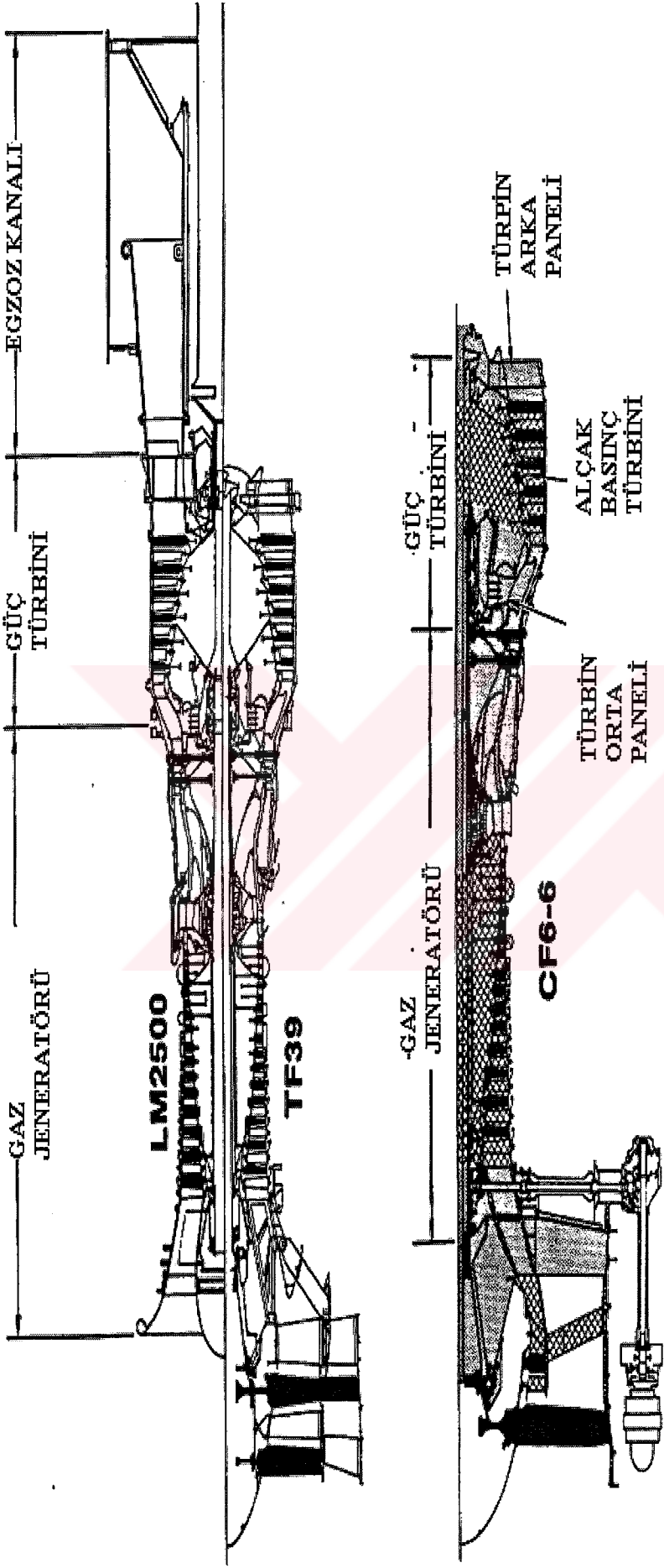
adlandırılır. Gaz türbini güç ayarı; tork, hız ve ivme izleme ve limitlemesi, ölçülen değerlerin algılanması, işlenmesi ve değerlendirilmesi, gaz türbini ve gaz türbini ile ilgili elemanların çalışma durumunun algılanması, duyulabilir ve işitilebilir gösterge fonksiyonları için gösterge alarm değerlerinin üretilmesi, arıza durumunda otomatik olarak gaz türbininin durdurulması, ilk hareket, durdurma ve acil durumda durdurma işlemlerinin gerçekleştirilmesi işlemi, gemideki çevresel sistemler ile paralel ve seri bilgi aktarımı görevlerini yapar. Elektronik kontrol sistemi (ECC: Electronic Control Console), izleme ve gaz türbin kontrol sistemi (MCSG: Monitoring and Controlling System of Gas Turbine) ve titreşim kontrol sistemi (VMS: Vibration Monitoring System) alt sistemlerine sahiptir. Ayrıca gas jeneratörü hız kontrolü güç açısı kolu aktivatörü (PLA:Power Level Angle Actuator) elektronik sistemi de bunlara dahildir.





Şekil 5.1 LM-2500 gaz türbininin gelişimi (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)

LM2500/TF39 İLE CF6-6'NİN KARŞILAŞTIRILMASI



Şekil 5.2 LM-2500 ve TF39/CF6-6 ' in karşılaştırılması (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)

5.2.1.2 Sistemin Kapasitesi

Gaz türbini, geminin tahrik sistemi diğer elemanlar tarafından sınırlanmadıkça stoptan rölantiye, 60 s' de, rölantiden tam güç hızına 30 s' de çıkabilir. Gaz türbini motorin (MIL-F-16884) veya JP-5 türbin yakıtından (MIL-T-5624) herhangi birini kullanır.

5.2.1.3 Sistemin Tanımı

Gaz türbini mekanik olarak geminin redüktörüne, elektriki olarak geminin kontrol konsoluna bağlıdır. Barbaros sınıfı fırkateyn tahrik sistemi, iki şaftlı CODOG sistemi olarak tasarlanmıştır. İki CODOG sistemi sancak ve iskele olarak tamamen birbirinden ayrıdır ve bağımsız olarak çalışırlar. Herbir sistem gaz türbini, ana Diesel motoru, ana redüktör ve şaft sistemi ana elemanlarından oluşur

Ana Diesel ve gaz türbinleri farklı bölmelerde bulunur. Bu durum bir bölmenin, hasara uğraması yani su alması durumunda dahi, tahrik sisteminin çalışmasını mümkün kılar. Ana Diesel motoru ve gaz türbininin gücü, piç kontrollü pervaneye kavramalar, ana redüktör ve şaft vasıtasıyla iletilir. Gaz türbinleri ve ana Diesel motorlar ters dönmezler. Geminin geri veya ileriye doğru hareketi, pervane piçini değiştirerek kontrol edilir.

Sancak piç kontrollü pervane saat yönünde (CW), iskele piç kontrollü pervane saat yönünün aksi yönünde (CCW) döner. Tahrik sistemi lokal olarak, lokal çalıştırma panellerinden (LOP) veya uzaktan kumanda ile köprüüstü kontrol konsolu veya makine kontrol odası konsolundan kontrol edilir.

Gemide iki adet GE LM-2500 gaz türbini bulunur. Gaz türbinleri çalışma sahasında tüm hızlarda tahrik sağlar. Akustik bir kapsül içinde bulunurlar. Kapsüllere makine dairesinden girilebilir. Gaz türbini ve ana redüktör arasında tümü metal bir esnek bağlantı monte edilmiştir. Bir güç türbini freni ana redüktör içinde güç türbini tahrik bağlantısında bulunur. İki adet hafif kompakt redüktör monte edilmiştir. Redüktörler, bir yüksek güç girişi veya bir orta güç girişi için tasarlanan çok kademeli, deniz tip redüktörlerdir. Ana Diesel dairesinde bulunurlar. Su geçirmezdirler ve 2,5 m su ile daire dolu olsa bile çalışabilirler.

Herbir redüktör iki SSS-kavrama ve bir çok diskli kavramayla donatılmıştır. Bir SSS-kavrama, Diesel motorun giriş şaftında, bir SSS-kavrama gaz türbininin giriş şaftında bulunur. Çok diskli kavrama, pervane şaftı durmakta iken Diesel motorun çalıştırılmasına izin verir.

Bir fren, güç türbinini durdurmak için gaz türbini giriş şaftına redüktör içine monte edilmiştir. Gaz türbini yağlama yağı beslemesi kesildikten sonra, güç türbininin serbest olarak dönmesini engeller.

5.2.1.4 Tipik Fiziksel Boyutları

Gaz türbini ağırlığı 3354 kg, uzunluğu 6,7 m (yaklaşık olarak 22 feet) ve yüksekliği 2,13 m (yaklaşık olarak 7 feet AGB' den) dir .

5.3 Ana Redüktör

Ana redüktör, Ana Makina Dairesinde gaz türbinlerin arkasında yerleştirilmiştir. Bir set dişli ve yardımcı elemanlardan oluşur. Pervane tarafından bakıldığında dönüş yönü saat yönüdür.

Çiftli helisel dişli sistemi iki gaz türbini tarafından tahrik edilir. Sancak ve iskele gaz türbinleri aynı anda veya yalnız olarak tahrik edebilir (Şekil 5.3 – Şekil 5.4).

Redüktör dişli oranı 20:1'dir. Redüktör gaz türbinlerinin rpm çıkış hızını azaltmak ve piç kontrollü pervaneyi tahrik için tasarlanmıştır. Her iki gaz türbini ile tam güçte ileri yolda tahrik edildiği zaman, redüktörün çıkışı 180 pervane rpm' inde 29828 kW'dir. Tek gaz türbini ile, ileri yolda tahrik edildiği zaman, çıkış şaft gücü (sancak veya iskele) 146 pervane rpm' inde 14519 kW' dir.

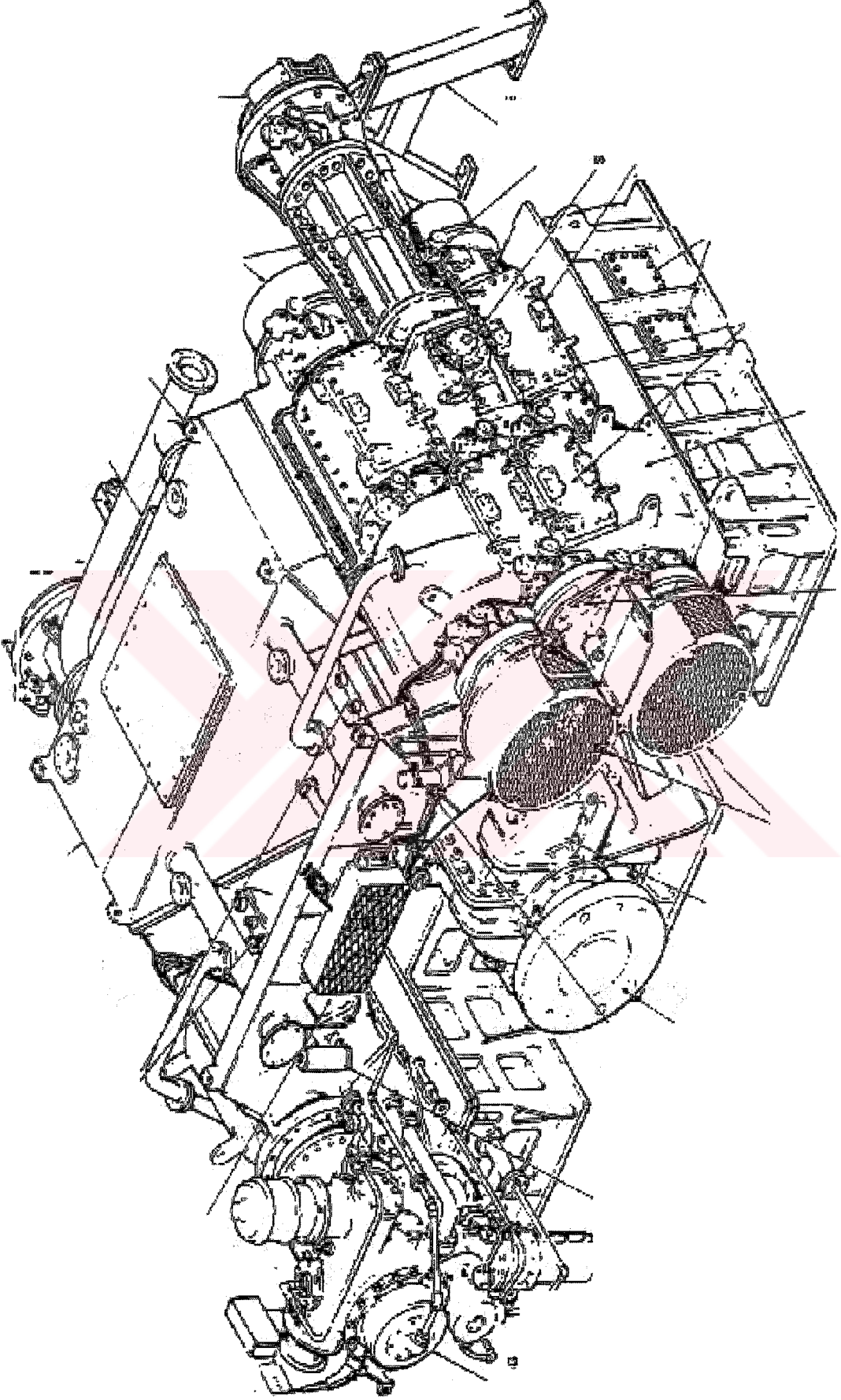
Ana redüktör, bir çelik dişli muhafazası, iki giriş şaft, iki SSS kavrama ve iki yüksek devir pinyonundan; ek olarak, bir sürgülü şaftla bağlanan bir yüksek devir dişli ve pinyonundan yapılan dört ara gruptan, bir ana itme yatağı ve entegre itme bileziğinden oluşan bir düşük devir dişlisinden, iki güç türbini freninden ve iki şaft freninden oluşur.

