

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEMİLERDE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN  
DİZEL MAKİNE VE GAZ TÜRBİNİ İLE  
SAĞLANMASININ TEKNİK VE EKONOMİK ANALİZİ**

Makine Mühendisi Z. Ender GÖRGÜLÜ

**FBE Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Isı Proses Programında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Olcay KINCA Y**

**İSTANBUL - 2007**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>SİMGE LİSTESİ</b>	<b>iii</b>
<b>KISALTMA LİSTESİ</b>	<b>iv</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>v</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b>	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b>	<b>ix</b>
<b>ÖZET</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xi</b>
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Kaynak Taraması .....	2
2. GAZ TÜRBİNLERİ .....	11
2.1 Gaz Türbinlerine Genel Bakış .....	11
2.2 Gaz Türbinlerinin Çalışma İlkesi .....	11
2.3 Gaz Türbinlerinin Elemanları .....	14
2.3.1 Kompresör .....	14
2.3.1.1 Merkezkaç Kompresörler .....	14
2.3.1.2 Eksenel Akışlı Kompresörler .....	16
2.3.2 Yanma Odası .....	18
2.3.3 Türbin .....	19
2.3.3.1 Radyal Akışlı Türbinler .....	20
2.3.3.2 Eksenel Akışlı Türbinler .....	21
3. GEMİLERDE GAZ TÜRBİNİ KULLANIMININ İNCELENMESİ .....	24
3.1 Gemilerde Güç İhtiyacının Sağlanması .....	24
3.1.1 Geleneksel Tahrik Sistemi .....	24
3.1.2 Entegre Elektrik Tahrik Sistemi .....	24
3.2 Büyük Seyahat Gemilerinde (Cruise Ship) Gaz Türbinli Elektrik Üretimi .....	26
3.2.1 Ticari Denizcilikte Uygulamalar .....	27
3.2.2 COGES Ünitesi Dizaynı .....	29
3.2.3 COGES Ünitesi Performansı .....	31
3.2.4 Gaz Türbini Bakım Desteği .....	31
3.2.5 Bakım Destek Anlaşmaları .....	33
3.2.6 Hizmetteki Büyük Seyahat Gemilerinde Edinilen Tecrübeler .....	34
3.2.7 COGES Ünitesinin Güvenirliği/Kullanılabilirliği .....	34
3.2.8 Egzoz Dumanı ve Emisyonlar .....	36
3.2.9 Gürültü .....	36
3.2.10 Çalışma Esnekliği .....	36
3.3 Konteyner Gemilerinde Gaz Türbinli Elektrik Üretimi .....	36
4. DİZEL MAKİNE İLE GAZ TÜRBİNİNİN TEKNİK KARŞILAŞTIRMASI .....	62
4.1 Boyutlar ve Ağırlık .....	62
4.2 Yakıt Sarfıyatı .....	69
4.3 Teorik Çevrimler ve Isıl Verimler .....	71
4.3.1 Teorik Çevrimler .....	71
4.3.2 Isıl Verimler .....	72

4.4	Emisyonlar .....	75
4.5	Bakım – Onarım İmkanları .....	77
4.6	Gürültü .....	77
4.7	Genel Karşılaştırma .....	78
4.8	Gaz Türbinin Avantajları ve Dezavantajları .....	78
4.8.1	Avantajları:.....	79
4.8.2	Dezavantajları:.....	79
5.	GEMİLERDE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN DİZEL MAKİNE VE GAZ TÜRBİNİ İLE SAĞLANMASININ EKONOMİK ANALİZİ.....	81
5.1	Yıllık Değer Metodu.....	81
5.2	Enerji Maliyeti.....	82
5.3	Hesaplamalarda Kullanılan Veriler ve Yapılan Kabuller .....	82
5.3.1	Genel Hususlar .....	82
5.3.2	Yatırım (Satın Alma ve Kurulum) Masrafları.....	84
5.3.3	İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları .....	89
5.3.4	Yakıt Masrafları.....	90
5.3.5	Yağ Masrafları.....	95
5.3.6	Personel Giderleri .....	96
5.3.7	Sigorta Masrafları .....	99
5.4	Hesaplamalarla Elde Edilen Neticelerin Çizelge ve Şekillerle Gösterilmesi.....	99
6.	SONUÇLAR .....	114
	<b>KAYNAKLAR</b>	<b>117</b>
	<b>EKLER</b>	<b>120</b>
	Ek 1 Toplam 2500 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar .....	121
	Ek 2 Toplam 5000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar .....	128
	Ek 3 Toplam 10000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar .....	137
	Ek 4 Toplam 20000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar .....	145
	Ek 5 Toplam 40000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar .....	154
	Ek 6 Toplam 90.000 kW güç kapasitene sahip kombine çevrim gaz türbini jeneratörlü sistemin basit çevrimli gaz türbini jeneratörü ile karşılaştırılması için yapılan hesaplamalar.....	160
	<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>165</b>

## SİMGE LİSTESİ

$A$	n yıllık bir zaman diliminde, her yıl sonunda yapılan eşit ödemeler, YTL
$C_a$	Sabit yıllık amortisman bedeli veya sabit yıllık sermaye maliyeti, YTL
$C_{AW}$	Yıllık eşdeğer maliyet değeri, YTL
$C_f$	Yıllık yakıt masrafları, YTL
$C_k$	Yıllık sabit sermaye veya yatırım masrafları, YTL
$C_m$	Yıllık işletme ve bakım masrafları, YTL
$C_{pw}$	Gelecekte yapılacak bütün masrafların bugünkü değeri, YTL
$C_T$	Yıllık toplam masraflar, YTL
$C(t)$	t zamanı sonunda ödeme veya masraflar, YTL
$E$	Yıllık elektrik enerjisi üretimi, kWh
$i$	Minimum geri dönüş oranı, minimum kar oranı veya iskonto oranı
$n$	Planlanan ödeme süresi, yıl
$P$	Paranın bugünkü değeri, YTL
$p$	Basınç, kPa
$pr$	Sıkıştırma oranı
$r_c$	Sıkıştırma oranı
$s$	Entropi, kJ/K
$S_n$	Paranın n yıl sonraki değeri, YTL
$Q_ç$	Çıkan ısı, kJ
$Q_g$	Giren ısı, kJ
$q_{net}$	Net ısı, kJ
$t$	Zaman, s
$T_ç$	Çevre sıcaklığı, °C
$V$	hacim, m <sup>3</sup>
$W_{net}$	Net iş, kJ
$\$$	Amerikan Doları
$€$	Avro

## YUNAN HARFLERİ

$\eta_c$	Kompresör verimi
$\eta_T$	Türbin verimi
$\alpha$	Yük oranı
$\beta_c$	Kompresör basınç oranı
$\gamma$	Adyabatik üs

## **KISALTIMA LİSTESİ**

APU	Yardımcı Güç Ünitesi (Auxiliary Power Unit)
COGES	Kombine Gaz Türbini ve Buhar Sistemi (Combined Gas Turbine and Steam System)
GPS	Küresel Yer Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
GTG	Gaz Türbini Jeneratörü (Gas Turbine Generator)
HRSG	Isı Geri Kazanımlı Buhar Üreticisi (Heat Recovery Steam Generator)
ICR	Ara Soğutuculu Yeniden Kazanım (Inter-cooled Recuperative)
IFO	Orta Fuel Oil (Intermediate Fuel Oil)
IGV	Giriş Kılavuz Kanadı (Inlet Guide Vane)
LHV	Alt Isıl Değer (Low Heating Value)
LNG	Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas)
MDO	Deniz Dizel Yakıtı (Marine Diesel Oil)
O&M	İşletme ve Bakım (Operation and Maintenance)
ÖYS	Özgül Yakıt Sarfiyatı
PAH	Polyaromatik Hidrokarbonlar (Polyaromatic Hydrocarbons)
PM	Parçacık Madde (Particulate Matter)
RON	Araştırma Oktan Sayısı (Research Octane Number)
SCR	Seçici Katalitik İndirgeme (Selective Catalytic Reduction)
STG	Buhar Türbini Jeneratörü (Steam Turbine Generator)
TEWAC	(Tam Su Soğutmalı Alternatif Akım) Totally Enclosed Water-Cooled Alternating Current

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 Gaz türbini ana yapısı.....	12
Şekil 2.2 Basit bir kapalı gaz türbini çevrimi.....	13
Şekil 2.3 Merkezkaç kompresör.....	16
Şekil 2.4 Çok kademeli yüksek basınçlı aksenal akışlı kompresör.....	17
Şekil 2.5 Yanma odasında alev oluşumu ve hava akışı.....	19
Şekil 2.6 Türbin stator kesit görünüşü.....	20
Şekil 2.7 Radyal akışlı türbin.....	21
Şekil 2.8 Aksenal akışlı türbin.....	21
Şekil 2.9 Tepki-impuls türbini.....	23
Şekil 3.1 Geleneksel tahrik sistemi.....	25
Şekil 3.2 Entegre elektrik tahrik sistemi.....	26
Şekil 3.3 COGES ünitesi şematik resmi.....	27
Şekil 3.4 Celebrity Cruises' Millennium class.....	28
Şekil 3.5 LM2500+ gaz türbini-jeneratörü paketi boyutları.....	30
Şekil 3.6 GTS Millenium'un 15000 çalışma saatinde LM2500+ gaz türbinlerine ait baroskop fotoğrafları.....	35
Şekil 4.1 Dizel makinelerin güce göre güç/ağırlık oranlarının değişimi.....	67
Şekil 4.2 Gaz türbinlerinin güce göre güç/ağırlık oranlarının değişimi.....	68
Şekil 4.3 Dizel makinelerin güce göre güç/alan oranlarının değişimi.....	68
Şekil 4.4 Gaz türbinlerinin güce göre güç/alan oranlarının değişimi.....	69
Şekil 4.5 Dizel makine ve gaz türbinlerin güce göre özgül yakıt sarfiyatı değişimi.....	70
Şekil 4.6 Dizel makine ve gaz türbinlerin güce göre özgül yakıt sarfiyatlarının değişimi.....	70
Şekil 4.7 Basit çevrim gaz türbinin teorik P-v ve T-s diyagramları.....	72
Şekil 4.8 Dizel makinenin teorik dizel çevrimi.....	72
Şekil 4.9 Kompresör verimleri.....	73
Şekil 4.10 Gaz türbini ısı verimi.....	74
Şekil 4.11 Sıkıştırma oranına bağlı olarak teorik dizel çevrimin teorik ısı verimi.....	74
Şekil 5.1 Uçak türevli ve ağır maksatlı gaz türbinlerin ünite başına satış fiyatları.....	85
Şekil 5.2 Çeşitli dizel jeneratörlerin ünite başına satış fiyatları.....	86
Şekil 5.3 Turbomach firmasından alınan gaz türbini jeneratörü yatırım fiyatlarının eğrisi....	87
Şekil 5.4 MAN firmasından alınan dizel jeneratör yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatlarının eğrisi.....	88
Şekil 5.5 Fuel oil viskozite-sıcaklık diyagramı.....	92
Şekil 5.6 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre sistemlerin yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması.....	103
Şekil 5.7 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre sistemlerin yatırım maliyetlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması.....	104
Şekil 5.8 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık işletme masraflarının karşılaştırılması.....	105
Şekil 5.9 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık işletme masraflarının grafik üzerinde karşılaştırılması.....	106
Şekil 5.10 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık yakıt masraflarının karşılaştırılması.....	107
Şekil 5.11 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık yakıt masraflarının grafik üzerinde karşılaştırılması.....	108
Şekil 5.12 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin birim elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin	

karşılaştırılması .....	109
Şekil 5.13 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin birim elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması .....	110
Şekil 5.14 Gemide 90 MW toplam kurulu güç kapasitesinde kombine çevrim ile basit çevrim sistemlerin yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması.....	111
Şekil 5.15 Toplam kurulu gücü 90 MW olan gemide yıllık çalışma saatine göre sistemlerin yıllık yakıt masraflarının karşılaştırılması.....	111
Şekil 5.16 Toplam kurulu gücü 90 MW olan gemide yıllık çalışma saatine göre sistemlerin yıllık işletme masraflarının karşılaştırılması .....	112
Şekil 5.17 Toplam kurulu gücü 90 MW olan gemide yıllık çalışma saatine göre sistemlerin birim elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin karşılaştırılması .....	113

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3.1 COGES ünitesi verimi .....	32
Çizelge 3.2 Standart 12 m ISO konteynerin boyutları/ağırlığı.....	37
Çizelge 3.3 Gaz türbini jeneratörü karşılaştırması .....	38
Çizelge 3.4 Seçilen gaz türbininin karakteristikleri.....	39
Çizelge 3.5 Tahrik sistemleri yardımcı ekipmanlarının karşılaştırılması .....	40
Çizelge 3.6 Gaz türbinli gemide kargo taşıma kapasitesinde % (yüzde) olarak artış.....	43
Çizelge 3.7 Ortalama konteyner taşıma ücretleri .....	43
Çizelge 3.8 Gaz türbinli gemide % (yüzde) olarak kârdaki artış .....	44
Çizelge 3.9 Gaz türbinli gemide kârdaki yıllık artış (\$) .....	44
Çizelge 3.10 Tipik gemi çalışma parametreleri.....	46
Çizelge 3.11 Yardımcı makineler yakıt sarfiyatları, geleneksel tahrik ünitesi .....	47
Çizelge 3.12 Gaz türbinli gemide 5 yıl sonunda elde edilen kâr.....	48
Çizelge 3.13 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Project Containership .....	48
Çizelge 3.14 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Trade Sol.....	49
Çizelge 3.15 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: B500.....	49
Çizelge 3.16 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Norasia Fribourg .....	50
Çizelge 3.17 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Nediloyd Asia.....	50
Çizelge 3.18 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Econship.....	51
Çizelge 3.19 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Samsung 5800 .....	51
Çizelge 3.20 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Samsung 8800 .....	52
Çizelge 3.21 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Suez Max SS .....	52
Çizelge 3.22 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Project Containership .....	53
Çizelge 3.23 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Trade Sol.....	53
Çizelge 3.24 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: B500.....	54
Çizelge 3.25 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Norasia Fribourg .....	54
Çizelge 3.26 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Nediloyd Asia.....	55
Çizelge 3.27 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Econship.....	55
Çizelge 3.28 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Samsung 5800 .....	56
Çizelge 3.29 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Samsung 8800 .....	56
Çizelge 3.30 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Suez Max SS .....	57
Çizelge 3.31 Gaz türbini yakıt sarfiyatları .....	57
Çizelge 3.32 İki sistemin yakıt sarfiyatı karşılaştırması .....	58
Çizelge 3.33 Bir haftada elde edilen kazançtaki artış.....	59
Çizelge 3.34 Tahrik ünitelerinin ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırması .....	60
Çizelge 4.1 Yüksek Hızlı Dizel Makinelerin Karşılaştırılması .....	62
Çizelge 4.2 Orta Hızlı Dizel Makinelerin Karşılaştırılması.....	64
Çizelge 4.3 Gaz Türbinlerinin Karşılaştırılması.....	66
Çizelge 4.4 Dizel makine ve gaz türbini azami emisyon değerleri .....	76
Çizelge 4.5 Dizel makine ile gaz türbininin karşılaştırılması .....	78
Çizelge 5.1 Gemi örnek işletme tarzları.....	82
Çizelge 5.2 Geminin işletme tarzları .....	83
Çizelge 5.3 Güç kapasitelerinin yüzde olarak gemide kurulu toplam güce oranı .....	83
Çizelge 5.4 Dizel jeneratör – gaz türbini jeneratörü fiyat karşılaştırması .....	84
Çizelge 5.5 Sistemlerin maliyet ve karakteristik bilgilerinin karşılaştırılması .....	85
Çizelge 5.6 Turbomach firmasından alınan gaz türbini jeneratörü yatırım fiyatları .....	86
Çizelge 5.7 MAN firmasından alınan dizel jeneratör yatırım fiyatları .....	87
Çizelge 5.8 Hesaplamalarda kullanılan dizel jeneratör yatırım fiyatları .....	88
Çizelge 5.9 Hesaplamalarda kullanılan gaz türbini jeneratörleri yatırım fiyatları .....	89
Çizelge 5.10 Çeşitli jeneratörlerin işletme ve bakım (O&M) masrafları analizi .....	90

Çizelge 5.11 Limanlara göre yakıt fiyatları (17.01.2007 tarihli) .....	91
Çizelge 5.12 Çeşitli dizel jeneratörlerin özgül yakıt sarfiyatları .....	93
Çizelge 5.13 Çeşitli gaz türbini jeneratörlerinin özgül yakıt sarfiyatları .....	94
Çizelge 5.14 Hesaplamalarda kullanılan özgül yakıt sarfiyatları .....	94
Çizelge 5.15 Çeşitli dizel makinelerin özgül yağlama yağı sarfiyatı .....	95
Çizelge 5.16 Dizel makinelerde kullanılan çeşitli yağlar ve Haziran 2006'daki fiyatları .....	96
Çizelge 5.17 Yük ve Yolcu Gemilerinin Başmühendis / Başmakinist ve Makine Zabıtları ile Donatımı .....	97
Çizelge 5.18 Yük ve Yolcu Gemilerinin Makine Tayfaları ile Donatımı .....	98
Çizelge 5.19 Uzak yol yük gemisi ve yolcu gemisi için ortalama personel maaşları .....	98
Çizelge 5.20 Gemideki toplam kurulu güce bağlı olarak sistemlerin toplam yatırım maliyetleri .....	99
Çizelge 5.21 Gemideki toplam kurulu güce ve geminin yıllık çalışma saatine bağlı olarak sistemlerin yıllık işletme masrafları .....	100
Çizelge 5.22 Gemideki toplam kurulu güce ve geminin yıllık çalışma saatine bağlı olarak sistemlerin yıllık yakıt masrafları .....	101
Çizelge 5.23 Gemideki toplam kurulu güce ve geminin yıllık çalışma saatine bağlı olarak birim elektrik enerjisi üretim maliyeti .....	102
Çizelge Ek 1.1 Geminin yük analizi .....	122
Çizelge Ek 1.2 Geminin işletme tarzları .....	122
Çizelge Ek 1.3 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	122
Çizelge Ek 2.1 Geminin yük analizi .....	129
Çizelge Ek 2.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	129
Çizelge Ek 3.1 Geminin yük analizi .....	138
Çizelge Ek 3.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	138
Çizelge Ek 4.1 Geminin yük analizi .....	146
Çizelge Ek 4.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	146
Çizelge Ek 5.1 Geminin yük analizi .....	154
Çizelge Ek 5.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	155
Çizelge Ek 6.1 Geminin yük analizi .....	160
Çizelge Ek 6.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	161
Çizelge Ek 6.3 Geminin yük analizi .....	163
Çizelge Ek 6.4 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi .....	163

## **ÖNSÖZ**

Bu tezi hazırlamamda yardımlarını esirgemeyen hocalarım Prof.Dr.Olcay KINCAY ve Prof.Dr.Ahmet Alkan DURSUN'a ve Turbomach Endüstriyel Gaz Türbinleri Ltd.Şti. ve MAN Diesel-Türkiye firmalarının satış temsilcisi personeline ve gösterdiği sabır ve destek nedeniyle sevgili eşim Merve'ye teşekkür ederim.

## ÖZET

Gemilerde artan elektrik ihtiyacı ve zararlı egzoz emisyonlarının küresel ısınmaya neden olacak derecede artması nedeniyle alışlagelmiş sistemlerin haricinde atmosferi daha az kirleten, daha az yer kaplayan ve ekonomik olarak dizel makinelerle rekabet edebilecek yeni güç sistemleri aranmaktadır. Bunun sonucu olarak ortaya çıkan, gemi tahriği için gerekli enerji ile gemi servis elektriği için gerekli enerjinin ayrı ayrı üretildiği geleneksel sistemlere alternatif olarak günümüzde bir çok uygulama alanı bulan tahrik enerjisi ile servis elektriğinin entegre bir sistemle üretildiği elektrik tahrikli gemilerin ve gelecekte kullanımı için çalışmalar yapılan tamamı elektrik gemi sistemlerinin üzerinde durulmuştur.

Güç sistemlerinde dizel makine ve gaz türbinlerinin kullanımı ile ilgili yakın geçmişte yapılan ve bu çalışmada da faydalanılan kaynaklara yer verilmiş, gaz türbinlerinin çalışma prensibi ele alınmıştır.

Gaz türbinlerinin gemilerde elektrik üretiminde kullanıldığı belli gemi tiplerindeki uygulamalar incelenmiştir. Dizel makinelerin çevreyi kirletmesi, çok yer kaplamaları, titreşim ve gürültüye neden olmaları dolayısıyla, alternatif olarak gaz türbinin kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. 2,5; 5; 10; 20 ve 40 MW güç seviyelerinde dizel jeneratör ile gaz türbini jeneratörlerinin yatırım, işletme ve bakım, yakıt masrafları ayrı ayrı hesaplanmış, birim güç başına maliyet tespit edilmiştir. Her güçte sistem maliyetleri birbirleri ile kıyaslanmıştır.

**Anahtar kelimeler :** Gemilerde elektrik üretimi, dizel jeneratör, gaz türbini, elektrik üretim maliyeti

## **ABSTRACT**

The new power systems, which will not be more expensive than diesel engines, which have smaller volume and will not cause pollution are searched because of increasing power requirements on board and global warming. As a result of this, integrated electric ship systems, which are alternative for the conventional propulsion systems are examined.

The first part of the thesis consists of studies focused on diesel engine and gas turbine applications in power systems, which have been prepared recently. The operating principle of gas turbine is delivered.

Ships, which gas turbines used for electric generation are observed. The question that if gas turbine could be used instead of diesel engine for electric generation is asked since diesel engine causes air pollution and gives environmental disease, has much volume, vibration and noise. Capital costs, O&M costs and fuel consumptions are calculated separately on 2,5; 5; 10; 20 and 40 MW power levels for diesel generator and gas turbine generator. Cost for kWh is calculated and the comparisons are done.

**Keywords:** Electric generation on ships, diesel generator, gas turbine, electric generation cost

## 1. GİRİŞ

Güç üretiminin dizel makinelerle alternatif olarak gaz türbini ile sağlanması birçok araştırmaya konu olmuştur. Dizel makineler, Rudolf Diesel tarafından 1893 yılında ilk modelin dizayn ve tecrübe edilmesinden bu yana, hızla buhar makinelerinin yerini almış ve hem ticari hem de askeri gemilerde hem tahrik hem de yardımcı sistemlerde yaygınlıkla kullanılır duruma gelmiştir. Günümüzde gemilerde elektrik enerjisi üretimi yaygın olarak dizel makinelerle sağlanmakta ancak teknolojiye ilerlemeler neticesinde bugün dizele alternatif olabilecek sistemler üzerinde durulmaktadır.

Dizellerin havayı çok fazla kirletmesi, fazla yer kaplaması, birim güç/hacim oranının yüksek olması, önemli miktarda yan ekipmana ihtiyaç duyması, titreşim ve gürültüye sebep olması alternatif sistem arayışında önemli etkenlerdir.

Askeri gemilerde geminin görev ihtiyacı, hareket profili ve savaş sistemleri kabiliyetleri önem kazanmakta, bu hedefler doğrultusunda gemide kullanılacak sistemler seçilmektedir. Çoğunlukla savaş gemilerinde, geminin mümkün olduğunca düşük deplasmana sahip olması, yüksek süratli olması, geminin düşman tarafından tespitini zorlaştırmak ve mayınlar tarafından fark edilmemek için, gemideki sistemlerin mümkün olduğunca düşük titreşim/gürültüye seviyelerine haiz olması, geminin akustik özelliklerinin üst seviyede olması gereklidir. Gaz türbininin, birim ağırlık/güç oranı en düşük olan güç makinesi olması ve dizele göre çok daha düşük titreşim ve gürültüye sebep olması nedeniyle, askeri gemilerde, ticari gemilere göre çok daha önce tercih edilmeye başlanmıştır.

Ticari gemilerde ise en önemli hedef kâr etmektir. Bu nedenle gemideki sistemler, istenen performansı sağlamanın yanında mümkün olduğunca kurulum ve işletim açısından ekonomik olmalıdır. Gaz türbinlerinin ilk yatırım maliyetinin ve yakıt sarfiyatının yüksek olması nedeniyle , ticari gemilerde çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Ancak günümüzde büyük güçlerde maliyet açısından gaz türbini jeneratörlerinin dizel jeneratörlerle rekabet edebilir duruma gelmesi ve geminin yolcu ve yük kapasitesinin gaz türbini jeneratörü kullanımı sayesinde arttırılabilmesi ile kârlılık da önemli oranda arttırılmakta ve ticari gemilerde de kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır.

Bu tezde, güç sistemleri ile ilgili kaynak taramasına yer verildikten sonra, gaz türbinleri tanıtılarak, dizel makine ile gaz türbininin teknik olarak performansları karşılaştırılmış, büyük seyahat gemilerinde ve yük gemilerinde kullanılan gaz türbini jeneratörleri incelenmiş, bu gemilerde gaz türbinlerinin sağladığı avantajlar üzerinde durulmuş ve son olarak gemilerde

elektrik üretiminin dizel makine ve gaz türbini ile sağlanmasının ayrıntılı ekonomik analizi yapılmıştır.

### 1.1 Kaynak Taraması

Gemilerde kullanılan güç sistemleri ile ilgili yakın geçmişte yapılan ve bu çalışmada da yararlanılan bazı inceleme, makale vb. kaynaklar aşağıda sunulmuştur.

**Förster, M., (2005),** Bu makalede, geçen yüzyılda gemilerde dizel makinelerinin diğer teknolojilere alternatif olarak kullanılmaya başlamasından, bugün gemilerde elektrik üretiminin sağlanmasında çok yaygın olarak kullanımına kadar geçen süreçte, ilk dizel makineden bugünün yüksek teknoloji dizel makinelerine geçişi sağlayan önemli adımlar ve dizel makinelerde gelecekte gerçekleştirilecek ilerlemeler anlatılmaktadır.

**Moliere, M., (2005),** Gaz türbinleri, sürekli akışa sahip makineler olup, bu düzgün aerodinamik ve yanma kinetiklerinin oluşmasını sağlar. Bu özellikler, yanma için gerekli yakıt özelliklerinde kısıtlamaları azaltır (örneğin, RON sayısı ve setan indeksi gibi değerlerde bir sınır aranmaz) ve temiz yanma için önemli avantajlar sağlar. Doğal gaz, dizel yakıtı, sıvı petrol gazı, kok kömürü gazı, hidrojen, metan, işlenmemiş yağ, ağır yağ, alkol, bio gaz, bio yakıt gibi yakıtlar gaz türbinlerinde kullanılabilir. Yakıttaki bu esneklik gaz türbinlerinin verim, güvenilirlik, uygulama çeşitliliği (mekanik tahrik, basit ve kombine çevrim, kombine ısı ve güç, düşük emisyonlar gibi birçok özelliğinde iyileşme sağlar. Bu makalede gaz türbinlerinde kullanılacak alternatif yakıtlar ve bu yakıtların avantaj/dezavantajları ve kullanım yerleri araştırılmıştır.

**Poulikkas, A., (2005),** Bu çalışmada, günümüzün ve geleceğin gaz türbini teknolojileri sunulmuştur. Çeşitli gaz türbini teknolojileri anlatılmış ve karşılaştırılmıştır. Basit gaz türbini çevrimi, Brayton çevrimi, gaz türbini performansını etkileyen faktörler (yakıt, hava sıcaklığı, giriş havasının soğutulması, nem, giriş ve egzoz kayıpları vb.), egzoz gazından atılan ısı enerjisinin değerlendirilmesi için gerçekleştirilebilecek çeşitli çevrimler (kombine çevrimler, Brayton-Kalina Çevrimi, Brayton-Brayton Çevrimi, Brayton-Dizel Çevrimi, Brayton-Stirling Çevrimi, Cheng Çevrimi gibi) incelenmiş, geleceğin güç üretim sistemlerinde önem teşkil edecek termodinamik karakteristikler üzerinde durulmuştur. Kombine çevrim teknolojisi günümüzde gaz türbinli güç sistemleri için en avantajlı durumdadır. 50 MWe'nin altındaki güç üretim sistemlerinde daha basit güç üniteleri maliyet etkinlik açısından tercih nedenidir. Bu kapasitede güç sağlayan kombine çevrimli güç üniteleri doğal olarak daha fazla özgül

yatırım maliyeti ve daha düşük elektriki verime neden olacak buna karşın sağlam ve güvenilir performans sağlayacaktır.

**Silva, V.V.R., Khatib, W., Fleming, P.J., (2005),** Bir gaz türbini performansının optimizasyonu, devamlı nominal güçte yakıt sarfiyatını en aza indirmek, aynı yakıt sarfiyatında elde edilen gücü azami seviyeye çıkarmak ve türbin kanat sıcaklığını en aza indirmek olarak ifade edilebilir. Türbin performansını artırıcı ilave kontrol sistemleri de uygulanabilir. Bu makalede, StudGA adı verilen, yukarıda verilen üç kriter çerçevesinde gerçekleştirilen optimizasyon çalışmaları sunulmaktadır.

**Yazarı Bilinmiyor, (2005),** Bu makalede, ticari gemi olan bir LNG (Liquefied Natural Gas) gemisinde General Elektrik marka LM 2500 model gaz türbinin ana tahrik sisteminde kullanılmasının Lloyd's Register tarafından onaylanmasının önemi, LNG gemilerinde gelecekte gaz türbinli güç sistemlerinin kullanılmasının yaygınlaşabileceği konu edilmektedir.

Bugüne kadar LNG tankerlerinde hep buhar türbinli güç sistemi kullanılmıştır. Artan doğal gaz talebini karşılamak için daha büyük gemiler inşa edilmiş ancak bu durumda standart tahrik sistemi gemilerde, düşük verim, yüksek emisyon ve buhar sistemleri konusunda kalifiye personel sıkıntısı gibi bazı problemler yaşanmıştır. Bu problemlerin söz konusu gemilerde gaz türbini kullanılması durumunda ortadan kalktığı ve LNG gemilerinde zaten fazlasıyla var olan doğal gazın güvenle yakıt olarak kullanılabilmesi nedeniyle büyük bir avantaj sağlandığı görülmüştür.

**Yazarı Bilinmiyor, (2005),** Lloyd's Register Asya, 250.000 m<sup>3</sup> ve üzeri hacme sahip LNG tankerlerinde ilk kez kullanılan Rolls-Royce MT 30 bulunan gaz türbinli tahrik sistemlerinin tam güvenli olduğuna dair araştırmasını tamamlamıştır.

Gaz türbinli tahrik sistemleri, bugüne kadar donanmada ve büyük seyahat gemilerinde yaygınlıkla kullanılmış olmasına karşın, genellikle buhar türbinli güç sistemleri kullanılan LNG tankerlerinde kullanımı çok yenidir. Bu nedenle Lloyd's Register Asya tarafından verilen bu onay, dünya denizcilik sektöründe önemli bir paya sahip Kore tersaneleri ve Rolls-Royce'u LNG tankerlerinde alternatif olarak gaz türbinli tahrik sistemi önerebilmeleri açısından lider duruma getirmiştir.

**Jofs, K., (2004),** Büyük seyahat gemilerinde, yolcular seyahat süresince geminin makine ve güç sistemlerini görmek ve onlardan çıkan rahatsız edici sesleri duymak yerine mümkün olduğunca sessiz, titreşimsiz ve makinelerin egzoz gazların uzak sakin bir yolculuk yapmayı

tercih ederler. Bu nedenle seyahat gemisi operatörleri, müşterilerine eni iyi hizmeti verebilmek için mevcut kriterlerin de üzerinde ortam sağlayarak daha fazla memnuniyet sağlamak, iynin daha iyisini gerçekleştirmek için çaba gösterirler.

Bu gemilerin güç sistemleri ile ilgili bir standart henüz oluşmamıştır. Her yeni projenin büyüklük, işletme profili, konfor ve çevresel etkiler yönünden çok iyi analiz edilmesi gerekir. Son yıllarda inşa edilen seyahat gemilerinde, makine sistemleri gemideki toplam alanın % 8'i ile % 17,5'ini kaplamaktadır. Bu hususta, yolculara daha fazla yer imkanı sağlayan, güçlü ve kompakt gaz türbinleri diğer alternatiflere göre büyük avantaj sağlamaktadır. Bu çalışmada gaz türbinlerinin aşağıdaki avantajlara sahip olduğu ifade edilmektedir.

- Düşük ağırlık ve yüksek güç,
- Yüksek güvenilirlik,
- Egzozdan çıkan ısıdan yararlanabilme imkanı,
- Hiç titreşim yapmaması,
- Daha düşük yağlama yağı sarfiyatı,
- Daha az bakıma ihtiyaç duyması,
- Daha az emisyonu sahip olması.

**Mattas, G., Thijssen, B., (2004),** Bugüne kadar LNG kargo gemilerinin tahrik sistemlerinde, çoğunlukla, güvenilirlikleri ve geminin kargo tanklarında mevcut gazı yakıt olarak kullanabilmeleri nedeniyle buhar türbinleri kullanılmıştır. Ancak buhar türbinlerinin düşük yakıt verimi ve diğer güç sistemlerine göre daha büyük hacim kaplamaları dolayısıyla alternatif sistemler incelenmiş ve Gaz de France tarafından Wärtsilä 50 DF marka/model, çift yakıtlı 8 dizel makineye sahip, elektrik tahrikli 2 LNG tankeri siparişi verilmiştir. Bu gemide, büyük seyahat gemilerindeki dizel-elektrik sistemine benzer şekilde, elektrik tahrik sistemi için elektrik üretilmektedir. Bu yöntem LNG kargo gemilerinde önemli avantajlar getirecektir.

Böylelikle, buhar türbinlerine göre daha düşük yakıt tüketimi sağlanmaktadır. Bu dizel makinelerde gaz ve sıvı yakıt kullanımı olmak üzere 2 alternatif vardır. Makineler tam güçte çalışırken, gaz yakıttan sıvı yakıtla geçiş bu makinelerde mümkündür. Doğal gaz kullanımı esnasında, tutuşma çok küçük miktarda sıvı yakıtla gerçekleştirilir. Bu dizel makinelerde NO<sub>x</sub> emisyonları buhar türbinlerine göre çok daha düşüktür. Kompakt yapıları sayesinde daha az yer kaplayarak kargo için daha fazla alan sağlarlar.

**Sanneman, B.N., (2004),** Bu makalede yazar, güç ihtiyacının tamamını gaz türbinli güç sistemi ile karşılayan, Haziran 2000'de hizmete giren, dünyanın ilk büyük seyahat gemisi (cruiser) GTS Millenium'un gaz türbinli elektrik ve buhar üretim sistemlerinin performansını

incelemiştir.

Bu gemideki gaz türbinli kombine elektrik ve buhar üretim sistemi (COGES) ile geminin ana tahrik sistemi ve servis elektriği için güç gaz türbinleri ile sağlanmakta, gaz türbinlerinden çıkan egzoz gazları ile kazanlarda buhar üretilmekte, üretilen buhar ile buhar türbinlerinde iklimlendirme, havalandırma, aydınlatma ve çamaşırhane için gerekli elektrik gücü üretilmektedir.

COGES sisteminin dizel elektrikli sisteme şu avantajları sağladığı görülmüştür.

- Daha düşük seviyede egzoz emisyonları ( $\text{NO}_x$  ve  $\text{SO}_x$ )
- Daha düşük gürültü ve titreşim seviyesi
- Daha düşük hacimde daha fazla güç dolayısıyla daha fazla kullanılabilir alan nedeniyle daha fazla yolcu ve daha fazla gelir
- Yüksek güvenilirlik ve yüksek ulaşılabilirlik
- Düşük bakım onarım gereksinimleri, düşük yağlama yağı sarfiyatı (işletme maliyetini düşürmekte)

Bu çalışmada, gaz türbinlerinin, 1970'lerde sadece donanmada kullanılmakta iken bugün özellikle başta büyük seyahat gemileri ve yüksek hızlı feribotlar olmak üzere ticari gemilerde ve yeni donanma konfigürasyonlarında da yaygın olarak kullanıldığı, gaz türbinlerinden sağlanan yararların görüldükçe kullanımlarının diğer tip gemilerde de yaygınlaşacağı ifade edilmektedir.

**Thiagarajan, M., (2004),** Çeşitli uygulamalar için shaft gücü sağlayan gaz türbini motorları yanma odası, kompresör ve türbin olmak üzere başlıca 3 ana elemandan meydana gelmektedir. Türbin ve kompresör birlikte ya aksiyal ya da santrifüj (radyal) tiptir. Yanma odası ise sabittir. Burada motorun tipini belirleyen esas unsur, gaz türbini yardımcı güç ünitesidir (APU- auxiliary power unit). Tipik olarak APU bir santrifüj kompresör, yakıcı ve aksiyal türbine sahiptir. APU'lar küçük jeneratörler ve hidrolik pompalar gibi ekipmanları tahrik edecek mekanik shaft gücünü üretir.

Bu tezde, bir APU (- yardımcı güç ünitesi)'nin ana 3 elemanının tek bir santrifüj rotorda birleştirilebilme ihtimali araştırılmıştır. Çeşitli durumlar için Model Center adında bir optimizer yardımıyla belirlenen en iyi dizayn noktalarının analizi maksadıyla bir MathCAD programı geliştirilmiş, elde edilen sonuçlar mevcut makine özellikleri (gaz türbini motoru, gaz ve dizel jeneratörler) ile karşılaştırılmıştır.

**Ackerman, B.M., (2003),** Gaz türbinleri gemilerin güç üretim sistemlerinde birim hacim

başına en büyük gücü vermekte, uygun pervane sistemi seçildiğinde, gaz türbini gemide istenilen yere yerleştirilebilmekte, gemide daha fazla boş hacim yaratarak, hacmin optimum kullanılmasını sağlamaktadır. Gemicilik pazarı büyüdükçe, gaz türbinleri geleceğin gemileri için vazgeçilmez bir seçenek olacaktır. Bu makalenin amacı gaz türbinli güç sistemleri ile sağlanan çok önemli faydaları göstermektir.

Dizel güç sistemli gemilerde, 750 ft uzunluğa sahip bir geminin yaklaşık %18'ini dizel tahrik sistemi oluştururken, gaz türbinli bir ünite ile bu büyüklük yaklaşık %75 oranında azaltılabilmektedir. Gaz türbinli üniteler daha az yardımcı sistemlere ihtiyaç duymaktadır.

Bir örnekle karşılaştırma yapmak için 40 ft uzunluğunda bir konteyner seçilmiş, bu gemide Solar Taurus 60 gaz türbinli güç sistemi ile geleneksel dizel makineli tahrik sisteminin kullanılması arasındaki farklar incelenmiştir. Her iki sistemde gerekli olan yardımcı ünite ve sistemler tek tek tespit edilerek tablo haline getirilerek karşılaştırma yapılmış, gaz türbinli sistemde %51 oranında daha az eleman kullanıldığı görülmüştür.

Dolayısıyla kargo taşıma için daha fazla alan yaratılmıştır. Böylelikle ticari anlamda daha fazla kar elde etme imkanı doğmuştur.

Bu çalışmada, her iki sistem için görevlendirilmesi gerekli personel ayrı ayrı tespit edilerek tablo haline getirilmiş, sonuç olarak dizelli sistemde en az 21 personel gerekirken, gaz türbinli de 18 personel yeterli olmuştur.

Bunlara ilave olarak gaz türbinli sistemde işletim ve bakım masraflarının azaldığı, egzoz emisyonlarının da düştüğü görülmüştür.

Bütün bunların yanında gaz türbinli sistemin daha yüksek yakıt sarfiyatına, daha düşük verime sahip olduğu ve ağır yakıtların kullanılmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Fakat, gaz türbinlerindeki gelişmeler devam ettikçe bu dezavantajların da ortadan kalkacağı değerlendirilmektedir.

**Cooper, D.A., (2001)**, Üç adet yüksek süratli feribotta (A, B ve C), normal seyirleri esnasında egzoz emisyon değerleri ölçülmüştür. Gemi A'da güç sistemi olarak geleneksel, orta devirli, marin dizel makine; Gemi B'de gaz türbini ve Gemi C'de ise NO<sub>x</sub> emisyonunu azaltan seçici katalitik düşürücüye (Selective Catalytic Reduction- SCR) sahip geleneksel, orta devirli, marin dizel makine bulunmaktadır. Bütün gemiler elektrik üretmek için benzer dizel jeneratörlere sahiptir.

Değişmeyen sabit makine yüklerinde ve bütün seyir boyunca NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, NMVOC, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, PM (particulate matter) ve PAH (polyaromatic hydrocarbons)'ın emisyon faktörleri saptanmış ve yıllık emisyon değerleri tahmin edilmiştir. Genel olarak, gaz türbinine sahip olan Gemi B, daha yüksek yakıt sarfiyatı ve CO<sub>2</sub> emisyon seviyesine karşın, en düşük NO<sub>x</sub>, PM ve PAH emisyon değerlerini göstermiştir. SCR'ye sahip olan Gemi C, en düşük NO<sub>x</sub> emisyon değerlerini göstermesine karşın, özellikle sahilde en yüksek NH<sub>3</sub> emisyonuna ulaştığı görülmüştür. En yüksek PM ve PAH emisyonları, gemiler sahilde hareketsiz durumda iken yardımcı makinelerden kaynaklanmıştır. Düşük-sülfür gaz yağı kullanıldığında, SO<sub>2</sub> emisyonları her 3 gemide de, bütün durumlarda azalmıştır.

