

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ SİSTEMLERİ ENERJİ ANALİZİ

ÖMER ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2017

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GEMİ SİSTEMLERİ ENERJİ
ANALİZİ

ÖMER ÖZTÜRK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
DOÇ.DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE
2017

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

ENERGY ANALYSIS OF SHIP SYSTEMS

ÖMER ÖZTÜRK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR
ASSOC. PROF.DR İLYAS KANDEMİR

GEBZE
2017



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 07/06/2017 tarih ve 2017/30 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 09/06/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Ömer ÖZTÜRK'ün tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç.Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE

: Prof.Dr.Mehmet Ali ARSLAN

ÜYE

: Yrd.Doç.Dr.Ahmet Ziya SAYDAM

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Doç.Dr.Arif Çağdaş AYDINOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Dünya üzerinde insan nüfusunun artması ve teknolojinin gelişmesi ile enerji ihtiyacı artmaya devam etmektedir. Dünya, enerji ihtiyacının büyük çoğunluğunu halihazırda fosil yakıtlardan sağlamaktadır. Fosil yakıtların yanması ile ortaya çıkan kirletici emisyonlar, insan sağlığını ve ekolojik yaşamı tehdit etmeye devam etmektedir. İnsanlığın ihtiyaçlarının karşılanması için kullanılan gemiler, %71'i denizlerle kaplı dünyamızda en önemli ulaşım ve ticaret araçlarından biridir. Gemiler için kirletici emisyonların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik gemi tasarımında ve gemi yaşam döngüsü içinde enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Gemi yaşam döngüsü içinde; gemi konfigürasyonun mevsimsel koşullar ve seyir şartlarına göre en doğru şekilde kullanılması en önemli husus olarak öne çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında gaz türbinli bir geminin; liman, demir, manevra ile seyir koşullarında, İstanbul ili ve Marmara Denizinin mevsimsel sıcaklık ortalamaları ile gemi süratine bağlı olarak enerji kullanım konsepti modellenerek analiz edilmiştir. Gemi kullanım konseptinde verimliliği artırıcı önlemler sonucunda, yılda ortalama 307,4 ton ile % 6 oranında yakıt tasarrufu ve ortalama 975 ton daha az CO₂ salınımı sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi, Enerji, Gaz Türbini, Elektrik Sistemi, HVAC.

SUMMARY

With the increase of the human population and the development of technology in the world, the energy demand continues to increase. The world is already supplying the vast majority of its energy needs from fossil fuels. Pollutant emissions resulting from the burning of fossil fuels continue to threaten human health and ecological life. The vessels used to meet the needs of mankind are one of the most important transportation and trade vehicles in our world covered by 71 % of the seas. Efforts are being made on energy efficiency in ship design and ship life cycle to reduce the environmental impacts of pollutant emissions for ships. Within the ship's life cycle; It is the most important point to use the ship configuration in the most appropriate way according to the seasonal conditions and the cruising conditions.

In this thesis study, a gas turbine ship; Harbor, anchor, maneuvering and navigational conditions, by modeling the energy usage concept depending on the seasonal temperature averages of Istanbul and Marmara Sea and the ship speed. As a result of measures to increase productivity in the ship use concept, it has been found that an average of 307,4 tons per year can save 6 % of fuel and an average of 975 tons less CO₂ emissions.

Key Words: Ship, Energy, Gas Turbine, Electrical System, HVAC.

TEŞEKKÜR

Başta, yüksek lisans eğitimim ile akademik hayatımda desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyip bilgisi ile bu çalışmanın oluşmasının yolunu açan danışmanım Sayın Doç.Dr.İlyas KANDEMİR'e,

Bugünlere gelebilmemde büyük emeği geçen, yüksek lisans öğrenimim boyunca manevi desteklerini hiç esirgemeyen annem Fehime ÖZTÜRK'e, eşim Zeynep ÇİĞDEM ÖZTÜRK'e ve kızım Duru ÖZTÜRK'e, en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
TABLolar DİZİNİ	xviii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. GEMİ SİSTEMLERİNE GİRİŞ	8
3.1. Ana Tahrik Sistemi	9
3.1.1. GE LM2500 Gaz Türbinleri	11
3.1.2. Ana Dişli Kutusu (MRG)	14
3.1.3. Ana Şaft	14
3.1.4. Hatve Kontrol Sistemi (CPP)	15
3.2. Gemi Elektrik Sistemi	16
3.2.1. Gemi Servis Dizel Jeneratörü	16
3.2.2. Basınçlı Hava Sistemi	18
3.2.3. Tatlı Su Sistemi	20
3.2.4. Ana Yangın Sistemi	20
3.2.5. Yakıt ve Balast Sistemi	21
3.2.6. Dümen ve Fin Sistemi	21
3.2.7. İklimlendirme (HVAC) Sistemi	22
3.2.8. Evsel Atık ve Tahliye Sistemi	23
3.2.9. Buz Odaları Sistemi	23
3.2.10. Yardımcı Tahrik Üniteleri - İtici (APU)	24
3.2.11. Aydınlatma Sistemi	24
3.2.12. Seyir ve Diğer sistemler	24

3.2.13. Aşhane Eçhizeleri	24
3.2.14. Güverte Eçhizeleri	25
3.2.15. Yardımcı Eçhizeler	25
4. GEMİ SİSTEMLERİ ENERJİ MODELİ	26
4.1. Ana Tahrik Sistemi Gaz Türbinleri Modellenmesi	28
4.1.1. Yakıtın Kimyasal Yanma Analizi	29
4.1.2. Gaz Türbini Hal Noktalarında Sıcaklık, Entalpi ve Entropi	31
4.1.3. Gaz Türbini, Kompresör, Yanma Odası ve Türbin Analizleri	35
4.2. İklimlendirme (HVAC) Sistemi Modellenmesi	40
4.2.1. Kompartıman Sıcaklık Hesaplanması Alt Bloğu	43
4.2.2. Kompartıman Isıl Direnç ve Kapasitelerin Hesaplanması Alt Blokları	47
4.2.3. Kompartıman Isı Transferi ($\dot{Q}$) Hesaplanması	50
4.3. Gemi Elektrik Sistemi Modellenmesi	54
4.3.1. Gemi Elektrik Alt Sistemlerinin Modellemesi	55
4.3.2. Dizel Jeneratör Ortalama Yük ve Günlük Yakıt Sarfıyatı Hesaplama Modeli	63
5. GEMİ SİSTEMLERİ ENERJİ ANALİZİ ELDE EDİLEN VERİLER ve DEĞERLENDİRMELERİ	65
5.1. Ana Tahrik Sistem Modeli Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	65
5.2. İklimlendirme (HVAC) Sistem Modeli Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	68
5.3. Gemi Elektrik Sistem Modeli Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	70
5.3.1. Liman Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	70
5.3.2. Demirde Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	74
5.3.3. Manevra Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	76
5.3.4. Seyir Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler	80
5.4. Gemi Sistemleri Enerji Analizinin Yıllık Kullanım Verilerine Göre Değerlendirilmesi	92
6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER	96
KAYNAKLAR	98
ÖZGEÇMİŞ	101

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
A	: Amper
A/F	: Hava/yakıt oranı
atm	: Atmosfer basıncı
bar	: Basınç birimi
C_i	: Isıl Direnç
C_{p_i}	: Özgül ısı
C	: Karbon molekülü
°C	: Santigrat
dk	: Dakika
°F	: Fahrenheit
h_i	: Entalpi
h	: Isı iletim katsayısı
H ₂	: Hidrojen molekülü
hp	: Beygir gücü
Hz	: Hertz
k	: Isıl taşınım katsayısı
K	: Kelvin
kgfm	: Kilogrammetre
kJ	: Kilojoule
kmol	: Kilomol
knot	: Deniz mili/saat
km	: Kilometre
kW	: Kilowatt
λ	: Kuramsal yanma havası oranı
lt	: Litre
$LHV_{yakıt}$	: Yakıt alt ısı değeri
m	: Metre
m ²	: Metrekare
m ³	: Metreküp

m_i	: Kütle
$\dot{m}_i$	: Kütle debisi
M_i	: Mol kütlesi
N_i	: Mol miktarı
N_2	: Azot molekülü
η_{th}	: Isıl verimi
η_{II}	: Ekserji verimi
η_{SSDG}	: Dizel jeneratör ekserji verimi
nm	: Deniz mili
O_2	: Oksijen molekülü
P_i	: Basınç
ppm	: Milyonda bir parça
Pr	: prandtl sayısı
r_{bw}	: Gaz türbini geri i� oranı
R_i	: Isıl direnç
R_u	: Genel gaz sabiti
ρ_i	: Yoğunluk
rpm	: Devir/dakika
q_i	: Isı
$\dot{Q}_i$	: Isı transferi
s_i	: Entropi
s	: Saniye
t	: Zaman
T_i	: Sıcaklık
T_{karina}	: Karina bölmesi sıcaklığı
T_{borda}	: Borda bölmesi sıcaklığı
T_{yy}	: Yaşam yerlerinin sıcaklığı
T_{eln}	: Elektronik ve elektrik cihaz kompartımanlarının sıcaklığı
ton	: Ağırlık birimi
μ	: Dinamik viskozite
$\dot{X}_i$	: Ekserji
ν_i	: Kinematik vizkozite
VAC	: Volt alternatif akım

w_i	: İş
y_i	: Mol Oranı
ψ_i	: Akış Ekserjisi
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABT	: Otomatik Bus Transfer
A/C	: Hava İklimlendirme sistemi
AE	: Yardımcı Makine
APU	: Yardımcı Tahrik Üniti-İtici
CHP	: Kombine Isı ve Güç
CPP	: Hatve Kontrollü Pervane
EEDI	: Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi
EES	: Mühendislik Denklem Çözücü
FFG	: Gülümlü Mermi Firkateyni
GTÜ	: Gebze Teknik Üniversitesi
G/T	: Gaz Türbini
GE	: Genel Elektrik Firması
HOPM	: Hidrolik Yağı Güç Modülü
HPAC	: Yüksek Basınç Hava Kompresörü
HPT	: Yüksek Basınç Türbini
HRSG	: Isı Dönüşümlü Buhar Jeneratörü
HVAC	: Isıtma, Havalandırma, Hava İklimlendirme Sistemi
IMO	: Uluslararası Denizcilik Örgütü
LOSCA	: Gaz Türbini Yağlama Yağı Modülü
LPAC	: Alçak Basınç Hava Kompresörü
LPT	: Alçak Basınç Türbini
MBT	: Manuel Bus Transfer
MFC	: Ana Yakıt Kontrol
MRG	: Ana Dişli Kutusu
NAVSEA	: Naval Sea Systems Command
O.D.Box	: Yağ Dağıtım Kutusu
ORC	: Organik Rankine Çevrimi
PLA	: Güç Seviye Aktüatörü
SEEMP	: Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı

SG	:	Sabit Hızlı Şaft Jeneratör
SG-FC	:	Frekans Konvertörlü Şaft Jeneratör
SHP	:	Şaft beygir gücü
SSDG	:	Gemi Servis Dizel Jeneratörü
SSS	:	Kendinden kavramalı glaç
VSV	:	Değişken Seviyeli Kanat
WHR	:	Atık Isı Dönüşüm Sistemi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Ana tahrik sistemi.	10
3.2: G/T modül-ana dişli kutusu-şaft-pervane.	15
3.3: Gemi elektrik sistemi enerji dağılımı.	19
3.4: Kompartıman soğutma fan üniteleri.	22
4.1: Mevsimsel hava ve deniz suyu sıcaklıkları, ısı transfer katsayısı değerleri alt sistem bloğu.	27
4.2: Açık çevrime göre çalışan gaz türbini ile Brayton T-s ve P-v diyagramları.	28
4.3: GE LM2500 gaz türbini brayton çevrimi hal noktaları.	29
4.4: Yakıt kimyasal yanma analizi modeli.	30
4.5: T2 sıcaklığı hesaplanma modeli.	32
4.6: Tek gaz türbini gemi hızına göre hal noktaları sıcaklık grafiği.	32
4.7: Çift gaz türbini gemi hızına göre hal noktaları sıcaklık grafiği.	33
4.8: Gaz türbini hal noktaları sıcaklık, molekül entalpi ve entropi tabloları.	34
4.9: Gaz türbini hal noktaları toplam entalpi değerlerinin hesaplanması modeli.	35
4.10: Gaz türbini hal noktaları toplam entropi değerlerinin hesaplanması modeli.	36
4.11: Gaz türbini analiz modeli.	37
4.12: Gaz türbini hava akışı.	38
4.13: Gaz türbini hava, yakıt debisi ve kompresör çıkış basıncı hesaplanması.	39
4.14: Tek ve çift gaz türbini hıza göre yakıt sarfıyatı (kg/s) grafiği.	39
4.15: Gaz türbini ikinci yasa ekserji analizleri.	40
4.16: Gemi iklimlendirme (HVAC) sistemi gemi modeli ön ve yan görünüşü.	42
4.17: Gemi iklimlendirme (HVAC) sistemi modellemesi.	43
4.18: HVAC sistemi yaşam yerleri sıcaklık hesaplaması blokları.	44
4.19: HVAC sistemi karina bölmesi sıcaklık hesaplamaları alt bloğu.	46
4.20: HVAC sistemi karina ısı direnç ve kapasite hesaplama alt bloğu.	49
4.21: İklimlendirme sistemi termostat ve elektrik yükleri hesaplama bloğu.	52
4.22: Yaşam yerleri (A/C bölgesi) giren/çıkan ısı transferi ($\dot{Q}_l$) hesaplaması alt bloğu.	53
4.23: Gemi elektrik sistem modeli.	56
4.24: Ana tahrik alt sistemi modeli.	57

4.25:	İklimlendirme (HVAC) alt sistemi modeli.	57
4.26:	Dümen ve fin alt sistem modeli.	58
4.27:	Aydınlatma/220V/110V alt sistem modeli.	58
4.28:	Yakıt transfer alt sistem modeli.	59
4.29:	Buz odası kompresörü alt sistem modeli.	59
4.30:	Ana yangın alt sistem modeli.	59
4.31:	Tatlı su alt sistem modeli.	60
4.32:	Evsel atık ve tahliye alt sistem modeli.	60
4.33:	Basınçlı hava alt sistem modeli.	61
4.34:	Irgat ve vasıta metaforası alt sistem modeli.	61
4.35:	Seyir ve diğer sistemler modeli.	61
4.36:	Yardımcı Eçhizeler alt sistem modeli.	62
4.37:	Aşhane alt sistem modeli.	62
4.38:	Yardımcı tahrik üniti (APU) alt sistem modeli.	62
4.39:	Dizel jeneratör yüke göre yakıt sarfiyatı grafiği.	63
4.40:	Dizel jeneratör ortalama yük ve yakıt sarfiyatı hesaplama modeli.	64
4.41:	Yardımcı makine (SSDG) alt sistem modeli.	64
5.1:	Tek ve çift gaz türbini hıza göre yakıt sarfiyatı (kg/deniz mili) grafiği.	65
5.2:	Tek gaz türbini ısı verim grafiği.	66
5.3:	Tek gaz türbini ekserji verim grafiği.	66
5.4:	Çift gaz türbini ısı verim grafiği.	67
5.5:	Çift gaz türbini ekserji verimi grafiği.	67
5.6:	Kış mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	68
5.7:	İlkbahar mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	68
5.8:	Yaz mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	69
5.9:	Sonbahar mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	69
5.10:	Dizel jeneratör yük verim grafiği.	70
5.11:	Yaz mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	71
5.12:	Yaz mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	71
5.13:	Sonbahar mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	71
5.14:	Sonbahar mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	72
5.15:	Kış mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	72
5.16:	Kış mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	72
5.17:	İlkbahar mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.	73

5.18:	İlkbahar mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	73
5.19:	Yaz mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	74
5.20:	Sonbahar mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	75
5.21:	Kış mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	75
5.22:	İlkbahar mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	75
5.23:	Yaz mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	76
5.24:	Yaz mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.	77
5.25:	Sonbahar mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	77
5.26:	Sonbahar mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	77
5.27:	Kış mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	78
5.28:	Kış mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	78
5.29:	İlkbahar mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	78
5.30:	İlkbahar mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	79
5.31:	Yaz mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	80
5.32:	Yaz mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği	80
5.33:	Yaz mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	81
5.34:	Yaz mevsimi seyir (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	81
5.35:	Yaz mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	81
5.36:	Yaz mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	82
5.37:	Yaz mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	82
5.38:	Yaz mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	82
5.39:	Sonbahar mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	83
5.40:	Sonbahar mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	83
5.41:	Sonbahar mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	83
5.42:	Sonbahar mevsimi seyirde (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	84
5.43:	Sonbahar mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	84
5.44:	Sonbahar mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	84
5.45:	Sonbahar mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	85
5.46:	Sonbahar mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	85
5.47:	Kış mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	85
5.48:	Kış mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	86
5.49:	Kış mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	86
5.50:	Kış mevsimi seyir (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	86

5.51:	Kış mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	87
5.52:	Kış mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	87
5.53:	Kış mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	87
5.54:	Kış mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	88
5.55:	İlkbahar mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	88
5.56:	İlkbahar mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	88
5.57:	İlkbahar mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	89
5.58:	İlkbahar mevsimi seyir (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	89
5.59:	İlkbahar mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	89
5.60:	İlkbahar mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	90
5.61:	İlkbahar mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.	90
5.62:	İlkbahar mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.	90
5.63:	Seyirde gemi sürati % kullanım zamanı grafiği.	92

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
3.1: Gemi genel karakteristikleri.	8
3.2: GE LM2500 G/T karakteristik özellikleri.	11
4.1: Koşul ve mevsim matris değerleri.	27
4.2: Mevsimsel değerler.	28
4.3: F-76 motorinin kimyasal yanma denklemi.	29
4.4: Tek ve çift gaz türbini hal noktaları sıcaklık polinom değerleri.	32
4.5: Model gemi boyutları.	41
4.6: Gemi inşa malzemelerinin 25°C derecedeki ısı özellikleri.	42
4.7: Kompartıman ısıtma hiterleri, ısı yükler, soğutma kapasite ve fan debi değerleri.	51
4.8: Kompartıman ısıtma ve soğutma sistemlerine ait termostat değerleri (°C).	52
4.9: Sistem cihaz teknik özellikleri.	54
5.1: Liman koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.	73
5.2: Demir koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.	76
5.3: Manevra koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.	79
5.4: Seyir koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.	91
5.5: Gemi ana tahrik sistemi seyir verileri değerlendirme tablosu.	93
5.6: Gemi elektrik sistemi değerlendirme tablosu.	94
5.7: Gemi enerji sistemleri yıllık harcanan yakıt grafiği.	95

1. GİRİŞ

Gemi, deniz, göl ve nehirlerin üstünde bir yerden bir yere ulaşmak ve yük taşımak maksadıyla yapılan, yelken ya da yakıt gücüyle çalışan araçtır.

Dünya tarihi boyunca; kürekli, yelkenli, buhar makineli, çarklı, dizelli, gaz türbinli ve nükleer gemiler kullanılmış ve kullanılmaya devam edilmektedir. Gemilerde halihazırda en fazla kullanılan yakıt, fosil yakıtlardır. Fosil yakıtların maliyetlerinin yükselmesi ve sera gazlarından kaynaklı çevre kirliliğinin artması ile dünyada ve ülkemizde gemilerin enerji verimliliğinin artırılması için uluslararası standartlar kabul edilmiştir [IMO, 2012]. Bu kapsamda, kirletici emisyonların çevresel etkilerinin azaltılmasına yönelik gemi tasarımında ve gemi yaşam döngüsü içinde enerji verimliliği ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır.

Gemi yaşam döngüsü içinde; gemi konfigürasyonunun mevsimsel koşullar ve seyir şartlarına göre en doğru kullanılması en önemli husus olarak öne çıkmaktadır.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu tez çalışması: gemi CO₂ emisyonlarını en aza düşürmek için, ana tahrik ve gemi elektrik sistemlerinin, enerji analizi yapılarak verimli, etkin kullanılmasının farkındalığını oluşturmak ve metodolojisini araştırmak amacıyla yapılmıştır.

Çalışmada ilk olarak ikinci bölümde, akademik literatür taraması yapılmış, üçüncü bölümde, geminin sistem ve cihazlarının tanıtımı yapılarak arasındaki enerji ilişkileri ortaya konmuş ve sistemlerin tutulan işletim kayıtları ile teknik dokümanlarına istinaden teknik veriler tablolar halinde oluşturulmuştur.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, Matlab/Simulink programı ile hazırlanan gemi sistemleri enerji analiz modeline ilişkin hususlar açıklanmış, beşinci bölümünde modelden elde edilen analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Modellemede, gemi yaşam döngüsü içinde, geminin içinde bulunduğu liman, demir, manevra ve seyir koşulları ile mevsimsel hava ve deniz suyu sıcaklıkları, seyirde gemi sürati ana değişkenler olarak alınmıştır. Bu değişkenler altında; ana tahrik sistemi içinde gaz türbinlerinin, elektrik sistemi içinde çalışan tüm sistemler ile sıcaklık değişimlerinden en fazla etkilenen iklimlendirme (HVAC) sisteminin enerji modellemesi yapılmıştır.

Son bölüm olan altıncı bölümde ise yapılan çalışmanın sonuçları ortaya konmuş ve farklı koşullara göre hesaplanan ortalama değerler ile limanda, demirde ve seyirde geminin kullanımına en uygun işletim konfigürasyonuna yönelik değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Bu tez çalışmasında yapılan simülasyonun; halihazırda hizmette olan farklı sınıf gemiler ile halen tasarım aşamasında olan gemilerin; yakıt maliyet ve CO₂ emisyonlarının en aza indirilmesi ile enerjinin etkin kullanılabilmesi için yapılacak çalışmalarda geliştirilebilecek bir model olması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Turan ÇUBUĞUUZUN, (2006), tarafından “Gaz Türbinli Gemilerde Ekserji ve Termodinamik Analiz” kapsamında Brayton çevrimine göre çalışan LM 2500 gaz türbini çalışma değerleri yardımıyla hesaplamalar yapılmıştır. Yakıt olarak metanın kullanıldığı ve yakıt hava oranının % 2 olarak kabul edildiği gaz türbinin parçalarından kompresör, yanma odası ve türbin kısmında yapılan sayısal analizler sonucu en fazla ekserji üretimi ve en fazla ekserji kaybının yanma odasında meydana geldiği görülmüştür. Yapılan analiz sonucu en fazla ekserji üretiminin yakıtın kimyasal ekserjisinden kaynaklandığı görülmüştür. Üretilen ekserji değerlerine göre nispi olarak en az ekserji kaybının türbinde meydana geldiği tespit edilmiştir. Gemide ekonomik sürat olarak tanımlanan 14 knots sürat kademesinde kompresör ve türbin işlerinin birim zamanda akışkan kütesinden bağımsız olarak maksimum değerlerde olduğu tespit edilmiş olup anılan değerlerde ekserji üretiminin yüksek olmasına karşın yakıt tüketimi minimum seviyede olduğu görülmüştür. Termodinamik analiz neticesinde düşük süratlerde çevrimin ısı veriminin çok düşük olduğu, yüksek kompresör ve türbin devirlerinde ısı verimin yükseldiği, bu nedenle gaz türbinlerinden yüksek süratlerde kullanılmasının elde edilen verim açısından daha uygun olduğu görülmüştür. Termodinamik analiz neticesinde düşük devirlerde elde edilen gücün % 50’sine yakınının kompresörü çevirmek için kullanıldığı, yüksek süratlerde ise bu oranın % 41’lere kadar düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan termodinamik analiz neticesinde kompresör devri artıkça kompresör ve türbin işlerinin artmasına rağmen türbin işinin kompresör işinden daha fazla artışı tespit edilmiştir [Çubuğuuzun, 2006].

Francesco BALDI, Hannes JOHNSON, Cecilia GABRIELII, Karin ANDERSSON, (2014) tarafından “Kimyasal Yük Taşıyan Gemi Enerji Sistemlerinin Analizi” kapsamında bir yıl boyunca gemide alınan değerler kullanarak enerji analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile geminin enerji analizinin metodolojisi ortaya konmuş ileride yapılacak iyileştirmeler için örnek bir çalışma olması hedeflenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda, enerjinin % 88,4’nün ana makineler, % 8’inin yardımcı makineler, % 2,6’sının ise kazanlarda kullanıldığı tespit edilmiştir [Baldi et al., 2014a].

Mirko GRLJUŠIĆ, Vladimir MEDICA, Nikola RAČIĆ, (2014), tarafından “Güç Üretim ve Birleşik Isı Arasında Atık Isı Geri Kazanımı ile Gemi Ana Tahrik

Sisteminin Termodinamik Analizi” kapsamında Suezmax tipi bir petrol tankerinin enerji verimliliğini artırarak yakıt sarfiyatını ve emisyonunu düşürmek için atık ısı geri kazanımda yeni bir metot denenmiştir. Kombine ısı ve güç (CHP) sistemi süperkritik organik rankine çevrimi (ORC) ile modellenerek içinde R245fa sıvısı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda küçük bir miktar ek yakıt ile ısı geri kazanımlı buhar jeneratörü (HRSG) tarafından tüm elektrik enerjisi ve ısı talepleri karşılabildiği tespit edilmiştir [Grljušić et al., 2014].

Ali KARADEMİR, (2008), tarafından “Gaz Türbinli Sistemlerde Performans Artırma Yöntemlerinin Analizi” kapsamında giriş havasının soğutulmasının gaz türbini performansına etkileri araştırılmıştır. Çalışma EES programı ve İstanbul’un iklim değerleri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan çalışmada; evaporatif soğutma yapılırsa normal hava koşullarında elde edilen maksimum gücü % 2,64 artırmış, mekanik soğutma ise normal hava koşullarındaki güce göre 5°C’de aynı kalırken, 8°C için % 2,42, 10°C için % 4,01, 12°C için % 5,57 azalma göstermiştir. Termik verim açısından bakıldığında mekanik soğutma normal hava koşullarındaki değer sabit kalmış, evaporatif soğutma termik verimi % 7,25 artırmıştır. Yıllık elektrik üretimi açısından evaporatif soğutma elektrik üretimini %7,37 artırırken mekanik soğutma 5°C için % 8,73, 8°C için % 5,94, 10°C için % 4,12, 12°C için % 2,32 artırmıştır. Yıllık yakıt tüketimi açısından incelendiğinde evaporatif soğutma nedeniyle yakıt tüketimi % 1,13 artırırken, mekanik soğutma ile 5°C için % 6,87, 8°C için % 4,7, 10°C için % 3,28, 12°C için % 1,87 artırmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda; İstanbul bölgesi çevre havası koşulları altında çalışacak bir basit çevrimli doğal gaz yakıtlı gaz türbinli sistemin performansını artırmak için uygulanacak soğutma yöntemi, enerji üretim kazancı ve ek giderler göz önüne alınarak amortisman hesabı yapılmıştır. Hesaplama evaporatif soğutma uygulamasının kendini 9 ay gibi kısa bir sürede amorti ettiği ortaya çıkarken, mekanik soğutma uygulamasının artan yakıt tüketimi ve yakıt maliyetinin yüksek olması sebebiyle kendini amorti edemediği tespit edilmiştir [Karademir, 2008].

Francesco BALDI, Ulrik LARSEN, Cecilia GABRIELII, Karin ANDERSSON, (2014), tarafından “Hatve Kontrollü Pervaneli (CPP) Gemilerin Enerji Verimliliği Üzerinde Ana Makine Şaft ve Yardımcı Sistemlerin Arasındaki Etkileşimlerinin Analizi” kapsamında enerji verimliliğini artırmak maksadıyla bir anlayış geliştirmek amaçlanmıştır. Bir kimyasal tanker ele alınarak, önerilen yaklaşım da sabit hızlı Şaft Jeneratör (SG), Yardımcı Makine (AE), Frekans

Konvertörlü Şaft Jeneratör (SG-FC), Atık Isı Dönüşüm Sistemi (WHR) uygulamaları analiz edilmiştir. Yapılan uygulamalarda operasyonel optimizasyonda % 8,3 artan enerji verimliliği, frekans dönüştürücüler için % 11,4 ve WHR sistemleri için % 16,5 artan verimliliği sonuçları elde edilmiştir. Yapılan çalışmada, hatve kontrollü pervaneli (CPP) gemilerin enerji verimliliğine yardımcı güç üretimi için farklı teknolojilerin etkisi hakkında yararlı bilgiler sunmak amaçlamıştır [Baldi et al., 2014b].

Sun XING, Yan XINPING, Wu BING, Song XIN, (2013), tarafından “Nehirlerde Kullanılan Gemiler İçin Operasyonel Enerji Verimliliğinin Analizi” kapsamında bir nehir gemisinin sakin, akıntı yönüne, akıntı yönü tersine ve gerçek seyir koşullarında verimlilik analizi yapılmıştır. Seyir koşullarının enerji verimliliğini önemli ölçüde etkileyebileceği tespit edilmiştir [Xing et al., 2013].

Francesco BALDI, Fredrik AHLGREN, Tuong-Van NGUYEN, Cecilia GABRIELII, Karin ANDERSSONE, (2014), tarafından “Bir Yolcu Gemisinin Enerji ve Ekserji Analizi” kapsamında Baltık Denizi'nde yapılan ölçümler yardımıyla gemi enerji ve ekserji akış oranlarının analizi yapılmıştır. Enerji analizinde gemide üretilen enerjinin kullanım oranları ana tahrik sistemi % 41, ısınma % 34 ve elektrikli sistemler için % 25 olarak hesaplanmıştır. Isı geri kazanım cihazları bulunmayan geminin ekserji analizinde ise; % 88 ile dizel motorlar ve sıvı yakıtlı kazanlarda, % 67 ile ana makine egzozunda, % 5,4 ile deniz suyu soğutucularında ekserji yıkımı hesaplanmıştır. Bu çalışmada gemi sistemlerinin iyileştirme geliştirilmesi anlayışını belirlemek adına bir rehber olması amaçlanmıştır [Baldi et al., 2014c].

Pierre MARTY, Jean-François HÉTET, David CHALET, Philippe CORRIGNAN, (2016), tarafından “Komplike Gemi Enerji Sistemlerinin Ekserji Analizi” kapsamında; geminin birincil ve ikincil enerji dönüştürücüler (dizel motorlar, buhar türbinleri, atık ısı geri kazanım ve sıvı yakıtlı kazanlar, vb.) ve kapsamlı enerji ağları (buhar, soğutma suyu, egzoz gazları, vb) ile birlikte bütünsel olarak iki model oluşturulmuştur. İlk model de termodinamik olarak birinci yasa analizleri, ikinci modelde ikinci yasa analizleri yapılmıştır. Son olarak da dizel makineler ve gemilere uygulanabilir enerji ve ekserji tasarrufu için çözüm önerileri ortaya konulmuştur [Marty et al., 2016].

Elif BAL BEŞİKÇİ, (2015), tarafından “Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliğinin Optimizasyonu” kapsamında Yapay Sinir Ağları (YSA) yöntemi ile geminin yakıt harcama ve enerji verimliliği hususlarında karar verilmesi gereken

koşullar operatörlere yardımcı olunması amacıyla hazırlanmıştır. Yakıt tüketimini, yapılan ölçümler ve operasyonel koşullar altında tahminleyen yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur. Seyir koşullarında yapılan faaliyetlerin yakıt tüketimine etkisi istatistiksel olarak ortaya konmuştur. Gemi hızının yakıt tüketiminde en önemli faktör olduğu tespit edilmiştir. [Beşikçi, 2015].

Francesco Baldi, (2016), tarafından “Gemi Enerji Sistemlerinin Modelleme Analiz ve Optimizasyonu” kapsamında iki geminin enerji sistemleri, enerji akımları ve verimsizliği tanımlamak için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Bu tezde; gemi enerji sistemlerinin farklı parçaları arasındaki etkileşimleri modellemesinin önemini ortaya koymakta, sistemlerin çalışma performansı incelenerek enerji verimliliğini artırmak için çözüm önerileri sunmaktadır [Baldi, 2016].

Anna Maria GALLI, Paola GUALENI, Giuseppe STRANIERI, Stefano QUALICH, Giovanni Cusano, (2014), tarafından “Enerji Verimliliği Perspektifinde RO-PAX Gemisinin Performans Değerlerinin İzlenmesi ve Analizi” kapsamında bir RO-PAX gemisinin değerleri alınarak izlenmiş ve analiz edilmiştir. Gemilerde enerji verimliliğinin artırılması için bir strateji ortaya konulmaya çalışılmış, özellikle gemi tiriminin enerji verimliliğine etkileri üzerinde durulmuştur [Galli et al., 2014].

Abdurrahman Nuri ÇİÇEK, (2009), “Bir Petrol Tankeri Buhar Güç Sisteminin Ekserji Analizi” kapsamında; 17 MW gücünde buhar tesisine sahip bir ham petrol tankeri için ekserji analizi Cycle-Tempo adındaki Delft Teknik Üniversitesi tarafından hazırlanan bir termodinamik analiz programı yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada geminin farklı çevre sıcaklıklarında ve farklı yüklerde çalışma şartlarında performansı gözden geçirilmiştir. İkinci Yasa analizi ile elde edilen sonuçlara göre ekserji kaybının % 61,44 ile en fazla kazanda gerçekleştiği görülmüştür. Tesisin ısı verimi % 38,56 olarak hesaplanmıştır [Çiçek, 2009].

Jakub CICHOWICZ, Gerasimos THEOTOKATOS, Dracos VASSALOS, (2015), tarafından “Gemi Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi için Dinamik Bir Enerji Modeli” çalışması kapsamında bir konteyner gemisinin dört farazi durum için enerji analizi yapılmıştır. Geminin farklı konfigürasyonlar, işletim profilleri, güzergahlar ve çevre koşullarına göre Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) hesaplanmıştır. Yapılan çalışma ayrıca performansa dayalı enerji verimliliği değerlendirilmesi ile gemi tasarımı ve işletimiyle ilgili metodolojiyi ortaya koymuştur [Cichowicz et al., 2015].

Marco ALTOSOLE, Massimo FIGARI, (2011), tarafından “Gemi Ana Tahrik Kontrol Sistemleri Tasarımı İçinde Gemi Makinelerinin Numerik Modellenmesi Basit Kullanışlı Metotlar” kapsamında gemi makinelerinden GE LM2500 gaz türbinli ve Wärtsilä W26XN dizel makinenin sayısal modeli yapılmıştır. Termodinamik modellerin genellikle uzun hesaplama süreci olduğundan basit simülasyon modelleri benimsenmesi tercih edilmiştir. Bu çalışmada, basit matematiksel yöntemlerle sadece motor gücü ve tork temsil edilerek sevk kontrol sistemlerinin hızlı bir prototipi yapılmıştır. Dizel motor, gaz türbini ve bir elektrik motoru ile ilgili bu özel modellerin doğrulama süreci, çalışma ve üreticilerinin verilerine dayanarak gösterilmiştir [Altosole and Figari, 2011].

Ali Atıl TALAY, Cengiz DENİZ, Yalçın DURMUŞOĞLU, (2014), tarafından “Gemilerde Verimi Artırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO₂ Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerinin Analizi” kapsamında, gemilerde enerji verimliliğini artıran ve buna bağlı olarak CO₂ emisyonlarını azaltan yöntemler incelenmiş olup, gemilerin tasarımlarında, operasyonlarında, seyir planları koordinasyonunda ve bakım-tutum işleri esnasında gemi tipine göre uygulanabilir yöntemler analiz edilmiştir. Her gemi tipine uygulanabilir bir yöntemin yakıt tüketimi ve CO₂ gazı emisyonları açısından aynı oranda etkiyi göstermediği belirlenmiştir. Uygulama için seçilecek yöntemler belirlenirken geminin tipinin yanı sıra gemi yaşı da göz önünde bulundurulmak zorunda olduğu görülmüştür. Gemilerde enerji verimliliğini artırmak için uygulanan operasyon ve bakım-tutum yöntemlerinden gemilerde yapılan tekne yüzeyi temizliğinin tankerlerde % 3 oranında yakıt tasarrufu sağladığı ve buna bağlı olarak CO₂ gazı emisyonlarını % 3 oranında azalttığı görülmüş, oysa bu oran konteyner tipi gemilerde % 2, Ro-Ro’larda % 2 ve feribotlarda % 2 oranında gerçekleştiği tespit edilmiştir [Talay vd., 2014].

Marco ALTOSOLE, Ugo CAMPORA, Michele MARTELLI, Massimo FIGARI, (2014), tarafından “Gemi Gaz Türbini Ana Tahrik Sisteminin Performans Azalma Analizi” kapsamında CODLAG sisteminin bir parçası olarak bir gaz türbini ile çalışan geminin performansı simüle edilerek sayısal analizi yapılmıştır. Tahrik sisteminin genel davranışı üzerinde temel bileşenlerden olan gaz türbini, pervaneler ve gemi gövdesinin, performans parametreleri (gemi hızı, motor gücü ve yakıt tüketimi) üzerindeki etkisinin yanı sıra gaz türbini kirlilik emisyonları açısından da analizi yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı olan gemi yönetimi ve bakım planlaması için yararlı bilgiler elde edilmiştir [Altosole et al., 2014].

3. GEMİ SİSTEMLERİNE GİRİŞ

Gemi içinde tüm sistemlerin seyir, emniyet, konfor ve yaşamsal ihtiyaçları karşılayabilecek kapasitede tasarımı yapılmıştır. Gemide kullanılan kimyasal, mekanik, kinetik, elektrik, pnömatik ve hidrolik enerji birbirlerine dönüştürülerek tüm sistemlerin idamesinin sağlanması ile etkin ve verimli kullanılmaya çalışılmıştır.

Enerji analizi yapılacak gemi genel karakteristik bilgileri Tablo 3.1’de sunulmuştur [Web 1, 2015].

Tablo 3.1: Gemi genel karakteristikleri.

Tam Boyu	138,08 m
Genişliği	14,32 m
Seyir Draftı	7,77 m
Deplasmanı	4100 ton
Yakıt Kapasite (F-76):	775925 lt
JP-5 Kapasite	79485 lt
Su Kapasitesi	33308 lt
Personel Sayısı	219 kişi
Hızı	30+ knots
Ana Tahrik Sistemi	2 Ad. GE LM2500 G/T 1 Şaft 41000 SHP (30.59MW)
Gemi Servis Dizel Jeneratörü	4 Ad. Detroit Diesel 16V149TI & Stewart Stevenson AC Generator

Gemi enerji sistemleri iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bunlar ana tahrik ve gemi elektrik sistemidir.

Ana tahrik sistemi, geminin su üstünde hareket etmesini sağlamak için kullanılan 20500 hp gücünde 2 adet General Electric LM2500 Gaz Türbini (G/T), 1 adet ana dişli kutusu (MRG), 1 adet şaft ve 1 adet pervane ve hatve kontrol (CPP) sisteminden oluşmaktadır [Web 2, 2015].

Gemi ana makinesinin, gaz türbini olması seyir hazırlıkları için kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Gemi 0’dan 30 knots sürata 43 saniye, tornistan 12-15 knot’tan 30 knots sürata ise 2 dakikadan az zamanda çıkabilmekte, 20 knots sürat kademesi ile yakıt bütünlemesi yapmadan 4500 deniz mili, 14 knots ile 5400 deniz mili yol alabilmektedir [Web 2, 2015].

Gemi elektrik sistemi, geminin her koşulda tüm elektrik yüklerini karşılamak için çalıştırılan dizel makine ile jeneratörden oluşmaktadır.

Yardımcı makine 4 adet turboşarjer ile modifiye edilmiş, 2 zamanlı, 4 adet Detroit Diesel markalı dizel motor (16V149TI) ile 1000 kW, 60 Hz, 450 Volt, 1600 Amper kapasiteli jeneratörden oluşmaktadır. Her yardımcı dizel bir tevzi tablosuna bağlıdır [Web 2, 2015].

Gemi elektrik sistemi, ana tahrik sistemi alt sistemlerinin de elektrik beslemesini de sağlamaktadır. Bunlar ana makine elektronik kontrol sistemi, yakıt sistemi, soğutma deniz suyu sistemleri, dişli kutusu yağlama yağı sistemi, hatve kontrol sistemleridir [Web 2, 2015].

Gemi elektrik sistemi geminin tüm elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Bunlar; dizel deniz suyu tulumbaları, ana yangın tulumbaları, yüksek ve alçak basınç hava kompresörleri, iklimlendirme (HVAC) sistemi, buz odaları sistemi, dümen ve fin sistemi, yakıt sistemi, seyir sistemleri, aydınlatma sistemi, aşhane (kazanlar, fritöz, fırın vb.), güverte eşizeleri (ırgat, vasıta metaforası vb.), yardımcı (çamaşır makinesi, kurutma makinesi, ütü vb.) eşizelerdir [Web 2, 2015].

3.1. Ana Tahrik Sistemi

Ana tahrik sistemi; 2 adet General Electric LM2500 gaz türbini (G/T), 1 adet ana dişli kutusu (MRG), 1 adet şaft ve 1 adet hatve kontrollü (CPP) pervaneden oluşmaktadır [Web 2, 2015].

Tam takatte gaz türbini son bölümü olan güç türbininden 3600 rpm olarak elde edilen devir ana dişli kutusunda 20:1 oranında düşürülerek 180 rpm'lik maksimum şaft devri elde edilir. Bu devirdeki şaft pervane aracılığıyla gemiye 41000 hp'lık bir itici kuvvet oluşturur. Tek gaz türbini ile 25 knots (20500 hp/146 rpm), iki gaz türbini devredeyken ise 30 knots (41000 hp/180 rpm) sürat yapılabilir [NAVSEA, 2000a].

Ana tahrik sisteminin genel görünümü ve enerji ilişkileri Şekil 3.1'de sunulmuştur [NAVSEA, 2000a].

3.1.1. GE LM2500 Gaz Türbinleri

Gemide 2 adet General Electric firmasına ait LM2500 gaz türbini kullanılmaktadır. LM2500 gaz türbini, turbo fanlı TF39 ve CF6-6 uçak türbinlerinden türetilmiştir [Web 3, 2015].

LM2500 gaz türbinlerine ait karakteristik özellikleri Tablo 3.2’de sunulmuştur [Web 3, 2015].

Tablo 3.2: GE LM2500 G/T karakteristik özellikleri.

Maksimum Güç	33,600 shp (25,060 kW)
Yakıt Sarfıyatı	373 lb/shp-sa (227 g/kW-sa)
Isı Oranı	6860 Btu/shp-sa 9705 kJ/kW-sa
Egzoz Gaz Akışı	155 lb/s (70.5 kg/s)
Egzoz Gaz Sıcaklığı	1051°F (566°C)
Güç Türbini Devir	3600 rpm
Termal Verim	%34-35

LM 2500 gaz türbini; basit saykılı, çift şaftlı, 16 kademeli kompresör 18:1 basınçlandırma oranlı, ilk 7 kanat ayarlanabilir sabit statorlu, dairesel yanma odalı, 30 yakıt nozullu, 2 ateşleme bujili, 2 kademeli yüksek basınç türbini (HPT), 6 kademeli alçak basınç türbini (LPT), yakıt ve yağlama yağı tulumbaları iştirakli, güç seviye aktüatörü (PLA), ana yakıt kontrol (MFC) ve değişken seviyeli kanat (VSV) ile hız ayarlama sistemi bulunmaktadır [Web 3, 2015].

Atmosferden emilen hava, dış hava alıcı ve nem emici filtrelerden geçtikten sonra gaz türbini kompresör hava emişine gelir. Kompresör yüksek hacimdeki havayı hızını artırarak sabit basınçta yanma odasına basar. Hava burada pulvarize motorin ile karışır ve iki adet yanma bujisi enerjilenerek yanma sağlanır. Bu yanmadan sonra çok hızla genişleyen hava önce kompresör kısmını tahrikleyen yüksek basınç türbini daha sonra ise, yüksek basınç türbini ile arasında mekanik bir bağlantı olmayan güç türbininin kanatlarını çevirir. Güç türbin şaftı dişli kutusu ile bağlantılı olup yanma odasında meydana gelen termal enerji mekanik enerjiye çevrilerek şaft döndürülür [NAVSEA, 2000a].

Gaz türbinleri için hesaplanan tork sınırı bir türbin 5203 kgm, iki türbin için türbin başına 4371 kgm'dir. Güç türbini hız sınırı ise türbin devri 3672 rpm'e

ulaştığında sınırlamaya başlayarak türbin hızını 3852 rpm'in altında tutmaktadır [NAVSEA, 2000a].

Gaz türbinleri otomatik; makine kontrol ve köprüüstünden: manuel olarak makine kontrol ve ana makine dairesinden kumanda edilerek çalıştırılabilir. Normal seyir şartlarında her 24 saatte bir değiştirilerek tek gaz türbini kullanılır [NAVSEA, 2000a].

Gaz türbinleri havalı starter yardımıyla çalıştırılmaktadır. Havalı starterin ihtiyacı olan yüksek debili hava; yüksek basınç hava tüplerinden, yardımcı dizellerin üzerinde bulunan start hava kompresörlerinden ve seyirde çalışan türbinin bleed havasından sağlanmaktadır [NAVSEA, 2000a].

Gaz türbinlerin alt sistemleri ise modül, hava emiş ve egzoz sistemi, yakıt sistemi, yağlama yağı sistemi, bleed hava sistemi olarak sayılabilir. [NAVSEA, 2000a]

3.1.1.1.Gaz Türbin Modülü

Ana makine dairesinde türbinler modül içlerinde bulunmaktadır. Modüller 32 adet şok emici ile sabitlenmiş olup yangın söndürme, havalandırma, emiş ve egzoz bölümlerinden oluşmaktadır. Türbin modülleri 15 dakika süre 1093°C (2000°F) derece sıcaklığa dayanabilecek şekilde tasarımı yapılmıştır. Modül havalandırma sistemi; modül soğutma fanı, hava damperinden oluşmaktadır. Modülün emiş bölümü, türbin hava emişi sağlanmakta ve türbin havasının yetersiz kaldığı 0,612 atm'den düşük basınçlarda açılan hava kanalları, hava emişinin temizlenmesini sağlayan demister filtreleri, giren havanın 5°C-% 70 nem oranından daha düşük sıcaklıkta devreye giren buzlanma önleyici sistemden oluşmaktadır [NAVSEA, 2004].

3.1.1.2.Gaz Türbini Yakıt Sistemi

LM2500 gaz türbinlerinde ana yakıt olarak motorin (F-76), ikincil olarak acil durumda gaz türbinini emniyetli bir şekilde stop edebilmek için helikopter yakıtı JP-5 (F-44) kullanılmaktadır [Web 2, 2015].

Gaz türbini motorin sistemi elemanları, birbirleri ile işbirlikli şekilde çalıştırılabilen iki adet 45 ton kapasiteli motorin servis tankı, iki adet motorin servis tulumbası, yakıtın ısıtılması için gemi yardımcı makinelerinin atık ısını kullanan iki ısı değiştirici, ikişer adet ön filtre, seperatör ve yakıt kesici valften oluşur. Gaz türbini modül içlerindeyse; ana motorin kontrol tulumbası, uzaktan kontrollü motorin kapama valfleri, yakıt manifoldları ve nozullar bulunmaktadır. Ana motorin kontrol (MFC) tulumbası güç seyyiye aktuatöründen (PLA) aldığı mekanik hareketle ve gaz türbini üzerinden aldığı değişken parametrelere göre motorin nozullarına gerekli miktarda motorini gönderir. Aynı zamanda gaz türbini devrinde olabilecek ani düşme ve yükselmeleri limitleme sensörleri vasıtasıyla gaz türbinine zarar vermeden gerçekleştirebilir. Hava giriş sıcaklığından aldığı değere göre soğuk havalarda nozullara daha az yakıt gitmesini sağlar [NAVSEA, 2000a].