Herbir esnek türbin bağlantısı, giriş şaftına, giriş şaftı ise SSS kavramayla bağlanmıştır. Herbir SSS kavramanın arka ucu, yüksek devir pinyonuna bağlanmıştır. Herbir yüksek devir pinyonu iki birinci düşürücü dişlisine geçer. Sürgülü şaftları ve dişli bağlayıcıları kullanarak, herbir birinci düşürücü dişlisi, ikinci düşürücü pinyonuna bağlanır. Herbir ikinci düşürücü pinyonu kabarcık dişlisine geçer. Kabarcık dişlisi pervane şaftına bağlanır.

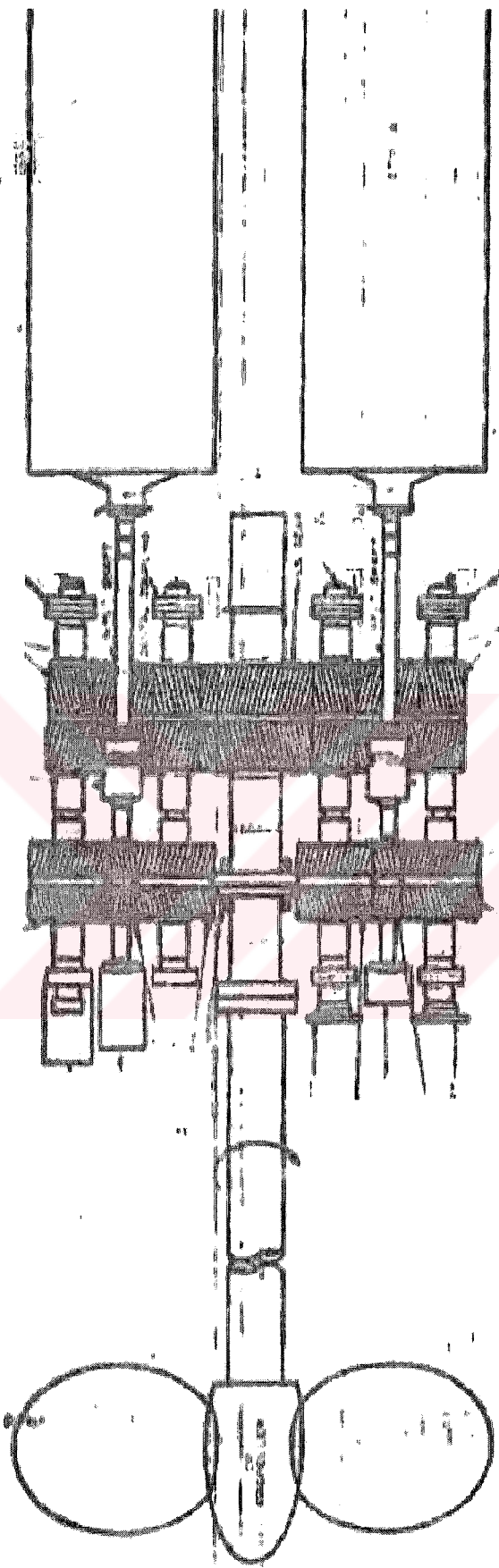
Yağ dağıtım (OD) kutusu düşük devir dişli şaftının ucunda ana redüktörün ön tarafına monte edilmiştir. Yağ dağıtım kutusu piç kontrolü pervane sisteminin bir parçasıdır. Alçak devir dişlisi ve pervane şaftı yoluyla pervane göbeğine hidrolik yağ ve maskeleme havası gönderilmesini sağlar. Aynı zamanda pervane piçini kontrol etmek için valf rodu pozisyonlandıran bir mekanizmayı bünyesinde bulundurur.

Kabarcık dişlisinin aksel olarak yerleşimi, ana itme yatağı ile sağlanır. Yük altında ikinci düşürücü pinyonları, çiftli helisel ikinci düşürücü birleşimine uygulanan kuvvetlerin merkezleme etkisi tarafından aksel olarak pozisyonlandırılır. Alt dişli bağlantısı, alt birinci düşürücü dişlilerinin aksel olarak yerleşimini sağlar. Çiftli helisel birinci düşürücü birleşmesine uygulanan kuvvetler, üst birinci düşürücü dişlilerinin yerleşimini sağlayan yüksek devir pinyonlarını pozisyonlandıran bir merkezleme hareketi oluşturur.





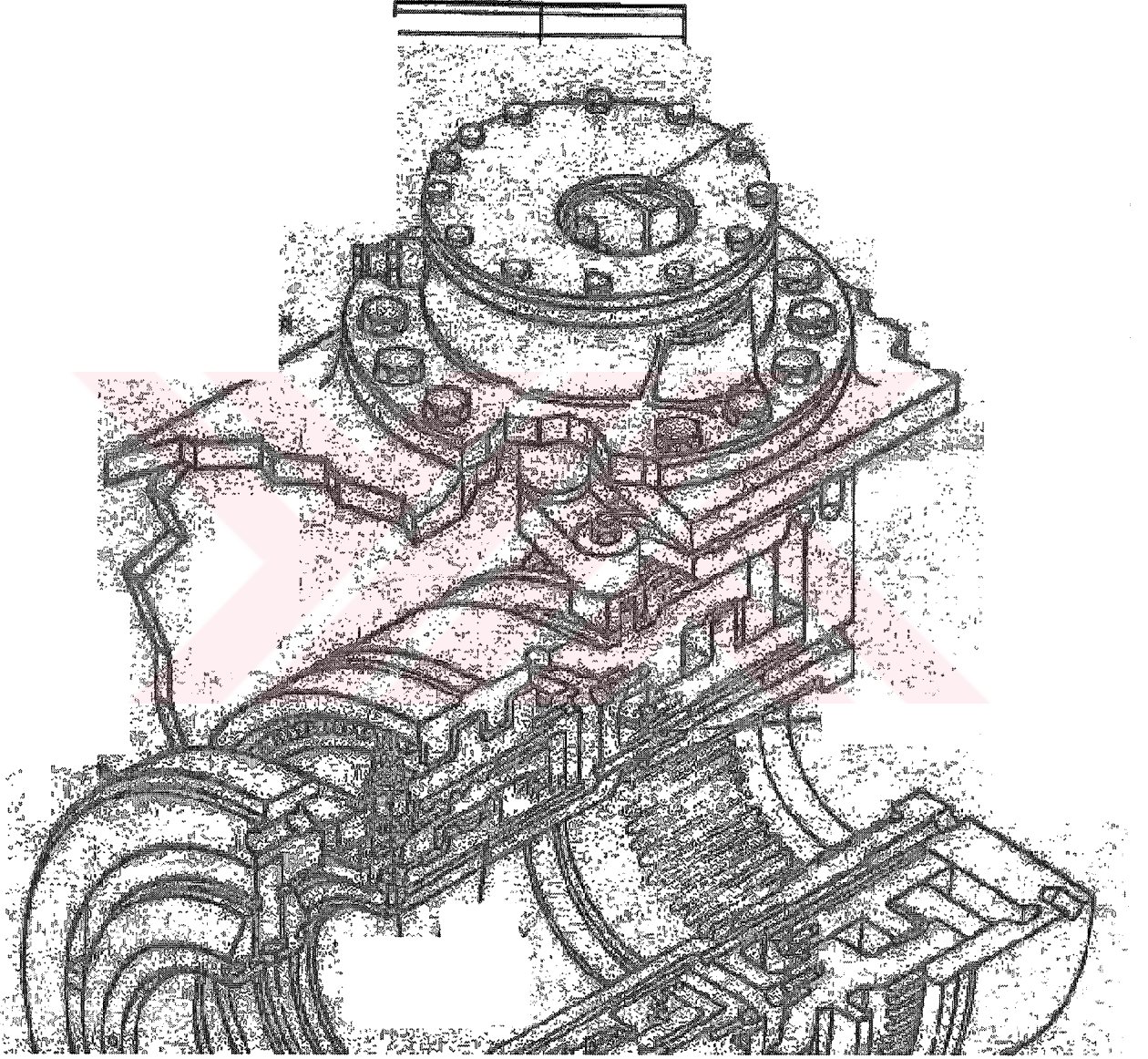
Şekil 5.3 Ana redüktör (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)



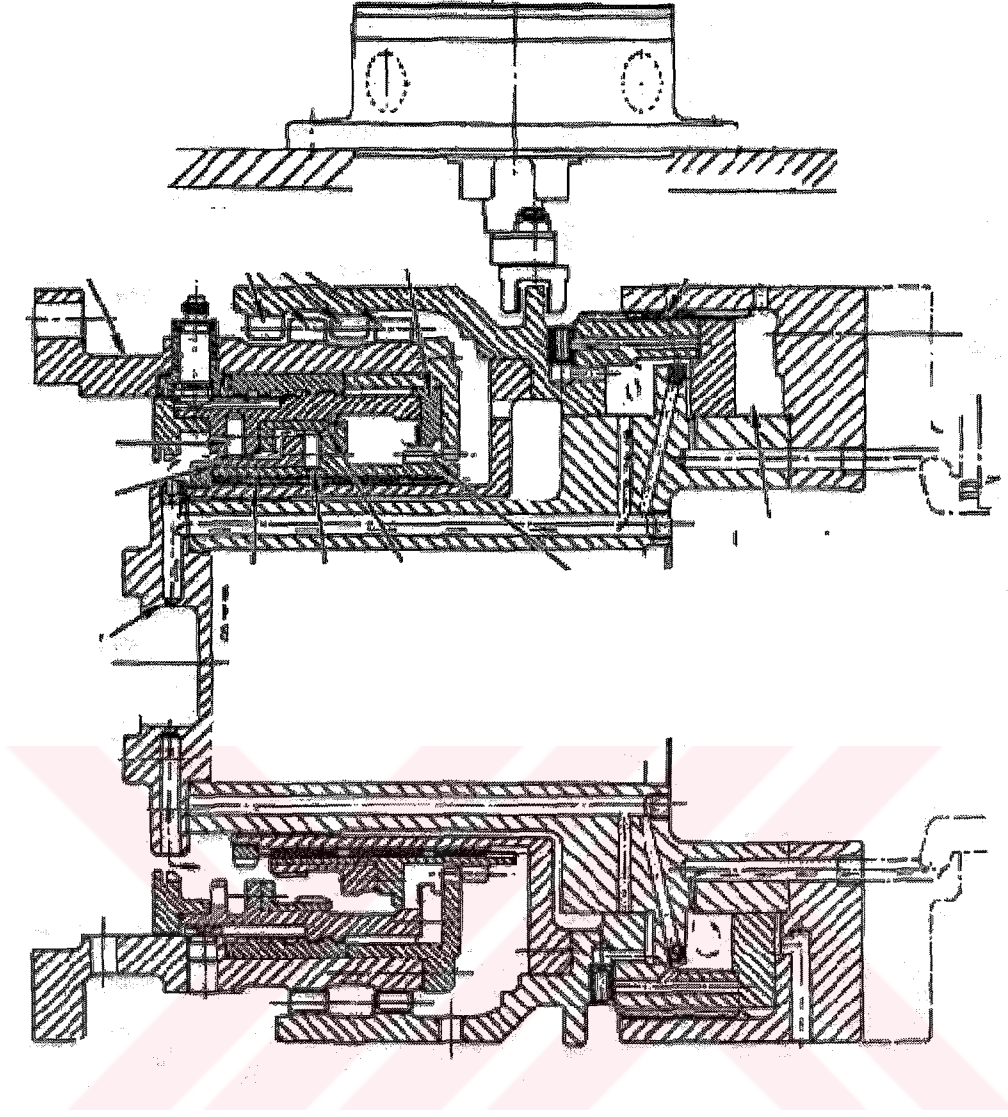
Şekil 5.4 Ana redüktör (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)

5.4 SSS (Self Syncro Shifting) Kavrama

Amaç gaz türbininin ana redüktörü döndürmesini ve aynı zamanda her gaz türbininin bağımsız çalışmasını sağlamaktır. Sancak ve iskele olmak üzere 2 adettir.(Şekil-5.5,5-6)



Şekil 5.5 SSS Kavrama (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)



Şekil 5.6 SSS Kavrama ana elemanlar (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)

Giriş şaftı ve 1. düşürücü pinyonu (yüksek devir pinyonu) arasına yerleştirilmiştir. Tam otomatik ve serbest dönen bir alettir. Hareket için aksenal ve merkezkaç kuvveti kullanır. Giriş elemanı, ana kayıcı eleman, geciktirici kayıcı eleman, çıkış elemanı ve kavrama durumu indikatör mekanizmasından oluşur (Şekil-5.6).