**Koehler, H.W., Windelev, C., (2001)**, Bugün, büyük güce sahip dizel makineler, kötü çevresel etkileri nedeniyle sıklıkla tartışılmakta ve incelenmektedir. Bu tip makineler tarafından üretilen egzoz gazlarının sadece % 0,25 ile 0,35'i toksik elementler içermektedir. Bu küçük oranların bile daha da azaltılması gereklidir. 680 – 100.000 hp arası güç üreten dizel makine üreten, büyük güçlü, 2 ve 4 stroklu dizel makine sektöründe lider durumdaki MAN B&W Dizel, egzoz emisyonlarının azaltılması için uzun süredir çalışmalar yapmaktadır. Bu makale, MAN B&W'nin yaptığı çalışmaları örnek alarak, egzoz gazlarındaki zararlı önemli partikül ve elementlerin oluşma nedenleri ve etkileri ile bunların azaltılması için yapılabilecekleri anlatmaktadır.

Egzoz sisteminde seçici katalitik düşürücü (Selective Catalytic Reduction- SCR) kullanılması durumunda, egzozda oluşan NO<sub>x</sub> 'in % 90-99 oranında, HC/CO'nun % 80-90 oranında, is/kurumun %30-40 oranında, gürültünün ise 30-35 dB(A) azaldığı görülmüştür. SCR, tahmini olarak 10.000-40.000 saat ömre, 40<sup>3</sup>-70<sup>4</sup> \$/kW ilk yatırım maliyetine, 3 \$/MWh işletme maliyetine, yaklaşık 1600 kg/MW ağırlığa sahiptir.

**Latorre, R., (2001)**, Günümüzde denizcilik sektöründeki uygulamaların çevre üzerindeki etkisi her geçen gün daha büyük dikkatle takip edilmektedir. Bu durum, yakıt sarfiyatının ve kirliliğin azaltılmasını gerektirmektedir. Gemideki bilgisayarlar ve uydu haberleşmeleri sayesinde operatör, yakıt sarfiyatını ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltabilir.

Bu makale, bu problem üzerindeki çalışmaları sunmakta ve yakıt sarfiyatı ve NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak amacıyla gemi üzerinde kurulabilecek sistemleri incelemektedir.

Teknedeki mevcut makine izleme sistemi geliştirilerek, yakıt sarfiyatını en az indirmek amacıyla, tekne hızı ve mevki (GPS) bilgilerinin de sistem tarafından izlenmesi sağlanmış ve entegre makine kontrol sistemi kurulmuştur. Sistem çalıştırıldığında, manuel kullanıma

göre %15 oranında yakıt sarfiyatında ve NO<sub>x</sub> oluşumunda azalma görülmüştür.

Bundan sonraki adım olarak, gemi sistemleri ile sahilde bulunan network ağı arasında uydu ile bağlantı sağlanarak, günümüzün bilgi teknolojisinden azami ölçüde yararlanılmıştır. Bu sistem, teknenin çok yönlü bakım veri bankasının oluşmasını, makinelerin optimal bakım zamanlarının ve teknenin optimum hızının belirlenmesini, direncin azaltılması için karinanın temiz kalmasını, ve sonuç olarak yakıt sarfiyatının ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının %30 oranında düşürülmesini sağlamıştır.

**Anderson, W.C. ve arkadaşları, (1998)**, Bu çalışma, Amerikan Çevre Mühendisleri Akademisi tarafından, ABD Savunma Bakanlığı'nın Stratejik Araştırma ve Geliştirme Programı kapsamında, uzmanların katılımının sağlandığı, dizel makine, gaz türbini ve ordu donatım kaynaklı hava emisyonlarının kontrolü ve azaltılması maksadıyla alınacak maliyet etkin önlemlerin belirlenmesi konulu, Aralık 1998'te düzenlenen panelde sunulmuştur.

Bu sunumda, birinci bölümde emisyon kaynakları, kirliliğe neden olan partiküllerin neler olduğu, temiz havanın özellikleri ve yapılan araştırmanın metodu; ikinci bölümde askeri hedefler ile dizel makine, gaz türbini ve ordu donatım malzemelerinin neden olduğu emisyonlar, partiküller hakkında detaylar, araştırmanın nasıl yapıldığı ile ilgili temel bilgiler verilmiştir. Diğer bölümlerde çalışmalar kapsamında, Oluşum Prosesleri Çalışma Grubu, İzleme ve Ölçme Çalışma Grubu, Kontrol Teknolojileri Çalışma Grubu, Sağlık Etkileri Çalışma Grubu olmak üzere oluşturulan toplam 4 grubun çalışmaları anlatılmıştır. Oluşum Prosesleri Çalışma Grubu, emisyonların büyük oranda azaltılmasına etki edecek, emisyon kaynaklarının dizayn ve işletiminde gerçekleştirilecek temel değişikliklere rehberlik etmek amacıyla kirliliğe neden olan emisyonların oluşumunu incelemiş ve genel olarak 7, gaz türbinleri için 2, ordu donatım için 5 araştırma hedefi belirlemiştir. İzleme ve Ölçme Çalışma Grubu, emisyonların ölçümü ve izlenmesinde alınacak tedbirler; Kontrol Teknolojileri Çalışma Grubu güç sistemlerinin kontrol sistemlerinde emisyonun azaltılması yönünde etki yapacak önlemler, Sağlık Etkileri Çalışma Grubu ise emisyonların insan sağlığı üzerindeki etkilerini azaltma yönünde etki yapacak önlemleri Araştırma Hedefleri başlıkları adı altında öncelik sıralaması yaparak belirlemiştir.

**Hoskins, W.W., Booras S.B., (1998)**, Gaz türbini ve pistonlu makine kullanılan güç sistemlerinin maliyet ve performans karakteristiklerinin karşılaştırılmasını yapmak, küçük, güç üretim ünitelerinde (1 ile 25 MW arası) sistem seçimi yapmak için kullanıcıya fikir vermek amacıyla yapılan araştırmanın sonuçlarını vermektedir.

Araştırmada, ağır maksatlı ve uçak türevli olmak üzere iki tip gaz türbini ve orta devirli (514-900 d/d) ve yüksek devirli (1200-1800 d/d) pistonlu makineler incelenmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre, pistonlu makineler, türbinlere göre daha yüksek verime sahip olup, ünitenin büyüklüğü azaldıkça verim de azalmakta, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonu türbinlerde, pistonlu makinelere göre % 50 ile 70 arasında daha düşük olmaktadır. Uçak türevli gaz türbinleri, ağır maksatlı gaz türbinlerine göre düşük güçlerde daha maliyetli olmakta, ancak 10 MW'tan büyük güçlerde maliyetler hemen hemen eşit seviyeye gelmektedir. 700-900 d/d'lik pistonlu makineler, 514 d/d'lik pistonlu makinelere göre daha düşük maliyetlere sahiptir. Diğer güç üretim sistemlerinin aksine, pistonlu makinelerde makine devri arttıkça birim gücü üretme maliyeti azalmaktadır.

**Çalışma Grubu, (1997)**, Bu çalışmada, sanayi, devlet ve üniversitelerden katılan insanlarla oluşturulan çalışma grubu, dizel makine, gaz türbini, yakıt pilli gemi güç sistemlerinin belli performans parametrelerini ve mekanik ve elektrik tahrikli olarak gerçekleştirilen güç iletim sistemlerini incelemiştir. Çalışma grubunun amacı yakın, orta ve uzun dönem için güç üretim ve iletim sistemleri ile ilgili çıkış gücü, özgül yakıt sarfiyatı, özgül güç, özgül hacim, birim güç başına maliyet, yakıt alternatifleri, emisyonlar ve bakım parametrelerine bağlı olarak tahminlerde bulunmaktır.

Araştırmanın sonucunda, elektrik tahrikli sistemlerin, mekanik sistemlere göre daha fazla özgül yakıt sarfiyatı, özgül ağırlık ve hacme sahip oldukları ama yerleşim konusunda esneklik sağladıkları; dizel makinelerin ağır yakıt kullanmaları durumunda % 50 oranında yakıt tasarrufu sağladıkları, ancak bu durumda emisyonların kabul edilebilir bir seviyede tutulmasının gerektiği, ağırlığın önemli olduğu gemilerde, gaz türbini veya düşük ağırlıklı yakıt pilli güç sistemlerinin tercih edilebileceği, tekne hacmi/şeklinin önemli olduğu gemilerde ise elektrik tahrikli sistemlerin daha avantajlı olduğu, dizel makinelerin gaz türbinlere göre çok daha fazla egzoz emisyonuna sahip olduğu, yakıt pillerinde ise emisyonların yok denecek kadar az olduğu görülmüştür.

Kaynak taraması sonucu ulaşılan bütün bu çalışmalarda, güç sistemlerinin maliyet ve performans karakteristiklerinin karşılaştırılması, dizel makine ve gaz türbinlerindeki teknolojik gelişmeler, egzoz gazı emisyonlarının kontrolü ve azaltılması maksadıyla alınması gerekli maliyet etkin önlemler konuları genel olarak araştırılmış, bu çalışmada ise bu hususlara ilave olarak gemilerde elektrik üretimine yönelik, gaz türbinin, dizel makinelere

alternatif olarak kullanım alanları incelenmiş, kurulum ve işletim parametreleri göz önüne alınarak dizel ve gaz türbinli jeneratörlerin ekonomik analizi yapılmıştır.

## 2. GAZ TÜRBİNLERİ

### 2.1 Gaz Türbinlerine Genel Bakış (Bayram, 2004)

Gaz türbini yüksek basınç ve oldukça yüksek sıcaklıktaki akışkanın nozülde kinetik enerjiye döndükten sonra türbin kanatlarını itmesiyle çalışmaktadır. Kullanılan akışkan genellikle hava yakıt karışımı olup havanın yakıt oranı ortalama 60' dır. Bu yüzden akışkanın sadece sıcak hava olduğu kaba hesaplamalarda kabul edilir.

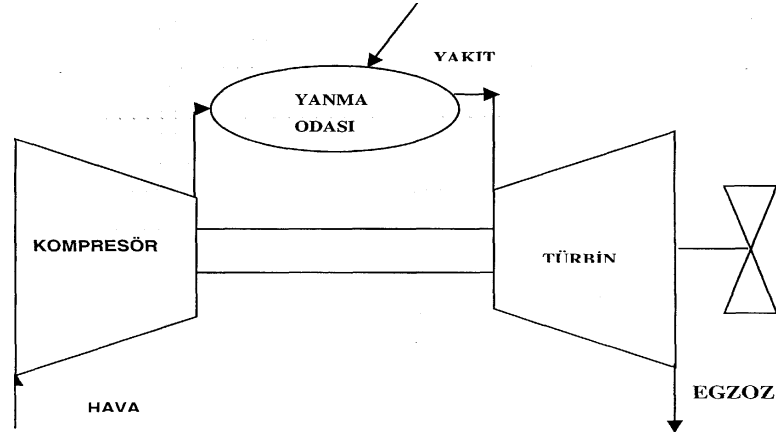
Gaz türbini, boyutları ve ağırlığına göre çok büyük miktarda güç üreten bir güç ünitesidir. Son 50 yılda gaz türbini hem kamu hem de özel sektörde güç endüstrisinde gittikçe artan oranda kullanılmıştır. Az yer kaplayan yapısı, düşük ağırlığı ve yakıt tüketiminde farklı alternatifler sunabilmesi gemilerde tercih edilmesine neden olmuştur. Gaz türbinleri, doğal gaz, dizel yakıt, nafta, metan, işlenmemiş yakıt, düşük-btu gazları, buharlaştırılmış fuel oil gibi birçok yakıtla çalışabilmektedir.

Son 20 yılda Gaz Türbini Teknolojisi oldukça önemli ilerleme gösterdi. Malzeme teknolojisindeki ilerlemeler, yeni kaplamalar ve yeni soğutma şemaları bu ilerlemelere öncülük etti. Bunlar, kompresör sıkıştırma oranındaki artışla birlikte, gaz türbini ısı verimini % 15'ten % 45'in de üzerine çıkarmıştır.

### 2.2 Gaz Türbinlerinin Çalışma İlkesi (Bayram, 2004)

Gaz türbinleri iş akışkanı gaz olan bir türbin motorudur. Türbinde genleşmeyi sağlamak amacıyla öncelikle belirli bir sıkıştırma oranına sahip bir kompresör yardımıyla akışkanı sıkıştırmak gerekmektedir. Sıkıştırılan havanın türbin tarafından genişletilerek 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 genişletilmesi 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 (Bayram, 2004)

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.

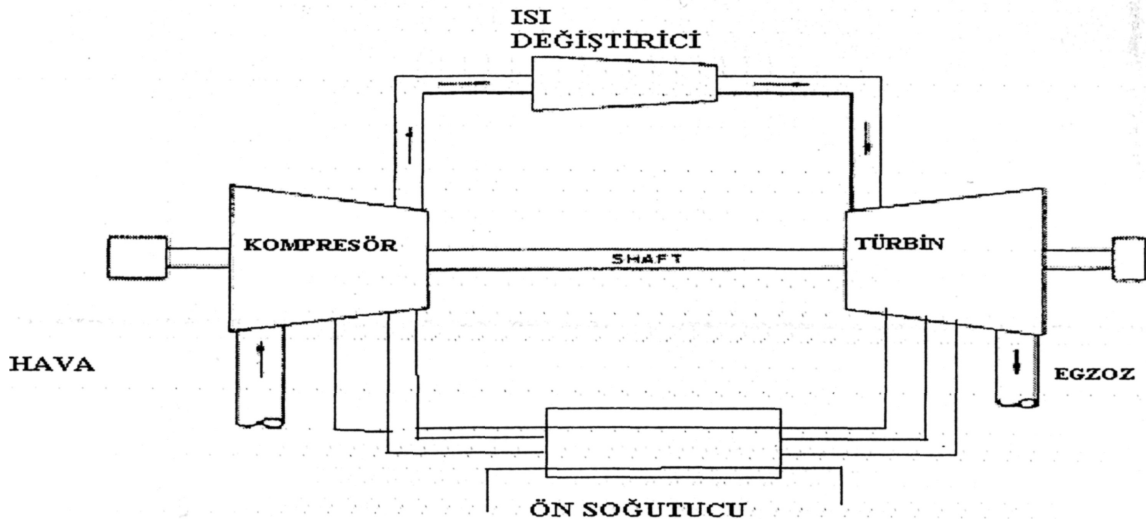
Gaz türbininin gelişimi sırasında en önemli problem yeterli sıkıştırma oranını ve yüksek kompresör verimini sağlamak olarak belirmiş olup bu konuda çalışmalar halen tam olarak sonuca ulaşamamıştır. Gaz türbini sisteminin iyileştirilmesi aerodinamik ve metalürjinin gelişimiyle yakından ilgili bir konudur 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 ulaşılabilmektedir.

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.

Gaz türbinlerinde sıkıştırma - yanma - genişleme 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 hususa gaz türbininde kullanılan açık ve kapalı çevrimlerdir. Daha çok kullanılan açık çevrimde atmosferden alınan hava kompresörde sıkıştırılıp yanma odasında yanma sağlanarak gaz türbininde genişletildikten sonra tekrar atmosfere atılmaktadır (Şekil 2.1).

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 (Bayram, 2004)

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. 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 artırıcı ilave sistemler sayılabilir.

#### **2.3.1 Kompresör**

Bir pompa veya kompresör esas itibarı ile aynı fonksiyondadırlar. Bu araçlar iş akışkanının basıncını arttırmaları 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 radyal ve aksel olmak üzere iki tip kompresör kullanılmaktadır.

##### **2.3.1.1 Merkezkaç Kompresörler**

Merkezkaç kompresörler, havaya yüksek hız kazandıran dönen bir impelleri içerisinde bulunduran sabit bir muhafazayla, havayı yavaşlatarak basıncını arttıran, belirli sayıdaki

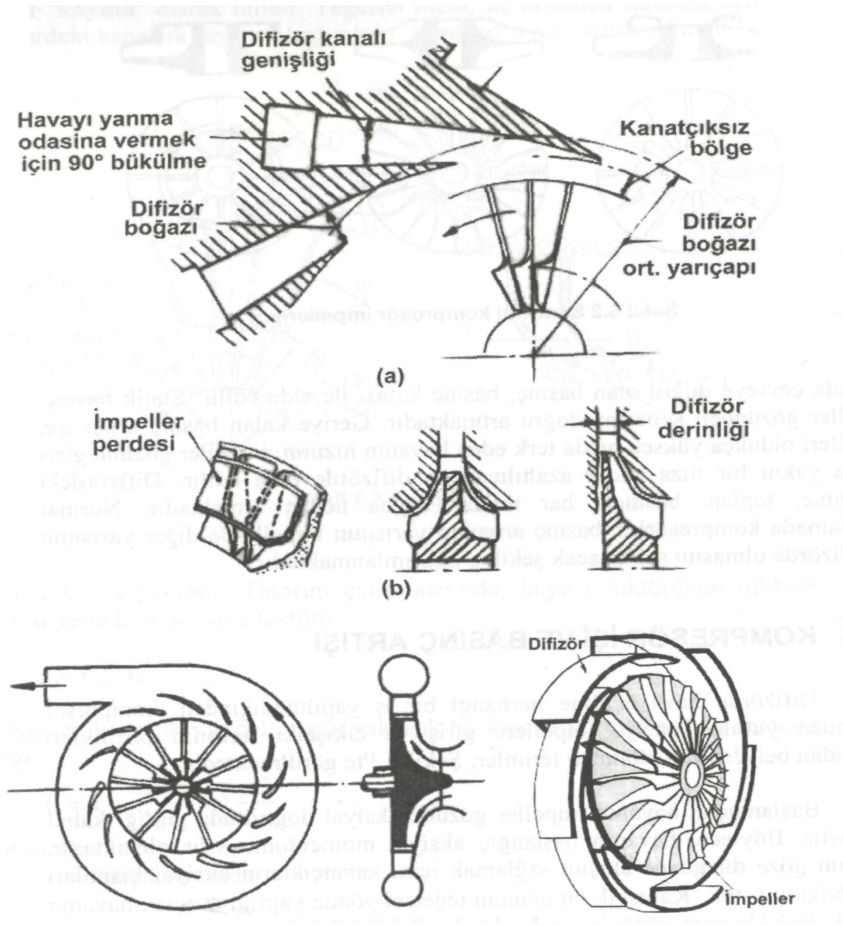
genişleyen pasajlardan oluşmaktadır. Havanın kinetik enerjisinin basınç enerjisine dönüşmesine “difüzyon” ve kompresörün genişleyen pasajlarına da “difüzör” denmektedir. Şekil 2.3’te, merkezkaç bir kompresörün şematik görünüşü yer almaktadır (Çetinkaya, 1999).

Bu tür kompresörler bir şaft üzerine yerleştirilmiş ve şaftla birlikte dönen bir impeller ve gövde üzerine tesbit edilmiş sabit difüzer kanatlarından meydana gelmiştir. 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 makinelerde çok kademeli kompresörler kullanılarak daha yüksek basınç oranları sağlanır.

Bu kompresörler bir seri dönen kanatlar ile bir seri sabit kanatlardan oluşmuştur. Hava makinenin 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 (Bayram, 2004).

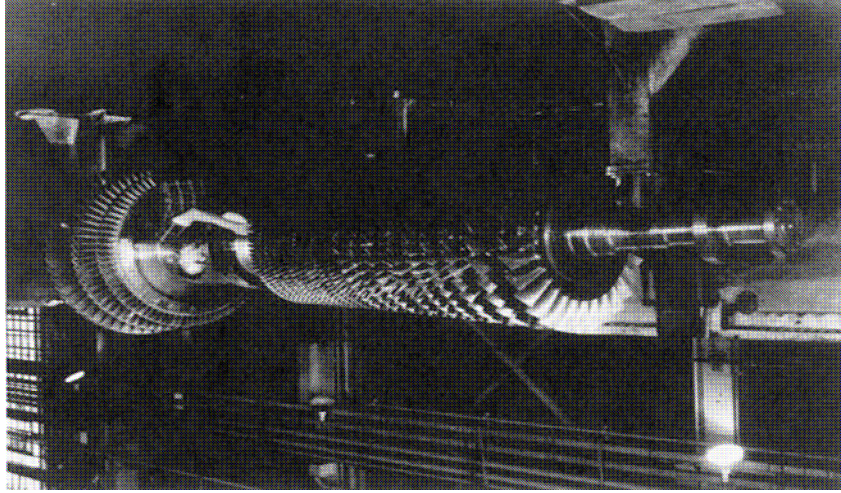


Şekil 2.3 Merkezkaç kompresör (Çetinkaya, 1999)

### 2.3.1.2 Eksenel Akışlı Kompresörler

Eksenel akışlı kompresörde, öncelikle hava hızlandırılır ve sıkıştırılır, daha sonra akışkanın yayılması sağlanarak basıncı artırılır. Rotor adı verilen bir dizi dönen kanatlar vasıtasıyla akışın sağlanmasını müteakip, akışkan stator adı verilen sabit kanatların arasında yayılır. Rotorda sağlanan akışkan hızındaki artışla elde edilen kinetik enerji, havanın statorda yayılmasıyla, yüksek basınca çevrilir. Bir kompresör birkaç kademeden oluşur. Bir rotor ve bir stator bir kademeyi oluşturur. Genellikle kompresör girişinde kullanılan, bir dizi sabit kanat (nozül kılavuz kanatçıkları) havanın birinci kademe rotora istenen açıda girmesini sağlarlar. Statorlara ilave olarak, kompresör çıkışında başka bir difüzör havanın daha ileri yayılmasını sağlar ve yanma odasına giren havanın hızını kontrol eder.

Eksenel akışlı bir kompresörde hava bir kademededen diğerine ilerler ve her kademe havanın basıncını biraz daha artırır. 1,1:1'den 1,4:1'e gibi küçük basınç artışları ile oldukça yüksek verimler elde edilebilir. Kademe sayısını artırılmasıyla 40:1'lik bir sıkıştırma oranına ulaşılabilir. Şekil 2.4'te çok kademeli yüksek basınçlı eksenel akışlı kompresör görülmektedir (Boyce, 2002).



Şekil 2.4 Çok kademeli yüksek basınçlı eksenel akışlı kompresör (Courtesy of Westing-house Electric Corporation) (Boyce, 2002)

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.

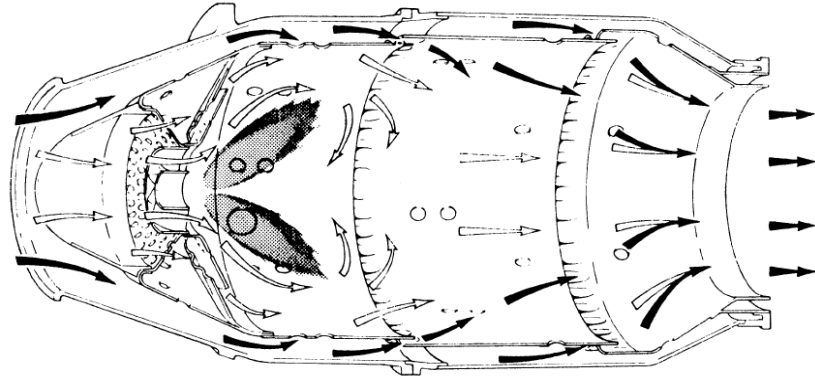
Eksenel kompresörlerde basınç oranı her kademedede aynı olmakla beraber gerçek basınç yükselmesi kompresörde ilk kademededen son kademeye doğru gittikçe büyür. Ayrıca basınç oranı dönme hızına bağlı olarak artar ve azalır. Keza içeriye alınan havanın sıcaklığı arttıkça hava yoğunluğunun düşmesine bağlı olarak basınç oranı düşer. İdeal basınç oranı çıkışta en yüksek basıncı yaratan sıkıştırma oranıdır. Kompresör diskindeki kanatların boyu kompresörün sonuna doğru gittikçe küçülür ve kompresör içindeki hava nispeten 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.

### 2.3.2 Yanma Odası

Gaz türbini Brayton çevrimine ısı girişi yanma odası ile sağlanmaktadır. Kompresörden çıkan hava yanma odasına gelir. Yanma odasında sıcaklığı yükseltileen hava (ideal olarak herhangi bir basınç kaybı olmaksızın) türbine girer. Kısaca belirtmek istersek, yanma odasının görevi iş akışkanını olan havaya ısı enerjisi kazandırmaktır. Bu amaçla yakıt yanma odasında doğrudan doğruya kompresörden gelen yüksek basınçtaki çalışma havası içinde yakılır, diğer bir ifade ile yanma odası doğrudan ısıtmalı bir hava ısıtıcısıdır.

Yeni endüstri türbinlerinde sıkıştırma oranları 17:1 ile 35:1 arasındadır. Bu sıkıştırma oranlarına bağlı olarak yanma odası giriş sıcaklığı 454°C ile 649°C arasındadır. Yeni uçak motorları 40:1'den fazla sıkıştırma oranlarına sahiptir. Rejeneratörlü gaz türbinlerinde yanma odası giriş sıcaklığı 371°C ile 593°C arasında değişmektedir. Uçak gaz türbinlerinde bu sıcaklık 787-1260°C civarında olup bunun 1260-1370°C seviyesine çıkartılması için çalışmalar yapılmaktadır. Tam yükteki yanma odasının basınç değerleri 3,1 bar (küçük motorlar için) ile 40,5 bar (büyük motorlar için) arasındadır (Boyce, 2002).

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 2.5 Yanma odasında alev oluşumu ve hava akışı (Boyce, 2002)

Gaz türbinlerinin yanma odaları, kompresör tarafından sağlanan bol miktarda hava ile yakıt sprey nozullarından püskürtülen yakıtı karıştırarak yakmak gibi zor bir görevi başarmaktadır. Açığa çıkan ısı ile genişleyen ve ivmelenen hava, türbin için tüm çalışma durumlarında gerekli olan homojenleştirilmiş gazın düzgün akışını sağlamaktadır. Boyut ve ağırlık kısıtlaması nedeniyle, bu işlemlerin sınırlı bir hacimde, en az basınç kaybı ve maksimum ısı çıkışı ile gerçekleştirilme zorunluluğu bulunmaktadır. Yanma odalarından istenen özellikler şöyle sıralanabilir:

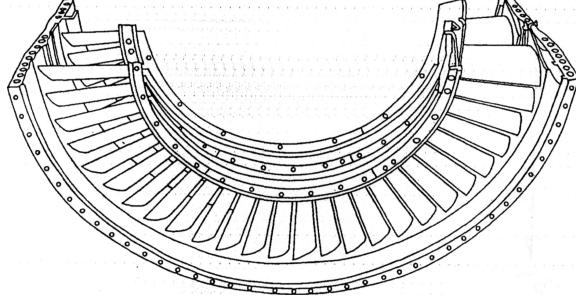
- Yüksek yanma verimi (yakıt tam olarak yakılabilmeli ve bünyesindeki tüm kimyasal enerji, ısı olarak açığa çıkmalıdır).
- Güvenilir ve düzgün ateşleme olmalıdır.
- Geniş kararlılık sınırları (geniş basınç, hız ve hava/yakıt oranları aralıklarında alev sönmemelidir) olmalıdır.
- Türbin kanatçıkları ve nozul kılavuz kanatçıklarının uzun ömürlü olmalarını sağlayacak çıkış sıcaklık dağılımını sağlamalıdır.
- Basınç kaybı az olmalıdır.
- Duman, yanmamış hidrokarbonlar ve diğer kirletici gaz emisyonları düşük olmalıdır.
- Ucuz ve bakımları kolay olmalıdır.
- Boyut ve biçimleri, motor gövdesiyle uyumlu olmalıdır.
- Uzun ömürlü olmalıdır.
- Değişik yakıtlar kullanılabilir (Çetinkaya, 1999).

### 2.3.3 Türbin

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

Türbin tekeri makinenin en yüksek gerilmeye uğrayan kısımlarından biridir. Bu bölüm yalnız

1260°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 makine hızını ve türbin giriş sıcaklığını devamlı olarak kontrol altında bulundurmamak gerekir.



Şekil 2.6 Türbin stator kesit görünüşü (Bayram, 2004)

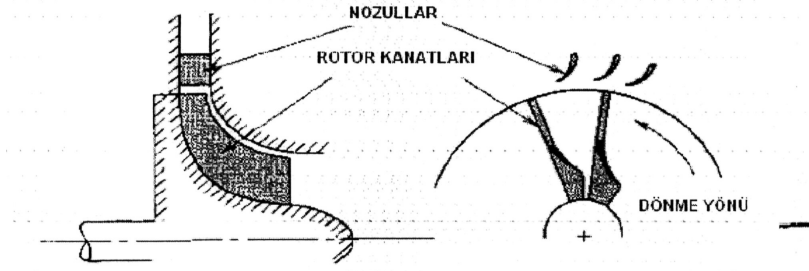
Türbin tekeri iki önemli kısımdan oluşmaktadır; disk ve kanatlar. Disk içerisinde fazla oranda krom, nikel ve kobalt ihtiva eden çelik alaşımı olmakla birlikte statik ve dinamik olarak dengelenmiştir. Disk dövüldükten sonra makineden geçirilerek şekil verilir. Yapısal düzgünlüğünün kontrolü için de röntgen ışınları ve diğer kontrol yöntemleri ile iyice incelenir (Bayram, 2004).

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

- Radyal akışlı türbinler
- Eksenel akışlı türbinler

### 2.3.3.1 Radyal Akışlı Türbinler

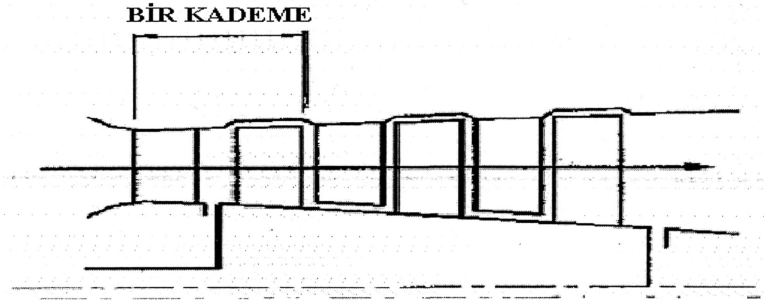
Eksenel akışlı olanlara oranla daha az güç verdiklerinden çoğunlukla yardımcı makineleri döndürmekte kullanılırlar. Yapısal olarak aynı tip kompresörlere benzerler. Tek taraflı veya çift taraflı pervane kanatlarına sahip olup, Şekil 2.7'den görüleceği gibi sıcak gazlar çevreden merkeze doğru akarken pervaneyi çevirirler ve shaft etrafından (göbekten) atmosfere atılırlar. Bu tip türbinlerin kullanım sahası çok kısıtlıdır.



Şekil 2.7 Radyal akışlı türbin (Batthie, 1995)

### 2.3.3.2 Eksenel Akışlı Türbinler

Dış gövdeye takılan sabit kanatlar ve tambura takılan dönen kanatlardan oluşur. Türbinin sabit kısmı şaft 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. Şekil 2.8’de görülen eksenel akışlı türbinde, dönen kanatlara çarpan gaz kinetik enerjisini kanatlara vererek tamburun dönmesini sağlar.



Şekil 2.8 Eksenel akışlı türbin (Bayram, 2004)

#### 2.3.3.2.1 İmpuls Tipi Türbin

Sıcak gaz genişirken 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.

### **2.3.3.2 Hız Basamaklı İmpuls Türbini**

Birinci sırada daralan boğazdan çıkan gaz impuls 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.

### **2.3.3.3 Basınç Basamaklı İmpuls Türbini**

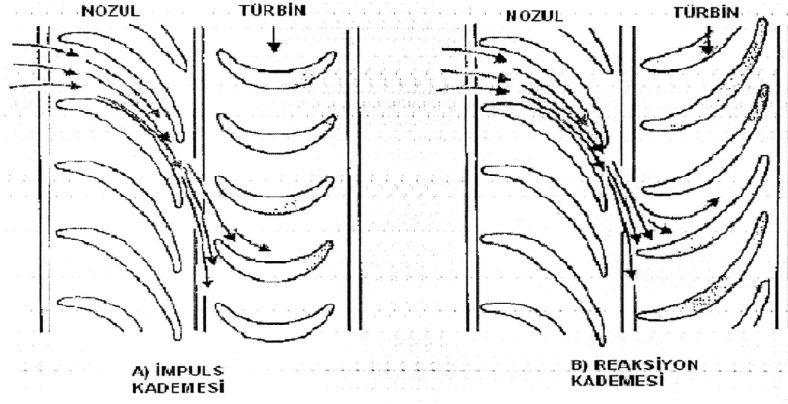
Gazın genleşmesi birkaç kademeye bölünmüştür. Her kademe bir veya bir seri daralan boğaz (nozül) ve ardından gelen bir sıra dönen kanatlardan oluşmuştur. Her daralan boğaz sırasında (nozulda) gazın kinetik enerjisi artırılır ve ardından gelen dönen kanat sırasında bu enerjinin büyük bir kısmı yutulur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

### **2.3.3.4 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 ekseneldir.

### **2.3.3.5 Tepki - İmpuls Türbini**

Döner 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 keskindedir (Şekil 2.9).



Şekil 2.9 Tepki-impuls türbini (Batthie, 1995)

### **3. GEMİLERDE GAZ TÜRBİNİ KULLANIMININ İNCELENMESİ**

#### **3.1 Gemilerde Güç İhtiyacının Sağlanması**

Gemilerde gerekli güç ihtiyacı başlıca 2 sınıfa ayrılabilir. Bunlardan birincisi geminin hareketini sağlayan ana tahrik sistemi için gerekli güç ihtiyacıdır. Diğeri ise geminin servis elektriği diye ifade edilen, tahrik sistemi dışındaki, dümen sistemi, iklimlendirme, ısıtma ve havalandırma, aydınlatma, separatör sistemleri, fanlar, kompresörler ve pompaların elektrik motorları gibi elektrik ihtiyacı olan her türlü sistem için gerekli güç ihtiyacıdır.

Geminin toplam güç ihtiyacı (pervane tahrik gücü ve servis elektriği için gerekli güç) ayrı ayrı veya tek bir merkezden sağlanabilir. Gücün ayrı ayrı sağlanması durumunda çoğunlukla, tahrik sistemi için geleneksel tahrik sistemi, servis elektriği içinse dizel jeneratör veya dizel jeneratör grubu kullanılır. Tahrik gücünün ve servis elektriği gücünün tek bir merkezden sağlanması için ise entegre elektrik tahrik sistemi kullanılır. Bu yöntemler ana hatlarıyla aşağıda sunulmuştur:

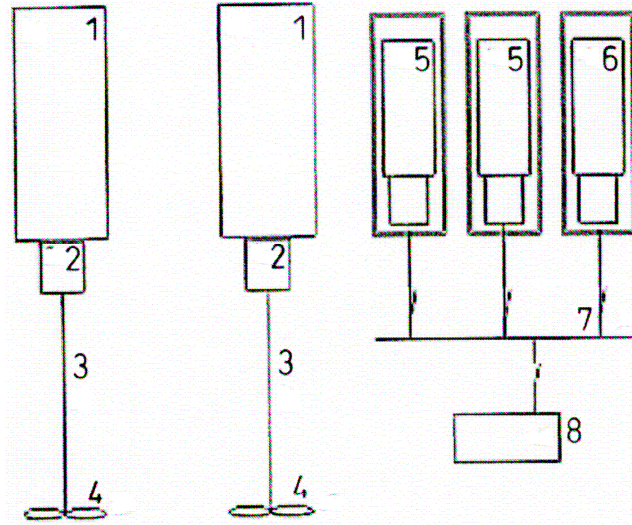
##### **3.1.1 Geleneksel Tahrik Sistemi**

Bu sistemde ana makine, şanzıman, pervane shaftı ve pervane tek bir hat üzerinde direk olarak birbirine bağlıdır. Servis elektriği içinse dizel jeneratör grubu kullanılmaktadır. Örnek sistem Şekil 3.1’de verilmiştir.

##### **3.1.2 Entegre Elektrik Tahrik Sistemi**

Bu sistemde tahrik gücü ile servis elektriği gücü tek bir merkezden sağlanır ve pervaneler de diğer bütün güç gereksinimi olan ekipmanlar gibi elektrik ile tahrik edilir. Burada güç üreten jeneratörler (dizel veya gaz türbini jeneratörleri) ortak bir güç dağıtıcısını (bus bar) besler. Buradan elektrik, transformatör ve konvertörlerle ihtiyaç duyulan elektriğin voltaj ve gerilim karakteristiklerine göre istenen özelliklere dönüştürülür ve istenen yerde kullanılır. Gemilerde genellikle en büyük güç, pervane ve varsa baş pervane için gereklidir. Dolayısıyla bu tür sistemlerde pervanelerin tahrik edilmesi büyük güce sahip jeneratör veya jeneratörler ve diğer sistemler içinse daha küçük güç kapasitelerine sahip jeneratör veya jeneratörler kullanılır. Böylelikle küçük güçler için büyük kapasitelere sahip jeneratörler kullanılmamış olur. Örnek sistem Şekil 3.2’de verilmiştir.

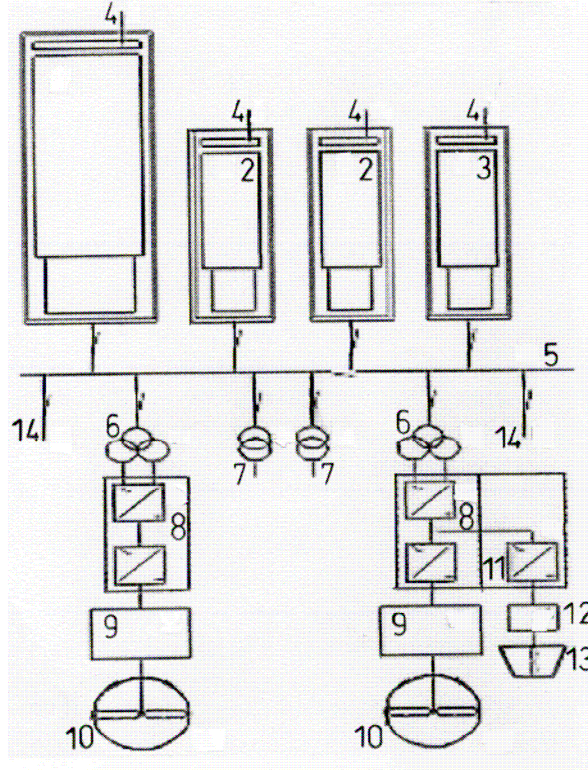
Günümüzde, pervanesi geleneksel sistemle tahrik edilen gemilerde elektrik üretimi için gerekli güç ihtiyacının birkaç yüz kilowatt mertebesinde olması sebebiyle bu tip gemilerde kullanılan yardımcı sistemlerin tamamına yakını dizel jeneratörlerdir. Bu kapasitedeki jeneratörlerde gaz türbini yakıt sarfiyatının dizelere göre çok yüksek olması nedeniyle kullanılmamaktadır.



1-Ana makine (genellikle dizel makine), 2-Şanzıman, 3-Pervane şaftı, 4-Sabit veya değişken pitch pervane, 5-Jeneratör grubu (genellikle dizel jeneratör setleri), 6-Daha küçük güce sahip bir jeneratör seti, 7-Gemi servis elektriği için güç dağıtıcısı (bus bar), 8-Paralel çalıştırma ve gemi servisi için kontrol paneli

Şekil 3.1 Geleneksel tahrik sistemi

Gemide servis elektriği ile birlikte, en önemli güç ihtiyacına sahip tahrik gücünün de elektrik gücüyle sağlanması ve entegre elektrik tahrik sisteminin tercih edilmesi durumunda gaz türbini jeneratörü avantajlı olmaktadır. Bu nedenle ileriki kısımlarda gemideki bütün güç ihtiyacının elektrik gücü ile karşılandığı durumlar incelenecektir. Gaz türbinli elektrik üretim sistemine sahip başlıca gemi tiplerinden örnekler aşağıda verilmiştir.



1-Yüksek güce sahip bir jeneratör seti, 2-Orta güce sahip iki liman jeneratör seti, 3-Düşük güce sahip bir jeneratör seti, 4-Hava/su kuleri, 5-Tahrik ve gemi servisi için ana güç dağıtıcısı (main bus bar), 6-İki transformatör, 7-220 V gemi servis elektrifi için iki transformatör, 8-İki konverter, 9-Hız kontrollü elektrikli tahrik motoru, 10-Pervane, 11-Baş pervane için bir adet konverter, 12-Hız kontrollü baş pervane elektrik motoru, 13-Baş pervane, 14-Gemi servisi için 2x100 kW

Şekil 3.2 Entegre elektrik tahrik sistemi

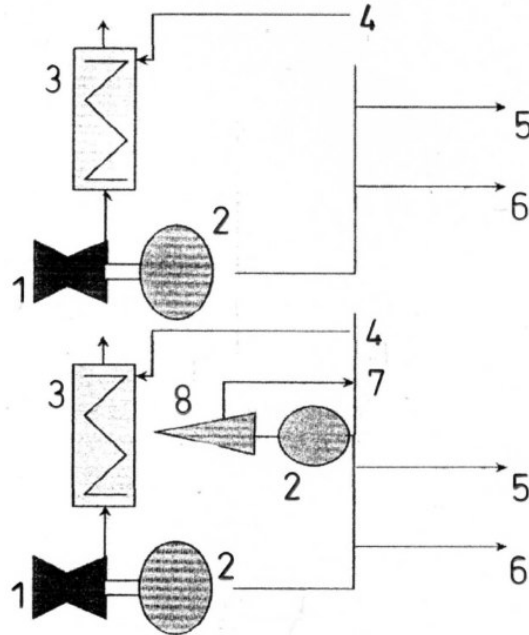
### 3.2 Büyük Seyahat Gemilerinde (Cruise Ship) Gaz Türbinli Elektrik Üretimi (Sanneman, 2004)

Uçak türevli gaz türbinlerindeki teknolojik ilerlemelerle birlikte gaz türbinlerinin verimi yükselmiş, bununla beraber çeşitli tip gemilerde kullanımları yaygınlaşmaya başlamıştır. Son uygulamalarla birlikte gaz türbinleri hem askeri hem de ticari gemilerde kullanım imkanı bulmuştur. Toplam 29 ülkenin donanmalarında, 400'den fazla gemide 1000'in üzerinde GE LM uçak türevli gaz türbini kullanılmaktadır. Ticari denizcilik sektöründe ise 93 GE LM gaz türbini 50'den fazla gemide, mekanik ve elektrikli tahrik sistemlerinde kullanılmaktadır.