Ayrıca gaz türbinini, gemi elektrik sisteminin kesilmesi durumunda açılan bir valf yardımıyla ana makine dairesinde bulunan bir tonluk JP-5 tankından yakıt beslemesi sağlanabilmektedir. Gaz türbini elektrik beslemesinin kesilmesi durumunda türbinin ani stop etmesi ile soğutma kesilmektedir. Bu sistem ile, yanma odasında devam eden yanma sonucunda sıcaklığın aniden yükselerek türbinde oluşabilecek zararların önlenmesi amaçlanmıştır [NAVSEA, 2000a].

3.1.1.3.Gaz Türbini Yağlama Yağı Sistemi

Gaz türbininde yağlama yağı (LOSCA) yüksek sıcaklıklarda yeterli yağ filmi oluşturabilme kapasitesine sahip MIL-L-23699 sentetik türbin yağı kullanılmaktadır. Oksijen ile temas ettiğinde çabuk okside olması, zehirli olması cilde ve göze temas etmesi sakıncalı bir yağdır [NAVSEA, 2000a].

Sistem elemanları, yağlama yağı besleme ve temizleme tulumbası, yağlama yağı sumpı, ısı değiştirici besleme ve temizleme filtreleri, kontrol valfleri, hava yağ ayırıştırıcıdır [NAVSEA, 2000a].

3.1.1.4.Bleed Hava Sistemi

Bleed havası, gaz türbininin kompresörün 16. kademesinden elde edilen sıkıştırılmış havadır. Bu havanın hacmi ve basıncı gaz jeneratörünün devrine göre

değişir. Bleed havası gaz türbinleri hava emiş kanallarındaki buzlanmayı önleme sistemi, maskeleme hava sistemlerini besler, devreye alınacak diğer gaz türbininin çalıştırma havasının temini için kullanılır. Her gaz türbini hava emişindeki buzlanmayı önlemek için kendi bleed havasını kullanmaktadır [NAVSEA, 2000a].

3.1.2. Ana Dişli Kutusu (MRG)

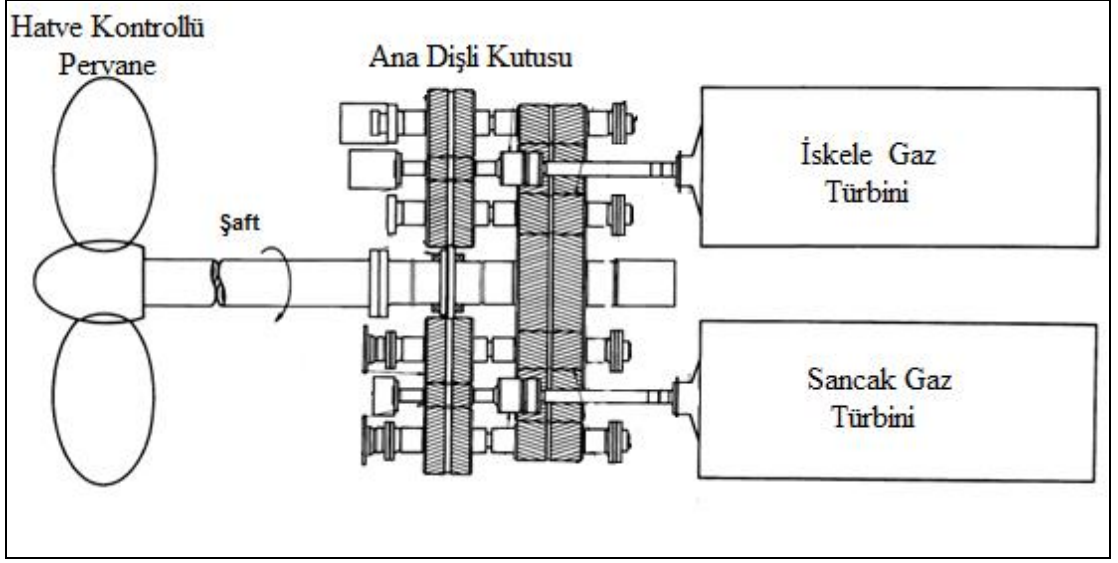
Ana dişli kutusunun amacı gaz türbini veya türbinlerinden aldığı yüksek hız düşük torku, düşük hız yüksek torka çıkartarak, gücü en verimli şekilde şaft ve pervaneye taşıyabilmektir. Dişli kutusunun hız oranı 20/1 olup güç türbinin 30 knots sürat kademesindeki maksimum devri olan 3600 rpm devri 180 rpm'e düşürmektedir [NAVSEA, 2000a].

Acil durumlarda şaftı durdurmak için kullanılan şaft freni, şaft devri 110 Rpm üzerindeyken elektrik tulumbasını devreden çıkartabilecek basınca ulaşarak hatve kontrol sistemini besleyen hidrolik tulumba, şaftın saatte 5 devir döndürme kapasiteli tornaçak motoru ile türbinlerin tek ve çift olarak dişli kutusuna bağlanmasını sağlayan kendinden kavramalı (SSS) glaçlar dişli kutusunun üzerine bulunmaktadır. Kendinden kavramalı glaç tamamen otomatik olarak çalışarak, güç türbin şaftının hızı, dişli kutusunun ilk düşürücü şaftının hızından fazla olunca devreye girer [NAVSEA, 2000a].

Ana dişli kutusunun yağlama ve soğutulması iki adet yağlama yağı tulumbası ile yapılmakta olup elektrik kesilmesi gibi acil durumlarda şaftın ve türbinlerin emniyetli şekilde durdurulmalarını sağlamak için havalı yağlama yağı tulumbası adı verilen yüksek basınç havası ile çalışan bir tulumba sistemde emniyet olarak bulunmaktadır. Bu tulumbaların bastığı yağ dişli kutusunu, trast yatağını, torna çark dişlisini, gaz türbini glaçlarını yağladığı gibi gaz türbini yağlama yağının soğutulmasını da sağlar. Yağlama yağı soğutulması iki adet deniz suyu tulumbası ve iki adet ısı değiştirici ile yapılır. Deniz suyu dişli kutusu yağlama yağını, dişli kutusu yağlama yağı gaz türbini yağlama yağını soğutur [NAVSEA, 2000a].

3.1.3. Ana Şaft

Ana tahrik sisteminin dişli kutusundan pervane göbeğine kadar olan güç aktarımı ana şaft ile yapılır [NAVSEA, 2000a].



Şekil 3.2:G/T modül-ana dişli kutusu-şaft-pervane.

Ana şaftın toplam uzunluğu 28,6 metredir. Teleskobik şekilde tasarımı yapılmıştır. Kademe kademe çapı genişlemektedir. 1. kademe ana dişli kutusundan şaft yatağının çıkışına kadar, 2. kademe şaft yatağının çıkışından stern tüp yatağının çıkışına kadar, 3. kademe buradan pervane göbeğine kadar uzanır. Şaft içinde kontrol valf rodu ve onun içinde maskeleme havası tüpü vardır. Şaft 7° derecelik bir eğim ile gemi bünyesinden çıkmakta olup palamar ile şaft yatağı, stern tüp ve pervaneye en yakın kısımda bir a-braket yatağı tarafından yataklanmaktadır [NAVSEA, 2000a].

3.1.4. Hatve Kontrol Sistemi (CPP)

Hatve kontrol sisteminin (CPP) ana elemanları 1 adedi elektrikli, 1 adedi ana dişli kutusundan hareket alan olmak üzere 2 adet hidrolik yağ besleme tulumbası, hidrolik yağı güç modülü (HOPM), yağ dağıtım kutusu (O.D.Box), pervane içinde bulunan valf kontrol rotu ve pervane hubı ile beş adet kanattan oluşur. Tulumbalardan temin edilen hidrolik yağı güç modülünden geçerek yağ dağıtım kutusuna gelir. Yağ dağıtım kutusunda bulunan elektro hidrolik valf, verilen komutlara göre pervane kanatlarına kontrol valf rotu vasıtasıyla gerekli basınçta hidrolik yağını göndererek kanatların açısını ayarlar [NAVSEA, 2000a].

Hatve kontrol sistemi elektrikli hidrolik tulumbası şaft 105-110 rpm'de stop eder, dişli kutusu dişlilerinden hareket alan mekanik hidrolik tulumba devreye girer ve aynı sistemi kullanarak devreyi besler [NAVSEA, 2000a].

Pervane üzerinde bulunan 5 adet hatve kontrollü kanat mevcuttur. Pervane kanat çapı 502,92 cm'dir [NAVSEA, 2000a].

3.2. Gemi Elektrik Sistemi

3.2.1. Gemi Servis Dizel Jeneratörü

Gemi servis dizel jeneratörleri, Detroit Diesel markalı (16V149TI), 16 silindirli, V tipi bloklu, 149 inch³ stroklu, 4 adet turboşarjer ile modifiye edilmiş, 2 zamanlı, içten yanmalı, 16:1 sıkıştırma oranına, 1800 rpm devirli ve maksimum 1600 hp gücüne sahiptir. Her bir jeneratör 440 VAC, 60 Hz, 1000 kW, 1605 Amper 0.8 güç faktörlü elektrik üretim kapasitesine sahiptir [NAVSEA, 2000b].

Her dizelin kendine ait termal ve akustik izoleli bir modülü mevcuttur. Modüller içinde dizellere ait motorin ve yağlama yağı tankları, halon yangın koruma sistemi ve start hava tüpleri bulunmaktadır. 2 ve 4 no.lu dizelerde gaz türbinini start etmek için kullanılan birer adet hava kompresörü bağlıdır [NAVSEA, 2000b].

Dizellerin yakıt beslemesi; bir yakıt tankından krank şaft tahrikli tulumba yardımı ile yapılmaktadır. Dizelerde yakıt olarak motorin (F-76) kullanılmaktadır. Motorin sistemi tank, yakıt straynerleri, yakıt tulumbası, yakıt filtreleri ve enjektörlerden oluşmaktadır [NAVSEA, 2000b].

Dizelerde yağlama yağı olarak SAE-40 kullanılmakta olup yağlama yağı sistemi içinde tank, pozitif deplasmanlı dişli tip, krankşaft tahrikli yağlama yağı tulumbası, filtreler, ısı değiştirici ve straynerlerden oluşmaktadır. Ayrıca dizellerin, çalıştırılmadan önce tüm hareketli parçaların yağlanması amacıyla elektrikli ön yağlama yağı tulumbası bulunmaktadır [NAVSEA, 2000b].

Dizeller havalı starter ile ilk hareket alırlar. Bu hava geminin yüksek basınç hava sisteminden düşürücü redüser vasıtasıyla elde edilir [NAVSEA, 2000b].

Her yardımcı makine kendisine ait bir kinistin, motor kontrollü emiş ve çıkış valfleri, elektrikli bir deniz suyu tulumbası, deniz suyu strayneri, ve ısı değiştiricilerden oluşan bağımsız bir deniz suyu soğutma sistemine sahiptir. Sistemde, start hava kompresörü yağlama yağı, jeneratör hava, motorin geri dönüş ve ceket suyu ısı değiştiricileri soğutma maksatlı kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000b].

Dizelin silindir blok, kaverler ve yağlama yağının soğutulması ceket suyu sistemi tarafından sağlanır. Sistemde, krank şaft tahrikli sentrifugal bir ceket suyu

tulumbası ile yağlama yağı, atık ısı, ceket suyu ısı değıştiricilerini besleyen elektrikli, deniz suyu tulumbası bulunmaktadır. Ayrıca sistemde bulunan 3 yollu valf vasıtasıyla dizelin ısısı atık ısı sistemine geçirilerek gemide diğeri sistemlerdeki ısı ihtiyacını karşılamaktadır [NAVSEA, 2000b].

3.2.1.1.Atık Isı Sistemi

Atık ısı sistemi, gemiye çeşitli maksatlar için kullanmak üzere ısı kaynağı oluşturur. Isı değıştiriciler yardımıyla motorin transfer ve servis hiterleri, yağlama yağı purifayer hiteri, sıcak su tankı hiteri ile evaporatör su arıtma sistemi beslenmektedir. Kapalı bir sistem olan atık ısı sisteminin her dizelde bir adet olmak üzere toplam dört adet atık ısı devir daim tulumbası mevcuttur [NAVSEA, 2000b].

3.2.1.2.Tevzi Tabloları

Her dizel jeneratör bir ana devre kırıcı şalter vasıtasıyla bir tevzi tablosuna bağlıdır. Her tevzi tablosunda bulunan şalterler ile panellerin, panellerde bulunan şalterler ile cihazların elektrik beslemeleri sağlanmaktadır. Her bir jeneratör ve tevzi tablosuna makina kontrol dairesinde bulunan elektrik kontrol konsolu (EPCC) sayesinde kumanda edilip, her bir jeneratör ayrı ayrı ve paralele alınarak gemiyi beslenebilmektedir. Dizelin elektro-hidrolik gavernör sistemi, dar frekans ayarlamasını çeşitli yük koşullarında 60 Hz olacak şekilde otomatik olarak korumaktadır. Seyir durumunda normal şartlar altında iki dizel jeneratör, manevra durumunda yardımcı tahrik üniteleri (APU) kullanılması gerektiğinden üçüncü dizelinde paralele alınması gerekmektedir [NAVSEA, 2000b].

Gemide hayati önem taşıyan sistemlerin (Ör: Dümen motoru, Cayro vs.) otomatik bus transfer (ABT) yardımıyla, hayati önem taşımayan sistemler (Ör.:Fanlar) ise manual bus transfer (MBT) yardımıyla ana ve yedek beslemesi tevzi tablolarından sağlanabilir. Tevzi tablolarında herhangi bir arıza olup sistem hiçbir şekilde ana ve yedek beslemeden elektrik alamaması durumunda hayati önem taşıyan sistemlerin arıza kuvvet devresi olarak adlandırılan seyyar elektrik beslemesi ile sağlanabilir [NAVSEA, 2007b], [NAVSEA, 2007c].

Gemide üretilen 450V/60 Hz genel elektrik sisteminin temelini oluştursa da bazı cihazların ihtiyacı olan çeşitli voltaj ve frekanslara çevrilmektedir. Bunlardan en önemlisi ana cayro ve seyir yardımcılarının elektrik beslemelerinde kullanılan 440V/400Hz için üç adet 150 kW'lık statik konvertör bulunmaktadır. Ayrıca gemi voltajı trafolarla; 110V/60 Hz, 220V/60 Hz gibi voltajlara çevrilerek çeşitli cihazlarda kullanılmaktadır [NAVSEA, 2007c].

3.2.2. Basınçlı Hava Sistemi

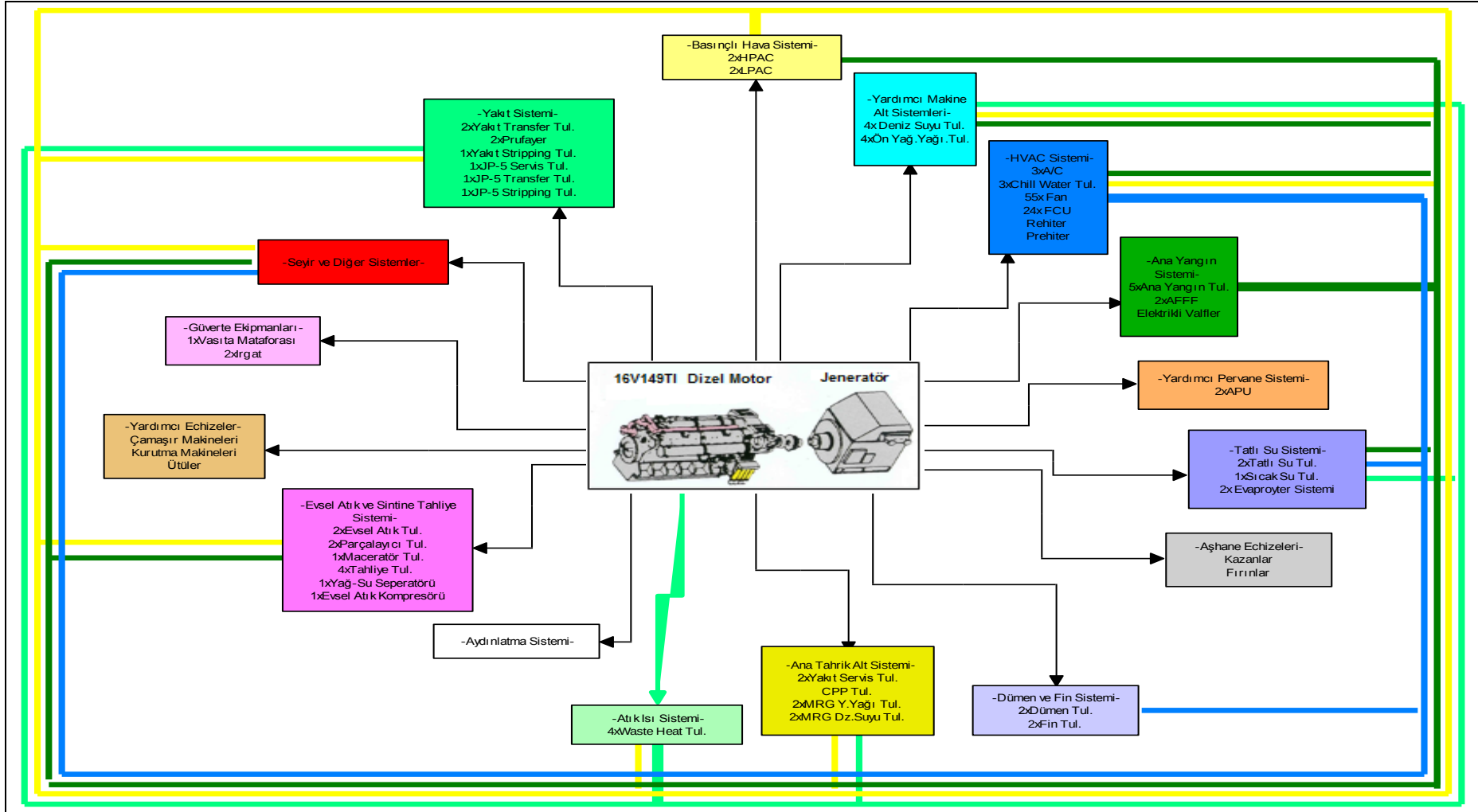
Sistem alçak ve yüksek basınç hava sistemi olarak ikiye ayrılır. Alçak basınç hava sistemi iki adet dişli tip kompresör ile yüksek basınç hava sistemi iki adet pistonlu tip kompresör ile beslenir [NAVSEA, 2000b].

3.2.2.1. Alçak Basınç Hava Sistemi

Alçak basınç hava sistemi muhtelif amaçlarla ihtiyaç duyulan 13 bar'lık servis havasını beslerler. Servis havası; sistem kontrol valfleri, sıcaklık ve basınç regülatör valfleri, gaz türbini havalandırma damperi açma kapama valfleri, gaz türbini güç türbin frenleri, maskeleme hava akış kontrol valfleri, buzlanmayı önleme ve start hava regülatör valfleri, seyir ve elektronik cihazlar, gemi düdüğü vb. yerlerde kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000c].

3.2.2.2.Yüksek Basınç Hava Sistemi

Yüksek basınç hava sistemi gemiye yağdan arındırılmış 200 bar'lık kuru hava sağlar. Bu hava, şaft freninde, gaz türbini ve yardımcı makineleri hava şişeleri ile çalıştırmakta, helikopter servisinde, ana dişli kutusu havalı yağlama yağı tulumbasında ve ihtiyaç olduğunda alçak basınç hava sistemini beslemekte kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000c].



Şekil 3.3:Gemi elektrik sistemi enerji dağılımı.

3.2.3. Tatlı Su Sistemi

Gemide tatlı su sistemi; deniz suyundan tatlı su üretmek için kullanılan 15,14 ton/gün kapasiteli iki adet evaporatör, iki adet eva deniz suyu tulumbası, iki adet eva damıtık su tulumbası, iki adet damıtık su transfer tulumbası, dört adet 33308 lt kapasiteli tatlı su tankı, iki adet tatlı su transfer tulumbası, bir adet sıcak su devir daim tulumbası, bir adet sıcak su tankından oluşmaktadır [NAVSEA, 2000c].

Evaporatörlerde; atık ısı sisteminden alınan sıcak su ile buharlaştırılan deniz suyu, deniz suyu ısı değiştiricisinden geçirilerek yoğunlaştırılır, sterilize hiterden geçirilerek ısı değiştiricide soğutulur ve tuzluluk indikatöründen ve brominatör kartuşlarından geçirilerek uygun evsaftaysa tatlı su tanklarına alınır. Bromin kartuşları bakteri öldürücü ve mineral ekleyici özelliktedir [NAVSEA, 2000c].

Geminin tatlı su ihtiyacı ise bu tanklardan çekilen su gemi bünyesine tatlı su tulumbarları ile verilir. Sıcak su ise atık ısı sistemi tarafından ısıtılan sıcak su tankından gemi bünyesine dağıtılır [NAVSEA, 2000c].

Ayrıca üretilen bu tatlı su gemide gaz türbinin yıkanmasında, dizeller, iklimlendirme sisteminde, hava kompresörlerinde vb. soğutma suyu olarak kullanılır [NAVSEA, 2000c].

3.2.4. Ana Yangın Sistemi

Gemide ana yangın sistemini besleyen 10 bar'lık, 3,785 ton/dk kapasiteli beş adet sentrifungal ana yangın tulumbası mevcuttur. Ana yangın sistemi geminin yangın ve selbastı ihtiyaçlarının dışında sistemlerin soğutma yüklerini de karşılamaktadır. Bu kapsamda; evsel atık sistemi, buz odaları, hava koşullandırma sistemi, alçak ve yüksek basınç kompresörleri, gaz türbini bleed hava sistemi ve dizel acil deniz suyu beslemesinde, balast ve tahliye sistemlerinde kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000c].

Ayrıca sistem içinde akaryakıt yangınlarında kullanılmak üzere iki adet fom istasyonu bulunmakta olup iki adet fom karıştırıcı tulumba ve fom tankından oluşmaktadır [NAVSEA, 2000c].

3.2.5. Yakıt ve Balast Sistemi

Gemi yakıt sistemi kendi içinde motorin ve JP-5 sistemi olarak ikiye ayrılmaktadır [NAVSEA, 2000a].

Motorin (F-76) gemide ana yakıt olarak kullanılmaktadır. Motorin sisteminde; on dört adet depolama sarnıcı, iki adet ana servis sarnıcı, altı adet yardımcı servis sarnıcı, iki adet motorin transfer tulumbası, iki adet motorin prufayeri, bir adet motorin dip (stripping) tulumbası, iki adet motorin servis hiterleri bulunmaktadır [NAVSEA, 2000a].

Gemide JP-5 helikopter yakıtı olarak kullanılmaktadır. JP-5 sisteminde: iki adet JP-5 depolama, iki adet JP-5 servis sarnıcı, bir adet G/T emercensi JP-5 sarnıcı, birer adet JP-5 transfer, servis ve dip (stripping) tulumbası ile seperatör bulunmaktadır [NAVSEA, 2000a].

Balast sisteminde dört adet sarnıç bulunmakta olup ana yangın devresinden doldurulmakta tahliye sistemi bünyesinde bulunan idaktörler ile boşaltılabilmektedir. Balast sarnıçları, geminin stabilizesinde ve meyilinde oluşabilecek zafiyetleri gidermek için kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000a].

3.2.6. Dümen ve Fin Sistemi

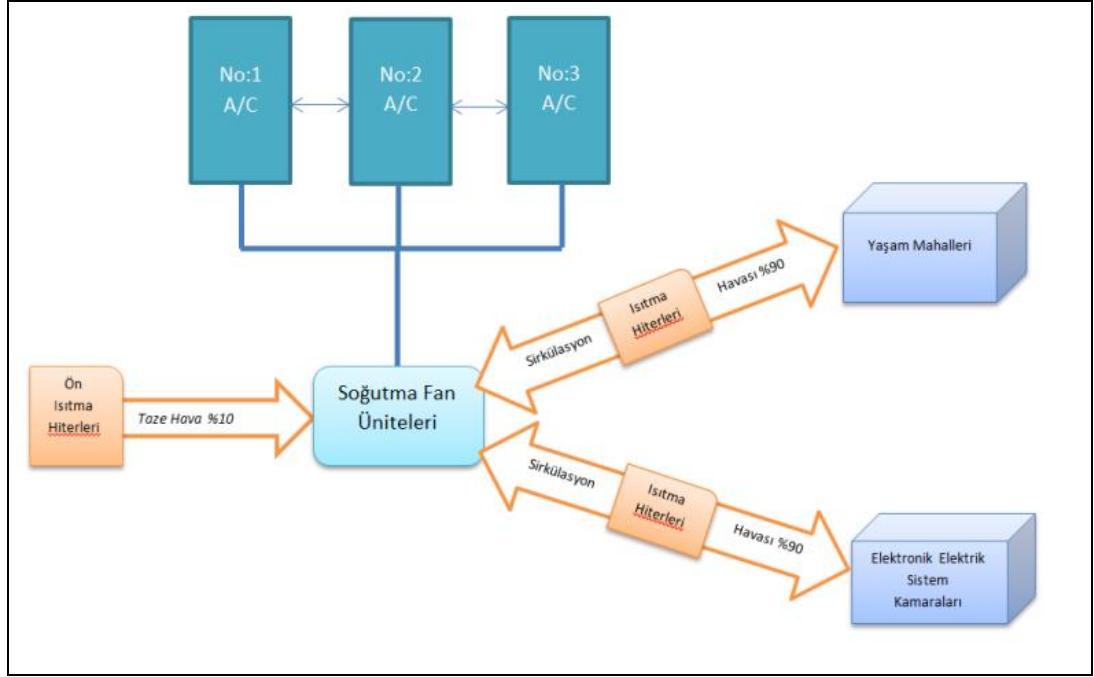
Gemide elektrikli hidrolik olarak dümen ve fin sistemi bulunmaktadır.

Dümen sistemi; iki adet dümen hidrolik yağ tulumbası, hidrolik sistemi ve pervanenin padıl etkisini azaltmak için geminin omurga hattının yaklaşık 46 cm sancağına monte edilmiş bir adet dümen yelpazesinden oluşmaktadır. Dümen sistemine köprüüstü ve yeke dairesinden kumanda edilebilmektedir. Dümen sistemindeki hidrolik yağın soğutulması iklimlendirme sisteminden sağlanan soğutulmuş su ile yapılmaktadır [NAVSEA, 2000b].

Fin sistemi geminin yalpa etkisini azaltmak için tasarımlanmış bir sistemdir. Sancak ve iskele finler birbiriyle senkronize olarak çalışmaktadır. Sistemde iki adet fin hidrolik tulumbası, hidrolik sistemi ve fin kanatları bulunmaktadır. Fin hidrolik yağının soğutulması borda sacına iştirakli tanklar ile sağlanmakta olup borda sacı ısı değiştirici olarak kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000b].

3.2.7. İklimlendirme (HVAC) Sistemi

Gemi iklimlendirme sistemi; personelin konforu ve verimliliği, elektronik/elektrik cihazların çalışması için kabul edilebilir bir ortam ile makine daireleri, aşhane gibi kompartımanlarda çıkabilecek yangın durumunda ısı ve dumanın dışarı atılmasını sağlamak üzere tasarımı yapılmıştır [NAVSEA, 1980].



Şekil 3.4: Kompartıman soğutma fan üniteleri.

Gemide tüm kompartımanların havalandırılması 51 adet basıcı ve emici fan yardımıyla sağlanmaktadır. Sistemde, toplam debisi $58,94 \text{ m}^3/\text{s}$, motor gücü 77,16 kW olan 27 adet basıcı fan; toplam debisi $58,94 \text{ m}^3/\text{s}$, motor gücü ise 77,11 kW olan 24 adet emici fan bulunmaktadır [NAVSEA, 1980], [NAVSEA, 2007c].

Gemide iklimlendirme sistemi bünyesinde 80 ton soğutma kapasiteli üç adet kompresör (A/C) bulunmakta ve soğutucu gaz olarak R134A soğutucu akışkanı kullanılmaktadır. Sistemde, soğutucu akışkan ısı değiştiricide tatlı suyu soğutmakta, soğutulan tatlı su soğutma suyu tulumbasıyla tüm soğutma fan üniteleri beslenmektedir. Sistemde toplam soğutma kapasitesi $797,8 \text{ kJ/s}$, fan debisi $33,72 \text{ m}^3/\text{s}$, motor gücü 58,52 kW olan 27 adet soğutma fan ünitesi bulunmaktadır [NAVSEA, 2000b].

Sistem üzerinde havanın ısıtılması için elektrikli hiterler bulunmaktadır. Kış aylarında dış hava sıcaklığının 4,4°C altına inmesi durumunda devreye alınan basıncı fan devrelerinin üzerinde bulunan 17 adet toplam 642,75 kW kapasiteli ön ısıtma hiteri (Prehiter) mevcuttur. Kompartımanların sıcaklığının 4,4-32,2°C aralığında ayarlanmasının sağlayan termostatlara bağlı olarak devreye girip-çıkan 66 adet toplam 255,9 kW kapasiteli ısıtma hiterleri (rehiter) sistem içinde bulunmaktadır [NAVSEA, 1980] [NAVSEA, 2007c].

3.2.8. Evsel Atık ve Tahliye Sistemi

Evsel atık sisteminde tuvaletler, banyolar ve lavabolardan gelen tüm giderler 2 adet parçalayıcıdan geçerek 10 ton kapasiteli evsel atık tankına gelmektedir. Bu tankta 2 adet tulumba yardımıyla sahile ve uygun koşullarda denize basılabilmektedir. Sistemin içinde ayrıca tankın havalandırmasını sağlayan blover cihazı bulunmaktadır. Blover katı parçaların dibe çökmesini önleyerek dışarı atılmasını sağlar. Gemi tuvalet sisteminde ana yangın sisteminden basıncı 3 bar'a düşüren redüserler vasıtasıyla deniz suyu kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000c].

Tahliye sisteminde sintinelerin boşaltılması ve toplanan sintine suyunun yağdan arındırılması amaçlanmaktadır. Makine dairelerinde bulunan toplama tanklarından iki adet sintine tahliye tulumbası ile sintineler bekleme tanklarına alınmakta buradan yağ su ayırıcı yardımıyla içinde bulunan petrol atıkları seviyesi 15 ppm altına düşürülerek denize basılmaktadır. Ayrıştırılan petrol atıkları ise ayrı bir tanka alınarak limanda devreler veya şatlar ile atık yağ istasyonlarına verilmektedir. Gemide, ayrıca acil durumlarda sintinelerdeki suyu boşaltmak için ana yangın sisteminden beslenen 8 adet tahliye idaktörü bulunmaktadır [NAVSEA, 2000c].

3.2.9. Buz Odaları Sistemi

Gemide bir adet et odası, iki adet sebze odası vardır. Odaların soğutma ihtiyaçları 1,1 ton soğutma kapasiteli kompresör yardımıyla yapılmakta olup her odanın sıcaklığı farklıdır. Et odasının sıcaklığı -18°C, sebze odalarının ise 0°C-4°C kullanılmaktadır [NAVSEA, 2000c].

3.2.10. Yardımcı Tahrik Üniteleri - İtçiler (APU)

Yardımcı tahrik üniteleri, sabit süratli 325 hp gücünde elektrik motoruna bağlı pervanelerdir. Köprü üstünün tam altında, sancak ve iskele olarak iki adet monte edilmiştir. Ana makine arızası olduğu takdirde gemiyi limana getirmek ve alçak süratle icra edilen her türlü gemi manevrasına yardımcı olabilecek şekilde tasarımı yapılmıştır. İtçiler, gemiye 4 ila 5 knots sürat yaptırma ve 360 derece dönebilme kabiliyetine sahiptir [NAVSEA, 2000a].

3.2.11. Aydınlatma Sistemi

Gemi 440 volt elektriği trafolardan geçilerek 110 volta düşürülerek baş ve kıç aydınlatma panelleri yardımıyla tüm geminin aydınlatma ve prizlerinin elektrik beslemesi sağlanmaktadır. Ayrıca sistem içinde gemi elektrik sistemin kesilmesi durumunda otomatik devreye giren emercensi aydınlatma tertibatı da mevcuttur [NAVSEA, 2000b].

3.2.12. Seyir ve Diğer sistemler

Geminin emniyetli seyir yapmasını sağlamak için kullanılan cihazlardır. Seyir radarı, GPS, iskandil, hava radarı, su üstü radarı ve bunların alt ekipmanlarından oluşmaktadır.

3.2.13. Aşhane Eçhizeleri

Aşhane, gemide yaşayan personelin yemek ihtiyaçlarını karşılamak için kurulmuştur. Fırın, kazan, pleyt, derin yağ tavası, benmari, patates soyma, hamur karma makineleri gibi endüstriyel mutfak eçhizeleri bulunmaktadır. Aşhane içinde ayrıca bulaşikhane bulunmakta olup bulaşık makinesi ve çöp öğütme makinesi bulunmaktadır [NAVSEA, 2007c].

3.2.14. Güverte Eçhizeleri

Gemi vasıtasının indirilmesi ve yerine alınıp deniz bağına alınması maksadıyla kullanılan vasıta metaforası ve gemi halat manevrasında kullanılan baş ve kık üstünde bulunan ırgatlardan oluşmaktadır [NAVSEA, 2007c].

3.2.15. Yardımcı Eçhizeler

Geminin  amaşırhane ve b felerinde bulunan e hizelerdir.  amaşırhane  amaşır, kurutma makineleri ve  t ler; büfelerde pleyt, buzdolapları ve küçük ev aletleri bunlar arasındadır [NAVSEA, 2007c].

4. GEMİ SİSTEMLERİ ENERJİ MODELİ

Gemi sistemlerinin; ana tahrik sistemi içinde gaz türbinlerinin, gemi elektrik sistemi ve elektrik alt sistemlerinden iklimlendirme (HVAC) sisteminin Matlab/Simulink programı kullanılarak modellenmesi yapılmıştır.

Sistem/cihazların devreye alınması ve çıkartılmasındaki en belirleyici parametreler, geminin kullanım konseptine göre içinde bulunduğu koşullar, bulunulan bölgeye ait mevsimsel hava ve deniz suyu sıcaklıkları, seyir durumunda uygulanan sürat kademesi olarak değerlendirilmiştir.

Geminin bulunulan bölgeye ait mevsimsel hava ve deniz suyu sıcaklıkları ile süratinden kaynaklı en fazla yük girdi ve çıktıların olduğu elektrik alt sistemlerinden iklimlendirme (HVAC) sisteminin ayrıntılı olarak modellenmesi yapılmıştır.

Gemi sistemleri kullanım konseptine göre temel olarak dört koşul esas alınmıştır. Bunlar geminin limanda, demirde, manevra yerlerinde ve seyirde bulunduğu koşullardır.

Gemi liman pozisyonunda bulunurken elektrik sistemi ve alt birimleri ile iklimlendirme (HVAC) sistemi devreye alınmaktadır.

Gemi demir pozisyonunda, liman pozisyonuna ek olarak geminin demir tarayıp taramadığının kontrolleri maksadıyla 400 Hz konvertörlerin beslediği seyir sistemleri ile demirin kontrolü maksadıyla baş ırgat sistemi devreye alınmaktadır.

Gemi manevra pozisyonunda ise genel kullanım itibarıyla emniyet maksadıyla iki gaz türbini, yardımcı tahrik üniteleri-iticiler, yardımcı tahrik ünitelerinin yük durumunu kaldırabilmek maksadıyla üç yardımcı dizel jeneratör ve halat manevralarının karşılanabilmesi maksadıyla baş ve kık ırgatlar devreye alınmaktadır.

Gemi seyirde bulunduğu sürece ise manevra için devreye alınan cihazlar dışındaki tüm cihaz ve sistemler devreye alınmaktadır.

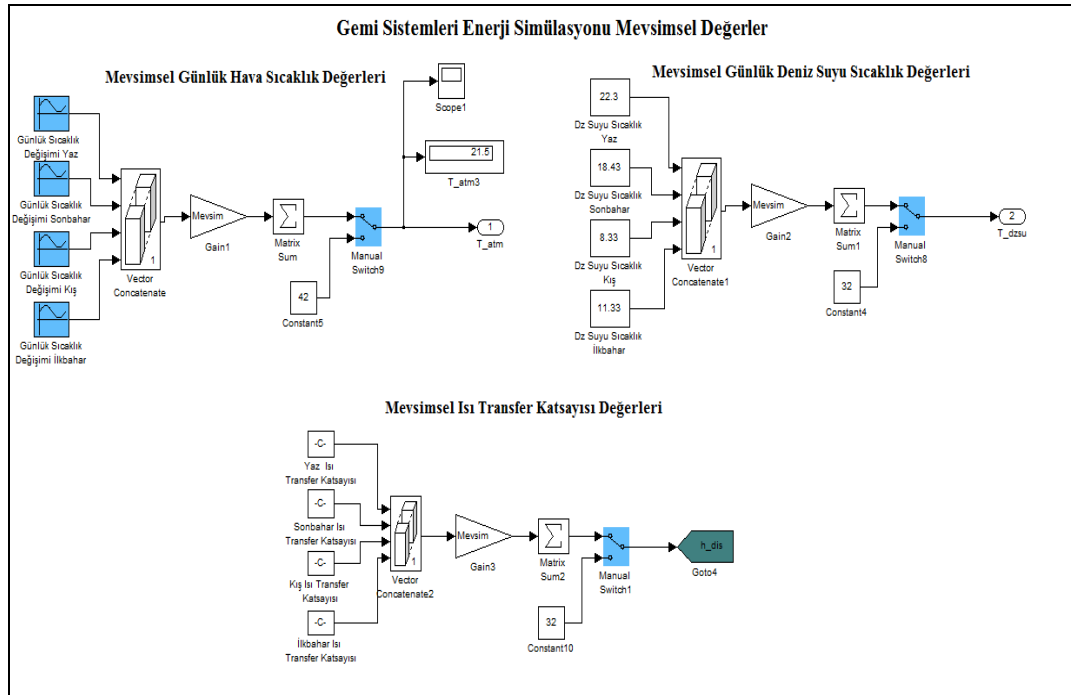
Simülasyonda başlangıç değerleri olarak geminin içinde bulunduğu koşul ve mevsim girdileri [1x4] matris formatında, gemi sürati, çalışan dizel sayısı ve gaz türbin sayıları File/Model Properties/Callback/InitFcn içine yazılarak kullanılmıştır. Geminin içinde bulunduğu koşul ve mevsime ilişkin kullanılan matrisler Tablo 4.1'de sunulmuştur.

Tablo 4.1: Koşul ve mevsim matris değerleri.

Koşul	Kullanılan Matris	Mevsim	Kullanılan Matris
Liman	[1;0;0;0]	Yaz	[1;0;0;0]
Demir	[0;1;0;0]	Sonbahar	[0;1;0;0]
Manevra	[0;0;1;0]	Kış	[0;0;1;0]
Seyir	[0;0;0;1]	İlkbahar	[0;0;0;1]

Mevsimsel sıcaklık değişimleri için İstanbul iline ait mevsim hava sıcaklık ortalamaları, deniz suyu sıcaklıkları için ise Marmara Denizi ortalamaları kullanılmıştır [Web 4, 2017], [Taştan ve Kılılı, 2016]. Günlük hava sıcaklık değişimleri gerçeğe uygunluğunu artırmak için sinüs dalgası ile modellenmiştir.

Mevsimsel ısı transfer katsayılarında 2013 ASHRAE dokümanından alınmış olup yaz ayı için rüzgar hızı 12 km/saat (6,48 knots), kış ayı için 24 km/saat (12,96 knots) olarak kabul edilmiştir [ASHRAE, 2013]. Bahar mevsimleri için yaz ve kış aylarının ortalaması ısı transfer katsayısı olarak alınmıştır.



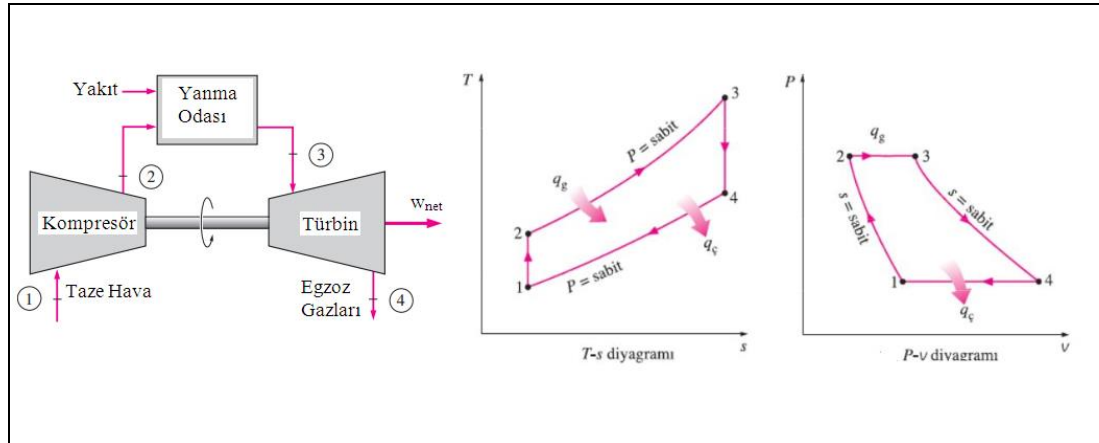
Şekil 4.1: Mevsimsel hava ve deniz suyu sıcaklıkları, ısı transfer katsayısı değerleri alt sistem bloğu.

Tablo 4.2: Mevsimsel değerler.

Mevsim	Hava Sıcaklığı (°C)	Deniz Suyu Sıcaklığı (°C)	Isı Transfer Katsayısı (W/m ² .K)
Yaz	21,5±4,5	22,3	22,7
Sonbahar	15,6±3,5	18,43	28,35
Kış	6±2,7	8,33	34
İlkbahar	11,5±4	11,33	28,35

4.1. Ana Tahrik Sistemi Gaz Türbinleri Modellenmesi

Gemide ana tahrik sistemi üzerinde kullanılan GE LM2500 gaz türbinleri analizi Brayton çevrimine göre yapılmıştır.

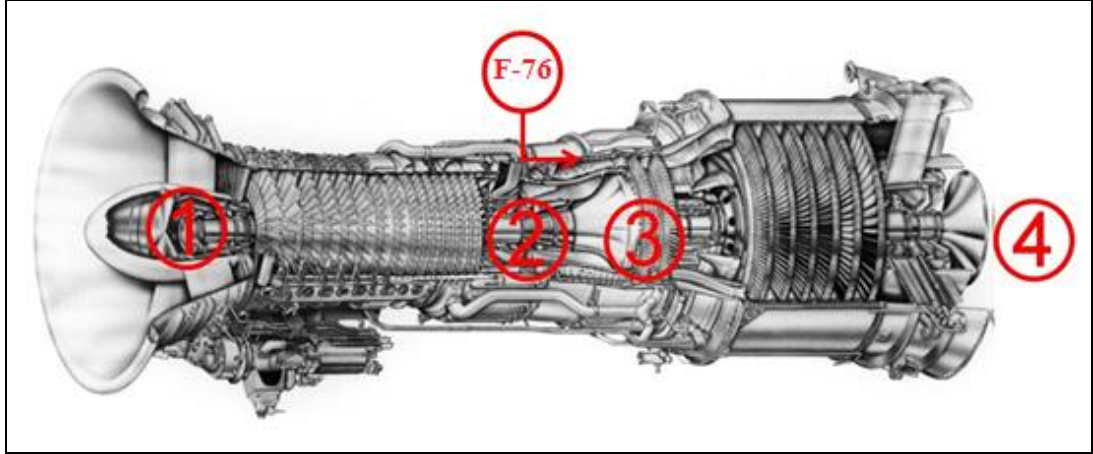


Şekil 4.2: Açık çevrime göre çalışan gaz türbini ile Brayton T-s ve P-v diyagramları.

Brayton çevriminde kompresörde izantropik olarak sıkıştırılan taze hava, yanma odasında sabit basınçta yakıt ile karıştırılarak yanmakta, türbinde izantropik olarak çevre basıncına genişleyen yanma gazlarından iş üretilmekte, türbin çıkışında sabit basınçta ısı çıkışı gerçekleşerek egzoz gazları atmosfere atılmaktadır [Çengel and Boles, 2011].

Açık çevrime göre çalışan gaz türbini ile Brayton T-s ve P-v diyagramları Şekil 4.2’de sunulmuştur [Çengel and Boles, 2011].

LM2500 gaz türbininde Brayton çevrimi için alınan hal noktaları Şekil 4.3’te sunulmuştur [Web 3, 2015].



Şekil 4.3: GE LM2500 gaz türbini brayton çevrimi hal noktaları.

4.1.1. Yakıtın Kimyasal Yanma Analizi

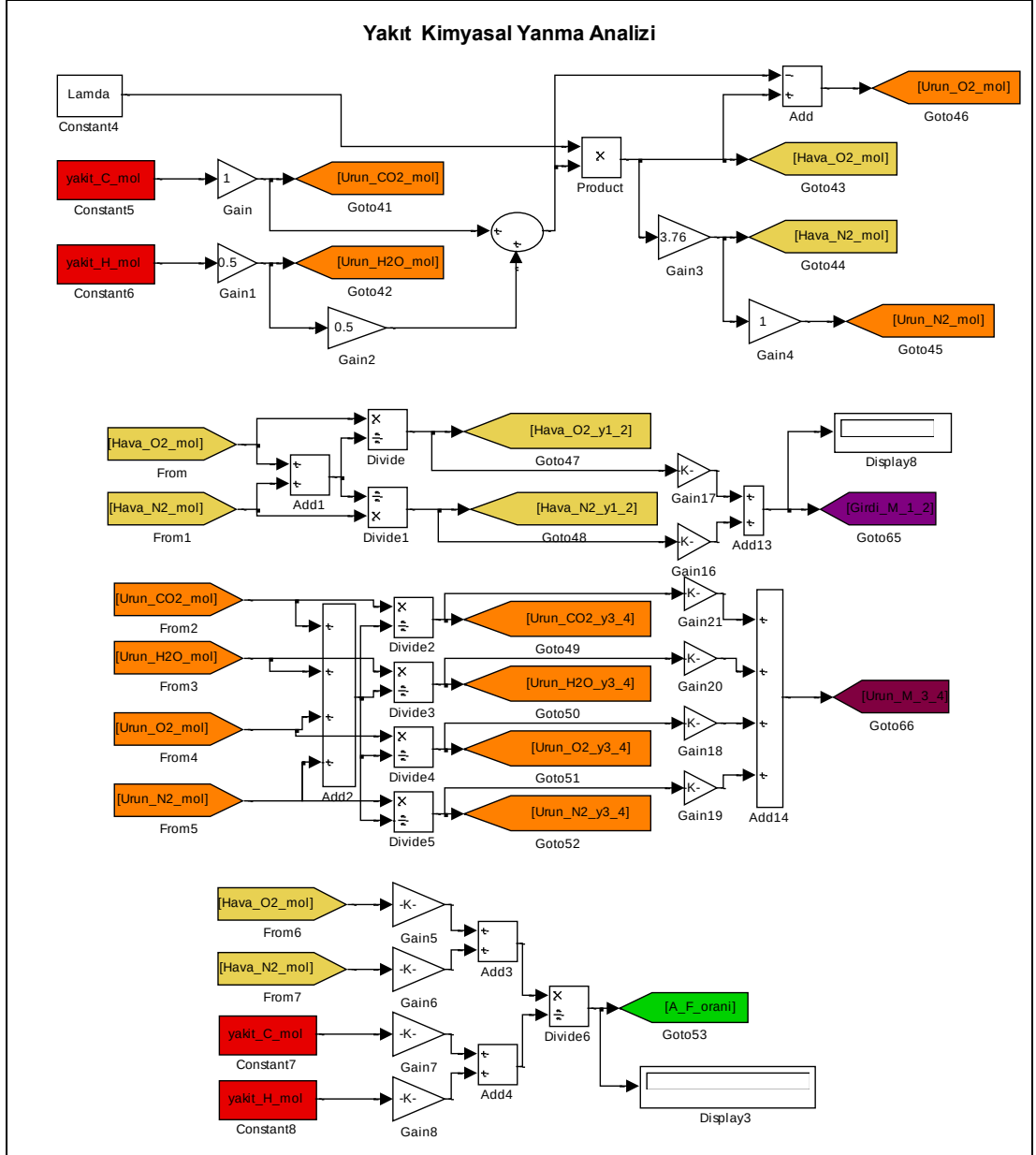
LM2500 gaz türbininde yakıt olarak F-76 motorin kullanılmaktadır. F-76 motorinin kimyasal formülü $C_{14,8}H_{26,9}$, alt ısı değeri 42700 kJ/kg olarak alınmıştır [NAVSEA, 2007b]. Yakıtın yanma analizinde stokiyometrik yanma olduğu kabul edilmiş ve hava-yakıt oranı $(A/F)=14,40$ kg hava/kg yakıt hesaplanmıştır.