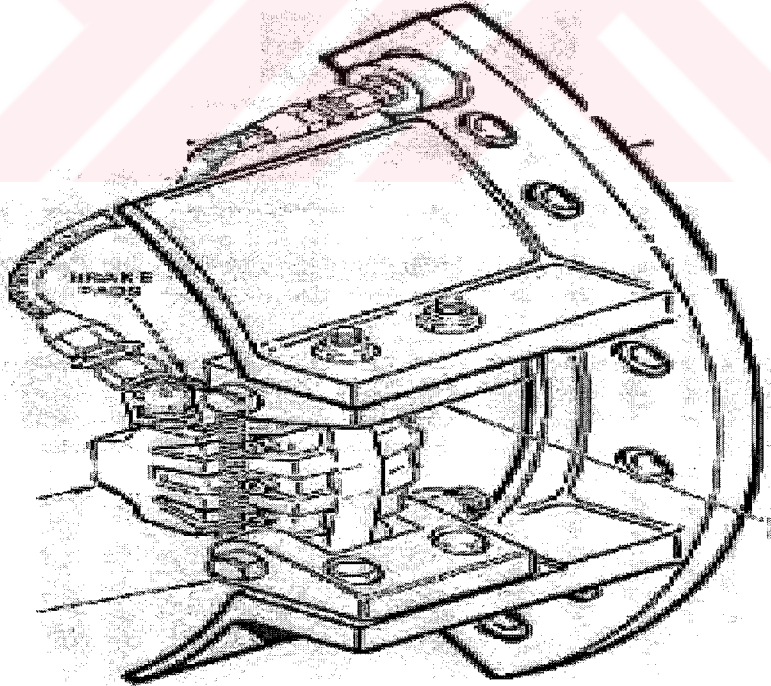
5.5 Güç Türbini Frenleri

Güç türbini fren grubu her giriş şaftının ön ucuna monte edilmiştir (Şekil-5.7). Her fren grubu bir fren diski ve balata grubundan oluşur. Her fren pnömatik olarak çalışır ve kendi kendine yerine dönen tiptedir. Gaz türbini durduğu ve redüktör çalıştığı zaman, bakım ve yüksüz çalışma kontrollerini yapmak için (max süre 14 dakika-PT kanatları ısı problemi), güç türbininin serbest dönmesini önler. Her fren, herbiri fren diskinin iki yanında olan iki fren

balatasına sahiptir. Frenler, uygun aralığı otomatik olarak korumak için kendi kendine ayarlıdır. Hava basıncı gemi alçak basınç hava sisteminden beslenir (8,5 bar) .

Frenler ana redüktör muhafazasının ön yüzüne monte edilen bir türbin fren paneline bağlı olarak çalışır. Frenler, türbin fren panelindeki ayrı solenoid valflar tarafından kontrol edilir ve böylece bağımsız olarak bağlanabilir. Solenoid valfler Ana Tahrik Kontrol Konsolu (PCC) ve Lokal Kontrol Panelinden elektriksel olarak kontrol edilir. Valflar türbin fren panelinden manuel olarak hareket ettirilebilir. Fren bağlandığı zaman, her solenoid kontrol valfa bağlı bir basınç sensörü elektriki sinyal sağlar. Bir pnömatik kesici valfi, üç basınç geyci, iki fren basınç sensörü ve bir alçak basınç alarm sensörü panelde bulunur.

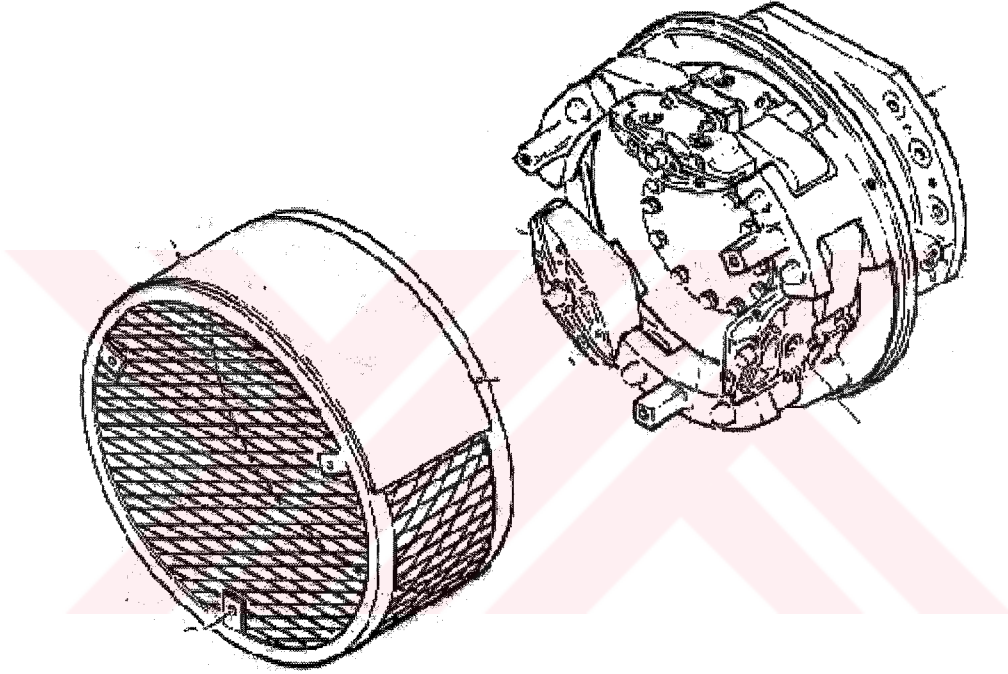
Giriş hava basıncı 4,76 bar'ın altına düştüğü zaman, bir düşük basınç alarmı aynı zamanda bir elektriki sinyal sağlamak için türbin fren panelinde bulunur. Türbin fren paneli girişinde bir hava deposu , fren bağlantısı için sabit bir hava hacimini korur. Türbin devri 250 rpm'in altında olduğu zaman, fren türbin şaftını 60 saniye içerisinde durdurabilir. Fren, 250 rpm'den yüksek devirlerde bağlanmamalıdır.



Şekil 5.7 Türbin freni (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)

5.6 Pervane Şaft Frenleri

İki adet pnömatik olarak çalışan pervane şaft fren üniti, her iki sancak sürgülü şaftın arka ucuna monte edilmiştir (Şekil-5.8). Bu frenler pervane şaftı ana redüktörün dönüşünü durdurmak için kullanılır. Her fren üniti bir fren diski ve üç balata grubundan oluşur. Disk frenler pnömatik olarak çalışır ve kendi kendine yerine dönen tiptedir (self-retracting). Her balata grubu, herbiri fren diskinin bir tarafında olan iki fren balatasından oluşur. Frenler, otomatik olarak uygun aralığı korumak için kendi kendine ayarlıdır.



Şekil 5.8 Pervane şaft freni (G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu, 1998)

Frenler ana redüktör muhafazasının arka tarafı üzerine monte edilen bir pervane şaft fren paneline bağlı olarak çalışır. Panel yüksek basınçlı hava ile beslenir (204 bar). Her iki fren ünitesi, pervane şaft fren panelindeki tek bir solenoid valf tarafından kontrol edilir. Solenoid valf, Ana Tahrik Kontrol Konsolu (PCC:Propulsion Control Console), Lokal Çalışma Paneli (LOP:Local Operating Console) veya Gemi Kontrol Konsolundan (SCC:Ship Control Console) elektrikli olarak kontrol edilir. Valf, pervane şaft fren panelinden elle hareket ettirilebilir. Panelde bir pnömatik shut-off valfı, iki basınç geyci, bir fren basınç süvici, bir düşük basınç alarm ve bir basınç düzenleyici bulunur. Basınç düzenleyici HP havayı 85 bar'a düşürür. Her iki gaz türbini rölantide, iki kavrama bağlı ve pervane mili sıfırda olduğu zaman, fren, pervane şaftı ve redüktörü 75 rpm şaft devrinden sıfıra 15 saniyede durdurur. Frenler

bağlandığı zaman, solenoid valfa bağlı bir basınç süviçi elektriki bir sinyal sağlar. Giriş hava basıncı 78 bar'ın altına düştüğü zaman, aynı zamanda bir düşük basınç alarm süviçi elektriki sinyal sağlamak için pervane şaft panelinde bulunur. Pervane şaft fren paneli girişinde bir hava deposu, fren bağlantısı için sabit bir hava hacimini korur.

Bir hava filtresi, frenler serbest bırakıldığında egzoz edilen havayla silikon sıvının egzoz olmasını önlemek için, şaft frenleri ve şaft fren paneli arasında bulunur.

5.7 Ana Tahrik Şaft Sistemi

Ana tahrik şaft sistemi tahrik şaftları, şaft yatakları itme yatakları, arka tüp yataklarını, bölme geçiş sigilleri ve arka tüp sigillerinden oluşur .

5.7.1 Tahrik Şaftları

Şaft, tahrik torkunu pervaneye ve itmeyi Kingsburry itme yatağına iletir. Merkez hattında pervane valfi kontrol rodu bulunur. HOPM'den yüksek basınçlı hidrolik yağ, valf rodunun içerisinden pervane göbeğine beslenir. Yağ, göbekten samp tanka tahrik şaftı içinden ve valf rodu dışından döner. Daha sonrayağ dağıtım kutusundan hidrolik yağ tankına akar.

G Sınıfı Fırkateyn şaftları ve redüktörleri 7 Derece meyillidir ve 28,8 m uzunluğundadır. Tahrik şaftı üç kısımdan oluşur.:

1. İç Şaft: Şaft yatakları tarafından desteklenir.
2. Arka Tüp Şaftı: Arka tüp yatağı tarafından desteklenir ve pervane şaftına bağlıdır.
3. Pervane Şaftı: İtme yatağı tarafından desteklenir.

Tahrik şaft sistemi redüktör, piç kontrol sistemi, maskeleme havası, ana yangın sistemi ve şaft sistemi için kontrol ve indikasyon sağlayan tahrik kontrol ile birlikte çalışır.

5.8 Piç Kontrol Sistemi

Gemi hidrolik olarak hareket ettirilen CP (controlable pitch) pervane tarafından tahrik edilir. Pervane, bir redüktör ve tahrik şaftı yoluyla iki gaz türbini tarafından tahrik edilir. Gaz türbinleri ters yönde çalıştırılmadığından, CP pervaneleri ileri ve tornistan yöndeki itmeyi sağlar. Böylece tornistan dişli ihtiyaç ortadan kalkar. Şaft, pervane tarafından bakıldığında saat yönünde (CW) döner.

CP pervane sistemi pervane kanatları ve göbek, pervane şaftı içinde bulunan hidrolik ve maskeleme borusu ve valf rod, hidrolik yağ güç modülü (HOPM: Hydraulic oil power module), yağ dağıtım kutusu (OD Box), kontrol valf manifold bloğu, hidrolik yağ samp tankı ve asma tanktan oluşur.

CP pervane 16 feet 6 inç çapında beş kanada sahiptir. Kanat piçi hidrolik servomotor, mekanik bağlantı ve hidrolik regüle valfi, pervane göbeğinde bulunur. Yüksek basınçlı hidrolik ve kontrol yağı, redüktörün yanında bulunan HOPM tarafından sağlanır. Redüktörün ön tarafında bulunan yağ dağıtım kutusu mekanik olarak bir kontrol rodu ile hidrolik yağ düzenleme valfine bağlanmıştır. Yağ dağıtım kutusu, düzenleme valf rodunu pozisyonlandıran hidrolik servoyu içerir. Yağ dağıtım kutusu aynı zamanda göbek servo motoru ve HOPM arasında akış yolu bağlantısı sağlar. Düzenleme valf kontrol rodu, maskeleme havası borusu ve hidrolik yağ için besleme ve dönüş akış yolu tahrik şaftı içinde bulunur.

5.9 Yağlama Yağı Prüfayeri

Yağlama yağı prüfayeri ana makine dairesine monte edilmiştir. Prüfayer ana redüktör yağlama yağı sampı, CP pervane hidrolik yağ sampı ve depolama ve servis tankındaki yağı ayırtmak için kullanılır. Prüfayer, aynı zamanda, yağı tanklar arasında transfer etmek veya yağı gemi dışına pompalamak için kullanılır. Prüfayer transfer için kullanıldığı zaman, giriş ve çıkış tulumbaları paraleldir ve tas yangeçit edilir.

Prüfayer, giriş ve çıkış tulumbaları ve entegre boru devresine bağlı dikey doğrudan tahrikli bir merkezkaç unitesidir. Prüfayer dış gövde, tahrik mekanizması, tas, kapak ve giriş kolu, giriş ve çıkış tulumbası ve sigil kutusundan oluşur. Entegre basınç geyci, termometre, giriş ve çıkış bağlantıları sağlanmıştır. Bir yağ straineri giriş hattına monte edilmiştir.

Prüfayer, hacim olarak %0.02' den daha fazla olmayan katı parçacıklara (maksimum parçacık boyutu 5 mikron), %0.05' den daha fazla olmayan suya sahip yağlama yağını ayırtılabilir.