### 3.2.1 Ticari Denizcilikte Uygulamalar

Gaz türbinleri, yüksek güç yoğunluğunun gerekli olduğu durumlarda kullanıma elverişli olabilmektedir. Hızlı feribot endüstrisinin gelişimiyle (genellikle 50'nin üzerinde yolcu kapasitesine sahip ve 25 knots'tan hızlı gemilerde) hacim ve ağırlığın ön plana çıktığı gemilere olan ihtiyaç arttı. Bu gemiler yolcu ve araba gibi düşük yoğunluklu yük taşımakta ve kompakt ve hafif tahrik sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Benzer olarak, büyük seyahat gemilerinde de geminin iç hacminin en verimli şekilde kullanılarak mümkün olduğunca fazla yolcu kapasitesine sahip olmak rekabetin gereğidir. Bu nedenle büyük seyahat gemilerinde gaz türbinleri çok önemli bir fırsat yaratmaktadır.

Şekil 3.3'te görülen COGES (combined gas turbine and steam system) ünitesi enerjinin çok yüksek verimde kullanılmasını sağlamaktadır. Aksi durumda gaz türbini egzozundan atılarak kaybolan enerji, burada boylere alınarak buhar üretimi yapılmakta ve elde edilen buhar, buhar türbini jeneratöründe elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Üretilen elektrikten iklimlendirme, ısıtma ve havalandırma, yemekhane ve aydınlatmada faydalanılmaktadır.



1-Gaz türbini, 2-Jeneratör, 3-Egzoz boyleri, 4-Kondenser dönüşü, 5-Pervane tahrik motorları, 6-Servis elektriği, 7-Servis buharı (evaporatör, ısıtma-havalandırma ve iklimlendirme sistemi, mutfak, çamaşırhane, vb), 8-Buhar türbini

Şekil 3.3 COGES ünitesi şematik resmi (Sanneman, 2004)

Büyük seyahat gemilerinde, gaz türbini kullanılması ile kazanılacak alan, daha fazla yolcu kamarası, daha fazla dükkan veya kumarhane olarak değerlendirileceğinden kazancın artması söz konusudur. Gaz türbinli sistemlerin daha az yer kaplaması nedeniyle gemi için gelir getirici alanlar artmaktadır.

Büyük seyahat gemisi endüstrisi hem tahrik hem de gemi güç üretiminde gaz türbini teknolojisini kapsamaktadır. Dünyada güç ihtiyacının tamamını gaz türbini ile sağlayan ilk gemi olan GTS Millennium Haziran 2000’de ticari olarak hizmete girmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Celebrity Cruises’ Millennium class (Toplam 59 MW güç kapasitesinde 2 adet LM2500+ gaz türbini-jeneratör seti ve 1 adet buhar türbini jeneratörüne sahiptir) (Sanneman, 2004)

COGES güç ünitesi verimi, yüksek güç yoğunluğu ve düşük egzoz emisyonları nedeniyle bu gemide tercih edilen sistem olmuştur. Gaz türbini odaklı COGES ünitesi, geminin su içinde hareketini sağlayan elektrik motoru pod pervanelerin ve geminin diğer bütün sistemlerinin güç ihtiyacını karşılamaktadır.

4 Royal Caribbean International ve 4 Celebrity Cruises büyük seyahat gemilerinde de COGES ünitesi kullanılacaktır. Kompakt GE LM2500+ GTG setinin yüksek güç yoğunluğu, büyük seyahat gemilerinde daha önceleri çoğunlukla tercih edilen dizel-elektrik sistemine göre daha az yer kaplamasını sağlamaktadır. Böylelikle elde edilen alan, hem Royal Caribbean International’da hem de Celebrity Cruises’da ilave olarak yaklaşık 50 kamara, mürettebat kamaraları ve genel alan olarak değerlendirilmiştir. Başka bir yerleştirme ile 100 kamara daha

kazanmak bile mümkündür. İlave kamaralardan sağlanan kazancın, COGES ünitesinde kullanılan daha temiz yakıt için yapılacak ilave masrafları dengelemesi, COGES ünitesine sahip gemiyi ekonomik ve çevresel anlamda daha etkin bir duruma getirmektedir.

LM2500+ gaz türbinli COGES ünitesinin temiz damıtılmış (distillate fuel oil) yakıt kullanması sebebiyle, ağır yakıt (heavy fuel oil) kullanan dizel elektrik güç sistemlerine göre hava kirliliğine neden olan emisyonlar büyük oranda azalmaktadır. Bu sistemde ağır yakıt için gerekli olan yakıt arıtma sistemlerine ve kirli yakıtı depolamaya ihtiyaç bulunmamaktadır. Ekipmandaki bu azalma pis su veya tatlı su tankları için daha büyük alan sağlayacaktır.

Gaz türbinlerinin kurulumu için gerekli boru devresi, valf gibi yan sistem ve ekipmanlar, büyük dizel makineli sistemlere göre çok daha azdır. Daha az ekipman olması, kurulum ve işletim masraflarını da azaltmaktadır.

Yolcular için bir diğer avantajı, is, kurum gibi kirlilik yaratan partiküllerin yokluğu sayesinde gemideki şezlong ve yüzme havuzlarının daha uzun süre temiz kalabilmesidir.

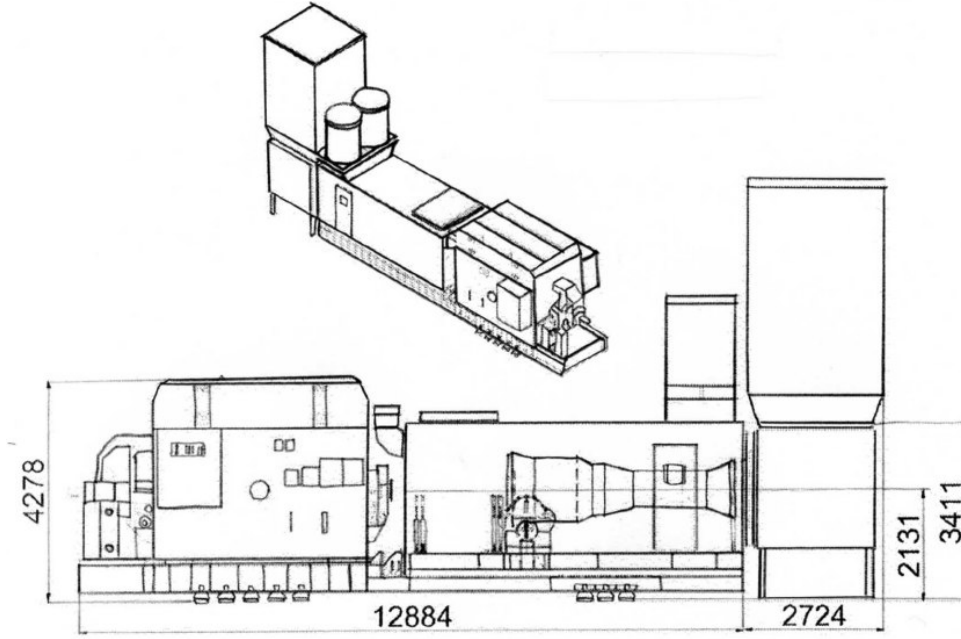
COGES ünitesinin sağladığı avantajlar aşağıda verilmiştir:

- Çevre dostu olması nedeniyle  $NO_x$  ve  $SO_x$  gibi egzoz emisyonlarının daha düşük seviyede tutulması, asgari seviyede atık yağ depolama gereksinimi ve SCR (selective catalytic reduction) veya özel egzoz filtre sistemlerine ihtiyaç bulunmaması.
- Özellikle kış taraftaki kamaralarda dizel elektrikli gemilere göre daha düşük seviyede gürültü ve titreşime neden olması, dolayısıyla yolculara daha konforlu bir yolculuk sunması.
- Yüksek güç yoğunluğu sayesinde gemideki maddi kazanç sağlayan alanların artırılması.
- Sistemin modüler parçalarının onarımının olabilecek en hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmesine bağlı olarak yüksek güvenilirlik (reliability) ve ulaşılabilirlik. (availability)
- Düşük bakım-onarım gereksinimi ile düşük yağlama yağı sarfiyatının işletim masraflarını oldukça azaltması.
- Satın alma ve kurulum dahil ilk yatırım maliyetinin diğer sistemlerle rekabet edebilir olması.
- Geminin tüm yakıt sarfiyatının, yüksek ısıl verime bağlı olarak dizel elektrikli sisteme göre eşit veya daha az seviyede olması.

### 3.2.2 COGES Ünitesi Dizaynı

LM2500+ marin gaz türbini jeneratörü seti, alternatif akım jeneratörüne akuple bir adet GE LM2500+ gaz türbininden oluşmakta olup  $32^{\circ}C$ 'ye eşit veya daha düşük giriş havası sıcaklığında tam 25 MW gücünde elektrik üretmektedir. LM2500+ gaz türbini, jeneratör ve yan ekipmanlar tek bir taşıma düzlemi (ana kaide) üzerine, gaz türbini bir gürültü önleyici kabin (sound attenuating enclosure) içine monte edilmiştir. Start, yakıt transfer, yağlama yağı ve yangın söndürme sistemleri ayrı bir yardımcı kaide üzerinde monte edilmiştir.

Şekil 3.5'te görülen kompakt, 25 MW'lık ünite sadece 15 m boyunda ve yaklaşık 100 ton ağırlığındadır.



Ağırlık : 100 ton

Çıkış gücü: 25 MWe

Şekil 3.5 LM2500+ gaz türbini-jeneratörü paketi boyutları (Sanneman, 2004)

Yanma havası geminin en üst güvertesi üzerindeki giriş kanalından ve giriş hava filtrelerinden geçirilerek içeri alınır. Hava, gürültüyü azaltan ve düzgün hava akışı sağlayan susturucudan geçtikten sonra gaz türbini kompresörü girişinden içeri alınır. Giriş havasının bir kısmı, sistemdeki yardımcı ekipmanların soğutulması amacıyla gaz türbini kabininin içindeki kanallara alınır. Yanma havası, yakıtla karıştırılıp yanmanın gerçekleştirileceği yanma odasına girmeden önce 23:1 oranında sıkıştırılır. Egzoz gazları, bir egzoz kolektörü ve egzoz gazı boylarına giden kanallar vasıtasıyla gaz türbininden dışarı atılır. Gaz türbini hava ile soğutulmaktadır ve soğutma suyu sistemine ihtiyaç duymamaktadır.

Çevresi tamamıyla kapalı olan su soğutmalı alternatif akımlı (TEWAC) jeneratör elektrik gücünü üretmektedir. Bu jeneratör iki kutuplu, yüksek hızlı tiptedir.

Egzoz gazındaki enerjinin büyük bir kısmı COGES ünitesindeki buhar çevriminde geri alınmakta ve değerlendirilmektedir. Sistemde, her gaz türbini jeneratör seti için bir adet ısı

geri dönüşüm buhar jeneratörü (heat recovery steam generator (HRSG)), bir adet buhar türbini jeneratör seti ve bir adet kondenser bulunmaktadır. Buhar sistemi tamamıyla kapalı bir sistemdir.

### 3.2.3 COGES Ünitesi Performansı

Bir dizel elektrik tahrik sistemi ile karşılaştırıldığında, COGES ünitesinin kurulumunda daha az yardımcı ekipmana ihtiyaç duyulmaktadır. COGES ünitesinin daha hafif olmasına bağlı olarak, geminin deplasmanı yaklaşık 1000 ton azalmaktadır. Bu da gerekli tahrik gücünde % 1,6'lık bir düşüş demektir. Geminin toplam güç ihtiyacında ise 1150 kW'lık azalma sözkonusu olmaktadır.

Büyük seyahat gemisinde yakıt sarfiyatı su üretimi, klima, yemekhane ve çamaşırhane hizmetlerinde kullanılan enerjiyi kapsamalıdır. COGES ünitesi bütün bu yerlerde kullanılmaya müsait saatte yaklaşık 28 ton, 3 bar basınca sahip buhar sağlamaktadır. Bu dikkate alındığında, yakıt sarfiyatı orta hızlı dizel sisteme göre % 7'ye kadar azalmaktadır. Bu konfigürasyonda toplam verim değerleri % 45 ile % 50 arasında ve özgül yakıt sarfiyatı ise 168 ile 187 g/kWh seviyesindedir.

Çizelge 3-1'de yakıt sarfiyatı ve ünite verimi üç farklı durum için verilmektedir. İlk durumda, yüksek hızda seyir şartları görülmektedir. Burada, geminin iki uzak liman arası yaptığı rutin bir seyirde, iki LM2500+ ile gaz türbini jeneratörleri ve bunlara bağlı buhar türbini jeneratörü yüksek güç üretmek üzere çalışmaktadır. İkinci durumda ise, kısa bir seyirde, bir LM2500+ ile gaz türbini jeneratörü yüksek güç üretmekte ve buhar türbini jeneratör setine buhar sağlamaktadır. Üçüncü durumda ise, limanda, bir LM2500+ gaz türbini jeneratörü belli oranda güç üretmekte ve buhar türbini jeneratör setine buhar sağlamaktadır. Çizelgede de görüldüğü gibi bütün bu durumlarda toplam verim oldukça yüksektir.

### 3.2.4 Gaz Türbini Bakım Desteği

LM paketi bakımın kolay ve daha masrafsız yapılabilmesi hedeflenerek dizayn edilmiştir. Sistem elemanlarını kolayca monte etmek, sökmek, onarmak ve gerekirse yenisini temin etmek mümkündür. Rutin bakımlar sistem üzerinde yapılabilir.

Büyük onarımlarda ise sistemin sade ve basit olması sayesinde türbinin ilgili modülleri veya komple türbin sökülüp onarımın yapılacağı yere götürülebilir ve çok kısa sürede onarım yapıp tekrar yerine konulabilir. Dolayısıyla bir çok onarım geminin rutin bir liman ziyareti

	Yüksek Hızlı Seyir	Orta Hızlı Seyir	Limanda
Gerekli hız	>22 knots	18 knots	0 knot
Güç ünitesi konfigürasyonu	2 x LM2500+ & 1 x	1 x LM2500+ & 1	1 x LM2500+ &
Toplam GTG'de elde edilen	46000 kWe	25000 kWe	10000 kWe
GTG özgül yakıt sarfiyatı	0,236 kg/kWh	0,230 kg/kWh	0,310 kg/kWh
GTG verimi	% 36	% 37	% 27
32 bar buhar üretimi	64000 kg/h	35000 kg/h	19000 kg/h
STG'de elde edilen güç	7500 kWe	3700 kWe	1500 kWe
COGES'de elde edilen güç	53500 kWe	28700 kWe	11500 kWe
COGES özgül yakıt	0,203 kg/kWh	0,200 kg/kWh	0,270 kg/kWh
COGES verimi	% 42	% 42	% 31
STG'den kullanıma ayrılan	22000 kg/h	22000 kg/h	19000 kg/h
Servis buharındaki enerji	3776 kW	4028 kW	4276 kW
Toplam üretilen güç	57276 kW	32728 kW	15776 kW
Ünitenin toplam özgül yakıt	0,190 kg/kWh	0,176 kg/kWh	0,197 kg/kWh
Ünitenin toplam verimi	% 44	% 48	% 43

**COGES = kombine gaz türbini ve buhar sistemi;**

**GTG = gaz türbini-jeneratör;**

**ST**

esnasında bile yapılabilir.

Bu gemide LM gaz türbinlerinin durumu, sabit zaman aralıklarına bağlı kalmaksızın, değişken çalışma şartlarına ve süresine bağlı olarak takip edilmekte, doğru ve önleyici bakım uygulanmakta, güvenilirlik esaslı bakım felsefesine riayet edilmektedir. Her 3-6 ayda bir makinelerin baroskop kontrolleri yapılmaktadır. Bu kontroller mekanik problemleri ve aşınmaları göstermektedir.

COGES ünitesinin önemli çalışma parametreleri, uzaktan kumandalı kontrol ve izleme sistemi ile sahilden takip edilebilmektedir. Bu sistem gerçek zamanlı çalışma verilerini GE uzmanlarına günün 24 saati, haftanın 7 günü ulaştırmaktadır. Böylelikle, anormal bir durum olduğunda bu kolaylıkla görülebilmektedir.

Baroskop kontrolleri ile önleyici bakımlar ve çalışma parametrelerini uzaktan izleme, çalışma zamanına bağlı olarak makinenin geçmiş durumunun kayıt altına alınmasını sağlar. Bunun sonucu olarak, bakım için gerekli zaman kolaylıkla tespit edilebilir ve planlanabilir.

Kullanıcı personelin rutin yapması gereken bakım ve kontroller aşağıda verilmiştir:

- Gaz türbininin günlük çalıştırılması
- Göstergelerin günlük izlenmesi, değerlerdeki eğilimlerin gözlenmesi
- Yağlama yağı seviyelerinin, sızıntıların ve anormal bir durum olup olmadığının periyodik olarak gözle kontrolü.
- Filtre elemanlarının ve sarf malzemelerinin değiştirilmesi.
- Yağlama yağı ve yakıttan numune alınması.

### **3.2.5 Bakım Destek Anlaşmaları**

Gemi güç sistemlerinde en önemli noktalardan biri, sistemin kurulumundan sonra verilen servis hizmeti desteğidir. Uçak motorları için verilen destek altyapısının üst seviyede olması, yapılan ve uygulanan bakım destek anlaşmaları nedeniyle uçak türevli gaz türbinleri bu konuda büyük avantaja sahiptir. Bu anlaşmalar, sistemin tüm ömrü boyunca, sistemin yerinde bakımı ve üretici firmanın tesislerinde büyük bakım-onarım yenileştirme hizmetlerini kapsayan bakım destek kontratlarını içermektedir.

Bu tür anlaşmalar, müşterinin bakım ve eğitim için yapacağı masrafları azaltmakta ve beklenmedik, bakım gerektiren büyük bir sorun karşısında alacağı riski ortadan kaldırmaktadır. Buna benzer anlaşmalar ticari denizcilik alanında gaz türbini müşterileri için (hızlı feribot ve büyük seyahat gemileri gibi) uygulanmakta ve donanma gemilerinde de uygulanması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

### 3.2.6 Hizmetteki Büyük Seyahat Gemilerinde Edinilen Tecrübeler

COGES ünitesinin güvenilirliği ve kullanılabilirliği (reliability and availability) edinilen tecrübelerle görülmüştür. Toplam 8 adet olan Royal Caribbean/Celebrity Cruises gemilerinin (Millennium, Summit, Constellation, Radiance of the Seas, Brilliance of the Seas, Serenade of the Seas ve Jewel of the Seas) hizmette olduğu dönemde şimdiye kadar, COGES ünitesine bağlı herhangi bir, limana varış veya kalkış zamanında bir gecikme söz konusu olmamıştır. Bu gemilerden edinilen tecrübeler aşağıdadır:

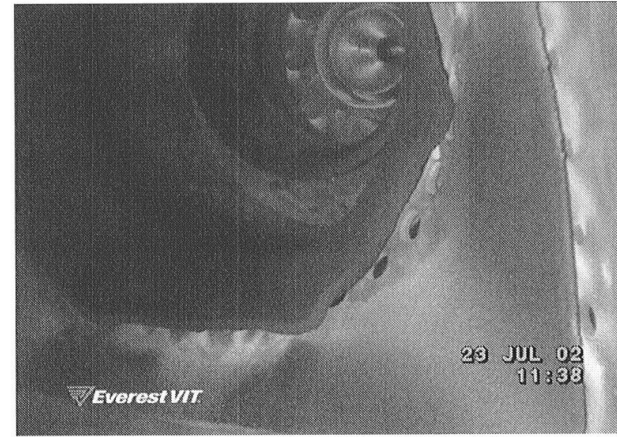
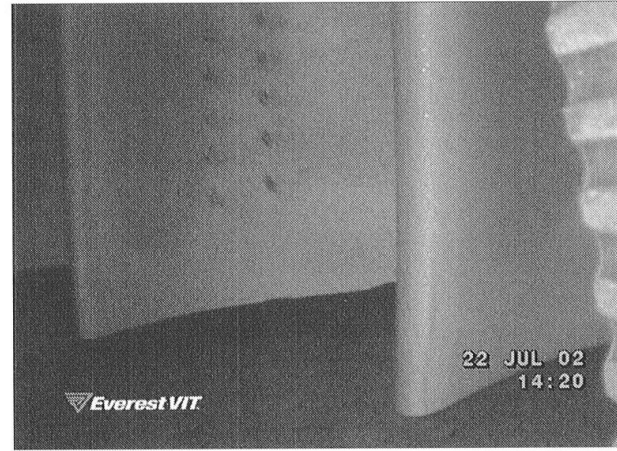
- Geminin mühendis personelinin bakım işlerine ayırdığı zaman asgari seviyede olmuştur.
- Çevreyi kirleten ve görüntü kirliliğine de yol açan egzoz dumanı, tam yükte bile ortadan kalkmıştır.
- Uluslararası limanlarda uygun kalitedeki yakıt bulmak mümkün olmuştur.
- Geminin insanların kullanımına açık iç ve dış mahallerinde gürültü seviyesi, dizel elektrikli sisteme göre düşmüştür.
- Çalışma maliyetleri planlandığı ,beklendiği gibi olmuştur.

### 3.2.7 COGES Ünitesinin Güvenirliği/Kullanılabilirliği (Sanneman, 2004)

GTS Millenium'un kalbi konumundaki 2 adet LM2500+ gaz türbinleri ilk günküne göre performansında hiçbir kötüleşme görülmeden görev yapmaya devam etmektedir. Gaz türbinleri monte edilmelerinden sonra 17000 saatten uzun süre bakım görmeden çalışmıştır. Yüksek sıcaklığa maruz kalan kısımlarda yapılan periyodik baroskop kontrolleri türbinlerin tam kapasiteyle çalışmaya devam etmelerinde hiçbir sakınca bulunmadığını teyit etmiştir. GTS Millenium'un iki jeneratöründen birisi 17182 çalışma saatinden sonra daha detaylı kontrol ve değerlendirme için sökülmüş, herhangi bir kusurun bulunmadığı tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak servis süresinin en az 20000 çalışma saati olması beklenmektedir.

İs, kurum, duman vb. oluşumu tamamen ortadan kalkmıştır. Benzer olarak, yapılan kontrollerde COGES ünitesinin diğer ana elemanlarında da herhangi bir kusura rastlanmamıştır. GTS Millenium'un gaz türbininin baroskop kontrolleri sırasında çekilmiş fotoğraflar Şekil 3.6'da görülmektedir.

Şekil 3.6'da, Tipik Kademe 1, yüksek basınç türbin kanadına ait baroskop fotoğrafında (üst fotoğraf) soğutma deliklerinde herhangi bir tıkanma olmadığı ve oksidasyon veya korozyon oluşmadığı, Tipik Kademe 2 yüksek basınç türbinini kanadına ait baroskop fotoğrafında (orta fotoğraf) soğutma deliklerinde herhangi bir tıkanma olmadığı ve oksidasyon veya korozyon oluşmadığı, altta ise yakıt nozulunun ucunu gösteren baroskop fotoğraf görülmektedir.



Şekil 3.6 GTS Millenium'un 15000 çalışma saatinde LM2500+ gaz türbinlerine ait baroskop fotoğrafları (Sanneman, 2004)

### 3.2.8 Egzoz Dumanı ve Emisyonlar

İki geminin ilk seyirlerinde kesik kesik, çok hafif, zorlukla görülebilen egzoz dumanı görülmüştür. LM2500+ gaz türbinlerinin GE tarafından yapılan fabrika testlerinde de egzoz dumanı seviyeleri görünebilir eşğin altındadır. Gemi üzerinde yapılan incelemelerde, şezlonglarda ve yüzme havuzunda is, kurum vb. kirliliğe rastlanmamıştır.

Toplam SO<sub>x</sub> seviyeleri, yakıt içindeki sülfür oranına bağlı olarak asgari seviyededir.

GTS Millenium deniz seyirlerinde, COGES ünitesi için kilowatt saat başına toplam 5 gram NO<sub>x</sub> oluşumu ölçülmüştür.

### 3.2.9 Gürültü

Giriş havası ve egzoz susturucularının kullanılmasıyla, hava kaynaklı gürültü seviyeleri gemi üzerinde yolcuların kullandığı bütün alanlarda hemen hemen fark edilemez seviyelere inmiştir. Gaz türbinlerinin hava girişlerine yakın mesafede hava kaynaklı gürültü seviyeleri 65 dB(A)'dan daha düşük seviyede ölçülmüştür. Bu ise iki kişinin birbiriyle normal konuşmaları esnasında oluşan gürültü ile aynı seviyelerdedir. Gemi bünyesi kaynaklı gürültü seviyeleri ise gaz türbinlerinin titreşimin az olmasına ve gemiye esnek takozlar üzerinde monte edilmesine bağlı olarak oldukça düşük olmuştur. Sonuç olarak dizel makinelerle kıyaslandığında özellikle kritik düşük frekans bantları olan 31,5 ve 63 Hz'te gemi bünyesine iletilen enerji oldukça düşüktür.

### 3.2.10 Çalışma Esnekliği

Gaz türbini jeneratörünün hızlı çalıştırılmasında istenilen yüke geçmesi en fazla 3 dk sürmektedir. Toplam güce bağlı olarak tek veya çift gaz türbini jeneratörü kullanılabilir.

## 3.3 Konteyner Gemilerinde Gaz Türbinli Elektrik Üretimi (Ackerman, 2003)

Ticari gemilerde gaz türbini kullanımının incelenmesi maksadıyla konteyner gemileri için yapılan (Ackerman, 2003)'a ait çalışma örnek teşkil etmesi açısından bu kısımda verilmiştir.

Gaz türbinli sistemler tahrik sisteminin kapladığı alanı önemli oranda azaltmakta ve asgari seviyede yardımcı ekipmana ihtiyaç duymaktadır. Geleneksel dizel tahrikli gemilerde, tahrik sistemi, 230 m uzunluğundaki bir geminin yaklaşık % 18'ini kaplamaktadır. Buna karşın gaz

türbinli bir gemide bu oran % 75 oranında azalabilmektedir.

Gaz türbini jeneratör setinin, boyutları Çizelge 3.2’de verilen 12 m’lik bir konteyner içine sığıp sığmayacağı incelenmiştir. Burada üretimi yapılan marka/modeller araştırıldıktan sonra ağırlık, boyutlar ve güç oranı olarak en iyi durumda olan Solar Taurus 60 aday olarak seçilmiştir. Çeşitli gaz türbini modellerinin güç, ağırlık ve boyutları Çizelge 3.3’de, seçilen gaz türbini ile ilgili bilgiler Çizelge 3.4’te görülmektedir.

Çizelge 3.2 Standart 12 m ISO konteynerin boyutları/ağırlığı (Ackerman, 2003)

	<b>Azami Boyutlar (m)</b>		
	<b>Yükseklik</b>	<b>Genişlik</b>	<b>Uzunluk</b>
Dış Boyutlar	2,59	2,44	12,19
İç Boyutlar	2,39	2,34	12,01
<b>Azami Ağırlıklar (ton)</b>			
Boş	3,85		
İçindekiler	26,67		
Toplam	30,52		

Konteynere sığacak uygun güçte gaz türbininin seçilmesinden sonra, bazı farklı tiplerde birkaç gemi belirlenmiş ve bu gemilerde sistemin kullanımı araştırılmıştır. Gerçekte geleneksel dizel tahrik sistemine sahip bu gemilerin resimleri, çeşitli kaynaklardan temin edilmiştir. Söz konusu gemiler, şu anda kullanılmakta olan veya inşa edilmek üzere dizaynı tamamlanan konteyner gemilerdir. Çalışmalarda gemilerin stabilitesi dikkate alınmamıştır. Geleneksel sistem ve modüler gaz türbini uygulamaları için gerekli ekipmanlar Çizelge 3.5’de verilmiştir. Gaz türbinli sistemde çizelgede de görüldüğü gibi %51 oranında ekipman azalması söz konusudur.

Analizler için, makine dairesi yerleşiminde kış tarafta bazı değişiklikler yapılmış, gaz türbini modülleri, jeneratör kabininin çok yakınına/altına yerleştirilmiştir.

İlki basit çevrim ve ikincisi ICR (inter- cooled recuperative) gaz türbini ünitesi için olmak üzere iki farklı makine dairesi yerleşimi tasarlanmıştır. Basit çevrim ünitesi için ayrılan alan, ICR gaz türbini için gerekli ilave ekipmanın da yerleştirilmesine yeterli olmuştur. Ağır yakıtta ihtiyaç olmadığı için, ağır yakıtın transferi, arıtılması ve ısıtılması için gerekli hiçbir ekipman, buhara ihtiyaç olmadığı için boyler ve ilgili hiçbir ekipman gemide bulunmamaktadır. Modüler gaz türbini ünitesinin ekipmanları gemiye zorluk yaşanmadan yerleştirilebilmiştir.

Çizelge 3.3 Gaz türbini jeneratörü karşılaştırması (Ackerman, 2003)

İmalatçı Firma	Model No	Güç (MW)	Ağırlık (aksi belirtilmedikçe kuru) (ton)	Boyutlar (YxGxU) (m)
GE Marine (Cincinnati, OH)	LM 500 P	4,25	27,14	3,56 x 2,35 x 7,65
	LM 1600	13,7	56,48	3,81 x 2,97 x 12,15
	LM 2500 PE	22,8	89,67	4,64 x 3,04 x 13,92
	LM 2500+	26,6	95	4,58 x 3,02 x 14,05
Solar Turbines (San Diego, CA)	Mercury 50	4,2	43	3,5 x 2,73 x 9,75
	Centaur 50	4,6	29	2,59 x 2,43 x 8,76*
	Taurus 60	5,5	29,5	2,59 x 2,43 x 8,76*
	Taurus 70	7,52	47,8	2,71 x 2,71 x 11,27
	Mars 90	9,45	64,63	3,62 x 2,79 x 14,47
	Mars 100	10,69	73	3,62 x 2,79 x 14,47
	Titan 130	13,5	74,8	3,35 x 3,35 x 15,24
ABB/Alstom (Miami, FL)	TB 5000	5,0	34 #	-
	Cyclone	12,9	59,87 #	-
Rolls Royce (Arlington, VA)	501-K34	2,5	30	3,37 x 2,53 x 8,63
	601-KF9	7,0	40,82	3,37 x 2,53 x 8,81
	WR-21	24,4	140 #	5,33 x 3,55 x 14,73

# Yaş ağırlık \*İstenilen boyutlar dahilinde

Çizelge 3.4 Seçilen gaz türbininin karakteristikleri (Ackerman, 2003)

Türbin imalatçısı	Solar Turbines
Modeli	Taurus 60
Gücü	5200 kW@15°C, deniz seviyesi
Yakıt sarfiyatı (%100 yükte)	199,1 g/kWh
Standart paket ağırlığı	29,5 ton

Gaz türbinli sistemle elde edilecek ilave hacim kargo alanına dönüştürülmüştür. Daha gerçekçi olması için farklı gemilerde sağlanacak ilave konteyner kapasitesi hesaplanmış ve Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Değişik durumların incelenmesi maksadıyla, bir, iki ve üç türbinli sistemlerin yerleşimleri ayrı ayrı tasarlanmıştır. Gaz türbini modülleri, mürettebatı rahatsız etmemesi için, gerekli ses izolasyonları yapılarak yerleştirilmelidir.

Elde edilen kârı hesaplamak için, konteyner gemilerinde ortalama taşıma ücreti hesaplanmıştır. Ücretler 6 ve 12 m'lik eşit konteynerler referans alınarak hesaplanmıştır. (6 m'lik konteyner/12 m'lik konteyner, Çizelge 3.7)

Kargo alanının artmasıyla elde edilen ilave kazanç Çizelge 3.8 ve 9'da verilmiştir. Buna ilave olarak, gaz türbini kullanılması nedeniyle artan yakıt masrafları da dikkate alınmıştır. Bunun için geleneksel tahrik sistemi ile gaz türbinli güç sistemi arasında yakıt sarfiyatı karşılaştırması yapılmıştır.

Karşılaştırma için, gaz türbini uygulamalarında marin dizel yakıtı (MDO (marine diesel oil)), geleneksel uygulamada ise orta fuel oil (IFO (intermediate fuel oil))-380 yakıtı kullanıldı. Orta fuel oil, geleneksel uygulamalarda çoğunlukla kullanılan, MDO yakıtından daha ağır bir yakıttır. MDO ise çoğunlukla denizcilikte gaz türbinlerinde kullanılmaktadır. Hesaplamalarda, 22 Ocak 2002 tarihinde, Houston limanında geçerli olan fiyat referans alınmıştır. Söz konusu fiyat IFO-380 için 94,50 \$/ton ve MDO için 162 \$/ton'dur. Yapılan hesaplamalar, gaz türbinli sistem tercih edildiğinde kazançta artış olacağını göstermektedir.

Çizelge 3.5 Tahrik sistemleri yardımcı ekipmanlarının karşılaştırılması (Ackerman, 2003)

	<b>Geleneksel Dizel Uygulaması</b>	<b>Modüler Gaz Türbini Uygulaması</b>
Dümen sistemi	1 adet dümen dişli ünitesi	1 adet pod tahrik ünitesi
Şaft sistemi (Orta devirli uygulamalarda, şanzıman ve kaplin de ilave edilmeli)	1 adet pervane şaftı	
	1 adet stern tüp sızdırmazlık elemanı	
	1 adet stern tüp yatağı	
	2 sıra şaft yatakları (genellikle)	
Yardımcı makineler ve ilgili sistemler	2-4 adet dizel jeneratör	
	2-4 adet yağlama yağı filtresi	
	2-4 adet fuel oil ısıtıcısı	
	1 adet fuel oil karıştırma ünitesi	
Deniz suyu sistemi	2 adet pompa	2 adet pompa
	2 adet ana makine ısı değiştiricisi	2 adet ısı değiştirici
	1 adet yardımcı makine ısı değiştiricisi	
Tatlı su sistemi	2 adet yüksek sıcaklık soğutma pompası	2 adet pompa
	2 adet düşük sıcaklık soğutma pompası	
	2 adet nozul soğutma pompası	
	2 adet piston soğutma pompası	
	2 adet yardımcı pompa	
	1-2 adet nozul ısı değiştiricisi	
	1-2 adet piston ısı değiştiricisi	
Yağlama yağı sistemi	2 adet ana yağlama yağı pompası	1 adet pompa, motor tahrikli
	2 adet kem yağlama yağı pompası	1 yağlama yağı kuleri
	2 adet yağlama yağı kuleri	Filtreler
	2 adet purifayer	
	2 adet purifayer ısıtıcısı	
	1 adet filtre	

	1 adet silindir yağı transfer pompası	
Basınçlı hava sistemi	2 adet yüksek basınç hava kompresörü	2 adet alçak basınç start kompresörü
	2 adet alıcı	2 adet alçak basınç gemi servis hava kompresörü
	2 adet alçak basınç gemi servis havası kompresörü	3 adet alıcı Not: Gerekirse, alçak basınçlı skompresör ve alıcılar, start için yüksek basınca çevrilebilir.
	1 adet alçak basınç hava alıcısı	
	1 adet kontrol havası dehidratörü	
Fuel oil sistemi	2 adet pompa	2 adet pompa + motor tahrikli
	2 adet fuel oil ısıtıcısı	2 adet dizel yakıt purifayeri
	1 adet dizel yakıt purifayeri	
	2 adet ağır yakıt purifayeri	
	2 adet fuel oil purifayer ısıtıcı	
	1 adet filtre	
	1 viskometre	
Yanma havası sistemi (Buhar-yoğuşma sistemi)	2-4 adet yardımcı blover	
	2 adet besleme pompası	
	1 adet damp kondenseri	
	1 adet yardımcı boyler	
	1 adet atıl ısı boyleri	
	1 adet atmosferik tahliye tankı	
	1 adet kirlilik tahliye tankı	
	2 adet atıl ısı boyleri sirkülasyon pompası	
	1 adet transfer pompası	
Yardımcı sistemler	2 adet hava şartlandırıcı kompresör	2 adet şartlandırıcı kompresör
	2 adet soğutma kompresörleri	2 adet soğutma kompresörü
	1 adet sıcak su sirkülasyon pompası	1 adet sıcak su sirkülasyon pompası
	1 adet hidrofor tankı	1 adet hidrofor tankı
	2 adet su pompası	2 adet su pompası

	1 adet dizel yakıt transfer pompası	1 adet dizel yakıt transfer pompası
	1 adet ağır yakıt transfer pompası	1 adet yangın pompası
	1 adet yangın pompası	1 adet sintine ve yangın pompası
	1 adet sintine ve yangın pompası	2 adet balast pompası
	2 adet balast pompası	1 adet yağ-su separatörü
	1 adet yağ-su separatörü	1 adet sintine pompası
	1 adet sintine pompası	1 adet slaç transfer pompası
	1 adet slaç transfer pompası	1 adet inkinerätör
	1 adet inkinerätör	
Elektrik sistemi	2-4 adet alternatör	1 adet elektrikli sıcak su ısıtıcısı
	1 adet elektrikli sıcak su hiteri	6600/220V transformatör
	220/440 V transformatör	6600/440V transformatör
Damıtma/Tatlı su üretme sistemi	1 adet flash tip damıtıcı	1 adet ters osmoz ünitesi
	1 u/v sterilayzer	1 adet brominatör
Aritma sistemi	1 ünite	1 ünite
Havalandırma sistemi (Kargo mahali havalandırması hariç)	3 adet makine dairesi basıcı fanı (genellikle)	2 adet makine dairesi basıcı fanı (yaklaşık)
	3 adet makine dairesi egzoz fanı (genellikle)	2 adet makine dairesi egzoz fanı (yaklaşık)
	2 adet fan (genellikle)	2 adet fan (genellikle)
	1 adet aşhane basıcı fanı (genellikle)	1 adet aşhane basıcı fanı (genellikle)
	1 adet aşhane egzoz fanı (genellikle)	1 adet aşhane egzoz fanı (genellikle)
	1 adet fan (genellikle)	1 adet fan (genellikle)
	1 adet dümen dişli dairesi fanı (genellikle)	1 adet baş pervane dairesi fanı (genellikle)
	1 adet baş pervane dairesi fanı (genellikle)	1 adet cayro dairesi fanı (genellikle)
	1 adet cayro dairesi fanı (genellikle)	1 adet emercensi jeneratör dairesi fanı (genellikle)
1 adet emercensi jeneratör dairesi fanı (genellikle)		
Toplam	122	60

Çizelge 3.6 Gaz türbinli gemide kargo taşıma kapasitesinde % (yüzde) olarak artış  
(Ackerman, 2003)

Gemi	6 m'lik Konteyner Sayısı	Boy (m)	Konteyner Sayısındaki Artış	% Olarak Artış
Project Containership	878	138	94	10,7
Trade Sol	2386	202	120	5,0
B500	2300	205	140	6,1
Norasia Fribourg	2780	242	196	7,1
Nedlloyd Asia	3568	266	336	9,4
Econship (Sealand ACV Class)	4354	289	172	4,0
Samsung 5800	5852	277	472	8,1
Samsung 8800	8868	347	564	6,4
Suez Max SS	11699	362	1918	16,4

Çizelge 3.7 Ortalama konteyner taşıma ücretleri (Ackerman, 2003)

Firma	Ayrılış Limanı	Varış Limanı	Mesafe (NM)	6 m'lik konteyner başına ücret (\$)	12 m'lik konteyner başına ücret (\$)
Atlantic Container Lines	Newark, NJ, USA	Liverpool, UK	2886	875	975
Maersk Sealand	Newark, NJ, USA	Algeciras, Spain	3163	960	1200
Norasia	Newark, NJ, USA	La Spezia, Italy	3516	740	850
Independent Container Lines	Chester, PA, USA	Liverpool, UK	2886	725	925
Ortalama konteyner taşıma ücreti				825	987

Çizelge 3.8 Gaz türbinli gemide % (yüzde) olarak kârdaki artış (Ackerman, 2003)

<b>Gemi</b>	<b>%100-6 m'lik Konteyner Kargo (%)</b>	<b>%100-12 m'lik Konteyner Kargo (%)</b>	<b>50/50-6 m'lik/12 m'lik Kargo (%)</b>
Project Containership	6,57	3,79	5,53
Trade Sol	2,97	1,59	2,45
B500	4,01	2,62	3,49
Norasia Fribourg	3,79	1,61	2,98
Nedlloyd Asia	6,11	3,89	5,28
Econship (Sealand ACV Class)	2,38	1,32	1,98
Samsung 5800	5,07	3,07	4,32
Samsung 8800	4,05	2,5	3,47
Suez Max SS	14,59	13,38	14,14
Kârdaki ortalama artış (% (yüzde olarak))		3,75	4,85

Çizelge 3.9 Gaz türbinli gemide kârdaki yıllık artış (\$) (Ackerman, 2003)

<b>Gemi</b>	<b>%100-6 m'lik Konteyner (\$)</b>	<b>%100-12 m'lik Konteyner (\$)</b>	<b>50/50-6 m'lik/12 m'lik (\$)</b>
Project Containership	1.912.536	660.364	1.286.450
Trade Sol	2.351.831	753.313	1.552.572
B500	3.062.623	1.197.685	2.130.154
Norasia Fribourg	3.499.067	888.154	2.193.610
Nedlloyd Asia	7.230.600	2.754.750	4.992.675
Econship (Sealand ACV Class)	3.434.262	1.143.053	2.288.658
Samsung 5800	9.849.646	3.562.142	6.705.894
Samsung 8800	11.910.773	4.397.739	8.154.256
Suez Max SS	56.626.186	31.076.543	43.851.364
Kârdaki ortalama artış (% (yüzde olarak))	11.097.503	5.159.305	8.128.404

Geleneksel uygulamada mürettebat sayısı aşağıda verildiği şekilde öngörülmüştür.