Yakıtın stokiyometrik olarak hesaplanan kimyasal denklem analizi Tablo 4.3'te sunulmuştur. Her bir kg yakıtın (F-76) yanması ile 3,172 kg CO_2 'in egzoz gazları ile atıldığı hesaplanmıştır.

Tablo 4.3: F-76 motorinin kimyasal yanma denklemi.

Kimyasal Yanma Denklemi $\lambda = 1$	Yakıt F-76 Motorin		Hava		Ürünler			
	C	H	O ₂	N ₂	CO ₂	H ₂ O	N ₂	O ₂
kmol	14,8	26,9	21,525	80,934	14,8	13,45	80,934	0
kg/kmol	12,011	1,02525	31,999	28,013	44,01	18,05	28,013	31,999
y_i	1		0,210	0,790	0,136	0,123	0,741	0

Ana tahrik sistemi gaz türbini modeli içinde yakıtının kimyasal yanma analizi modeli Şekil 4.4'te sunulmuştur.



Şekil 4.4: Yakıt kimyasal yanma analizi modeli.

Yakıtın kimyasal yanma analizinde öncelikle kullanılan yakıtın karbon mol miktarı (yakıt_C_mol=14,8), hidrojen mol miktarı (yakıt_H_mol=26,9) ve yanmanın stokiyometrik (kuramsal) ($\lambda = 1$) olarak kabul edilerek sabitler 'constant' bloklarına girilmiştir.

$$y_i = \frac{N_i}{N_{\text{ürün}}} \quad (4.1)$$

$$M_{girdi} = \frac{m_{girdi}}{N_{girdi}} = \sum (y_i M_i)_{girdi} \quad (4.2)$$

$$M_{ürün} = \frac{m_{ürün}}{N_{ürün}} = \sum (y_i M_i)_{ürün} \quad (4.3)$$

$$A/F = \frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} = \frac{(NM)_{O_2} + (NM)_{N_2}}{(NM)_C + (NM)_H} \quad (4.4)$$

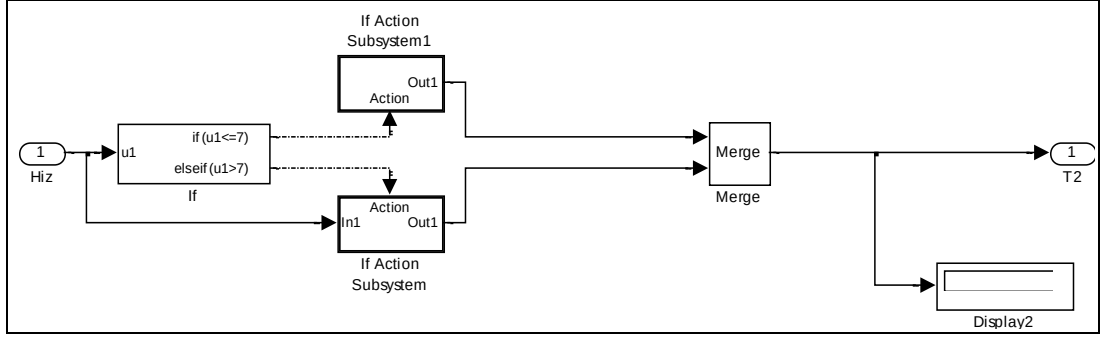
Kimyasal denklemde, girdilerin ve ürünlerin mol oranları eşitlik (4.1)'e, girdi ve ürünlerin kütleleri eşitlik (4.2) ve (4.3)'e, hava/yakıt oranı eşitlik (4.4)'e göre hesaplanmıştır [Çengel and Boles, 2011].

4.1.2. Gaz Türbini Hal Noktalarında Sıcaklık, Entalpi ve Entropi

Gaz türbinlerinin birinci ve ikinci yasa analizlerinin yapılabilmesi için modellemde en önemli değerler hal noktalarındaki sıcaklık, sıcaklığa göre entalpi ve entropi değerlerinin hesaplanmasıdır. Yapılan hesaplamalar atmosfer sıcaklığına bağlı olarak modellenmiştir.

Gemi ana tahrik sisteminde, tek gaz türbini çalışırken 0-7 knots, çift gaz türbininde ise 0-8 knots arasındaki sürat kademelerinde gaz jeneratörü devrinde herhangi bir değişiklik olmadan sadece hatve kontrol sistemine kumanda edilerek gemi sürati yükseltilmektedir. Gemide tek ve çift gaz türbini devrede iken kontrol konsollarından alınan hal noktalarına ait sıcaklık değerleri esas alındığında bahse konu sürat kademelerinde sıcaklıklarda herhangi bir değişiklik görülmemiştir. Bu kapsamda, sıcaklık değerleri hesapları parçalı fonksiyonlar yardımıyla modellenmiştir. Matlab programında gemi süratine bağlı olarak 'polyfit' komutu ile oluşturulan polinomlar, Simulink 'if' ve 'if action subsystem' modülleri yardımıyla Şekil 4.5'te olduğu gibi modellenmiştir.

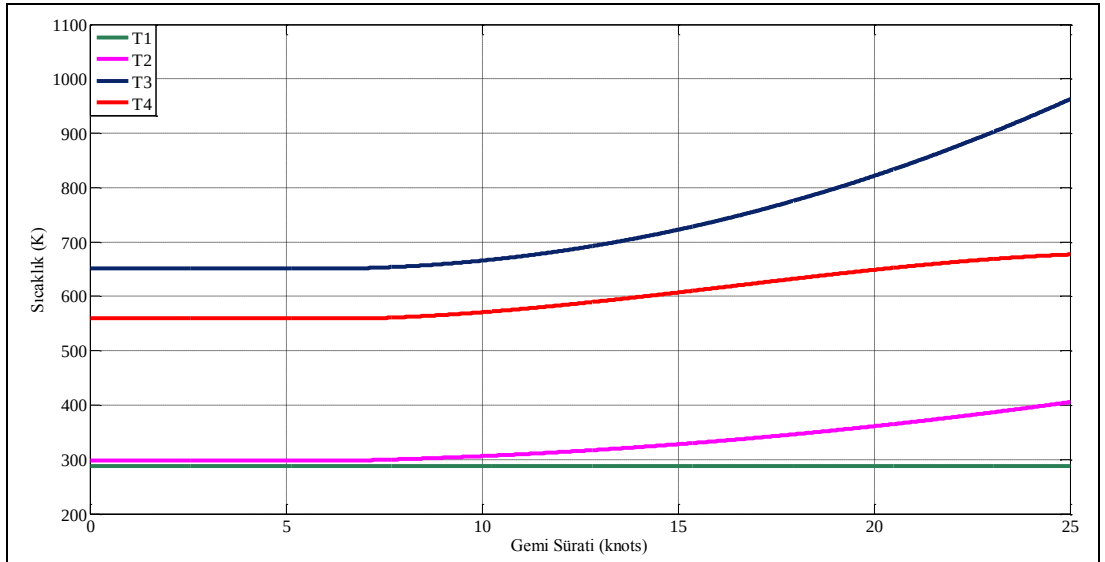
Gaz türbini hal noktalarında 'T' atmosfer sıcaklığı olarak alınmıştır. Tek ve çift gaz türbini devredeyken hal noktaları sıcaklık değerlerinin hesaplanması için kullanılan polinomlar Tablo 4.4'te sunulmuştur. Kullanılan fonksiyonlar sonucunda gemi süratine ve atmosfer hava sıcaklığı 15°C için hesaplanan hal noktalarına ait sıcaklık değer grafikleri tek gaz türbini için Şekil 4.6'da, çift gaz türbini için Şekil 4.7'de sunulmuştur.



Şekil 4.5: T2 sıcaklığı hesaplanma modeli.

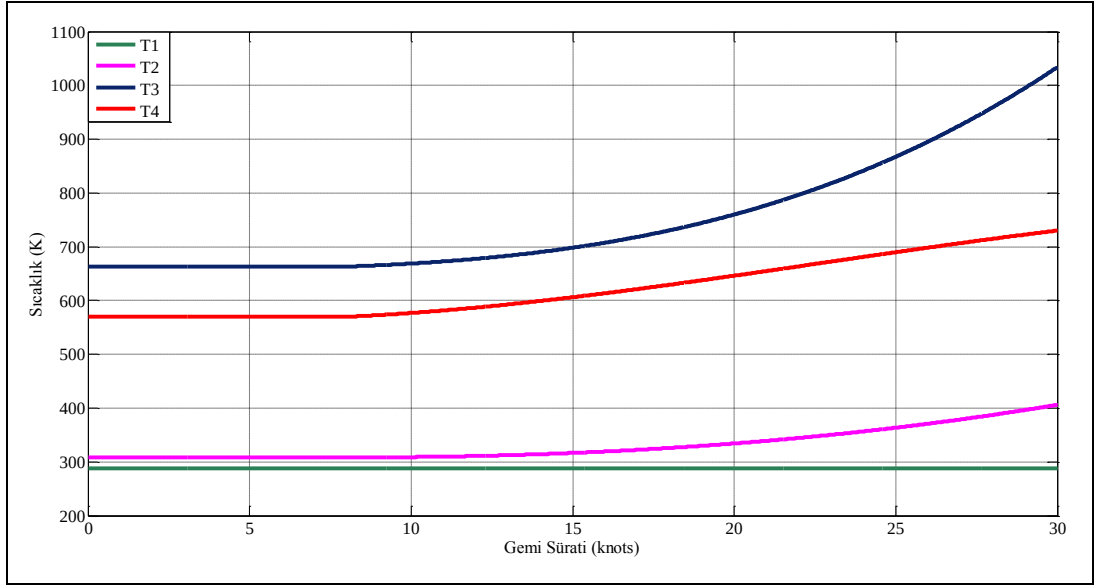
Tablo 4.4: Tek ve çift gaz türbini hal noktaları sıcaklık polinom değerleri.

Tek Türbin		
Sürat	0-7 Knots	8-25 Knots
T1	T	T
T2	T+10,55	$0.2248 V^2 - 1.2440V + 8.0458 + T$
T3	T+364	$0.8439 V^2 - 9.7430V + 390.6287 + T$
T4	T+271,3	$-0.0248 V^3 + 1.2205V^2 - 11.4520V + 299.9173 + T$
Çift Türbin		
Sürat	0-9 Knots	10-30 Knots
T1	T	T
T2	T+20,3	$0.0022V^3 + 0.1002V^2 - 2.0115V + 28.9806 + T$
T3	T+374.5	$0.0179V^3 - 0.1603V^2 + 1.3931V + 364.8323 + T$
T4	T+281.7	$-0.0095V^3 + 0.6427V^2 - 5.7028V + 291.0121 + T$
(T=T _{atm} , V=Gemi Sürati)		



Şekil 4.6: Tek gaz türbini gemi hızına göre hal noktaları sıcaklık grafiği.

Gaz türbini hal noktalarının hesaplanan sıcaklık değerleri ile kimyasal denklem içinde bulunan birinci ve ikinci hal noktalarında oksijen (O₂), azot (N₂); yanmadan sonra üçüncü ve dördüncü hal noktalarında karbondioksit (CO₂), su buharı (H₂O), oksijen (O₂), azot (N₂) moleküllerine ait entalpi (kJ/kmol) ve entropi (kJ/kmol.K) değerleri 'Lookup Tables'lar ile Şekil 4.8'de bulunan model üzerinden alınmaktadır [Çengel and Boles, 2011].

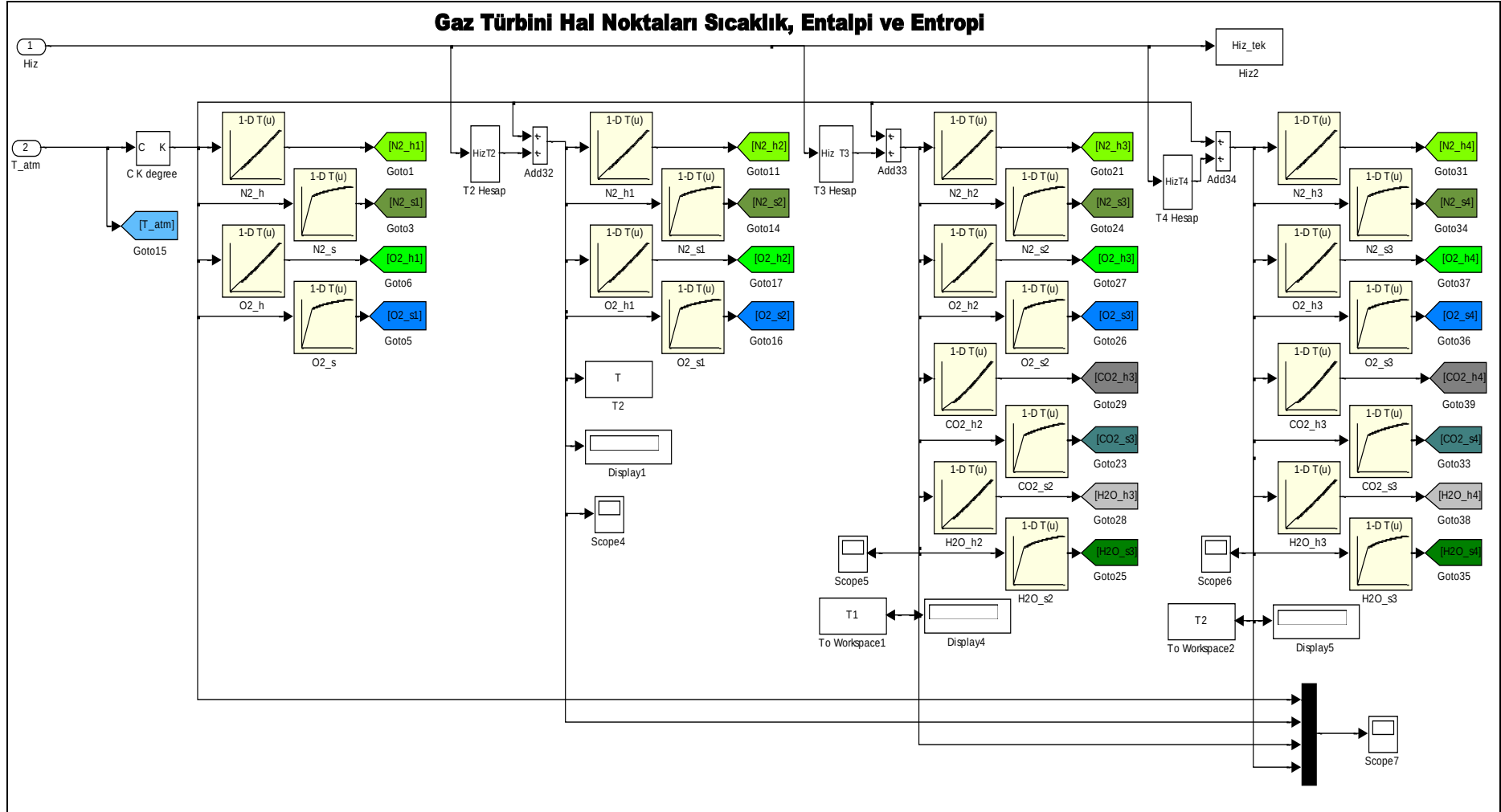


Şekil 4.7: Çift gaz türbini gemi hızına göre hal noktaları sıcaklık grafiği.

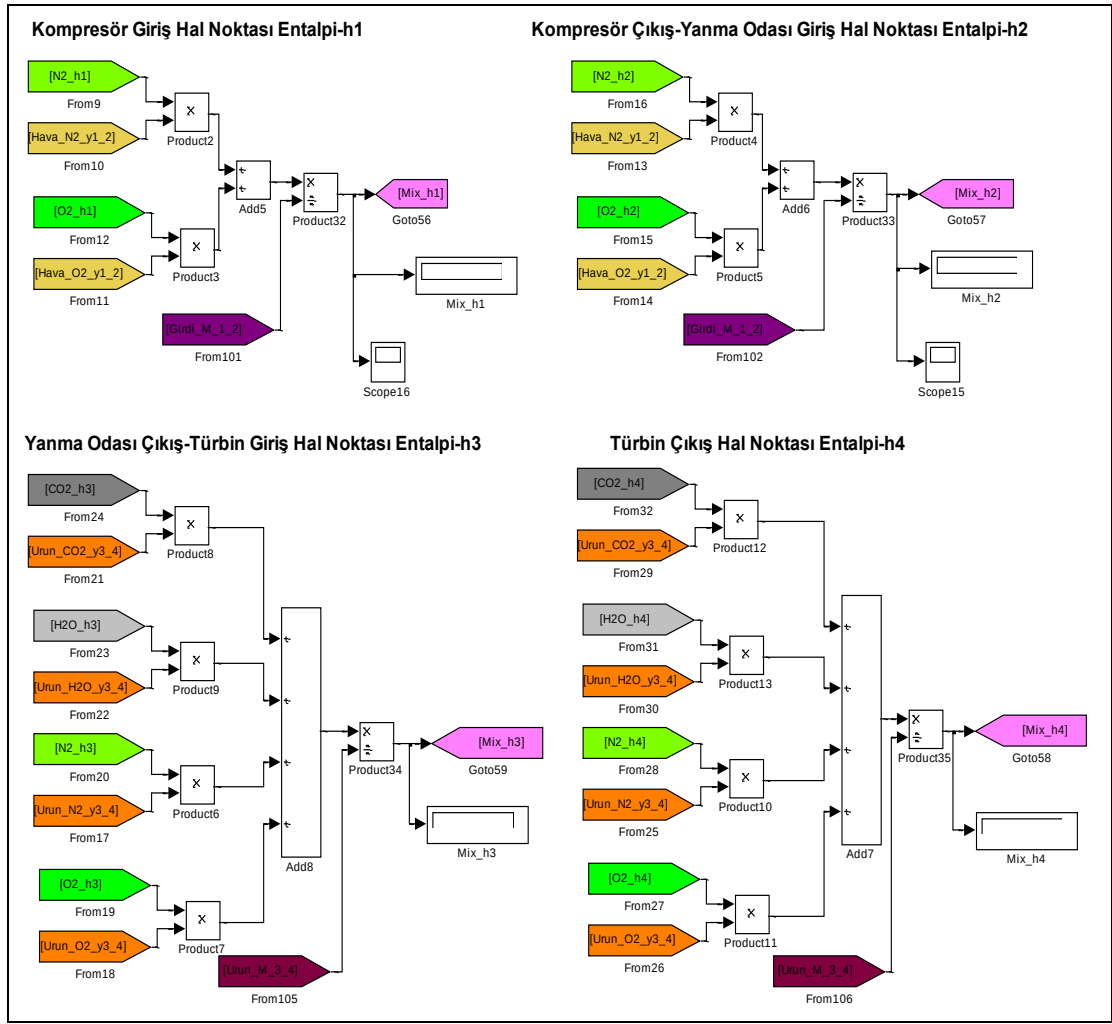
Her hal noktasındaki moleküllere ait entalpi değerleri eşitlik (4.5)'te olduğu gibi hesaplanmaktadır [Çengel and Boles, 2011]. Entalpi değerlerinin hesaplanma modeli Şekil 4.9'da sunulmuştur.

$$h_{Hal} = \sum(y_i h_i)_{Hal} / M_{Hal} \quad (4.5)$$

Gaz türbini brayton çevrimine göre, kompresör girişi (1) ve türbin çıkışında (4) $P_o=1$ atm olarak alınmış olup bu hal noktalarına ait entropi hesaplaması eşitlik (4.6)'ya göre yapılmıştır [Çengel and Boles, 2011]. Brayton çevrimine göre gaz türbini yanma odası giriş (2) ve türbin girişinde (3) sabit basınçta ısı girişi kabulüyle moleküllere ait entropi değerleri eşitlik (4.7) ve (4.8)'e göre hesaplanmaktadır [Çengel and Boles, 2011]. Entropi hesaplamalarına ait hazırlanan model Şekil 4.10'da sunulmuştur.



Şekil 4.8: Gaz türbini hal noktaları sıcaklık, molekül entalpi ve entropi tabloları.



Şekil 4.9: Gaz türbini hal noktaları toplam entalpi değerlerinin hesaplanması modeli.

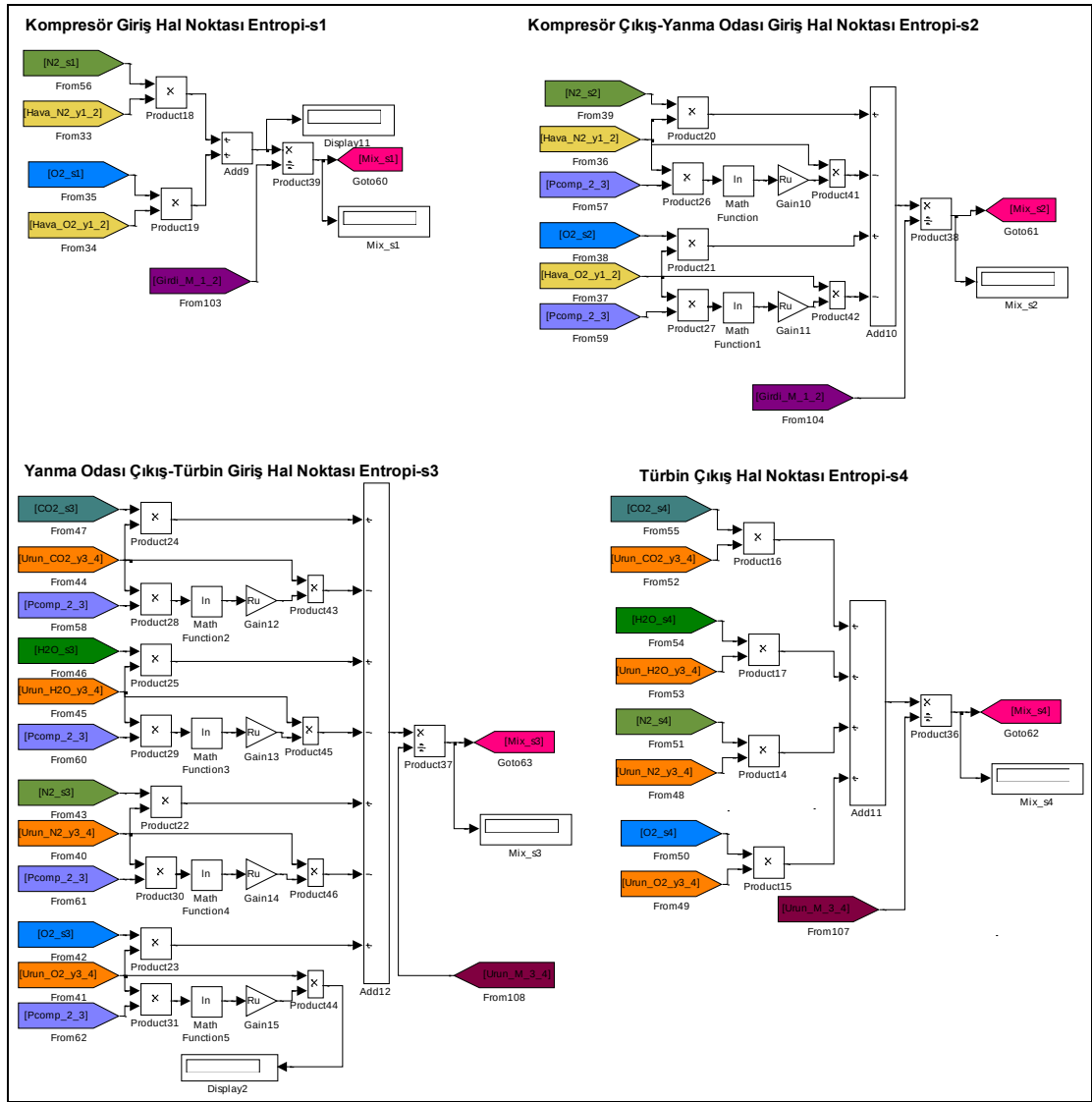
$$s_{Hal}(T, P_o) = \sum (y_i s_i^o(T, P_o))_{Hal} / M_{Hal} \quad (4.6)$$

$$s_i(T, P_{Hal}) = s_i^o(T, P_o) - R_u \ln \frac{y_i P_{Hal}}{P_o} \quad (4.7)$$

$$s_{Hal}(T, P_{Hal}) = \sum (y_i s_i(T, P_{Hal}))_{Hal} / M_{Hal} \quad (4.8)$$

4.1.3. Gaz Türbini, Kompresör, Yanma Odası ve Türbin Analizleri

Gaz türbininde hal noktalarındaki sıcaklık, entalpi ve entropi değerlerinin hesaplanması sonrasında kompresör, yanma odası ve türbinin termodinamik olarak birinci ve ikinci yasaların analizleri yapılmıştır.

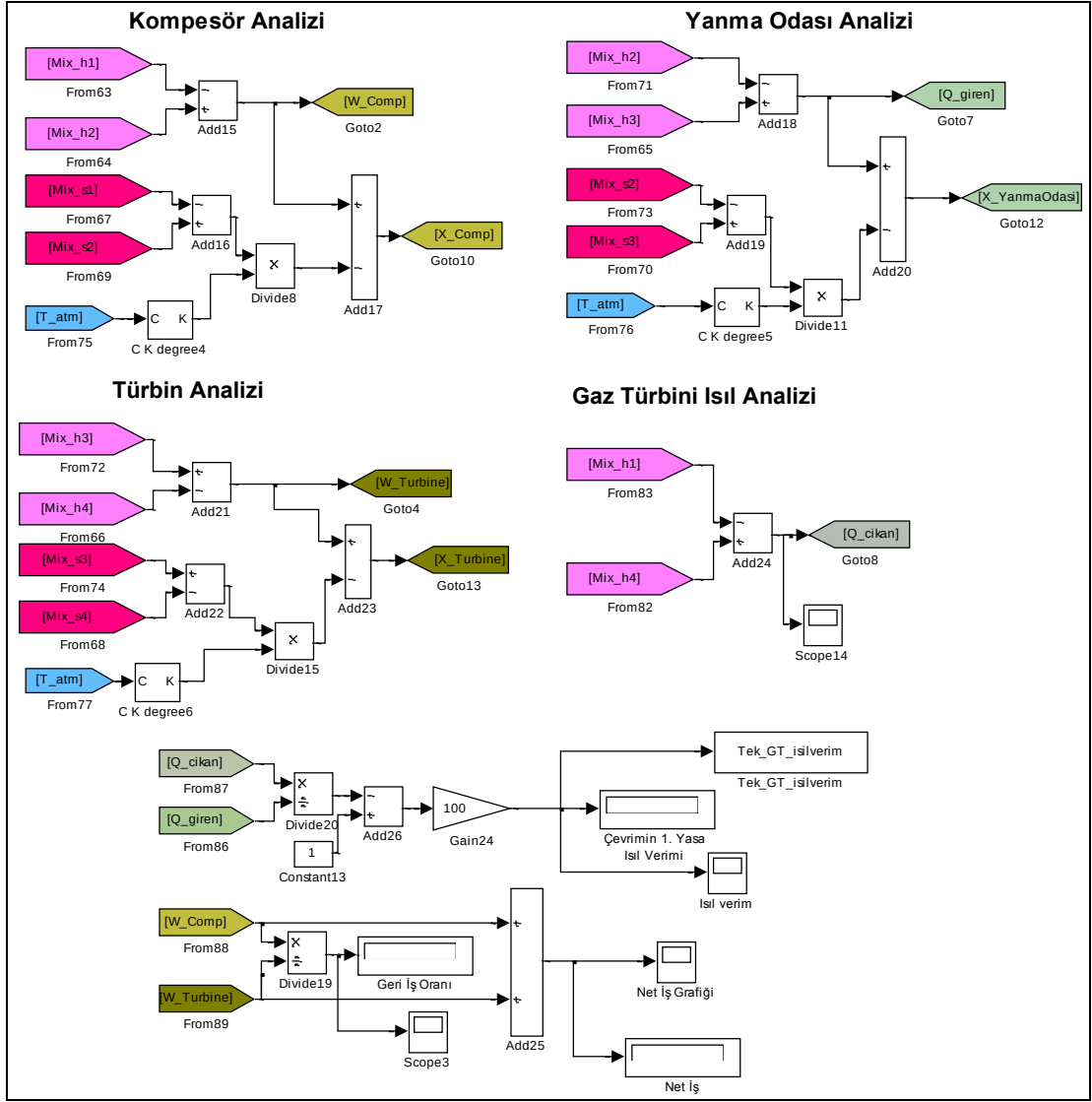


Şekil 4.10: Gaz türbini hal noktaları toplam entropi değerlerinin hesaplanması modeli.

Kompresör işi eşitlik (4.9)'a, yanma odasındaki ısı girişi eşitlik (4.10)'a, türbin işi eşitlik (4.11)'e, gaz türbin ısı çıkışı eşitlik (4.12)'ye, kompresör akış ekserjisi eşitlik (4.13)'e, yanma odası akış ekserjisi (4.14)'e, türbin akış ekserjisi eşitlik (4.15)'e, gaz türbini geri iş oranı eşitlik (4.16)'ya, gaz türbini net işi eşitlik (4.17)'ye, gaz türbini ısı verimi eşitlik (4.18)'e göre hesaplanmıştır [Çengel and Boles, 2011].

$$w_{Komp} = h_2 - h_1 \quad (4.9)$$

$$q_{Giren} = h_3 - h_2 \quad (4.10)$$



Şekil 4.11: Gaz türbini analiz modeli.

$$w_{Tr} = h_3 - h_4 \quad (4.11)$$

$$q_{Çıkan} = h_4 - h_1 \quad (4.12)$$

$$\psi_{Komp} = \psi_2 - \psi_1 = \overbrace{(h_2 - h_1)}^{w_{Komp}} - T_{atm}(s_2 - s_1) \quad (4.13)$$

$$\psi_{Yanma Odası} = \psi_3 - \psi_2 = \overbrace{(h_3 - h_2)}^{q_{Giren}} - T_{atm}(s_3 - s_2) \quad (4.14)$$

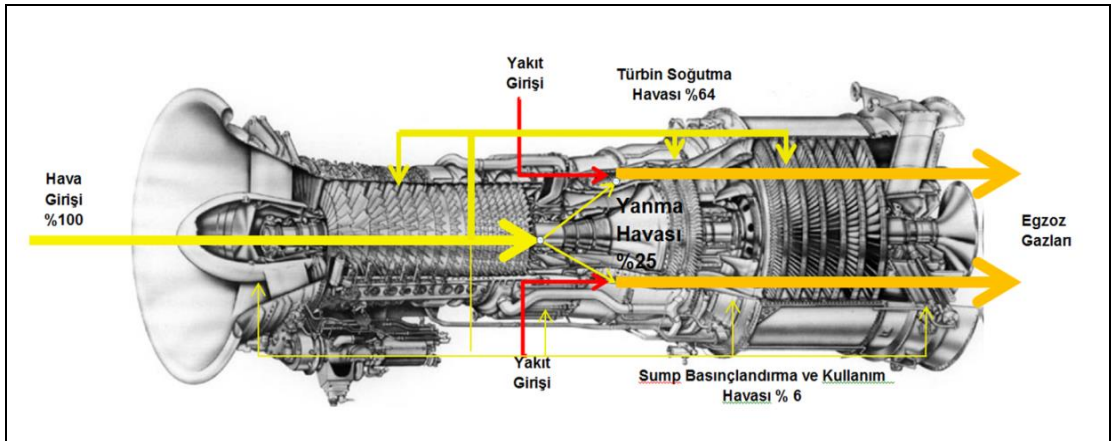
$$\psi_{Tr} = \psi_3 - \psi_4 = \overbrace{(h_3 - h_4)}^{w_{Tr}} - T_{atm}(s_3 - s_4) \quad (4.15)$$

$$r_{bw} = \frac{w_{Komp}}{w_{Tr}} \quad (4.16)$$

$$w_{Net} = w_{Tr} + w_{Komp} \quad (4.17)$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_{Çıkan}}{q_{Giren}} \quad (4.18)$$

Kompresör tarafından sağlanan toplam havanın; % 30'u yanma havası , % 64'ü yanma odası ve gaz türbinin diğer parçalarının soğutulması, % 6'sını ise sump basınçlandırması için kullanılır. % 30'luk yanma havasının % 25'i yakıt ile yanmada, % 5'i ise alevleri merkezlenmede kullanılmaktadır. Gaz türbini hava akışı Şekil 4.12'de sunulmuştur [NAVSEA, 2014]. Stokiyometrik yanmamadan hesaplanan hava/yakıt oranı ve tek ve çift türbine ait yakıt debi değerleri ile eşitlik (4.19)'a göre yanma havası, eşitlik (4.20)-(4.21) ile kompresörün ürettiği ve türbin toplam hava debisi hesaplanmış Şekil 4.13'te modellenmiştir [NAVSEA, 2004], [Çengel and Boles, 2011].

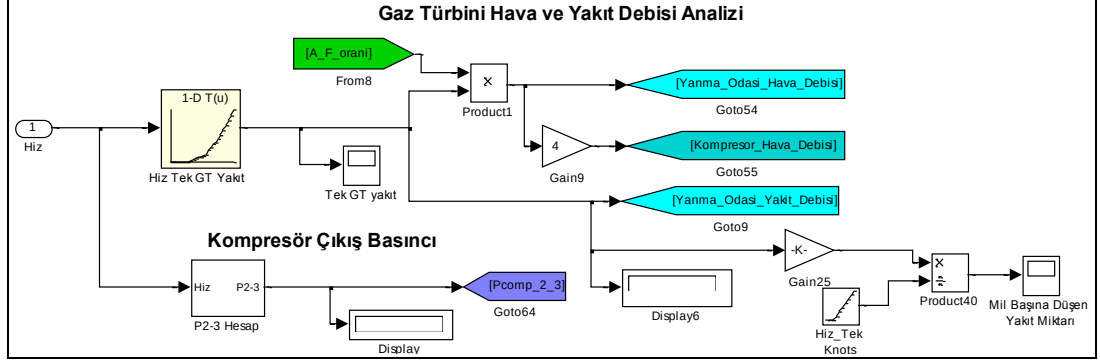


Şekil 4.12: Gaz türbini hava akışı.

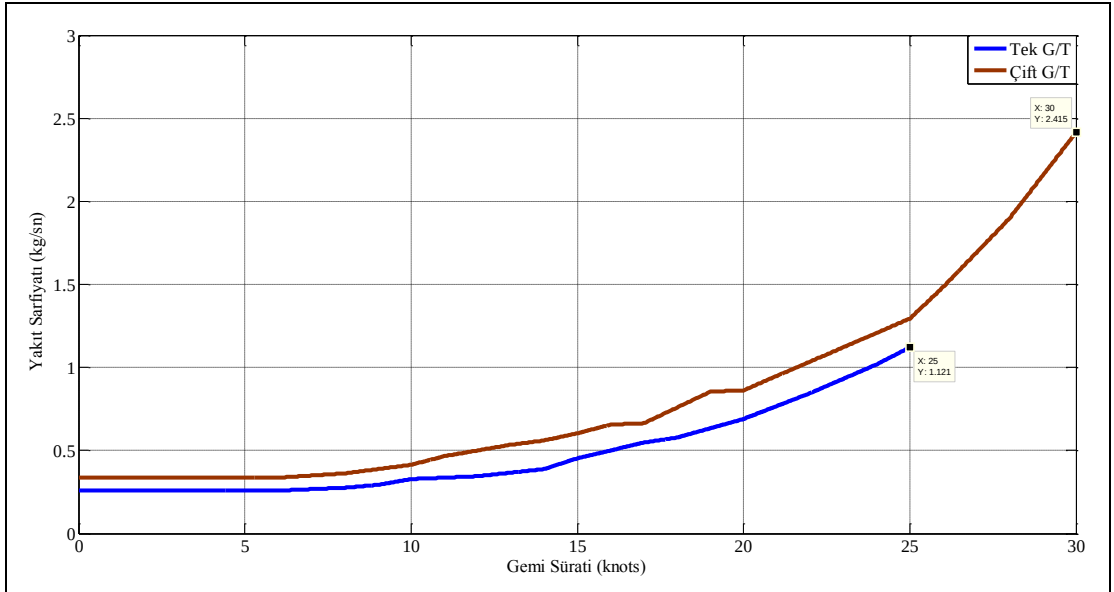
$$\dot{m}_{yanma\ odası} = \dot{m}_{yakıt} * A/F \quad (4.19)$$

$$\dot{m}_{komp} = \dot{m}_{yanmaodası} * 4 \quad (4.20)$$

$$\dot{m}_{türbin} = \dot{m}_{yakıt} + \dot{m}_{komp} \quad (4.21)$$



Şekil 4.13: Gaz türbini hava, yakıt debisi ve kompresör çıkış basıncı hesaplanması.



Şekil 4.14: Tek ve çift gaz türbini hıza göre yakıt sarfıyatı (kg/s) grafiği.

Tek ve çift gaz türbini devredeyken gemi süratine bağlı yakıt debisi ve motorin (F-76) alt ısı değeri ile eşitlik (4.22)'ye göre gaz türbinine giren toplam ısı güç elde edilmiştir [NAVSEA, 2007b], [Çengel and Boles, 2011]. Kompresör, yanma odası ve türbine ait yok olan ekserji miktarları sırasıyla eşitlik (4.23), (4.24) ve (4.25)'e göre hesaplanmıştır. Son olarak ikinci yasa ekserji verimi gaz türbininden toplam elde edilen net kompresör ve türbin işlerinin yakıt ekserjisine bölümü ile eşitlik (4.26)'ya

göre elde edilmiştir. [Çengel and Boles, 2011]. Bahse konu hesaplamalara ilişkin yapılan modelleme Şekil 4.15’te sunulmuştur.

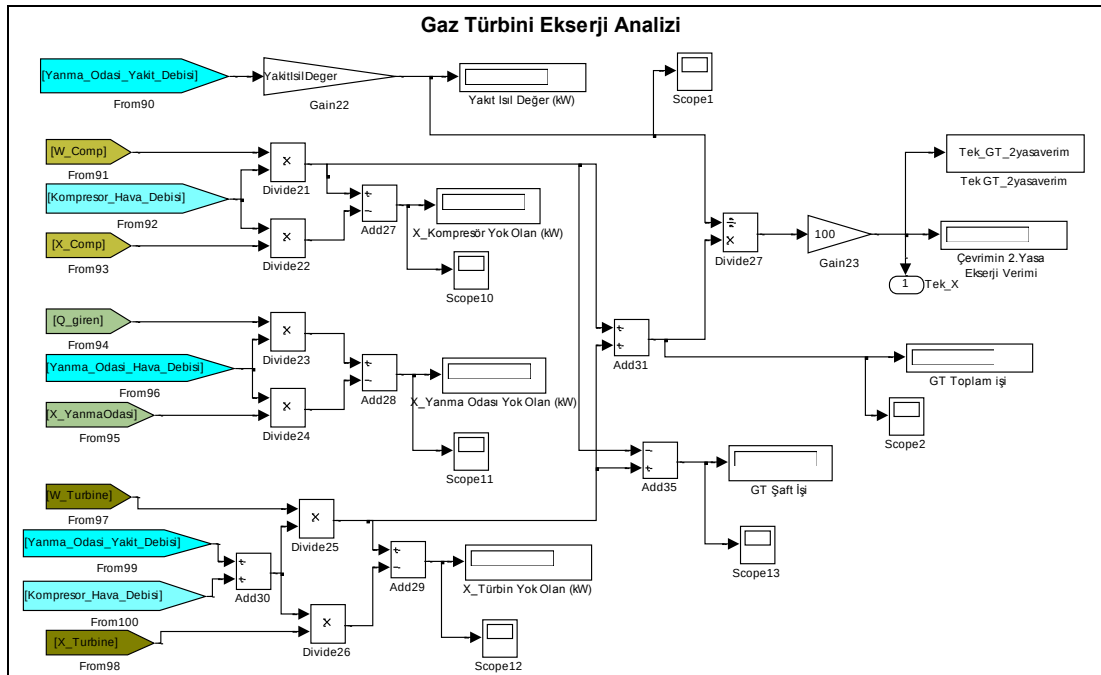
$$\dot{Q}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} * LHV_{yakıt} \quad (4.22)$$

$$\dot{X}_{Yokolan_komp} = \dot{m}_{komp}(\psi_{Komp} - w_{Komp}) \quad (4.23)$$

$$\dot{X}_{Yokolan_yanmaodası} = \dot{m}_{yanmaodası}(\psi_{yanmaodası} - q_{giren}) \quad (4.24)$$

$$\dot{X}_{Yokolan_türbin} = \dot{m}_{türbin}(\psi_{türbin} - w_{türbin}) \quad (4.25)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}_{komp}w_{komp} + \dot{m}_{türbin}w_{türbin}}{\dot{Q}_{yakıt}} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_{yakıt}} \quad (4.26)$$



Şekil 4.15: Gaz türbini ikinci yasa ekserji analizleri.

4.2. İklimlendirme (HVAC) Sistemi Modellenmesi

Gemi iklimlendirme sistemi hava ve deniz suyu sıcaklıkları ile geminin seyirde bulunduğu sürece süratinden ısı olarak en fazla etkilenen sistemdir. Sistemin

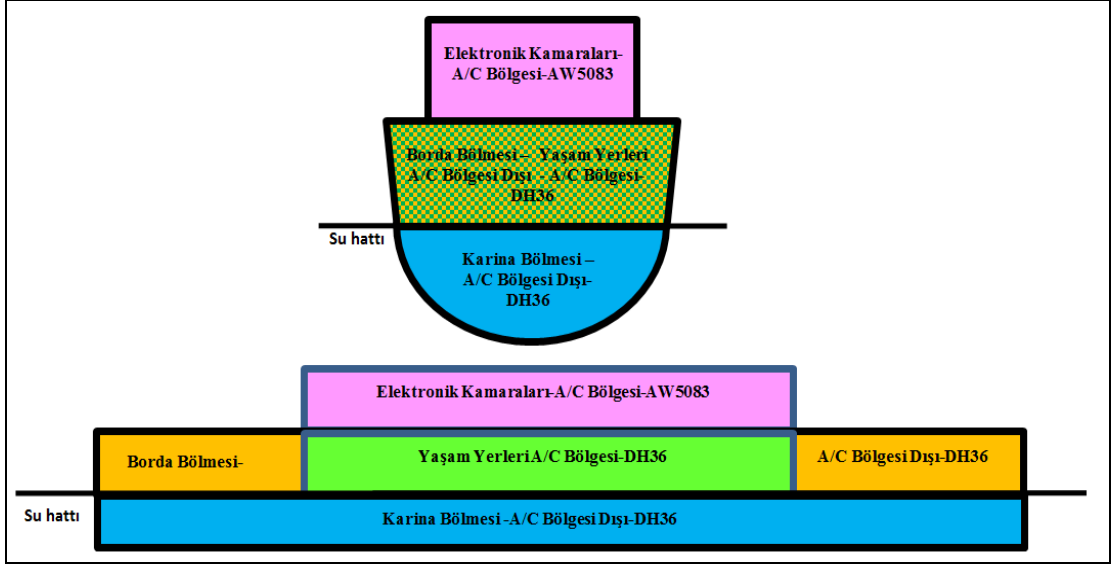
içinde bulunan elektrikli hiterlerin kapasitelerinin yüksek olmasından dolayı gemi elektrik sistemine en fazla yük girdisi bu sistem üzerinden gerçekleşmektedir. Bu sebeple modellenmesine ihtiyaç duyulmuştur. İlk olarak gemi modelinin oluşturulması için teknik doküman ve yapılan ölçüm sonuçlarına istinaden optimizasyon yapılarak model boyutları elde edilmiştir [NAVSEA, 2007a].

Gemi su hattı altında bulunan karina bölmesi, su üstü kesimi ana güverte altında bulunan soğutma alanı dışında bulunan borda bölmesi ve soğutma alanı içinde bulunan yaşam yerleri ile ana güverte üstünde soğutma alanı içinde bulunan elektronik elektrik cihaz kamaralarının kullanılan benzetim modeli boyutları Tablo 4.5’de, modelin önden ve yandan görünümü Şekil 4.16’da sunulmuştur.

Gemi ana güverte altı karina ve bordası DH36 gemi inşa karbon çeliği ile ana güverte üstü bordası AW5083 alüminyum gemi inşa sacları ile inşa edilmiştir. Karina ve borda sacları üzerine ısı yalıtımı maksadıyla 5 cm kalınlığında cam yünü ile kaplanmıştır [NAVSEA, 2007a], [Al-Moussawi et al., 2016], [İzer C., 2011].

Tablo 4.5: Model gemi boyutları.

	Boy (m)	En (m)	Yüksek lik (m)	Hacim (m ³)	Deniz ve Hava ile Temas Yüzey Alanları (m ²)	Ortak Yüzey Alanları (m ²)
Karina	110,74	13,056	3,973	4100*	1854*	Karina_Borda= 888,33
Suüstü Borda	68,04	14,7*	5,4*	5244	2036,27	Karina_YY=557,49
Suüstü Yaşam Yerleri	42,7	14,7*	5,4*	3342*	660,14	Borda_YY=95,68
Elektronik Elektrik Cihaz Kamaraları	42,7	10,3*	5,1*	2244*	980,41	YY_Eln=439,81
*Teknik doküman ve yapılan ölçümlere göre sabit alınan değerler.						



Şekil 4.16: Gemi iklimlendirme (HVAC) sistemi gemi modeli ön ve yan görünüşü.

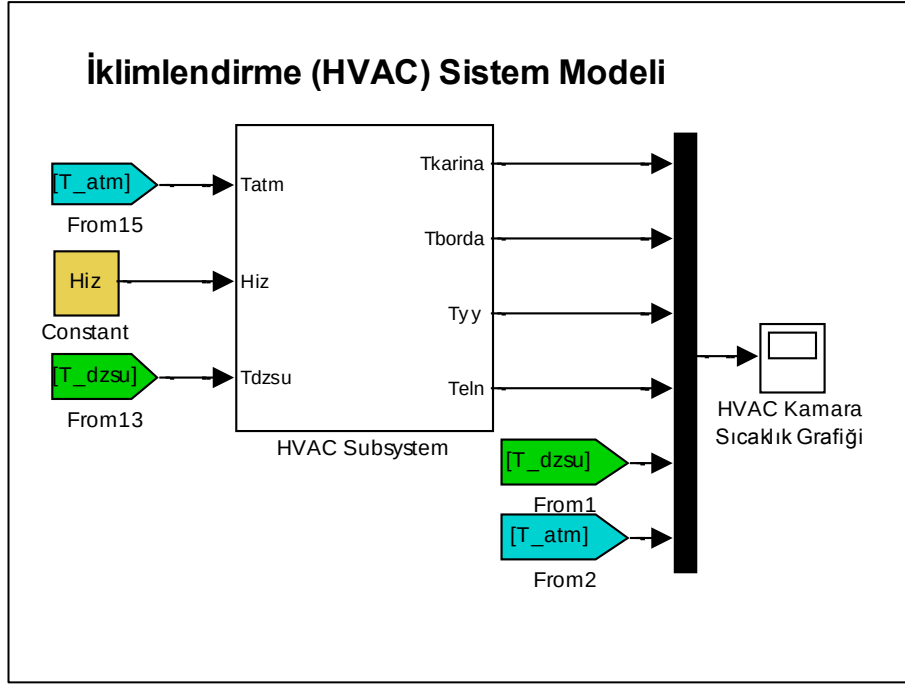
Gemi inşa malzemelerinin modellemede kullanılan teknik özellikleri Tablo 4.6’da sunulmuştur [NAVSEA, 2007a], [Al-Moussawi et al., 2016], [İzer C., 2011].