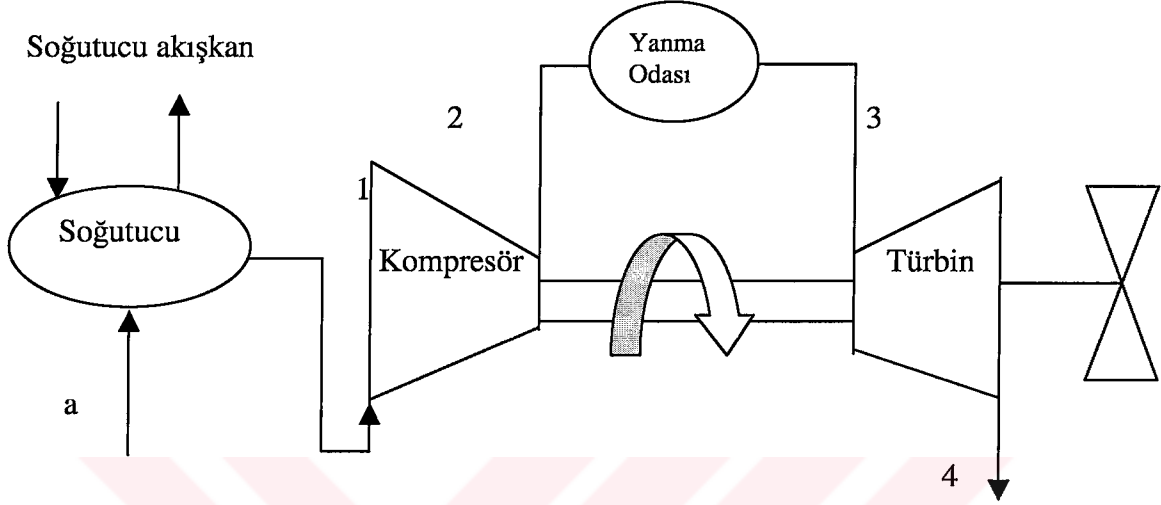
5.10 Motorin Prüfayeri

Motorin prüfayeri yakıtı, depolama tanklarından servis tanklarına transfer edilirken temizleyen, doğrudan tahrikli merkezkaç tipi bir seperatördür.

Prüfayerler motorini 378 l /dk veya JP-5' i 757 l /dk oranında ayırtma kapasitesine sahiptirler. Herbir prüfayer iki paralel boru devresinden transfer sistemine bağlıdır. Bir boru devresi, transfer tulumbası yüksek hızda çalışırken dahi, akışı 378 l/dk' da sınırlayan bir orifis (1,4 cm) içerir. Bu devre motorini temizlemek için kullanılır. Diğer devre 757 l /dk' lık bir akış oranına sahiptir (transfer tulumbası yüksek hızda çalışırken) ve JP-5 temizlenirken kullanılır.

6. GAZ TÜRİNİ İÇİN MATEMATİK MODEL

Burada incelenen gaz türbinin sisteminin matematik modeli dört temel elemana dayanır. Bunlar giriş havası soğutucusu, kompresör, yanma odası ve türbindir. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 Giriş hava soğutuculu gaz türbini sistemi

Modellemeyi yaparken çeşitli kabuller yapılmalıdır. Burada Henricks'in (1997) çalışmasında ele aldığı aşağıdaki kabuller yapılarak modelleme yapılmıştır.

Modelleme kabulleri:

1. Kompresör ve türbin kademeleri dikdörtgen kanatlara sahip disklerdir.
2. Her bir kompresör kademesindeki boyutsal azalma yine her bir türbin kademesindeki boyutsal artışa dolayısıyla bir sabit sayıya eşittir.
3. Kompresör ve türbin rotorları tam balanslıdır.
4. Sıkıştırma ve genişleme adyabatiktir.
5. Hava ideal gaz varsayılmıştır.
6. Kompresör giriş basıncı türbin çıkış basıncına eşittir.
7. Kompresör ve türbin kademelerinin verimleri sabittir.
8. Yanma odası sabit duvar kalınlığına sahip açık uçlu bir silindir olarak düşünülebilir.
9. Türbinde gerçekleşen entalpi düşüşü her kademedede eşit olarak gerçekleşir.
10. Soğutucu verimi sabittir.

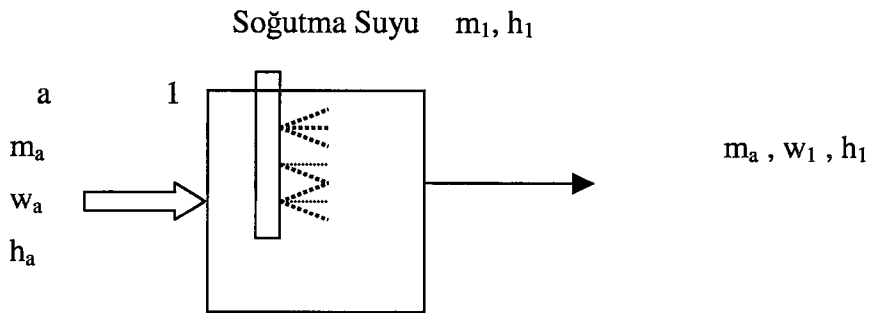
Gaz türbinleri dünyanın çeşitli yerlerinde güç üretimi maksadıyla kullanılmaktadır. Değişik coğrafi yerleşimler farklı iklimsel özellikler gösterirler. Sistem giriş havasının soğutulması havanın yoğunluğunu arttırdığından üretilen güçte de artış sağlanır. Çöl iklimindeki hava ile bir kıyı şeridindeki hava özellikle nemlilik açısından büyük farklar gösterir. Bu yüzden giriş havasındaki soğutma yöntemleri de farklılık gösterecektir. Bu çalışmada deniz seviyesi ve deniz ortamında bir çalışma koşulu incelendiğinde soğutma ile birlikte nem alma işleminde irdelenmesi gerekmektedir. Çalışmada kullanılan soğutma sistemi giriş havasına su püskürterek giriş havasının yoğunlaştırma yolu ile soğutulması şeklinde tanımlanmıştır. Yapılan çalışmalarda sistemden elde edilen gücün bu yöntemle %1,81 ile %15 arasında değişen oranlarda arttırılabildiği, giriş havasında gerçekleştirilen her 1.6° C'lik düşüş için elde edilen güçte %1'lik bir artış sağlandığı Alhazmy ve Najjar'ın (2003) çalışmasında tespit edilmiştir.

Sıkıştırma oranına bağlı olarak türbin ve kompresörün izentropik verimi hesaplanmış , yanma odası ise tam olarak izole edilmiş olarak kabul edilmiştir. Kompresörden geçen akışkanın hava ve su buharının ideal karışımı olduğu, türbinden geçen akışkanın ise yanmış gazların ve su buharının ideal karışımı olduğu kabul edilmiştir. Hava, su buharı ve yanmış gazların ideal gaz davranışlarını gösterdiği varsayılmıştır.

6.1 Giriş Havası Soğutucusu

Soğutucu olarak belitilen sistem giriş havası içine su püskürtme ile giriş havası içindeki su buharının yoğunlaştırulmasını sağlayan, böylelikle giriş havasının soğutan sistemdir. Soğutucu adyabatik bir doygunlaştırıcı olarak tasarlanmış olup havayı kompresöre %100 bağıl nem ile gönderir. Giriş havasının sıcaklığını ıslak termometre sıcaklığına kadar düşürür.

Şekil 6.2'de görüldüğü gibi atmosfer havası soğutucuya T_a ve ϕ_a ile girecek, yeterli miktarda su ilavesiyle havanın nemi artacak sıcaklığı ise düşecektir.



Şekil 6.2 Soğutucunun yapısı

Soğutucudaki enerji dengesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$C_{pa}(T_1 - T_a) = w_1 h_{fg1} + w_a (h_{ga} - h_{11}) \quad (6-1)$$

Burada w_a ve w_1 hava içinde bulunan su buharı miktarının hava miktarına bölümünü ifade eden nem oranlarını ifade ederler. w genel olarak doyma sıcaklığındaki su buharı basıncı ile ilgilidir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir (Boles ve Çengel,1996) :

$$w_1 = \frac{0,622 P_{g1}}{P_1 - P_{g1}} \quad (6-2)$$

P_1 giriş havasının basıncı P_{g1} ise giriş havası sıcaklığındaki suyun doyma basıncıdır.

6.2 Gaz Türbini

Burada standart bir gaz türbini sistemi ele alınmıştır. Sistem bir kompresör , bir türbin ve bir yanma odasından oluşmaktadır. Hava kompresöre T_1 , P_1 ve $\dot{O}_1$ ile girer ve bu değerler farklı atmosfer koşullarında soğutucuya bağlı olarak değişebilir. Kompresörün sıkıştırma oranına bağlı olarak (r_c) kompresör çıkışındaki akışkanın basıncı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir;

$$P_{02} = r_c P_{01} \quad (6-3)$$

burada P_{01} ve P_{02} nemli havanın kompresör giriş ve çıkışındaki basıncını ifade eder. İdeal gazlar için kullanılan politropik bağıntılardan kompresör çıkışındaki sıcaklığı kompresör izentropik verimine bağlı olarak bulmak istersek ;

$$T_{02} = T_{01} + \left(\frac{T_{01}}{\eta_c} (r_c^{(\gamma-1/\gamma)} - 1) \right) \quad (6-4)$$

γ özgül ısıların oranıdır. Kompresör izentropik verimi ise aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Alhazmy ve Najjar,2003) :

$$\eta_c = 1 - \left(0,04 + \left(\frac{r_c - 1}{150} \right) \right) \quad (6-5)$$

Havanın birim kütlesi başına kompresörde harcanan iş w_c termodinamiğin birinci kanunundan adyabatik bir kompresör için aşağıdaki şekilde hesaplanabilir ;

$$w_c = C_{pa}(T_{02} - T_{01}) + w(h_{g2} - h_{g1}) \quad (6-6)$$

h_{g2} ve h_{g1} kompresör giriş ve çıkışındaki doymuş su buharının entalpileridir.

Yanma işleminin gerçekleşebilmesi için kompresörden gelen nemli havaya yakıt eklenmesi gerekmektedir. Yanmış gazlardan oluşan akışkan denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$m_a h_{a02} + m_w h_{w02} + m_f h_f = m_g h_g + m_w h_{w03} \quad (6-7)$$

burada m toplam akış kütlesi , h her bir akışın özgül entalpisi ve a hava , w su buharı , f yakıt , g ise yanmış gazları ifade eder. Hava ve yanmış gazların ideal gaz davranışlarını gösterdiği varsayılırsa ;

$$C_{pa}(T_{02} - 298) + AF\Delta h_c = w(h_{03} - h_{02}) + (1 + AF)C_{pg}(T_{03} - 298) \quad (6-8)$$

burada w özgül nem , C_{pg} yanmış gazların sabit basınçtaki özgül ısısı , AF yakıt hava oranı ve Δh_c yakıtın ısı değeri ifade eder. Bu eşitliği hava yakıt oranını bulacak şekilde düzenlersek ;

$$AF = \frac{C_{pg}(T_{03} - 298) + w(h_{03} - h_{02}) - C_{pa}(T_{02} - 298)}{\Delta h_c - C_{pg}(T_{03} - 298)} \quad (6-9)$$

eşitliğini elde ederiz.

Yanma odası akışkanını T_{03} sıcaklığında turbine iletecektir. Turbine giren yanmış gazlar ve su buharı m_{tot} kütlesi ile ifade edilirse ;

$$m_{tot} = m_a + m_w + m_f \quad (6-10)$$

$$m_{tot} = m_a(1 + w + f) \quad (6-11)$$

olarak bulunur.

Türbin çıkış sıcaklığını bulabilmek için ideal gazların politropik bağıntıları kullanılırsa (Boles ve Çengel, 1996);

$$T_{04} = T_{03} + \eta_t T_{03} \left(\left(\frac{1}{r_c} \right)^{(\gamma-1)/\gamma} - 1 \right) \quad (6-12)$$

ifadesi elde edilir. η_t türbin izentropik verimi olup aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Alhazmy ve Najjar, 2003):

$$\eta_t = 1 - \left(0,03 + \left(\frac{r_c - 1}{180} \right) \right) \quad (6-13)$$

Yanmış gazların birim kütlesi başına türbinde elde edilen güç ise ;

$$w_t = (1 + w + AF)C_{pg}(T_{03} - T_{04}) \quad (6-14)$$

olacaktır.

Gaz türbini sisteminden elde edilen net özgül güç ise aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$w_{net} = w_t - w_c \quad (6-15)$$

Sistemin ısı verimi ise ;

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{AF\Delta h_c} \quad (6-16)$$

olacaktır.

Özgül yakıt tüketimi ise Bathie'nin önerdiği şekilde (Bathie, 1995) ;

$$SFC = \frac{3585,56}{\eta_{TH}\Delta h_c} \quad (6-17)$$

olacaktır.

7. GAZ TÜRBİNİ PARAMETRELERİNİN VE GİRİŞ HAVASININ SOĞUTULMASININ PERFORMANSA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

7.1 Giriş

Burada geliştirilmiş hesap modeliyle ele alınan kabuller kapsamında giriş havası sıcaklığı, bağıl nem, türbin giriş sıcaklığı ve sıkıştırma oranı (T_a , ϕ , T_{03} , r_c) parametrelerinin gaz türbininin performansına ve yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Parametrelerin değerleri Çizelge 7.1’de, akışkanların özellikleri ise Çizelge 7.2’de sunulmuştur. Tasarım değerinde gaz türbinin ısı verimi %34,3, özgül yakıt tüketimi ise 0,246 kg/kW’dır.