Kaptan, İkinci kaptan, Üçüncü kaptan, Dördüncü kaptan, Tayfax3,  
Güverte bakım personeli x3, Kamarot, Kamarot asistanı, Şef aşçı,  
Başmühendis, Birinci mühendis, İkinci mühendis, Üçüncü mühendis,  
Soğutma mühendisi (gerektiğinde), Makine bakım personeli x3

Geleneksel uygulamada gerekli personel sayısının 21 olacağı öngörülmüştür. Soğutma mühendisine, soğutulması gereken konteynerlerin sayısına bağlı olarak ihtiyaç duyulabilir.

Gaz türbinli gemide ekipmanların %51 oranında azalmasından dolayı personel sayısı da azalmaktadır. Bu gemide mürettebat aşağıda görüldüğü gibidir.

Kaptan, İkinci kaptan, Üçüncü kaptan, Dördüncü kaptan, Tayfax3,  
Güverte/makine bakım personeli x3, Kamarot, Kamarot asistanı, Şef aşçı,  
Başmühendis, Birinci mühendis, İkinci mühendis, Stajyer mühendis,  
Soğutma mühendisi (gerektiğinde)

Bu durumda 3 personel güvertede ve aynı zamanda makine dairesinde görev yapabilmektedir. Toplam personel sayısı 18'dir.

Bunlara ilave olarak jeneratör setinin yakıt ve ana makinenin silindir yağı sarfiyatları hesaplanmıştır. Dizel ve gaz türbini uygulamalarının her ikisi için de elektrik yükleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.13-30). Geleneksel uygulamada yardımcı ekipman ve personel fazlalığından dolayı elektrik yükü daha fazladır. Bütün gemiler için soğutulması gerekli konteynerlerin var olduğu kabul edilmiştir. Gaz türbinli gemide, ana tahrik sistemi için gerekli gücün, pod pervanelerin verimi dikkate alınarak, %5 oranında daha düşük olduğu kabul edilmiştir. Pod pervanelerde verim, klasik pervanelere göre daha yüksektir.

Gemide gaz türbinlerinin seyirde %87 ile %100 (azami devamlı güç) güç kapasitesi arasında görev yaptığı ve geminin seyir süresinin %3'ünü manevra yaparak geçirdiği kabul edilmiştir (Çizelge 3.10). Manevra sırasında elektrik yükünün ana tahrik sisteminde %60 seviyesinde, baş ve kış pervanelerde tam yükte olduğu öngörülmüştür.

Gaz türbinli gemilerin hepsinde, acil durumlarda kullanılmak üzere 1210 kW gücünde gaz türbini acil durum (emergensi) jeneratörü bulunmaktadır. Bu jeneratör ayrıca limanda kargo işlemleri için gerekli güce destek sağlamaktadır. Gaz türbinli sistemde ortaya çıkan ilave yakıt masraflarını tespit etmek için jeneratör setlerinin yakıt sarfiyatları hesaplanmıştır. Yardımcı makinelerin ortalama yakıt sarfiyatının tespiti için 10 farklı jeneratör seti referans alınmıştır.

Bütün dizel jeneratör setlerinin IFO-380 yakıtı kullandığı kabul edilmiştir. Geleneksel uygulamalarda silindir yağlama yağı sarfiyatı önemli bir yer tutmaktadır. Yağlama yağı sarfiyatı bütün makinelerde aşağı yukarı aynı seviyelerdedir.

Çizelge 3.10 Tipik gemi çalışma parametreleri (Ackerman, 2003)

	<b>Gün/Ay</b>	<b>Saat/Ay</b>	<b>Gün/Yıl</b>	<b>Saat/Yıl</b>
Limanda	6,1	147	73,5	1764
Seyirde	23,5	563	281,5	6756
Manevrada	0,8	20	10	240
Toplam	30,4	730	365	8760

Çizelge 3.11 Yardımcı makineler yakıt sarfiyatları, geleneksel tahrik ünitesi  
(Ackerman, 2003)

		<b>Dizel Jeneratörün Ortalama Özgül Yakıt Sarfiyatının Hesaplanması</b>	
<b>İmalatçı Firma</b>	<b>Makine modeli</b>	<b>Makinenin Azami Devamlı Gücü (kW) (%100)</b>	<b>Makinenin Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)</b>
Man B&W	8L 16/24 Holeby	800	193
Man B&W	8L 23/30 Holeby	1040	195
Man B&W	8L 28/32 Holeby	1680	193
Man B&W	8L 27/38 Holeby	2400	188
Man B&W	8L 32/40 Holeby	3840	186
Deutz	6 BVM540	2427	206,7
Wartsila	6L38	3960	178
Sulzer	8 ATL25H	1120	198
Bergen	KRM 6	995	193
Bergen	KRM 8	1175	193
Bergen	KRM 9	1190	193
Dizel jeneratörün ortalama yakıt sarfiyatı			192,4
Yardımcı boilerin günlük yakıt sarfiyatı (ton)			3

Çizelge 3.12 Gaz türbinli gemide 5 yıl sonunda elde edilen kâr (Ackerman, 2003)

Gemi	1-yıl Sonunda Kazançtaki Artış (\$)	5-yıl Sonunda Kazançtaki Artış (\$)	Gaz Türbini Ünitesinin Maliyetindeki Artış (\$)	İlave Ücret Ödenecek Yıl	5-yıl Sonunda Kâr (\$)
Project Containership	1.28s6.450	6.432.252	2.393.775	1,96	4.038.477
Trade Sol	1.552.572	7.762.864	8.340.011	5,37	-577.147
B500	2.130.154	10.650.771	8.572.863	4,02	2.077.908
Norasia Fribourg	2.193.610	10.968.054	6.053.348	2,76	4.914.706
Nedlloyd Asia	4.992.675	24.963.375	6.306.672	1,26	18.656.702
Econship	2.288.658	11.443.291	6.797.361	2,97	4.645.930
Samsung 5800	6.705.894	33.529.471	22.696.356	3,38	10.833.115
Samsung 8800	8.154.256	40.771.238	17.079.752	2,09	23.691.531
Suez Max SS	43.851.364	219.256.824	30.420.277	0,69	188.836.546
İlave Ücret Ödenecek Ortalama Yıl				2,71	
İlave Ücretin Ödenmesinde Sonra 5-yıl Sonunda Ortalama Kâr (\$)					28.568.641

Çizelge 3.13 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Project Containership (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 8579      Personel sayısı : 21 (tahmini)				
Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 11504      Soğutulan konteyner sayısı: 125 (tahmini)				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	8579	8579	5147	0
Baş pervane	1000	0	1000	0
Kıç pervane	1000	0	1000	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	283	283	283	283
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	500	500	500	500
Toplam	11362	9362	7963	783
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		3,62	6,70	3,62
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		1018	97	486
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				1602
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				151.393
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				259.532

Çizelge 3.14 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Trade Sol (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 17700    Personel sayısı : 29 Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 23736    Soğutulan konteyner sayısı: 170				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	17700	17700	10620	0
Baş pervane	1100	0	1100	0
Kıç pervane	1100	0	1100	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	440	440	440	440
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	680	680	680	680
Toplam	21020	18820	13940	1120
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		5,17	8,56	5,17
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		1456	115,6	600,8
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				2172
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				205.341
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				352.014

Çizelge 3.15 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: B500 (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 17220    Personel sayısı : 25 Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 23092    Soğutulan konteyner sayısı: 220				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	17220	17220	10332	0
Baş pervane	1000	0	1000	0
Kıç pervane	1000	0	1000	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	423	423	423	423
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	880	880	880	880
Toplam	20523	18523	13635	1303
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		6,02	9,1	6,02
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		1694	121	662,9
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				2478
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				234.191
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				401.470

Çizelge 3.16 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Norasia Fribourg (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 27290    Personel sayısı : 19 Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 36596    Soğutulan konteyner sayısı: 200				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	27290	27290	16374	0
Baş pervane	1300	0	1300	0
Kıç pervane	1300	0	1300	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	558	558	558	558
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	800	800	800	800
Toplam	31248	28648	20332	1358
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		6,28	10,28	6,28
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		1766	132,8	681,8
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				2581
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				243.933
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				418.171

Çizelge 3.17 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Nediloyd Asia (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 27540    Personel sayısı : 16 Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 36931    Soğutulan konteyner sayısı: 200				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	27540	27540	16524	0
Baş pervane	1600	0	1600	0
Kıç pervane	1600	0	1600	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	554	554	554	554
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	800	800	800	800
Toplam	32094	28894	21078	1354
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		6,26	11,18	6,26
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		1761	141,8	680,3
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				2583
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				244.124
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				418.499

Çizelge 3.18 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Econship (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 20880    Personel sayısı : 21				
Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 28000    Soğutulan konteyner sayısı: 146				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	20880	20880	12528	0
Baş pervane	1800	0	1800	0
Kıç pervane	1800	0	1800	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	468	468	468	468
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	584	584	584	584
Toplam	25532	21932	17180	1052
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		4,86	10,40	4,86
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		1367	134	577
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				2079
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				196.494
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				336.848

Çizelge 3.19 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Samsung 5800 (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 57890    Personel sayısı : 21				
Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 77630    Soğutulan konteyner sayısı: 500				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	57890	57890	34734	0
Baş pervane	2000	0	2000	0
Kıç pervane	2000	0	2000	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	1023	1023	1023	1023
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	2000	2000	2000	2000
Toplam	64913	60913	41757	3023
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		13,96	20,12	13,96
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		3930	231,2	1246
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				5408
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				511.071
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				876.122

Çizelge 3.20 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Samsung 8800 (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 69468    Personel sayısı : 21 Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 93157    Soğutulan konteyner sayısı: 850				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	69468	69468	41680	0
Baş pervane	2250	0	2250	0
Kıç pervane	2250	0	2250	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	1196	1196	1196	1196
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	3400	3400	3400	3400
Toplam	78564	74064	50777	4596
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		21,23	28,16	21,23
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		5976	311,6	1780
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				8068
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				762.476
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				1.307.102

Çizelge 3.21 Ön yük analizi, geleneksel tahrik ünitesi: Suez Max SS (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW): 76860    Personel sayısı : 21 Ana tahrik sisteminin gücü (BG): 103.069    Soğutulan konteyner sayısı: 850				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	76680	76860	46116	0
Baş pervane	2500	0	2500	0
Kıç pervane	2500	0	2500	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	1307	1307	1307	1307
Kargo, soğutulan 40-ft konteyner	3400	3400	3400	3400
Toplam	86567	81567	55823	4707
<b>Sarf edilen yakıt (ton)</b>		Seyirde	Manevrada	Limanda
<b>Yardımcı ekipmanlarla/24 saat</b>		21,74	29,44	21,74
Yardımcı boyler/24 saat		0	3	3
İlave yakıt sarfiyatı/yardımcılar tarafından yılda		6120	324,4	1818
<b>Toplam ilave yakıt sarfiyatı/yıl (ton)</b>				8263
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl IFO-380 (\$)				780.866
Sarf edilen ilave yakıtın fiyatı/yıl MDO (\$)				1.338.628

Çizelge 3.22 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Project Containership  
(Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 8579	Karşılaştırma için seçilen model : B			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 11504	Gaz türbini modülü sayısı : 1			
Personel sayısı : 21 (tahmini)	Modülün toplam gücü (kW) : 9450			
Soğutulan konteyner sayısı : 125 (tahmini)				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	8579	8579	5147	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	8150	8150	5147	
Baş pervane	1000	0	1000	0
Kıç pervane	1000	0	1000	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	206	206	206	206
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	500	500	500	500
Toplam	10856	8856	7853	706
Gerekli modül sayısı		1	1	1 yrd./emer.
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		93,72	83,11	58,37

Çizelge 3.23 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu:Trade Sol (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) :17700	Karşılaştırma için seçilen model : E			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 23736	Gaz türbini modülü sayısı : 1			
Personel sayısı : 18	Modülün toplam gücü (kW) : 19520			
Soğutulan konteyner sayısı : 170				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	17700	17700	10620	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	16815	16815	10620	
Baş pervane	1100	0	1100	0
Kıç pervane	1100	0	1100	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	253	253	253	253
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	680	680	680	680
Toplam	19948	17748	13753	933
Gerekli modül sayısı		1	1	1 yrd./emer.
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		90,92	70,46	77,12

Çizelge 3.24 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: B500 (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 17220	Karşılaştırma için seçilen model : E			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 23092	Gaz türbini modülü sayısı : 1			
Personel sayısı : 18	Modülün toplam gücü (kW) : 19520			
Soğutulan konteyner sayısı : 220				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	17220	17220	10332	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	16359	16359	10332	
Baş pervane	1000	0	1000	0
Kıç pervane	1000	0	1000	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	250	250	250	250
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	880	880	880	880
Toplam	19489	17489	13462	1130
Gerekli modül sayısı		1	1	1 yrd./emer.
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		89,6	68,97	93,41

Çizelge 3.25 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Norasia Fribourg (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 27290	Karşılaştırma için seçilen model : G			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 36596	Gaz türbini modülü sayısı : 1			
Personel sayısı : 18	Modülün toplam gücü (kW) : 27810			
Soğutulan konteyner sayısı : 200				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	27290	27290	16374	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	25925	25925	16374	
Baş pervane	1300	0	1300	0
Kıç pervane	1300	0	1300	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	310	310	310	310
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	800	800	800	880
Toplam	29636	27036	20084	1100
Gerekli modül sayısı		1	1	1 yrd./emer.
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		97	75,51	91,8

Çizelge 3.26 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Nediloyd Asia (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 27540	Karşılaştırma için seçilen model : B			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 36931	Gaz türbini modülü sayısı : 3			
Personel sayısı : 18	Modülün toplam gücü (kW) : 28350			
Soğutulan konteyner sayısı : 200				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	27540	27540	16524	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	26163	26163	16524	
Baş pervane	1600	0	1600	0
Kıç pervane	1600	0	1600	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	312	312	312	312
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	800	800	800	800
Toplam	30475	27275	20836	1112
Gerekli modül sayısı		3	3	1 yrd./emer.
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		96,21	73,5	91,92

Çizelge 3.27 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Econship (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 20880	Karşılaştırma için seçilen model : D			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 28000	Gaz türbini modülü sayısı : 1			
Personel sayısı : 18	Modülün toplam gücü (kW) : 21960			
Soğutulan konteyner sayısı : 146				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	20880	20880	12528	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	19836	19836	12528	
Baş pervane	1800	0	1800	0
Kıç pervane	1800	0	1800	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	272	272	272	272
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	584	584	584	584
Toplam	24292	20692	16984	856
Gerekli modül sayısı		1	1	1 yrd./emer.
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		94,23	77,34	70,77

Çizelge 3.28 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Samsung 5800 (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 57890		Karşılaştırma için seçilen model : D		
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 77630		Gaz türbini modülü sayısı : 3		
Personel sayısı : 18		Modülün toplam gücü (kW) : 65880		
Soğutulan konteyner sayısı : 500				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	57890	57890	34734	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	54995	54995	34734	
Baş pervane	2000	0	2000	0
Kıç pervane	2000	0	2000	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	494	494	494	494
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	2000	2000	2000	2000
Toplam	61489	57489	41228	2494
Gerekli modül sayısı		3	2	1
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		87,26	93,87	11,36

Çizelge 3.29 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Samsung 8800 (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 69468		Karşılaştırma için seçilen model : C		
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 93157		Gaz türbini modülü sayısı : 3		
Personel sayısı : 18		Modülün toplam gücü (kW) : 73200		
Soğutulan konteyner sayısı : 850				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	69468	69468	41680	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	65994	65994	41680	
Baş pervane	2250	0	2250	0
Kıç pervane	2250	0	2250	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	563	563	563	563
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	3400	3400	3400	3400
Toplam	74458	69958	50144	3963
Gerekli modül sayısı		3	3	1
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		95,57	68,5	16,25

Çizelge 3.30 Ön yük analizi, modüler gaz türbini opsiyonu: Suez Max SS (Ackerman, 2003)

Ana tahrik sisteminin gücü (kW) : 76860	Karşılaştırma için seçilen model : D			
Ana tahrik sisteminin gücü (BG) : 103069	Gaz türbini modülü sayısı : 4			
Personel sayısı : 18	Modülün toplam gücü (kW) : 87840			
Soğutulan konteyner sayısı : 850				
	Toplam Yük (kW)	Seyirde (kW)	Manevrada (kW)	Limanda (kW)
<b>Ana tahrik</b>	76860	76860	46116	0
<b>Podlarla %5 tasarruf yapılmakta</b>	73017	73017	46116	
Baş pervane	2500	0	2500	0
Kıç pervane	2500	0	2500	0
Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri	608	608	608	608
Kargo, 40-ft konteynerlerin soğutulması	3400	3400	3400	3400
Toplam	82025	77025	55124	4008
Gerekli modül sayısı		4	3	1
Gerekli modüllerin güç yüzdesi		87,69	83,67	18,25

Çizelge 3.31 Gaz türbini yakıt sarfiyatları (Ackerman, 2003)

	Gaz Türbini	kW	Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)
A	Solar Taurus 60	5500	277,3
B	Solar Mars 90	9450	250,8
C	WR-21 Engine @100%	24400	199,1
D	WR-21 Engine @90%	21960	202,0
E	WR-21 Engine @80%	19520	204,9
F	WR-21 Engine @70%	17080	207,8
G	LM2500+	26600	207,0
H	LM2500	22100	216,0

Gemilerin yıllık ortalama kazançları değerlendirilmiş, Çizelge 3.10'da verilen gemi çalışma parametrelerine göre modüler gaz türbini kullanılması durumunda gerçekleşecek kazanç artışları her gemi için ayrı ayrı Çizelge 3.33'te hesap edilmiştir.

Çizelge 3.32 İki sistemin yakıt sarfiyatı karşılaştırması (Ackerman, 2003)

	Gemi	Mevcut Makine		Karşılaştırma İçin Seçilen GT*/ Toplam Modül Sayısı	Yakıt Sarfiyatı (ton)		
		Güç (kW)	Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)		Mevcut Makine (ton)	GT (ton)	Fark (ton)
1	Project Containership	8579	169	B/1	21132	31360	10228
2	Trade Sol	17700	169	E/1	43598	52860	9261
3	B500	17220	173	E/1	43420	51426	8006
4	Norasia Fribourg	27290	165	G/1	65629	82335	16706
5	Nedlloyd Asia	27540	154	B/3	61815	1006	38855
6	Econship	20880	131	D/1	39867	61474	21607
7	Samsung 5800	57890	147	D/3	1240	1704	46406
8	Samsung 8800	69468	150	C/3	1518	2015	49714
9	Suez Max SS	76860	166	D/4	1859	2262	40328

- \* Harfler Çizelge 1.30'dan referans alınmıştır.
- Silindir yağlama yağı sarfiyatı 0,608 g/kWh alınmıştır. Silindir yağlama yağının fiyatı 1,38 \$/litre alınmıştır.
- Yakıt masrafları, Çizelge 12 ile 30 arasında verilen yük analizlerine göre elektrik ve tahrik yüklerinin toplamı dikkate alınarak hesap edilmiştir.

Modüler gaz türbinli gemilerde kazancın artmasına karşın, bunun ilk yatırım maliyetine ne kadar ilave masraf getirdiği araştırılmıştır. Geleneksel dizel ve modüler gaz türbinli sistemin ilk yatırım maliyetlerinin ve 5 yıl süresince elde edecekleri kârların birbirine göre karşılaştırılması yapılmıştır.

Geleneksel tahrik sistemlerinde ilk yatırım maliyetinin tespit edilmesi için, daha önce yayınlanan kaynaklarda verilen kilowatt başına masraf değerleri referans alınmıştır. Gaz türbinli uygulamaların ilk yatırım maliyetini hesaplamak için, dizelli geleneksel uygulamalarda elde edilen değer 1,43 ile çarpılmıştır. Burada, farklı sistemler için yapılan fiyat araştırmaları neticesinde, gaz türbinli uygulamaların ilk yatırım maliyetinin, dizelli geleneksel uygulamaların ilk yatırım maliyetinin ortalama 1,43 katı olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 3.33 Bir haftada elde edilen kazançtaki artış (Ackerman, 2003)

IFO-380 Yakıt Fiyatı: 94,5 \$/ton				MDO Yakıt Fiyatı: 162 \$/ton			Modüler Gaz T	
Tahrik Ünitesi Yakıt/Sil. Yağ. Yağı Sarf. Masrafları (\$)				Modüler Gaz Türbini			Kazanç Artışı (\$) (	
	Yardımcılar	Silindir Yağlama Yağı	Toplam	Seyirde/Manevra da	Limanda	Fark	%100-6 m'lik	%100-12 ft
	2911	1028	23908	52445	1454	29991	47558	164
	3948	2121	47270	85865	1922	40517	58482	187
	4503	2063	47599	84613	2328	39342	76157	297
	4691	3270	69981	142382	2287	74689	87010	220
	4694	3300	66410	161517	2291	97398	179801	685
	3778	2502	43955	98692	1763	56500	85399	284
	9828	6937	133975	274199	4247	144470	244929	885
	14663	8325	166509	328877	6749	169117	296182	1093
	15016	9211	199959	367373	6824	174238	1.408.111	7727

Çizelge 3.34 Tahrik ünitelerinin ilk yatırım maliyetlerinin karşılaştırması (Ackerman, 2003)

	<b>Gemi</b>	<b>Ana Makine Gücü</b>	<b>Geleneksel Ünite İlk</b>	<b>Toplam (kW)</b>	<b>Seçilen GT/Toplam Modül</b>	<b>Toplam Güç (kW)</b>	<b>Gaz Türbininin İlk</b>	<b>Fark (\$) (2002)</b>
1	Project Containership	8579	4161	8856	B/1	9450	6555	2393
2	Trade Sol	17700	8586	17748	E/1	24400	16926	8340
3	B500	17220	8353	17489	E/1	24400	16926	8572
4	Norasia Fribourg	27290	13238	27036	G/1	27810	19292	6053
5	Nedlloyd Asia	27540	13359	27275	B/3	28350	19666	6306
6	Econship	20880	10129	20692	D/1	24400	16926	6797
7	Samsung 5000	57890	28083	57489	D/3	73200	50779	22696
8	Samsung 8800	69468	33699	69958	C/3	73200	50779	17079
9	Suez Max SS	76860	37285	77025	D/4	97600	67705	30420

Sonuçlar karşılaştırıldığında 9 geminin 8'inin, 5 yıllık dönemde kâra geçtiği (Çizelge 3.35) ve kazançlarını arttırdığı görülmektedir. Yakıt olarak MDO kullanılması bile bu gerçeği değiştirmemiştir. Personel sayısındaki azalma ve bakım masrafları bu çalışmaya dâhil edilmemiştir. Bunların da hesaba katılması durumunda gaz türbinli gemilerin kazancı daha da artacaktır. Gaz türbinli gemilerde en fazla kazancı 6 m'lik konteynerlere sahip gemiler elde etmektedir.

Bu çalışmanın olumlu neticeleri göstermektedir ki önümüzdeki yıllarda bu konuda daha kapsamlı araştırmaların yapılması gereklidir. Gaz türbinli gemilerde kazancı arttırmak için ilave yöntemler de uygulanabilir. Örneğin egzozdan atılan ısı, gemide kullanım için değerlendirilebilir. Daha genel sonuç elde etmek maksadıyla, ısı geri kazanım boyları bu çalışmaya dâhil edilmemiştir. Buradan elde edilecek buharla bir turbo jeneratörde elektrik üretilebilir. Veya turbo jeneratör direk egzoz gazları ile de tahrik edilerek elektrik üretilebilir.

Modüler gaz türbinin dezavantajları, yüksek yakıt sarfiyatı, daha düşük verim ve ağır yakıt kullanamamaları ile sınırlıdır. MDO yakıt kullanmalarına rağmen gaz türbinli gemiler maddi olarak daha fazla getiriye sahiptir. Modüler gaz türbinlerinin gemiye montajında da esneklik ve serbestlik söz konusudur.

Konteyner gemilerde, 6 m'lik konteyner kapasitesi genellikle 8000 ile 12000 arasındadır. Bu tür gemilerde hedeflenen hız ortalama 20 knots (37 km/saat)'tir. Tahrik sisteminin boyutları bu gemilerin inşasında en çok dikkate alınması gereken hususlardan biridir. Bu nedenle, modüler gaz türbinini oldukça avantajlı olabilmektedir.

Özet olarak; modüler gaz türbinli güç sistemi konteyner gemilerinde daha az personelle, daha fazla kazanç ve daha fazla kargo alanı sağlamaktadır. Ticari hususların ön plana çıktığı başka tip gemilerde de bu sistemlerin düşünülmesi gerekir.

#### 4. DİZEL MAKİNE İLE GAZ TÜRBİNİNİN TEKNİK KARŞILAŞTIRMASI

Bu bölümde dizel makine ile gaz türbinleri teknik olarak çeşitli başlıklar altında karşılaştırılmıştır.

##### 4.1 Boyutlar ve Ağırlık (Gee, 2001)

Hava yakıt karışımının hazırlanması için gaz türbini kompresöre ve yanma odasına ihtiyaç duyar, fakat bunların oluşturacağı ek ağırlık ve sistemin daha komplike olması dizel makineye karşı bir dezavantaj teşkil etmez. Çünkü gaz türbininin toplam ağırlığı dizel makineye nazaran çok azdır.

Çizelge 4.1, 4.2 ve 4.3' te, herbiri 2000 kW' tan fazla güce sahip yüksek ve orta hızlı dizel makineler ve gaz türbinleri listelenmiştir. Çizelgelerdeki değerler şanzımsız ve kuru makineler içindir. Alan, makinenin bir baştan bir başa uzunluğu ile eninin çarpımını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1 Yüksek Hızlı Dizel Makinelerin Karşılaştırılması (Gee, 2001)

Tip	Güç (kW)	Ağırlık (kg) (kuru)	Alan (m <sup>2</sup> ) (BxG)	Güç/Ağırlık (kW/kg)	Güç/Alan (kW/m <sup>2</sup> )	Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kW.saat)
MTU 16 V 396 TE74L	2000	6235	6,15	0,321	325,2	207
Ruston 8RK270HF	2020	17500	5,96	0,115	338,9	204
Paxtan Valenta CM 12 V	2045	8117	3,33	0,252	613,7	230
Cummins-Wärtsiliä CW 170 16 V	2080	11350	5,17	0,183	402,3	205
Ruston 6RK270	2265	13050	5,33	0,174	425,2	200
Paxtan VP185 12V	2300	7460	4,93	0,308	466,4	200
MTU 16V 4000 M70	2320	7475	6,79	0,310	341,7	194
Cummins- Wärtsiliä CW 170 18V	2340	12500	5,53	0,187	423,1	205
Cummins- Wärtsiliä CW 200 12V	2400	14500	6,75	0,166	355,5	205

Paxman Valenta CM 16 V	2725	10220	4,23	0,267	644,3	230
Ruston 8RK270	3020	17500	5,96	0,173	506,7	200
Ruston 12 RK270HF	3030	22000	7,82	0,138	387,5	204
Paxman Valenta CM 18V	3065	11147	4,70	0,275	652,4	230
Cummins- Wäertsiliä CW 200 16V	3200	18000	8,30	0,178	385,4	205
Paxman VP185 18V	3500	10161	5,51	0,344	635,5	200
Cummins- Wäertsiliä CW 200 18V	3600	19000	8,85	0,189	406,6	205
Pielstick 12 PA6 STC	3880	23000	11,11	0,169	349,2	184
MTU 16V 595 TE70L	3925	13000	5,96	0,302	658,6	215
Ruston 16RK270HF	4040	27000	9,29	0,150	435,0	204
Ruston 12RK270	4530	22000	7,82	0,206	579,3	200
Pielstick 12PA6BSTC	4860	26000	13,64	0,187	356,2	184
Ruston 20RK270HF	5050	33500	11,57	0,151	436,4	204
Pielstick 16PA6STC	5180	32000	13,55	0,162	382,2	184
MTU 16V 1163 TB 73L	5200	19500	8,39	0,267	619,7	212
Ruston 12RK280	5400	30000	7,82	0,180	690,5	190
CAT 3616	6000	31000	8,31	0,194	722,4	208
MTU 20V 1163 TB73	6000	22500	10,06	0,267	596,3	208
Ruston 16RK270	6040	27000	9,29	0,224	650,4	200
Pielstick 16 PA6 B STC	6480	34000	15,87	0,191	408,4	184
MTU 20V 1163 TB73L	6500	22900	10,06	0,284	646,0	207
MTU 16V 8000 M70	6560	37000	14,15	0,177	463,7	195
Ruston 16RK280	7200	37000	9,29	0,195	775,3	190
MTU 16V 8000 M90	7200	37000	14,15	0,195	508,9	199
CAT 3618	7200	36000	10,87	0,200	662,2	203

Ruston 20 RK 270	7550	33500	11,57	0,225	652,4	200
Pielsitck 20 PA6 B STC	8100	41000	21,01	0,198	385,4	184
MTU 20V 8000 M70	8200	43000	16,29	0,191	503,3	195
Ruston 20RK280	9000	46000	11,57	0,196	777,7	190
MTU 20V 8000 M90	9020	43000	16,29	0,210	553,6	199

Çizelge 4.2 Orta Hızlı Dizel Makinelerin Karşılaştırılması (Gee, 2001)

Tip	Güç (kW)	Ağırlık (kg) (kuru)	Alan (m <sup>2</sup> ) (BxG)	Güç/ Ağırlık (kW/kg)	Güç/ Alan (kW/m <sup>2</sup> )	Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kW.saat)
Ruston 12RK215	2370	13500	6,75	0,176	351,1	199
Wärtsiliä 32 6R	2460	42000	11,80	0,059	208,5	190
Wärtsiliä 32 6L	2760	32000	11,02	0,086	250,4	183
Ruston 16RK215	3160	17000	8,06	0,186	391,9	199
Wärtsiliä 32 8R	3280	62000	13,45	0,053	243,9	190
Wärtsiliä 32 8L	3680	42000	13,68	0,088	269,0	183
Wärtsiliä 32 9R	3690	68000	14,12	0,054	261,4	190
Wärtsiliä 32 9L	4140	48000	14,76	0,086	180,4	183
CAT 3612	4250	24700	6,74	0,172	630,8	203
Wärtsiliä 38 6L-B	4350	50000	13,40	0,087	324,7	178
Sulzer ZA40S 6L	4500	59000	19,81	0,076	227,2	186
Wärtsiliä 26X 12V	4800	29100	14,15	0,165	339,3	189
Wärtsiliä 32 12V-E	4920	76000	14,61	0,065	336,8	188
Wärtsiliä 32 12V	5520	55000	20,05	0,100	275,2	181
Wärtsiliä 38 8L-B	5800	66000	15,98	0,088	363,0	178
Sulzer ZA40S 8L	6000	78000	24,86	0,077	241,4	186
Wärtsiliä 46 6L-C	6300	95000	24,00	0,066	262,5	175

Wärtsilä 26X 16V	6400	33700	16,42	0,190	389,9	189
Wärtsilä 38 9L-B	6525	72000	17,27	0,091	377,9	178
Wärtsilä 32 16V-E	6560	93000	21,43	0,071	306,1	188
Sulzer ZA40S 9L	6750	86000	26,87	0,078	251,3	186
Wärtsilä 26X 18V	7200	36800	17,55	0,196	410,3	189
Wärtsilä 32 16V	7360	67000	27,05	0,110	272,1	181
Wärtsilä 32 18V-E	7380	100000	23,25	0,074	317,4	188
Wärtsilä 32 18V	8280	75000	28,89	0,110	286,6	181
Wärtsilä 46 8L-C	8400	121000	31,57	0,069	266,1	175
Wärtsilä 38 12V-B	8700	82000	23,47	0,106	370,7	177
Pielstick 12 PC 2.6 B	9000	93000	28,16	0,097	319,6	184
Sulzer ZA40S 12V	9000	102000	26,50	0,088	339,6	185
Wärtsilä 46 9L-C	9450	137000	36,02	0,069	262,4	175
Wärtsilä 64 5L	10050	185000	36,02	0,054	279,0	171
Pielstick 14 PC 2.6 B	10500	105000	31,89	0,100	329,3	184
Sulzer ZA40S 14V	10500	119000	36,05	0,088	291,2	185
Pielstick 16 PC 2.6 B	12000	115000	25,50	0,104	470,6	184
Sulzer ZA40S 16V	12000	132000	39,32	0,091	305,2	185
Wärtsilä 64 6L	12060	227000	40,19	0,053	300,1	171
Wärtsilä 46 12V-C	12600	165000	45,17	0,076	279,0	175
Wärtsilä 38 16 V-B	13050	120000	44,24	0,109	295,0	177
Pielstick 10 PC4.2B	13250	200000	51,41	0,066	257,7	184
Sulzer ZA40S 18V	13500	145000	42,59	0,093	317,0	185
Wärtsilä 64 7L	14070	240000	45,50	0,059	309,2	171
Pielstick 20 PC 2.6 B	15000	135000	40,64	0,111	369,1	184
Pielstick 12 PC 4.2 B	15900	240000	56,60	0,066	280,9	184

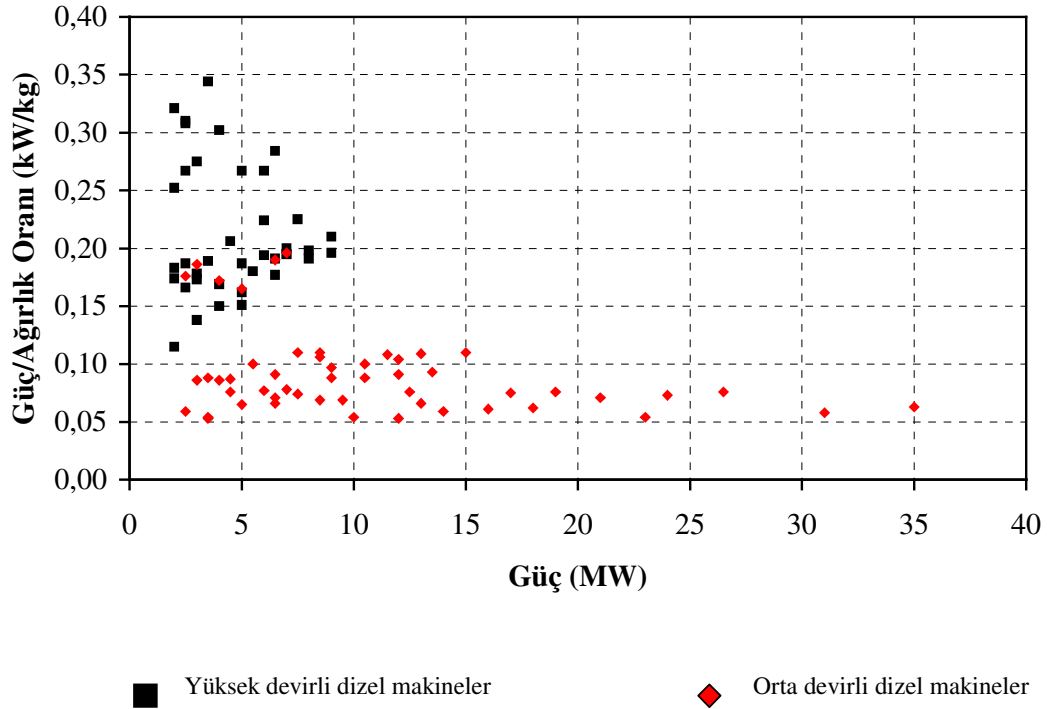
Wärtsilä 64 8L	16080	265000	49,66	0,061	323,8	171
Wärtsilä 46 16V-C	16800	225000	55,74	0,075	301,4	175
Wärtsilä 64 9L	18090	292000	53,82	0,062	336,1	171
Wärtsilä 46 18V-C	18900	250000	60,52	0,076	312,3	175
Pielstick 16 PC4.2B	21200	300000	67,23	0,071	315,3	184
Wärtsilä 64 12V	23280	428000	84,07	0,054	276,9	169
Pielstick 18 PC4.2B	24000	330000	72,82	0,073	329,6	184
Pielstick 20 PC4.2B	26500	350000	78,52	0,076	337,5	184
Wärtsilä 64 16V	31040	532000	102,05	0,058	304,2	169
Wärtsilä 64 18V	34920	550000	110,37	0,063	316,4	169

Çizelge 4.3 Gaz Türbinlerinin Karşılaştırılması (Gee, 2001)

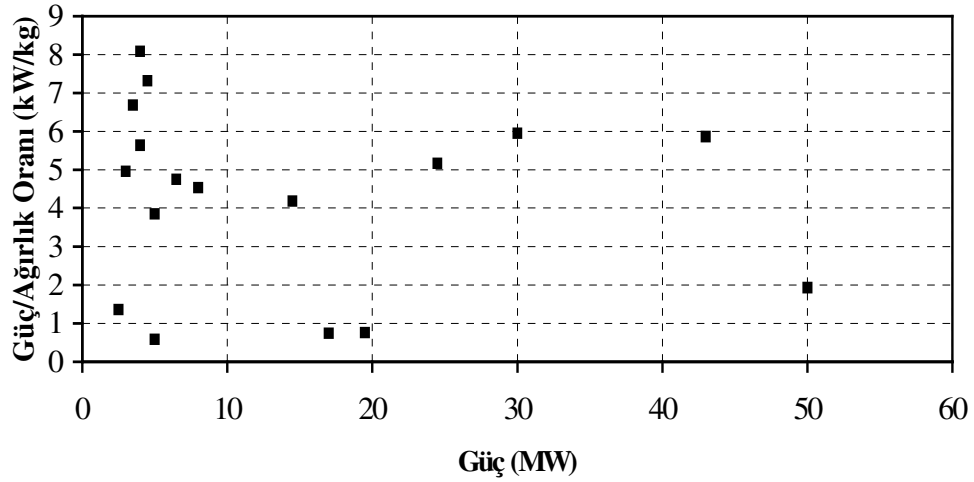
Tip	Güç (kW)	Ağırlık (kg)	Alan (m <sup>2</sup> ) (BxG)	Güç/Ağırlık (kW/kg)	Güç/Alan (kW/m <sup>2</sup> )	Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)
Rolls Royce UT 903	2375	1740	1,40	1,36	1696	270
Allied Signal TF40	2983	601	1,27	4,96	2356	299
Pratt & Whitnet ST30 Dry	3341	500	1,10	6,68	3027	263
Allied Signal TF50A	4000	710	1,27	5,64	3159	277
Pratt & Whitney ST40 Dry	4039	500	1,10	8,08	3659	254
GE LM600	4474	612	1,95	7,31	2293	269
Solar Taurus 60M	5010	8499	6,19	0,59	809	266
Rolls-Royce 501-KF7	5235	1361	4,31	3,85	1216	265
Rolls-Royce 601-KF9	6469	1361	2,42	4,75	2671	252
Rolls-Royce 601-KF11	7830	1723	3,13	4,54	2504	248

GE LM 1600	14318	3424	9,06	4,18	1581	231
ABB GT 35	17000	23000	37,95	0,74	448	260
Rolls-Royce Spey	19500	25633	17,14	0,76	1138	226
GE LM 2500	24609	4762	14,31	5,17	1720	226
GE LM 2500+	30201	5079	14,96	5,95	2019	215
GE LM 6000 PC	42752	7302	18,51	5,86	2310	200
Rolls-Royce Trent	50000	25941	40,06	1,93	1248	203

Şekil 4.1 ve 4.2 belli güç aralıklarında makine gücünün ağırlığına oranını göstermektedir. Şekil 4.1 bütün dizel makineleri ve Şekil 4.2 ise gaz türbinlerini göstermektedir. Açıkça görülmektedir ki gaz türbinlerinin güç-ağırlık oranı dizellere göre genellikle 25-40 kat civarında daha yüksektir.