Tablo 4.6: Gemi inşa malzemelerinin 25°C derecedeki ısı özellikleri.

Malzeme	k (W/m.K)	Cp (j/kg.K)	ρ (kg/m ³)	Kalınlık (m)
Alüminyum AW5083 (AW-AlMg4,5Mn0,7)	117	899	2660	0,008
DH-36 Karbon Çeliği	72,55	740	7850	0,01 (Karina) 0,008 (Borda)
Cam Yünü Yalıtım Malzemesi	0,037	835	140	0,05

İklimlendirme (HVAC) sistemi model girdileri; hava sıcaklığı (T_{atm}), gemi sürati (Hiz), deniz suyu sıcaklığı (T_{dzu}) olarak verilerek oluşturulmuş ve model genel görünümü Şekil 4.17’de sunulmuştur.

Gemi iklimlendirme sisteminde soğutma fan üniteleri yaşam yerleri ve elektronik-elektrik cihaz kamaralarının soğutulması maksadıyla kullanılmaktadır. Genel olarak yaşam yerleri geminin ana güverte altında, elektronik-elektrik cihaz kamaraları ana güverte üstünde bulunmakta olup modelleme bu esaslara göre yapılmıştır.



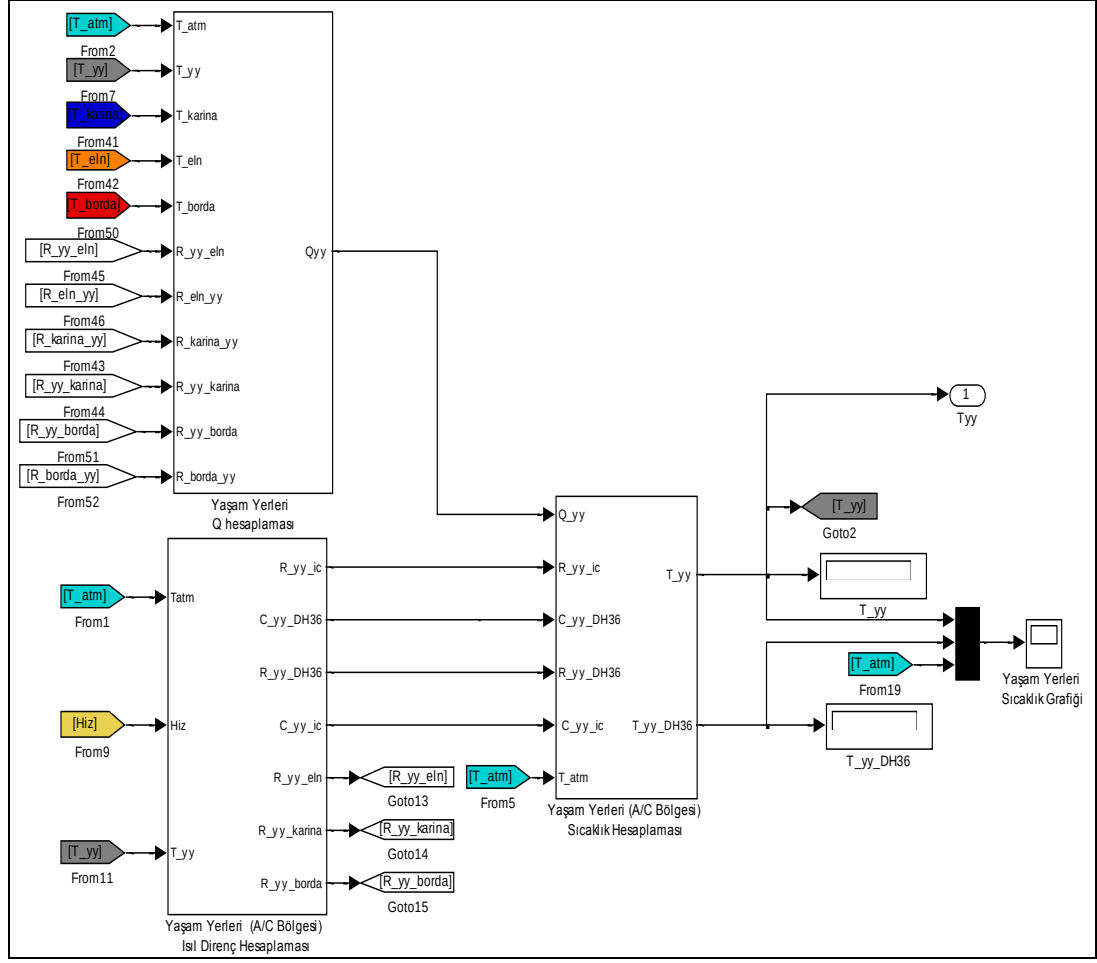
Şekil 4.17: Gemi iklimlendirme (HVAC) sistemi modellemesi.

İklimlendirme sisteminin modellemesinde; geminin su altında kalan bölmelerine karina, su üstü kesiminde; soğutma (A/C) bulunmayan bölmeler borda, soğutma (A/C) bulunan bölmeler ise yaşam yerleri ve elektronik cihaz kamaraları olarak modellenmiştir. Bölme sıcaklıklarının hesaplanması için hazırlanan alt sistem bloğu Şekil 4.18’de sunulmuştur.

Her bölmenin sıcaklık hesaplamasında üç alt sistem kullanılmıştır. Bunlar; bölmenin ısııl direnç (R_i) ve ısııl kapasite (C_i), bölmeye giren-çıkan ısı ($\dot{Q}_i$) ve sıcaklığın (T_i) hesaplandığı alt sistemlerdir. Yaşam yerleri bölmesine ait sıcaklık hesaplamasında kullanılan alt sistem blokları Şekil 4.18’de sunulmuştur.

4.2.1. Kompartıman Sıcaklık Hesaplanması Alt Bloğu

Karinada bulunan kompartımanların zamana göre ortalama sıcaklık değerinin bulunması maksadıyla; kompartıman içinden karina sacına olan ısı transferi eşitlik (4.27)’de, karina sacından deniz suyuna olan ısı transferi eşitlik (4.28)’de, kompartımanlara ait sıcaklık denklemi eşitlik (4.29)’da, karina sacına ait sıcaklık denklemi eşitlik (4.30)’da verilmiştir [Çengel and Ghajar, 2011].



Şekil 4.18: HVAC sistemi yaşam yerleri sıcaklık hesaplaması blokları.

$$q_{karina_DH36} = \frac{T_{karina} - T_{karina_DH36}}{R_{karina}} \quad (4.27)$$

$$q_{DH36_dztu} = \frac{T_{karina_DH36} - T_{dztu}}{R_{karina_DH36}} \quad (4.28)$$

$$q_{karina} - q_{karina_DH36} = C_{karina} \frac{dT_{karina}}{dt} \quad (4.29)$$

$$q_{karina_DH36} - q_{DH36_dztu} = C_{karina_DH36} \frac{dT_{karina_DH36}}{dt} \quad (4.30)$$

Eşitlik (4.27)'de bulunan q_{karina_DH36} ile eşitlik (4.28)'de bulunan q_{DH36_dztu} değerleri eşitlik (4.29) ve (4.30)'da yerlerine konulduğunda eşitlik (4.31) ve (4.32) elde edilir [Çengel and Ghajar, 2011].

$$q_{karina} - \frac{T_{karina} - T_{karina_DH36}}{R_{karina}} = C_{karina} \frac{dT_{karina}}{dt} \quad (4.31)$$

$$\begin{aligned} & \frac{T_{karina} - T_{karina_DH36}}{R_{karina}} - \frac{T_{karina_DH36} - T_{dzu}}{R_{karina_DH36}} \\ &= C_{karina_DH36} \frac{dT_{karina_DH36}}{dt} \end{aligned} \quad (4.32)$$

Eşitlik (4.31) ve (4.32)'de türevli terimler yalnız bırakıldığında zaman göre karinada bulunan kompartıman sıcaklığı eşitlik (4.33)'te, karina sacının sıcaklığı ise eşitlik (4.34)'te olduğu gibi bulunur [Çengel and Ghajar, 2011].

$$\frac{dT_{karina}}{dt} = -\frac{T_{karina}}{C_{karina}R_{karina}} + \frac{T_{karina_DH36}}{C_{karina}R_{karina}} + \frac{q_{karina}}{C_{karina}} \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned} & \frac{dT_{karina_DH36}}{dt} = \\ & \frac{T_{karina}}{C_{karina_DH36}R_{karina}} - \left(\frac{T_{karina_DH36}}{C_{karina_DH36}R_{karina}} + \frac{T_{karina_DH36}}{C_{karina_DH36}R_{karina_DH36}} \right) + \\ & \frac{T_{dzu}}{C_{karina_DH36}R_{karina_DH36}} \end{aligned} \quad (4.34)$$

Aynı şekilde borda, yaşam yerleri ve elektronik cihaz kamaraları sıcaklık hesaplamalarında kullanılan denklemleri aşağıda sunulmuştur.

Su üstü kesiminde, bordada, soğutma bulunmayan bölmelere ait kompartıman sıcaklık denklemi eşitlik (4.35)'te, borda alabanda sacına ait sıcaklık denklemi eşitlik (4.36)'da sunulmuştur [Çengel and Ghajar, 2011].

$$\frac{dT_{borda}}{dt} = -\frac{T_{borda}}{C_{borda}R_{borda}} + \frac{T_{borda_DH36}}{C_{borda}R_{borda}} + \frac{q_{borda}}{C_{borda}} \quad (4.35)$$

$$\begin{aligned} & \frac{dT_{borda_DH36}}{dt} = \frac{T_{borda}}{C_{borda_DH36}R_{borda}} - \left(\frac{T_{borda_DH36}}{C_{borda_DH36}R_{borda}} + \right. \\ & \left. \frac{T_{borda_DH36}}{C_{borda_DH36}R_{borda_DH36}} \right) + \frac{T_{atm}}{C_{borda_DH36}R_{borda_DH36}} \end{aligned} \quad (4.36)$$

Yaşam yerlerinde bulunan bölmelere ait kompartıman sıcaklık denklemi eşitlik (4.37)'de, yaşam yerleri alabanda sacına ait sıcaklık denklemi eşitlik (4.38)'de sunulmuştur [Çengel and Ghajar, 2011].

$$\frac{dT_{yy}}{dt} = -\frac{T_{yy}}{C_{yy}R_{yy}} + \frac{T_{yy_DH36}}{C_{yy}R_{yy}} + \frac{q_{yy}}{C_{yy}} \quad (4.37)$$

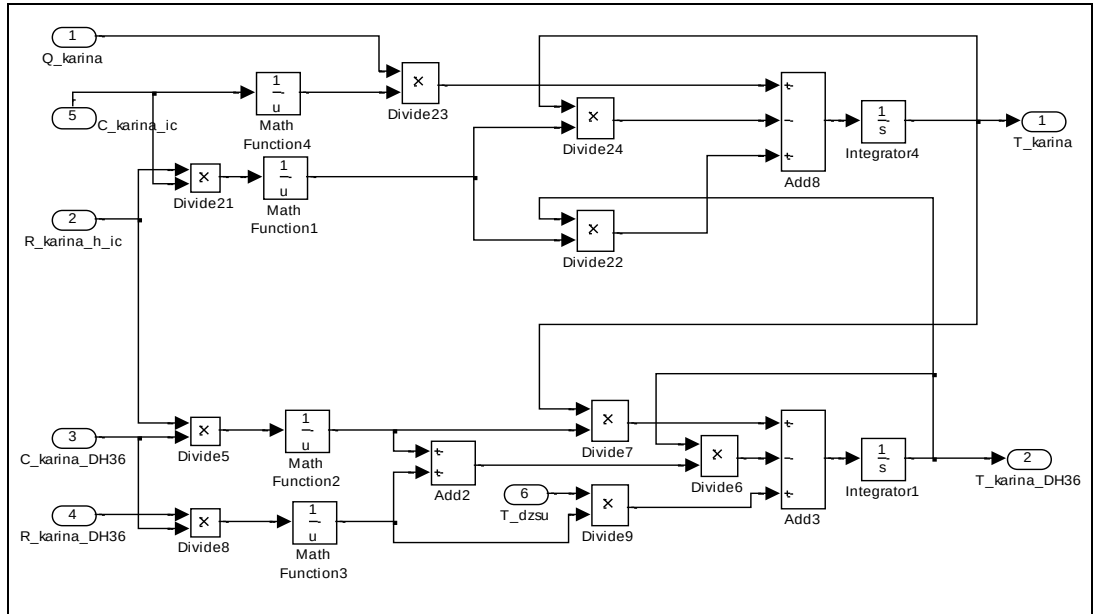
$$\begin{aligned} \frac{dT_{yy_DH36}}{dt} = & \frac{T_{yy}}{C_{yy_DH36}R_{yy}} - \left(\frac{T_{yy_DH36}}{C_{yy_DH36}R_{yy}} + \frac{T_{yy_DH36}}{C_{yy_DH36}R_{yy_DH36}} \right) \\ & + \frac{T_{atm}}{C_{yy_DH36}R_{yy_DH36}} \end{aligned} \quad (4.38)$$

Elektronik/elektrik cihaz sistemlerin bulunduğu kompartımanlara ait sıcaklık denklemi eşitlik (4.39)'da, bu kompartımanların alabanda sacına ait sıcaklık denklemi eşitlik (4.40)'da sunulmuştur.

$$\frac{dT_{eln}}{dt} = -\frac{T_{eln}}{C_{eln}R_{eln}} + \frac{T_{eln_AL5083}}{C_{eln}R_{eln}} + \frac{q_{eln}}{C_{eln}} \quad (4.39)$$

$$\begin{aligned} \frac{dT_{eln_AL5083}}{dt} = & \frac{T_{eln}}{C_{eln_AL5083}R_{eln}} - \left(\frac{T_{eln_AL5083}}{C_{eln_AL5083}R_{eln}} + \frac{T_{eln_AL5083}}{C_{eln_AL5083}R_{eln_AL5083}} \right) + \\ & \frac{T_{atm}}{C_{eln_AL5083}R_{eln_AL5083}} \end{aligned} \quad (4.40)$$

Bahse konu sıcaklık değerlerinin hesaplanmasında kullanılan alt sistem bloğu Şekil 4.19'da sunulmuştur.



Şekil 4.19: HVAC sistemi karina bölmesi sıcaklık hesaplamaları alt bloğu.

4.2.2. Kompartıman Isıl Direnç ve Kapasitelerin Hesaplanması Alt Blokları

Kompartıman iç ve kompartıman alabanda sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılan ısı dirençler (R_i) ve kapasiteler (C_i) bu alt blokta hesaplanmaktadır.

Karina bölmesinin sıcaklık hesaplamalarında ilk olarak karina bölmesinin dışından akan deniz suyunun sıcaklığına göre ısı taşınım (k), dinamik viskozite (μ), yoğunluk (ρ) Prandtl sayısı (Pr), özgül ısı (C_p), karina bölmesinin sıcaklığına göre yoğunluk (ρ), özgül ısı (C_p) tablolardan alınmaktadır [Çengel and Ghajar, 2011]. Deniz suyu sıcaklığından alınan dinamik viskozite (μ) ve yoğunluk (ρ) ile eşitlik (4.41)'den kinematik viskozite (ν) hesaplanmaktadır [Çengel and Ghajar, 2011].

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (4.41)$$

Isı taşınım katsayısı hesaplamasında hesaplanan Reynolds sayısına istinaden düz bir plaka üzerinden türbülanslı akış kabul edilmiştir. Isı taşınım katsayısı, tablolardan alınan değerler yardımıyla, eşitlik (4.42)'de Nusselt sayısından çekilerek eşitlik (4.43)'te bulunan Reynolds sayısının yerine konması ile eşitlik (4.44)'te hesaplanmaktadır [Çengel and Ghajar, 2011].

$$Nu = \frac{hL_{karina}}{k} = 0.037 Re_L^{0.8} Pr^{1/3} \quad (4.42)$$

$$Re_L = \frac{\rho V L_{karina}}{\mu} \quad (4.43)$$

$$h = \frac{0,037k \left(\frac{\rho V L_{karina}}{\mu} \right)^{0.8} Pr^{1/3}}{L_{karina}} \quad (4.44)$$

Kamaraların iç ve dış dirençleri eşitlik (4.45) ve (4.46)'ya göre, ısı kapasiteleri eşitlik (4.47) ve (4.48)'e göre hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan malzeme özellikleri Tablo 4.6'dan alınmıştır [Çengel and Ghajar, 2011].

$$R_{iç} = \frac{1}{h_{iç} A_{karina}} \quad (4.45)$$

$$R_{dış} = \frac{x_{cam} y_{ünü}}{k_{camyünü} A_{karina}} + \frac{x_{DH36}}{k_{DH36} A_{karina}} + \frac{1}{h_{dış} A_{karina}} \quad (4.46)$$

$$C_{iç} = \rho_{karina_hava} V_{karina} Cp_{karina} + C_{içmalzemeler} \quad (4.47)$$

$$C_{dış} = (x \cdot \rho \cdot Cp \cdot A_{karina})_{camyünü} + (x \cdot \rho \cdot Cp \cdot A_{karina})_{DH36} \quad (4.48)$$

Kamaraların ortak alanlar, iç ve dış direnç ile ısı kapasitelerinin hesaplandığı model alt bloğu Şekil 4.20’de sunulmuştur [Çengel and Ghajar, 2011].

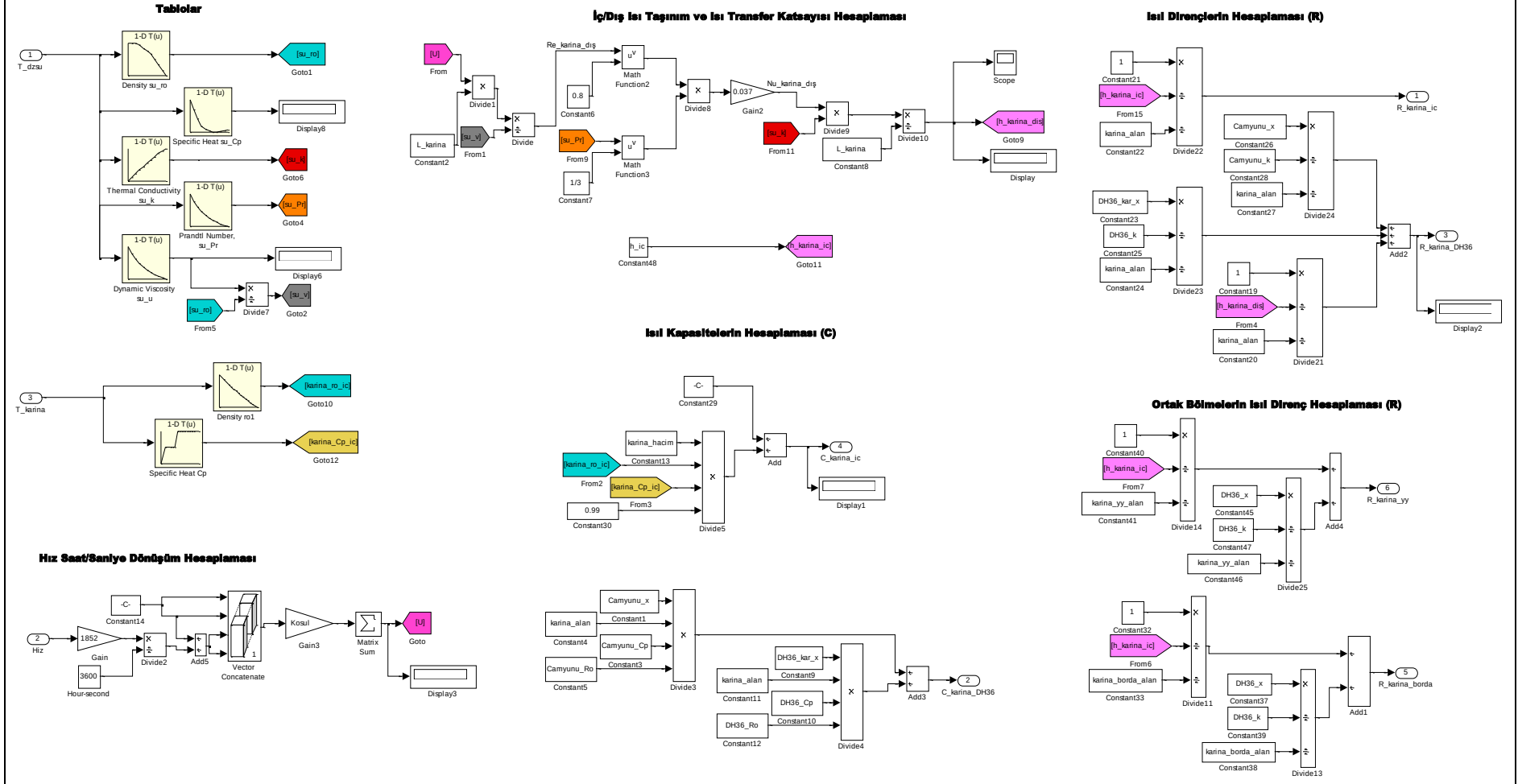
Karina bölmeleri su hattı kesimi altında olduğundan, geminin limanda ve demirde bulunduğu sürelerde devamlı üzerinden bir su akışı olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Bu kapsamda, akan suyun hızı 0,1 knots (0,051 m/s) olarak alınmıştır.

Karina bölmesinden farklı olarak su üstü kesiminde bulunan kompartımanların ısı iletim katsayısının hesaplamalarında Tablo 4.2’de bulunan mevsimsel ısı transfer katsayısına ek olarak geminin yaptığı hıza göre elde edilen ısı taşınım katsayısı toplanarak elde edilen değer dış ısı transfer katsayısı olarak kullanılmıştır.

Yaz-kış verilerine istinaden ASHRAE’nin binalarda kullanılan ısı transfer katsayısı geminin sabit durduğu liman ve demir koşullarında kullanılmasının uygun olduğu değerlendirilmiştir [ASHRAE, 2013]. Geminin seyirdeyken genel olarak rüzgar ve dalgaların yaptırabileceği yalpa etkilerinden kaçınmak maksadıyla öncelikle baş, gerekli durumlarda kıç taraftan alınması tercih edilmektedir. Bu kapsamda; ASHRAE değerlerinin üzerine geminin hızına göre hesaplanan değerlerin eklenmesinin, maruz kalınacak en yüksek ısı transfer katsayısı değerine ulaşmak maksadıyla daha uygun olacağı değerlendirilmiştir.

Ayrıca iç yüzey ısı iletim katsayısı $h_{iç} = 8,29 \text{ W/m}^2\text{K}$ bütün mevsim koşulları için standart olarak alınmıştır [ASHRAE, 2013].

Karina (A/C Bölgesi Dışında) Isıl Direnç ve Kapasite Hesaplaması



Şekil 4.20: HVAC sistemi karina ısı direnç ve kapasite hesaplama alt bloğu.

4.2.3. Kompartıman Isı Transferi ($\dot{Q}$) Hesaplanması

Kompartıman ısı transferinin hesaplanması alt bloğunda; kompartımana ait emici, basıcı fanların, soğutma ünitelerinin A/C kompresörlerinden gelen soğutma kapasiteleri ile emici/basıcı fanların, ısı yüklerin, ön ısıtma ve ısıtma hiterlerinin ısı transferleri hesaplanmaktadır. Hesaplamalarda kullanılan yaşam yerlerine ait eşitlikler aşağıda sunulmuştur [Çengel and Ghajar, 2011]. Diğer mahallerin ısı transferi hesaplamalarında aynı eşitlikler kullanılmıştır.

$$\dot{Q}_{net} = \dot{Q}_{ısıtma} - \dot{Q}_{soğutma} - \dot{Q}_{ortakalan} \quad (4.49)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ısıtma_yy} = & \dot{Q}_{basıcı_fan_yy} + \dot{Q}_{reheater_yy} + \dot{Q}_{preheater_yy} + \\ & \dot{Q}_{ısıyükler_yy} + \dot{Q}_{FCU_basıcı_yy} \end{aligned} \quad (4.50)$$

$$\dot{Q}_{soğutma_yy} = \dot{Q}_{emici_fan_yy} + \dot{Q}_{A/C_yy} + \dot{Q}_{FCU_emici_yy} \quad (4.51)$$

$$\dot{Q}_{basıcı_fan_yy} = \dot{m}_{basıcı_yy} \cdot \rho_{Tatm} \cdot C_{pTatm} \cdot T_{atm} \quad (4.52)$$

$$\dot{Q}_{emici_fan_yy} = \dot{m}_{emici_yy} \cdot \rho_{Tyy} \cdot C_{pTyy} \cdot T_{yy} \quad (4.53)$$

$$\dot{Q}_{FCU_basıcı_yy} = \dot{m}_{FCU_basıcı_yy} \cdot \rho_{Tyy} \cdot C_{pTyy} \cdot T_{yy} \quad (4.54)$$

$$\dot{Q}_{FCU_emici_yy} = \dot{m}_{FCU_emici_yy} \cdot \rho_{Tyy} \cdot C_{pTyy} \cdot T_{yy} \quad (4.55)$$

$$\dot{Q}_{ısıyükler_yy} = \dot{Q}_{insan_yy} + \dot{Q}_{eln_elk_cihazlar_yy} \quad (4.56)$$

$$\dot{Q}_{A/C_yy} = \dot{Q}_{No:1\ A/C_yy} + \dot{Q}_{No:2\ A/C_yy} + \dot{Q}_{No:3\ A/C_yy} \quad (4.57)$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ortakalan_yy} = & \frac{T_{yy} - T_{karina}}{R_{yy_karina} - R_{karina_yy}} + \frac{T_{yy} - T_{eln}}{R_{yy_eln} - R_{eln_yy}} \\ & + \frac{T_{yy} - T_{borda}}{R_{yy_borda} - R_{borda_yy}} \end{aligned} \quad (4.58)$$

Yaşam yerlerine ait eşitlik (4.49-4.58) kullanılarak hesaplanan giren/çıkan ısı transferi alt bloğu Şekil 4.20’de sunulmuştur.

Kompartıman iç ve dış sıcaklıklarına karşılık gelen özgül ısı (C_p) ve yoğunluk (ρ) değerleri tablolardan alınmaktadır [Çengel and Ghajar, 2011]. Kompartımanlarda bulunan ön ısıtma hiterleri, ısıtma hiterleri, emici/basıcı/soğutma fan üniteleri (FCU) debileri, personel ve cihaz ısı yükleri, A/C soğutma ısı transfer hızı değerleri Tablo 4.7’de, ön ısıtma, ısıtma hiterleri ve A/C soğutma sisteminin devreye girme ve çıkmasını sağlayan termostat değerleri Tablo 4.8’de sunulmuştur [NAVSEA, 1980], [NAVSEA, 2007c].

Kompartımanlarda bulunan personelin her biri için ortalama 100 W ısı yükü hesaplanmıştır [Çengel and Ghajar, 2011]. Soğutma fan ünitelerinin bulunduğu kompartımanlarda dışardan alınan ve verilen taze hava miktarı soğutma fan ünitelerinin kapasitesinin %10’u kadardır [NAVSEA, 1980].

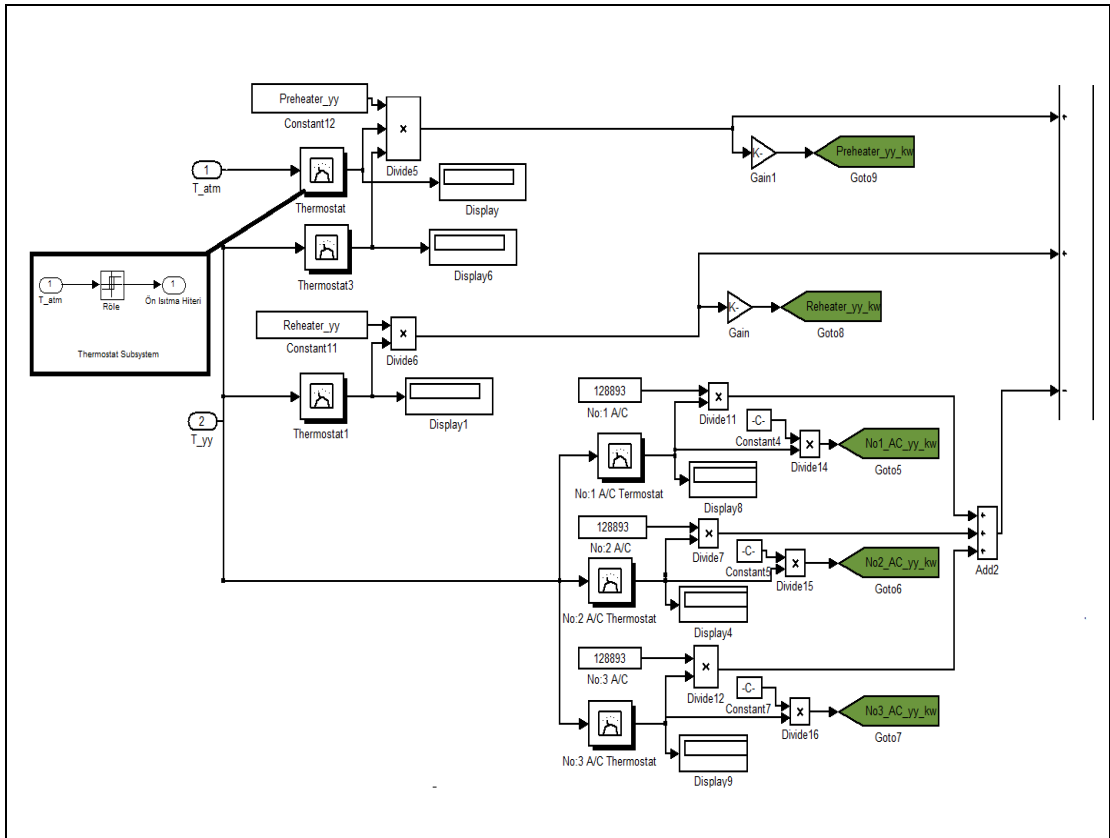
İklimlendirme (HVAC) sisteminin ön ısıtma ve ısıtma hiterleri ile soğutma kompresörlerinin termostatlar yardımıyla devreye girme ve çıkma durumları elektrik sisteminden çektiği elektrik yükü ile birlikte modellenmiştir. Bahse konu modelleme ayrıntıları Şekil 4.21’de sunulmuştur. Termostat alt bloğu da şekilde gösterilmiştir. Yaşam yerleri (A/C bölgesi) giren/çıkan ısı transferi ($\dot{Q}_t$) hesaplaması alt bloğu Şekil 4.22’de sunulmuştur.

Tablo 4.7: Kompartıman ısıtma hiterleri, ısı yükler, soğutma kapasite ve fan debi değerleri.

	Karina	Suüstü Borda	Suüstü Yaşam Yerleri			Elektronik Elektrik Cihaz Kamaraları		
Ön Isıtma Hiterleri (W)	193375	204860	130555			113960		
Isıtma Hiterleri (W)	49000	63000	79000			64900		
Personel Isıl Yükü (W)	2000	4000	7000			7000		
Cihaz Isıl Yükleri (W)	13500	8400	3300			6600		
A/C Soğutma Kapasite (W)	-	-	No:1	No:2	No:3	No:1	No:2	No:3
			128893	128893	128893	137040	137040	137040
Basıcı Fan Debisi (m³/s)	26,98	28,59	1,738			1,634		
Emici Fan Debisi (m³/s)	26,98	28,59	1,738			1,634		
Soğutma Fan Ünitesi Debisi (m³/s)	-	-	17,38			16,34		

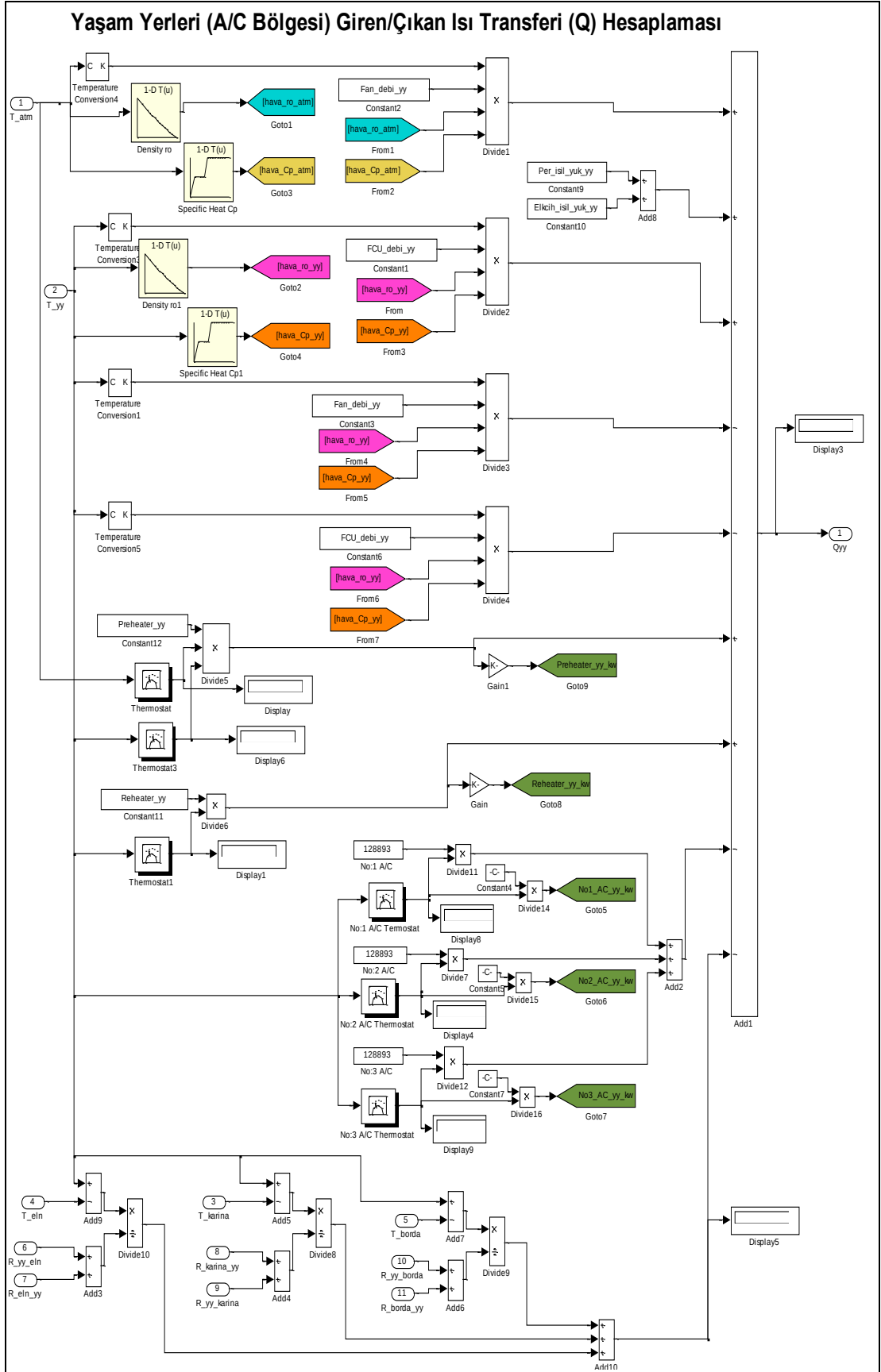
Tablo 4.8: Kompartıman ısıtma ve soğutma sistemlerine ait termostat değeri (°C).

	On/Off	Karina	Suüstü Borda	Suüstü Yaşam Yerleri			Elektronik Elektrik Cihaz Kamaraları		
Ön Isıtma Hiterleri	On	4,4/16	4,4/16	4,4/20			4,4/18		
	Off	4,4/18	4,4/18	4,4/22			4,4/20		
Isıtma Hiterleri	On	16	16	20			18		
	Off	18	18	22			20		
A/C Soğutma				No:1	No:2	No:3	No:1	No:2	No:3
	On	-	-	22,1	22,2	22,3	20,1	20,2	20,3
	Off	-	-	20,1	20,2	20,3	18,1	18,2	18,3



Şekil 4.21: İklimlendirme sistemi termostat ve elektrik yükleri hesaplama bloğu.

Tüm alt hesaplama bloklarından gelen ısı transferi ($\dot{Q}_i$), ısıl dirençler (R_i), ısıl kapasiteler (C_i), sıcaklık hesaplama bloğunda kullanılarak iç ve alabanda sıcaklıkları hesaplamıştır.



Şekil 4.22: Yaşam yerleri (A/C bölgesi) giren/çıkan ısı transferi ($\dot{Q}_l$) hesaplaması alt bloğu.

4.3. Gemi Elektrik Sistemi Modellenmesi

Gemi elektrik sisteminin modellenmesinde; her alt sistemde çalışan cihazların teknik kitaplardan alınan sistem cihaz teknik özellikleri Tablo 4.9’da sunulmuştur. [NAVSEA, 2000a], [NAVSEA, 2000b], [NAVSEA, 2000a], [NAVSEA, 2007c] , Cihazların, Tablo 4.1’de verilen koşullara (liman, demir, manevra, seyir) istinaden çalışma periyotları belirlenmiş ve modellenmiştir.

Isıl olarak ortam sıcaklığına en fazla bağlı olduğu ortaya konulan iklimlendirme sisteminin ve gemide mevcut tüm alt sistemlerin yük değerlerinin toplanması ile dizel jeneratörlerden çekilen yük döngüsel yapı içinde oluşturulmuştur. Elektrik sistemi modelinin genel görünümü Şekil 4.23’te sunulmuştur.

Tablo 4.9: Sistem cihaz teknik özellikleri.

Sistem Cihaz Teknik Özellikleri				
Sistem	Cihaz	Volt (V)	Amper (A)	Güç (kW)
Ana Tahrir Sistemi	No.1/No.2 Ana Dişli Kutusu Yağlama Yağı Tulumbası	440	49,1	21,6
	Ana Dişli Kutusu Havalı Yağlama Yağı Tulumbası	-	-	-
	No.1/No.2 Ana Dişli Kutusu Deniz. Suyu Tulumbası	440	30,5	13,42
	Ana Dişli Kutusu Tornaçark Motoru	440	7,1	3,12
	Yağlama Yağı Prüfayeri	440	2,3	1,01
	Hatve Kontrol Hidrolik Tulumbası	440	147	64,68
	Hatve Kontrol Dişli Hidrolik Tulumbası	-	-	-
	G/T Yıkama Tulumbası	440	4,2	1,85
	Sancak/İskele Yakıt Servis Tulumbası	440	7,5	3,3
Yardımcı Makine (SSDG) Alt Sistemleri	No.1/No.2/No.3/No.4 Dizel Deniz Suyu Tulumbası	440	25	11
	No.1/No.2/No.3/No.4 Dizel Atık Isı Tulumbası	440	25	11
	No.1/No.2/No.3/No.4 Dizel Ön Yağlama Yağı Tulumbası	440	3,4	1,5
Yakıt Transfer Sistemi	No.1/No.2 Yakıt Transfer Tulumbası	440	19,6	8,62
	Yardımcı Yakıt Transfer Tulumbası	440	3,8	1,67
	No.1/No.2 Motorin Prufayeri	440	52	22,88
	Yakıt Dip (Stripping) Tulumbası	440	10	4,4
	JP-5 Servis Tulumbası	440	10,8	4,75
	JP-5 Transfer Tulumbası	440	7,1	3,12
	JP-5 Dip (Stripping) Tulumbası	440	6,5	2,86
İklimlendirme ve Soğutma Sistemi	No.1/No.2/No.3 A/C Kompresör	440	120	52,8
	No.1/No.2/No.3 Soğuk Su Devirdaim Tulumbası	440	32	14,08
	No.1/No.2 Buz Odası Kompresör	440	10,3	4,53
	Basıcı/Emici Fanlar	440	327,89	144,27
	Soğutma Fan Üniteleri (FCU)	440	133	58,52
Ana Yangın Sistemi	No.1/No.2/No.3/No.4/No.5 Ana Yangın Tulumbası	440	145	63,8
	No.1/No.2 Fom Mikser Tulumbası	440	9,2	4,05
Dümen ve Fin Sistemi	No.1/No.2 Dümen Hidrolik Tulumbası	440	100	44
	Sancak/İskele Fin Stabilizer Sistemi	440	70	30,8

Tablo 4.9: Sistem cihaz teknik özellikleri (Devamı).

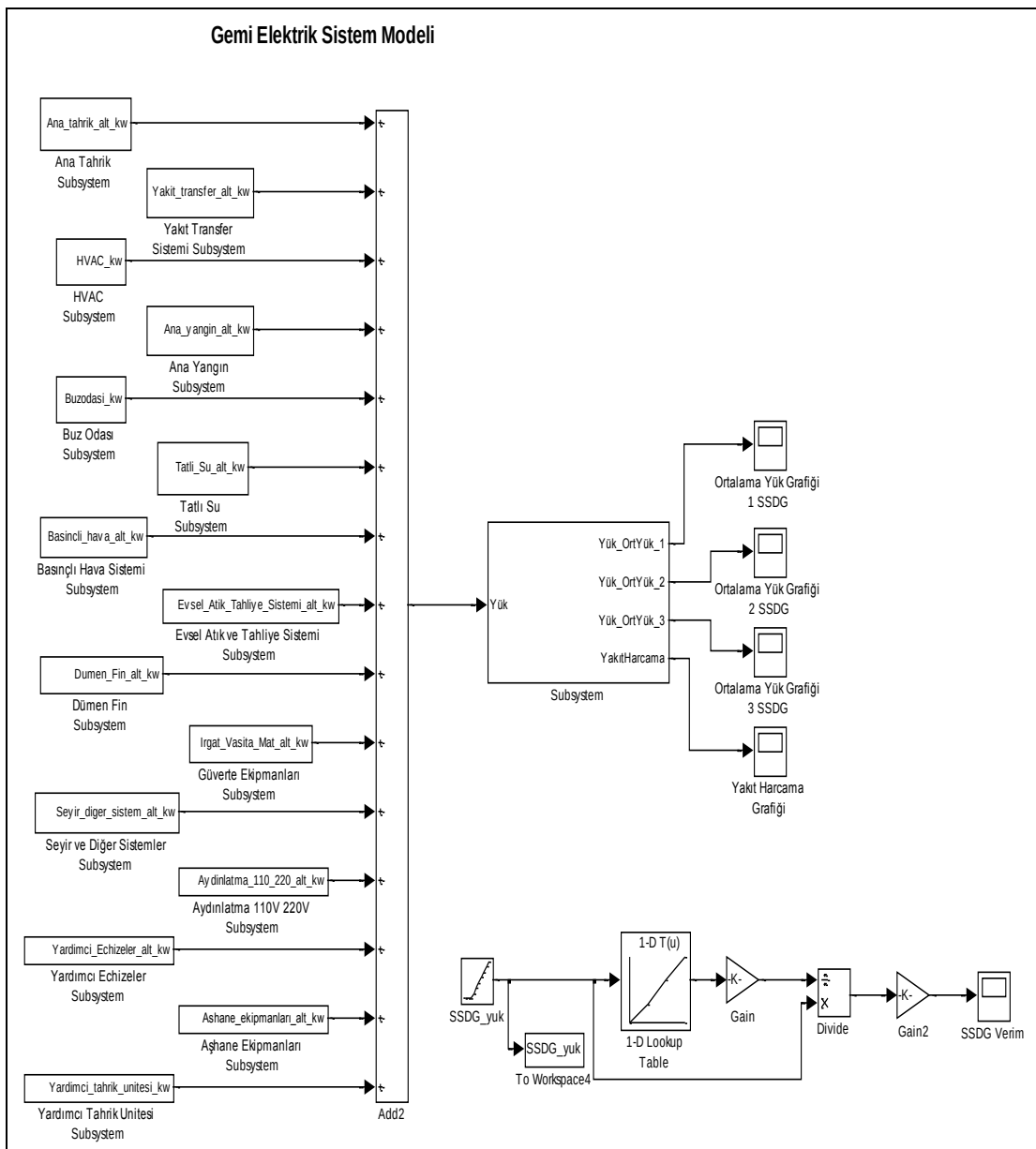
Sistem Cihaz Teknik Özellikleri				
Sistem	Cihaz	Volt (V)	Amper (A)	Güç (kW)
Tahliye Sistemi	No.1/No.2 Sintine Tahliye Tulumbası	440	7,8	3,43
	Sintine Separatörü ve Tulumbası	440	10,8	4,75
	Yeke Tahliye Tulumbası	440	2,2	0,97
	Kıç Evsel Atık (CHT) Tahliye Tulumbası	440	4,4	1,94
	Atık Su (Waste Water)/Evsel Atık (CHT)/Çamaşırhane Dreyn Tulumbası	440	2,9	1,28
Tatlı Su Sistemi	No.1/No.2 Tatlısu Tulumbası	440	6,5	2,86
	Tatlı Su Ön Besleme Tulumbası	440	2,5	1,1
	Tatlısu Brominatör Sirkülasyon Tulumbası	440	12,4	5,46
	No.1/No.2 Eva. Damıtık Su Tulumbası	440	4,4	1,94
	No.1/No.2 Eva. Deniz Suyu Tulumbası	440	10,3	4,53
	No.1/No.2 Eva. Tatlısu Transfer Tulumbası	440	4,2	1,85
	Amoroyal Kampaund Tulumbası	115	5	0,58
	Sıcak Su Sirkülasyon Tulumbası	440	4,2	1,85
Basıncılı Hava Sistemi	No.1/No.2 Yüksek Basınç Hava Kompresörü	440	69,5	30,58
	No.1/No.2 Yüksek Basınç Hava Kompresörü Tatlı Su Tulumbası	440	1,1	0,48
	No.1/No.2 Alçak Basınç Hava Kompresörü	440	38,3	16,85
Yardımcı Tahrik Ünitisi	Sancak/İskele Yardımcı Tahrik Ünitisi	440	540	237,6
	Sancak/İskele Yardımcı Tahrik Ünitisi Asansör Motoru	440	6	2,64
	Sancak/İskele Yardımcı Tahrik Ünitisi Yön Motoru	440	2	0,88
Asansörler	Büfe Asansörü	440	1,35	0,59
	Yük Asansörü	440	28	12,32
İrgatlar-Matafora	Baş demir ırgatı	440	53	23,32
	Kıç ırgat	440	23	10,12
	Vasıta Mataforası	440	23	10,12
Evsel Atık Sistemi	No.1/No.2 Evsel Atık (CHT) Transfer Tulumbası	440	9,75	4,29
	No.1/No.2 Evsel Katı Atık Parçalayıcı	440	8,4	3,7
	Evsel Atık Toplama Tankı Hava Tulumbası	440	7,1	3,12
Seyir ve Diğer Sistemler	Diğer Sistemler	440	81,82	36
400 Hz	No.1/No.2/No.3 400 Hz. Konvertör	440	127,27	56
220 V	440V/220V Trafo	220	305,77	67,27
110 V	440V/110V Aydınlatma/Prizler	110	0,00	0
Aşhane Ekipmanları	Aşhane Ekipmanları (Kazanlar, Fırınlar, Fritöz,Plateler)	440	52,95	23,30
Yardımcı Echizeler	Yardımcı Echizeler (Çamaşır Yıkama/Kurutma Mk.leri,Ütüler)	110	136,36	15,00

4.3.1. Gemi Elektrik Alt Sistemlerinin Modellemesi

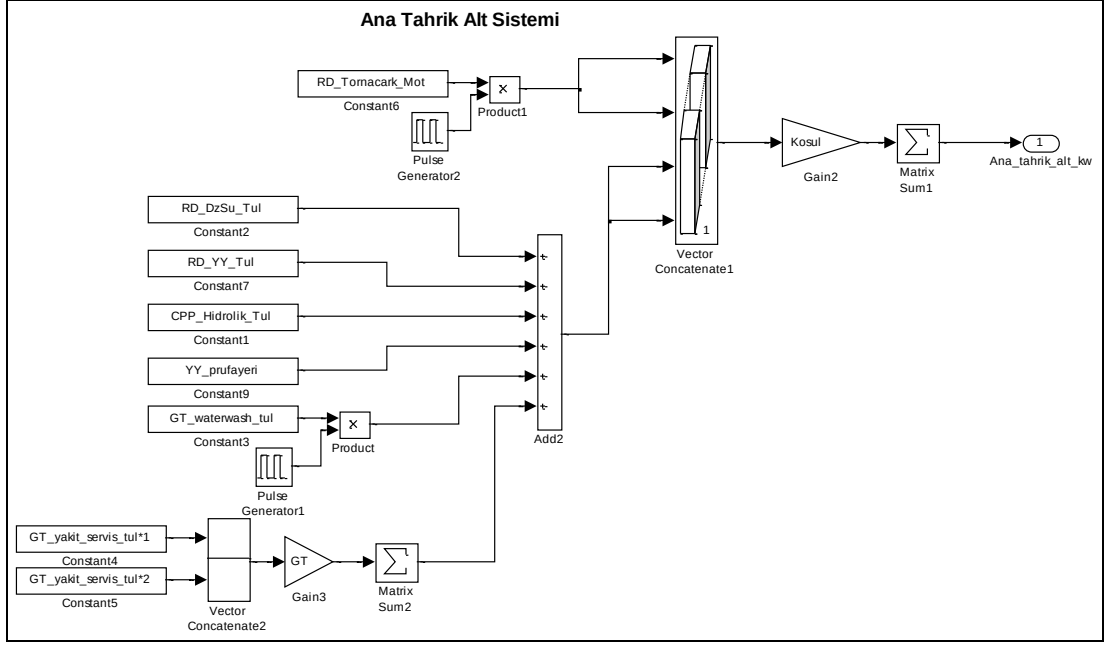
Geminin liman, demir, manevra ve seyir koşullarına göre çalışan cihaz ve sistemlerin modellemesinde Tablo 4.1’de verilen matrisler kullanılarak cihaz yükleri hesaplanmış, alt sistem yüklerinin toplamaları bulunmuştur. Periyodik olarak çalışan cihazların modellemesinde ‘pulse generator’ bloğu kullanılmıştır.