Çizelge 7.1 İşletme ve tasarım parametreleri (Alhazmy ve Najjar , 2003)

Parametreler	Tasarım değeri					
T_a (° C)	25	30	35	40	45	50
ϕ_a	%40	%50	%60	%70	%80	%90
T_{03} (° C)	1100	1200	1300	1400	1500	1600
r_c	6	7	8	10	12	15

Çizelge 7.2 Akışkanların fiziksel özellikleri (Alhazmy ve Najjar , 2003)

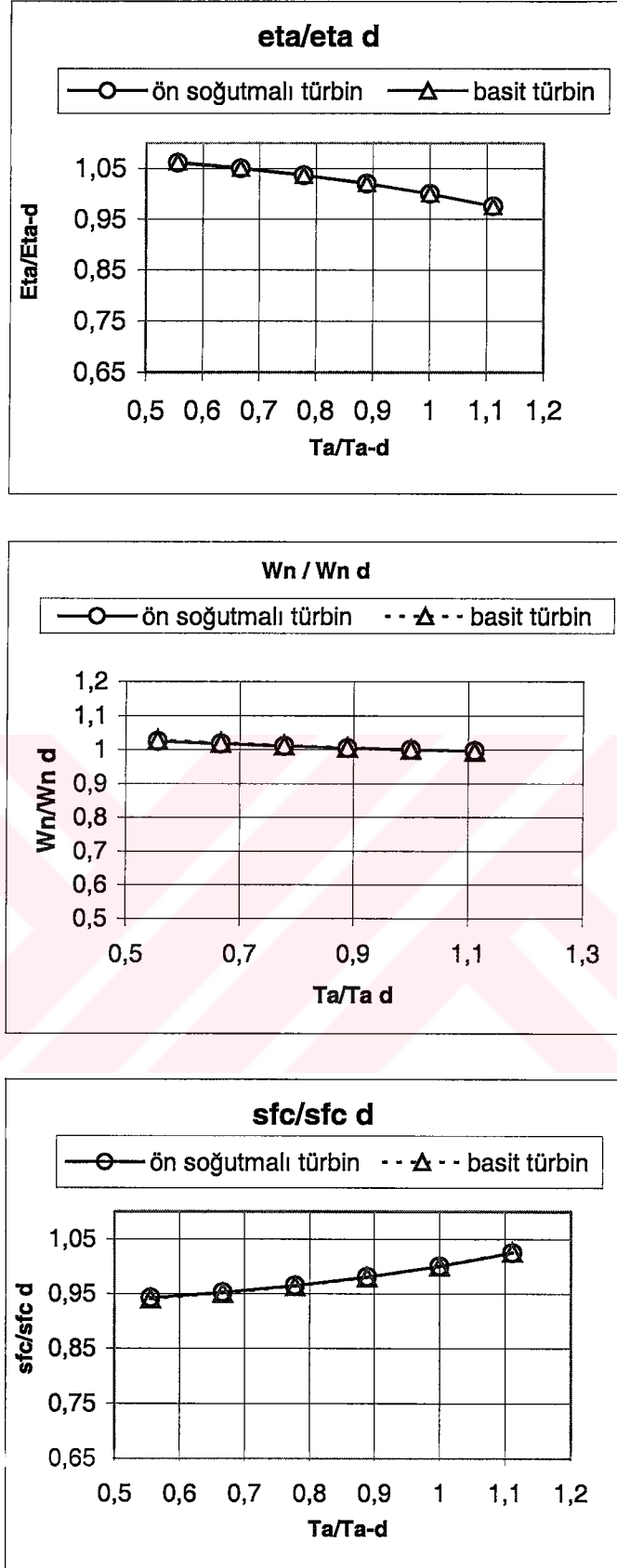
Madde	Özellik
Hava	Özgül ısı $200 < T < 800$ K ise $C_{pa} = 1,0189134 \times 10^3 - 1,3783636 \times 10^{-1} T + 1,9843397 \times 10^{-4} T^2 + 4,23992242 \times 10^{-7} T^3$ $800 < T < 2200$ K ise $C_{pa} = 7,9865509 \times 10^2 + 5,3392159 \times 10^{-1} T - 2,2881694 \times 10^{-4} T^2 + 3,7420857 \times 10^{-8} T^3$
Yanmış gaz	Özgül ısı A.Boles ‘ın İdeal Gas Tables isimli programından elde edilmiştir. (Boles,1996)
Su buharı	Bütün özellikler EES (Engineering Equation Solver) yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. (Boles ve Çengel, 1996)
Yakıt	Isıl değer 42500 (kJ/kg) (Δh_c)

Bu değerlere ek olarak bu çalışmada, GE LM 2500 gaz türbininin tasarım değerleri $T_a = 50^\circ \text{C}$, $\phi_a = \%90$, $T_{03} = 981^\circ \text{C}$ ve $r_c = 18,9$, TF50A gaz türbini için $T_a = 15^\circ \text{C}$, $\phi_a = \%60$, $T_{03} = 1027^\circ \text{C}$, $r_c = 11,1$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerlerden giriş havası sıcaklığı ve bağıl nem (T_a, ϕ_a) değiştirilebilir olarak görülmektedir ve önerilen sistemin dışında LM 2500 ve TF50A gaz türbinleri için bu iki parametrenin değişmesi durumunda aynı modeli kullanarak ne gibi sonuçlar elde edileceği de incelenmiştir. Bu değerler için LM 2500 gaz türbinin ısı verimi $\%21,7$, net gücü 14912 kW ve özgül yakıt tüketimi 0,352 kg/kW, TF50A gaz türbinin ısı verimi $\%36,5$, net gücü 4000 kW, özgül yakıt tüketimi ise 0,231 kg/kw'dır.

Bu modeller üzerinde yapılan parametrik çalışmanın sonuçları aşağıda irdelenmiştir. Parametrik çalışma yapılırken sadece bir parametreyi değiştirip diğer parametrelerin değerleri tasarım değerinde sabit tutulmuştur. Sonuçlar grafiklerle açıklanmıştır.

7.2 Giriş Hava Sıcaklığının Etkileri

Şekil 7.1'de giriş havası sıcaklığının diğer üç parametre sabitken ısı verim, net güç ve özgül yakıt tüketimine etkisi giriş havasının soğutulduğu ve soğutulmadığı durumlarda incelenmiştir. Giriş havasının $2,62 - 3,95^\circ \text{C}$ soğutulması durumunda $\%6,1$ ile $\%2$ arasında bir verim artışı sağlandığı, $\%2,5$ ile $\%0,59$ arasında bir net güç artışı sağlandığı, $\%5,58$ ile $\%1,98$ arasında özgül yakıt tüketiminde bir düşüş sağlandığı gözlenmiştir. Soğutucu yoluyla giriş havasında elde edilen sıcaklık düşüşü 25°C , $\phi_a = \%80$ için $2,62^\circ \text{C}$, 50°C , $\phi_a = \%80$ içinse $3,95^\circ \text{C}$ olmuştur. Soğuk giriş yüksek nem ortamındaki sıcaklık düşüşünün sıcak giriş yüksek nem ortamına oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu ise iki durum arasındaki doymuş su buharı miktarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

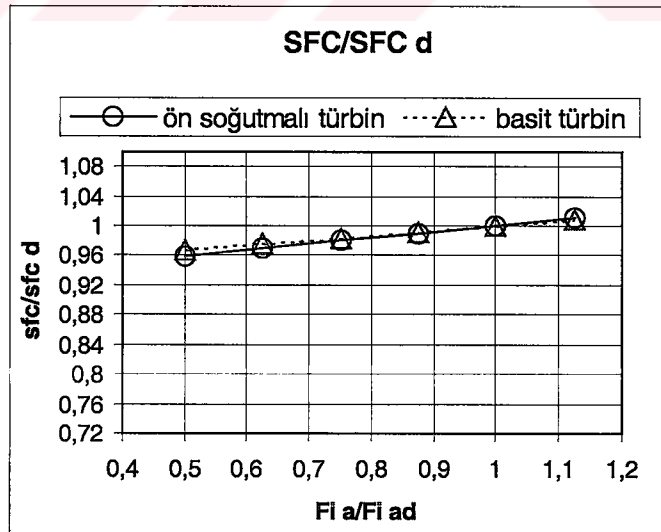
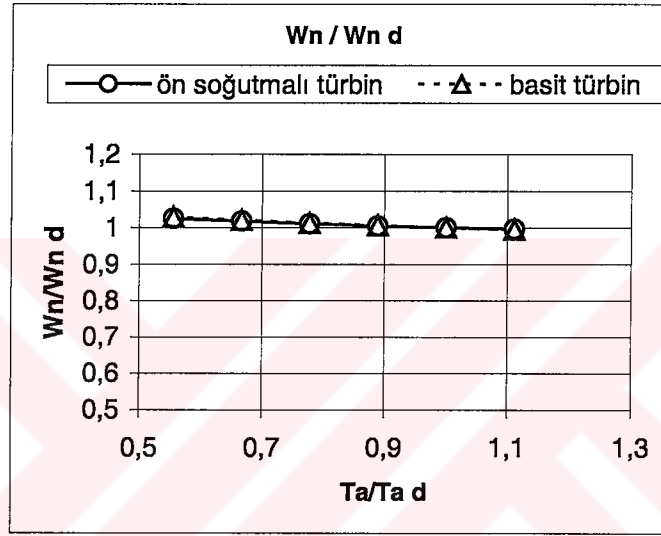
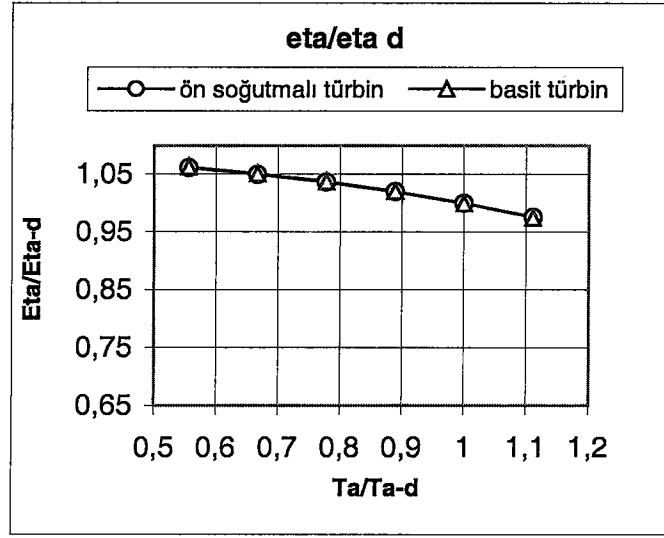


Şekil 7.1 Giriş havası sıcaklığına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan türbinlerin ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi ($T_a=25-50\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Tasarım değerleri : $\phi_a=\%80$, $T_{03}=1500$, $r_c=12$)

7.3 Bağıl Nemin Etkileri

Şekil 7.2’de bağıl nem değişken olarak alınırken diğer parametreler tasarım değerlerinde alınmış ve bağıl nem değişiminin ısı verim, net güç ve özgül yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Bağıl nemin değişmesi ve giriş havasının soğutulması durumunda ısı veriminde %4,18 ile %1 arasında bir artış sağlandığı, elde edilen net güçte %0,7 ile %0,1 arasında bir artış sağlandığı , özgül yakıt tüketiminde ise %4 ile %1 arasında bir düşüş sağlandığı tespit edilmiştir. Düşük nem oranında (45 ° C, %40) 13,24° C’lik bir sıcaklık düşüşü yüksek nem oranında ise (45 ° C, %90) 1,90° C’lik bir sıcaklık düşüşü sağlanmıştır. Diğer parametreler sabit kaldığında nem oranı değişiminin net güç üzerindeki etkisinin giriş sıcaklığı değişimi kadar etkili olmadığı ancak yine de özellikle verim üzerindeki etkisinin göz ardı edilemeyeceği değerlendirilmiştir.