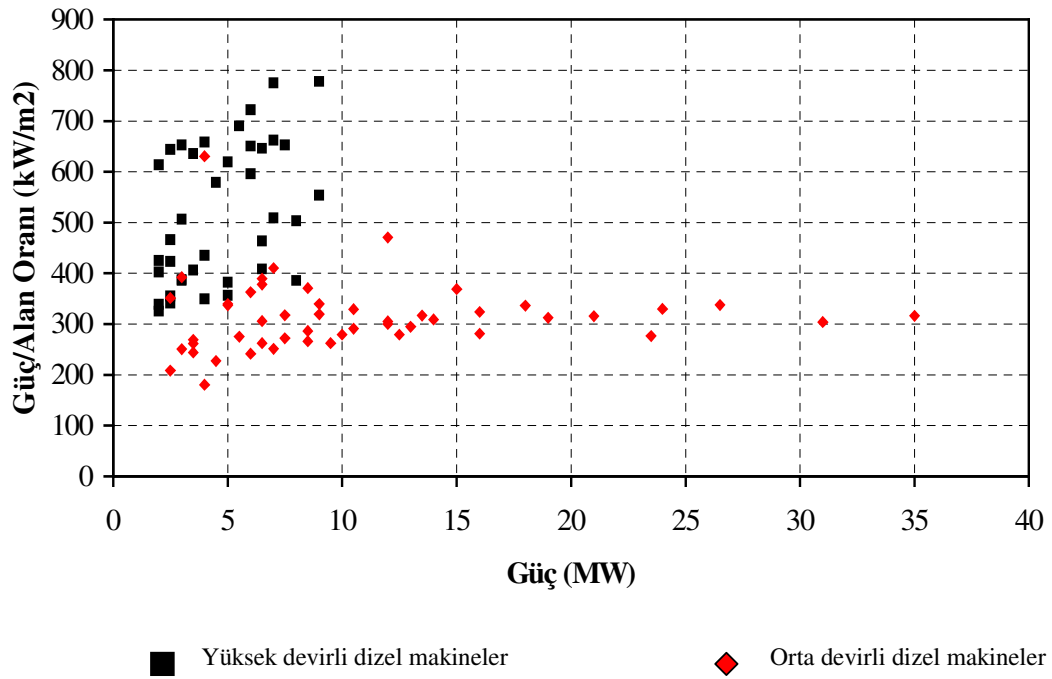


Şekil 4.1 Dizel makinelerin güce göre güç/ağırlık oranlarının değişimi (Gee, 2001)

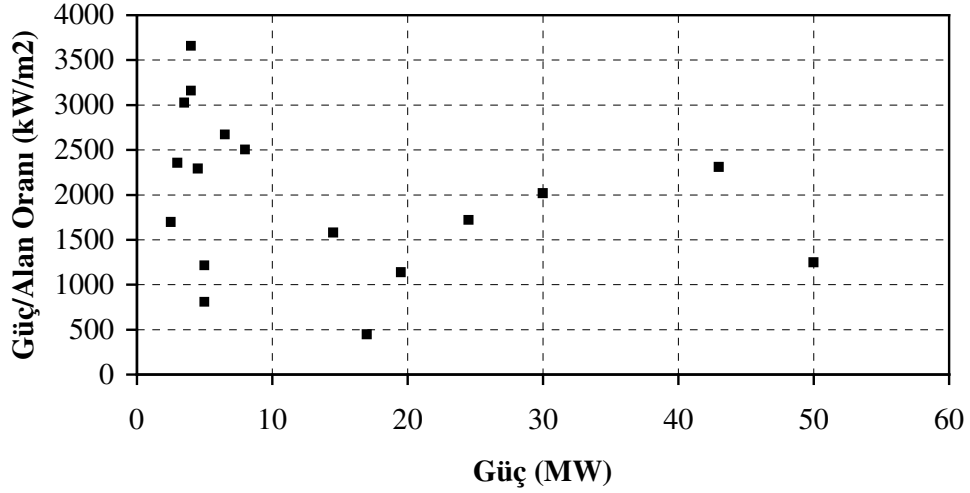


Şekil 4.2 Gaz türbinlerinin güce göre güç/ağırlık oranlarının değişimi (Gee, 2001)

Benzer şekilde, Şekil 4.3 ve 4.4 güç-makine alanı oranını göstermekte ve gene gaz türbinlerinin dizellere göre genellikle 3-5 kat arasında üstün oldukları görülmektedir. Tabii ki, dikkate alınması gereken tek husus makinenin alanı değildir. Bunun yanında, dizeller için gerekli olacak makine dairesi hacmi, hava emiş ve egzoz sistemlerinin büyük hacimleri ve gaz türbinleri için giren hava filtre sistemlerinin hacimleri de dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.3 Dizel makinelerin güce göre güç/alan oranlarının değişimi (Gee, 2001)



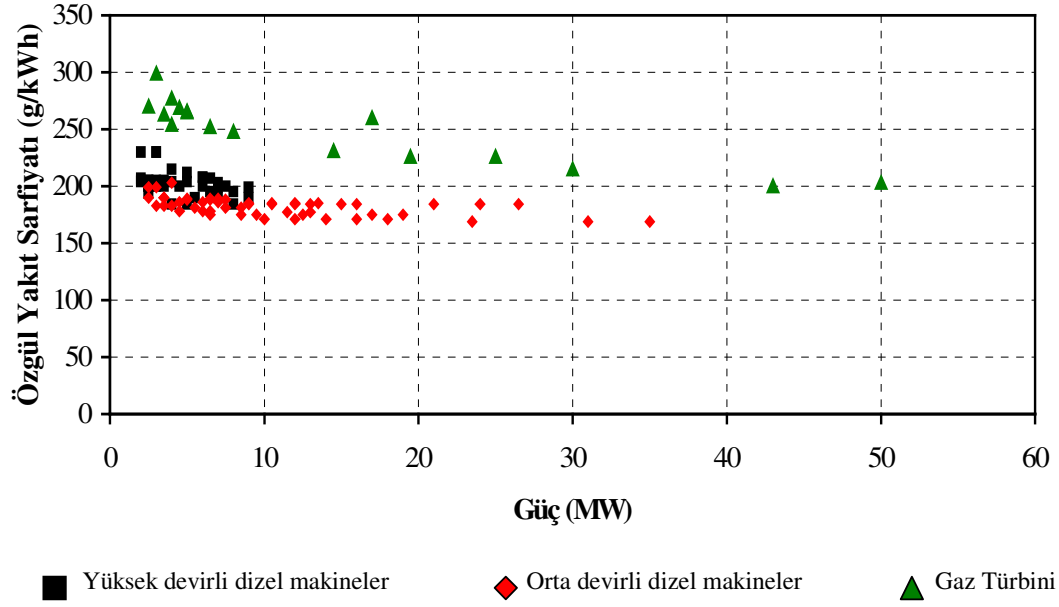
Şekil 4.4 Gaz türbinlerinin güce göre güç/alan oranlarının değişimi (Gee, 2001)

Genel olarak denebilir ki, gaz türbini montajının ağırlığı ve hacmi dizel montajına göre çok daha hafif olacaktır. Ağırlık ve hacim dikkate alındığında, gaz türbini daha iyi bir seçimdir.

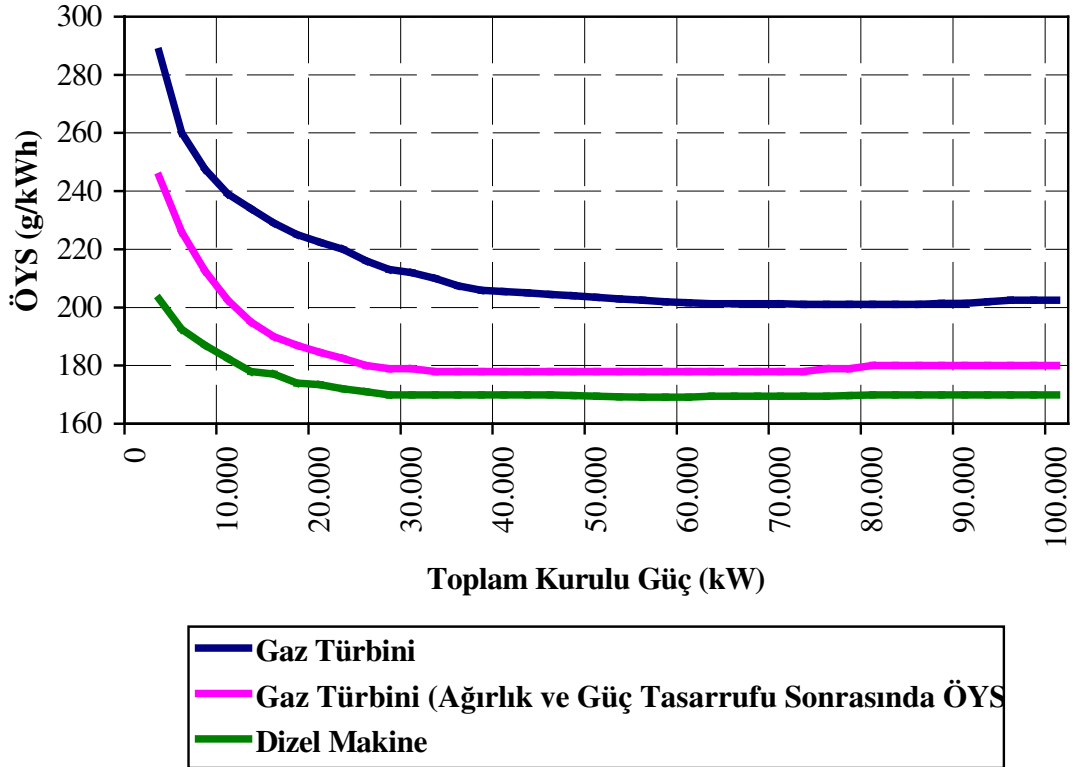
#### 4.2 Yakıt Sarfiyatı (Gee, 2001)

Az yer kaplayan yapısı, düşük ağırlığı ve yakıt tüketiminde farklı alternatifler sunabilmesi gaz türbinlerinin gemilerde tercih edilmesine neden olmuştur. Gaz türbinleri, doğal gaz, dizel yakıt, nafta, metan, işlenmemiş yakıt, düşük-btu gazları, buharlaştırılmış fuel oil gibi birçok yakıtla çalışabilmektedir.

Şekil 4.5'te gaz türbinleri ve dizeller için özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS) karşılaştırması yapılmıştır ve burada görülmektedir ki herhangi bir güçte gaz türbinin özgül yakıt sarfiyatı dizel makineden daha yüksektir. Ancak şu da hesaba katılmalıdır ki, aynı gemi süratinde gaz türbin sistemi daha hafif olması nedeniyle teknenin de daha düşük bir deplasmana sahip olmasını sağlayacak ve bu nedenle daha az güce ihtiyaç duyacaktır. Burada elde edilen tasarruf Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Şekil 4.6'da; siyah eğri, gaz türbinlerinin güce göre özgül yakıt sarfiyatındaki değişimi, yeşil eğri dizel makinelerin güce göre özgül yakıt sarfiyatındaki değişimi ve kırmızı eğri ise gaz türbinin dizele göre kazandırdığı hafiflik ve geminin aynı hız ve deplasman şartlarındaki daha düşük güç ihtiyacı da hesaba katıldığında ortaya çıkacak özgül yakıt sarfiyatını yaklaşık olarak göstermektedir. Bununla birlikte, ne



Şekil 4.5 Dizel makine ve gaz türbinlerin güce göre özgül yakıt sarfıyatı değişimi (Gee, 2001)



Şekil 4.6 Dizel makine ve gaz türbinlerin güce göre özgül yakıt sarfıyatlarının değişim eğrisi (Gee, 2001)

yazık ki, özgül yakıt sarfiyatı eğrisindeki bu değişiklik bile bir çok durumda yeterli olmamaktadır.

Dizel makineler yerine gaz türbinleri kullanıldığı hemen her durumda, özgül yakıt sarfiyatındaki artış deplasmandaki azalma neticesinde elde edilen tasarruftan daha yüksek olacaktır. Ancak, örneğin azami sürati 40 knots, tam yükte deplasmanı 25.000 ton olan çok büyük bir ro-pax tipi feribotta, deplasmandaki azalma sonucu elde edilen tasarruf özgül yakıt sarfiyatındaki artıştan daha büyük olmuştur. 100 MW' tan fazla kurulu güç bulunan bu özel gemide, gaz türbini ile dizel makineye göre sağlanan hafiflik o kadar büyüktür ki buradan sağlanan tasarruf, gaz türbinin özgül yakıt sarfiyatındaki artış nedeniyle oluşan farktan büyük olmaktadır. Dolayısıyla, büyük güç kurulumu gerektiren gemilerde, gaz türbinlerin ağırlık ve hacimle birlikte, özgül yakıt sarfiyatı konularında da avantajları bulunduğu aşikardır.

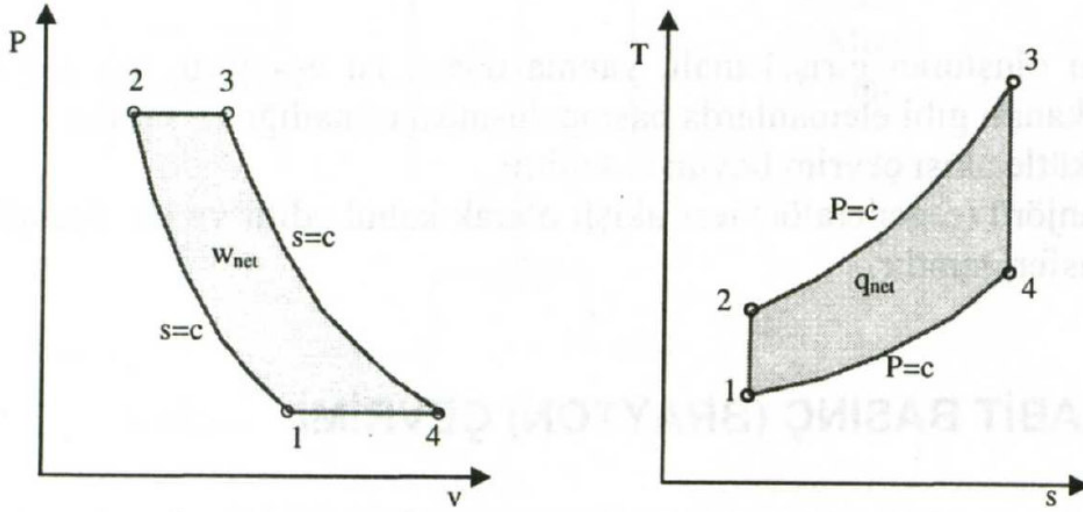
### 4.3 Teorik Çevrimler ve Isıl Verimler

Bu bölümde, gaz türbinleri ve dizel makinelerin, bazı kayıplar ihmal edilerek ve gerçekte mümkün olmayan bazı kabuller yapılarak ideal ortam için geçerli teorik ısı çevrimleri ve teorik ısı verimleri verilmiştir.

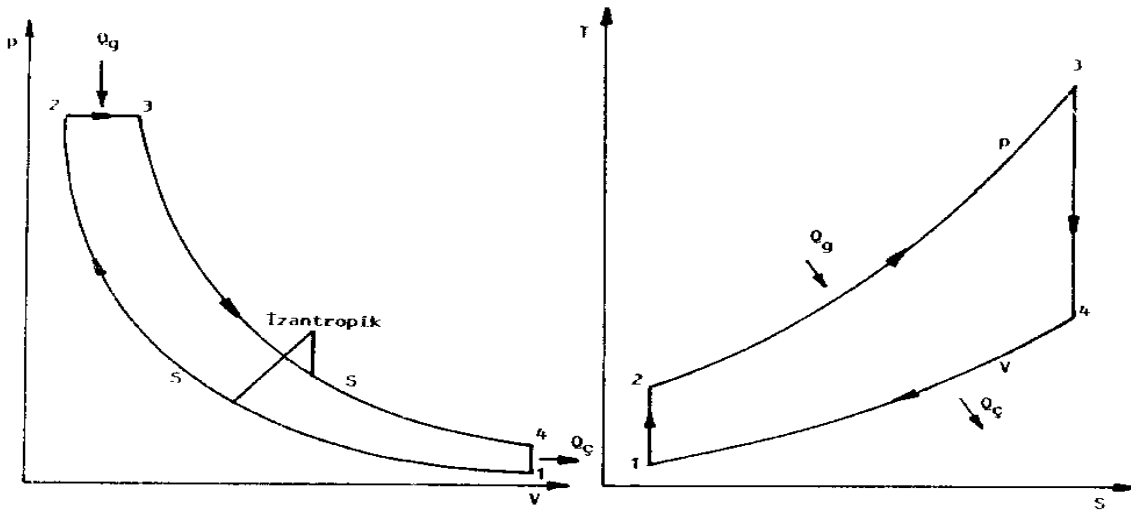
#### 4.3.1 Teorik Çevrimler

Gaz türbinlerinin teorik çevrimi Brayton çevrimidir. Şekil 4.7'de, kompresör 1 no'lu noktadan atmosferik havayı alıp, 2 noktasındaki basınca kadar yükselterek, yanma odasına gönderir. Yanma odasına ikinci bir yerden yakıt akışı olmaktadır Hava içerisine püskürtülen yakıtın yanması sabit basınçta ve sürekli olmaktadır. Yanma ürünleri, 3 no'lu kısımdan türbine girdikten sonra, burada genişleyip türbin kanatçıklarını iterek iş üretirler. Türbini terk eden gazlar daha sonra, 4 no'lu kısımdan atmosfere atılırlar. Egzoz gazlarının basıncı, teorik olarak atmosfer basıncındadır (gerçekte ise biraz daha yüksektir). Böyle bir gaz türbini çevriminin P-v ve T-s diyagramları, Şekil 4.7'de görülmektedir (Çetinkaya, 1999).

Dizel makineye ait teorik çevrim Şekil 4.8'de verilmiştir. Bu çevrimde 1-2 noktaları arasında silindirlere izentropik sıkıştırma, 2-3 arasında sabit hacimde ısı verilmesi, 3-4 arasında sabit basınçta ısı verilmesi, 4-5 arasında izentropik genişleme, 5-1 arasında ise sabit hacimde ısı çekilmesi gerçekleşmektedir (Borat ve diğerleri, 1994).



Şekil 4.7 Basit çevrim gaz türbinin teorik P-v ve T-s diyagramları (Çetinkaya, 1999)



Şekil 4.8 Dizel makinenin teorik dizel çevrimi (Borat ve diğerleri, 1994)

#### 4.3.2 Isıl Verimler

Dizel makinelerin yapısında bulunan en önemli dezavantaj, krank mekanizması ile volana gerek duyulması ve krank milinin dönüşü sırasındaki kaçınılmaz düzensizliklerdir. Bu yetersizlikler, dizel makinelerden yüksek kapasitede güç elde edilmesini zorlaştırmaktadır.

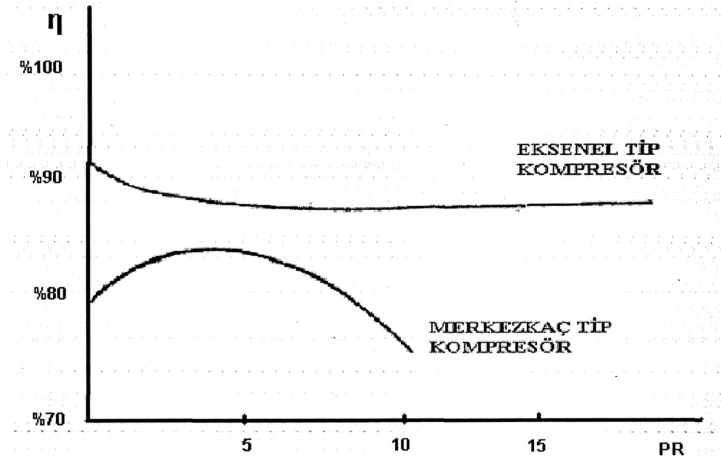
Gaz türbini ise yukarıda belirtilen dezavantajdan tamamen arındırılmıştır. Yüksek ısı verim ve dönel motorların tüm avantajları (küçük ünitelerden büyük güç elde edebilme gibi) söz konusu edildiğinde, gaz türbinleri büyük bir potansiyele sahiptir (Çetinkaya, 1999).

Gaz türbinlerinde, yüksek türbin verimini sağlayan en önemli 2 unsur, sıkıştırma oranı ve türbin giriş sıcaklığıdır.

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 merkezkaç (radyal) ve aksenal olmak üzere iki tip kompresör kullanılmaktadır.

Her iki kompresörün verim karşılaştırması Şekil 4.9'da olduğu gibidir.

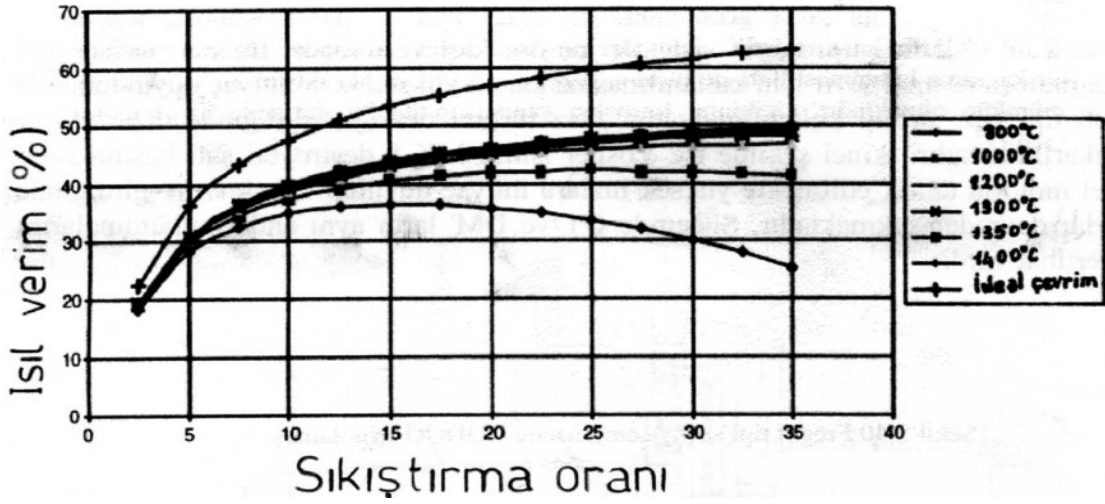


Şekil 4.9 Kompresör verimleri (Bayram, 2004)

Toplam sistem veriminde, türbin giriş sıcaklığının etkisi oldukça önemlidir. Sıcaklıktaki, her 55,5 °C'lik artış elde edilen işte % 10 ve verimde % 0,5-1 arasında artış sağlar. Daha yüksek sıkıştırma oranları ve türbin giriş sıcaklıkları basit çevrimli gaz türbinlerinde verimi artırır. Son 20 yılda, malzeme teknolojisindeki ilerlemeler, yeni kaplamalar ve yeni soğutma şemalarının olumlu etkileri ve kompresör sıkıştırma oranındaki artışla birlikte, gaz türbini ısı verimi % 15'ten % 45'in de üzerine çıkmıştır.

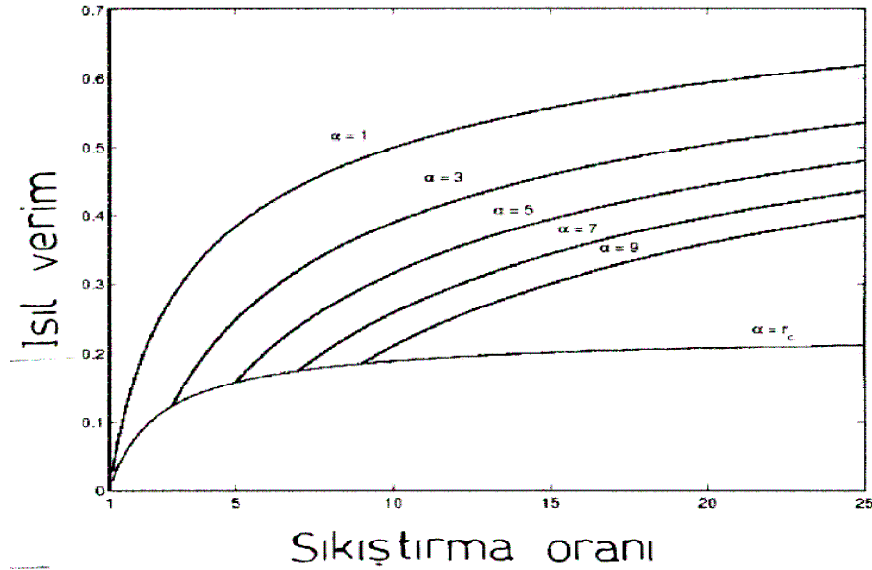
Daha yüksek verim elde etmenin bir diğer yolu ise rejeneratör kullanmaktır. Rejeneratör, verimi %15-20 oranında arttırabilmektedir. Türbin giriş sıcaklığının 1649 °C olduğu bir rejeneratif sistemde optimum basınç oranı 20:1 iken basit çevrimli sistemde bu oran 40:1'dir.

Sıkıştırma oranı ve sıcaklığa göre verim Şekil 4.10'da görülmektedir (Boyce, 2002).



$$T_c=15^\circ\text{C}, \eta_c=0,87, \eta_T=0,92$$

Şekil 4.10 Gaz türbini ısı verimi (Boyce, 2002)



Şekil 4.11 Sıkıştırma oranına bağlı olarak teorik dizel çevrimin teorik ısı verimi,  $\gamma = 1,3$  (Davy, 2006)

Teorik dizel çevrimine ait ısı verim eğrileri ise Şekil 4.11'de verilmiştir. Burada verim sıkıştırma oranı ( $r_c$ ) ve genişleme oranına ( $\alpha$ ) bağlıdır. Genişleme oranı ( $\alpha = V_3/V_2$ ), sabit basınçta ısı girişi esnasında hacimdeki artış oranıdır. Bu şekilde, adyabatik üs ( $\gamma$ ) 1,3 olarak

kabul edilmiştir (Davy, 2006).

#### 4.4 Emisyonlar

Yasalarla kontrol edilen 5 adet ana kirletici bulunmaktadır. Bunlar aşağıda verilmiştir:

- Yanmamış hidrokarbonlar (yanmamış yakıt) (HC),
- Duman (karbon parçacıkları),
- Karbon monoksit (CO),
- Azot oksitler (NO<sub>x</sub>).

Stratosferin kirlenmesinde önemli olan emisyonlar ise aşağıda verilmiştir:

- Dünyanın atmosferinde sera etkisi yapabilecek olan su buharı ve karbondioksit,
- Güneş radyasyonunu saptırarak, dünyaya ulaşmasını önleyebilecek olan, partikül oluşumuna yol açan kükürt (sülfür) bileşikleri (SO<sub>x</sub>),
- Ozon tabakasını delerek güneşin ultraviyole ışınlarının dünyaya daha çok ulaşmasına yol açabilecek olan nitrojen oksitleridir (Çetinkaya, 1999).

Bu kapsamda, sanayi ve enerji üretim tesislerinin faaliyeti sonucu atmosfere yayılan is, duman, toz, gaz, buhar ve aerosol halindeki emisyonları kontrol altına almak; insanı ve çevresini hava alıcı ortamındaki kirlenmelerden doğacak tehlikelerden korumak; hava kirlenmeleri sebebiyle çevreye önemli zararlar veren olumsuz etkileri gidermek ve bu etkilerin ortaya çıkmamasını sağlamak amacıyla Çevre ve Orman Bakanlığının 22 Temmuz 2006 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan “Endüstri Tesislerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” nde dizel makineler ve gaz türbinleri için belirtilen emisyon sınırları iki sistemin emisyon özelliklerin karşılaştırılması maksadıyla Çizelge 4.4’te verilmiştir. Bu çizelgede de görülmektedir ki gaz türbinlerinin çevreye yaydığı zararlı emisyonlar dizel makinelere göre çok daha azdır, gaz türbinleri çevre dostudur (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006).

Çizelge 4.4 Dizel makine ve gaz türbini azami emisyon değerleri  
(Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006)

Emisyon Değerleri (Azami)					
	Dizel Makine		Gaz Türbini		
Partiküler madde	75 mg/Nm <sup>3</sup> , Bacharach Skalasına göre 2		Yakıt ısıl gücü < 10 MW	Bacharach Skalasına göre 4	
			Yakıt ısıl gücü > 10 MW	Bacharach Skalasına göre 3 (sürekli işletme)	
				Bacharach Skalasına göre 4 (çalışmaya başlama anında)	
CO	250 mg/Nm <sup>3</sup>		100 mg/Nm <sup>3</sup> (sürekli işletme)		
NO <sub>x</sub>	1000 mg/Nm <sup>3</sup>		Yakıt ısıl gücü < 10 MW	350 mg/Nm <sup>3</sup>	
			Yakıt ısıl gücü > 10 MW	300 mg/Nm <sup>3</sup>	
			Yakıt ısıl gücü > 50 MW olan yeni gaz türbinleri	Doğal gazlı	75 mg/Nm <sup>3</sup>
				Sıvı yakıtlı (Hafif ve orta derecede distile edilmiş)	120 mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub>	Yakıt ısıl gücü < 100 MW (sıvı yakıtlı)	900 mg/Nm <sup>3</sup>	Sıvı yakıtlı	300 mg/Nm <sup>3</sup>	
	Yakıt ısıl gücü > 100 MW (sıvı yakıtlı)	300 mg/Nm <sup>3</sup>	Diğer yakıtlar	60 mg/Nm <sup>3</sup>	

#### **4.5 Bakım – Onarım İmkanları (Sanneman, 2004)**

Gaz türbininde sistem elemanlarını kolayca monte etmek, sökmek, onarmak ve gerekirse yenisini temin etmek mümkündür. Rutin bakımlar sistem üzerinde yapılabilir.

Büyük onarımlarda ise sistemin sade ve basit olması sayesinde türbinin ilgili modülleri veya komple türbin sökülüp onarımın yapılacağı yere götürülebilir ve çok kısa sürede onarım yapıp tekrar yerine konulabilir. Dolayısıyla bir çok onarım geminin rutin bir liman ziyareti esnasında bile yapılabilir.

Gemi güç sistemlerinde en önemli noktalardan biri, sistemin kurulumundan sonra verilen servis hizmeti desteğidir. Uçak motorları için verilen destek altyapısının üst seviyede olması, yapılan ve uygulanan bakım destek anlaşmaları nedeniyle uçak türevli gaz türbinleri bu konuda büyük avantaja sahiptir. Bu anlaşmalar, sistemin tüm ömrü boyunca, sistemin yerinde bakımı ve üretici firmanın tesislerinde büyük bakım-onarım yenileştirme hizmetlerini kapsayan bakım destek kontratlarını içermektedir.

Bu tür anlaşmalar, müşterinin bakım ve eğitim için yapacağı masrafları azaltmakta ve beklenmedik, bakım gerektiren büyük bir sorun karşısında alacağı riski ortadan kaldırmaktadır. Buna benzer anlaşmalar ticari denizcilik alanında gaz türbini müşterileri için (hızlı feribot ve büyük seyahat gemileri gibi) uygulanmakta ve donanma gemilerinde de uygulanması ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

#### **4.6 Gürültü (Sanneman, 2004)**

Gaz türbinlerinde giriş havası ve egzoz devreleri üzerinde susturucularının kullanılmasıyla, hava kaynaklı gürültü seviyeleri gemi üzerinde hemen hemen fark edilemez seviyelere inmektedir. Gaz türbinlerinin hava girişlerine yakın mesafede hava kaynaklı gürültü seviyeleri 65 dB(A)'dan daha düşük seviyeye indirilebilir. Bu ise iki kişinin birbiriyle normal konuşmaları esnasında oluşan gürültü ile aynı seviyelerdedir. Gemi bünyesi kaynaklı gürültü seviyeleri ise gaz türbinlerinin titreşimin az olmasına ve gemiye esnek takozlar üzerinde monte edilmesine bağlı olarak oldukça düşük olmaktadır. Sonuç olarak dizel makinelerle kıyaslandığında özellikle kritik düşük frekans bantları olan 31,5 ve 63 Hz'te gemi bünyesine iletilen enerji oldukça düşüktür.

#### 4.7 Genel Karşılaştırma

Dizel makine ile gaz türbininin genel olarak karşılaştırılması Çizelge 4.5'te görülmektedir.

Çizelge 4.5 Dizel makine ile gaz türbininin karşılaştırılması (Onsite, 1999)

	<b>Dizel Makine</b>	<b>Gaz Türbini</b>
Elektrik Verimi (LHV)	% 30-50	<b>%25-40 (basit) %40-60 (kombine)</b>
Güç (MW)	0,05-5	3-200
Kombine Isı ve Güç Yatırım Masrafı(\$/kW)	800-1500	700-900
İşletme & Bakım Masrafı (\$/kW)	0,005-0,008	0,002-0,008
Ulaşılabilirlik	%90-95	%90-98
Büyük Onarımlar Arası Süre (saat)	25.000-30.000	30.000-50.000
Yakıt Basıncı (atm)	0,34 atm	8-34 atm (kompresör gerekli olabilir)
Yakıtlar	Dizel yakıtı ve ağır fuel oil	Doğal gaz, biogaz, propan, distile fuel oil
Gürültü	Orta-yüksek seviye (ses ızalasyonu (kabin) gerekir)	Orta seviye (ses ızalasyonu (kabin) ünite ile birlikte mevcuttur)
Isı Geri Kazanım Kullanımı	Sıcak su, düşük basınçlı buhar, ısıtma	Sıcak su, düşük basınçlı-yüksek basınçlı buhar, bölgesel ısıtma
Kombine Isı ve Güç Sistemi İçin Kullanılabilir Sıcaklık (°C)	80-480	260-600

#### 4.8 Gaz Türbinin Avantajları ve Dezavantajları (Çetinkaya, 1999)

Gaz türbinin, dizel makine ile karşılaştırıldığında avantaj ve dezavantajları aşağıda verildiği

şekilde özetlenebilir:

#### 4.8.1 Avantajları:

- Dizel makinelere göre daha kısa zamanda, tasarlanabilir, imal ve test edilebilirler.
- Parça sayısının aynı güçteki dizel makinelere oranla 1/3 – 1/6 kadar daha az olması nedeniyle, imalatları basit ve hızlıdır.
- Her ünitesi birbirinden ayrı olarak görev yaptığından, üniteler ayrı ayrı geliştirilebilir veya değiştirilebilir.
- Birim güç/ağırlık oranının, dizel makinelerde düşük olması gücü sınırlamaktadır, buna karşın gaz türbini ile çok daha büyük güçler elde etmek mümkündür.
- Yüksek güç yoğunluğu sayesinde gemideki maddi kazanç sağlayan alanların artırılmasına imkan tanır.
- Çevre dostu olması nedeniyle NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> gibi egzoz emisyonları daha düşük seviyede tutulur ve SCR (selective catalytic reduction) veya özel egzoz filtre sistemlerine ihtiyaç yoktur.
- Modüler parçalarının onarımının olabilecek en hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmesine bağlı olarak yüksek güvenilirlik (reliability) ve ulaşılabilirliğe (availability) sahiptir.
- Daha fazla yakıt alternatifine sahiptir.
- Salınım yapan parçaların olmayışı nedeniyle, titreşimler ve mekanik gürültüler tamamen giderilmiştir. Bu sayede, yüksek devirlerde çalışabilmekte, böylelikle, güç/hacim ve güç/ağırlık oranları yükselmektedir. Örneğin bir turbojetin ağırlığı, aynı güçteki dizel makine ağırlığının 1/8'i kadardır.
- Kayma sürtünmesi (pistonla silindir arasında olduğu gibi) ve ağır yük taşıyan yatakları bulunmadığından, yağlama büyük ölçüde basitleştirilmiştir.
- Soğutma, iç hava akışı ile sağlandığından, ayrı bir soğutma sistemine gerek yoktur.
- Montaj, söküm ve servis hizmetleri oldukça kolaydır. Gemide mühendis personelinin bakım işlerine ayırdığı zaman asgari seviyede olmaktadır.
- Düşük bakım-onarım gereksinimi ile düşük yağlama yağı sarfiyatının işletim masraflarını oldukça azaltması.
- Yardımcı sistem ve ünite sayıları oldukça azdır.
- İlk hareketten sonraki ısınma periyodu oldukça kısadır. 2-3 dakikada tam güce ulaşabilmektedir.
- Çevre basınç ve sıcaklığına karşı daha az duyarlıdır. Yükseklerde ve düşük sıcaklıklarda da etkin bir biçimde çalışabilirler.

#### 4.8.2 Dezavantajları:

- Basit sistemlerde, ısı verim düşük ve özgül yakıt tüketimi yüksektir. Sisteme rejeneratör eklenmesi durumunda dizel makine ile rekabet edecek düzeye ulaşmakta, ancak bu defa da ağırlık ve maliyetleri yükselmektedir.
- Rölanti yakıt ekonomileri dizellere oranla daha kötüdür.
- Dönme hızları çok yüksektir. Bu ise, hızın kullanılacak düzeye indirilmesi için daha çok redüksiyonu gerektirmektedir. Ayrıca, yüksek dönme hızı nedeniyle, parçaların dinamik olarak çok iyi dengelenmeleri gerekmektedir.
- Egzoz gazlarının oldukça büyük hacimli olması nedeniyle, daha büyük kapasiteli susturucu ve egzoz boruları gerekmektedir. Ayrıca egzoz gürültüsü de daha fazladır.
- Ani hızlanma ivmeleri düşüktür. İvme artışı sağlamak üzere, dönen parçaların yarıçaplarını küçültmek, hafifletmek, serbest güç türbini kullanmak gibi çalışmalar yapılmaktadır.
- İlk hareket için daha fazla güç gerektirmektedir. Örneğin; dizeller kolla çevrilerek bile

çalıştırılabilirken (yaklaşık 100 d/d), gaz türbinlerinin çalıştırılabilmesi için, şaftının dakikada birkaç bin devir ile döndürülmesi gerekmektedir.

## 5. GEMİLERDE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN DİZEL MAKİNE VE GAZ TÜRBİNİ İLE SAĞLANMASININ EKONOMİK ANALİZİ

Bu ekonomik analizin amacı gemi makine ve inşaa mühendislerine gemi elektrik üretim sistemlerinin maliyet hesabına doğru yaklaşım için gerekli veri sağlamaktır. Şurası unutulmamalıdır ki burada verilmiş rakamlar referans mahiyetinde olup birinin diğere mukayesesi içindir yoksa bir elektrik üretim ünitesi için detay masraflarda göz önüne alındığında durum daha farklı olabilir.

Elektrik enerjisi üretim maliyetini hesaplayabilmek için elektrik üretim ünitesine yapılan masrafların bilinmesi gerekir. Analiz için toplam tesis maliyetinin aşğıdaki masrafları içediğı kabul edilmiştir. Belirli bir süre içinde bu masrafların tamamı, aynı sürede üretilen elektrik enerjisi miktarına bölünerek, üretilen birim enerji başına maliyet hesaplanabilir. (Şahin, Aybers, 1995)

- Yatırım masrafları (satın alma, kurulum ve finansman)
- Yakıt masrafları
- Bakım ve onarım masrafları
- Yağlama yağı masrafları
- Personele ilişkin masraflar
- Sigorta masrafları

Masrafların hesaplanmasında kullanılan yöntem aşğıda sunulmuştur.

### 5.1 Yıllık Değer Metodu (Şahin, Aybers, 1995)

Bu metotla, zaman içindeki tüm para akışları, eşdeğer ve üniform yıllık para akış serisine dönüştürülerek, alternatif yatırımlar yıllık değer bazında mukayese edilir. Yıllık eşdeğer maliyet değeri:

$$C_{AW} = \left[ \sum_{t=0}^n C(t)(1+r)^{-t} \right] \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (5.1)$$

**Amortisman:** Bir tesisin kuruluşunda yapılan toplam masrafların, kredi alınmışsa kredinin faizi de dahil olmak üzere, belirli bir sürede geri ödenmesi amacıyla, toplam yatırım değerinin önceden belirlenmiş bir kısmının, sermaye maliyeti olarak her yıl işletme gelirlerinden ayrılması ve vergi dışı bırakılması işlemine denir.

Sabit Yıllık Amortisman Bedeli:

$$C_a = C_{pw} \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (5.2)$$

## 5.2 Enerji Maliyeti (Şahin, Aybers, 1995)

En basit şekilde, yıllık yatırım (satın alma, kurulum, finansman), işletme (bakım, onarım, personel, yağlama yağı, sigorta) ile yakıt masrafları toplanarak yıllık toplam masraf bulunur. Tesisin her yıl yaklaşık aynı elektrik enerjisini ürettiğini kabul edersek, birim elektrik enerjisi üretim maliyeti, yıllık toplam masrafın yıllık enerji üretimine oranı olarak aşağıda verildiği şekilde ifade edilebilir.

