

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YENİ NESİL FIRKATEYNLER İÇİN  
ANA MAKİNA SEÇİM KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ  
VE  
SİSTEM ELEMANLARININ SEÇİMİ**

İlker AKCA

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Yasin ÜST**

**İSTANBUL, 2010**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	viii
ÖNSÖZ .....	ix
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Tahrik Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi .....	1
1.2 Önceki Yapılan Çalışmalar .....	2
2. Fırkateyn Görev Tanımı ve Dizayn Gereklilikleri .....	5
2.1 Fırkateyn Görev Tanımı .....	5
2.2 Dizayn Gereklilikleri .....	6
3. Ana Makina Seçim Kriterleri .....	6
3.1 Boyut .....	7
3.1.1 Ağırlık .....	9
3.1.2 Hacim .....	10
3.2 Gemi İzi .....	11
3.2.1 Akustik İz .....	12
3.2.2 Kızıl Ötesi İz .....	12
3.3 Maliyet .....	13
3.4 Güvenilirlik .....	13
3.5 Kullanılabilirlik .....	15
3.6 İdame Edilebilirlik .....	15
3.7 Performans .....	16
3.7.1 Yakıt Tüketimi .....	16

3.7.2	Reaksiyon Süresi .....	18
3.7.3	Maksimum Sürat.....	18
3.7.4	Düşük Süratlerde Kullanım Parametreleri.....	20
4.	Ana Boyutlandırma.....	22
4.1	Benzer Tekne Özellikleri.....	22
4.2	Boyutlandırma Grafikleri .....	34
4.3	Gücün Belirlenmesi .....	34
5.	Aday Tahrik Sistemleri.....	36
5.1	Gaz Türbinleri.....	37
5.2	Buhar Kazanı ve Türbinleri .....	39
5.3	Dizel Motorlar .....	40
5.4	Nükleer .....	40
5.5	Kombine Sistemler .....	41
5.5.1	CODAG .....	41
5.5.2	CODOG .....	42
5.5.3	CODAD .....	43
5.5.4	COGAG .....	44
6.	Aday Sistemlerin Analiz ve Karşılaştırılmaları.....	45
6.1	Aday Sistemlerin Yardımcı Sistemleri İle Birlikte Güvenilirlik Analizleri.....	45
6.1.1	Gaz Türbini Sistemi.....	45
6.1.1.1	Yağlama Yağı Sistemi Güvenilirliği .....	47
6.1.1.2	Gaz Türbini Güvenilirliği .....	47
6.1.1.3	Yakıt Sistemi Güvenilirliği.....	48
6.1.1.4	Aktarma Sistemi Güvenilirliği.....	49
6.1.1.5	Tüm Sistem Güvenilirliği .....	49
6.1.1.6	Soğutma Sistemi Güvenirliliği .....	50
6.1.1.7	Dizel Makina Güvenilirliği.....	51
6.1.1.8	Tüm Sistem Güvenilirliği .....	51
6.1.2	Kombine Sistemler .....	52
6.1.2.1	CODAD Kombinasyonu .....	52
6.1.2.2	CODAG Kombinasyonu .....	53
6.1.2.3	COGAG Kombinasyonu .....	54

6.2	Aday Sistemlerin Seçim Kriterlerine Yönelik Etkinlik ve Maliyet Analizleri.....	55
6.2.1	Etkinlik .....	56
6.2.1.1	Etkinlik Hesaplamaları .....	57
6.2.2	Maliyet Hesaplamaları.....	57
7.	SONUÇ.....	72
KAYNAKLAR.....		73
ÖZGEÇMİŞ.....		76