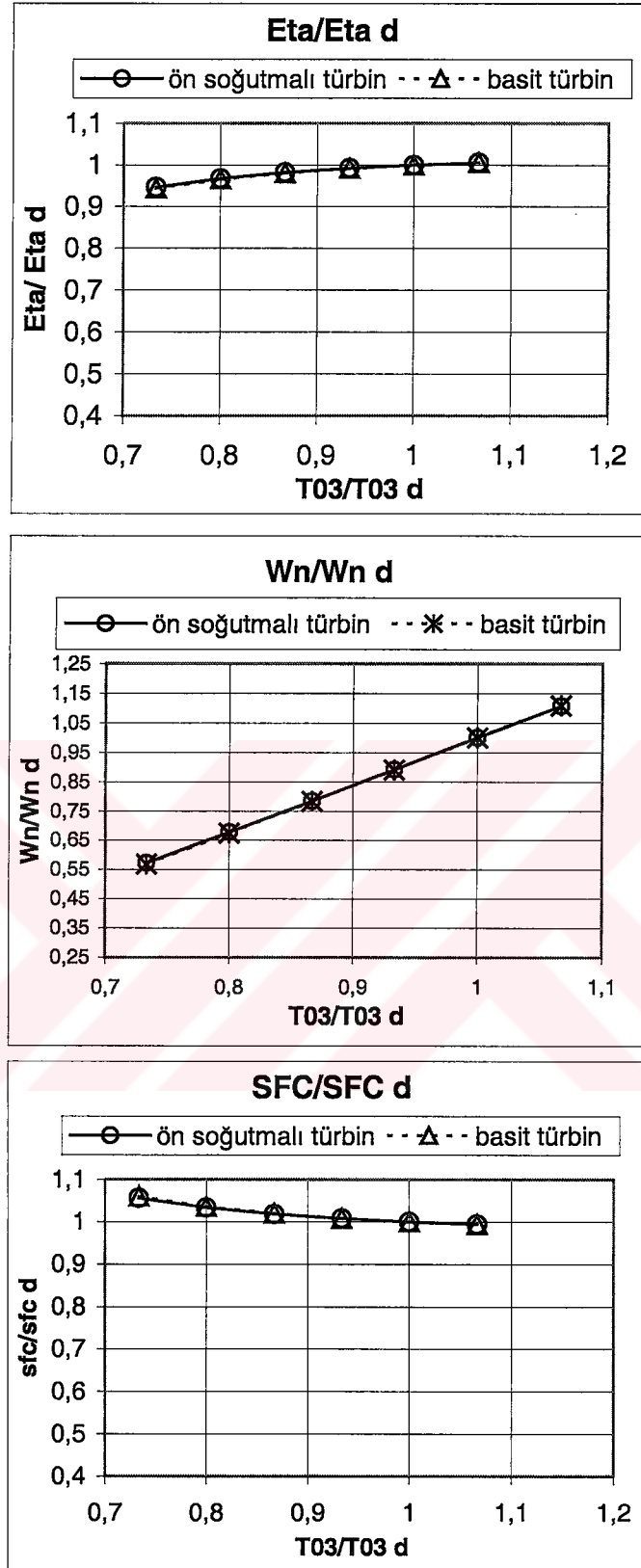


Şekil 7.2 Bağıl neme bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan türbinlerin ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi (Tasarım değerleri : $T_a = 50^\circ \text{C}$, $\phi_a = \%0,40$ - $\%0,90$, $T_{03} = 1500^\circ \text{C}$, $r_c = 12$)

7.4 Türbin Giriş Sıcaklığının Etkileri

Şekil 7.3'te türbin giriş sıcaklığı değişken alınırken diğer parametreler sabit tutulmuş ve türbin giriş sıcaklığı değişiminin ısı verim, net güç ve özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiştir. Türbin giriş sıcaklığının 1100-1600°C arasında değişmesi ve giriş havasının soğutulması durumunda ısı verimin 1600° C'de %0,5 oranında arttığı diğer durumlarda ise %5,31 ile %0,8 oranında azaldığı, net gücün 1600° C'de %10 oranında arttığı diğer durumlarda ise %43 ile %11 oranında azaldığı, özgül yakıt tüketiminin ise 1600° C'de %0,6 azaldığı diğer durumlarda ise %5 ile %0,7 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu değerler ışığında türbin giriş sıcaklığı ile verim, net güç ve özgül yakıt tüketiminin ters orantılı olduğu ve türbin giriş sıcaklığı arttıkça ısı verim ve net güç arttığı ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmektedir.



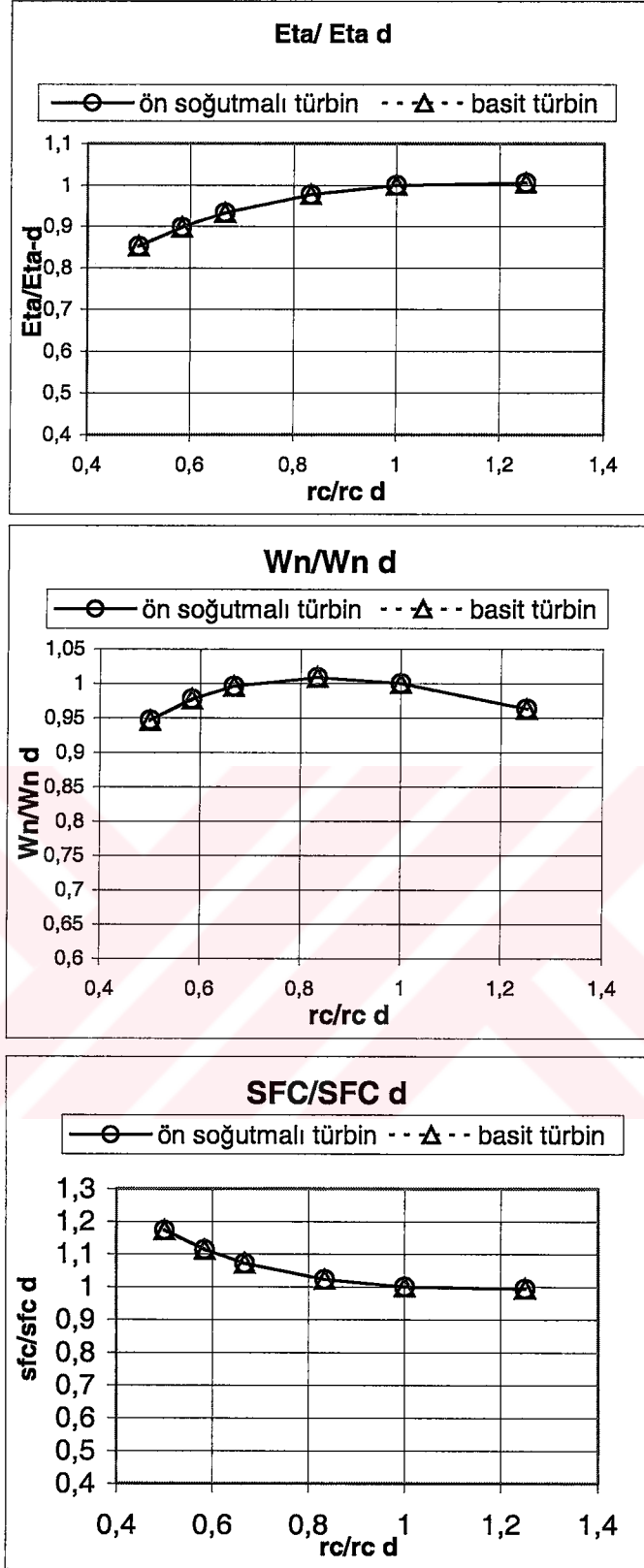


Şekil 7.3 Türbin giriş havası sıcaklığına bağlı olarak bait ve giriş havası soğutulan türbinlerin ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi (Tasarım değerleri : Ta = 50 ° C , ϕ_a =%0,80, T03=1100-1600° C , rc=12)

7.5 Sıkıştırma Oranının Etkileri

Şekil 7.4'te r_c değişken olarak alınmış diğer parametreler sabit tutulmuş ve sıkıştırma oranının ısı verim, net güç ve özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiştir. Sıkıştırma oranı 6-15 arasında değişken ve giriş havası soğutulurken ısı verimin $r_c = 15$ iken %0,5 oranında artış gösterdiği ancak diğer durumlarda %15 ile %2,3 oranında düştüğü, net gücün $r_c = 10$ iken %0,83 oranında artış gösterdiği ancak diğer durumlarda %5,63 ile %0,35 oranında düştüğü, özgül yakıt tüketiminin $r_c = 15$ iken %0,56 oranında düştüğü diğer durumlarda ise %17,3 ile %2,31 oranında arttığı tespit edilmiştir. Net güçteki sapma dışında sıkıştırma oranı arttıkça verim ve özgül yakıt tüketiminin olumlu yönde değişim gösterdiği değerlendirilmiştir.





Şekil 7.4 Sıkıştırma oranına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutulan türbinlerin ısı verim, güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi (Tasarım değerleri : $T_a = 50^\circ \text{C}$, $\phi_a = 0,80$, $T_{03} = 1500^\circ \text{C}$, $r_c = 6-15$)

7.6 LM 2500 ve TF50A Gaz Türbini İçin Sonuçlar

Geliştirilen matematik modeli GE LM 2500 gaz türbinine uyguladığımızda standart bir gaz türbinine yakın değerler elde edildiği görülebilir. Ancak bu modelde LM 2500 için sadece giriş havası değişimi ve bağıl nem değişimi uygulanabilir. Çünkü ele aldığımız sistem halen işletilmektedir ve sıkıştırma oranı ve türbin giriş sıcaklığı üst değerini değiştirmek sistemin taşıdığı korumalar ve tasarım parametreleri yönünden mümkün görünmemektedir. Bağıl nem ve kompresör giriş havası sıcaklık değişimi ile ilgili uygulamaların sonuçları aşağıda irdelenmiştir. LM2500 ve TF50A gaz türbinlerinin performans şartlar Çizelge 7.3 ve Çizelge 7.4'te verilmiştir.

Çizelge 7.3 LM 2500 gaz türbini performans şartları

Giriş havası sıcaklığı	25° C
Ortam basıncı	1,0133 bar
Bağıl nem	%0
Giriş kanalındaki hava basıncı kaybı	100 mm su
Egzoz kanalındaki egzoz gazı basınç kaybı	150 mm su
Statik basınç kaybı	0
Yakıt alt ısı değeri	42800 kJ/kg
Yardımcı şaft güç alınması	0
Güç	22371 kw
Güç türbini devri	3600 rpm
Maksimum özgül yakıt tüketimi	250 kg/kWh

Çizelge 7.4 TF50A gaz türbini performans şartları

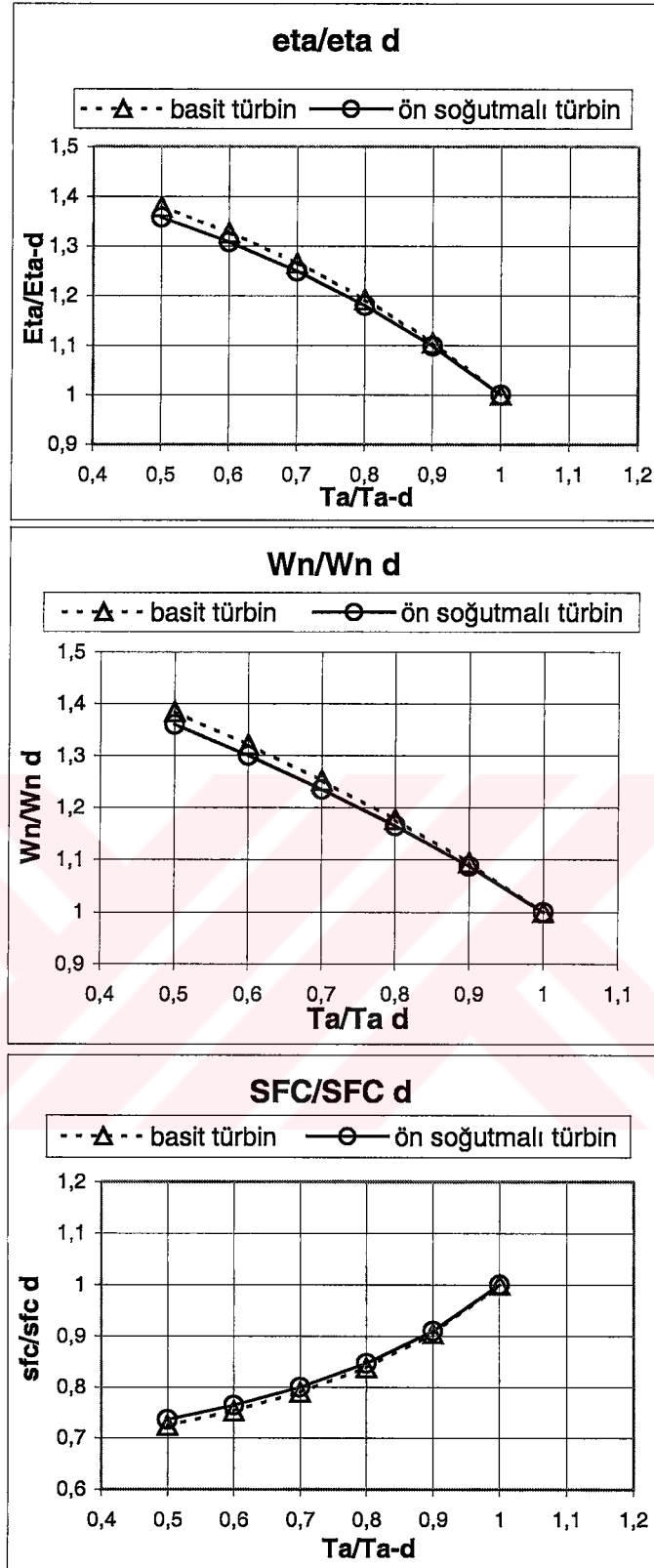
Giriş havası sıcaklığı	15° C
Ortam basıncı	1,0133 bar
Bağıl nem	%60
Giriş kanalındaki hava basıncı kaybı	100 mm su
Egzoz kanalındaki egzoz gazı basınç kaybı	150 mm su
Statik basınç kaybı	0
Yakıt alt ısı değeri	42400 kJ/kg
Yardımcı şaft güç alınması	0
Güç	4000 kw
Güç türbini devri	10600 rpm
Maksimum özgül yakıt tüketimi	281 kg/kWh