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_T}{E} \quad (\text{YTL/kW_eh}) \quad (5.3)$$

## 5.3 Hesaplamalarda Kullanılan Veriler ve Yapılan Kabuller

### 5.3.1 Genel Hususlar

Gemi işletim tarzının gemi elektrik üretim sisteminin yıllık işletim maliyeti üzerine önemli etkisi vardır. Bu husus sadece yakıt ve yağlama yağı masraflarını değil aynı zamanda kısmen bakım masraflarını da etkiler. Bu incelemede seçilen, kabul edilen işletim tarzları ve bu işletim tarzlarına göre seyirde, manevrada ve limanda geçen süreler ile gemide gerekli güçler Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2. ve Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Gemi örnek işletme tarzları

Tarz	Yıllık Çalışma Saati
1	8000
2	7000
3	6000

Çizelge 5.2 Geminin işletme tarzları

	Yüzde olarak	Saat/Yıl (Tarz 1) (8000 saat/yıl)	Saat/Yıl (Tarz 2) (7000 saat/yıl)	Saat/Yıl (Tarz 3) (6000 saat/yıl)
Seyirde geçen süre	%77	6160	5390	4620
Manevrada geçen süre	%3	240	210	180
Limanda geçen süre	%20	1600	1400	1200

Çizelge 5.3 Güç kapasitelerinin yüzde olarak gemide kurulu toplam güce oranı

Seyirde gerekli güç	%90
Manevrada gerekli güç	%70
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için)	%5

Hesaplamalarda faiz oranı yıllık %13 alınmıştır (Gemi inşa ve ihracatı finansmanında, alınan kredinin miktarı, geri ödeme süresi ve paranın cinsine (YTL, \$, €), bağlı olarak 2006 yılı itibariyle yıllık yaklaşık % 10 –15 faiz oranlarında kredi sağlanabilmektedir. Bu tezdeki hesaplamalarda faiz oranının yıllık %13 olduğu kabul edilmiştir ([www.eximbank.gov.tr/html\\_files/Duyurular.htm](http://www.eximbank.gov.tr/html_files/Duyurular.htm)).

Dolar kuru bütün hesaplamalarda 1\$ = 1,4 YTL ve 1 € = 1,3 \$ (Ocak 2007) olarak alınmıştır.

Resmi amortisman süresi içten yanmalı motorlar ve elektrojen grupları için 10 yıldır. Amortisman oranı %10'dur (333 Sıra No'lu Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği).

Karşılaştırmada acil durumlarda kullanılan jeneratör (emergency generator) gücü hariç, geminin ana tahrik sistemi ve diğer bütün servis ihtiyacı ve yardımcı sistemler için gerekli toplam güç ihtiyacı referans alınarak farklı güç seviyelerinde (2,5 MW, 5 MW, 10 MW, 20 MW ve 40 MW) dizel jeneratör ve gaz türbini jeneratörünün kullanımının ekonomik

karşılaştırması yapılmıştır. Acil durumlarda kullanılan jeneratörün gücü, geminin büyüklüğüne ve güç ihtiyacına göre en fazla 1000 kW-1500 kW seviyelerinde olabilmektedir. Burada gücün düşük seviyede olmasından dolayı dizel jeneratör kullanıldığı kabul edilmiş ve hesaplamalara dahil edilmemiştir. Yukarıda verilen güç seviyelerinin mümkün olanlarında hem 2'şer, hem de 4'er adet dizel makine jeneratörü ve gaz türbini jeneratörü kullanıldığı durumlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Mümkün olmayanlarda sadece 2 veya sadece 4 adetli karşılaştırma yapılmıştır.

Kombine sistem, gaz türbini jeneratör seti, ısı geri dönüşüm buhar üreticisi, buhar türbini jeneratörü seti ve kondenserden oluşmaktadır. Bu sistemle gaz türbininden çıkan egzoz gazındaki enerjiden buhar üreticisi ve buhar türbini jeneratör seti marifetiyle ilave elektrik üretilmektedir. Gemilerde kombine sistem bir ünitenin en az 30-35 MW güç kapasitesine sahip olduğu sistemlerde kullanılmakta daha düşük güçlerde sistemin çok pahalı olması ve ilave üretilen elektriğin kapasitesi dikkate alındığında sistemin maliyet etkin olmaması nedeniyle kullanılmamaktadır. Hesaplamalarda toplam 90 MW güce sahip kombine çevrimin, basit çevrimli sistem ile karşılaştırması yapılmıştır.

### 5.3.2 Yatırım (Satın Alma ve Kurulum) Masrafları

Çeşitli jeneratörlerin, çeşitli kaynaklardan alınan satın alma ve kurulum maliyetleri için belirlenen karakteristik değerleri Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. Bu kaynaklardaki değerler ve firmalardan alınan Çizelge 5.6, Çizelge 5.7, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki dizel jeneratör ve gaz türbini jeneratörü fiyatlarının ışığında hesaplamalarda kullanılacak ortalama fiyatlar belirlenmiş ve bu değerler Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9'da verilmiştir. Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'den elde edilen değerlerin firmalardan alınan değerlerle örtüştüğü görüldüğünden, bazı güç seviyelerinde firmalardan temin edilmesi mümkün olmayan fiyatlar için bu şekillerden elde edilen değerler hesaplamalarda kullanılmıştır.

Çizelge 5.4 Dizel jeneratör – gaz türbini jeneratörü fiyat karşılaştırması (Boyce, 1995)

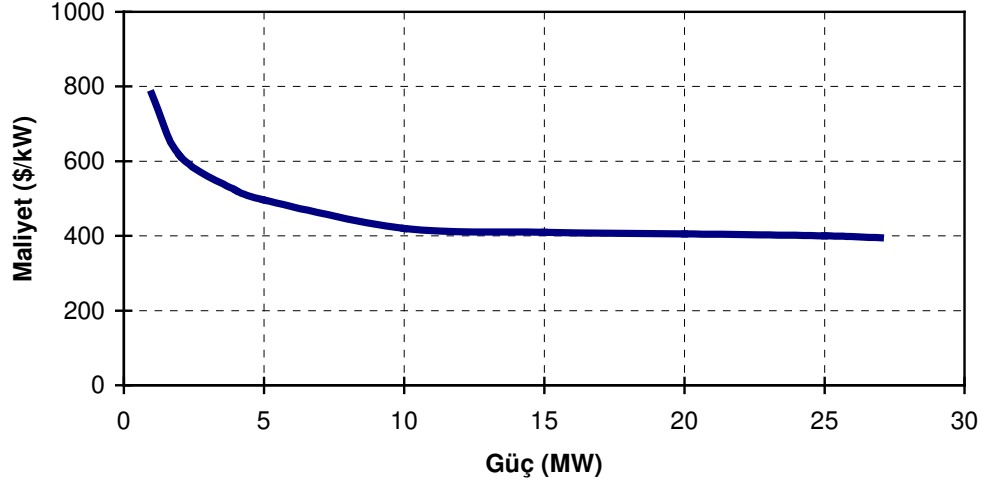
Fiyat Karşılaştırması	Dizel Jeneratör	Basit Çevrim Gaz Türbini
Satış Fiyatı (\$/kW)	125-300	300-600
Anahtar Teslim Fiyatı– Isı Geri Kazanımı Yok (\$/kW)	200-500	300-650
Isı Geri Kazanım İlavesi (\$/kW)	75-100	150-300

Çizelge 5.5 Sistemlerin maliyet ve karakteristik bilgilerinin karşılaştırılması (Boyce, 1995)

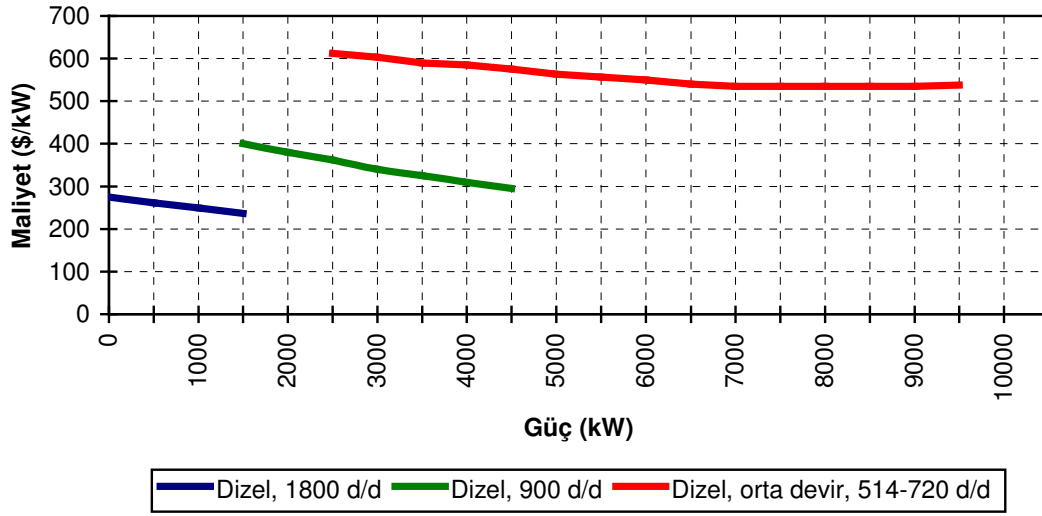
Sistem Tipi	Fiyatı (\$/kW)	Net Verim (%)	Kurulum Süresi (Ay)	Kullanılabilirlik (Availability) <sup>*1</sup> (%)	Güvenilirlik (Reliability) <sup>*2</sup> (%)
Dizel jeneratör	600-700	42	16-18	85-90	92-95
Basit çevrimli gaz türbini	400-500	41	12-16	85-90	95-97
Gelişmiş gaz türbini kombine çevrimli güç ünitesi	800-1000	65	28-30	84-90	94-96

\*1 Kullanılabilirlik (availability): Bir sistemin yıl boyunca kullanılabilir olduğu sürenin, toplam yıllık süreye oranı

\*2 Güvenilirlik (reliability): Bir sistemin belirlenen koşullar altında belirli bir zaman periyodu içinde istenilen fonksiyonları gerçekleyecek şekilde çalışma olasılığıdır. Ürünün zaman içindeki performansını gösterir.



Şekil 5.1 Uçak türevli ve ağır maksatlı gaz türbinlerin ünite başına satış fiyatları (sadece ekipman) (Hoskins, Booras, 1998)

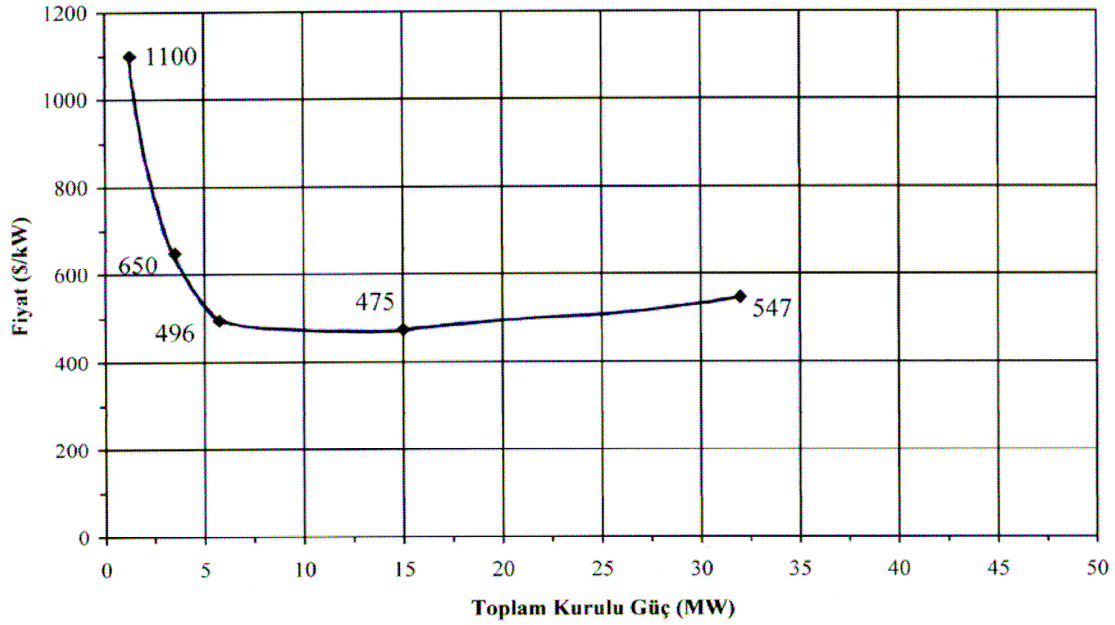


Şekil 5.2 Çeşitli dizel jeneratörlerin ünite başına satış fiyatları (sadece ekipman)  
(Hoskins, Booras, 1998)

Çizelge 5.6 Ocak 2007’de Turbomach firmasından alınan gaz türbini jeneratörü yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatları

Güç (kW)	Basit Çevrim Gaz Türbini Jeneratörü Yatırım (Ekipman ve Kurulum) Fiyatı (€)	Kombine Çevrim Yatırım (Ekipman ve Kurulum) Fiyatı (€)
1250	1.150.000	Bu güçte kombine çevrim satışı yok
3500	1.750.000	Bu güçte kombine çevrim satışı yok
5750	2.200.000	Bu güçte kombine çevrim satışı yok
15000	5.500.000	Bu güçte kombine çevrim satışı yok
32000	13.500.000	32.000.000 € (Toplamda 45 MW <sub>e</sub> güç kapasitesine ulaşmakta)

Gaz türbini jeneratörleri için Turbomach Endüstriyel Gaz Türbinleri Ltd. Şti. firmasının satış temsilcilerinden alınan ekipman ve ekipmanın kurulumu dahil toplam yatırım fiyatları Çizelge 5.6'da verilmiş, bu fiyatlar kullanılarak Şekil 5.3'teki güce bağlı fiyat eğrisi oluşturulmuştur. 32 MW gücündeki gaz türbini uçak tipi gaz türbini, diğerleri ise endüstriyel tiptir. Endüstriyel tip gaz türbinleri, uçak tipine göre daha ucuzdur ancak uçak tipi gaz türbinleri daha hafif ve ısı verimleri daha yüksektir.

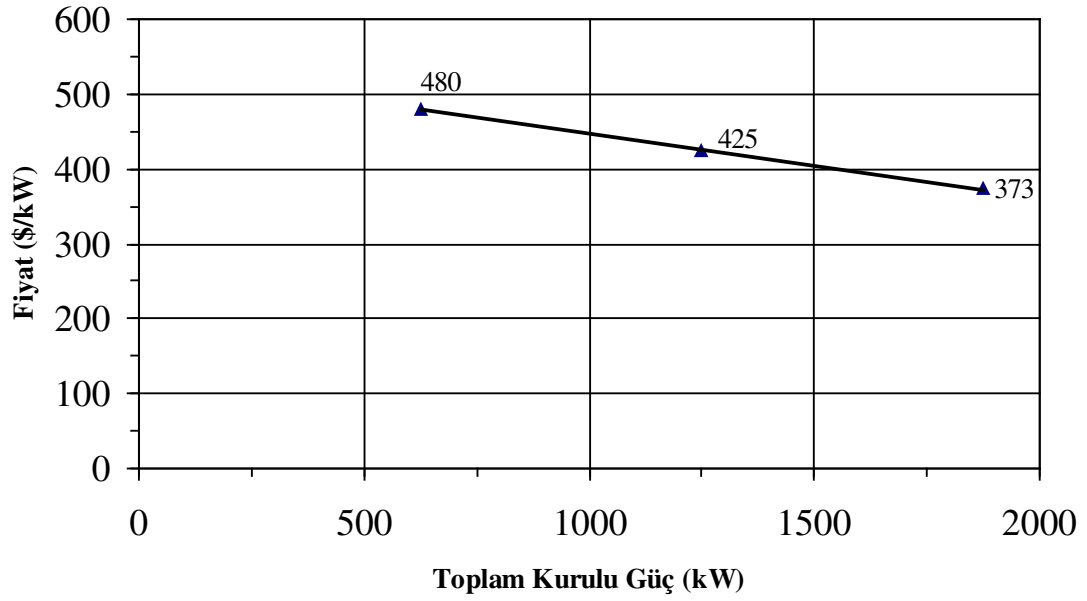


Şekil 5.3 Ocak 2007'de Turbomach firmasından alınan gaz türbini jeneratörü yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatlarının eğrisi

Dizel jeneratörler için MAN B&W firmasının satış temsilcisinden alınan ekipman ve ekipmanın kurulumu dahil toplam yatırım fiyatları Çizelge 5.7'de verilmiş, bu fiyatlar kullanılarak Şekil 5.4'teki güce bağlı fiyat eğrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 5.7 Ocak 2007'de MAN firmasından alınan dizel jeneratör yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatları

Güç (kW)	Dizel Jeneratör Yatırım (Ekipman ve Kurulum)
	Fiyatı (€)
625	200-300 bin
1250	350-500 bin
1875	450-600 bin



Şekil 5.4 Ocak 2007’de MAN firmasından alınan dizel jeneratör yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatlarının eğrisi

Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’ten faydalanılarak hesaplamalarda kullanılacak fiyatlar belirlenmiş ve Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.8 Hesaplamalarda kullanılan dizel jeneratör yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatları

Güç (kW)	Dizel Jeneratör Yatırım (Ekipman ve Kurulum) Fiyatı (\$x1000)
625	300
1.250	530
2.500	1.500
5.000	4.665
10.000	8.750

Çizelge 5.9 Hesaplamalarda kullanılan gaz türbini jeneratörleri yatırım (ekipman ve kurulum) fiyatları

Güç (kW)	Basit Çevrim Gaz Türbini Jeneratörü Yatırım (Ekipman ve Kurulum) Fiyatı (\$x1000)	Kombine Çevrim (Ekipman ve Kurulum) Fiyatı (\$x1000)
625	-	-
1.250	1495	-
2.500	1875	-
5.000	2650	-
10.000	4.800	-
20.000	9.400	-
45.000	22.500	41.600

### 5.3.3 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Tüm işçilik, malzeme tedarik ve depolama, tamir ve bakım, sigorta v.b. sistemin verimli olarak görev yapması için yapılan bütün masrafları kapsar. Bu masrafları 2 kısım halinde ele almak mümkündür.

- YTL/kWe yıl olarak ifade edilen ve kullanma süresi veya yük oranına bağlı olmayan, yıllık sabit masraflar.
- Kuruş/kWeh olarak ifade edilen ve üretilen enerji ile orantılı (yakıt, yağlama yağı, soğutma sıvısı vb.) yıllık değişken masraflar.

Jeneratörlerde işletme maliyetinin önemli kısmını yakıt masrafları oluşturduğu için, yakıt masrafı ayrıca ele alınmıştır.

Dizel jeneratörlerde bakım ve onarımların aşağıda belirtilen takvime bağlı olarak yapıldığı kabul edilmiştir. Firmaların talep ve tavsiyeleri doğrultusunda bu süreler değişiklik gösterebilir.

- Yağ ve yağ filtresi değişim (her 250 veya 500 saate bir).
- Rutin Bakım – Rutin bakımlar, soğutma sıvısının değişimi, enjektör ve valf ayarlarını içermektedir (yaklaşık 3.000 saatte bir).
- Ara Bakım – Ara bakım, silindir kafaları ve turboşarjlerin onarım ve kontrollerini kapsamaktadır (yaklaşık 6.000 saatte bir).
- Büyük Bakım – Büyük bakım, piston, o-ring, silindir gömlekleri, ana yatak, ısı değiştiricilerin değişimi ve jeneratörün kontrol/onarımı işleri (yaklaşık 15.000 saatte bir).

Gaz türbinlerinde bakım ve onarımların aşağıda belirtilen takvime bağlı olarak yapıldığı kabul edilmiştir. Firmaların talep ve tavsiyeleri doğrultusunda bu süreler değişiklik gösterebilir.

- Rutin kontroller – Rutin kontroller, kompresör, yanma odası ve türbinin baroskop kontrollerini, sensörlerin kalibresini ve kontrolleri kapsar (yaklaşık 2.000 saatte bir).
- Temel kontroller – Temel kontroller, baroskop kontrollerine ve kalibrasyon işlemine ilave olarak kaçak kontrolleri ve jeneratör sargılarının kontrolleri ile birlikte sistemin genel kontrollerini içermektedir (yaklaşık 8.000 saatte bir).
- Büyük onarım – Büyük onarımda, sistemin bütün önemli elemanları sökülerek kontrolleri yapılır, gerekli görülen parçaları değiştirilerek, sistem en az 5 yıl daha görev yapacak duruma getirilir. Sızdırmazlık elemanları, yataklar ve yanma odası elemanlarının değişimi gerçekleştirilir (Yaklaşık 35.000 saatte) (Herman, 2003)

Çizelge 5.10 Çeşitli jeneratörlerin işletme ve bakım (O&M) masrafları analizi  
(Boyce, 1995)

Sistem Tipi	Değişken Masraflar (\$/MWh)	Sabit Masraflar (\$/MWh)	Toplam Masraflar (\$/MWh)
Dizel jeneratör	6,2	4,7	10,9
Basit çevrimli gaz türbini	6,2	0,25	6,45
Gelişmiş gaz türbini kombine çevrimli güç ünitesi	4,5	0,4	4,9

Çizelge 5.10'da jeneratörlerin işletme-bakım masraflarının karakteristik değerleri verilmiştir. Bu değerler, yakıt masrafları hariç, sistemin idamesini devam ettirmek için gerçekleştirilen rutin bakımlar, onarımlar, personel masrafları, yağlama yağı masrafları, vb. tüm masrafları içine almaktadır. Çizelge 5.10'daki toplam masraflar (Herman, 2003)'te dizel jeneratör için 10-20 \$/MWh, gaz türbinleri için 4-8 \$/MWh olarak verilmiştir. Her iki kaynaktaki değerler birbirine oldukça yakındır. Hesaplamalarda Çizelge 5.10'daki değerler kullanılmıştır.

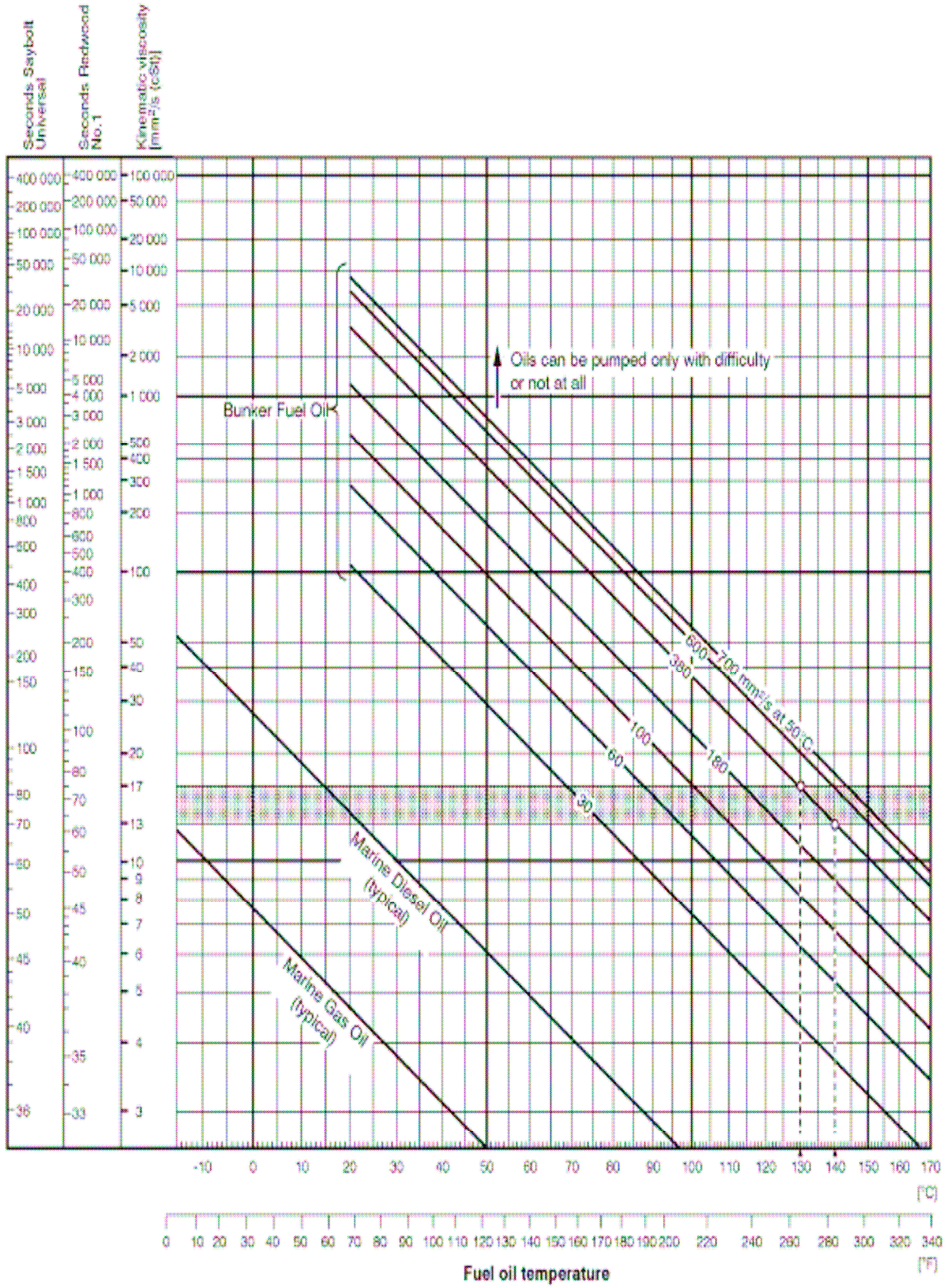
### 5.3.4 Yakıt Masrafları

Karşılaştırma için, gaz türbini uygulamalarında marine diesel oil (MDO), dizel uygulamalarında intermediate fuel oil (IFO)-380 yakıtının kullanıldığı kabul edilmiştir. IFO 380 geleneksel uygulamalarda çoğunlukla kullanılan yakıt olup daha ağırdır. MDO ise daha hafif ve gaz türbini uygulamalarında tercih edilen yakıt türüdür. IFO 380 ve MDO yakıtlarının ve karşılaştırma yapılabilmesi maksadıyla gemi güç sistemlerinde kullanılan diğer yakıtların sıcaklığa bağlı olarak viskozite değerleri Şekil 5.5'te verilmiştir.

Yakıt fiyatlarının tespiti için, [www.bunkerworld.com](http://www.bunkerworld.com), [www.shipbrokering.com/bunker1.asp](http://www.shipbrokering.com/bunker1.asp), [www.tupras.com](http://www.tupras.com), [www.poas.com.tr](http://www.poas.com.tr) internet adreslerinde araştırma yapılmış, limanlara göre yakıt fiyatları Çizelge 5.11’de verilmiştir. Bu çalışmadaki hesaplamalarda dünyanın en büyük limanlarından biri olan Houston limanında, Ocak 2007’de geçerli olan fiyat kullanılmıştır. Yakıt fiyatları, IFO-380 yakıtı için 245 \$/ton, MDO için 500 \$/ton’dur. Çeşitli tip ve modellerdeki dizel jeneratör ve gaz türbini jeneratörlerinin özgül yakıt sarfiyatları ve hesaplamalarda kullanılan özgül yakıt sarfiyatları Çizelge 5.12, Çizelge 5.13 ve Çizelge 5.14’te ayrı ayrı verilmiştir.

Çizelge 5.11 Limanlara göre yakıt fiyatları (17.01.2007 tarihli)  
([www.shipbrokering.com/bunker1.asp](http://www.shipbrokering.com/bunker1.asp))

Liman Adı	Yakıt Türü		
	IFO 380 (\$/ton)	IFO 180 (\$/ton)	MDO (\$/ton)
Montreal	283-285	303-310	650-668
New York	242-247	276-282	620-635
Houston	243-250	256-274	495-510
Rio de Janeiro	252-255	292-295	620-633
Singapur	270-275	278-285	485-497
Tokyo	325-342	330-355	570-575



Şekil 5.5 Fuel oil viskozite-sıcaklık diyagramı (Sulzer, 1998)

Çizelge 5.12 Çeşitli dizel jeneratörlerin özgül yakıt sarfiyatları

<b>Dizel Makine İmalatçı Firma</b>	<b>Makine Modeli</b>	<b>Makine Gücü (kW) (%100 Azami Devamlı Güç)</b>	<b>Makinenin Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)</b>
Caterpillar	3508 B	630	221
MAN B&W	8L 16/24 Holeby	800	193
MaK	6 M 20	1.140	190
Caterpillar	3512B	1.260	208
MAN B&W	8L 28/20 Holeby	1.680	193
MAN B&W	8L 27/38 Holeby	2.400	188
MAN B&W	8L 32/40 Holeby	2.427	206
MaK	6 M 32 C	2.880	179
MAN B&W	8L 32/40 Holeby	3.840	186
Wartsila	6L38	3.960	178
MaK	12 M 32 C	5.780	178
Wartsila	8 L 38	5.800	178
MAN B&W	20 V 32/40	10.000	181
MaK	12 M 43 C	10.800	176
Wartsila	16 V 38	11.600	176
MaK	16 M 43 C	18.000	177

Caterpillar ve MaK marka dizellerin değerleri, "CAT MaK Marine Engine Selection Guide, Caterpillar Marine Power Systems, March 2006" kitapçığından, Wartsila marka dizellerin değerleri [www.wartsila.com](http://www.wartsila.com) sayfasından ulaşılabilecek ürün kataloglarından, MAN B&W marka dizellerin değerleri ise [www.manbw.com](http://www.manbw.com) sayfasından ulaşılabilen ürün kataloglarından ve Ackermann'dan (2003) alınmıştır.

Çizelge 5.13 Çeşitli gaz türbini jeneratörlerinin özgül yakıt sarfiyatları (Ackermann, 2003)

<b>Gaz Türbini Marka/Model</b>	<b>Güç (kWe)</b>	<b>Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)</b>
Solar Taurus 60	5.500	277,3
Solar Mars 90	9.450	250,8
WR-21 Engine @ 100 %	24.400	199,1
WR-21 Engine @ 90 %	21.960	202,0
WR-21 Engine @ 80 %	19.520	204,9
WR-21 Engine @ 70 %	17.080	207,8
LM 2500+	26.600	207,0
LM 2500	22.100	216,0

Çizelge 5.14 Hesaplamalarda kullanılan özgül yakıt sarfiyatları

<b>Güç (kWe)</b>	<b>Dizel Jeneratör Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)</b>	<b>Basit Çevrim Gaz Türbini Jeneratörü Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)</b>	<b>Kombine Çevrim Gaz Türbini Jeneratörü Özgül Yakıt Sarfiyatı (g/kWh)</b>
625	190	300	<b>225</b>
1.250			
2.500			
5.000	177	275	205
10.000		250	200
20.000		210	190

### 5.3.5 Yağ Masrafları

Dizel makineler için yağlama yağı sarfiyatı, silindirlerde sürekli yağ tüketimi olması nedeniyle önemlidir. Dizel makinenin marka/modeline, makinenin tipine, gücüne, devrine göre kullanılması gereken yağ değişmektedir. Makineden istenilen performansı elde etmek, makinenin ömrünü uzatmak ve bakım masraflarını en aza indirmek için üretici firmanın tavsiye ettiği yağı kullanmak gereklidir.

Çizelge 5.15'te, çeşitli dizel makinelerin özgül yağlama yağı sarfiyatları, Çizelge 5.16'da ise çeşitli yağlama yağlarının Türkiye'de Haziran 2006'da geçerli olan fiyatları verilmiştir.

Çizelge 5.15 Çeşitli dizel makinelerin özgül yağlama yağı sarfiyatı

Marka/Model	Devir	Güç	Özgül Yağ Sarfiyatı (g/kWh)
MaK 6 M 20	1000	1020	0,6 ± 0,3
MAN B&W 8 L 23/30A	900	1280	1,0
MAN B&W 6 L 32/40	750	3.000	0,8
MaK 6 M 32 C	800	3.000	0,6 ± 0,3
MaK 12 M 32 C	720	5.760	0,6 ± 0,3
MAN B&W 12 V 32/40	750	6.000	0,8
MaK 16 M 32 C	720	7.680	0,6 ± 0,3
MAN B&W 20 V 32/40	750	10.000	0,8

Caterpillar ve MaK marka dizellerin değerleri, "CAT MaK Marine Engine Selection Guide, Caterpillar Marine Power Systems, March 2006" kitapçığından, MAN B&W marka dizellerin değerleri ise [www.manbw.com](http://www.manbw.com) sayfasından ulaşılabilen ürün kataloglarından ve Ackermann'dan (2003) alınmıştır.

Gaz türbinlerinde yağ sarfiyatının neredeyse yok derecede olması nedeniyle gaz türbinlerinin yağlama yağı masrafı ihmal edilebilir.

Çizelge 5.16 Dizel makinelerde kullanılan çeşitli yağlar ve Haziran 2006'daki fiyatları

Yağ Üreticisi	Ürün İsmi	Fiyatı (YTL/kg)
Petrol Ofisi	Turbo Dizel S 15W/40	3,78
Petrol Ofisi	Super Dizel 20W/50	2,96
Petrol Ofisi	Super Şarj 30 (20 TBN)	3,29
Petrol Ofisi	Turbo Şarj SAE 30	2,68
Shell	Rimula X 15W/40	3,89
Shell	Rimula D 20W/50	2,90
Shell	Rimula X Serisi	2,55
BP	Super V 20W/50	3,14
Total	Rubia S 10W/30/40	2,55
Total	Rubia B 10W/30/40	2,00

### 5.3.6 Personel Giderleri

Personel giderleri hesaplanırken, öncelikle gemilerde çalışan personel sayısı ve personel masrafları araştırılmıştır. Gemilerde çalışan personel sayısı, niteliği ve masrafları geminin büyüklüğüne (deplasman ve ana makinelerin gücü), seyir türüne (uzak sefer, yakın sefer gibi) ve gemi tipine göre (kuru yük, kimyasal yük, yolcu gemisi, vb.) farklılıklar göstermektedir. Uzak sefer yapan, gemi yürütücü makine gücü 9000 kW'tan büyük, yük veya yolcu gemisine ait personel sayısı, niteliği ve Türk gemilerindeki ortalama personel giderleri örnek olarak Çizelge 5.19'da verilmiştir. Personel maaş ve giderleri bazı ülkelerde daha düşük olabileceği gibi, bazı ülkelerde de Çizelge 5.19'da belirtilen rakamların 1,5 – 2 katına çıkabilmektedir. Çeşitli gemilerde belirlenen personel sayısı ve nitelikleri Çizelge 5.17 ve Çizelge 5.18'de verilmiştir.

Çizelge 5.17 Yük ve Yolcu Gemilerinin Başmühendis / Başmakinist ve Makine Zabıtları ile Donatımı (www.gemipersoneli.com/bilgibank/donat.asp)

Sefer Bölgeleri	Gemi Yürütücü Makine Gücü [kW]		Uzakyol Başmüh. / Başmak.	Uzakyol İkinci Müh. / Mak.	Uzakyol Vardiya Müh. / Mak.	Başmakinist	İkinci Makinist	Makine Zabiti	Sınırlı Başmakinist	Sınırlı Makine Zabiti	Toplam
Uzak Sefer	Yük Gemisi	9000 kW'tan büyük	M	İ	2-V						4
		3 000 kW – 9000 kW	M	İ	V						3
		750 kW – 2 999 kW				M	İ	V			3
		750 kW'tan küçük				M	İ	V			3
	Yolcu Gemisi		M	İ	2-V						4
Yakın Kıyasal Sefer	Yük Gemisi	3 000 kW'tan büyük	M	İ	V						3
		750 kW – 2 999 kW				M	İ				2
		750 kW'tan küçük							M	İ	2
	Yolcu Gemisi	3 000 kW'tan büyük	M	İ	2-V						4
		750 kW – 2 999 kW				M	İ	2-V			4
		750 kW'tan küçük				M	İ	V			3

M: Başmakinist

İ: İkinci Makinist

V: Makine Zabiti

Çizelge 5.18 Yük ve Yolcu Gemilerinin Makine Tayfaları ile Donatımı  
([www.gemipersoneli.com/bilgibank/donat.asp](http://www.gemipersoneli.com/bilgibank/donat.asp))

Sefer Bölgeleri	Gemi Yürütücü Makine Gücü (kW)		Makine Lostromosu	Yağcı	Silici	Toplam
Uzak Sefer	Yük Gemisi	3 000 kW'tan büyük	1	3	1	5
		1 501 kW – 3 000 kw	1	2	1	4
		750 kW – 1 500 kW		1	1	2
		750 kW'tan küçük		1		1
	Yolcu Gemisi	3 000 kW'tan büyük	1	4	3	8
		1 501 kW – 3 000 kW	1	3	2	6
		750 kW – 1 500 kW		2	1	3
		750 kW'tan küçük		2		2
		750 kW'tan küçük		2		2

Çizelge 5.19 Uzak yol yük gemisi ve yolcu gemisi için Eylül 2006'daki ortalama personel maaşları (9000 kW'tan büyük güce sahip) ([www.gemipersoneli.com/ilanlar.asp](http://www.gemipersoneli.com/ilanlar.asp))

Personel	Kişi Sayısı	Aylık Toplam Masraf (YTL/kişi) (Maaş + Sigorta + Sosyal Yardım + Diğer)	Yıllık Toplam Masraf (YTL)
Uzak Yol Başmüh. / Baş Mak.	1	7500	90.000
Uzak Yol İkinci Müh. / Mak.	1	5500	66.000
Uzak Yol Vardiya Müh. / Mak.	2	3750	45.000
Makine Lostromosu	1	2250	27.000
Yağcı	3	1875	67.500
Silici	1	1875	22.500

Bu çizelgedeki ücretler, [www.gemipersoneli.com/ilanlar.asp](http://www.gemipersoneli.com/ilanlar.asp) sayfasındaki iş ilanları incelenerek elde edilmiş ortalama yaklaşık ücretlerdir.

### 5.3.7 Sigorta Masrafları

Muhafaza ve hasar sigortası gemi sahibini kanunlar karşısında emniyetli kılar. Sigorta maliyeti gemiden gemiye değişmekte olup aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Gemi ebadı (gros ton)
- Geminin veya gemi sahibinin hasar dosyası
- Yükün sigortaya dahil edilip edilmediği
- Geminin alabileceği toplam yük
- Geminin mürettebat sayısı

Tesisin sigorta masrafı yatırım masrafının % 1'i olarak kabul edilebilir.

### 5.4 Hesaplamalarla Elde Edilen Neticelerin Çizelge ve Şekillerle Gösterilmesi

Yukarıdaki verilere göre yapılan hesaplar eklerde, hesaplarda elde edilen sonuçlara göre hazırlanan çizelge ve şekiller aşağıda verilmiştir.