Ana tahrik alt sistemine ait modelleme Şekil 4.24'te sunulmuştur. Model içinde kullanılan gain bloğu 'GT' katsayısı çalışan gaz türbini sayısı olarak kullanılmıştır.

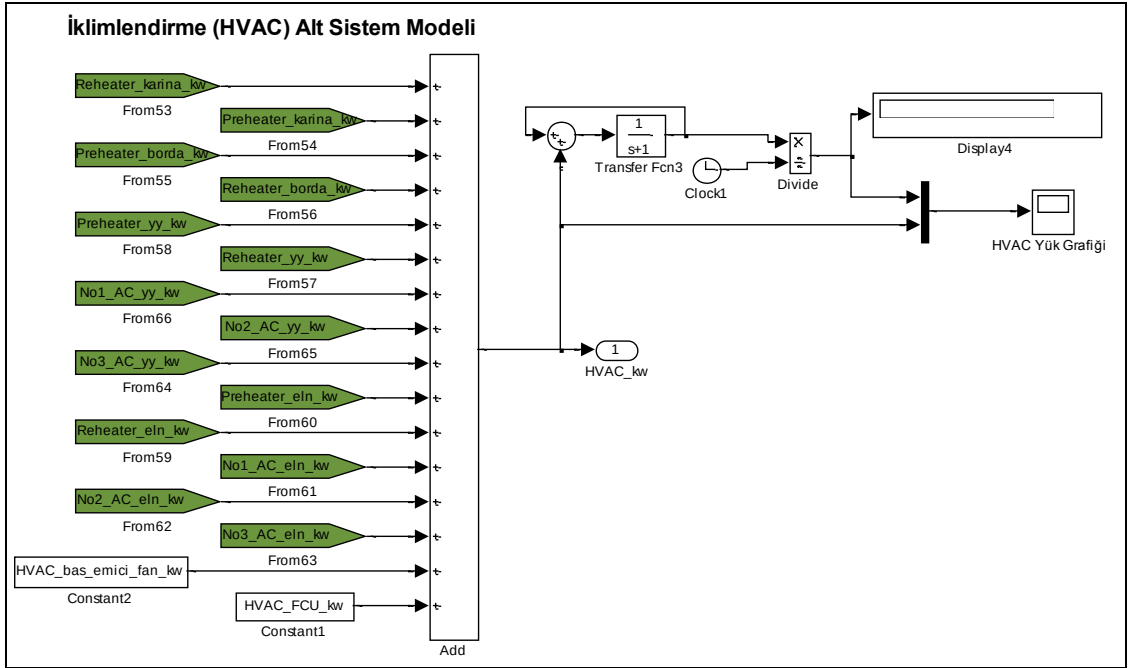
İklimlendirme alt sistemine ait bölme sıcaklıklarının kontrol edilmesi amacıyla kullanılan ön ısıtma ve ısıtma hiterleri ile soğutma (A/C) fan ünitelerinin termostatlara istinaden hesaplanan çalışma yükleri her kompartımanın ısı transferi hesaplama alt sistem bloklarından alınmıştır. Ayrıca bu alt sistem içinde bulunan basıncı ve emici fan ile soğutma fan üniteleri toplam güç değerleri eklenerek toplam iklimlendirme sistemi yükü hesaplanmıştır. İklimlendirme alt sistemine ait modelleme Şekil 4.25'te sunulmuştur.



Şekil 4.23: Gemi elektrik sistem modeli.



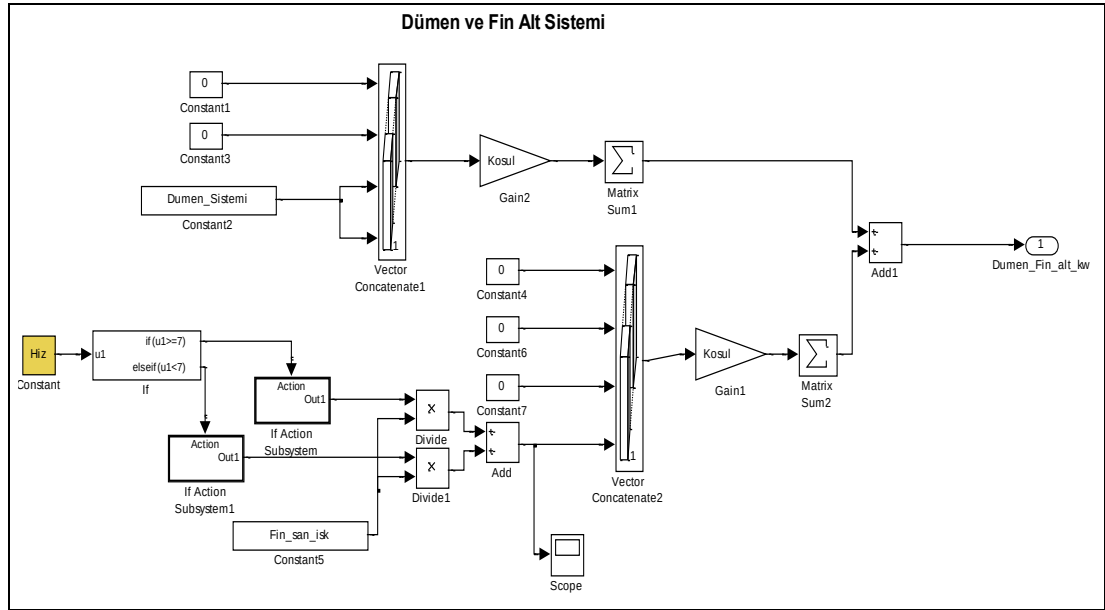
Şekil 4.24: Ana tahrik alt sistemi modeli.



Şekil 4.25: İklimlendirme (HVAC) alt sistemi modeli.

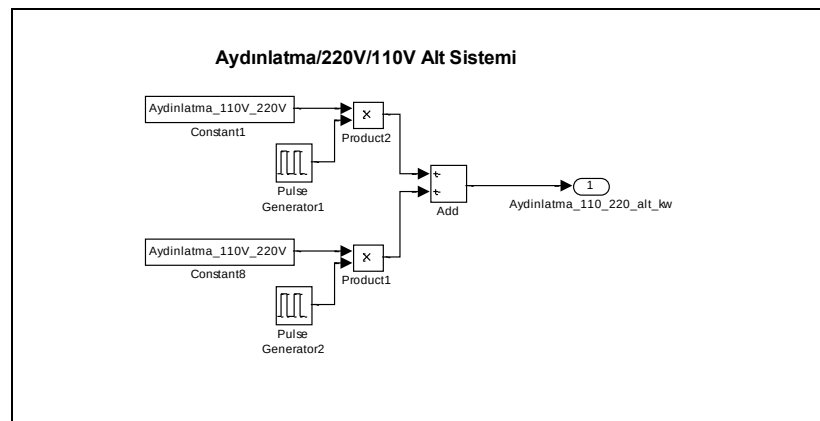
Dümen ve fin alt sisteminde çalışan cihazlara ait geminin içinde bulunduğu koşula göre oluşturulan model Şekil 4.26'da sunulmuştur. Dümen sistemi manevra ve seyirde devrede, fin sistemi sadece seyirde devrededir. Ayrıca fin sistemi seyir koşullarında gemi süratının 7 knots altına indiğinde devreden çıkmakta, süratın 7

knots üstüne çıktığında tekrar devreye girmektedir. Bahse konu husus modellemeye ‘if action subsystem’ bloğuyla yapmıştır.



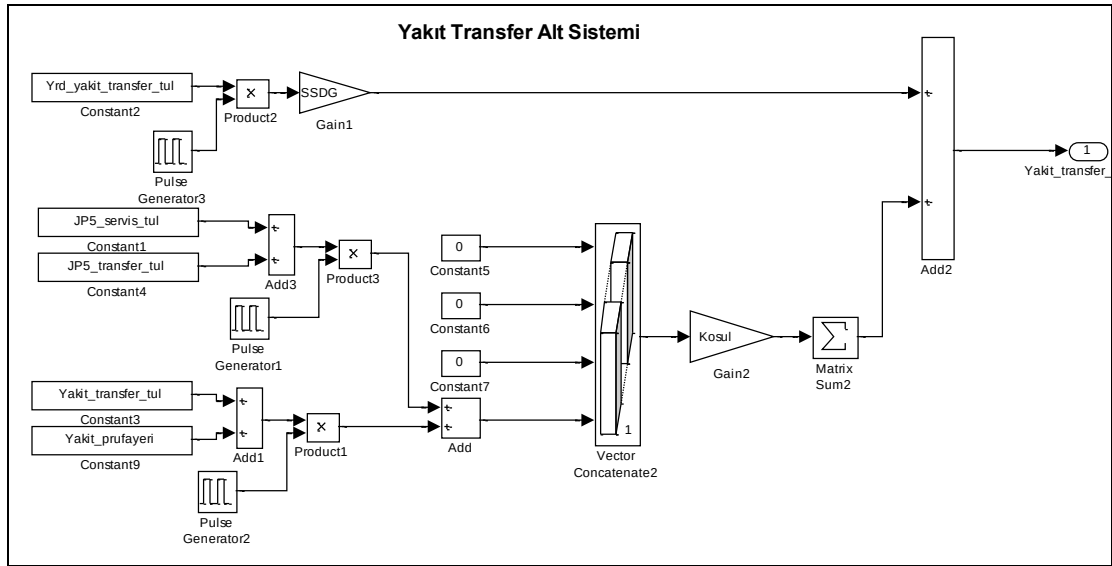
Şekil 4.26: Dümen ve fin alt sistem modeli.

Aydınlatma/220V/110V alt sisteminin oluşturulan modeli Şekil 4.27’de sunulmuştur. Modelde günün gündüz saatleri olarak 16 saat % 100 yük durumunda, gece saatleri olarak 8 saatlik kısmında % 40 yük durumunda çalıştığı kabul edilmiştir.

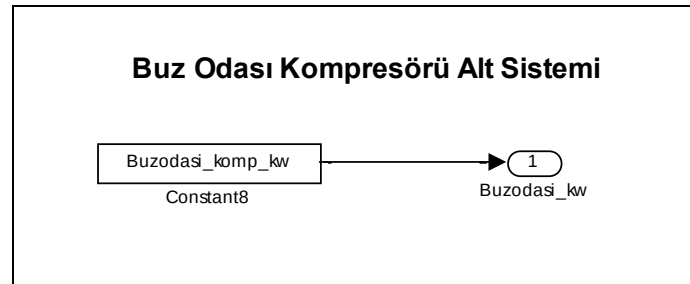


Şekil 4.27: Aydınlatma/220V/110V alt sistem modeli.

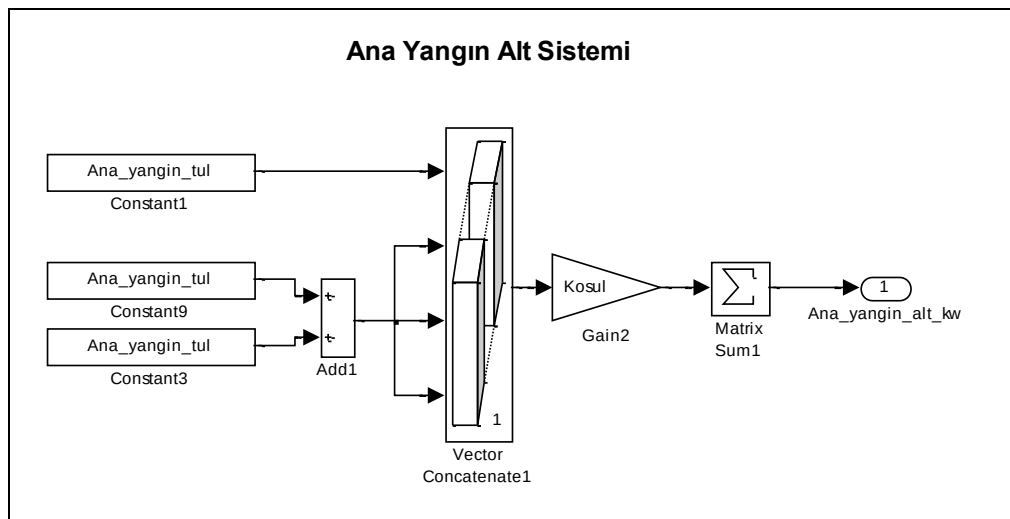
Diğer tüm sistemlere ait modeller Şekil 4.28-4.38’de sunulmuştur.



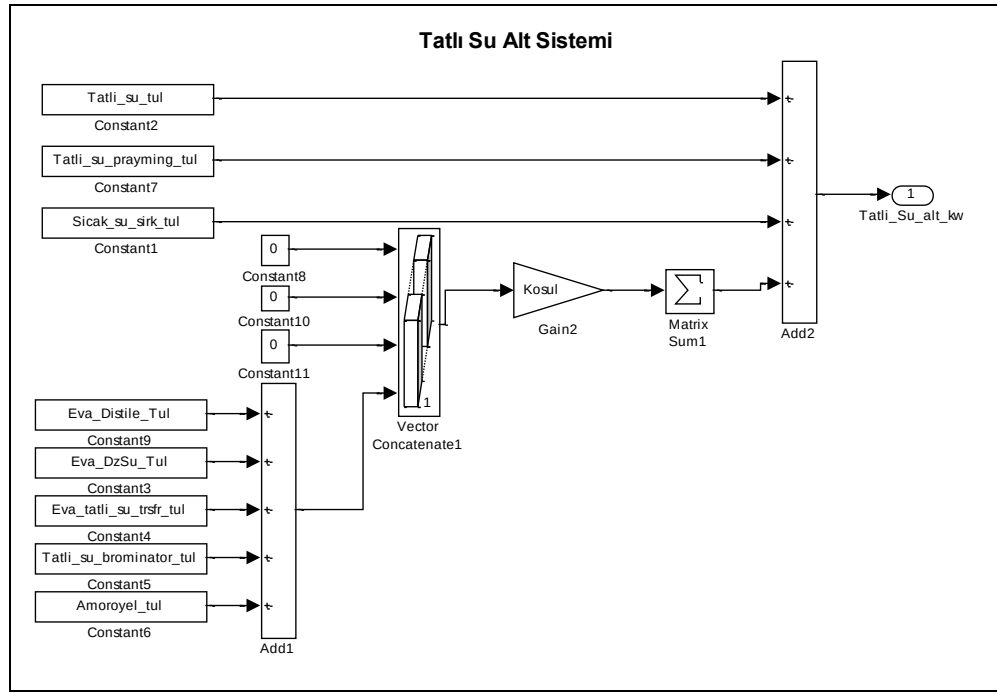
Şekil 4.28:Yakıt transfer alt sistem modeli.



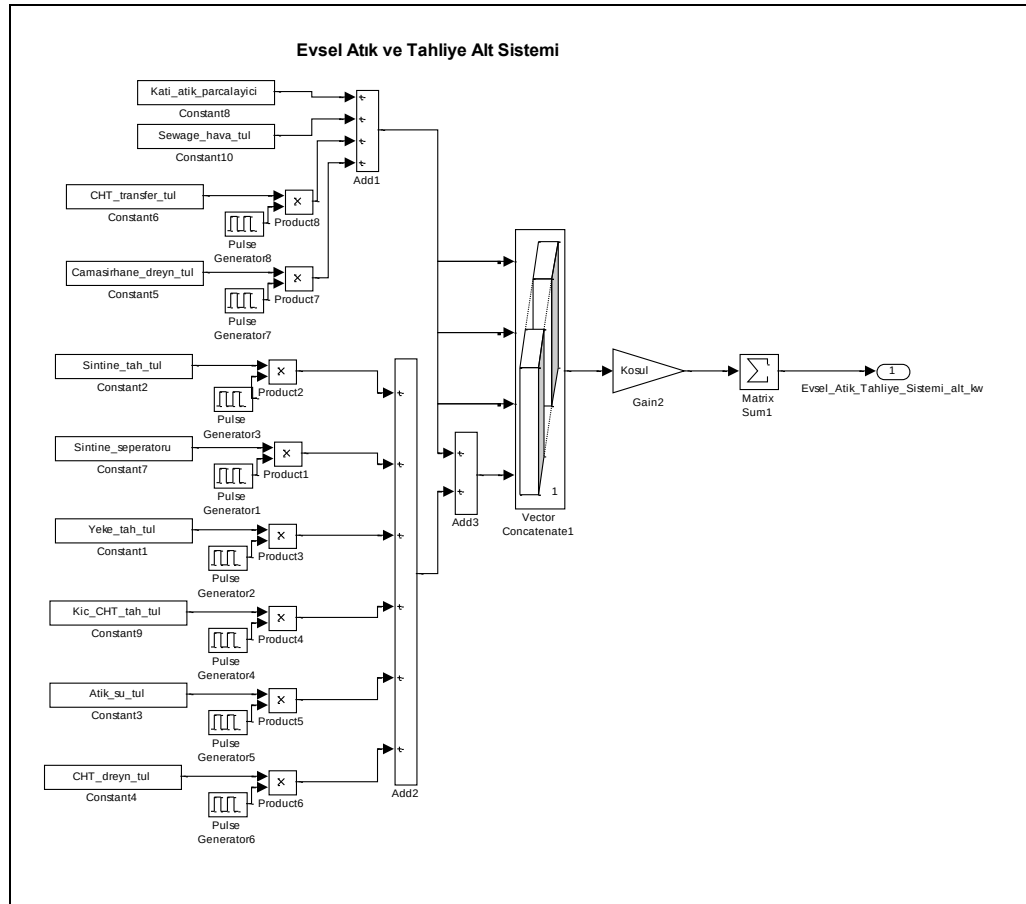
Şekil 4.29: Buz odası kompresörü alt sistem modeli.



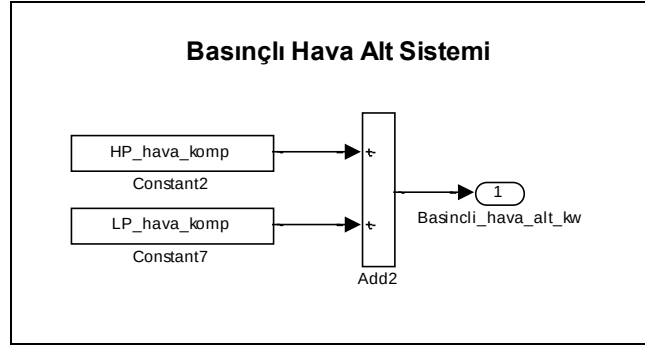
Şekil 4.30: Ana yangın alt sistem modeli.



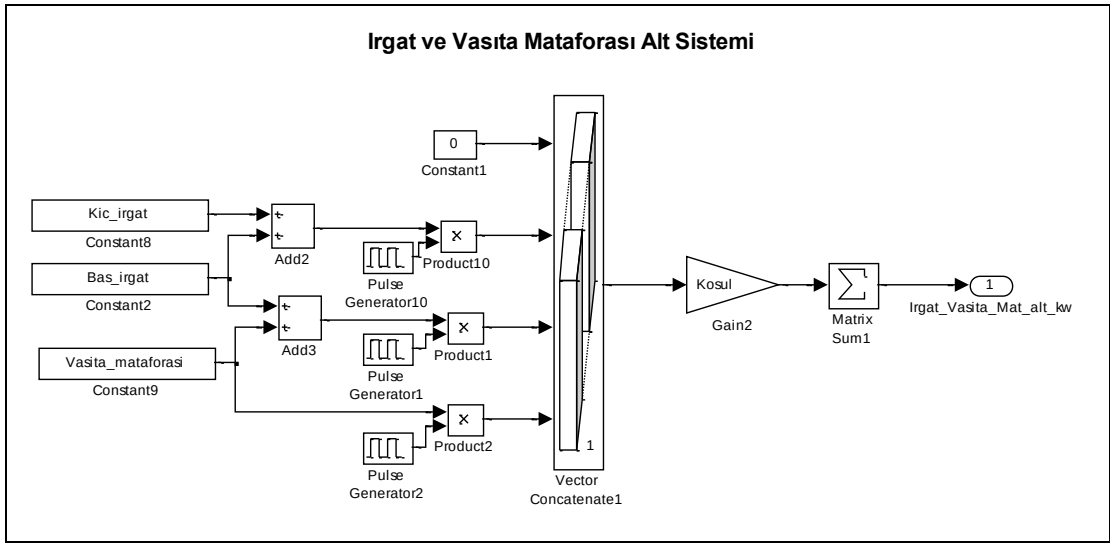
Şekil 4.31: Tatlı su alt sistem modeli.



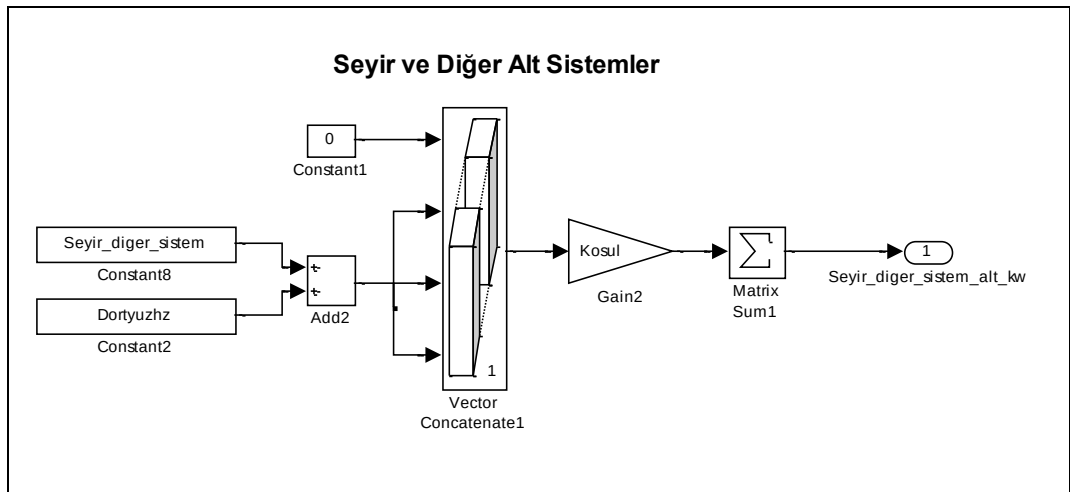
Şekil 4.32: Evsel atık ve tahliye alt sistem modeli.



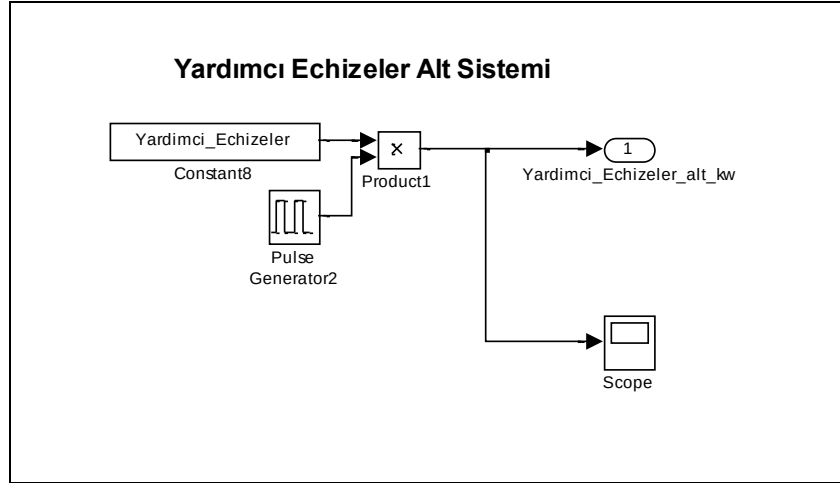
Şekil 4.33: Basınçlı hava alt sistem modeli.



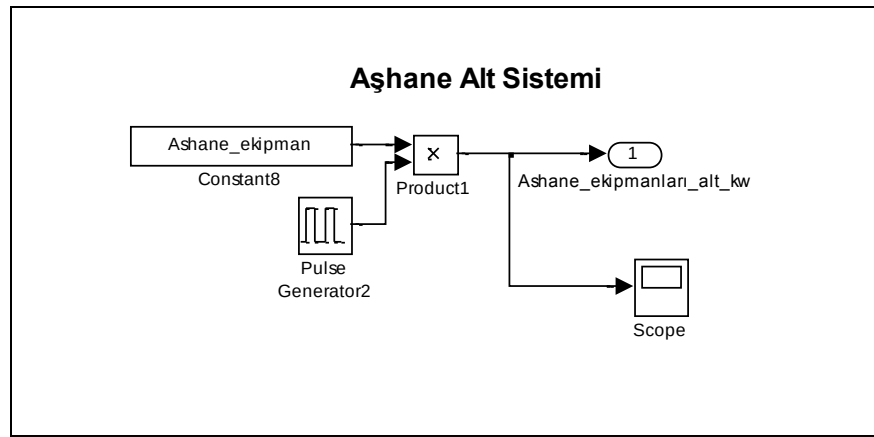
Şekil 4.34: Irgat ve vasıta metaforası alt sistem modeli.



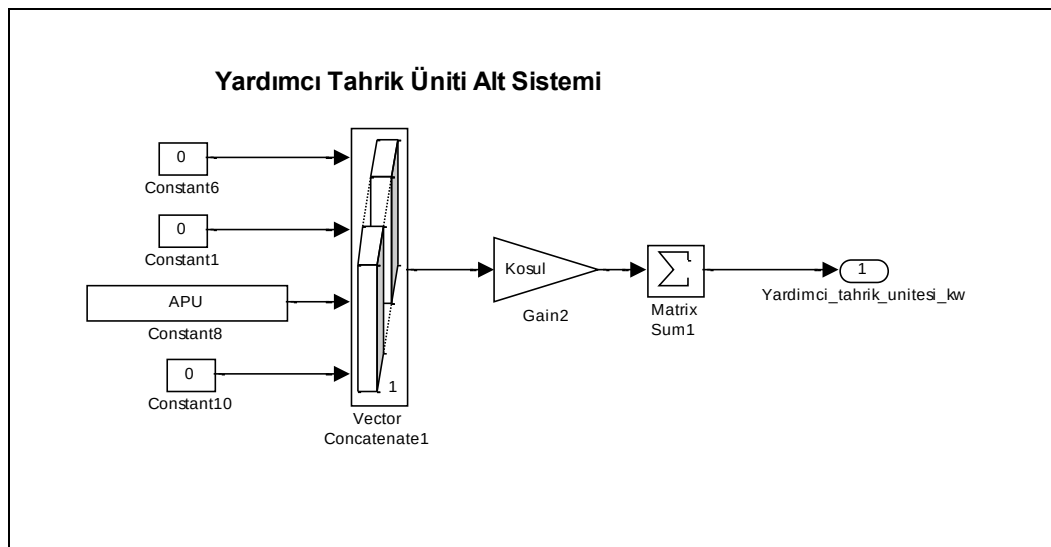
Şekil 4.35: Seyir ve diğer sistemler modeli.



Şekil 4.36:Yardımcı Eçizeler alt sistem modeli.



Şekil 4.37: Aşhane alt sistem modeli.



Şekil 4.38:Yardımcı tahrik üniti (APU) alt sistem modeli.

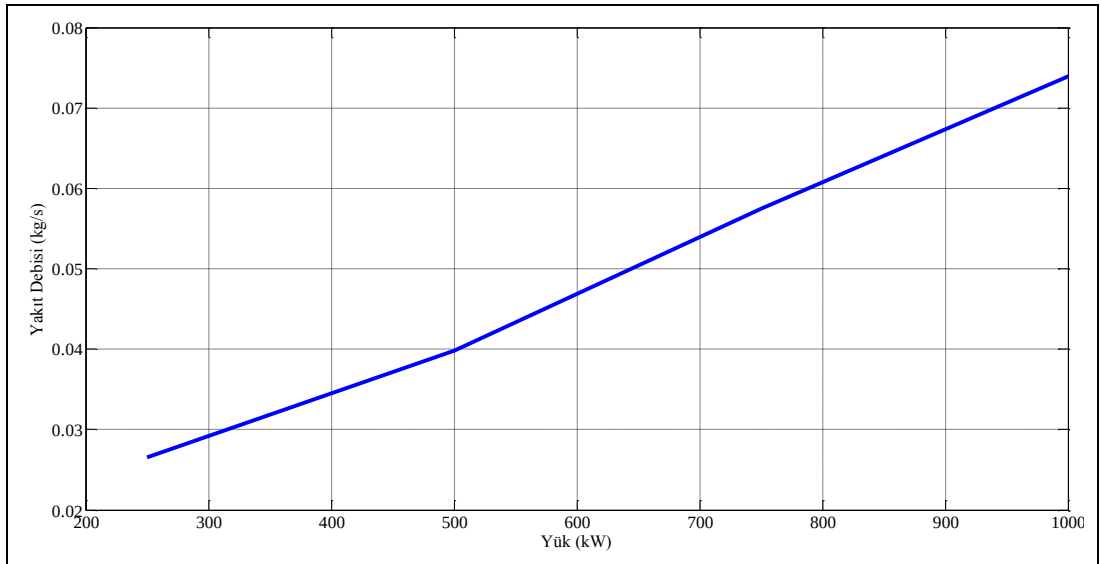
4.3.2. Dizel Jeneratör Ortalama Yük ve Günlük Yakıt Sarfıyatı Hesaplama Modeli

Geminin içinde bulunduğu koşula göre elektrik alt sistemleri içinde çalışan cihazların yükleri toplamından elde edilen elektrik yüküne her çalışan dizelin alt sistem yükleri eklenerek toplam gemi elektrik yükü elde edilmiştir. Kullanım koşullarına göre devreye alınacak her dizel için zamana göre ortalama yük ve günlük yakıt harcama miktarları hesaplanmıştır. Dizel jeneratör ortalama yük ve toplam yakıt sarfıyatı eşitlik (4.59)-(4.60)'a, ekserji verimi ise eşitlik (4.61)'e göre hesaplanmış ve model Şekil 4.40'da sunulmuştur.

$$Toplam\ Yakıt\ Sarfıyatı = \sum Anlık\ Y\ddot{u}k * (\dot{m}_{yakıt_SSDG})_{kW} \quad (4.59)$$

$$Ortalama\ Y\ddot{u}k = \frac{\sum Anlık\ Y\ddot{u}k}{Zaman} \quad (4.60)$$

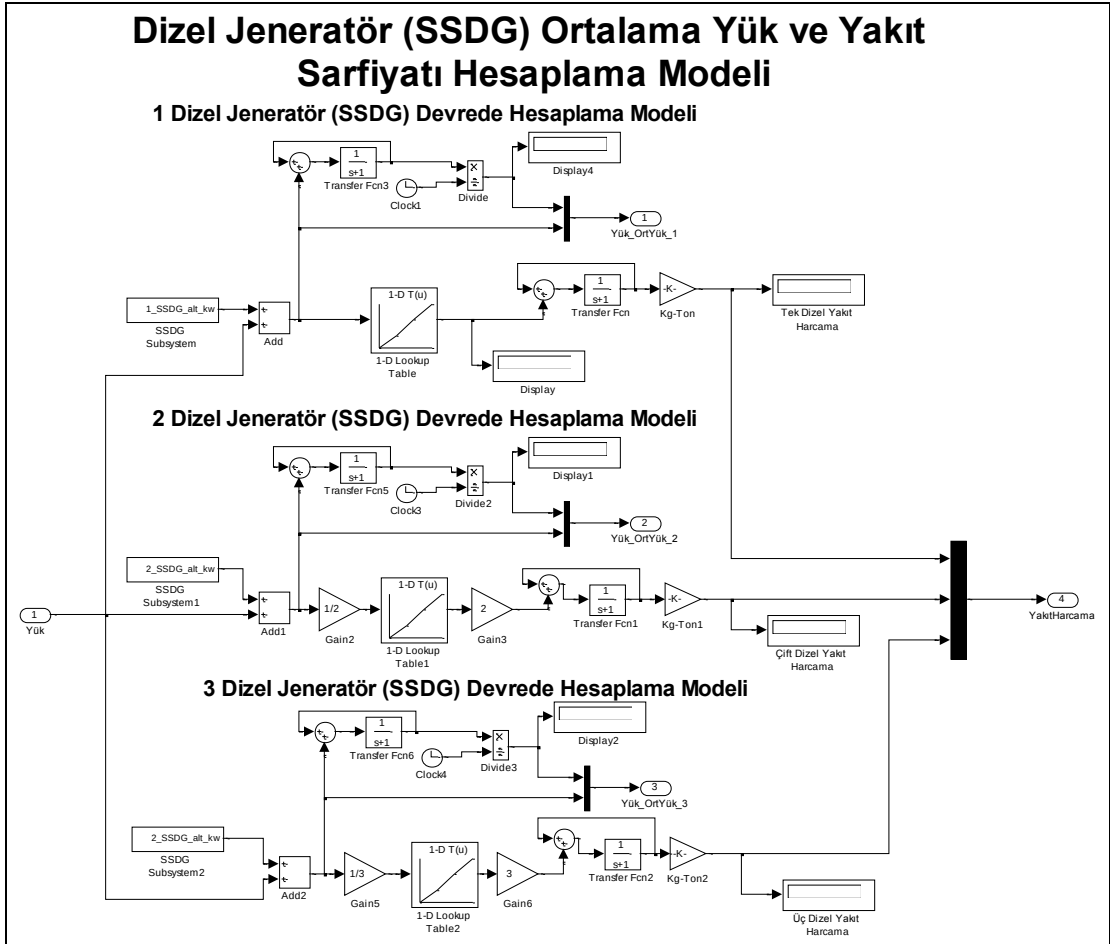
$$\eta_{SSDG} = \frac{Anlık\ Y\ddot{u}k}{(\dot{m}_{yakıt_SSDG})_{kW} * LHV_{yakıt}} \quad (4.61)$$



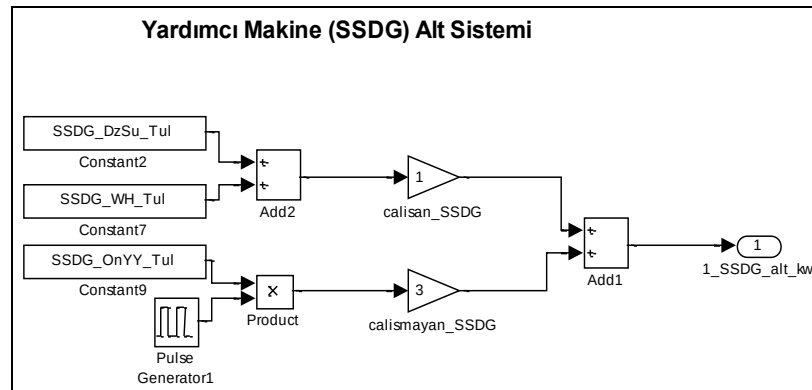
Şekil 4.39:Dizel jeneratör yüke göre yakıt sarfıyatı grafiği

Model içinde kullanılan 'Lookup Table' bloklarında dizel jeneratörün yüke göre yakıt sarfıyatı miktarları kullanılmıştır. Dizel jeneratörün yüke göre yakıt sarfıyatı grafiği Şekil 4.39'da sunulmuştur [NAVSEA, 2000b].

Yardımcı makine alt sisteminde çalışan her dizel jeneratörün deniz suyu ve atık ısı tulumbası devrede olup çalışmayan dizel jeneratörlerin saat başı ön yağlama işlemi yapılmaktadır. Alt sistem modelinde her çalışan ve çalışmayan dizel sayıları gain blokları üzerinden hesaplanarak toplanmıştır. Yardımcı makine alt sistem modeli Şekil 4.41’de sunulmuştur.



Şekil 4.40:Dizel jeneratör ortalama yük ve yakıt sarfiyatı hesaplama modeli.

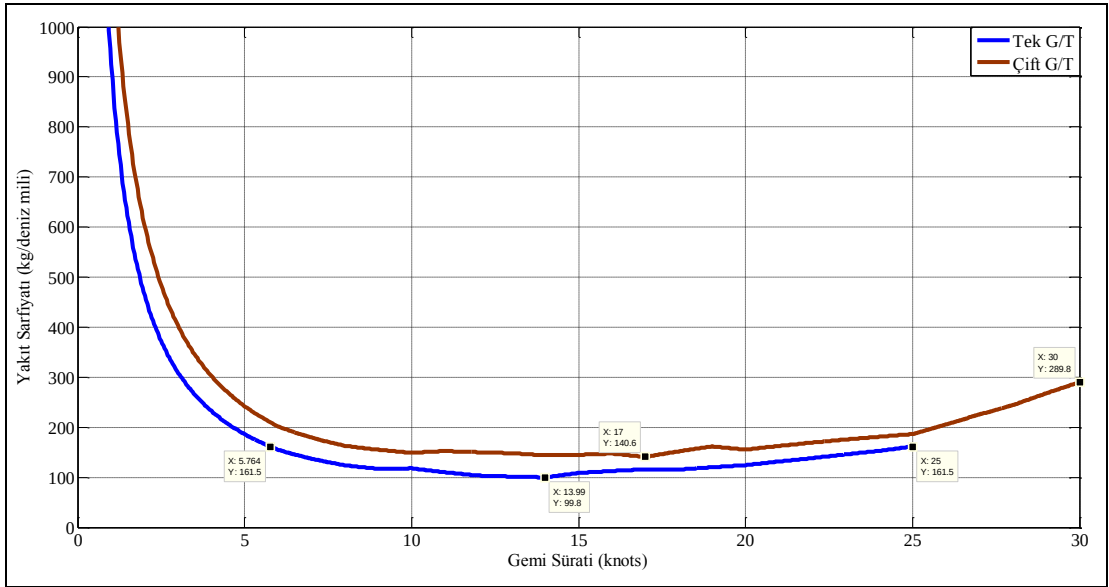


Şekil 4.41:Yardımcı makine (SSDG) alt sistem modeli.

5. GEMİ SİSTEMLERİ ENERJİ ANALİZİ ELDE EDİLEN VERİLER ve DEĞERLENDİRMELERİ

5.1. Ana Tahrik Sistem Modeli Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

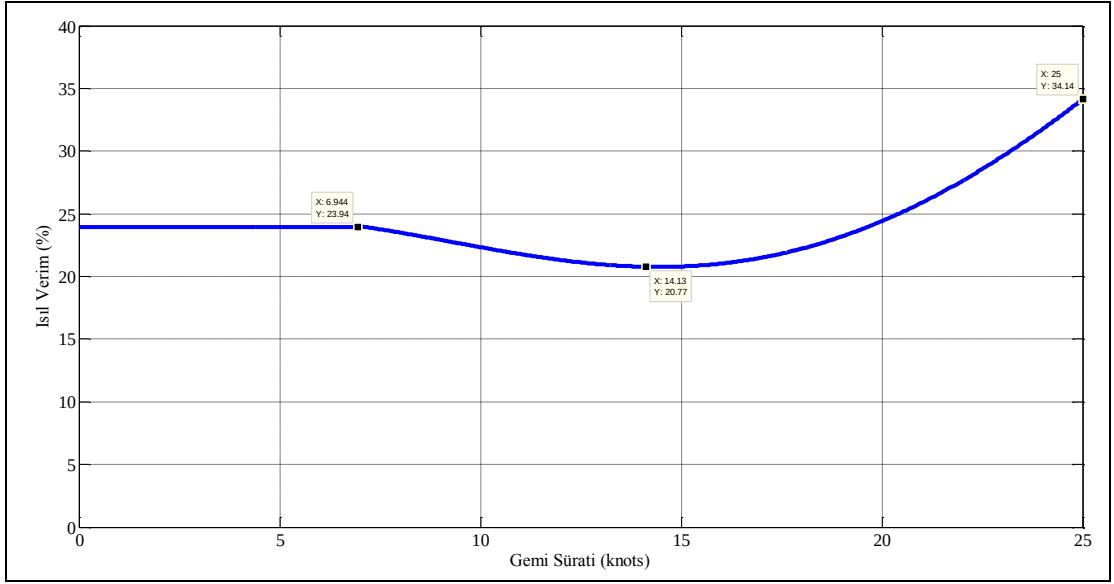
Tek ve çift gaz türbini için hazırlanan model içinde yapılan hesaplamalar sonucunda ısı ve ekserji verimleri elde edilmiştir. Gaz türbinlerinin yakıt ekonomisi olarak ele alındığında hız optimizasyonuna göre mil başına düşen yakıt harcama miktarı en önemli veridir. Bu kapsamda, Şekil 5.1’de verilen tek ve çift gaz türbininin yakıt harcama verilerine göre tek türbinde 14 knots (99,8 kg/deniz mili), çift gaz türbininde 17 knots (140,6 kg/deniz mili) en düşük harcama miktarları olarak geminin iktisadi süratleri olarak görülmektedir. Grafik incelendiğinde, tek gaz türbininde 25 ile 6 knots, çift gaz türbininde 30 ile 4 knots arasında mil başına düşen yakıt harcamaları yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu görülmektedir.



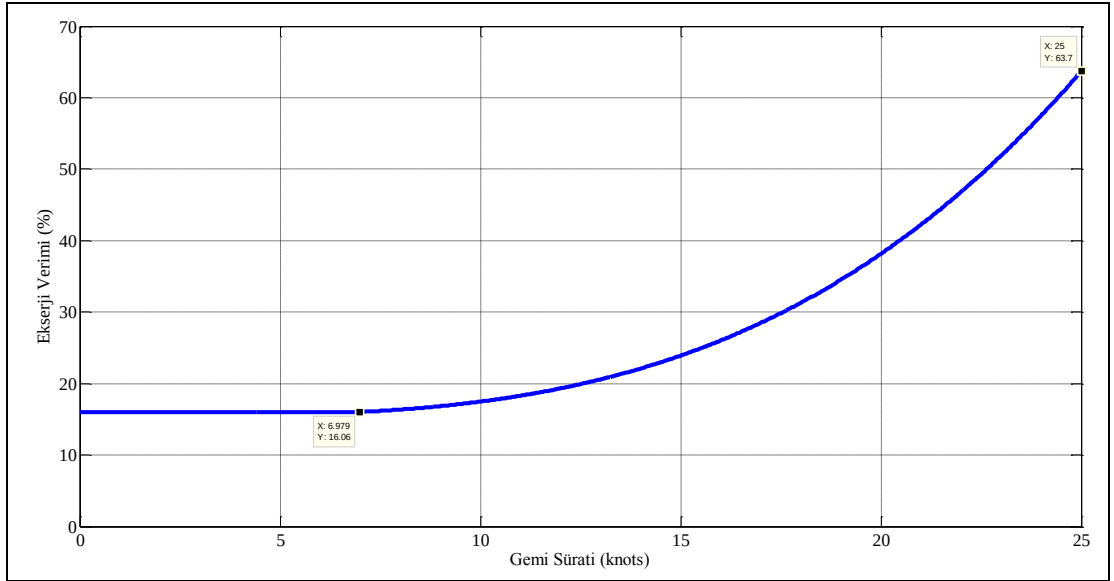
Şekil 5.1: Tek ve çift gaz türbini hıza göre yakıt sarfıyatı (kg/deniz mili) grafiği.

Tek gaz türbini devredeyken ısı verimi % 20,77-34,14, ekserji verimi ise % 16,06-63,7 aralığında bulunmuştur. Isıl verimin, yakıt ekonomisi olarak incelendiğinde hız optimizasyonunda en az mil başına harcanan yakıt miktarı olan 14 knots civarındaki gemi süratinde yükselişe geçtiği, tek gaz türbini için elde edilen en

fazla hız olan 25 knots gemi süratinde hem ısı, hem de ekserji verimlerinin en yüksek değerlerine ulaştığı görülmüştür.



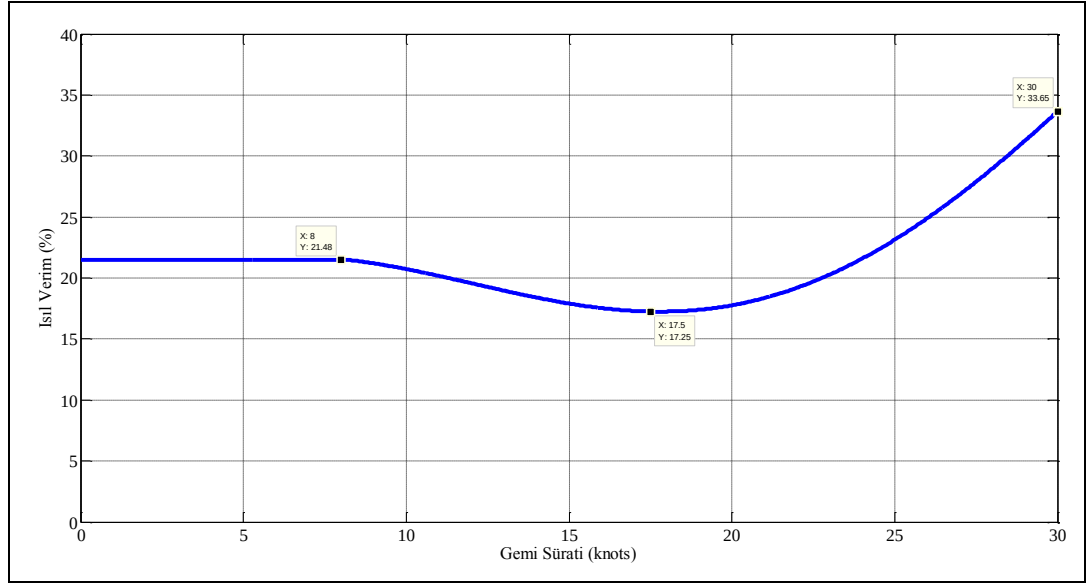
Şekil 5.2: Tek gaz türbini ısı verim grafiği.