7.6.1 LM 2500 ve TF50A Gaz Türbinlerinde Giriş Havaşı Soğutulmasının Performansa Etkisinin İncelenmesi

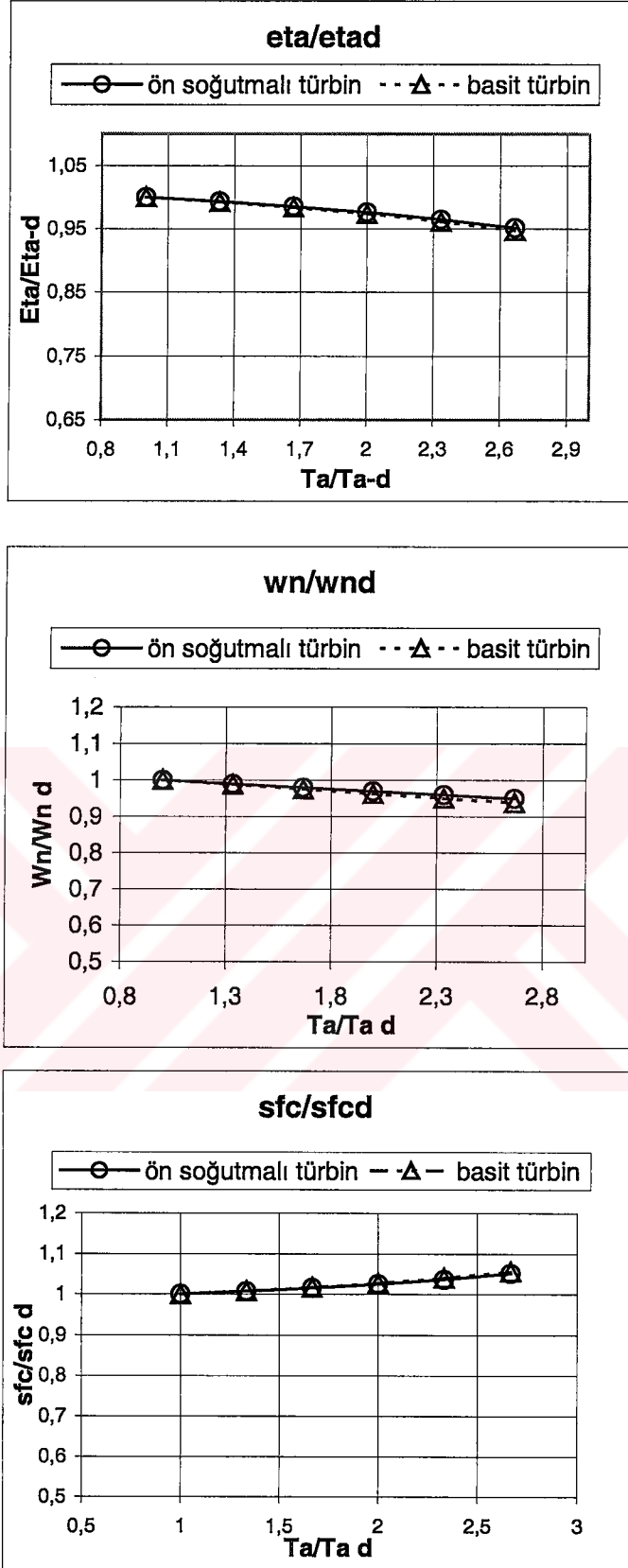
Şekil 7.5'te LM 2500 gaz türbininde giriş havası sıcaklığı değişken diğer parametreler tasarım değerlerinde iken ısı verim , net güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi incelenmiştir. Giriş havası sıcaklığı değişken ve giriş havası soğutulurken ısı verimin %1 ile %0,45 oranında artış gösterdiği, net gücün %2,44 ile %0,75 arasında artış gösterdiği, özgül yakıt tüketiminin ise %1,1 ile %0,42 arasında azalma gösterdiği tespit edilmiştir.

Şekil 7.6'da TF50A gaz türbininde giriş havası sıcaklığı değişken diğer parametreler tasarım değerlerinde iken ısı verim, net güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi incelenmiştir. Giriş havası sıcaklığı değişken ve giriş havası soğutulurken ortam sıcaklığı arttıkça ısı verimin %0,7 ile %4,8, net gücün %1,1 ile %5,1 oranları arasında azaldığı, özgül yakıt tüketimininse %0,7-%5,1 oranları arasında arttığı tespit edilmiştir.





Şekil 7.5 Giriş havası sıcaklığına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı LM2500 için ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi



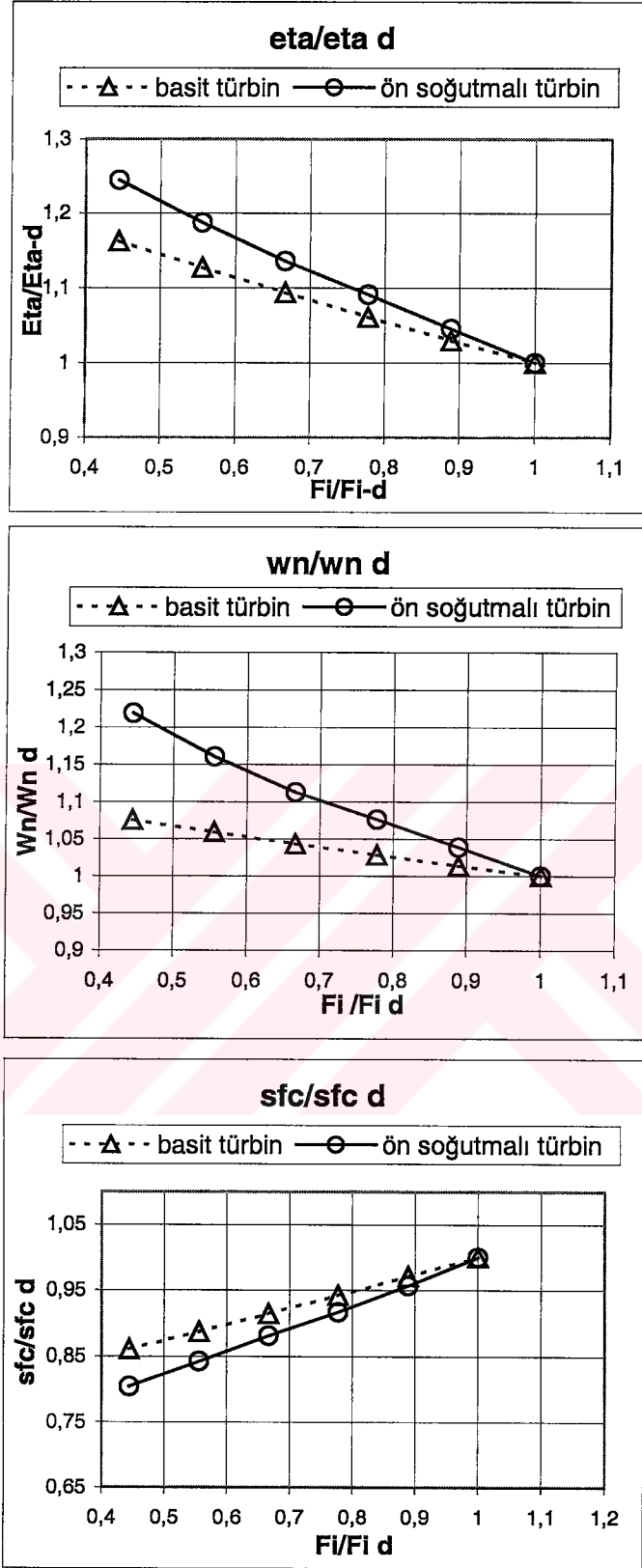
Şekil 7.6 Giriş havasına bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı TF50A için ısı verim,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi

7.6.2 LM 2500 ve TF50A Gaz Türbinlerinde Bağıl Nemin Performansa Etkisinin İncelenmesi

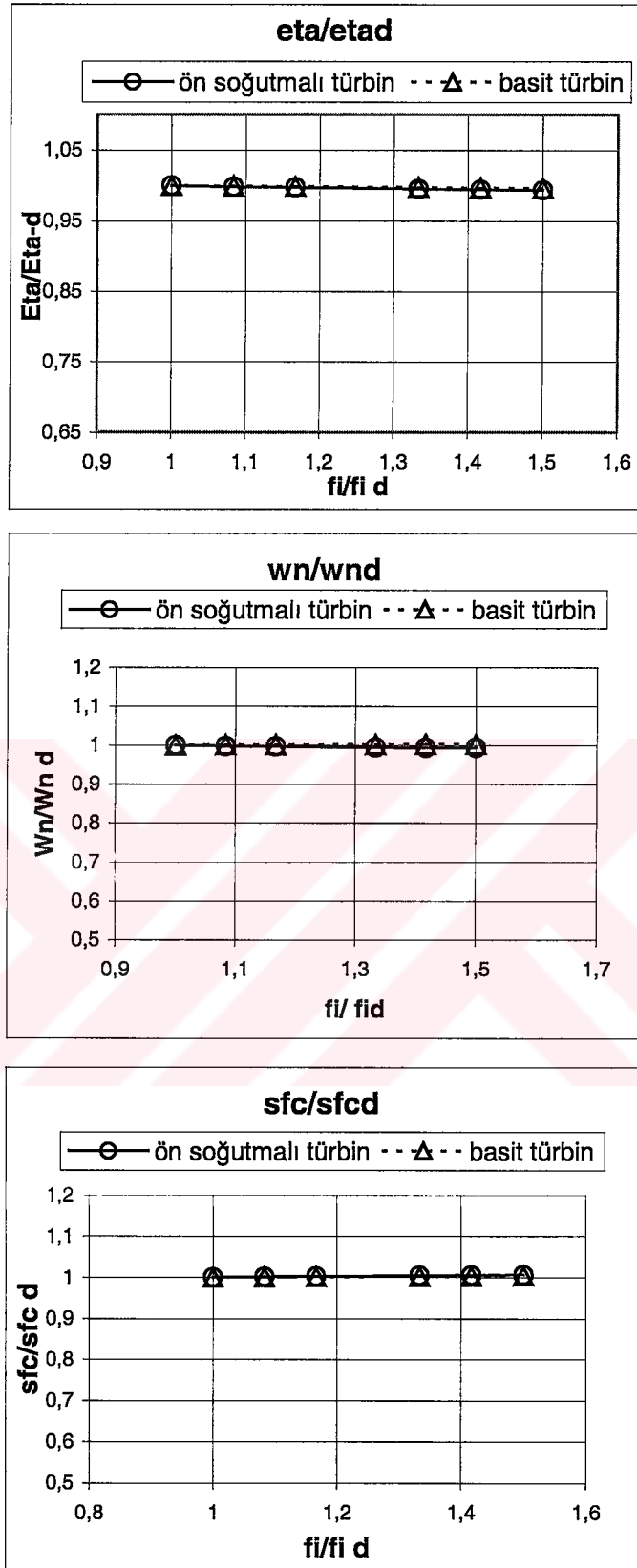
Şekil 7.7’de bağıl nem değişken diğer parametreler sabitken ısı verim, net güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi incelenmiştir. Bağıl nem %40-%90 arasında değişken ve giriş havası soğutulurken ısı verimin %2,20 ile %0,30 arasında arttığı, net gücün %14,37 ile %2,47 arasında arttığı, özgül yakıt tüketiminin ise %0,30 ile %2 arasında azaldığı tespit edilmiştir.

Şekil 7.8’de bağıl nem değişimine bağlı olarak ısı verimin %1-%6 arasında, net gücün %2-%7 arasında azaldığı, özgül yakıt tüketiminin ise %1-%6 arasında arttığı tespit edilmiştir.

Gerek standart bir gaz türbini sisteminde yapılan parametrik çalışma gerekse de LM 2500 ve TF50A gaz türbinlerinde yapılan parametrik çalışma sonucunda ele alınan işletme parametrelerinin gaz türbinlerinin genel performansı açısından çok önemli oldukları açıkça görülmektedir. Bu değerlerin öncelikle tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmasının yüksek performansa ve düşük yakıt tüketimine sahip gaz türbinleri üretmedeki önemi bilinmekte ve son dönemde bu konular üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 7.7 Giriş havası bağıl nemine bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı LM 2500 için ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi



Şekil 7.8 Giriş havası bağlı nemine bağlı olarak basit ve giriş havası soğutmalı TF50A için ısı verim ,güç ve özgül yakıt tüketiminin değişimi

7.7 Özetlenmiş Sonuçlar

İrdelenen parametrelerin sistem verimliliği ve performansına etkisi aşağıdaki gibi özetlenebilir. Türbin giriş havası değişiminin türbin performansına etkisi diğer parametreler içerisinde en belirgin olanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Badran'ın çalışmasında da belirtildiği gibi kompresöre giren havanın sıcaklığı arttıkça sistemin havaya olan ihtiyacı artacak, kompresörün çektiği iş artacak bu ise sistemden elde edilen net işi düşürecek dolayısıyla sistemin ısı verimi azalacaktır (Badran,1999). Bunu önlemek için giriş havasının soğutulması uygulanabilir bir yöntemdir. Bu yöntem bir takım maliyetleri beraberinde getirecek olsa da yine Alhazmy ve Najjar'ın (2003) çalışmasında da belirtildiği gibi yöntemden sağlanacak fayda nedeniyle bu maliyet 1,5 ila 9,5 yıl arasında kendisini sıfırlayacaktır.