Çizelge 5.20 Gemideki toplam kurulu güce bağlı olarak sistemlerin toplam yatırım maliyetleri (2007 yılı verilerine göre)

Toplam Kurulu Güç (MW)	Yatırım Maliyeti (x10 <sup>3</sup> YTL)			
	Dizel Jeneratör		Gaz Türbini Jeneratörü	
	2 Ünite	4 Ünite	2 Ünite	4 Ünite
2,5	1484	1680	4186	-
5	4200	2968	5250	8372
10	13062	8400	7420	10500
20	24500	26124	13440	14840
40	-	49000	26320	26880

Çizelge 5.21 Gemideki toplam kurulu güce ve geminin yıllık çalışma saatine bağlı olarak sistemlerin yıllık işletme masrafları (2003 yılı verilerine göre)

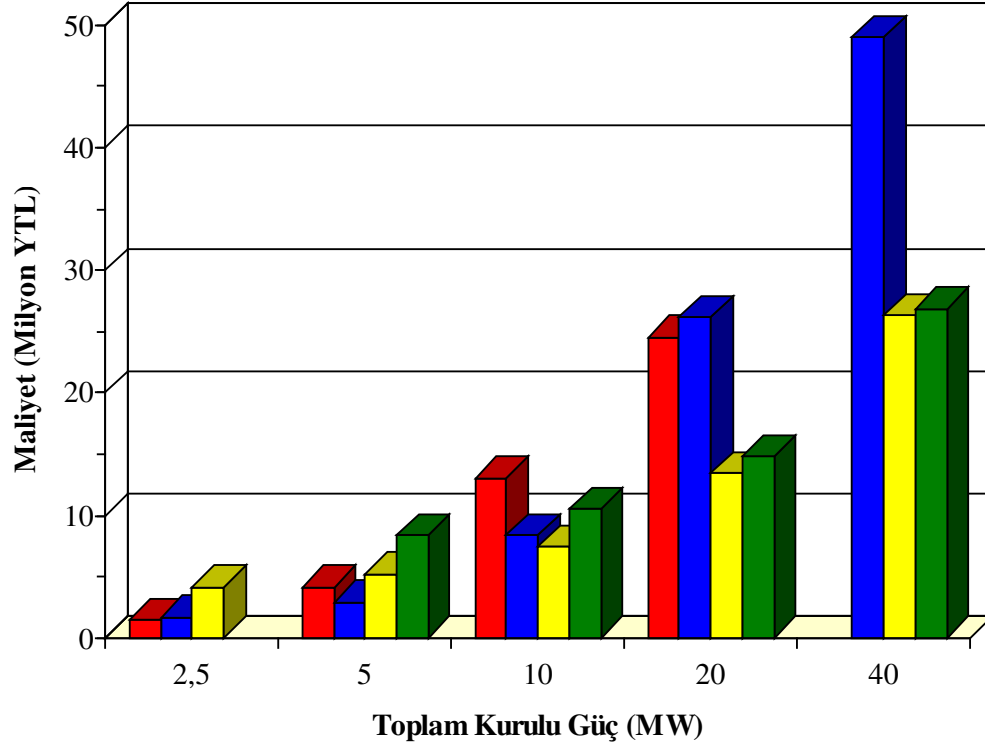
<b>Toplam Kurulu Güç (MW)</b>	<b>Yıllık İşletme Masrafları (YTL)</b>		
	<b>Yıllık Çalışma Saati</b>	<b>Dizel Jeneratör</b>	<b>Gaz Türbini Jeneratörü</b>
2,5	8000 (Tarz 1)	220.965	130.754
	7000 (Tarz 2)	193.344	114.410
	6000 (Tarz 3)	165.723	98.065
5	8000 (Tarz 1)	441.930	261.509
	7000 (Tarz 2)	386.688	228.820
	6000 (Tarz 3)	331.446	196.131
10	8000 (Tarz 1)	883.859	523.017
	7000 (Tarz 2)	773.376	457.640
	6000 (Tarz 3)	662.894	392.262
20	8000 (Tarz 1)	1.767.718	1.046.035
	7000 (Tarz 2)	1.546.753	915.280
	6000 (Tarz 3)	1.325.789	784.526
40	8000 (Tarz 1)	3.535.436	2.092.070
	7000 (Tarz 2)	3.093.507	1.830.561
	6000 (Tarz 3)	-	1.569.052

Çizelge 5.22 Gemideki toplam kurulu güce ve geminin yıllık çalışma saatine bağlı olarak sistemlerin yıllık yakıt masrafları (2007 yılı verilerine göre)

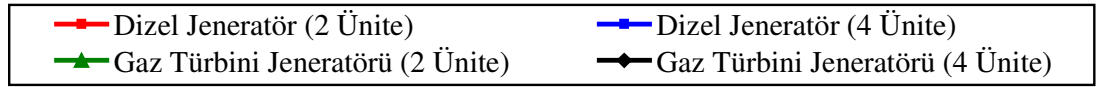
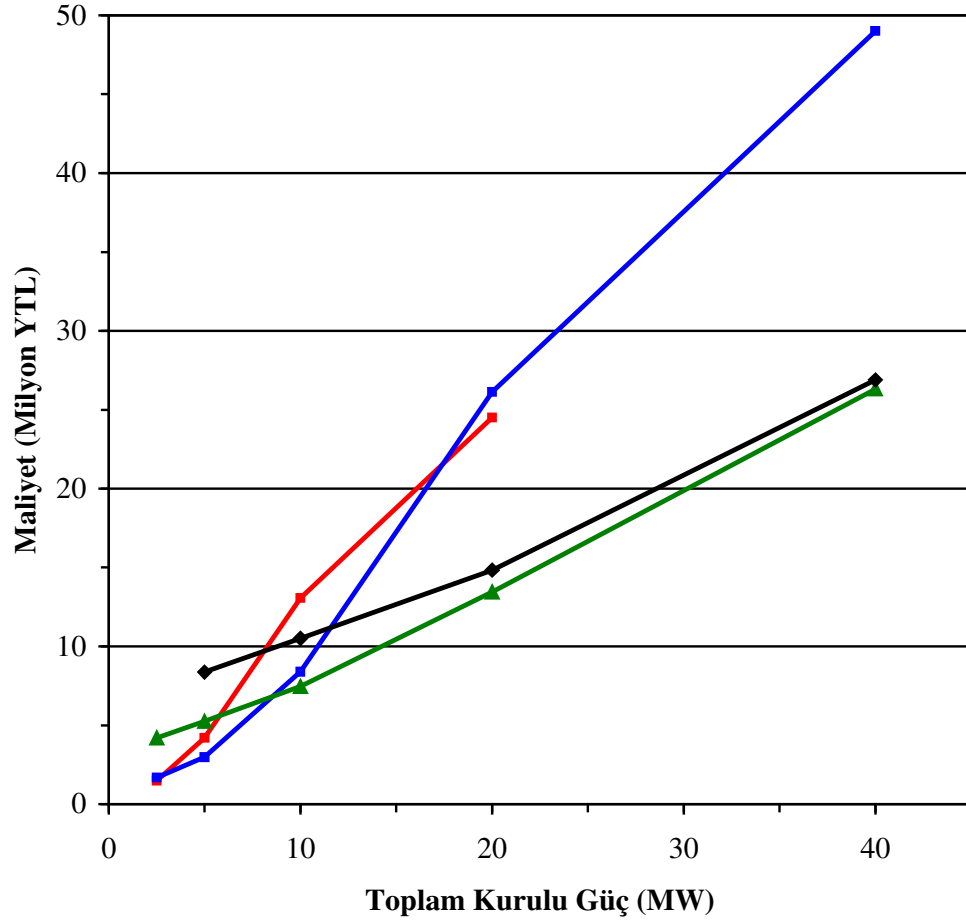
Toplam Kurulu Güç (MW)	Yıllık Yakıt Masrafları (YTL)				
	Yıllık Çalışma Saati	Dizel Jeneratör		Gaz Türbini Jeneratörü	
		2 Ünite	4 Ünite	2 Ünite	4 Ünite
2,5	8000 (Tarz 1)	943.661	943.661	3.040.800	-
	7000 (Tarz 2)	825.704	825.704	2.660.700	-
	6000 (Tarz 3)	707.746	707.746	2.280.600	-
5	8000 (Tarz 1)	1.887.322	1.887.322	6.081.600	6.081.600
	7000 (Tarz 2)	1.651.408	1.651.408	5.321.400	5.321.400
	6000 (Tarz 3)	1.415.492	1.415.492	4.561.200	4.561.200
10	8000 (Tarz 1)	3.774.646	3.774.646	11.149.600	11.149.600
	7000 (Tarz 2)	3.302.816	3.302.816	9.755.900	9.755.900
	6000 (Tarz 3)	2.830.984	2.830.984	8.362.200	8.362.200
20	8000 (Tarz 1)	7.032.762	7.549.293	20.272.000	22.299.200
	7000 (Tarz 2)	6.153.667	6.605.631	17.738.000	19.511.800
	6000 (Tarz 3)	5.274.571	5.661.969	15.204.000	16.724.400
40	8000 (Tarz 1)	-	14.065.524	34.056.960	40.544.000
	7000 (Tarz 2)	-	12.307.333	29.799.840	35.476.000
	6000 (Tarz 3)	-	10.549.143	25.542.720	30.408.000

Çizelge 5.23 Gemideki toplam kurulu güce ve geminin yıllık çalışma saatine bağlı olarak birim elektrik enerjisi üretim maliyeti (2007 yılı verilerine göre)

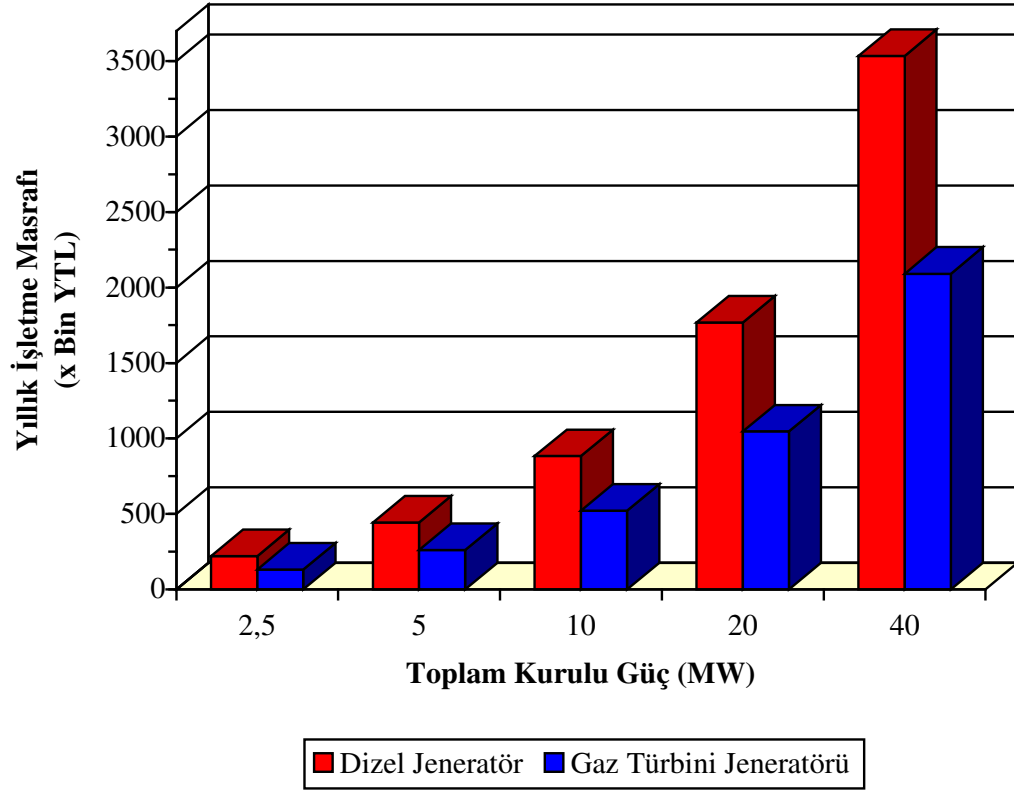
Toplam Kurulu Güç (MW)	Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti (YTL/kWh)				
	Yıllık Çalışma Saati	Dizel Jeneratör		Gaz Türbini Jeneratörü	
		2 Ünite	4 Ünite	2 Ünite	4 Ünite
2,5	8000 (Tarz 1)	0,099	0,101	0,272	-
	7000 (Tarz 2)	0,102	0,104	0,280	-
	6000 (Tarz 3)	0,105	0,109	0,290	-
5	8000 (Tarz 1)	0,107	0,099	0,252	0,272
	7000 (Tarz 2)	0,111	0,102	0,257	0,280
	6000 (Tarz 3)	0,116	0,105	0,263	0,290
10	8000 (Tarz 1)	0,122	0,107	0,225	0,235
	7000 (Tarz 2)	0,128	0,111	0,228	0,239
	6000 (Tarz 3)	0,136	0,116	0,233	0,246
20	8000 (Tarz 1)	0,114	0,122	0,205	0,225
	7000 (Tarz 2)	0,120	0,128	0,208	0,228
	6000 (Tarz 3)	0,128	0,136	0,212	0,233
40	8000 (Tarz 1)	-	0,115	0,176	0,205
	7000 (Tarz 2)	-	0,120	0,180	0,208
	6000 (Tarz 3)	-	0,128	0,184	0,212



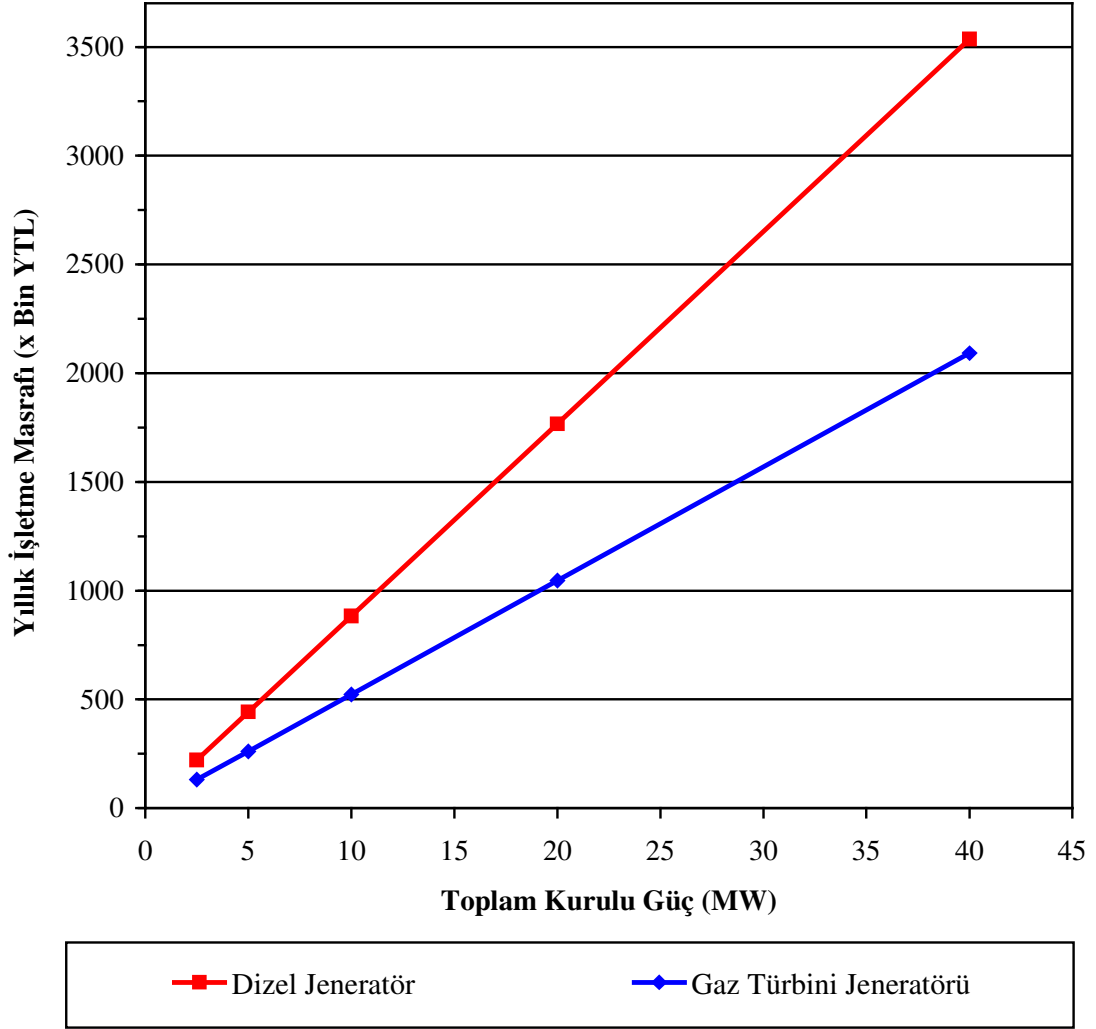
Şekil 5.6 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre sistemlerin yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



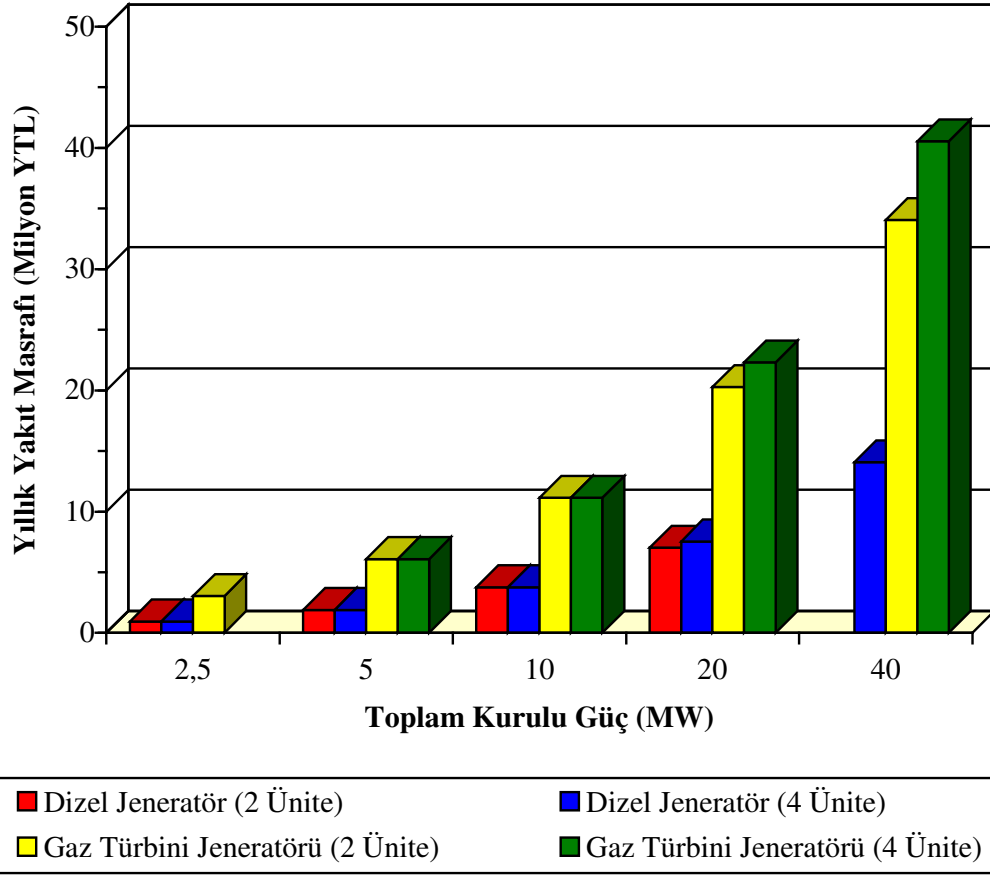
Şekil 5.7 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre sistemlerin yatırım maliyetlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



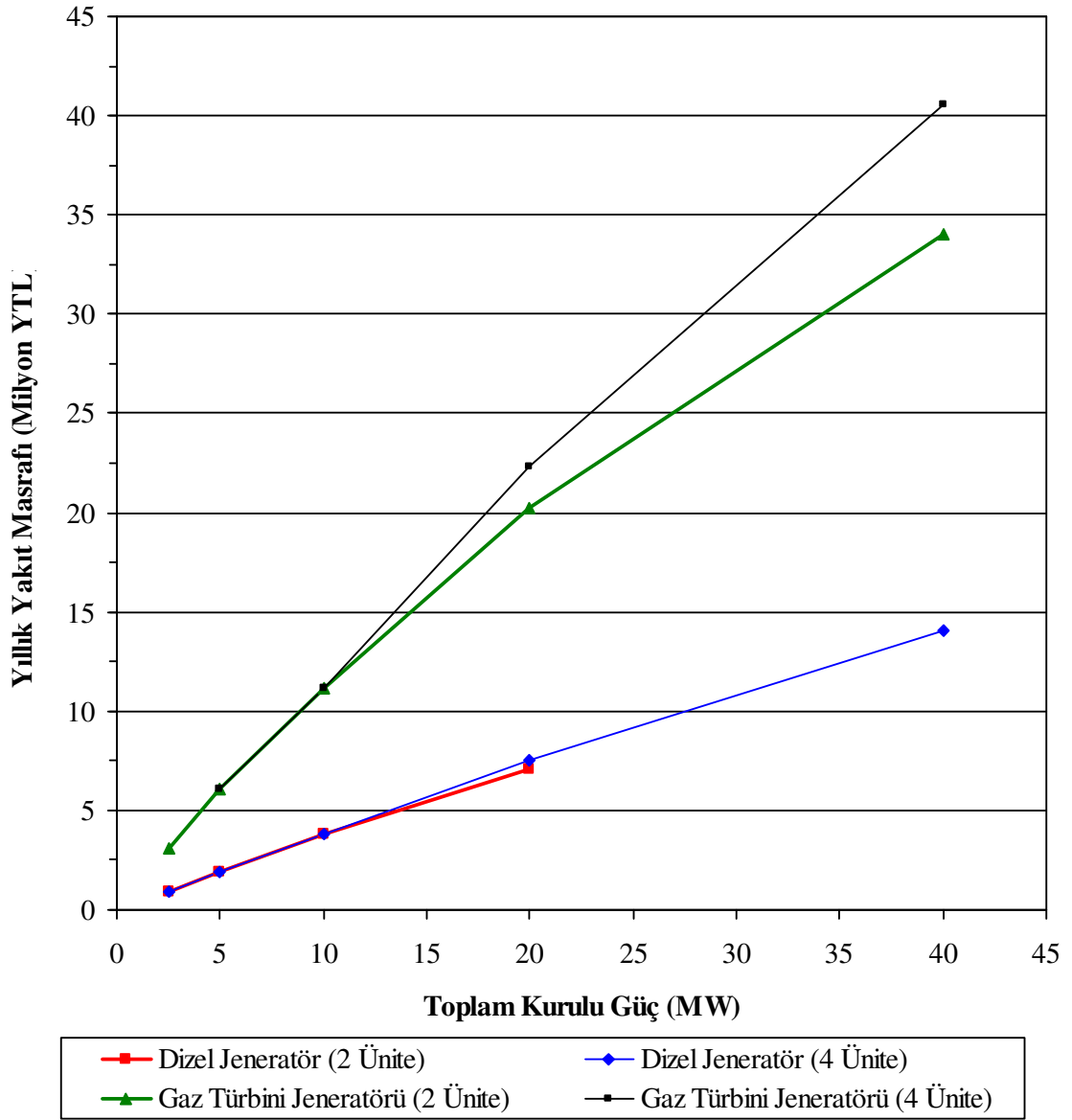
Şekil 5.8 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık işletme masraflarının karşılaştırılması (2003 yılı verilerine göre)



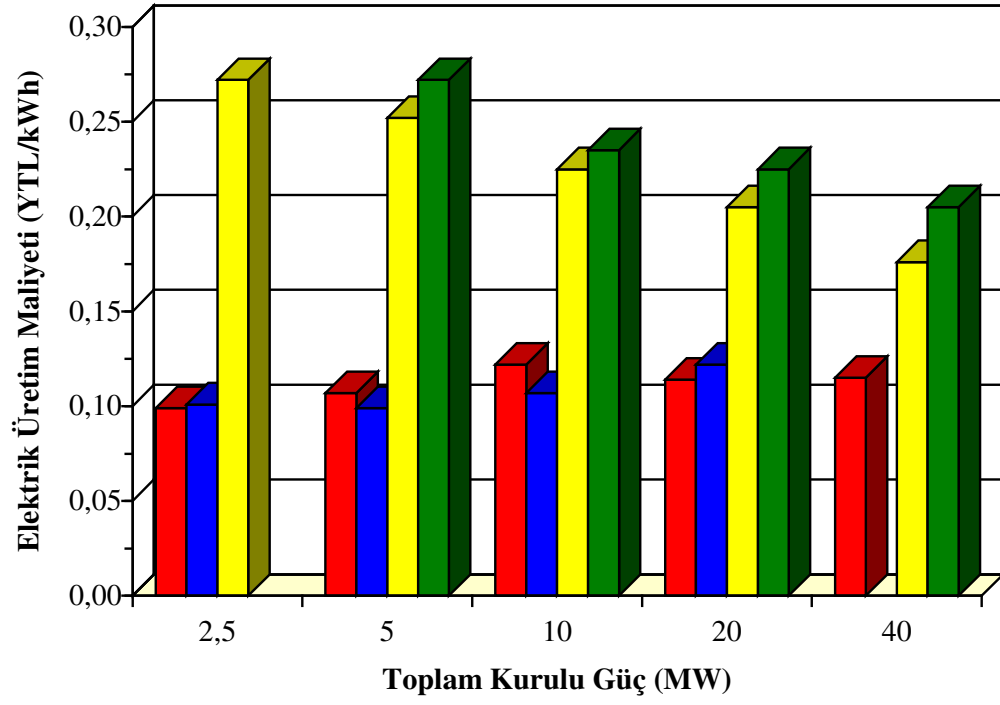
Şekil 5.9 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık işletme masraflarının grafik üzerinde karşılaştırılması (2003 yılı verilerine göre)



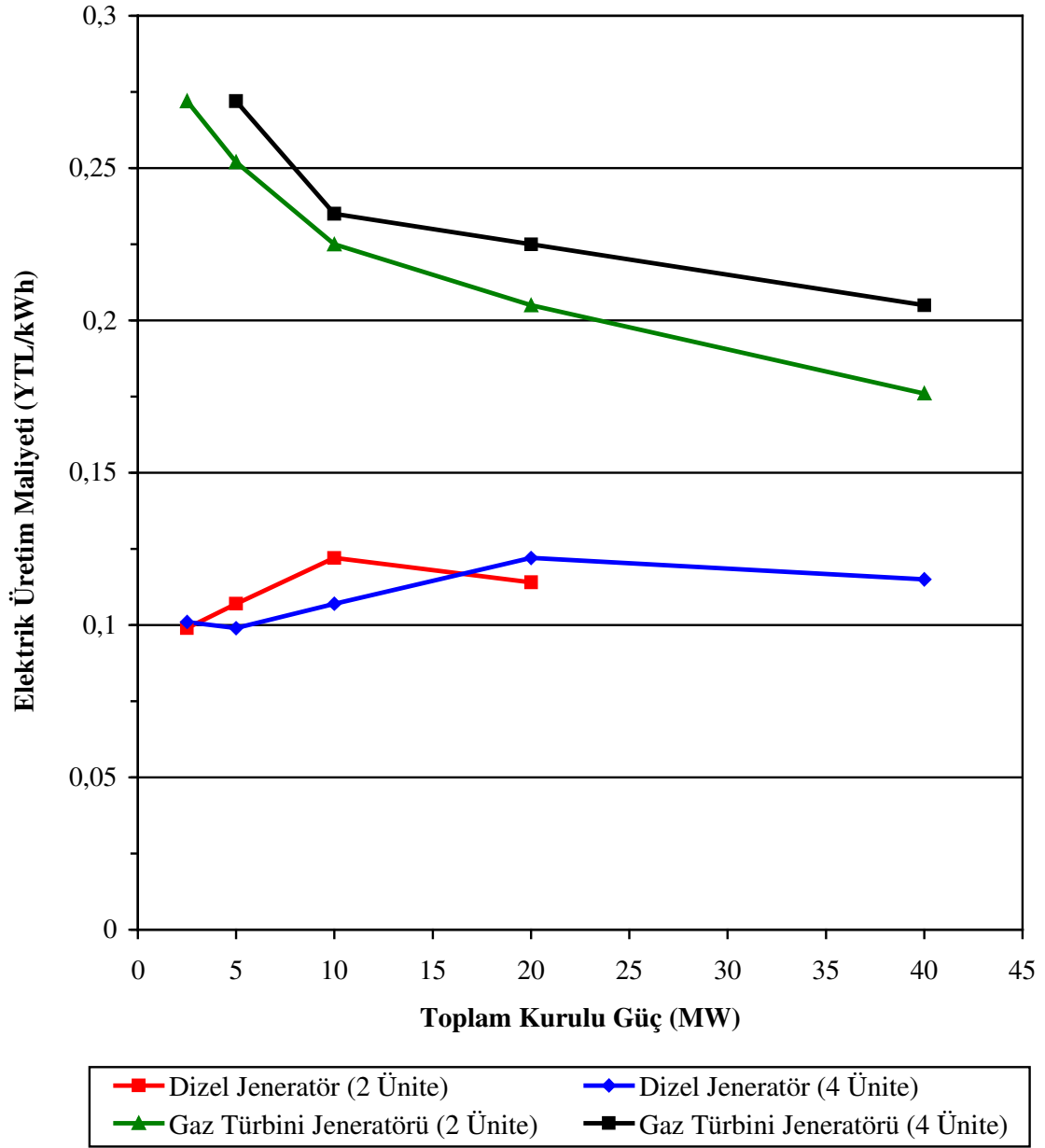
Şekil 5.10 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık yakıt masraflarının karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



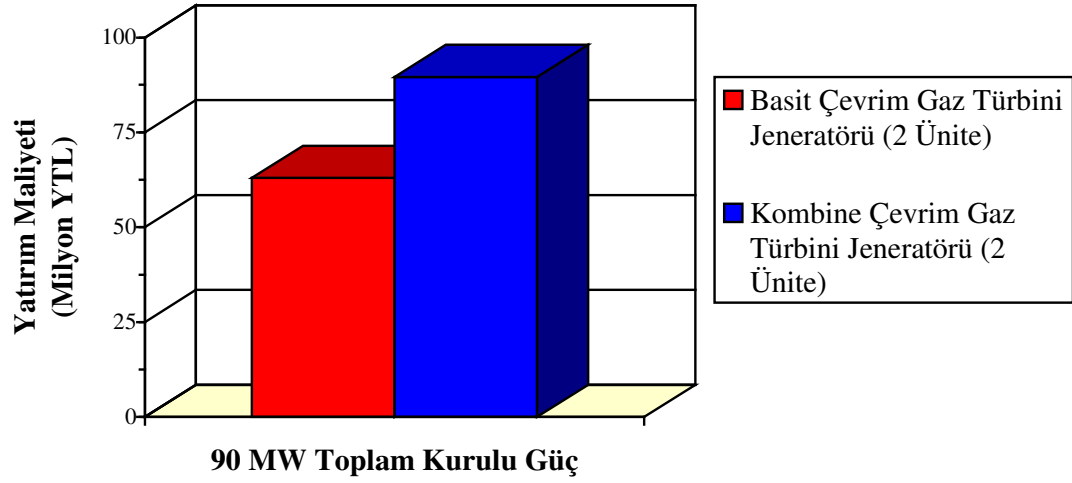
Şekil 5.11 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin yıllık yakıt masraflarının grafik üzerinde karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



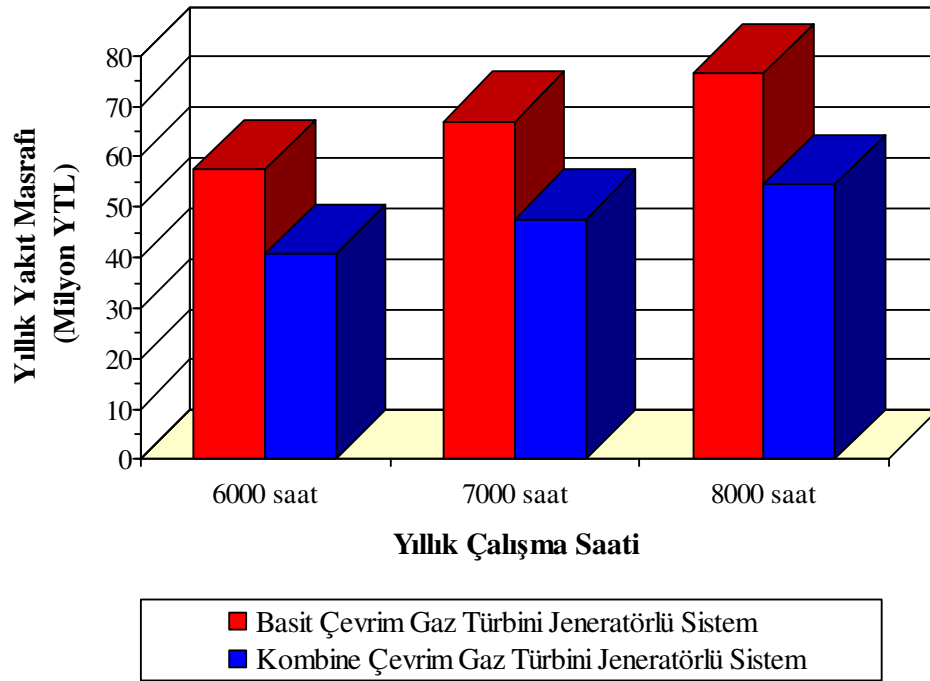
Şekil 5.12 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin birim elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



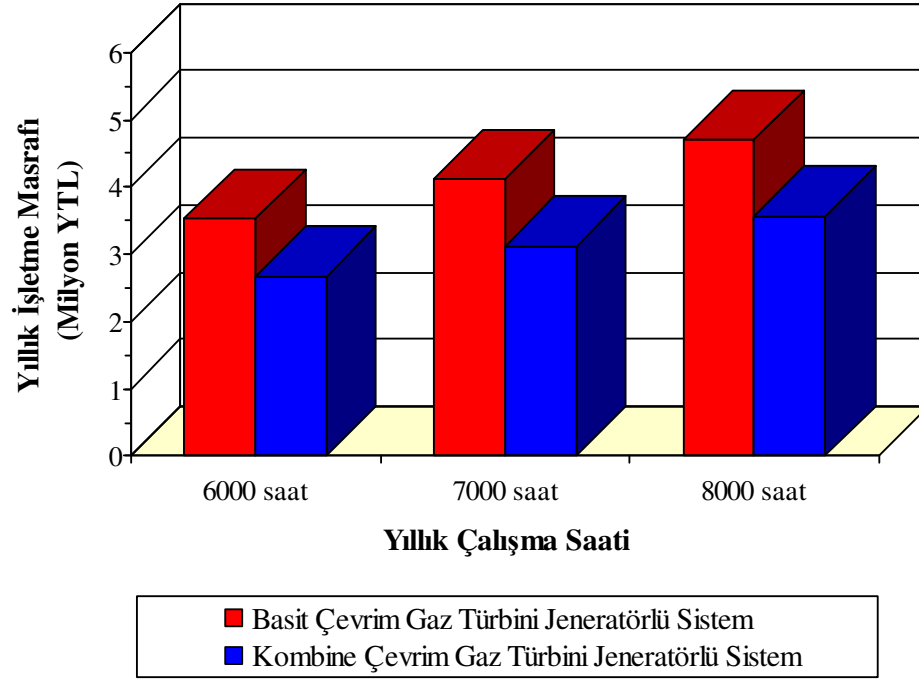
Şekil 5.13 Gemide toplam kurulu güç kapasitesine göre, yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1) sistemlerin birim elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin grafik üzerinde karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



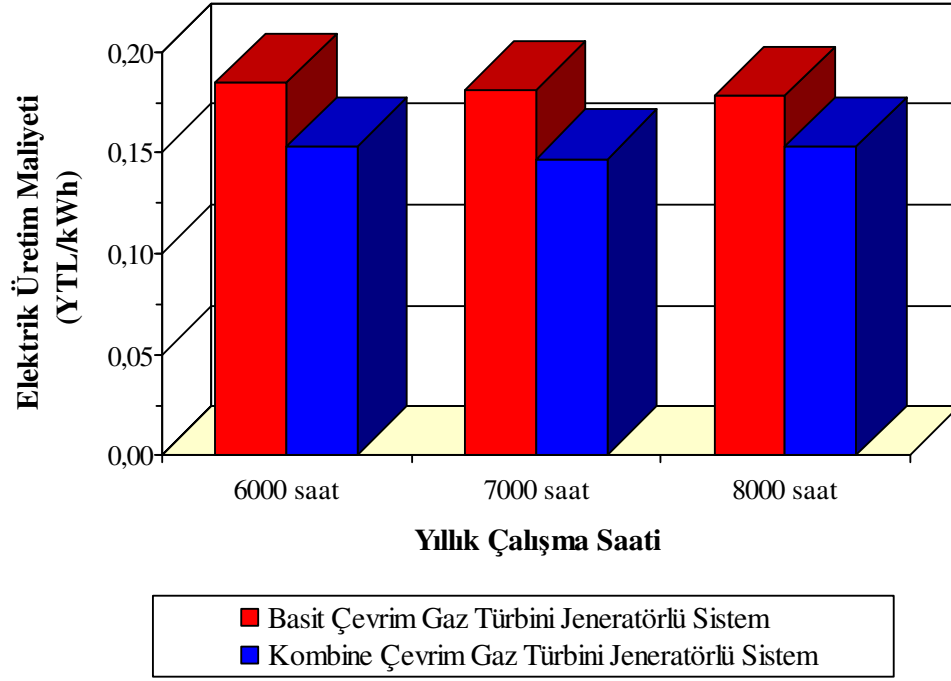
Şekil 5.14 Gemide 90 MW toplam kurulu güç kapasitesinde kombine çevrim ile basit çevrim sistemlerin yatırım maliyetlerinin karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



Şekil 5.15 Toplam kurulu gücü 90 MW olan gemide yıllık çalışma saatine göre sistemlerin yıllık yakıt masraflarının karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)



Şekil 5.16 Toplam kurulu gücü 90 MW olan gemide yıllık çalışma saatine göre sistemlerin yıllık işletme masraflarının karşılaştırılması (2003 yılı verilerine göre)



Şekil 5.17 Toplam kurulu gücü 90 MW olan gemide yıllık çalışma saatine göre sistemlerin birim elektrik enerjisi üretim maliyetlerinin karşılaştırılması (2007 yılı verilerine göre)

## 6. SONUÇLAR

Günümüzde, pervanesi geleneksel sistemle tahrik edilen gemilerde elektrik üretimi için gerekli güç ihtiyacının birkaç yüz kilowatt mertebesinde olması sebebiyle bu tip gemilerde kullanılan yardımcı sistemlerin tamamına yakını dizel jeneratörlerdir. Bu kapasitedeki gaz türbini jeneratörünün ilk yatırım maliyetinin ve yakıt sarfiyatının dizele göre çok yüksek olması nedeniyle gaz türbini tercih edilmemektedir.

Günümüzde, gaz türbinleri birim hacimde en yüksek gücü sağlayan güç sistemidir. Bu getirisi bir çok farklı tipteki gemiler için büyük avantaj sağlayabilir. Örneğin entegre elektrik tahrik sistemine sahip bir kargo gemisinde gaz türbin jeneratörü gemide en geniş kargo hacmi sağlayacak şekilde bir modül olarak gemide istenilen herhangi bir yere konulabilir. Gaz türbinli sistemlerde ilave makine ekipmanı gereksinimi minimum seviyededir. Gemicilik sektörü geliştikçe modüler gaz türbinleri geleceğin gemileri için en çok tercih edilmesi muhtemel sistemdir.

Gemilerde gaz türbini jeneratörü kullanımı yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı geminin tipine göre değerlendirilmesi gereklidir.

Gaz türbinli güç sisteminin sağladığı avantajlar aşağıda özetlenmiştir:

Çevre dostu olması nedeniyle  $NO_x$  ve  $SO_x$  gibi egzoz emisyonlarının daha düşük seviyede tutulmakta, asgari seviyede atık yağ depolama gereksinimi duyulmakta ve SCR (selective catalytic reduction) veya özel egzoz filtre sistemlerine ihtiyaç bulunmamaktadır.

Daha düşük seviyede gürültü ve titreşime neden olmakta, dolayısıyla yolculara daha konforlu bir yolculuk sunmaktadır.

Yüksek güç yoğunluğu sayesinde gemideki maddi kazanç sağlayan alanları arttırmaktadır.

Sistemin modüler parçalarının onarımının olabilecek en hızlı ve doğru bir şekilde yapılabilmesine bağlı olarak yüksek güvenilirlik (reliability) ve ulaşılabilirliğe (availability) sahiptir.

Düşük bakım-onarım gereksinimi ile düşük yağlama yağı sarfiyatı işletim masraflarını oldukça azaltmaktadır.

Büyük güçlerde (10 MW üzeri) ilk yatırım maliyeti dizelle rekabet edebilir seviyededir.

Gemideki toplam kurulu güç kapasitesine göre kıyaslama yapıldığında ortaya çıkan sonuçlar şöyledir:

İlk yatırım maliyetleri incelendiğinde, 2-3 MW güç seviyelerinde gaz türbini jeneratörlerinin dizel jeneratörlerden, yaklaşık 2,5 kat, 5 MW seviyelerinde ise yaklaşık 1,5-2 kat pahalı olduğu görülmektedir. Gaz türbini jeneratörleri ancak 7-8 MW seviyelerinde dizel jeneratörlerle rekabet edebilir duruma gelmekte, güç kapasitesi arttıkça gaz türbinlerinin ilk yatırım maliyeti dizel jeneratörlerine oranla çok daha hesaplı olmaktadır. 20 MW seviyesinde gaz türbini jeneratörlü güç sisteminin maliyeti, dizel jeneratörlü sistemin maliyetinin yaklaşık yarısıdır. 10 MW güç kapasitesinin altında, toplam kapasiteyi 4 adet dizel jeneratörü ile sağlamak, 2 ünite ile sağlamaktan yaklaşık % 50 daha hesaplı olmaktadır. Çünkü düşük güçlerde, kW başına maliyeti daha düşük olan yüksek devirli dizeller kullanılmakta, büyük güçlerde ise kW başına maliyeti daha yüksek olan orta ve düşük devirli dizeller kullanılmaktadır. Gaz türbinlerinde ise 10 MW güç kapasitesinin altında, 2 üniteli sistem, 4 üniteliye göre % 40-60 arasında daha hesaplı, 20 MW'ın üstünde ise her iki sistemde aşağı yukarı aynı maliyette olmaktadır.

Yıllık işletim masrafları incelendiğinde, dizel jeneratörlerin işletim masraflarının gaz türbini jeneratörlerine göre ortalama % 70 daha yüksek olduğu görülmektedir.

Gaz türbini jeneratörünün en büyük dezavantajı yüksek yakıt masrafıdır. Yıllık yakıt masrafları incelendiğinde, gaz türbinli gemide, hemen her güç kapasitesinde dizel jeneratörlü gemiye göre 2,5-3 kat fazla yakıt masrafı söz konusudur.

Birim elektrik enerjisi üretim maliyetleri incelendiğinde, gaz türbinlerinde kW başına üretim maliyetinin, dizel jeneratörlere göre 2-2,5 kat daha yüksek olduğu, aradaki maliyet farkının güç kapasitesi arttıkça 1,5 kata kadar azaldığı görülmektedir. Ancak 60-70 MW seviyelerinin üzerinde gaz türbinlerinde kombine sistem uygulaması ile birim elektrik üretim maliyeti dizelin altına inebilmektedir.

Sonuç olarak, 7-8 MW'ın üzerinde ilk yatırım ve işletme masraflarının düşüklüğü nedeniyle gaz türbini jeneratörlerinin avantajlı görünmesine karşın, gaz türbini jeneratörlerinden çok daha düşük yakıt tüketimine sahip dizel jeneratörler çoğunlukla daha uygun bir seçim olmaktadır. Ancak, gaz türbinli jeneratörler, gelir elde etmek amacıyla daha büyük kullanılabilir hacme ihtiyaç duyulan gemilerde (büyük seyahat gemileri, yük gemileri gibi), daha az yer kaplaması, yerden sağlanan kazanç ile yük veya yolcu kapasitesinin artırılmasına bağlı olarak daha yüksek kâr elde edilmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

Günümüzde gemilerde halihazırda büyük oranda dizel jeneratörler kullanılmasına karşın, gaz türbini teknolojisinin ilerlemesi, gaz türbinlerinin veriminin artırılması, az yer kaplaması, titreşimi azaltması, zararlı egzoz emisyonlarının düşük seviyede olması ve geliştirmekte olan uluslararası çevre bilinci ve bu tür emisyonların azaltılması kapsamında alınmakta olan uluslararası önlemler dikkate alındığında yakın gelecekte gaz türbinlerinin gemilerde kullanımının büyük oranda artması ve dizelin yerini alması mümkündür.