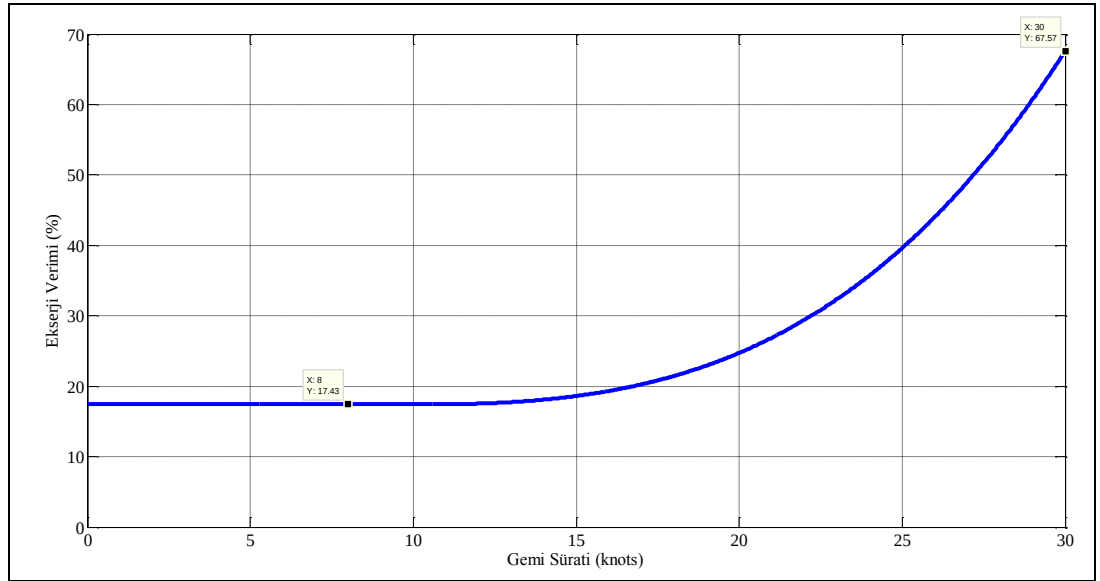
Şekil 5.3: Tek gaz türbini ekserji verim grafiği.

Çift gaz türbini devredeyken her gaz türbinin ısı verimi % 17,25-33,65, ekserji verimi ise % 17,43-67,57 aralığında bulunmuştur. Isıl verimin, yakıt ekonomisi açısından incelendiğinde hız optimizasyonunda en az mil başına harcanan yakıt miktarı olan 17 knots civarındaki gemi süratinde yükselişe geçtiği, çift gaz türbini

için elde edilen en fazla hız olan 30 knots gemi süratinde hem ısıı, hem de ekserji verimlerinin en yüksek değerlerine ulaştığı grlmştır.



Şekil 5.4: Çift gaz türbini ısıı verim grafiği.



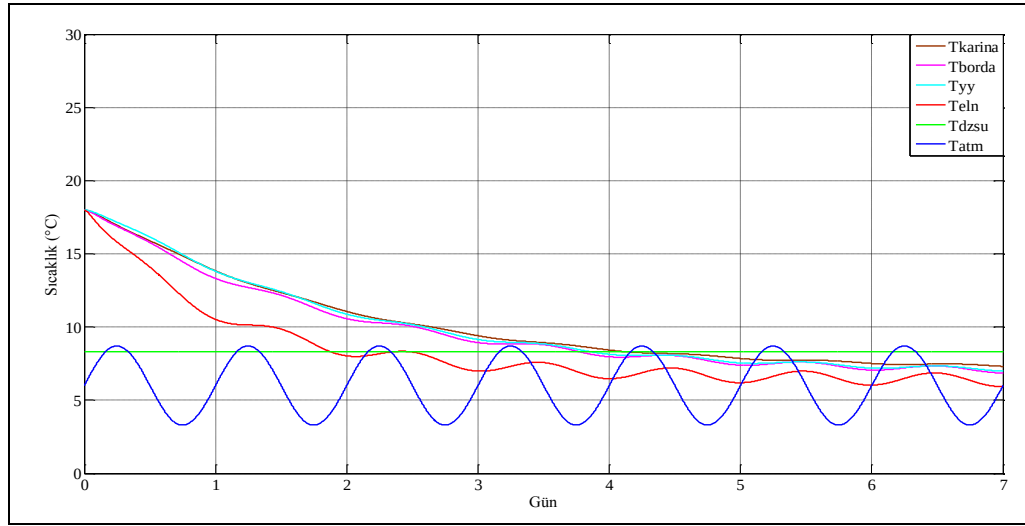
Şekil 5.5: Çift gaz türbini ekserji verimi grafiği.

Düşük hızlarda türbinleri çalıştırmanın muhtemel sonuçları olan titreşimde artış, yağ sumplarında basınçlandırma problemleri, yanma odalarında ve egzoz sistemlerinde cüruf birikmesiyle ilişkili sorunlar göz önünde bulundurulduğunda düşük hızların kullanımı hususunun dikkate alınması gerekmektedir [NAVSEA, 2004]. Tek ve çift gaz türbinin düşük hızda çalıştırıldığında hem yakıt

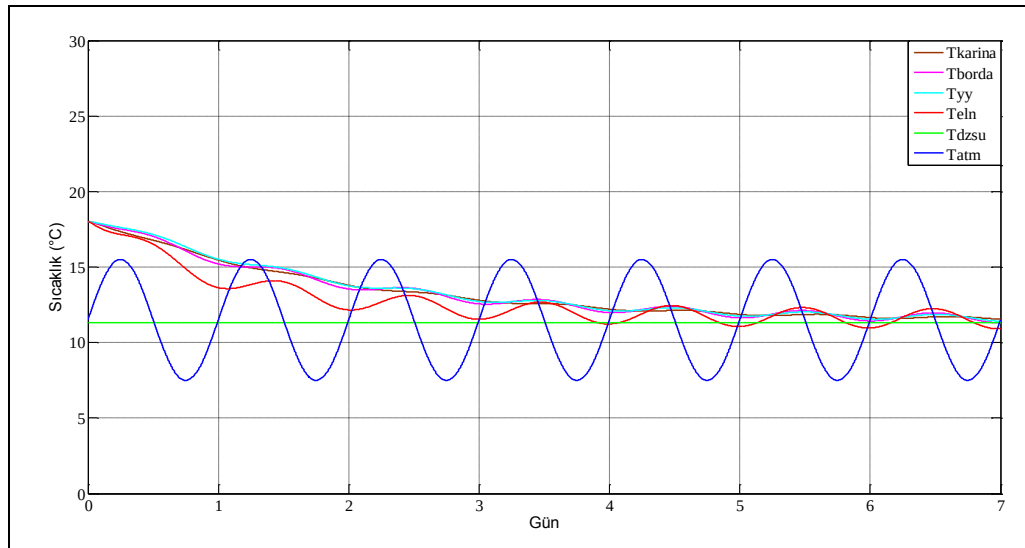
ekonomisinden, hemde elde edilen düşük verim sonuçlarına göre uygun olmadığı değerlendirilmektedir.

5.2. İklimlendirme (HVAC) Sistem Modeli Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

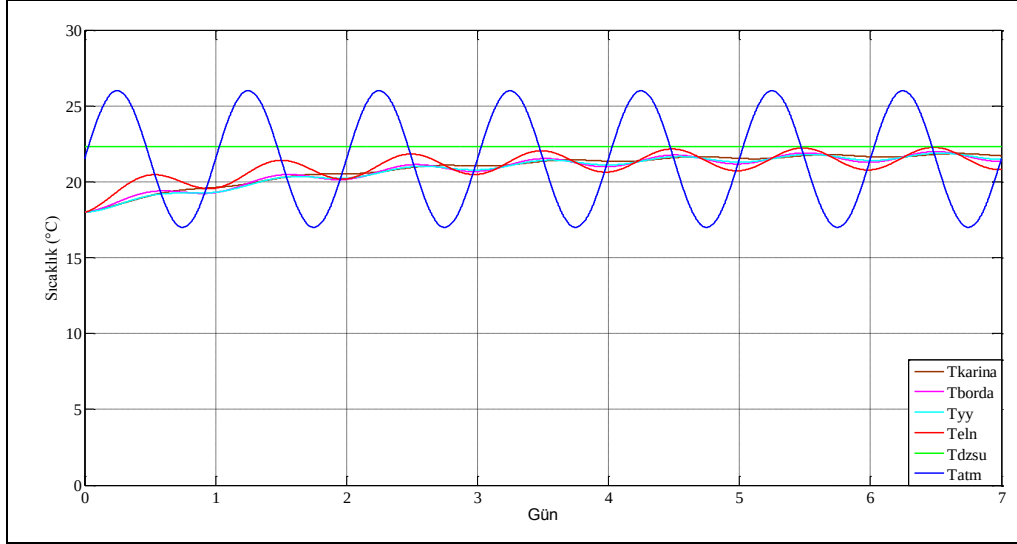
İklimlendirme sisteminin modeli için havalandırma, soğutma, ısıtma ve ısı yüklerinin bulunmadığı durumda kurulan modelin çalışması gözlemlemek maksadıyla haftalık olarak çalıştırılmış ve mevsimsel sıcaklıklara göre alınan bölme sıcaklıkları değişim grafikleri Şekil 5.6-5.9'da sunulmuştur.



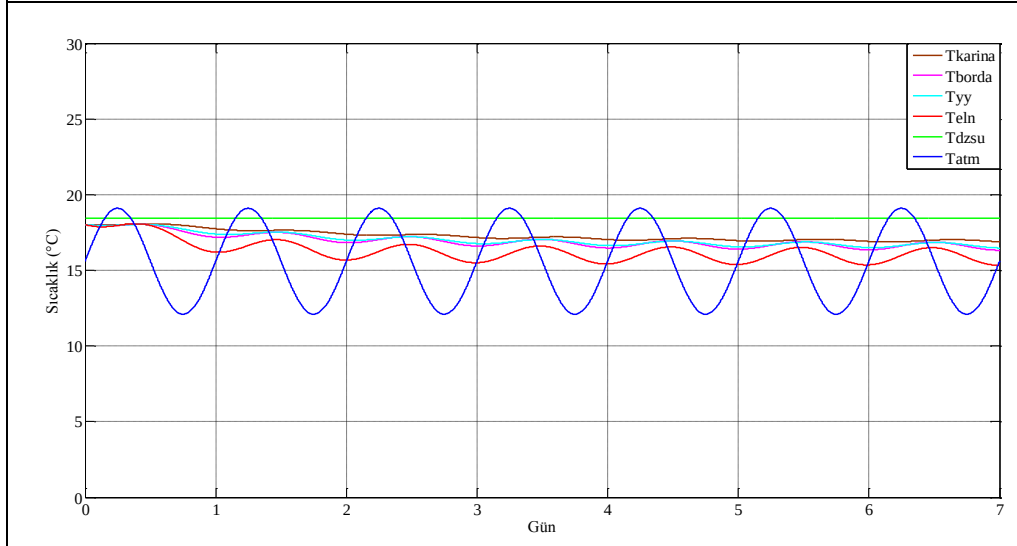
Şekil 5.6: Kış mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



Şekil 5.7: İlkbahar mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



Şekil 5.8: Yaz mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



Şekil 5.9: Sonbahar mevsimi kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.

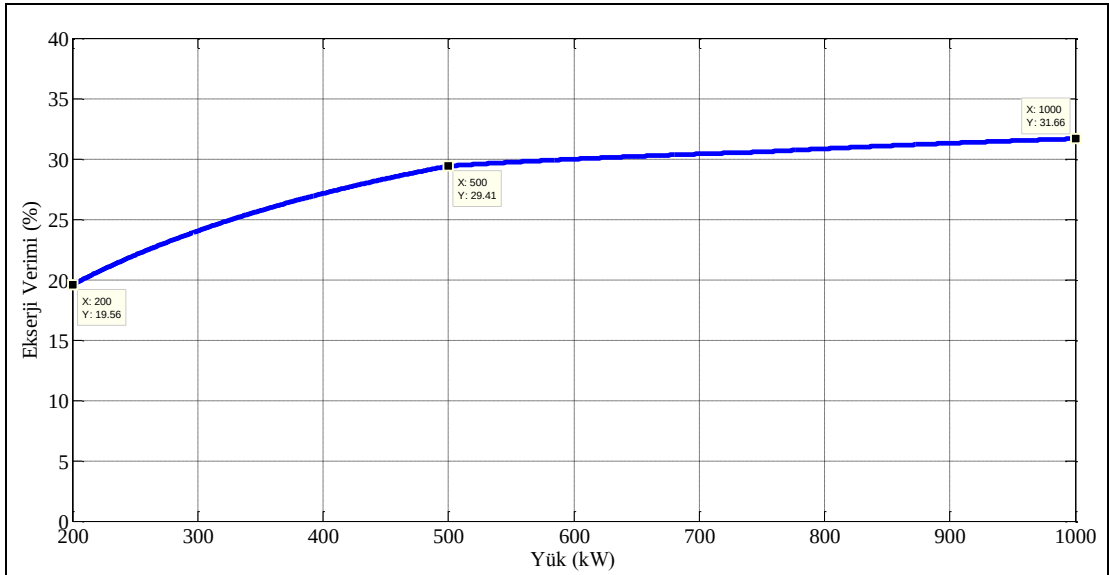
Grafikler incelendiğinde; gün içi en stabil sıcaklığın, deniz suyu sıcaklığının sabit olmasından kaynaklandığı değerlendirilen su altı karina bölmelerinde (yaz: 0,15°C, kış:0,17°C), en yüksek sıcaklık değişiminin dış alabandası AW5083-alüminyum gemi inşa sacı olan elektronik/elektrik cihaz kamaralarında (yaz:1,46°C, kış:0,92°C) gerçekleştiği görülmüştür. Baz modelin uygun şartlarda çalıştığı görülmüştür.

İklimlendirme sistem modelinin tüm alt birimleri olan havalandırma, soğutma, ısıtma ve ısıl yükler ile mevsimsel ve geminin içinde bulunduğu koşullara bağlı

olarak çalışabilirliği gemi elektrik sistemi modeli ile birlikte müteakiben değerlendirilmiştir.

5.3. Gemi Elektrik Sistem Modeli Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

Gemi elektrik sistemi içinde, alt sistemlerin mevsimsel ve geminin içinde bulunduğu koşullara bağlı olarak kompartıman sıcaklık, gemi anlık ve ortalama yük verileri grafiklendirilerek ortaya konmuştur. Liman, demir, manevra ve seyir koşulları içinde her mevsimin değerlendirmesi ayrı ayrı yapılmıştır.

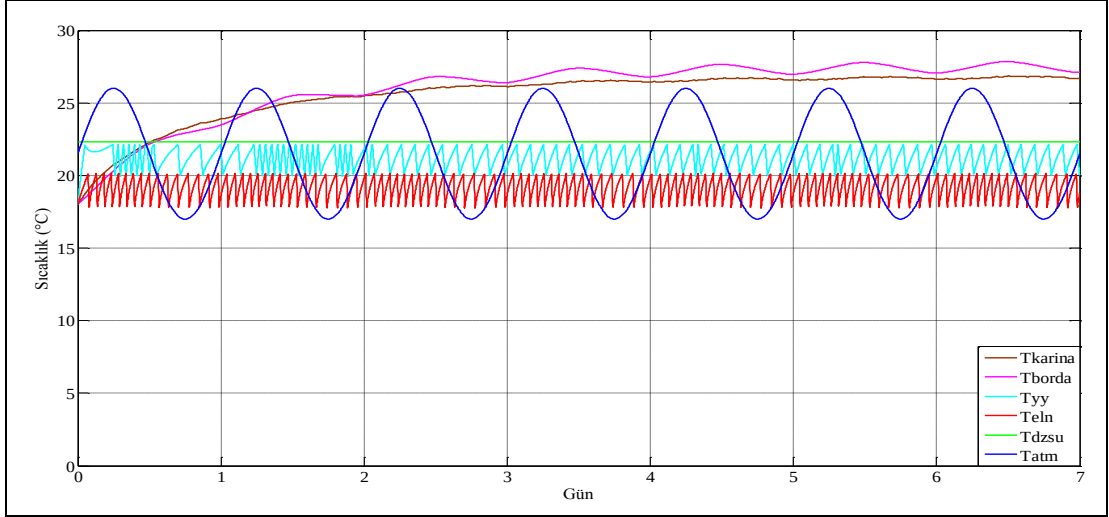


Şekil 5.10: Dizel jeneratör yük verim grafiği.

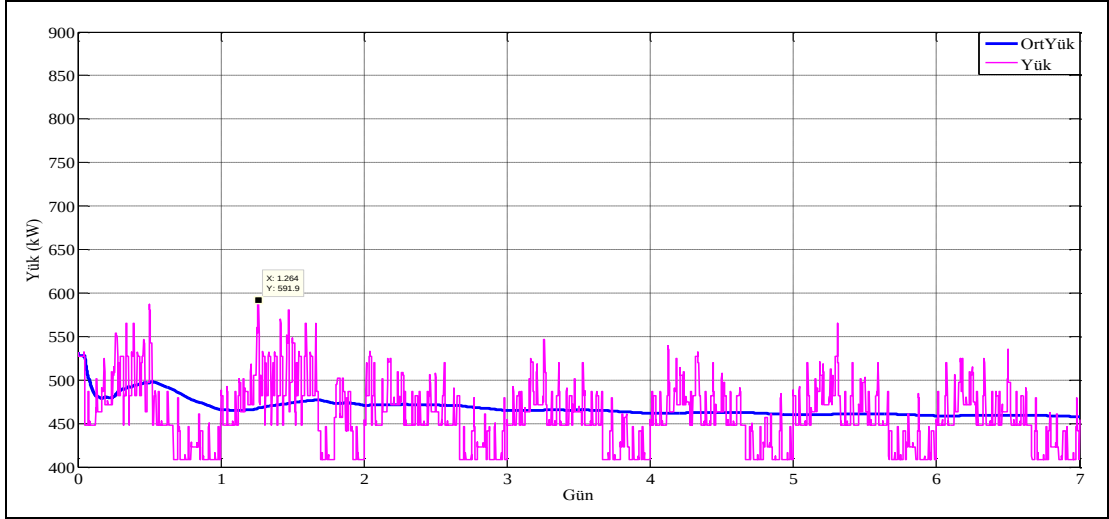
Dizel jeneratörün verimi 200 kW yükte % 19,56, 500 kW yükte % 29,41, 1000 kW yükte ise %31,66 olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda; dizel jeneratörün en verimli olduğu kullanım bölgesi 500-1000 kW aralığı olduğu görülmüştür. Yük verim grafiği Şekil 5.10'da sunulmuştur.

5.3.1. Liman Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

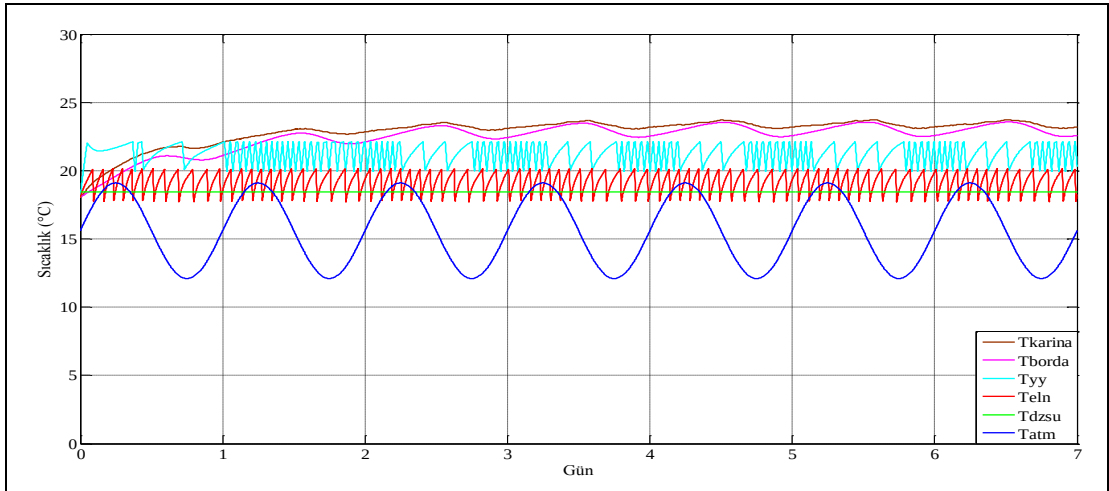
Geminin limanda bulunduğu yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerine ait veri grafikleri Şekil 5.11-5.18'de, dizel jeneratöre ilişkin veriler Tablo 5.1'de sunulmuştur.



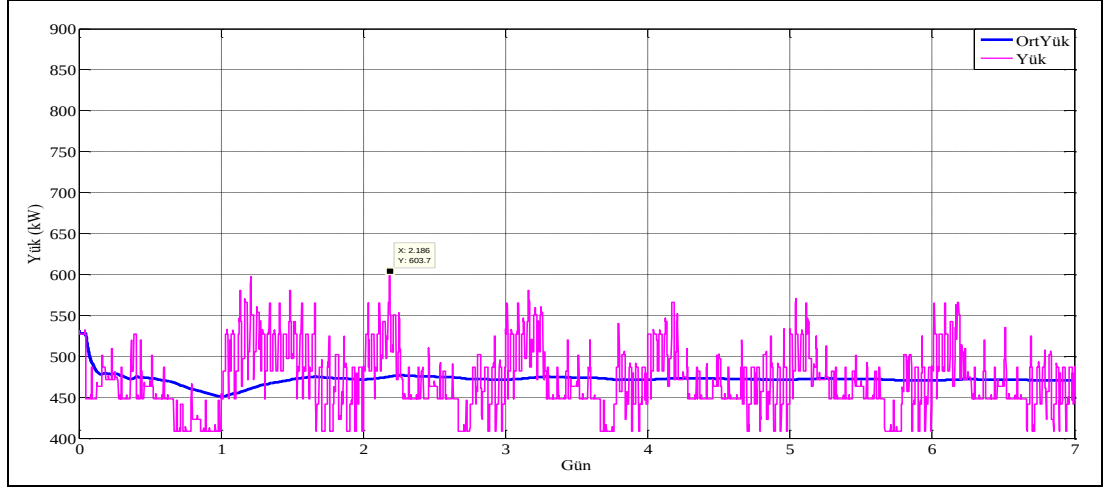
Şekil 5.11: Yaz mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



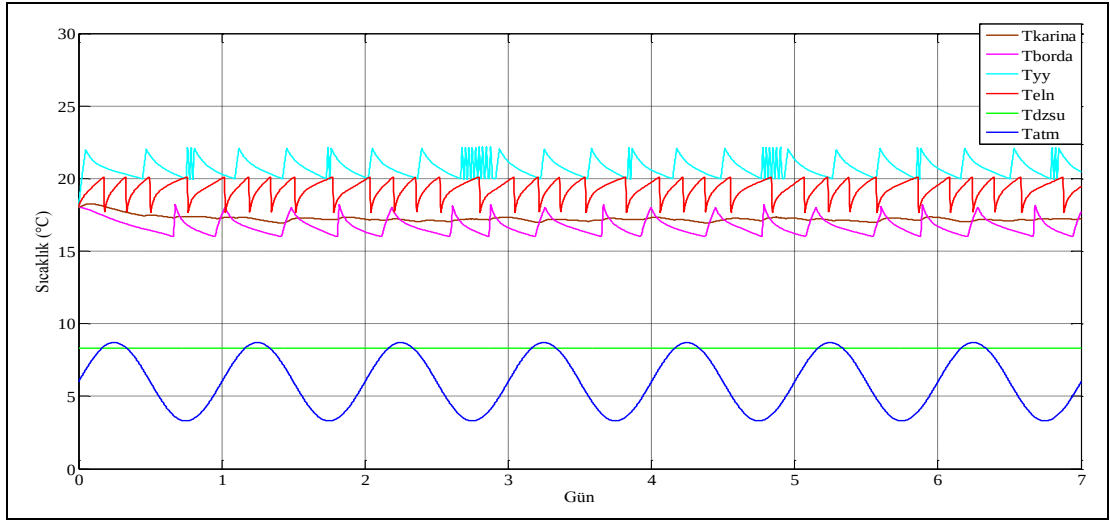
Şekil 5.12: Yaz mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



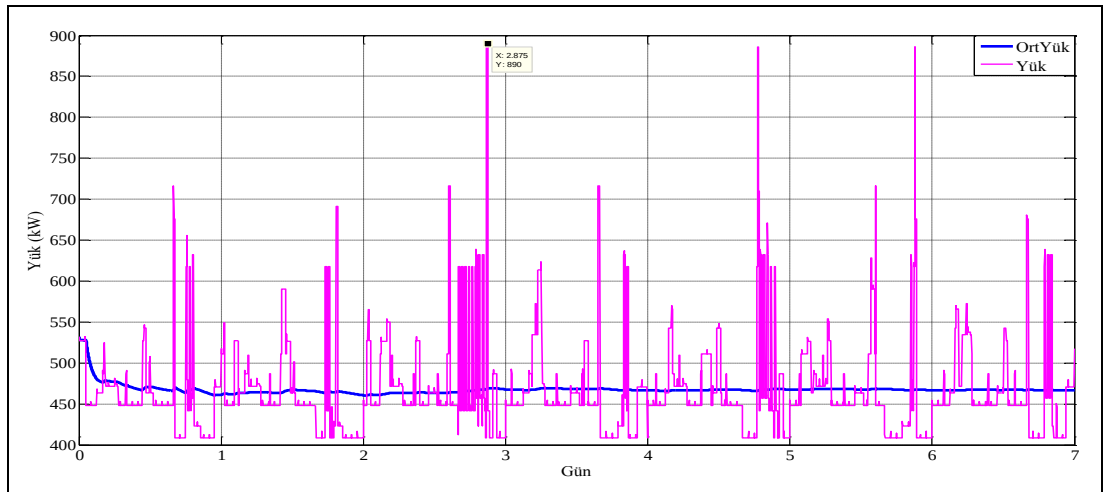
Şekil 5.13: Sonbahar mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



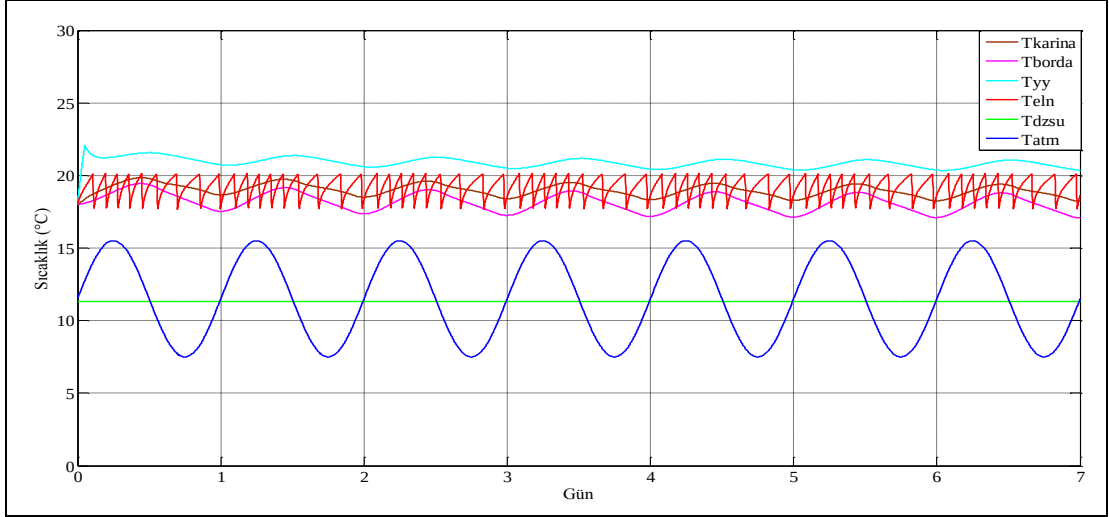
Şekil 5.14: Sonbahar mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



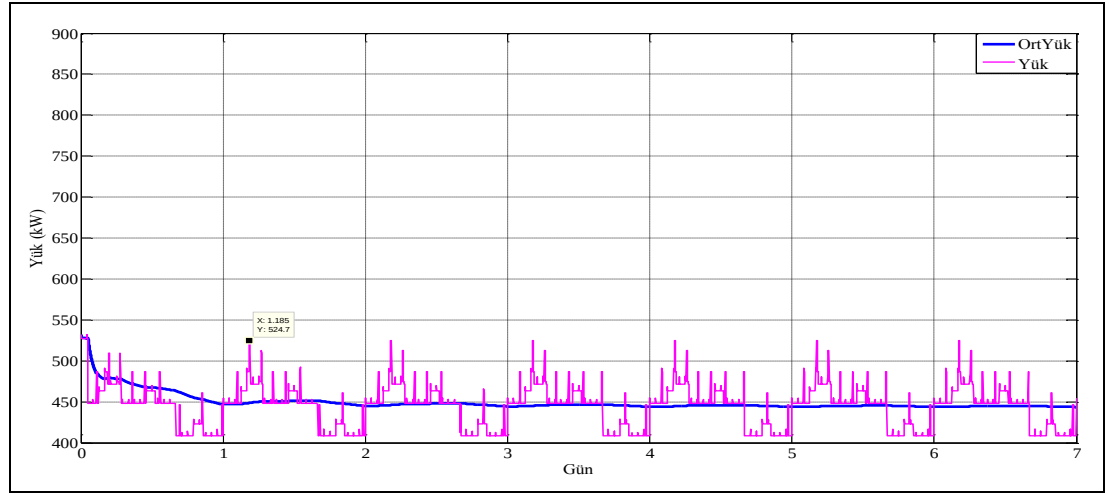
Şekil 5.15: Kış mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



Şekil 5.16: Kış mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



Şekil 5.17: İlkbahar mevsimi limanda kompartıman sıcaklık değişimi grafiği.



Şekil 5.18: İlkbahar mevsimi limanda gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.

Tablo 5.1: Liman koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.

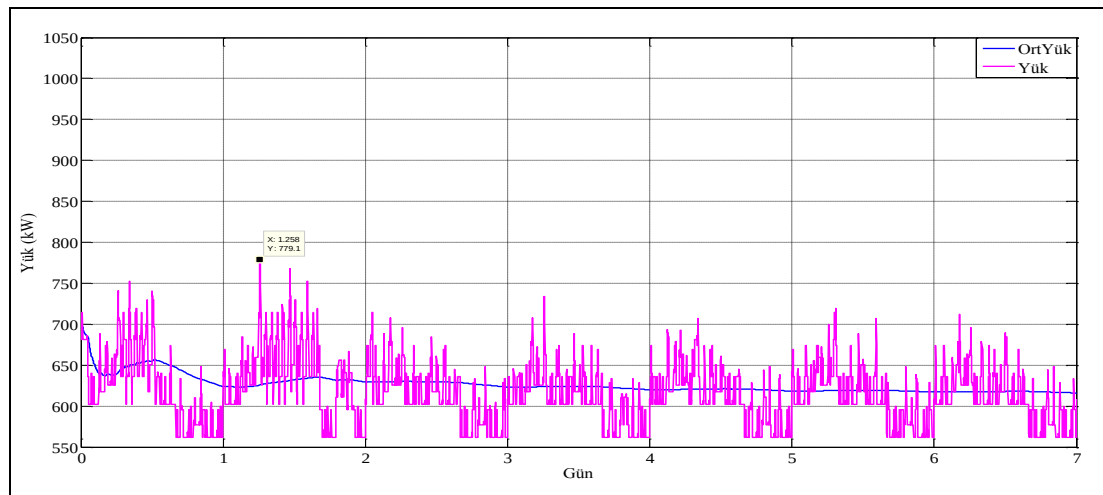
Koşul	Mevsim	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yıllık Ortalama		
	Devredeki SSDG	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Liman	Ortalama Yük (kWh)	457,8	479,8	501,7	470,7	492,6	514,6	466,3	488,3	510,2	443,6	465,5	487,5	459,6	481,6	503,5
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	22,77	31,52	40,30	23,21	31,93	40,71	23,13	31,79	40,57	22,28	31,06	39,84	22,85	31,58	40,36
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	243,80			256,65			252,30			229,54			245,57		
	En yüksek Anlık Yük (kWh)	591,9			603,7			890			524,4			-		

Liman koşullarında mevsimsel olarak yapılan incelemede: elektronik kamaralarının ısı yüklerinden kaynaklanan durumdan dolayı her mevsimde soğutma; yaşam yerlerinin sonbahar ve yaz mevsimlerinde soğutma, kış mevsiminde ısıtma; soğutma bölgesi dışında bulunan karina ve borda bölmelerinde sadece kışın ısıtma ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde soğutma bulunmayan karina bölmelerinin sıcaklığı 26,85°C, bordada bulunan bölmelerin 27,85°C dereceye kadar yükseldiği görülmüştür.

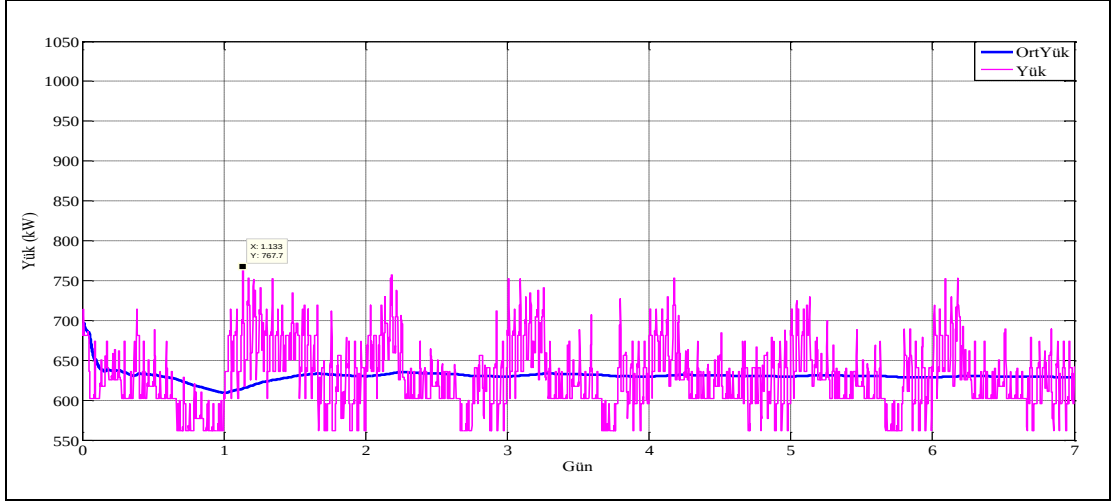
Liman koşullarında geminin dizel çalıştırma konseptinde genel olarak 500 kW yükün üzerine çıkıldığında ikinci dizel devreye alınarak iki dizel paralelde kullanılmaktadır. Gün içi anlık yük grafiklerinden, her mevsimde en az yükün 408,1 kW, en fazla yükün kışın 890 kW olduğu görülmektedir. Bu kapsamda; gemi servis dizel jeneratörün gücünün 1000 kW olduğu göz önünde bulundurulduğunda ikinci dizelin devreye alınması ile haftalık olarak 8,73 ton/hafta daha fazla yakıt harcandığı tespit edilmiştir.

5.3.2. Demirde Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

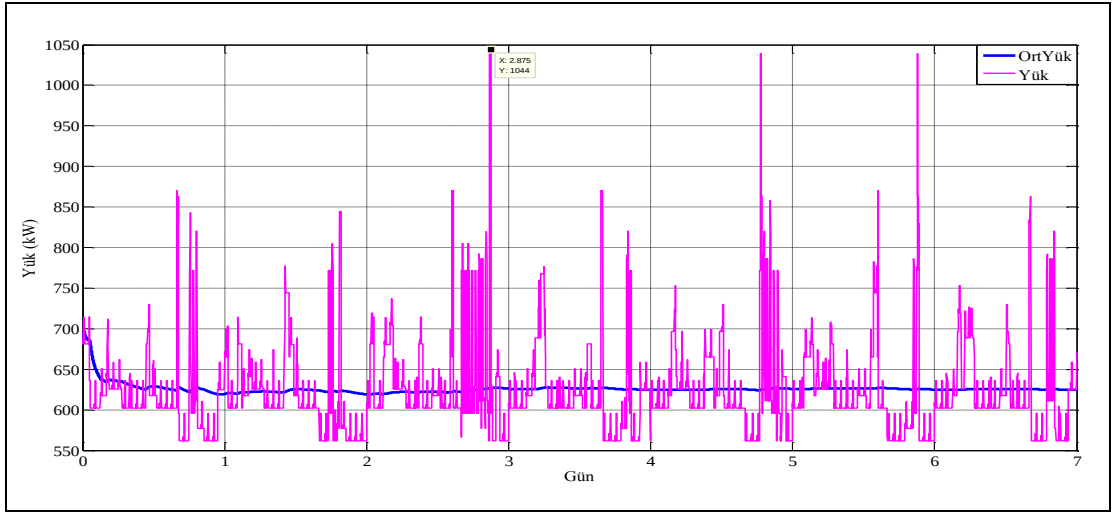
Geminin demirde bulunduğu yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerine ait veri grafikleri Şekil 5.19-5.22’de, dizel jeneratöre ilişkin veriler Tablo 5.2’de sunulmuştur. Demir koşulundaki kompartıman sıcaklık değişim grafikleri ile liman koşulu arasında fark olmadığı için tekrar olarak gösterilmemiştir.



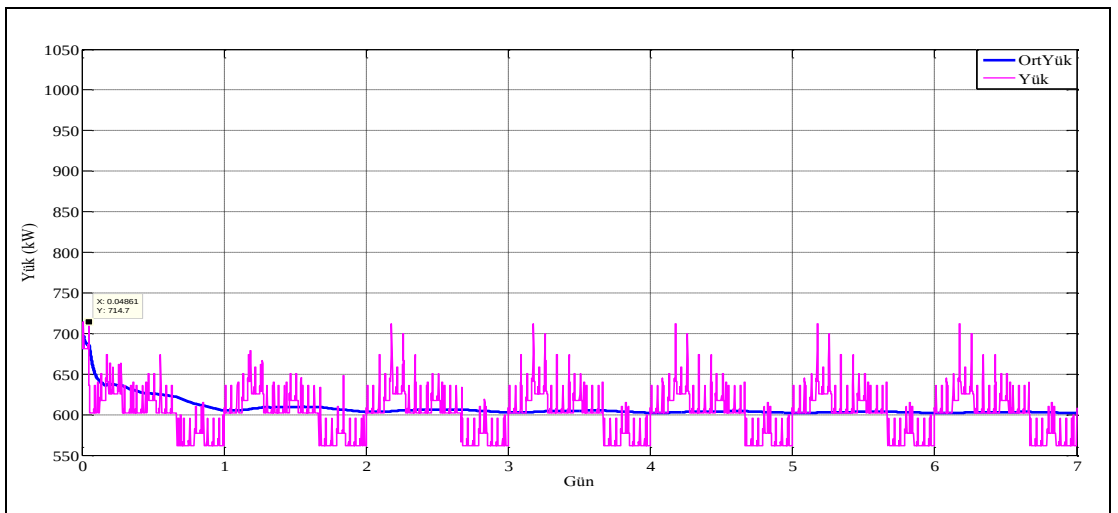
Şekil 5.19: Yaz mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



Şekil 5.20: Sonbahar mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



Şekil 5.21: Kış mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



Şekil 5.22: İlkbahar mevsimi demirde gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.

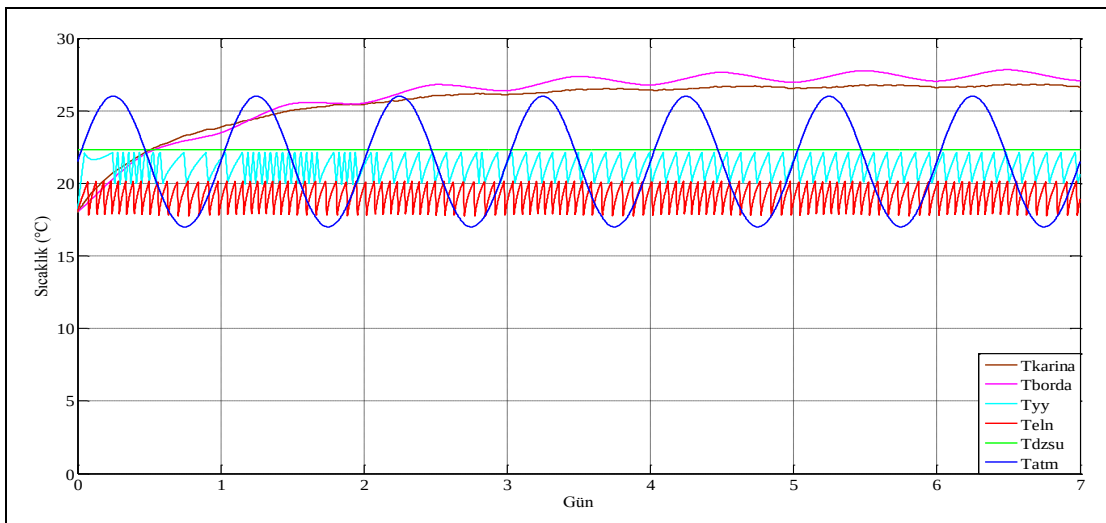
Tablo 5.2: Demir koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.

Koşul	Mevsim	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yıllık Ortalama		
	Devredeki SSDG	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Demir	Ortalama Yük (kWh)	616,1	638,0	660,0	628,9	650,9	672,8	624,6	646,5	668,5	601,8	623,8	645,7	617,9	639,8	661,8
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	29,03	36,58	45,36	29,58	36,99	45,78	29,39	36,86	45,64	28,42	36,13	44,91	29,11	36,64	45,42
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	243,80			256,65			252,30			229,54			245,57		
	En yüksek Anlık Yük (kW)	779,1			767,7			1044			714,7			-		

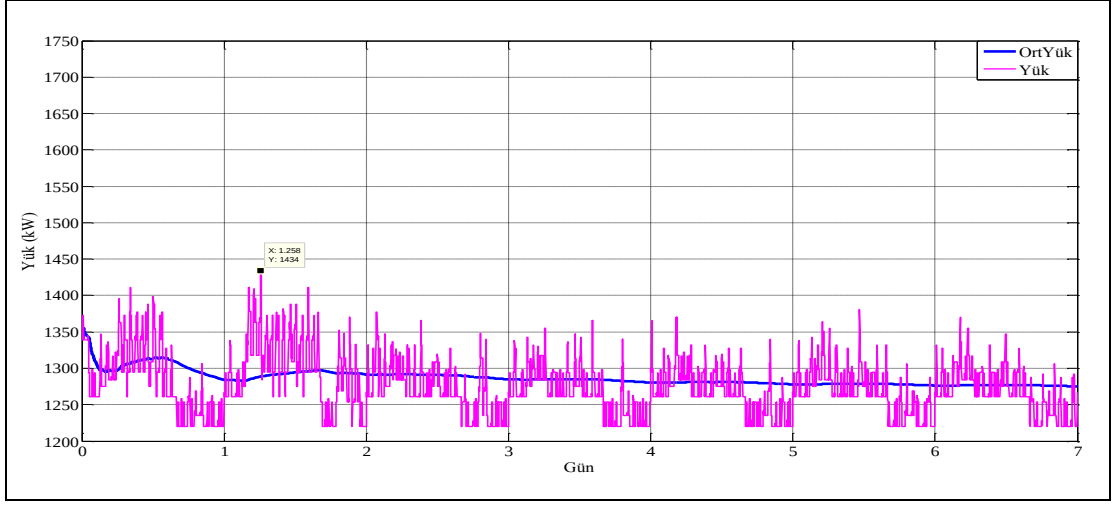
Demir koşullarında geminin dizel çalıştırma konseptinde genel olarak iki dizel paralelde kullanılmaktadır. Gün içi anlık yük grafiklerinden ve dizel jeneratör yük verilerinden; her mevsimde en az yükün 561,9 kW, en fazla yükün kışın 1044 kW olduğu görülmektedir. Bu kapsamda; kış mevsimi hariç tek dizel kullanılarak haftalık olarak 7,53 ton/hafta daha az yakıt harcanabileceği tespit edilmiştir.

5.3.3. Manevra Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

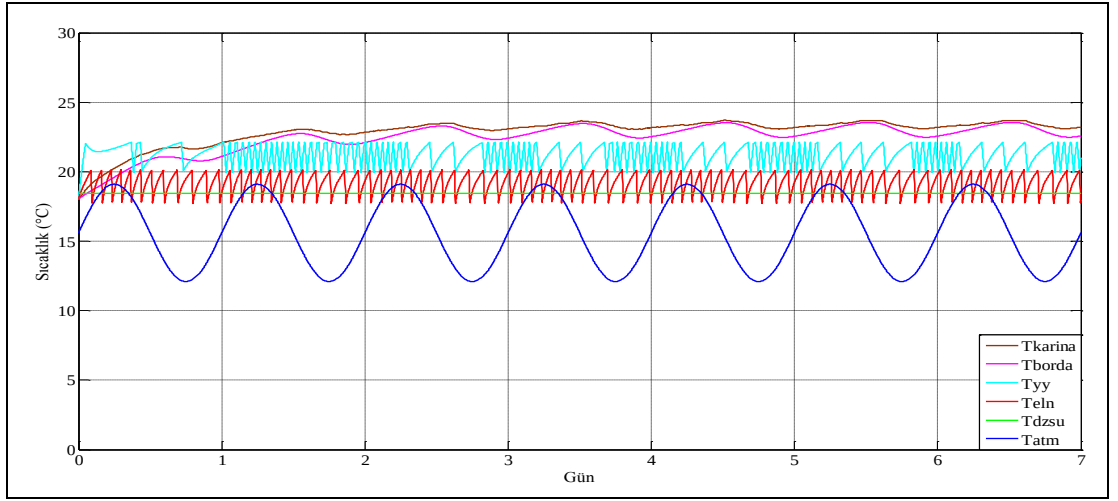
Gemi sürati 5 knots olarak manevrada bulunduğu yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerine ait veri grafikleri Şekil 5.23-5.30'da, dizel jeneratöre ilişkin veriler Tablo 5.3'te sunulmuştur.



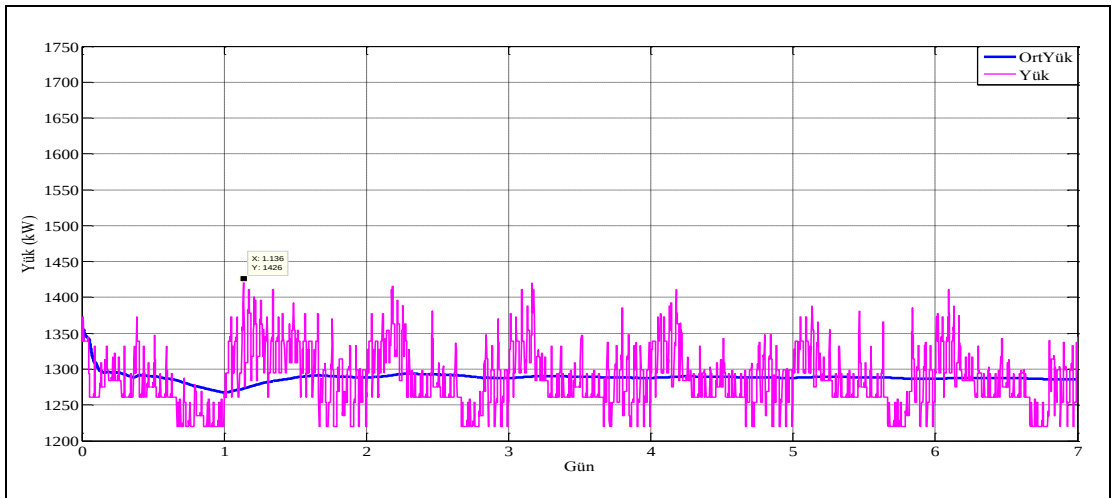
Şekil 5.23: Yaz mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



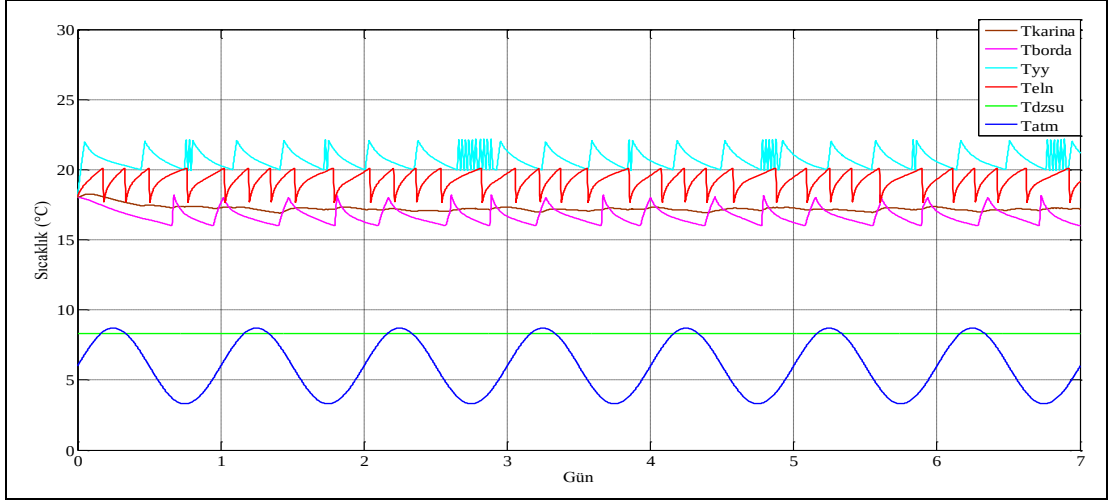
Şekil 5.24: Yaz mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık yük ve ortalama yük grafiği.