Ele aldığımız parametrelerle ilişkili olarak türbin ve kompresörün verimleri de sistemin performansını doğrudan etkilemektedir. Bu iki parametre özellikle özgül yakıt tüketimi ve sistemin ısı veriminde değişikliğe neden olmaktadır. Kompresör ve türbin verimindeki artışlar termal verimin artmasına, net gücün artmasına, ısı kayıplarının azalmasına ve özgül yakıt tüketiminin düşmesine neden olmaktadır.

Sıkıştırma oranındaki artış ve düşüşler de sistemin genel performansında önemli etkiye sahiptir. Ancak sıkıştırma oranı için optimum oran istenen maksimum türbin giriş sıcaklığının sağlandığı orandır. Sıkıştırma oranı maksimum türbin giriş sıcaklığını geçecek şekilde tasarlanırsa kompresör çıkış sıcaklığı gereğinden fazla artacak ve kompresörün ihtiyaç duyduğu iş buna bağlı olarak artacaktır. Bu ise sistemden elde edilecek olan net iş dolayısıyla ısı verimi düşürecek ve özgül yakıt tüketimini arttıracaktır.

Bağıl nemdeki artış sistemin genel performansını olumsuz yönde etkilemektedir. Alhazmy ve Najjar'ın çalışmasında da görüldüğü gibi bağıl nemdeki artış kompresörün ihtiyaç duyduğu işi arttırarak net iş ve ısı verimin düşmesine, özgül yakıt tüketiminin ise artmasına neden olacaktır (Alhazmy ve Najjar, 2003).

Türbin giriş sıcaklığındaki değişimlerin sistemin performansında da değişimlere neden olduğu gerek daha önceki çalışmalarda gerekse de burada yapılan parametrik çalışmada kendisini göstermiştir. Türbin giriş sıcaklığı ne kadar yüksek olursa net iş ve ısı verim o kadar artmakta özgül yakıt tüketimi ise aynı oranda azalmaktadır. Ancak bu sıcaklık gerek sistemlerin malzeme dayanımı gerekse de optimizasyon gereksinimleri açısından belli bir değerin üzerine çıkamamaktadır.

Son olarak incelenen parametreler arasında bulunmayan ama sistemim ısı kayıpları açısından oldukça önemli olan yanma odası veriminin performansa etkisinin irdelenmesinde fayda

vardır. Yanma odası veriminin özellikle türbin giriş sıcaklığına ve net işe etkisi vardır. Bu iki parametreyi etkilemesi nedeniyle yüksek oranda bir yanma odası veriminin sistemin genel performansını olumlu yönde etkileyeceği açıktır.

Sonuç olarak incelenen tüm parametrelerin gaz türbini sisteminin performansını doğrudan etkilediği görülmüştür. Öncelikle tasarım aşamasında bu parametreler üzerinde çok ciddi bir şekilde durulması ve optimum çözümler için bizim de yapmış olduğumuz gibi birçok parametrik çalışmanın yapılması gerekmektedir. Günümüzün önemli güç üretim araçlarından olan gaz türbinleri ile ilgili çalışmalar zaten ele aldığımız parametrelerin iyileştirilmesi yönünde devam etmektedir. Halen kullanılmakta olan sistemler içinse özellikle giriş havasının soğutulması ve havanın nemden arındırılması yönündeki düzeltmelerin işletimde ekonomik faydalar sağlayacağı LM 2500 ve TF50A üzerinde yapılan parametrik çalışmayla da desteklendiği gibi açıkça görülmektedir.



8 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada öncelikle gaz türbinlerinin çalışma ilkesi , tarihçesi , elemanları, gaz türbinleri ile ilgili termodinamik kavramlar, gaz türbinlerinin diğer makinelere göre üstünlük ve yetersizlikleri, gaz türbinlerine ait yardımcı sistemler genel hatlarıyla anlatılmaya çalışılmış ve bu temel kavramlar üzerine bir matematik model inşa edilerek gaz türbini performansına etki eden parameterelerin tespitine ve tespit edilen bu parametrelerin performansı ne şekilde etkilediği araştırılmıştır.

İncelenen parametrelerin özellikle yeni bir gaz türbini tasarımı esnasında çok dikkatle üzerinde durulması gereken hususlar olduğu gerek giriş bölümünde bahsedilen çalışmalar gerekse de burada yapılan çalışmada bir kez daha kanıtlanmıştır.

Tespit edilen ve aslında diğer gaz türbini işletim ve tasarım parametreleriyle yakın ilişkisi veya bu parametrelerin bir sonucu olan giriş havası sıcaklığı , sıkıştırma oranı , giriş havası bağıl nemi ve türbin giriş havası sıcaklığı gaz türbini veriminde oldukça önemli etkilere sahip oldukları burada gösterilmiştir.

Bu parametreleri etkilerini gözden geçirildiğinde; giriş havası sıcaklığının 3-15° C düşürülmesinin örnek gaz türbininin veriminde %2-%6,1 oranında bir artışa , yine net güçte %0,59-%2,5 oranında bir artışa , özgül yakıt tüketiminde ise %2-%5.8 arasında bir düşüşe yol açtığı görülmüştür. Aynı şekilde ele alınan ve gemilerde kullanılan LM 2500 ve TF50A gaz türbinleri için de benzer değerler elde edilmiştir. LM2500 gaz türbini için giriş havası sıcaklığının 3,70-9° C arasında düşürülmesi durumunda tasarım değerine göre ısı verimin %0,45-%1, net gücün %0,75-%2,44 arasında artış gösterdiği, özgül yakıt tüketimininse %0,42-%1,1 arasında azaldığı tespit edilmiştir. TF50A gaz türbini için giriş havasının 3,20-7,44° C arasında soğutulması durumunda ortam sıcaklığı arttıkça ısı verimin %0,7-%4,8 oranında, net gücün %1,1-%5,1 oranında azaldığı, özgül yakıt tüketimininse %0,7-%5,1 oranında arttığı görülmüştür.

Giriş havasının bağıl neminin düşürülmesi durumunda ise verimde %1-%4.1 arasında bir artışa , net güçte yine %0,1-%0,7 arasında bir artışa neden olduğu , özgül yakıt tüketiminde ise %1-%4 arasında bir düşüş sağladığı tespit edilmiştir. Aynı şekilde LM2500 gaz türbini için bağıl nem %40-%90 arasında değişirken tasarım değerine göre ısı verimin %0,30-%2,20 arasında, net gücün %2,47-%14,37 arasında artış gösterdiği, özgül yakıt tüketiminin ise %0,30-%2 arasında azaldığı görülmüştür. TF50A gaz türbini için ise bağıl nemin %60-%90 arasında değişmesi durumunda tasarım değerlerine göre ısı verimin %1-%6 arasında, net

gücün %2-%7 arasında azaldığı, özgül yakıt tüketiminin ise %1-%6 arasında arttığı tespit edilmiştir.

Sıkıştırma oranı ise tam olarak aynı doğrusallıkta sonuçlar doğurmamaktadır. Sıkıştırma oranı incelenen türbin için 15:1 iken tüm çıkış parametrelerinde bir gelişme sağlanırken diğer durumlar için bir düşme söz konusudur.

Türbin giriş sıcaklığının artırılması (1600°C) durumunda gaz türbini tasarım değerlerine göre ısı veriminde %0,5'lik bir artış diğer durumlarda (1100-1400°C) %0,8-%5,31 arasında bir düşüş yaşandığı, net güçte %10 oranında arttığı diğer durumlarda ise %11-%43 arasında bir düşme olduğu, özgül yakıt tüketiminin de %0,6 oranında azaldığı diğer durumlarda ise %0,7-%5 arasında bir artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Bu sonuçlar doğrultusunda özellikle işletimde olan gaz türbinlerinin veriminde bir artış ve özgül yakıt tüketimlerinde bir düşüş sağlayabilmek için giriş havasının soğutulması ve bağıl nemin düşürülmesinin performansa pozitif katkı sağlayacağı görülmüştür.

Bu faydanın ise incelenen giriş havası soğutucuları içerisinde uygulama kolaylığı açısından diğerlerine göre daha üstün konumda bulunan sis yapıcı sistemlerle sağlanabileceği ve bu uygulamanın maliyetinin 45-70 \$/kW (Cortes ve Willems, 2003) olduğu düşünüldüğünde özellikle seyir süreleri yüksek ve sıcak ve nemli ortamlarda seyir yapan gemilerde kullanılan gemilerin gaz türbini sistemlerinin net güçlerinde %5-%10 bir artış sağladığı göz önüne alındığında uygulanabilir olduğu düşünülmektedir.

Tüm bu veriler ışığında halen kullanımda olan gaz türbini tahrikli yüksek süratli gemilerin performanslarında bir takım artışların sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada yer alan verim iyileştirici giriş havası soğutucu sistemlere ek olarak nem alıcı sistemlerin etkinliklerinin de artırılması yolu ile bütün bir giriş havası sistemi tasarımı ve bu tasarımın örnek bir sistem üzerinde uygulanmasının bu çalışmanın önerdiği yöntemin doğruluğunun araştırılması yolunda faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alhazmy M.M., Najjar Y.S.H., (2003), "Augmentation of gas turbine performance using air coolers", *Applied Thermal Engineering* 24 (2004): 415-429 , 15 Sep 2003.
- Allied Signal Aerospace, (1997), "Marine Propulsion System for the Turkish MILGEM Coastal Corvette Technical Proposal", 2-8-2-18, 12 June 1997.
- Amell A.A., Cadavid F.A., (2002), "Influence of the relative humidity on the air cooling thermal load in gas turbine power plant", *Applied Thermal Engineering* 22 (2002):1529-1533, 22 Apr 2002.
- Ameri M., Hejazi S.H., (2003), "The study of capacity enhancement of the Chabahar gaz turbine installation using a absorption chiller", *Applied Thermal Engineering* 24 (2004) : 59-98, 21 Jul 2003.
- Badran O.O., (1999), "Gas-turbine perfomance improvements", *Applied Energy* 64 (1999):263-273.
- Bassily A.M., (2001), "Effects of evaporative inlet and aftercooling on the recuperated gas turbine cycle", *Applied Thermal Engineering* 21 (2001):1875-1890, 19 May 2001.
- Bassily A.M., (2003), "Performance improvements of the intercooled reheat recuperated gas-turbine cycle using absorption inlet cooling and evaporative after-cooling", *Applied Energy* 77 (2004):249-272.
- Bathie W.W., (1995), "Fundamentals of Gas Turbines", John Willey&Sons, USA , 95-132.
- Cortes C., Willems D., (2003), "Gas Turbines Inket Air Cooling Techniques:An Overview of Current Technologies", Siemens Westinghouse, PowerGEN 2003, Las Vegas, Nevada, Paper represented at 9 Sep 2003.
- Cardu M., Baica M., (2001), "Gas turbine installation wit total water injection in the combustion chamber", *Energy Conversion and Management* 43 (2002):2395-2404, 9 Oct 2001
- Çengel.A.Y., Boles A.M., (1996), "Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik", Literatür Yayıncılık, İstanbul, 427-438, 627-634, 1996.
- Derince Eğitim Merkezi Komutanlığı, (1998), "Genel Gaz Türbini Ders Notu", Derince , 1-49, 1998.
- Derince Eğitim Merkezi Komutanlığı, (1998), " Gaz Türbini G Sınıfı Fırkateyn Ders Notu", Derince , 1-1,2-1,3-1,4-1,5-1,6-1, 1998.
- Jones C., Jacobs III J., (2000), "Economic and Technical Consideration for Combined Cycle Performance-Enhancement Options", GE Power Systems , GER-4200, New York ,10/2000.
- Kakaras E., Doukelis A., Karellas S., (2002), "Compressor Intake Air Cooling In Gas Turbine Plants", *Proceedings of ECOS 2002* , 3-5 July 2002, Belin , Germany.
- Kim T.S., Song C.H., Ro S.T., Kauh S.K., (1999), "Influence of ambient condition on thermodynamic performance of the humid air turbine cycle", *Energy* 25 (2000) :313-324, 2000.
- Landry M.C., Tillman C.T., (2003), "Asset Optimization of New Power Projects with Gas Turbine Inlet Cooling", *Turbine Air Systems*, Houston, USA, POWER-GEN Middle East 2003, 13-15 Oct 2003.
- Mee III T.R., (1999), "Reduction of Gas Turbine NO_x by Inlet Air Fogging", Mee İndutries Monroia , Canada, 30 Dec 1999.

Salvi D., Pierpaoli P., (2001), "Optimization of inlet air cooling systems for steam injected gas turbines", International Journal of Thermal Sciences 41 (2002):815-822, 8 Oct 2001.

Saravanamuttoo H.I.H, Rogers G.F.C., Cohen H., (2001), "Gas Turbine Theory", Prantice Hall, USA, 1-12, 28-32, 38-44, 2001.

Wang F.J., Chiou J.S., (2003), "Integration of steams injection and inlet air cooling for a gas turbine generation system", Energy Conversion and Management 45 (2004):15-26, 24 May 2003.

INTERNET KAYNAKLARI

[1]www.sciencedirect.com



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 23.02.1976

Doğum yeri Çorlu/Tekirdağ

Lise 1990-1994 Deniz Lisesi Komutanlığı

Lisans 1994-1998 Deniz Harp Okulu Komutanlığı
Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2001-2004 Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Müh.ABD

Çalıştığı kurumlar

1998-2002 TCG GAZİANTEP Komutanlığı

2002- Devam ediyor Donanma Komutanlığı