**KAYNAKLAR**

- Ackerman, B.M., (2003), "Modular Gas Turbine Propulsors: A Viable Alternative for Today's Merchant Fleet", Marine Technology and Sname News Dergisi, Nisan 2003, Sayı 40(2), Sayfa 106-125.
- Anderson, W.C. ve diğeri, (1998), "Research Needs Related to Improving Air Emissions From Diesel Engines, Gas Turbines and Ordnance", American Academy of Environmental Engineers, Annapolis, ABD.
- Bautista, P., (1999), "Developments in Reciprocating Engines and Industrial Gas Turbines", Onsite Sycom Energy Corporation, Joint IMC-CMC Meeting, 9 Kasım 1999.
- Bayram, D., (2004), "Gaz Türbini Tahrikli Yüksek Süratli Gemilerde İşletme Parametrelerinin Performansa Etkisinin İncelemesi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Bolat, F., (2003), "Gemi Dizel Motorlarında Enerji Ekonomisi", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen A., (1994), İçten Yanmalı Motorlar Cilt-1, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları-2, Ankara.
- Boyce, M.P., (2002), Gas Turbine Engineering Handbook, Second Edition, Gulf Professional Publishing, Houston, Texas, ABD.
- Brandt, D.E., Wesorick, R.R., (1994), "GE Gas Turbine Design Philosophy", GE Industrial & Power Systems, Schenectady, New York, ABD.
- CAT-MaK, (2006), Marine Engine Selection Guide-Caterpillar Marine Power Systems-March 2006.
- Çalışma Grubu, (1997), "High Speed Sealift Technology Workshop, Propulsion Machinery Technology Working Group Summary", 21-23 Kasım 1997, Naval Surface Warfare Center, Carderock Division, Bethesda Maryland, ABD.
- Çetinkaya, S., (1999), Gaz Türbinleri, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Çevre ve Orman Bakanlığı, (2006), "Endüstriyel Tesislerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği"
- Davy, M.H., (2006), "Thermodynamic Principles", Mech 578, The University of British Columbia, Columbia.
- Ekrekli, A., (1987), "Buhar, Gaz Türbinli ve Dizel Motorlu Tahrik Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Etüdü, Optimum Güç Sınırının Tespiti", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Eyice, S., (1971), Isı Ekonomisi, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- Förster, M., (2005), "The Diesel Engine: Developments For Merchant And Naval Vessels Surveyed", Naval Forces Aldershot: 2005, Sayı 26(4), Sayfa 68.
- Gee, N., (2001), "Fast Ferry Powering and Propulsors – The Options", Nigel Gee and Associates Ltd., İngiltere.
- Herman, D., (2003), "Installation, Operation, and Maintenance Costs for Distributed Generation Technologies

Hoskins, W.W., Booras S.B., (1998), "Gas Turbines and Recips vie For Distributed Generation", Power Engineering Dergisi, Eylül 1998, Sayı 102(9), Sayfa 42-46

Jofs, K., (2004), "Gas Turbine Technology for Advanced Cruise Ships", Shipbuilding & Repair, Business Briefing: Global Cruise 2004.

MAN B&W, İstanbul.

Mattas, G., Thijssen, B., (2004), "Dual-fuel Diesel Engines For LNG Carriers", The Ship Power Supplier, Wärtsilä Corporation, Marine News 2004 Sayı 1, Sayfa 32-33.

Moliere, M., (2005), "Expanding Fuel Flexibility of Gas Turbines", Proceeding of the Institution of Mechanical Engineers, Mart 2005, Sayı 219, A2; ProQuest Science Journals, Sayfa 109.

Onsite Sycom Energy Corporation, (1999), "Review of CHP Technologies", U.S Department of Energy

Özdemir, E., (1988), "Buhar Türbinli, Gaz Türbinli ve Düşük Devirli, İki Zamanlı, Süper Şarjlı Dizel Motorlu Tesislerin Enerji Üretiminde Ekonomiklik Sınırlarının Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Poullikkas, A., (2005), "An Overview of Current and Future Sustainable Gas Turbine Technologies ", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Sayı 9 (2005), Sayfa 409-443.

Sanneman, B.N., (2004), "Pioneering Gas Turbine-Electric System in Cruise Ships:A Performance Update", Marine Technology Dergisi, Ekim 2004, Sayı 41(4), Sayfa 161-166.

Sulzer, (1998), Engine Selection and Project Manuel

Şahin, B. ve Aybers, N., (1995), Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Turbomach Endüstriyel Gaz Türbinleri Ltd. Şti., İstanbul.

Yazarı Bilinmiyor, (2005), "Lloyd's Approves GE Gas Turbines for LNG", Turbomachinery International, Norwalk, Eylül/Ekim 2005 Sayı 46 (5), Sayfa 37-38.

Yazarı Bilinmiyor, (2005), "Lloyd's Register: Lloyd's Register Asia Completes First Safety Case for LNG Gas Turbine Propulsion in Korea", M2 Presswire, Coventry, 13 Temmuz 2005, Sayfa 1.

## **İNTERNET KAYNAKLARI**

[1]www.tupras.com/faaliyet\_3\_1.htm

[2]http://en.wikipedia.org

[3]www.exxonmobilmarinefuels.com

[4]www.shipbrokering.com/bunker1.asp

[5]www.poas.com

[6]www.bunkerworld.com

[7]www.gemipersoneli.com/bilgibank/donat.asp

[8][www.gemipersoneli.com/ilanlar.asp](http://www.gemipersoneli.com/ilanlar.asp)

[9][www.ngal.co.uk/downloads/techpapers/paper7.pdf](http://www.ngal.co.uk/downloads/techpapers/paper7.pdf)

[10][www.wartsila.com](http://www.wartsila.com)

[11][www.mech.ubc.ca/~davy/mech578/TDPrinciples.pdf](http://www.mech.ubc.ca/~davy/mech578/TDPrinciples.pdf)

[12][www.bcm.org.tr/pdf/end\\_kay\\_hav\\_yon.pdf](http://www.bcm.org.tr/pdf/end_kay_hav_yon.pdf)

[13][www.eximbank.gov.tr/html\\_files/Duyurular.htm](http://www.eximbank.gov.tr/html_files/Duyurular.htm)

**EKLER**

- Ek 1 Toplam 2500 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar
- Ek 2 Toplam 5000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar
- Ek 3 Toplam 10000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar
- Ek 4 Toplam 20000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar
- Ek 5 Toplam 40000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar
- Ek 6 Toplam 90.000 kW güç kapasitene sahip kombine çevrim gaz türbini jeneratörlü sistemin basit çevrimli gaz türbini jeneratörü ile karşılaştırılması için yapılan hesaplamalar

## Ek 1 Toplam 2500 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar

### 1.1 DİZEL JENERATÖRLÜ SİSTEMLER

#### 1.1.1 2 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 1250 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre, toplam 2500 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 1.1.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 1250 kWe'lik 2 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$530.000 \$ (\text{Çizelge 5.8}) \times 2 = 1.060.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$1.060.000 \$ \times 1,4 = 1.484.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$I_k = \text{Yatırımın şimdiki değeri} = 1.484.000 \text{ YTL}$$

$$i = \text{yıllık faiz oranı} = 0,13$$

$$n = \text{tesisin amortisman ömrü} = 10 \text{ yıl}$$

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 1.484.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 273.485 \text{ YTL}$$

### 1.1.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek 1.1 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	2500
Seyirde gerekli güç (kW)	2250
Manevrada gerekli güç (kW)	1750
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	125

Çizelge Ek 1.2 Geminin işletme tarzları

	Yüzde olarak	Saat/Yıl (Tarz 1) (8000 saat/yıl)	Saat/Yıl (Tarz 2) (7000 saat/yıl)	Saat/Yıl (Tarz 3) (6000 saat/yıl)
Seyirde geçen süre	%77	6160	5390	4620
Manevrada geçen süre	%3	240	210	180
Limanda geçen süre	%20	1600	1400	1200

Çizelge Ek 1.3 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	13860	12127,5	10395
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	420	367,5	315
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	200	175	150
<b>Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)</b>	<b>14480</b>	<b>12670</b>	<b>10860</b>

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

Yıllık değişken masraflar:

$$6,2 \$/MWh (\text{Çizelge 5.10}) \times 14480 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek1.3}) \times 1,4 \text{ YTL} = 125.686 \text{ YTL}$$

Yıllık sabit masraflar:

$$4,7 \$/MWh \times 14480 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 95.278 \text{ YTL}$$

Yıllık toplam masraflar:

$$10,9 \$/MWh \times 14480 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 220.965 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$10,9 \$/MWh \times 12670 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 193.344 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$10,9 \$/MWh \times 10860 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 165.723 \text{ YTL}$$

### 1.1.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$190 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 14.480.000 \text{ kWh} \times 245 \$/\text{ton} (\text{IFO-380 yakıtının fiyatı}) 10^{-6} \text{ ton/g} \\ \times 1,4 \text{ YTL} = 943.661 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$190 \text{ g/kWh} \times 12.670.000 \text{ kWh} \times 245 \$/\text{ton} 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 825.704 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık masrafı (Tarz 3):

$$190 \text{ g/kWh} \times 10.860.000 \text{ kWh} \times 245 \$/\text{ton} 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 707.746 \text{ YTL}$$

### 1.1.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_T}{E}$$

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{273.845 + 220.965 + 943.661}{14.480.000} = 0,099 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{273.845 + 193.344 + 825.704}{12.670.000} = 0,102 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{273.845 + 165.723 + 707.746}{10.860.000} = 0,105 \text{ YTL/kWh}$$

### 1.1.2 4 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 625 kWe'lik 4 adet dizel jeneratöre, toplam 2500 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

#### 1.1.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 625 kWe'lik, ısı geri kazanımı olmayan 4 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

300.000 \$'dır (Çizelge 5.8) x 4 = 1.200.000 \$

Yatırımın YTL olarak değeri:

1.200.000 \$ x 1,4 = 1.680.000 YTL

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 1.680.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 309.606 \text{ YTL}$$

#### 1.1.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Herbiri 1250 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

220.965 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 2):

193.344 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 3):

165.723 YTL

### 1.1.2.3 Yakıt Masrafları

Herbiri 1250 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yakıt masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir (Çizelge 5.14).

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

943.661 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

825.704 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

707.746 YTL

### 1.1.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 1250 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{309.606 + 220.965 + 943.661}{14.480.000} = 0,101 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{309.606 + 193.344 + 825.704}{12.670.000} = 0,104 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{309.606 + 165.723 + 707.746}{10.860.000} = 0,109 \text{ YTL/kWh}$$

## 1.2 GAZ TÜRBİNLİ SİSTEMLER

### 1.2.1 Basit Çevrimli 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 1250 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 2500 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 1.2.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 1250 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$1.495.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 2 = 2.990.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$2.990.000 \$ \times 1,4 = 4.186.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 4.186.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 771.436 \text{ YTL}$$

#### 1.2.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek1.1, Çizelge Ek1.2 ve Çizelge Ek1.3'te bulunan değerler burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$6,45 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 14480 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek1.3}) \times 1,4 \text{ YTL} = 130.754 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 12670 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 114.410 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 10860 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 98.065 \text{ YTL}$$

#### 1.2.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$300 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 14.480.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek1.3}) \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g (MDO)}$$

yakıtı fiyatı)x 1,4 YTL = 3.040.800 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$300 \text{ g/kWh} \times 12.670.000 \text{ kWh} \times 500 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 2.660.700 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

$$300 \text{ g/kWh} \times 10.860.000 \text{ kWh} \times 500 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 2.280.600 \text{ YTL}$$

#### 1.2.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{771.436 + 130.724 + 3.040.800}{14.480.000} = 0,272 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{771.436 + 114.410 + 2.660.700}{12.670.000} = 0,280 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{771.436 + 98.065 + 2.280.600}{10.860.000} = 0,290 \text{ YTL/kWh}$$

## Ek 2 Toplam 5000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar

### 2.1 DİZEL JENERATÖRLÜ SİSTEMLER

#### 2.1.1 2 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 2500 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre, toplam 5000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 2.1.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 2500 kWe'lik, 2 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$1.500.000 \$ (\text{Çizelge 5.8}).x 2 = 3.000.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$3.000.000 \$ x 1,4 = 4.200.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$I_k = \text{Yatırımın şimdiki değeri} = 4.200.000 \text{ YTL}$$

$$i = \text{yıllık faiz oranı} = 0,13$$

$$n = \text{tesisin amortisman ömrü} = 10 \text{ yıl}$$

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 4.200.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 774.016 \text{ YTL}$$

### 2.1.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek2.1 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	5000
Seyirde gerekli güç (kW)	4500
Manevrada gerekli güç (kW)	3500
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	250

Çizelge Ek2.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	27720	24255	20790
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	840	735	630
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	400	350	300
<b>Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)</b>	<b>28960</b>	<b>25340</b>	<b>21720</b>

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$10,9 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 28960 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek2.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 441.930 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 25340 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 386.688 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 21720 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 331.446 \text{ YTL}$$

### 2.1.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$190 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 28.960.000 \text{ kWh} \times 245 \$/\text{ton} (\text{IFO-380 yakıtının fiyatı}) 10^{-6} \text{ ton/g} \\ \times 1,4 \text{ YTL} = 1.887.322 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$190 \text{ g/kWh} \times 25.340.000 \text{ kWh} \times 245 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 1.651.408 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık masrafı (Tarz 3):

$$190 \text{ g/kWh} \times 21.720.000 \text{ kWh} \times 245 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 1.415.492 \text{ YTL}$$

#### 2.1.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_T}{E}$$

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{774.016 + 441.930 + 1.887.322}{28.960.000} = 0,107 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{774.016 + 386.688 + 1.651.408}{25.340.000} = 0,111 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{774.016 + 331.446 + 1.415.492}{21.720.000} = 0,116 \text{ YTL/kWh}$$

#### 2.1.2 4 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 1250 kWe'lik 4 adet dizel jeneratöre, toplam 5000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 2.1.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 1250 kWe'lik, 4 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$530.000 \text{ \$'dır} (\text{Çizelge 5.8}) \times 4 = 2.120.000 \text{ \$}$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$2.120.000 \text{ \$} \times 1,4 = 2.968.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 2.968.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 546.971 \text{ YTL}$$

### 2.1.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Herbiri 2500 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

441.930 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 2):

386.688 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 3):

331.446 YTL

### 2.1.2.3 Yakıt Masrafları

Herbiri 2500 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yakıt masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir (Çizelge 5.14).

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

1.887.322 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

1.651.408 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

1.415.492 YTL

### 2.1.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 2500 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{546.971 + 441.930 + 1.887.322}{28.960.000} = 0,099 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{546.971 + 386.688 + 1.651.408}{25.340.000} = 0,102 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{546.971 + 331.446 + 1.415.492}{21.720.000} = 0,105 \text{ YTL/kWh}$$

## 2.2. GAZ TÜRBİNLİ SİSTEMLER

### 2.2.1 Basit Çevrimli 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 2500 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 5000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 2.2.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 2500 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$1.875.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 2 = 3.750.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$3.750.000 \$ \times 1,4 = 5.250.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 5.250.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 967.520 \text{ YTL}$$

#### 2.2.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek2.1 ve Çizelge Ek2.2'de bulunan değerler burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$6,45 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 28960 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek2.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 261.509 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 25340 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 228.820 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 21720 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 196.131 \text{ YTL}$$

#### 2.2.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$300 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 28.960.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek2.2}) \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g (MDO)}$$

yakıtı fiyatı)x 1,4 YTL = 6.081.600 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$300 \text{ g/kWh} \times 25.340.000 \text{ kWh} \times 500 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 5.321.400 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

$$300 \text{ g/kWh} \times 21.720.000 \text{ kWh} \times 500 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 4.561.200 \text{ YTL}$$

#### 2.2.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{967.520 + 261.509 + 6.081.600}{28.960.000} = 0,252 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{967.520 + 228.820 + 5.321.400}{25.340.000} = 0,257 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{967.520 + 196.131 + 4.561.200}{21.720.000} = 0,263 \text{ YTL/kWh}$$

### 2.2.2 Basit Çevrimli 4 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 1250 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 5000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 2.2.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 1250 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$1.495.000 \text{ \$} (\text{Çizelge 5.9}) \times 4 = 5.980.000 \text{ \$}$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$5.980.000 \text{ \$} \times 1,4 = 8.372.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 8.372.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 1.542.872 \text{ YTL}$$

#### 2.2.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek2.1 ve Çizelge Ek2.2’de bulunan değerler ve herbiri 2500 kWe’lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

261.509 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

228.820 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

196.131 YTL

#### 2.2.2.3 Yakıt Masrafları

Herbiri 2500 kWe’lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistemin yakıt masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

6.081.600 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

5.321.400 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

4.561.200 YTL

#### 2.2.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 2500 kWe’lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistem için

hesaplanan yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.542.872 + 261.509 + 6.081.600}{28.960.000} = 0,272 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.542.872 + 228.820 + 5.321.400}{25.340.000} = 0,280 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.542.872 + 196.131 + 4.561.200}{21.720.000} = 0,290 \text{ YTL/kWh}$$

### Ek 3 Toplam 10000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar

#### 3.1 DİZEL JENERATÖRLÜ SİSTEMLER

##### 3.1.1 2 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 5000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre, toplam 10000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 3.1.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 5000 kWe'lik, 2 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$4.665.000 \$ (\text{Çizelge 5.8}).x 2 = 9.330.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$9.330.000 \$ x 1,4 = 13.062.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$I_k$  = Yatırımın şimdiki değeri = 13.062.000 YTL

$i$  = yıllık faiz oranı = 0,13

$n$  = tesisin amortisman ömrü = 10 yıl

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 13.062.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 2.407.190 \text{ YTL}$$

### 3.1.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek3.1 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	10000
Seyirde gerekli güç (kW)	9000
Manevrada gerekli güç (kW)	7000
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	500

Çizelge Ek3.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	55440	48510	41580
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	1680	1470	1260
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	800	700	600
<b>Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)</b>	<b>57920</b>	<b>50680</b>	<b>43440</b>

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$10,9 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 57920 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek3.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 883.859 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 50680 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 773.376 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 43440 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 662.894 \text{ YTL}$$

### 3.1.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$190 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 57.920.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek3.2}) \times 245 \$/\text{ton} (\text{IFO-380 yakıtının fiyatı}) \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 3.774.646 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$190 \text{ g/kWh} \times 50.680.000 \text{ kWh} \times 245 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 3.302.816 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık masrafı (Tarz 3):

$$190 \text{ g/kWh} \times 43.440.000 \text{ kWh} \times 245 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 2.830.984 \text{ YTL}$$

### 3.1.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{C_T}{E}$$

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.407.190 + 883.859 + 3.774.646}{57.920.000} = 0,122 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.407.190 + 773.376 + 3.302.816}{50.680.000} = 0,128 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.407.190 + 662.894 + 2.830.984}{43.440.000} = 0,136 \text{ YTL/kWh}$$

### 3.1.2 4 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 2500 kWe'lik 4 adet dizel jeneratöre, toplam 10000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

#### 3.1.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 2500 kWe'lik, 4 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$1.500.000 \text{ \$'dır (Çizelge 5.8)} \times 4 = 6.000.000 \text{ \$}$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$6.000.000 \text{ \$} \times 1,4 = 8.400.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 8.400.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 1.548.032 \text{ YTL}$$

### 3.1.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Herbiri 5000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

883.859 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 2):

773.376 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 3):

662.894 YTL

### 3.1.2.3 Yakıt Masrafları

Herbiri 5000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yakıt masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir (Çizelge 5.14).

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

3.774.646 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

3.302.816 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

2.830.984 YTL

### 3.1.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 5000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.548.032 + 883.859 + 3.774.646}{57.920.000} = 0,107 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.548.032 + 773.376 + 3.302.816}{50.680.000} = 0,111 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.548.032 + 662.894 + 2.830.984}{43.440.000} = 0,116 \text{ YTL/kWh}$$

## 3.2 GAZ TÜRBİNLİ SİSTEMLER

### 3.2.1 Basit Çevrimli 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 5000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 10000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 3.2.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 5000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$2.650.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 2 = 5.300.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$5.300.000 \$ \times 1,4 = 7.420.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 7.420.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 1.367.428 \text{ YTL}$$

#### 3.2.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek3.1 ve Çizelge Ek3.2'de bulunan değerler burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

6,45 \$/MWh (Çizelge 5.10) x 57920 MWh (Çizelge Ek3.2) x 1,4 YTL = 523.017 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

6,45 \$/MWh x 50680 MWh x 1,4 YTL = 457.640 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

6,45 \$/MWh x 43440 MWh x 1,4 YTL = 392.262 YTL

### 3.2.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

275 g/kWh (Çizelge 5.14) x 57.920.000 kWh (Çizelge Ek3.2) x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g (MDO yakıtı fiyatı) x 1,4 YTL = 11.149.600 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

275 g/kWh x 50.680.000 kWh x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 9.755.900 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

275 g/kWh x 43.440.000 kWh x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 8.362.200 YTL

### 3.2.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.367.428 + 523.017 + 11.149.600}{57.920.000} = 0,225 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.367.428 + 457.640 + 9.755.900}{50.680.000} = 0,228 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.367.428 + 392.262 + 8.362.200}{43.440.000} = 0,233 \text{ YTL/kWh}$$

### 3.2.2 Basit Çevrimli 4 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 2500 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 10000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 3.2.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 2500 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$1.875.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 4 = 7.500.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$7.500.000 \$ \times 1,4 = 10.500.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 10.500.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 1.935.040 \text{ YTL}$$

#### 3.2.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek3.1 ve Çizelge Ek3.2'de bulunan değerler ve herbiri 5000 kWe'lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$523.017 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$457.640 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$392.262 \text{ YTL}$$

#### 3.2.2.3 Yakıt Masrafları

Herbiri 5000 kWe'lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistemin yakıt masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

11.149.600 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

9.755.900 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

8.362.200 YTL

### 3.2.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 2500 kWe'lik 4 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistem için hesaplanan yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.935.040 + 523.017 + 11.149.600}{57.920.000} = 0,235 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.935.040 + 457.640 + 9.755.900}{50.680.000} = 0,239 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{1.935.040 + 392.262 + 8.362.200}{43.440.000} = 0,246 \text{ YTL/kWh}$$

## Ek 4 Toplam 20000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar

### 4.1 Dizel Jeneratörlü Sistemler İçin Yapılan Hesaplamalar

#### 4.1.1 2 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda, herbiri 10000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre, toplam 20000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 4.1.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 10000 kWe'lik, 2 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$8.750.000 \$ (\text{Çizelge 5.8}).x 2 = 17.500.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$17.500.000 \$ x 1,4 = 24.500.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$I_k$  = Yatırımın şimdiki değeri = 24.500.000 YTL

$i$  = yıllık faiz oranı = 0,13

$n$  = tesisin amortisman ömrü = 10 yıl

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 24.500.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 4.515.094 \text{ YTL}$$

#### 4.1.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek4.1 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	20000
Seyirde gerekli güç (kW)	18000
Manevrada gerekli güç (kW)	14000
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	1000

Çizelge Ek4.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	110880	97020	83160
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	3360	2940	2520
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	1600	1400	1200
<b>Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)</b>	<b>115840</b>	<b>101360</b>	<b>86880</b>

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$10,9 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 115840 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek4.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 1.767.718 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 101360 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 1.546.753 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 86880 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 1.325.789 \text{ YTL}$$

#### 4.1.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$177 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 115.840.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek3.2}) \times 245 \text{ \$/ton} (\text{IFO-380 yakıtının fiyatı}) \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 7.032.762 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$177 \text{ g/kWh} \times 101.360.000 \text{ kWh} \times 245 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 6.153.667 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık masrafı (Tarz 3):

$$177 \text{ g/kWh} \times 86.880.000 \text{ kWh} \times 245 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 5.274.571 \text{ YTL}$$

#### 4.1.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.515.094 + 1.767.718 + 7.032.762}{115.840.000} = 0,114 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.515.094 + 1.546.753 + 6.153.667}{101.360.000} = 0,120 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.515.094 + 1.325.789 + 5.274.571}{86.880.000} = 0,128 \text{ YTL/kWh}$$

#### 4.1.2 4 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 5000 kWe'lik 4 adet dizel jeneratöre, toplam 20000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 4.1.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 5000 kWe'lik, 4 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$4.665.000 \text{ \$'dır} (\text{Çizelge 5.8}) \times 4 = 18.660.000 \text{ \$}$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$18.660.000 \text{ \$} \times 1,4 = 26.124.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 26.124.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 4.814.830 \text{ YTL}$$

#### 4.1.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Herbiri 10000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

1.767.718 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 2):

1.546.753 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık toplam masraflar (Tarz 3):

1.325.789 YTL

#### 4.1.2.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

190 g/kWh (Çizelge 5.14) x 115.840.000 kWh (Çizelge Ek3.2) x 245 \$/ton (IFO-380 yakıtının fiyatı)  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 7.549.293 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

190 g/kWh x 101.360.000 kWh x 245 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 6.605.631 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık masrafı (Tarz 3):

190 g/kWh x 86.880.000 kWh x 245 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 5.661.969 YTL

#### 4.1.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 10000 kWe'lik 2 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.814.380 + 1.767.718 + 7.549.293}{115.840.000} = 0,122 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.814.380 + 1.546.753 + 6.605.631}{101.360.000} = 0,128 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.814.380 + 1.325.789 + 5.661.969}{86.880.000} = 0,136 \text{ YTL/kWh}$$

## 4.2 GAZ TÜRBİNLİ SİSTEMLER

### 4.2.1 Basit Çevrimli 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 10000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 20000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 4.2.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 10000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$4.800.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 2 = 9.600.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$9.600.000 \$ \times 1,4 = 13.440.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 13.440.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 2.476.851 \text{ YTL}$$

#### 4.2.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek4.1 ve Çizelge Ek4.2'de bulunan değerler burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$6,45 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 115840 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek4.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 1.046.035 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 101360 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 915.280 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 86880 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 784.526 \text{ YTL}$$

#### 4.2.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$250 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 115.840.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek3.2}) \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g (MDO)}$$

yakıtı fiyatı)x 1,4 YTL = 20.272.000 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$250 \text{ g/kWh} \times 101.360.000 \text{ kWh} \times 500 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 17.738.000 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

$$250 \text{ g/kWh} \times 86.880.000 \text{ kWh} \times 500 \text{ \$/ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 15.204.000 \text{ YTL}$$

#### 4.2.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.476.851 + 1.046.035 + 20.272.000}{115.840.000} = 0,205 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.476.851 + 915.280 + 17.738.000}{101.360.000} = 0,208 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.476.851 + 784.526 + 15.204.000}{86.880.000} = 0,212 \text{ YTL/kWh}$$

#### 4.2.2 Basit Çevrimli 4 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Herbiri 5000 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 20000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

##### 4.2.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 5000 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$2.650.000 \text{ \$} (\text{Çizelge 5.9}) \times 4 = 10.600.000 \text{ \$}$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$10.600.000 \text{ \$} \times 1,4 = 14.840.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 14.840.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 2.734.856 \text{ YTL}$$

#### 4.2.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek4.1 ve Çizelge Ek4.2’de bulunan değerler ve herbiri 10000 kWe’lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

1.046.035 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

915.280 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

784.526 YTL

#### 4.2.2.3 Yakıt Masrafları

275 g/kWh (Çizelge 5.14) x 115.840.000 kWh (Çizelge Ek4.2)x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g (MDO yakıtı fiyatı)x 1,4 YTL = 22.299.200 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

275 g/kWh x 101.360.000 kWh x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 19.511.800 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

275 g/kWh x 86.880.000 kWh x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 16.724.400 YTL

#### 4.2.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 10000 kWe’lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistem için hesaplanan yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.734.856 + 1.046.035 + 22.299.200}{115.840.000} = 0,225 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.734.856 + 915.280 + 19.511.800}{101.360.000} = 0,228 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{2.734.856 + 784.526 + 16.724.400}{86.880.000} = 0,233 \text{ YTL/kWh}$$

## Ek 5 Toplam 40000 kW güç kapasitene sahip dizel jeneratörlü ve gaz türbini jeneratörlü sistemler için yapılan hesaplamalar

### 5.1 DİZEL JENERATÖRLÜ SİSTEMLER

Gemi güç sistemlerinde tek bir dizel jeneratör için en büyük güç kapasitesi 10.000 kWe dolaylarındadır. Dolayısıyla toplam 40.000 kWe güç kapasitesine 4 adet dizel jeneratörle ulaşılabileceği kabul edilmiştir. Bu nedenle bu bölümde sadece 4 dizel jeneratörlü sistemler için hesap yapılmıştır.

#### 5.1.1 4 Adet Dizel Jeneratöre Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 10000 kWe'lik 4 adet dizel jeneratöre, toplam 40000 kWe'lik güce sahip güç sistemi için hesap yapılmıştır.

##### 5.1.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 10000 kWe'lik, 4 adet dizel jeneratörün yatırım maliyeti:

$$8.750.000 \$'dır \text{ (Çizelge 5.8)} \times 4 = 35.000.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$35.000.000 \$ \times 1,4 = 49.000.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 49.000.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 9.030.188 \text{ YTL}$$

##### 5.1.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek5.1 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	40000
Seyirde gerekli güç (kW)	36000
Manevrada gerekli güç (kW)	28000
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	2000

Çizelge Ek5.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	221760	194040	166320
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	6720	5880	5040
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	3200	2800	2400
Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)	231680	202720	173760

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$10,9 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 231680 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek5.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 3.535.436 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 202720 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 3.093.507 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$10,9 \$/\text{MWh} \times 173760 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 2.651.577 \text{ YTL}$$

### 5.1.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$177 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 231.680.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek3.2}) \times 245 \$/\text{ton} (\text{IFO-380 yakıtının fiyatı}) \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 14.065.524 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$177 \text{ g/kWh} \times 202.720.000 \text{ kWh} \times 245 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 12.307.333 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık masrafı (Tarz 3):

$$177 \text{ g/kWh} \times 173.760.000 \text{ kWh} \times 245 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 10.549.143 \text{ YTL}$$

### 5.1.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 10000 kWe'lik 4 adet dizel jeneratöre sahip sistemin yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{9.030.188 + 3.535.436 + 14.065.524}{231.680.000} = 0,115 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{9.030.188 + 3.093.507 + 12.307.333}{202.720.000} = 0,120 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{9.030.188 + 2.651.577 + 10.549.143}{173.760.000} = 0,128 \text{ YTL/kWh}$$

## 5.2 GAZ TÜRBİNLİ SİSTEMLER

### 5.2.1 Basit Çevrimli 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 20000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 40000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 5.2.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 20000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$9.400.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 2 = 18.800.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$18.800.000 \$ \cdot 1,4 = 26.320.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 26.320.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 4.850.501 \text{ YTL}$$

### 5.2.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek5.1 ve Çizelge Ek5.2’de bulunan değerler burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$6,45 \$/MWh (\text{Çizelge 5.10}) \times 231680 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek4.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 2.092.070 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$6,45 \$/MWh \times 202720 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 1.830.561 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$6,45 \$/MWh \times 173760 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 1.569.052 \text{ YTL}$$

### 5.2.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$210 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 231.680.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek3.2}) \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} (\text{MDO yakıtı fiyatı}) \times 1,4 \text{ YTL} = 34.056.960 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$210 \text{ g/kWh} \times 202.720.000 \text{ kWh} \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 29.799.840 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

$$210 \text{ g/kWh} \times 173.760.000 \text{ kWh} \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 25.542.720 \text{ YTL}$$

### 5.2.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.850.501 + 2.092.070 + 34.056.960}{231.680.000} = 0,176 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.850.501 + 1.830.561 + 29.799.840}{202.720.000} = 0,180 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.850.501 + 1.569.052 + 25.542.720}{173.760.000} = 0,184 \text{ YTL/kWh}$$

## 5.2.2 Basit Çevrimli 4 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 10000 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 40000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

### 5.2.2.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 10000 kWe'lik 4 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$4.800.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 4 = 19.200.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$19.200.000 \$ \times 1,4 = 26.880.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 26.880.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 4.953.703 \text{ YTL}$$

### 5.2.2.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek5.1 ve Çizelge Ek5.2'de bulunan değerler ve herbiri 20000 kWe'lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistemin işletme ve bakım masrafları için yapılan hesaplar burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$2.092.070 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$1.830.561 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$1.569.052 \text{ YTL}$$

### 5.2.2.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

250 g/kWh (Çizelge 5.14) x 231.680.000 kWh (Çizelge Ek5.2)x 500 \$/ton 10<sup>-6</sup> ton/g (MDO yakıtı fiyatı)x 1,4 YTL = 40.544.000 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

250 g/kWh x 202.720.000 kWh x 500 \$/ton 10<sup>-6</sup> ton/g x 1,4 YTL = 35.476.000 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

250 g/kWh x 173.760.000 kWh x 500 \$/ton 10<sup>-6</sup> ton/g x 1,4 YTL = 30.408.000 YTL

### 5.2.2.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Herbiri 20000 kWe'lik 2 adet basit çevrimli gaz türbini jeneratörüne sahip sistem için hesaplanan yıllık elektrik üretim miktarı (E) burada da geçerlidir.

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.953.703 + 2.092.070 + 40.544.000}{231.680.000} = 0,205 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.953.703 + 1.830.561 + 35.476.000}{202.720.000} = 0,208 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{4.953.703 + 1.569.052 + 30.408.000}{173.760.000} = 0,212 \text{ YTL/kWh}$$

**Ek 6 Toplam 90.000 kW güç kapasitene sahip kombine çevrim gaz türbini jeneratörlü sistemin basit çevrimli gaz türbini jeneratörü ile karşılaştırılması için yapılan hesaplamalar**

Bu bölümde, 32 MW gücünde 1 adet gaz türbinine sahip toplam 45 MW güç kapasitesindeki kombine çevrimin Turbomach firmasından alınan yatırım fiyatları referans alınarak yapılan hesaplamalar verilmektedir.

### 6.1 Basit Çevrimli 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Sistem

Aşağıda herbiri 45000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörüne, toplam 90000 kWe'lik güce sahip gemi için hesap yapılmıştır.

#### 6.1.1 Yatırım Maliyeti

Herbiri 45000 kWe'lik 2 adet basit çevrim gaz türbini jeneratörünün yatırım maliyeti:

$$22.500.000 \$ (\text{Çizelge 5.9}) \times 2 = 45.000.000 \$$$

Yatırımın YTL olarak değeri:

$$45.000.000 \$ \times 1,4 = 63.000.000 \text{ YTL}$$

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 63.000.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 11.610.242 \text{ YTL}$$

#### 6.1.2 İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Çizelge Ek6.1 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	90000
Seyirde gerekli güç (kW)	81000
Manevrada gerekli güç (kW)	63000
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	4500

Çizelge Ek6.2 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	498960	436590	374220
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	15120	13230	11340
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	7200	6300	5400
Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)	521280	456120	390960

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 1):

$$6,45 \$/\text{MWh} (\text{Çizelge 5.10}) \times 521280 \text{ MWh} (\text{Çizelge Ek6.2}) \times 1,4 \text{ YTL} = 4.707.158 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 2):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 456120 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 4.118.763 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafı (Tarz 3):

$$6,45 \$/\text{MWh} \times 390960 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 3.530.368 \text{ YTL}$$

### 6.1.3 Yakıt Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

$$210 \text{ g/kWh} (\text{Çizelge 5.14}) \times 521.280.000 \text{ kWh} (\text{Çizelge Ek6.2}) \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} (\text{MDO yakıtı fiyatı}) \times 1,4 \text{ YTL} = 76.628.160 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

$$210 \text{ g/kWh} \times 456.120.000 \text{ kWh} \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 67.049.640 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

$$210 \text{ g/kWh} \times 390.960.000 \text{ kWh} \times 500 \$/\text{ton} \times 10^{-6} \text{ ton/g} \times 1,4 \text{ YTL} = 57.471.120 \text{ YTL}$$

### 6.1.4 Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{11.610.242 + 4.707.158 + 76.628.160}{521.280.000} = 0,178 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{11.610.242 + 4.118.763 + 67.049.640}{456.120.000} = 0,181 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{11.610.242 + 3.530.368 + 57.471.120}{390.960.000} = 0,185 \text{ YTL/kWh}$$

## 6.2. 2 Adet Gaz Türbinine Sahip Kombine Isı ve Güç Sistemi

Aşağıda herbiri 32000 kWe güç kapasiteli 2 adet gaz türbini jeneratörüne ilave olarak ısı geri kazanım kazanı ve buhar türbini jeneratör seti ile birlikte toplam 90000 kWe güç kapasitesine sahip kombine ısı ve güç sistemi için hesap yapılmıştır.

### 6.2.1. Yatırım Maliyeti

32000 kWe'lik 2 adet gaz türbinine sahip kombine ısı ve güç sisteminin yatırım maliyeti:

32.000.000 \$'dır (fiyat Turbomach firmasından alınmıştır) x 2 = 64.000.000 \$

Yatırımın YTL olarak değeri:

64.000.000 \$ x 1,4 = 89.600.000 YTL

Sabit yıllık sermaye masrafı, her yıl eşit olarak geri ödenmesi gereken bedel veya amortisman masrafı ( $C_k$ ):

$$C_k = I_k \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] = 89.600.000 \left[ \frac{0,13(1+0,13)^{10}}{(1+0,13)^{10} - 1} \right] = 16.512.344 \text{ YTL}$$

### 6.2.2. İşletme ve Bakım (O&M) Masrafları

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafları (Tarz 1):

$$4,9 \$/MWh \text{ (Çizelge 5.10)} \times 521.280 \text{ MWh (Çizelge Ek6.2)} \times 1,4 \text{ YTL} = 3.575.980 \text{ YTL}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafları (Tarz 2):

$$4,9 \$/MWh \times 456.120 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 3.128.983 \text{ YTL}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık işletme ve bakım masrafları (Tarz 3):

$$4,9 \$/MWh \times 390.960 \text{ MWh} \times 1,4 \text{ YTL} = 2.681.985 \text{ YTL}$$

### 6.2.3. Yakıt Masrafları

Kombine çevrimli sistemin, güç kapasitesini 64 MW'tan 90 MW'a çıkarmasına karşın basit çevrimdekine göre ilave yakıt sarfiyatının söz konusu olmaması dolayısıyla kombine çevrimdeki yakıt sarfiyatı basit çevrimdekiyle aynı kabul edilebilir. Bu nedenle, yakıt masrafları 64 MW güç kapasiteli basit çevrimli sistem için aşağıda yapılmıştır.

Çizelge Ek6.3 Geminin yük analizi

<b>Gemide mevcut toplam güç (kW)</b>	64000
Seyirde gerekli güç (kW)	57590
Manevrada gerekli güç (kW)	44790
Limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (kW)	3200

Çizelge Ek6.4 Geminin işletme tarzlarına göre yük analizi

	Tarz 1	Tarz 2	Tarz 3
Bir yılda seyir için gerekli güç (MWh)	354760	310415	266070
Bir yılda manevra için gerekli güç (MWh)	10750	9406	8064
Bir yılda limanda gerekli güç (Yardımcı ekipmanlar ve hotel servisleri için) (MWh)	5200	4480	3840
<b>Yıllık Toplam Güç İhtiyacı (MWh)</b>	<b>370630</b>	<b>324351</b>	<b>278015</b>

Yılda 8000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 1):

210 g/kWh (Çizelge 5.14) x 370.630.000 kWh (Çizelge Ek6.2)x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g (MDO yakıtı fiyatı)x 1,4 YTL = 54.482.610 YTL

Yılda 7000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 2):

210 g/kWh x 324.351.000 kWh x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 47.679.597 YTL

Yılda 6000 saat çalışma durumunda yıllık yakıt masrafı (Tarz 3):

210 g/kWh x 278.015.000 kWh x 500 \$/ton  $10^{-6}$  ton/g x 1,4 YTL = 40.868.205 YTL

#### 6.2.4. Birim Elektrik Enerjisi Üretim Maliyeti

Yılda 8000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 1):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{16.512.344 + 3.575.980 + 54.482.610}{521.280.000} = 0,143 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 7000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 2):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{16.512.344 + 3.128.983 + 47.679.597}{456.120.000} = 0,147 \text{ YTL/kWh}$$

Yılda 6000 saat çalışma durumunda kWh başına maliyet (Tarz 3):

$$g = \frac{C_k + C_m + C_f}{E} = \frac{16.512.344 + 2.681.985 + 40.868.205}{390.960.000} = 0,153 \text{ YTL/kWh}$$

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	31.08.1976	
Doğum yeri	Ankara	
Lise	1991-1994	Sakarya Anadolu Lisesi
Lisans	1995-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
<b>Çalıştığı kurum</b>		
	2000-Devam ediyor	İstanbul Tersanesi Komutanlığı