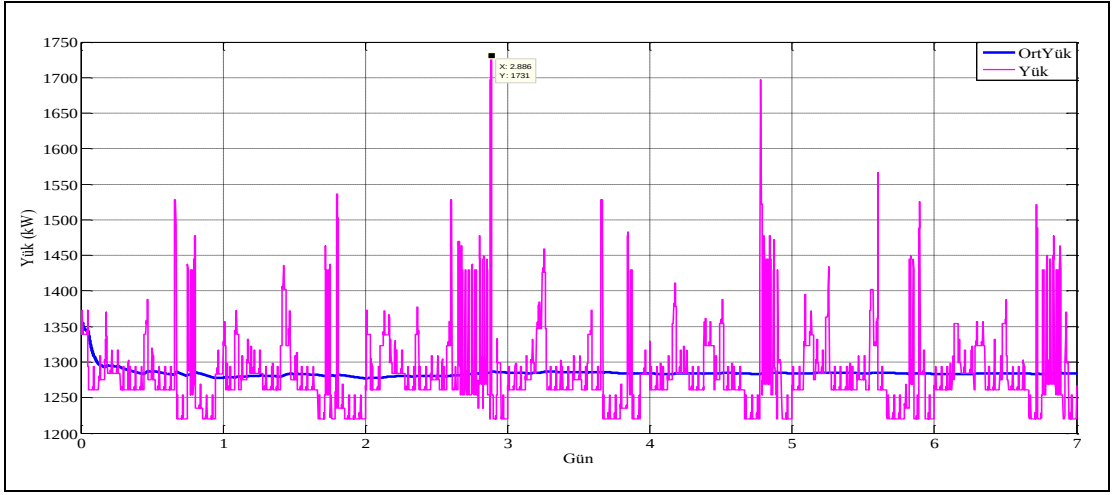
Şekil 5.25: Sonbahar mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



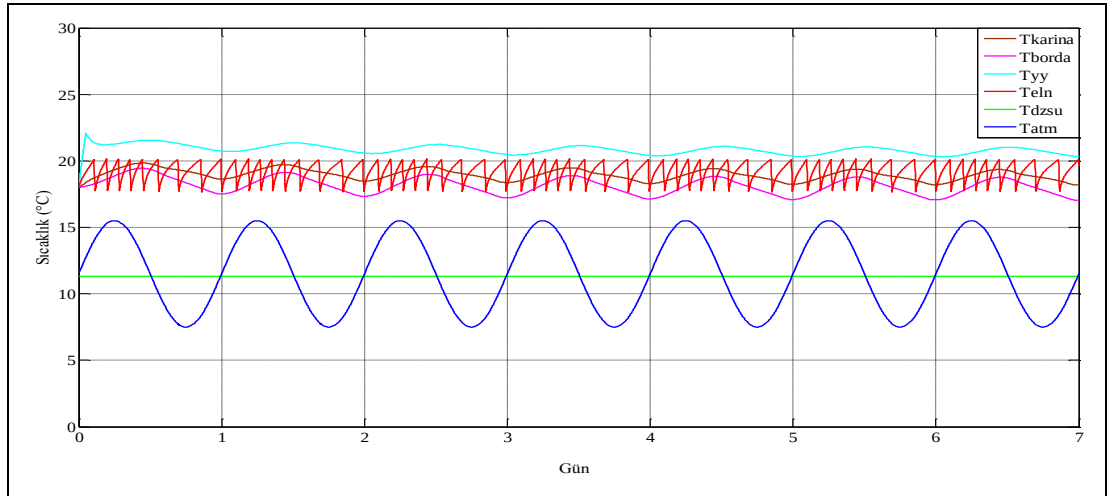
Şekil 5.26: Sonbahar mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



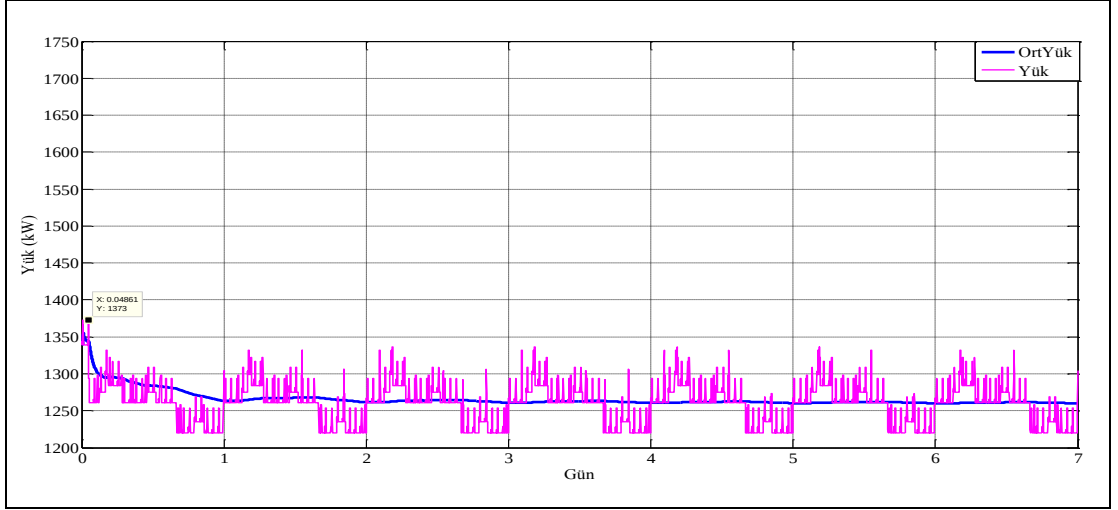
Şekil 5.27: Kış mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.28: Kış mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



Şekil 5.29: İlkbahar mevsimi manevra (5 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.30: İlkbahar mevsimi manevra (5 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.

Tablo 5.3: Manevra koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.

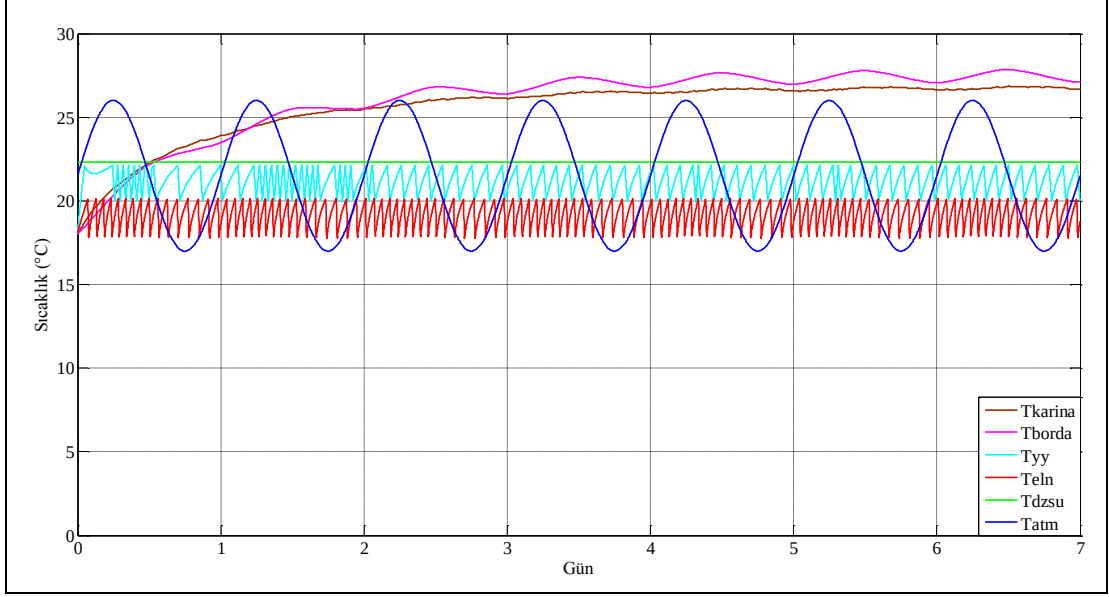
Koşul	Mevsim	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yıllık Ortalama		
	Devredeki SSDG	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Manevra (5 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	1275	1297	1319	1286	1308	1330	1284	1306	1328	1260	1282	1304	1276	1298	1320
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	55,72	60,84	66,46	56,14	61,29	66,80	56,07	61,21	66,75	55,12	60,19	65,97	55,76	60,88	66,50
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	244,65			255,29			253,45			229,51			245,73		
	En yüksek Anlık Yük (kW)	1434			1426			1731			1373					

Manevra koşullarında en fazla uygulanabilecek sürat kademesi olan 5 knots'ta mevsimsel olarak yapılan incelemede: elektronik kamaralarının ısı yüklerinden kaynaklanan durumdan dolayı her mevsimde soğutma; yaşam yerlerinin sonbahar ve yaz mevsimlerinde soğutma, kış mevsiminde ısıtma; soğutma bölgesi dışında bulunan karina ve borda bölmelerinde sadece kışın ısıtma ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Yaz mevsiminde soğutma bulunmayan karina bölmelerinin sıcaklığı 26,83°C, bordada bulunan bölmelerin 27,83°C dereceye kadar yükseldiği tespit edilmiştir.

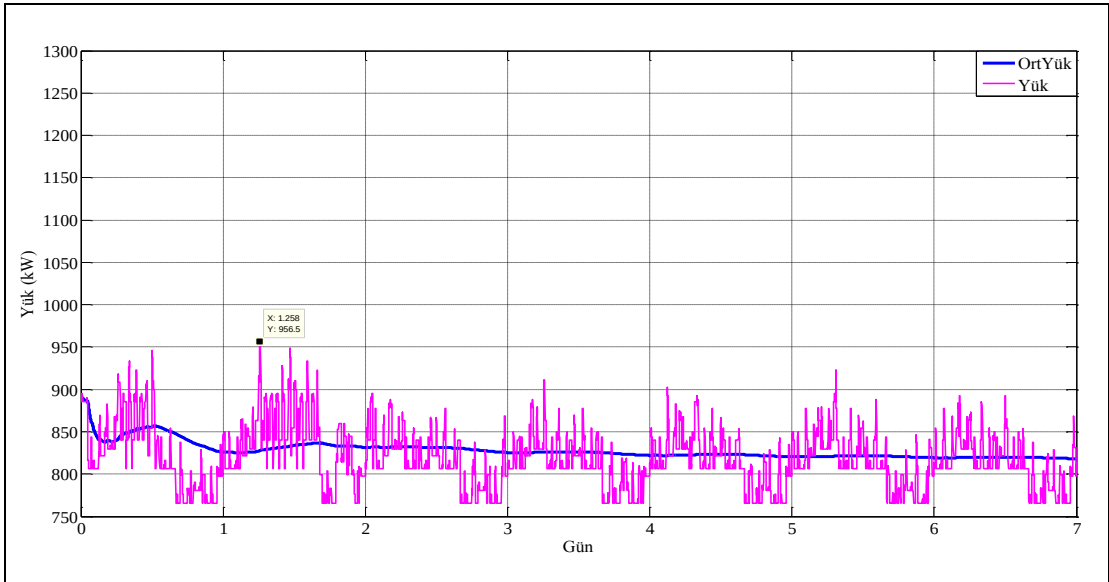
Manevra koşullarında geminin dizel çalıştırma konseptinde yardımcı tahrik ünitelerinin (APU) devreye alınmasından kaynaklı üç dizel paralelde kullanılmaktadır. Gün içi anlık yük grafiklerinden, her mevsimde en az yükün 1220 kW, en fazla yükün kışın 1731 kW olduğu görülmektedir.

5.3.4. Seyir Koşulu Elde Edilen Veriler ve Değerlendirmeler

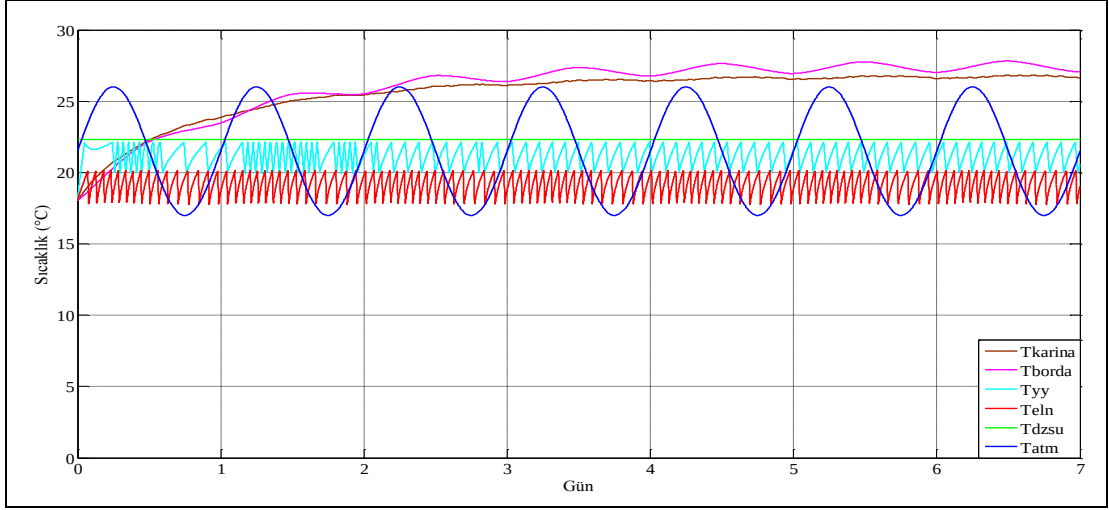
Gemi sürati 0-10-20-30 knots olarak seyirde bulunduğu yaz, sonbahar, kış ve ilkbahar mevsimlerine ait kompartıman sıcaklık ile gemi anlık ve ortalama yük veri grafikleri Şekil 5.31-5.62’de, dizel jeneratöre ilişkin yük verileri Tablo 5.4’te sunulmuştur.



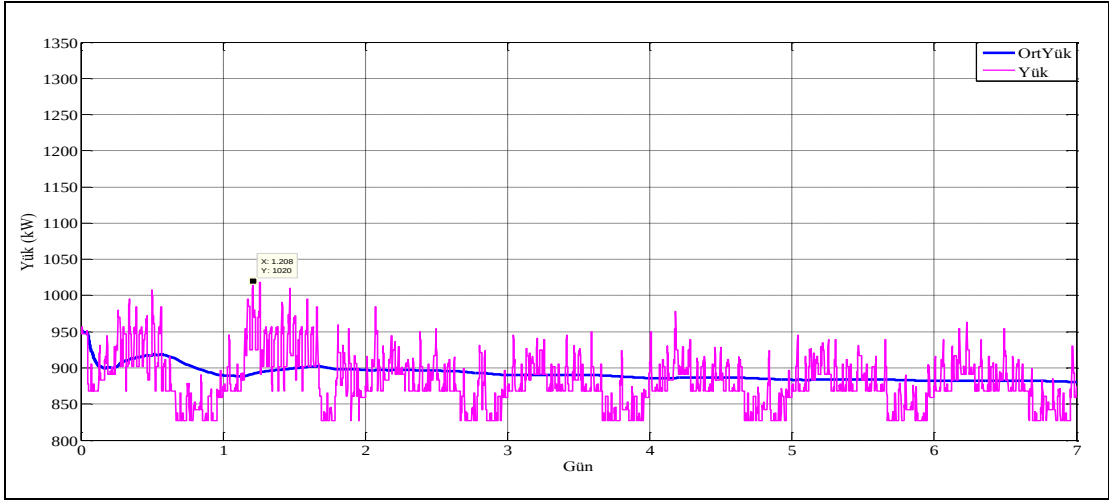
Şekil 5.31: Yaz mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



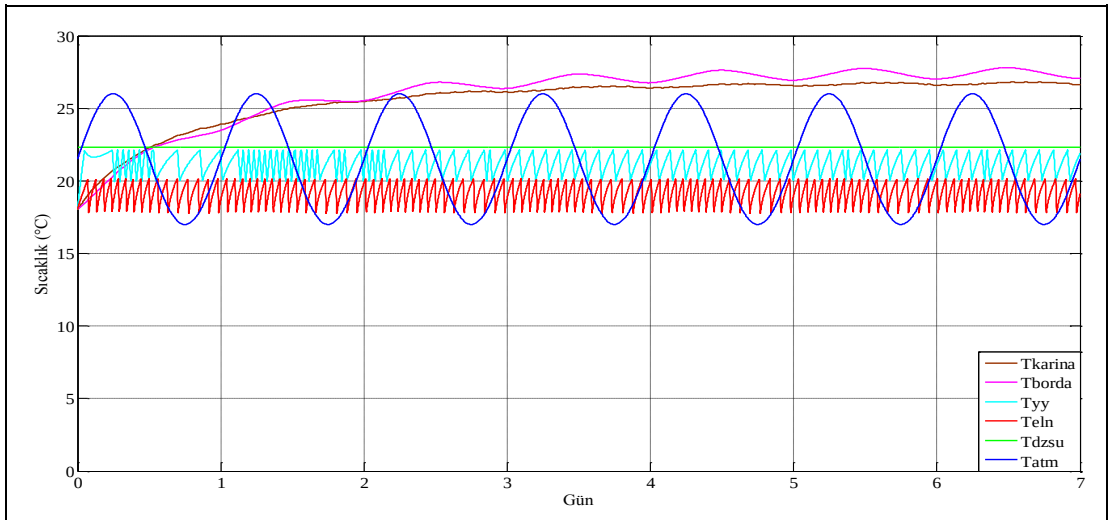
Şekil 5.32: Yaz mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği



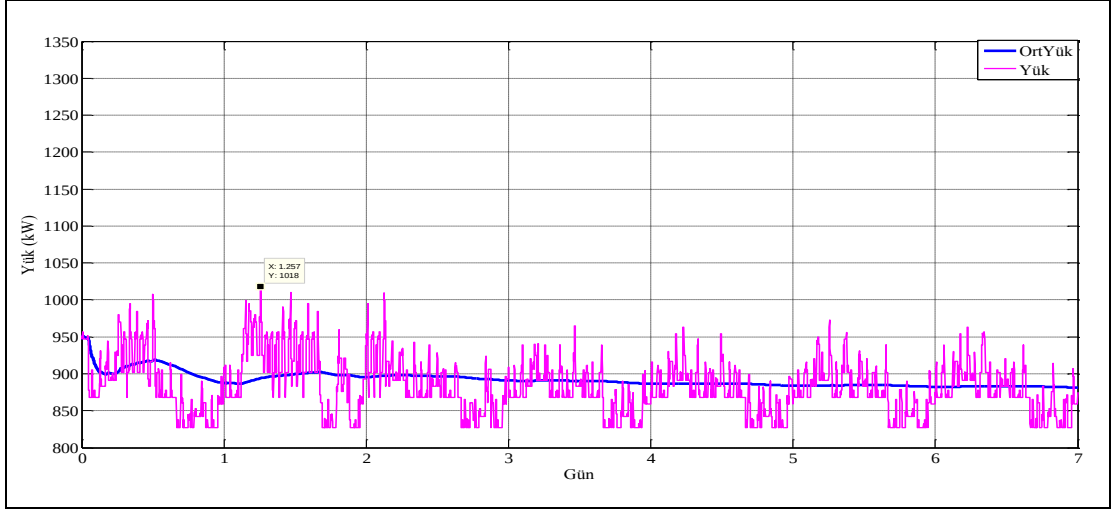
Şekil 5.33: Yaz mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



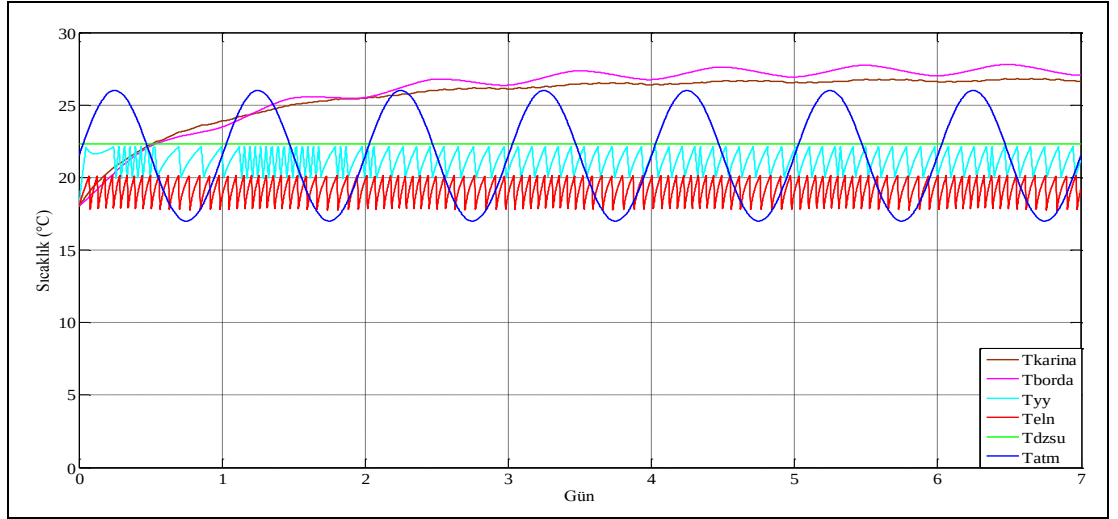
Şekil 5.34: Yaz mevsimi seyir (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



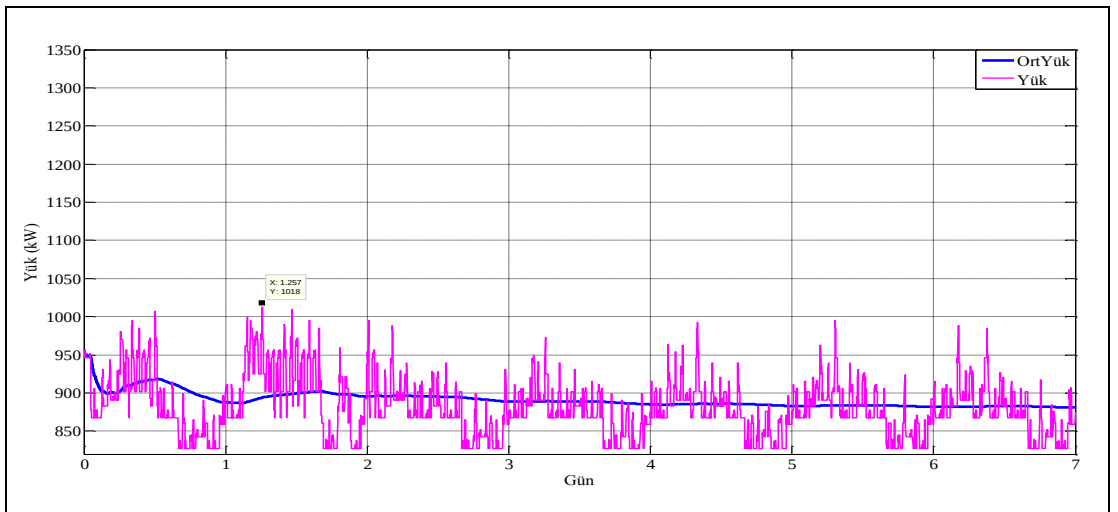
Şekil 5.35: Yaz mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



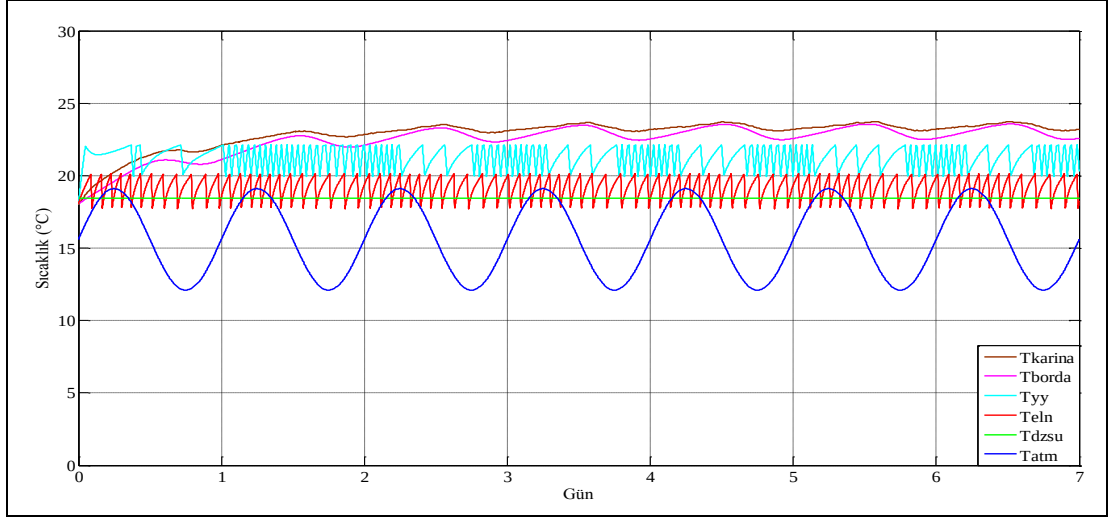
Şekil 5.36: Yaz mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



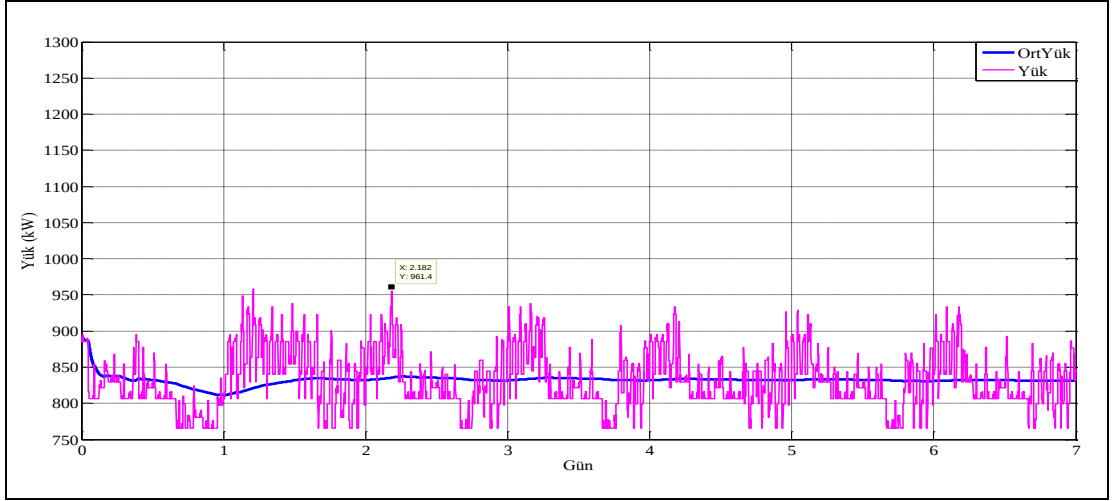
Şekil 5.37: Yaz mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



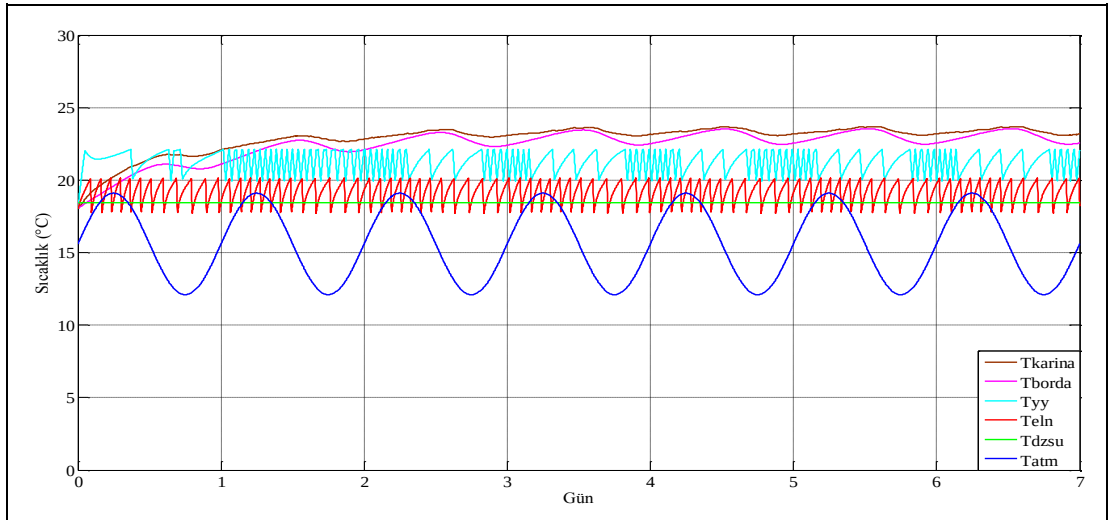
Şekil 5.38: Yaz mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



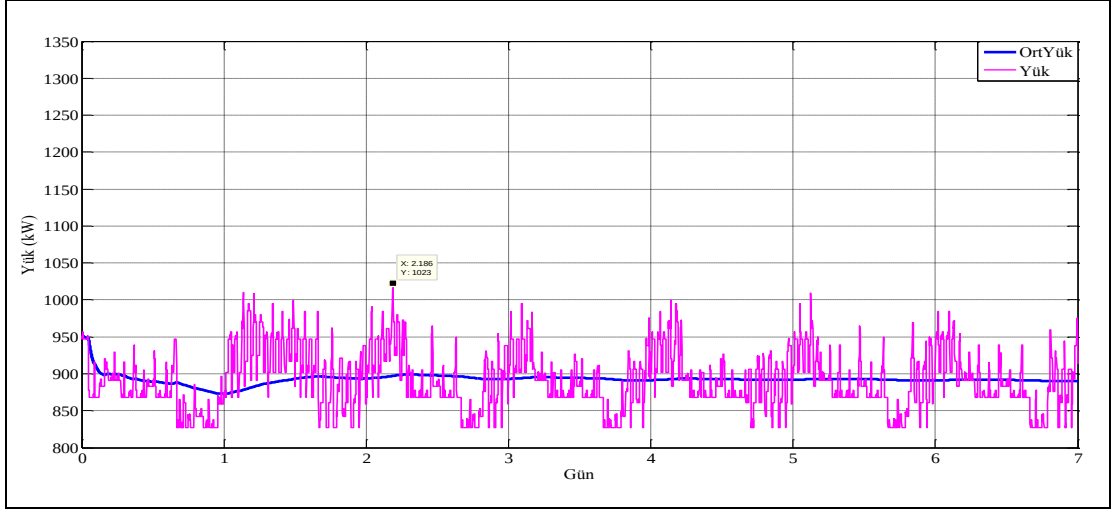
Şekil 5.39: Sonbahar mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



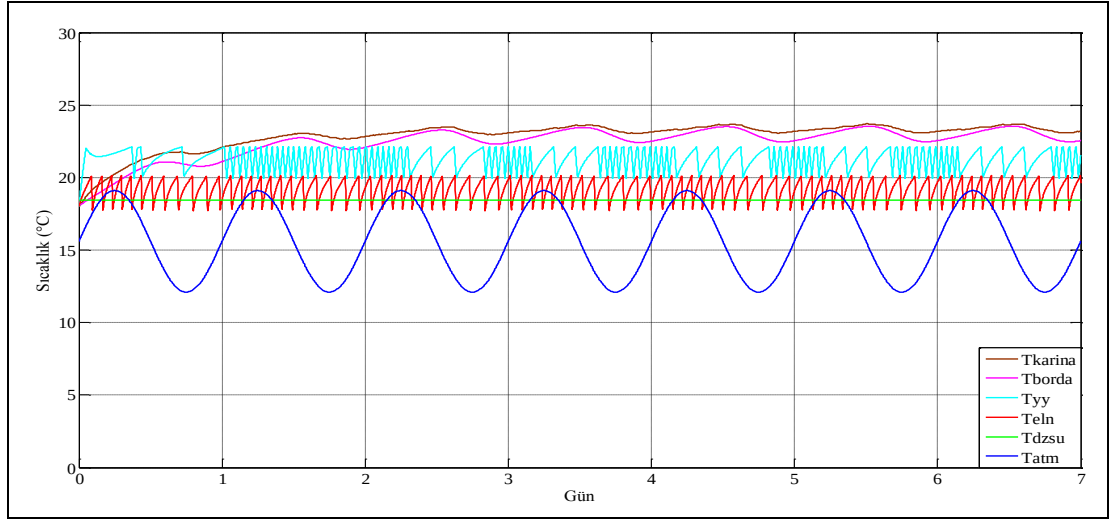
Şekil 5.40: Sonbahar mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



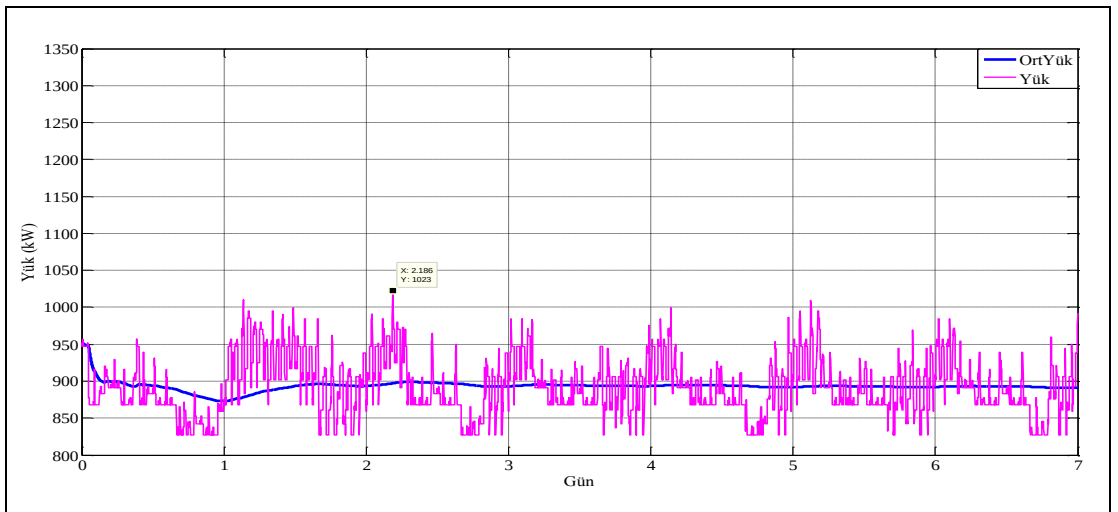
Şekil 5.41: Sonbahar mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



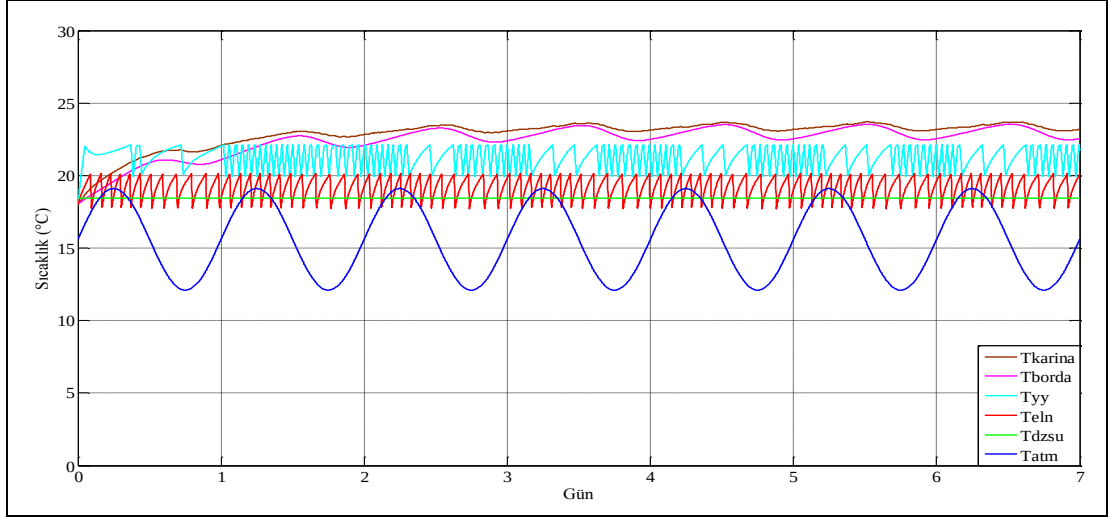
Şekil 5.42: Sonbahar mevsimi seyrinde (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



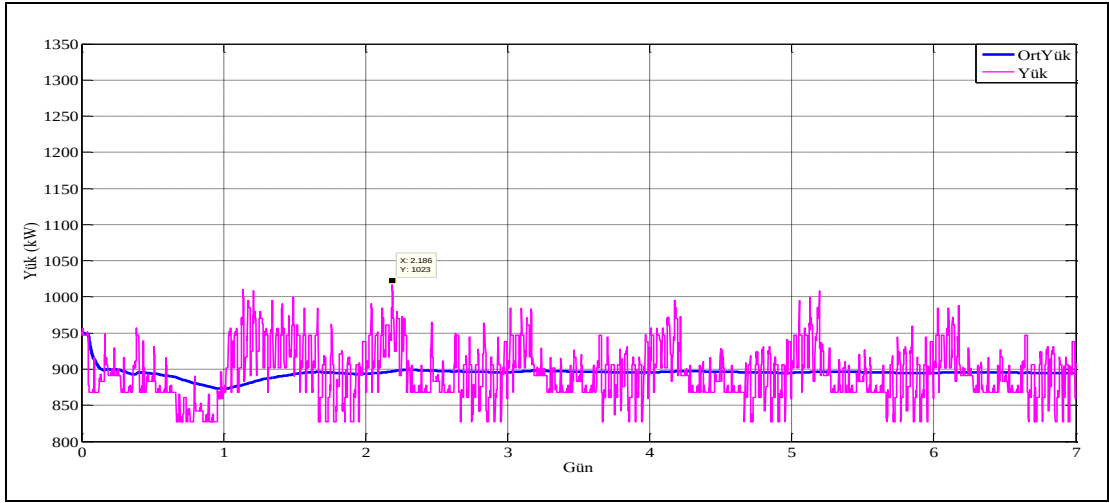
Şekil 5.43: Sonbahar mevsimi seyr (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



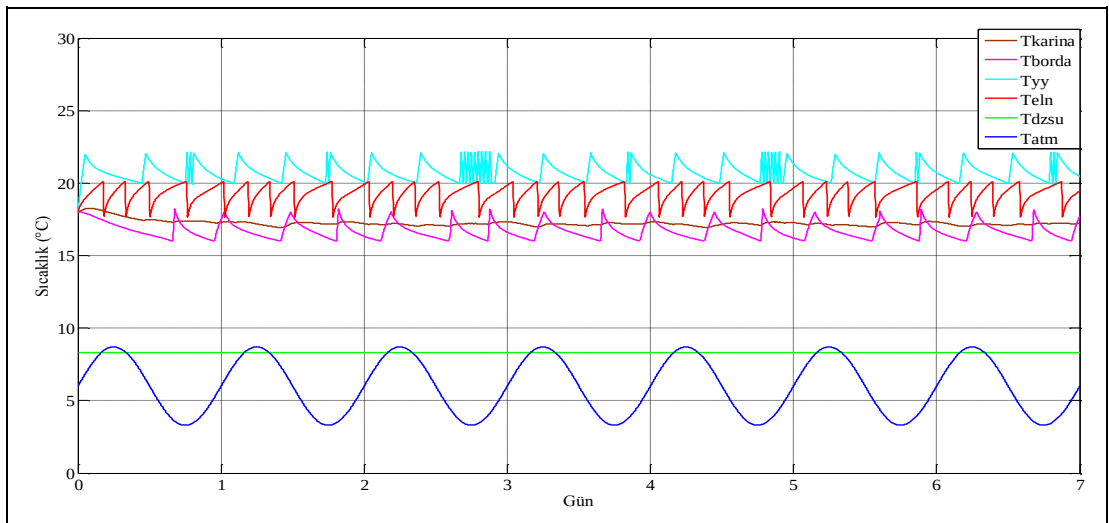
Şekil 5.44: Sonbahar mevsimi seyr (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



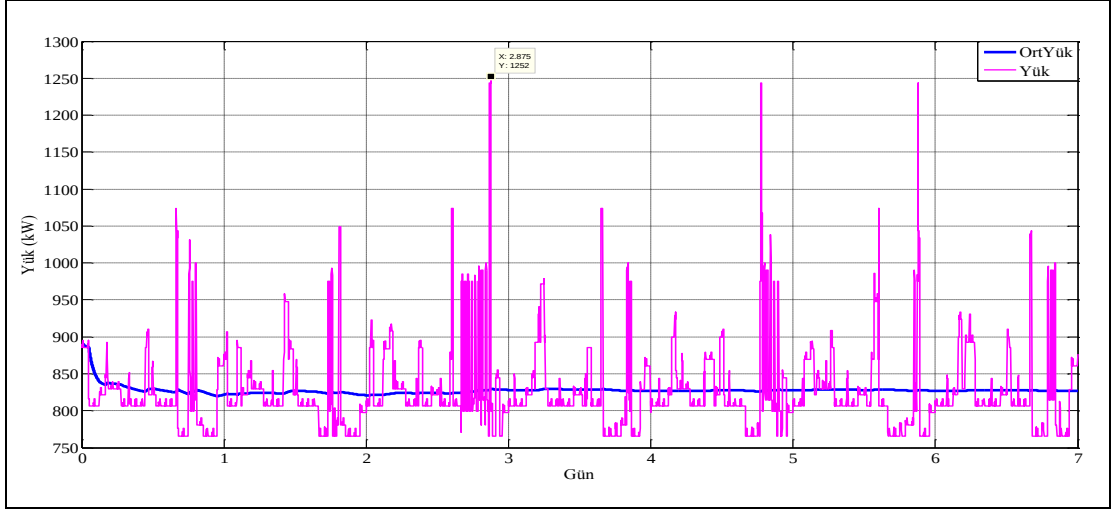
Şekil 5.45: Sonbahar mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



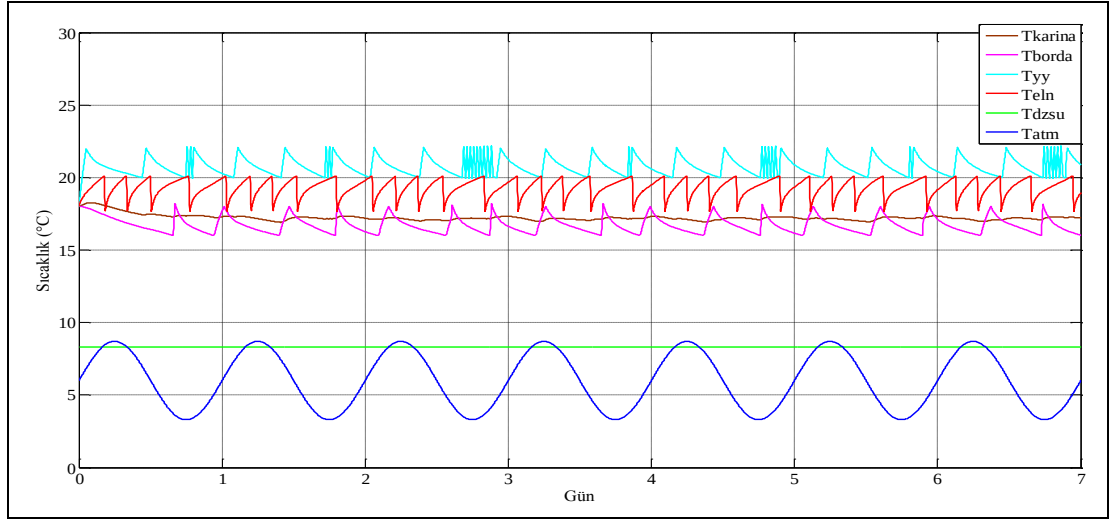
Şekil 5.46: Sonbahar mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



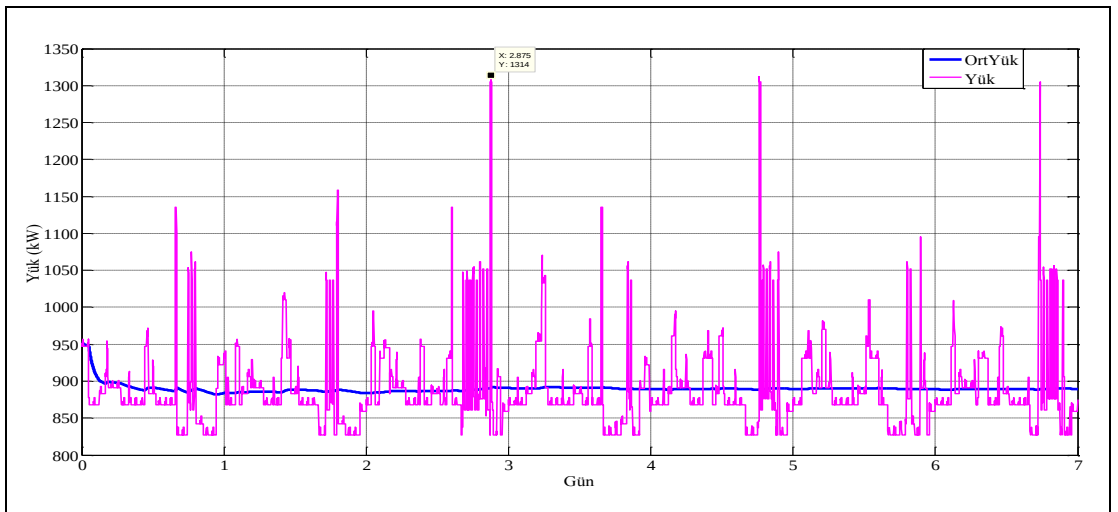
Şekil 5.47: Kış mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



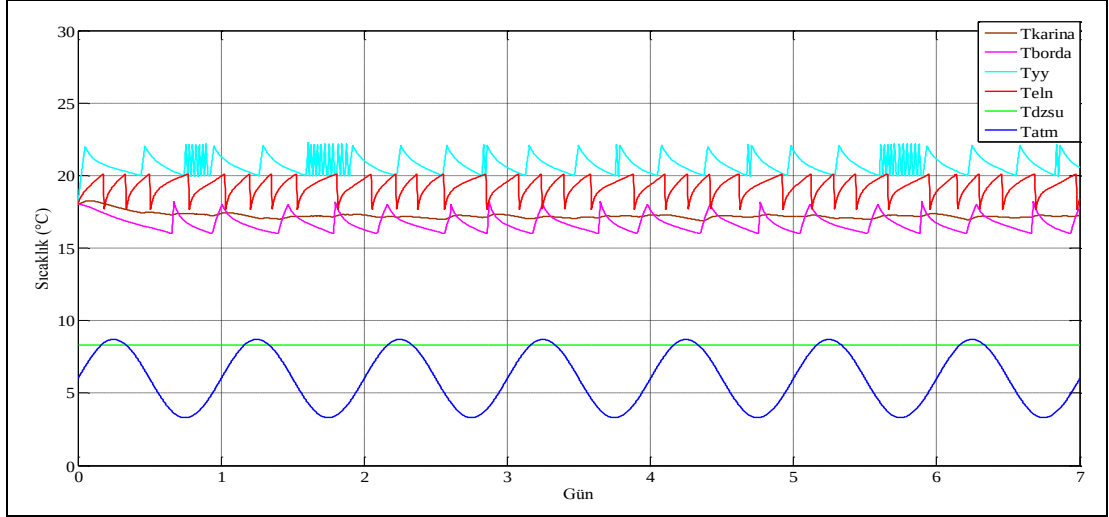
Şekil 5.48: Kış mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



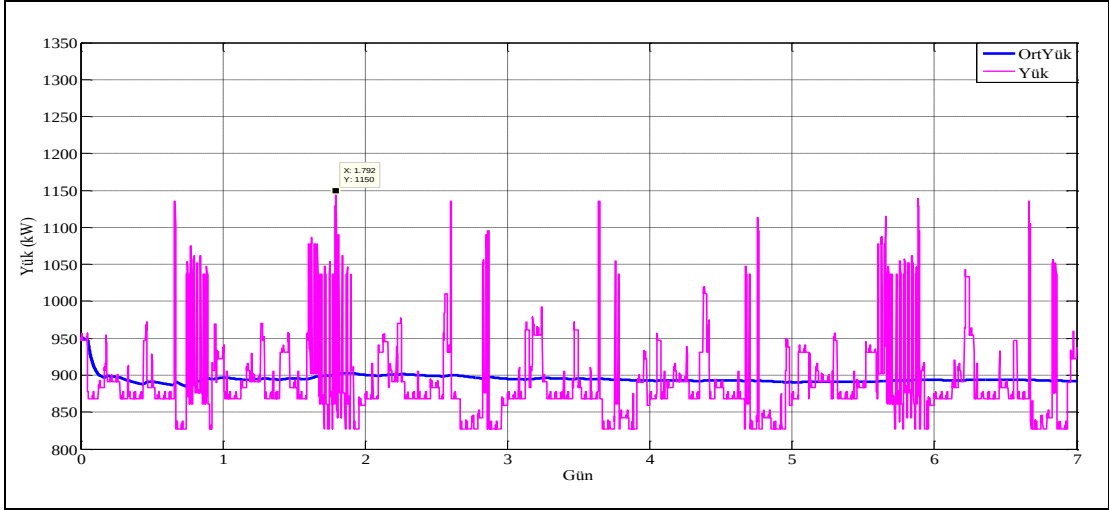
Şekil 5.49: Kış mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



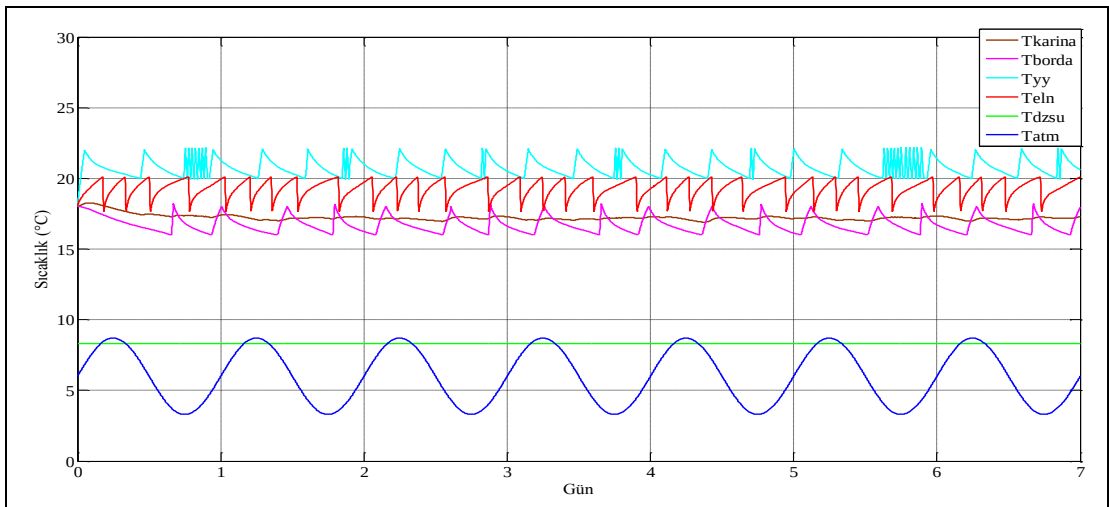
Şekil 5.50: Kış mevsimi seyir (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



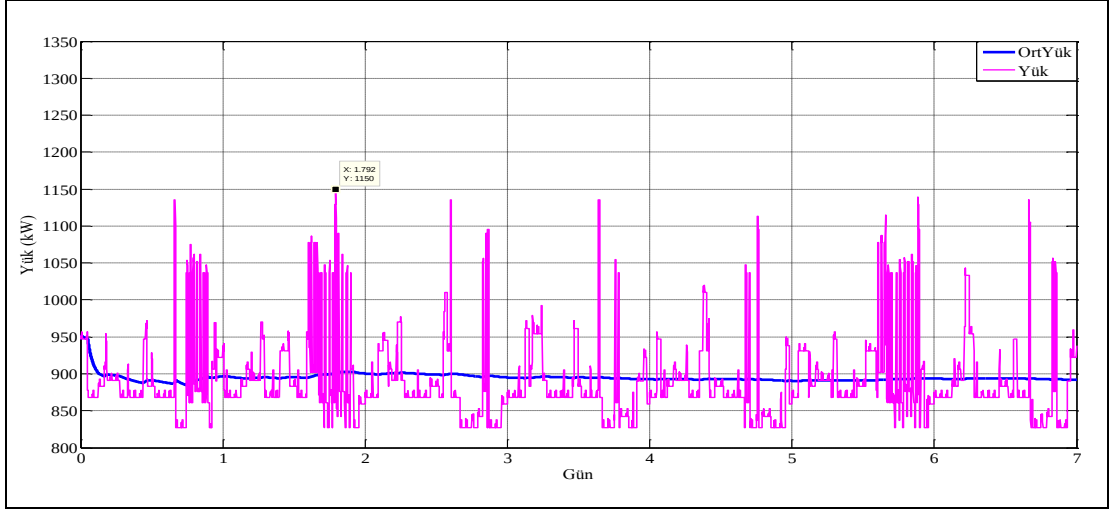
Şekil 5.51: Kış mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



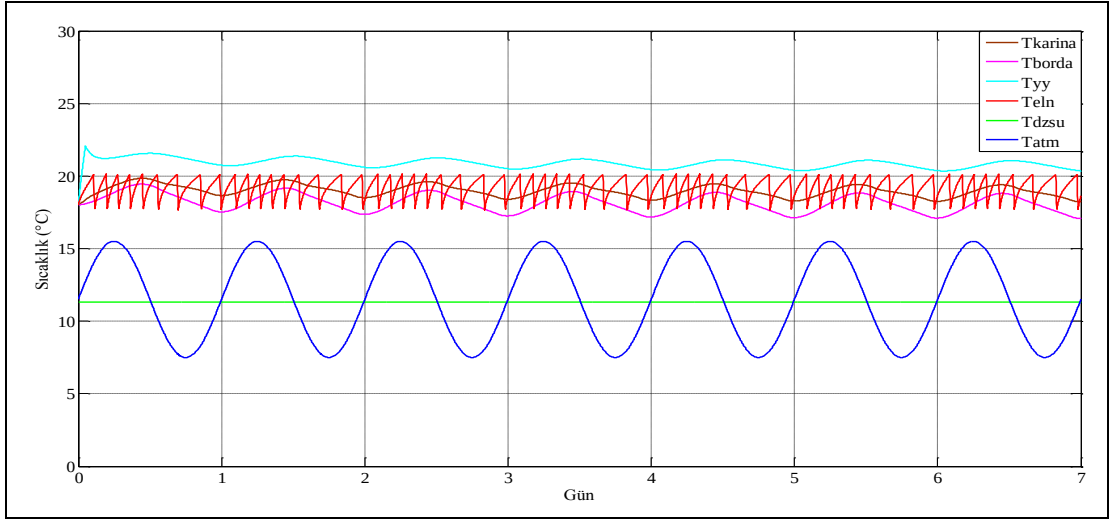
Şekil 5.52: Kış mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



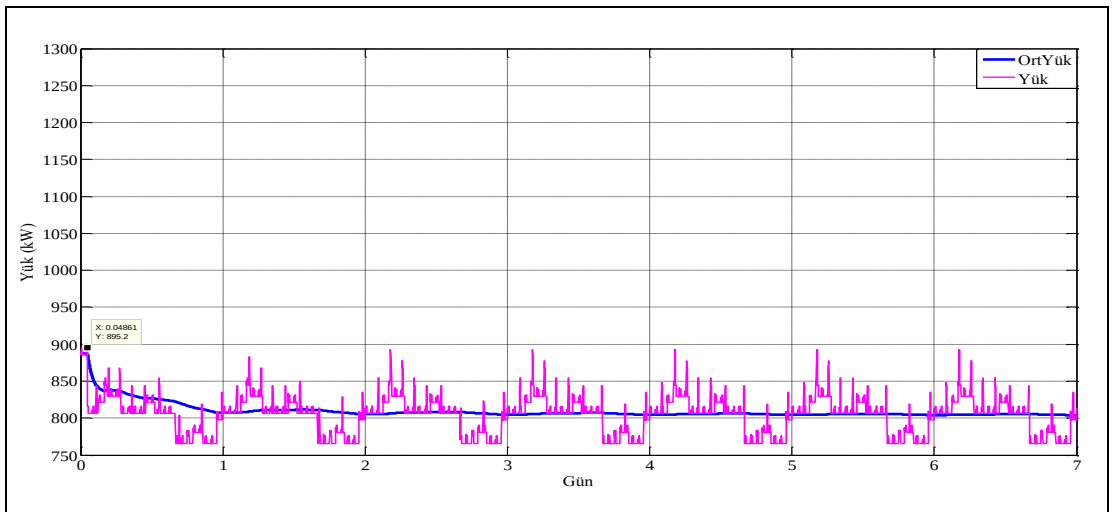
Şekil 5.53 : Kış mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



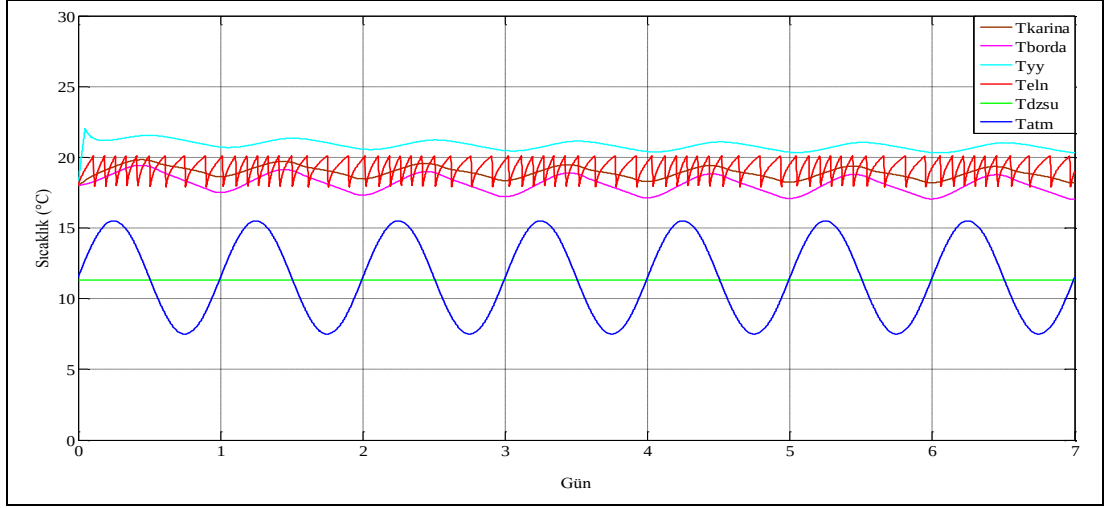
Şekil 5.54: Kış mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



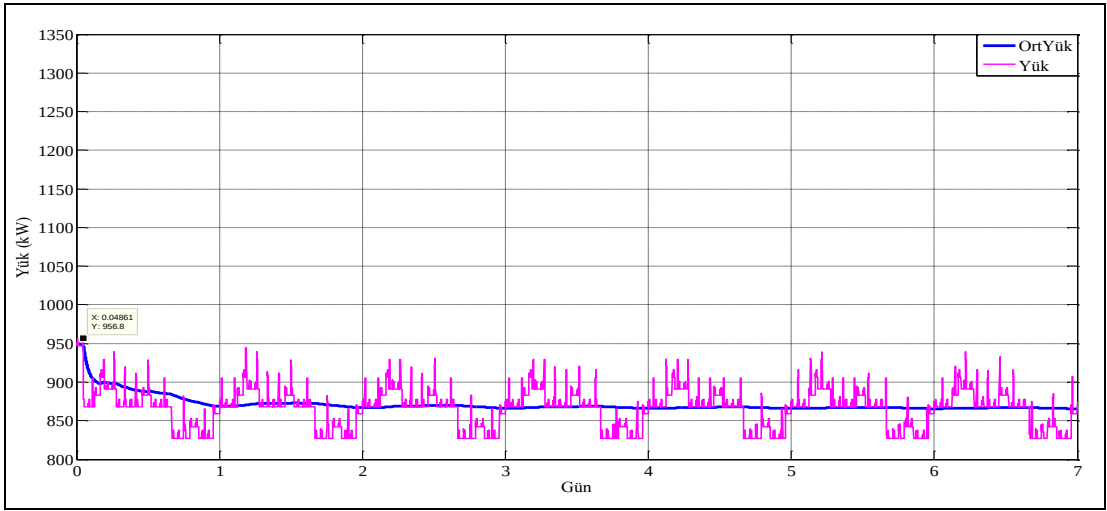
Şekil 5.55: İlkbahar mevsimi seyir (0 knot) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



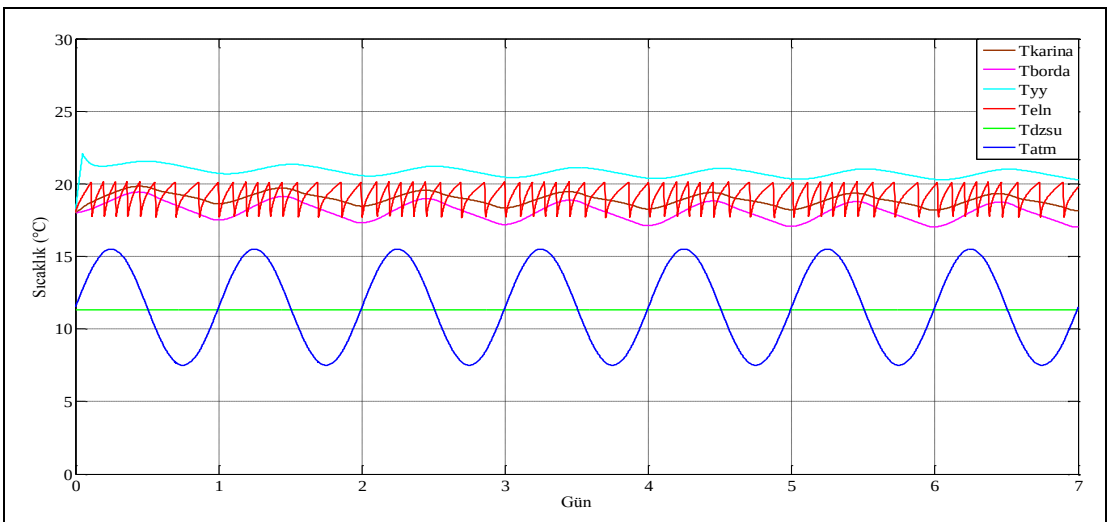
Şekil 5.56: İlkbahar mevsimi seyir (0 knot) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



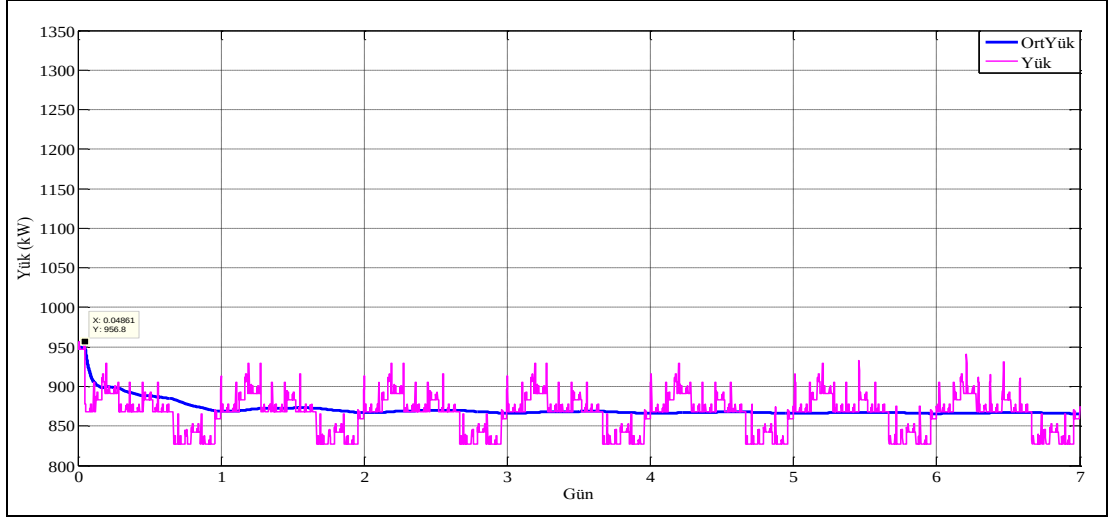
Şekil 5.57: İlkbahar mevsimi seyir (10 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



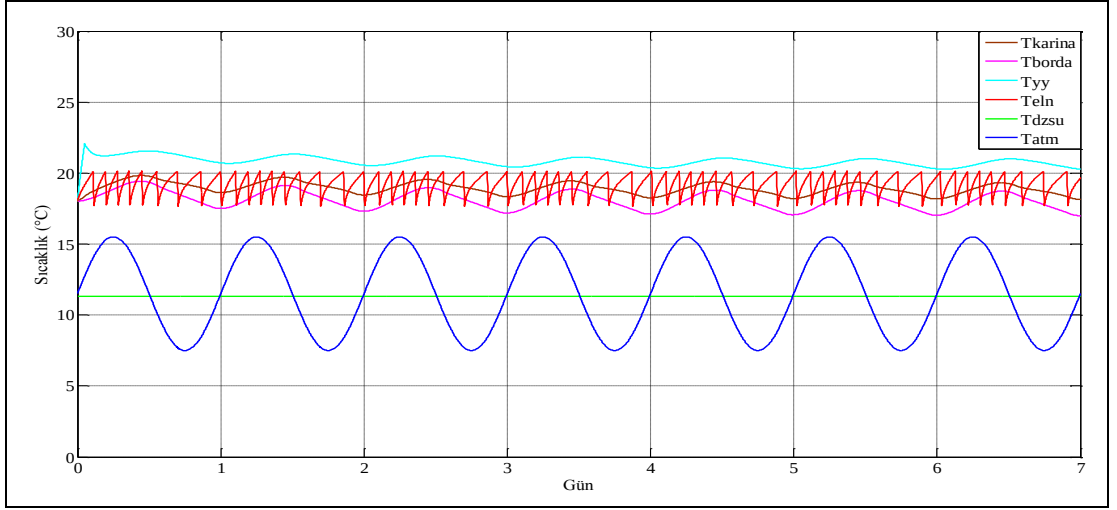
Şekil 5.58: İlkbahar mevsimi seyir (10 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



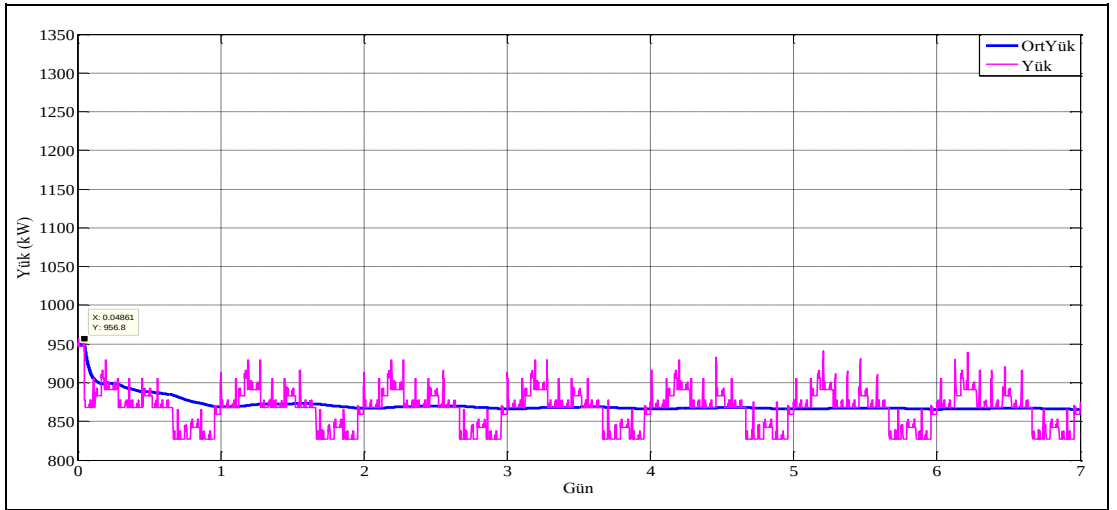
Şekil 5.59: İlkbahar mevsimi seyir (20 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.60: İlkbahar mevsimi seyir (20 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.



Şekil 5.61: İlkbahar mevsimi seyir (30 knots) kompartıman sıcaklık değişim grafiği.



Şekil 5.62: İlkbahar mevsimi seyir (30 knots) gemi anlık ve ortalama yük grafiği.

Tablo 5.4: Seyir koşulu dizel jeneratör yük ve yakıt harcama verileri.

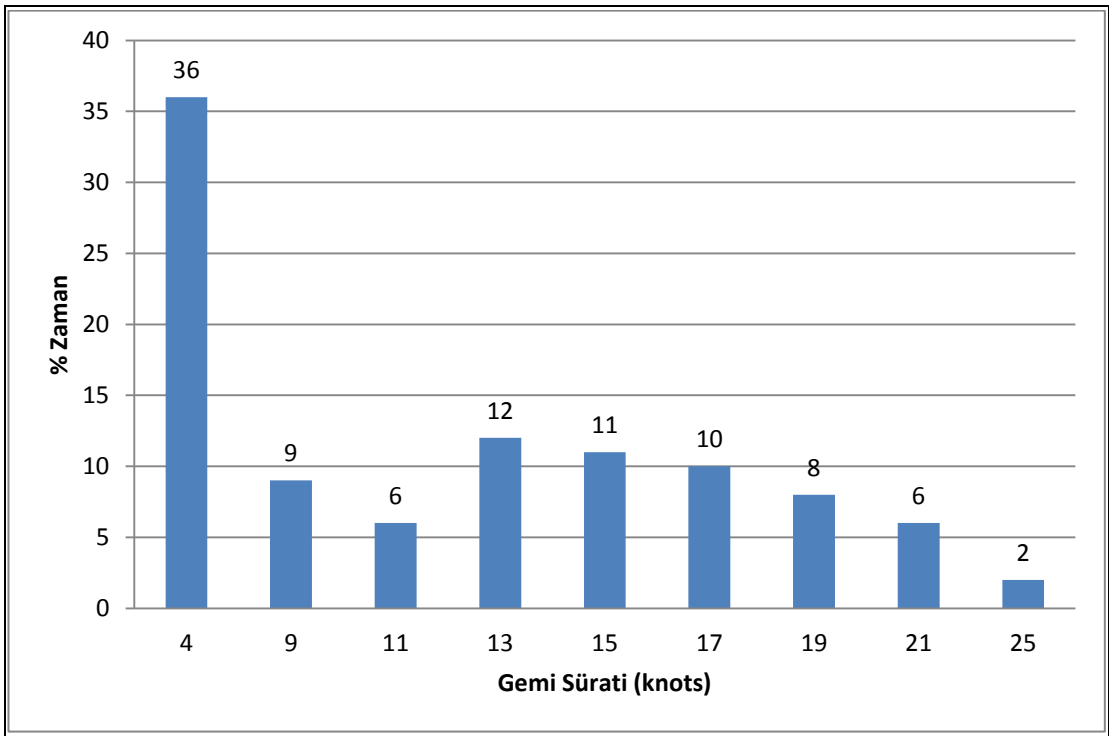
Koşul	Mevsim	Yaz			Sonbahar			Kış			İlkbahar			Yıllık Ortalama		
	Devredeki SSDG	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Seyir (0 Knot)	Ortalama Yük (kWh)	818,3	840,2	862,2	831,1	853,1	875,0	826,8	848,7	870,7	804,0	826,0	847,9	820,1	842,0	864,0
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	37,47	43,05	51,84	37,99	43,46	52,25	37,81	43,35	52,11	36,90	42,60	51,38	37,54	43,12	51,90
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	243,80			256,65			252,30			229,54			245,57		
	En yüksek Anlık Yük (kWh)	956,5			961,4			1252			895,2			-		
Seyir (10 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	880,7	902,7	924,6	890,4	912,3	934,3	889,5	911,5	933,4	865,6	887,5	909,5	881,6	903,5	925,5
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	39,97	45,05	53,83	40,35	45,36	54,14	40,32	45,39	54,12	39,36	44,57	53,35	40,00	45,09	53,86
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	244,65			254,28			253,45			229,50			245,47		
	En yüksek Anlık Yük (kWh)	1020			1023			1314			956,8			-		
Seyir (20 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	881,4	903,4	925,3	891,5	913,4	935,4	892,3	914,2	936,2	865,6	887,6	909,5	882,7	904,7	926,6
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	40,00	45,08	53,86	40,40	45,40	54,18	40,43	45,49	54,20	39,36	44,57	53,35	40,05	45,14	53,90
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	245,35			255,36			256,17			229,50			246,60		
	En yüksek Anlık Yük (kWh)	1018			1023			1150			956,8			-		
Seyir (30 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	881,0	902,9	924,9	894,7	916,6	938,6	889,7	911,6	933,6	865,6	887,5	909,5	882,8	904,7	926,7
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	39,98	45,06	53,84	40,52	45,50	54,28	40,33	45,39	54,12	39,36	44,57	53,35	40,05	45,13	53,90
	HVAC Ortalama Yük (kWh)	244,86			258,56			253,59			229,50			246,63		
	En yüksek Anlık Yük (kWh)	1018			1023			1150			956,8			-		

Seyirde koşullarında, 0-10-20-30 knots sürat kademelerinde, mevsimsel olarak yapılan incelemede: elektronik kamaralarının ısı yüklerinden kaynaklanan durumdan dolayı her mevsimde soğutma; yaşam yerlerinin sonbahar ve yaz mevsimlerinde soğutma, kış mevsiminde ısıtma; soğutma bölgesi dışında bulunan karina ve borda bölmelerinde sadece kışın ısıtma ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir. Sürat kademesi 30 knots'ta yaz mevsiminde soğutma bulunmayan karina bölmelerinin sıcaklığı 26,81°C, bordada bulunan bölmelerin 27,8°C dereceye kadar yükseldiği tespit edilmiştir. Bahse konu kompartımanlarda hıza göre en fazla değişimin 0,05°C derece olduğu görülmüştür.

Seyir koşullarında geminin dizel çalıştırma konseptinde iki dizel paralelde kullanılmaktadır. Geminin sürat kademesine göre 7 knots'a kadar fin sistemi devrede olmadığından sistemde 61,6 kW daha az yük bulunmaktadır. Gün içi anlık yük grafiklerinden, her mevsimde en az yükün 0 knot'ta 765,7 kW, 10-20-30 knots'ta 827,3 kW, en fazla yükün kışın 0 knot'ta 1252 kW, 10-20-30 knots'ta 1314 kW olduğu görülmektedir.

5.4. Gemi Sistemleri Enerji Analizinin Yıllık Kullanım Verilerine Göre Değerlendirilmesi

Gemi sistemleri enerji analizinin değerlendirilmesi için son olarak yıllık kullanım verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. NAVSEA tarafından yapılan bir çalışmaya istinaden; analizini yaptığımız aynı sınıf gaz türbinli geminin, 1998-2012 yıllarında, yılda ortalama seyir saatinin 2378 olduğu belirlenmiştir. Bahse konu çalışmada verilen, 2378 saatlik seyir periyodunda kullanılan gemi sürati bilgileri Şekil 5.63'te grafiksel olarak gösterilmiştir [DDS 200-2, 2012].



Şekil 5.63: Seyirde gemi sürati % kullanım zamanı grafiği.

Tablo 5.5: Gemi ana tahrik sistemi seyir verileri değerlendirme tablosu.

Gemi Sürati (knot)	Zaman (%)	Zaman (saat)	Zaman (hafta)	Tek Türbin Yakıt Sarfiyatı (ton/yıl) _{knot}	Çift Türbin Yakıt Sarfiyatı (ton/yıl) _{knot}	Tek Türbin İktisadi Sürat (14 knot) Yakıt Sarfiyatı (ton/yıl)	Toplam Alınan Yol (nm/yıl) _{knot}	Tek Türbin İktisadi Sürat (14 knot) Toplam Alınabilecek Yol (nm/yıl)
4	36	856	5,10	801	1037	5	3424	58
9	9	214	1,27	226	299		1926	
11	6	143	0,85	173	239		1569	
13	12	285	1,70	376	549		3710	
14						3322		33089
15	11	262	1,56	426	568		3924	
17	10	238	1,42	469	569		4043	
19	8	190	1,13	434	585		3615	
21	6	143	0,85	394	487		2996	
25	2	48	0,28	192	222		1189	
Toplam		2378	14,15	3491	4555	3307	26396	33147

Geminin ana tahrik sisteminin seyir periyodu için yapılan çalışma Tablo 5.5'te sunulmuştur. Geminin tek gaz türbini devredeyken harcadığı toplam yakıt miktarı 3491 ton'dur. Bahse konu seyir saatinin tamamını çift gaz türbini devrede olarak geçirmesi durumunda 4555 ton yakıt harcayacağı bulunmuştur. Geminin aynı seyir saati ve süratlerde tek ve çift gaz türbini kullanımında tek türbine göre ortalama olarak % 30,46 daha fazla yakıt harcayacağı görülmüştür.

Gemi seyir saatinin manevra haricinde tamamını, tek gaz türbinini ile 14 knots iktisadi sürat kademesinde yapması durumunda toplam harcanan yakıt miktarı 3307 ton olarak bulunmuştur. Geminin ekonomik sürati kullanmadan yaptığı seyir durumundan dolayı 184,7 ton ile % 5,59 daha fazla yakıt harcadığı tespit edilmiştir. Toplam kat edilen mesafe olarak incelendiğinde ise; gerçekte toplam 26396 deniz mili mesafe alındığı, iktisadi süratle seyredilmesi durumunda ise 33147 deniz mili mesafe ile aradaki farkın 6751 deniz mili olduğu ve gerçekte kat edilen mesafeden % 25,58 daha fazla yol alınabileceği tespit edilmiştir. Sonuç olarak ana tahrik sistemi analizinde iktisadi süratin kullanılmamasından dolayı % 5,59 daha fazla yakıt harcanmasına rağmen % 25,58 daha az yol kat edildiği tespit edilmiştir.

Tablo 5.6: Gemi elektrik sistemi değerlendirme tablosu.

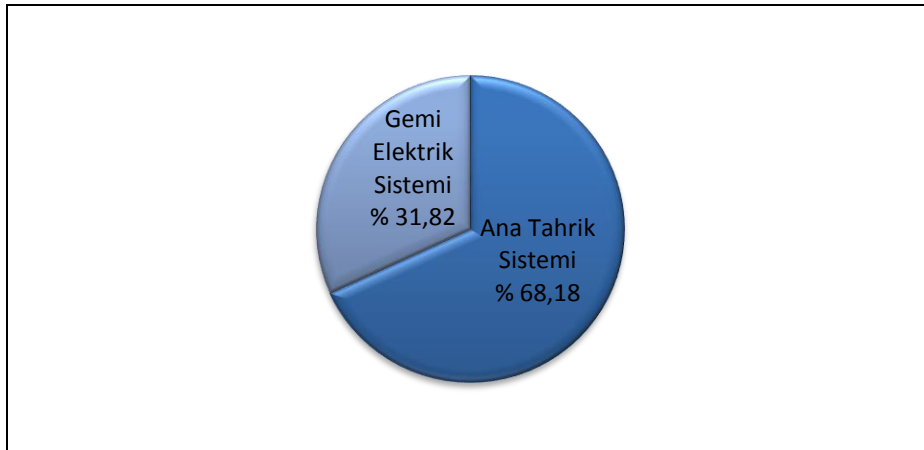
Koşul		Yıllık Ortalama			Yılda Kullanılan Zaman (Hafta)	Yıllık Harcama Miktarı (ton)			Tek SSDG Devrede Yıllık Yapılabilecek Tasarruf Miktarı (ton)
	Devredeki SSDG	1	2	3		1	2	3	
Liman	Ortalama Yük (kWh)	459,6	481,6	503,5	36,99	63,73%	36,27%	1492,6	117,1
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	22,85	31,58	40,36		538,6	423,5		
Denir	Ortalama Yük (kWh)	617,9	639,8	661,8	1,00	29,1	36,6	45,4	5,7
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	29,11	36,64	45,42					
Manevra (5 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	1276	1298	1320	0,08	4,7	5,1	5,6	0,0
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	55,76	60,88	66,50					
Seyir (0 Knot)	Ortalama Yük (kWh)	820,1	842,0	864,0	5,02	188,5	216,4	260,5	0,0
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	37,54	43,12	51,90					
Seyir (10 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	881,6	903,5	925,5	3,82	152,8	172,3	205,7	0,0
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	40,00	45,09	53,86					
Seyir (20 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	882,7	904,7	926,6	4,95	198,2	223,4	266,8	0,0
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	40,05	45,14	53,90					
Seyir (30 Knots)	Ortalama Yük (kWh)	882,8	904,7	926,7	0,28	11,2	12,6	15,1	0,0
	Yakıt Harcama (ton/hafta)	40,05	45,13	53,90					
Toplam Miktar					52,14				122,7

Gemi elektrik sisteminin için yapılan çalışma Tablo 5.6’da sunulmuştur. Gemi elektrik sisteminin analizinde; seyir zamanı ve kullanılan sürat kademeleri Tablo 5.5’ten, dizel jeneratörün daha önce gemi elektrik sistemi altında hesaplanan ortalama yük ve yakıt harcama verileri Tablo 5.1-.5.4’ten alınarak kullanılmıştır.

Gemiler, genel olarak bir haftalık dönemler halinde seyirde bulunmakta ve haftalık seyrin bir saatlik kısmı manevrada geçmektedir. Yapılan çalışmada geminin; her haftalık seyri için bir saat manevrada olduğu, geminin demirde bulunduğu zamanın ise yılda bir hafta olduğu kabul edilmiştir.

Gemi dizel jeneratör çalıştırma jurnallerinden yapılan incelemede toplam 1250 saatlik liman periyodunun 453,35 saatlik periyodunda iki dizel çalıştırıldığı görülmüştür. Yapılan genelleme ile gemi, liman periyodunun % 36,27'lik zaman dilimini iki dizel paralelde geçirdiği kabul edilmiştir.

Gemi elektrik sisteminde yıl boyunca; seyirde 624,7 ton, manevrada 5,6 ton, demirde 36,6 ton, limanda 962,1 ton yakıt harcadığı hesaplanmıştır. Gemi elektrik sisteminde ortalama yük ve anlık en yüksek yük verileri, koşul ve mevsimlere göre incelendiğinde; geminin liman durumunda her mevsim, demir durumunda ise kış mevsimi dışında diğer mevsimlerde tek dizel çalıştırılmasının yeterli olduğu ikinci dizelin çalıştırılarak devreye alınmasının gerekmediği değerlendirilmiştir. Bu kapsamda; liman ve demir pozisyonlarında tek dizel çalıştırmakla toplamda ortalama 123 ton daha az yakıt harcanarak liman ve demirde % 12,29, gemi elektrik sisteminin tüm yıl harcamasından ise % 7,53 oranında tasarruf sağlanabileceği tespit edilmiştir.



Tablo 5.7: Gemi enerji sistemleri yıllık harcanan yakıt grafiği.

Gemide enerji sistemlerinde yıllık harcanan yakıt miktarının 5120,5 ton, yıllık harcanan toplam enerjinin % 68,18'inin ana tahrik sisteminde, % 31,82'sinin ise gemi elektrik sistemi tarafından kullanılmakta olduğu tespit edilmiştir.

Geminin bir yıl boyunca hesaplanan ortalama verimlerine göre, ana tahrik sisteminin ekserji verimi % 22,92, ısı verimi % 23,03; gemi elektrik sisteminin ise ekserji verimi % 28,34 olduğu tespit edilmiştir.

Geminin yıllık harcanan yakıt miktarına ve yakıtın yanması sonucu açığa çıkan CO₂ gazının yanma analizinden elde edilen 3,17 kg CO₂/kg F-76 değerine göre ortalama 16242 ton CO₂ olduğu hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRMELER

Gemi enerji sistemleri analizi olarak yapılan bu tez çalışmasında; öncelikli olarak sistemlerin genel tanıtları yapılmış ve birbirleriyle olan ilişkileri ortaya konmuştur. Gemide yakıtın kullanıldığı iki ana sistem olan ana tahrik ve gemi elektrik sistemi ile geminin elektrik yükü en fazla olan ve mevsimsel sıcaklıklara bağlı olarak çalışan iklimlendirme (HVAC) sisteminin modellenmesi Matlab/Simulink programıyla yapılmıştır.

Geminin, ana değişkenler olarak alınan liman, demir, manevra ve seyir koşulları ile mevsimsel hava ve deniz suyu sıcaklıkları, seyirde gemi sürati bilgileri altında elde edilen veriler ile karakteristik yapısı ortaya konmuştur.

Gemi sistemlerinin yıllık ortalama enerji analizine göre;

- Harcanan yakıt miktarının 5120,5 ton olduğu,
- Harcanan yakıt miktarının % 68,18'inin ana tahrik sisteminde, % 31,82'sinin gemi elektrik sisteminde kullanılmakta olduğu,
- Ana tahrik sisteminin ortalama ekserji veriminin % 22,92, ısı veriminin % 23,03, gemi servis dizel jeneratörünün ekserji veriminin % 28,34 olduğu,
- Harcanan yakıt miktarına göre yanma sonucu açığa çıkan CO₂ gazının 16242 ton CO₂ olduğu,
- Geminin seyirde iktisadi sürat olan 14 knots sürat kademesinin kullanılmamasından ortalama 184,7 ton ile % 5,59 daha fazla yakıt harcadığı ve 6751 deniz mili ile % 25,58 daha az mesafe kat ettiği,
- Gemi elektrik sisteminde, limanda ve demirde % 90 yük kapasitesine göre tek dizel jeneratör kullanılmamasından, ortalama 122,7 ton ile % 7,53 daha fazla yakıt harcadığı,
- İktisadi sürat ve dizel jeneratörün kapasite dahilinde kullanılması sonucunda ortalama 307,4 ton ile % 6 oranında yakıt tasarrufu ve ortalama 975 ton daha az CO₂ salınımı sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Gemi iktisadi süratinin kullanılmasının en büyük yakıt tasarrufu sağlamanın yanında, geminin limanda bulunduğu süre boyunca % 90'ı aşmayan yük durumları için ikinci dizel jeneratör çalıştırılmaması ile büyük oranda yakıt tasarrufu sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Isıl verimlerdeki düşüş ile uzun süre

kullanımından sonra karşılaşılabilecek problemler sebebiyle gaz türbini ve dizel jeneratörlerin düşük sürat ve yüklerde çalıştırılmasının uygun olmadığı görülmüştür.

Ayrıca tasarım değerleri üzerinden hazırlanan modelin, farklı hava ve deniz suyu sıcaklıkları altında hizmette veya halen tasarım aşamasında olan her sınıf geminin;

- İklimlendirme (HVAC) sisteminin kurulumu ve analizlerinde,
- Gaz türbini ısı ve ekserji verim analizlerinde,
- Dizel jeneratörün ekserji, anlık ve ortalama yük analizlerinde,
- Yakıt maliyeti ile CO₂ emisyonlarının en aza indirilmesi ve enerjinin etkin kullanılması maksadıyla yapılacak tüm çalışmalarda kullanılabilecek ve geliştirilebilecek bir yazılım olduğu değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Altosole M., Figari M., (2011), “Effective Simple Methods For Numerical Modelling Of Marine Engines in Ship Propulsion Control Systems Design”, Journal of Naval Architecture and Marine Engineering, 1813-8235, 129-147.

Altosole M., Campora U., Martelli M., Figari M., (2014), “Performance Decay Analysis of a Marine Gas Turbine Propulsion System”, Journal of Ship Research, 58 (3), 117–129.

Al-Moussawi M., Smith A., Young A.E., Faraji M., Cater S, (2016), “An advanced numerical model of friction stir welding of DH36 steel”, 11th International Symposium on Friction Stir Welding, TWI, Cambridge, 17-19 May 2016.

ASHRAE, (2013), 2013 ASHRAE Handbook Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Baldi F., Johnson H., Gabriellii C., Andersson K., (2014a), “Energy analysis of ship energy systems – the case of a chemical tanker”, ScienceDirect, Energy Procedia, 61 (2014), 1732-1735.

Baldi F., Larsen U., Gabriellii C., Andersson K., (2014b), “Analysis of the influence of the engine, propeller and auxiliary generation interaction on the energy efficiency of controllable pitch propeller ships” ICMT2014, Glasgow/Scotland, 07-09 July 2014.

Baldi F., Ahlgren F., Nguyen T.V., Gabriellii C., Andersson K, (2014c), “Energy and exergy analysis of a cruise ship”, Proceedings Of ECOS 2015 - The 28th International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, Pau/France, 30 June - 3 July 2015.

Baldi F., (2016), “Modelling, analysis and optimisation of ship energy systems”, Doctoral Thesis, Chalmers University of Technology.

Beşikçi E.B., (2015), “Gemi Sefer Yönetiminde Enerji Verimliliğinin Optimizasyonu”, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Cichowicz J., Theotokatos G., Vassalos D., (2015), “Dynamic energy modelling for ship life-cycle performance assessment”, Ocean Engineering, 0029 (8018), 1-13.

Çengel Y.A., Boles M.A., (2011), “Thermodynamics: An Engineering Approach”, 7th Edition, McGraw-Hill.

Çengel Y.A., Ghajar A.G., (2011), “Heat and Mass Transfer: Fundamentals and Applications” 4th Edition, McGraw-Hill.

Çiçek A.N., (2009), “Bir Petrol Tankeri Buhar Güç Sisteminin Ekserji Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Çubuğuzun T., (2006), “Gaz Türbinli Gemilerde Ekserji ve Termodinamik Analiz”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

DDS 200-2 (2012), “Calculation of Surface Ship Annual Energy Usage, Annual Energy Cost, and Fully Burdened Cost of Energy”, Design Data Sheet, Department of The Navy Naval Sea Systems Command, USA.

Galli A.M., Gualeni P., Stranieri G., Qualich S., Cusano C., (2014), “Monitoring and analysis of the performance data of a RO-PAX ship in the perspective of energy efficiency”, Polish Maritime Research 4 (84), 2014 (21), 18-26.

IMO, (2012), Guidelines for the development of a ship energy efficiency management plan, Resolution MEPC.213 (63), International Maritime Organization.

İzer C., (2011), “Askeri Gemilerde Isı ve Yangın Yalıtımının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Grljušić M., Medica V., Račić N., (2014), “Thermodynamic Analysis of a Ship Power Plant Operating with Atık Isı Recovery through Combined Heat and Power Production”, Energies, 2014 (7), 7368-7394.

Karademir A., (2008), “Gaz Türbinli Sistemlerde Performans Artırma Yöntemlerinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Marty P., Hétet J.F., Chalet D., Corrigan P., (2016), “Exergy Analysis of Complex Ship Energy Systems”, Entropy, 2016 (18), 127-145.

NAVSEA, (1980), FFG-7 Class Ship Information Book, Axuiliary Machinery, Piping, Air Conditioning, Ventilation and Heating System, Volume 2 Part 2, S9FFG-AH-SIB-022/(U)FFG-7, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2000a), Propulsion System Propulsion Plant System For FFG-7 Class Ships, Volume 1 Revision 1, S9234-BL-GTP-010, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2000b), Electrical System Propulsion Plant System For FFG-7 Class Ships, Volume 1 Revision 1, S9234-BL-GTP-020, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2000c), Auxiliary and Support Systems Propulsion Plant System For FFG-7 Class Ships, Volume 3 Revision 1, S9234-BL-GTP-030, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2004), LM2500 Propulsion Gas Turbine Module Description and Operation, Volume 1 Revision 4, S9234-AD-MMO-010/LM2500, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2007a), FFG-7 Class Ship Information Book, Hull and Hull Mechanical Systems, Volume 1 Change J, S9FFG-AH-SIB-010/(U)FFG-7, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2007b), FFG-7 Class Ship Information Book, Propulsion Plant, General Design and Operating Procedures, Volume 2 Part 1 Change J, S9FFG-AH-SIB-021/(U)FFG-7, Naval Sea Systems Command.

NAVSEA, (2007c), FFG-7 Class Ship Information Book, Power and Lighting Systems, Volume 3 Change K, S9FFG-AH-SIB-030/(U)FFG-7, Naval Sea Systems Command.

Talay A.A., Deniz C., Durmuşoğlu Y., (2014), “Gemilerde Verimi Artırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO2 Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerinin Analizi”, Journal of ETA Maritime Science, 2 (1), 61-74.

Taştan F., Kılı D., (2016), “Türkiye Çevresindeki Denizlerin Su Sıcaklıkları Parametresinin İstatistiksel Analizi Raporu (1970-2015)”, T.C Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara 2016.

Web 1, (2015), <https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/ffg-7.htm>, (Erişim Tarihi: 10/12/2015).

Web 2, (2015), <https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/swos/eng/64P7-101.html>, (Erişim Tarihi: 10/12/2015).

Web 3, (2015), <http://www.geaviation.com/marine>, (Erişim Tarihi: 31/12/2015).

Web 4, (2017), <http://www.accuweather.com/tr/tr/istanbul/318251/month/%20318-251?%20monyr>, (Erişim Tarihi: 06/04/2017).

Xing S., Xinping Y., Bing W., Xin S., (2013), “Analysis of the operational energy efficiency for inland river ships” Transportation Research Part D, 22 (2013) 34–39.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer ÖZTÜRK 1979 yılında İstanbul’da doğdu. 1985-1993 yıllarında Avcılar İlkokulu ve Avcılar 50. Yıl İnsa Lisesi, 1993-1997 yıllarında Deniz Lisesi, 1997-2001 yıllarında Deniz Harp Okulu Gemi İnşa ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümünü başarı ile tamamladı. 2001 yılında Deniz Harp Okulu’ndan deniz subayı olarak mezun olmasına müteakip Deniz Kuvvetlerinde; 2001-2013 yıllarında TCG GEMLİK Firkateyn’inde makine bölümü branş subaylıkları, 2013-2015 yıllarında Deniz Astsubay Meslek Yüksek Okulu’nda Yara Savunma Öğretim Elemanı görevlerini yaptı. 2015 yılında TCG GÖKSU Firkateyni’nin Başçarkçı görevine ve Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.