## SİMGE LİSTESİ

A	Kullanılabilirlik (Availability)
C <sub>b</sub>	Blok Katsayısı
C <sub>m</sub>	Orta Kesit Katsayısı
C <sub>p</sub>	Prizmatik Katsayı
C <sub>wp</sub>	Su Hattı Alan Katsayısı
CPP	Değişken Kanat Açılı Pervane (Controllable Pitch Propeller)
D	Dizel
G	Gaz Türbini
M	Dizel, Gaz Türbini Paralel Bağlantısı
R	Düşürücü (Redüktör)
R <sub>(t)</sub>	Onarılamayan Sistem Güvenirliği
R <sub>AKT</sub>	Aktarma Sistemi Güvenirliği
R <sub>CC</sub>	Onarılabilen Sistem Güvenirliği
R <sub>CODAD</sub>	CODAD Sistemi Güvenirliği
R <sub>CODAG</sub>	CODAG Sistemi Güvenirliği
R <sub>COGAG</sub>	COGAG Sistemi Güvenirliği
R <sub>Dizel</sub>	Dizel Makina Güvenirliği
R <sub>DizelSis</sub>	Tüm Dizel Sistemi Güvenirliği
R <sub>GT</sub>	Gaz Türbini Sistemi Güvenirliği
R <sub>GTSis</sub>	Tüm G/T Sistemi Güvenirliği
R <sub>Soğ</sub>	Soğutma Sistemi Güvenirliği
R <sub>Yak</sub>	Yakıt Sistemi Güvenirliği
R <sub>YY</sub>	Yağlama Yağı Sistemi Güvenirliği
S	Şaft
SFC	Özgül Yakıt Tüketimi (Specific Fuel Consumption)
λ	Arıza Oranı

## KISALTIMA LİSTESİ

AAOS	Arızalar Arası Ortalama Süre
ADGT	Uçak Motorlarından Türetilmiş Gaz Türbini (Aircraft-Derivative Gas Turbines)
BHP	Fren Beygir Gücü (Brake Horse Power)
BM	Sephiye Merkezinden Metasentr Yüksekliği
CODAD	Dizel ve Dizel Kombinasyonu ( <b>CO</b> mbined <b>D</b> iesel <b>And</b> <b>D</b> iesel)
CODAG	Dizel ve Gaz Türbini Kombinasyonu ( <b>CO</b> mbined <b>D</b> iesel <b>And</b> <b>G</b> as Turbine)
CODLAG	Dizel Elektrik ve Gaz Türbini Kombinasyonu ( <b>CO</b> mbined <b>D</b> iesel <b>E</b> lectric <b>And</b> <b>G</b> as Turbine)
CODOG	Dizel veya Gaz Türbini Kombinasyonu ( <b>CO</b> mbined <b>D</b> iesel <b>Or</b> Gas Turbine)
COGAG	Gaz Türbini ve Gaz Türbini Kombinasyonu ( <b>CO</b> mbined <b>G</b> as Turbine <b>And</b> <b>G</b> as Turbine)
DSH	Denizaltı Savunma Harbi
ECCM	Elektronik Karşı-Karşı Tedbirler (Electronic Counter-Counter Measures)
ECM	Elektronik Karşı Tedbirler (Electronic Counter Measures)
G/T	Gaz Türbini
HDGT	Ağır Yük Gaz Türbinleri (Heavy Duty Gas Turbines)
HP	Beygir Gücü (Horse Power)
HSH	Hava Savunma Harbi
IR	Kızıl Ötesi (Infrared)
KB	Sephiye Merkezi
KG	Ağırlık Merkezi
KM	Omurga Hattından Metasentr Yüksekliği
kts	knots (mil/saat)
LCB	Sephiye Merkezinin Boyuna Konumu
LCF	Yüzme Merkezinin Boyuna Konumu
MİLGEM	Milli Gemi
MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
OAOS	Ortalama Arıza Onarım Süresi
R	Güvenilirlik
SUH	Su üstü Savunma Harbi

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3-1 MTU 16 V 1163 TB83 Boyutları.....	8
Şekil 3-2 MTU 20 V 1163 TB93 Boyutları.....	8
Şekil 3-3 LM 2500 G/T Boyutları .....	9
Şekil 3-4 Gemi Parmak İzini Oluşturan Fiziksel Karakteristikleri.....	11
Şekil 3-5 Özgül Yakıt Tüketimi Karşılaştırma.....	17
Şekil 3-6 Maksimum Sürat-Güç-Direnç İlişkisi.....	19
Şekil 3-7 Tipik Fırkateyn CODAD Kombinasyonu Sürat-Güç-Zaman İlişkisi .....	21
Şekil 3-8 Tipik Fırkateyn CODAG Kombinasyonu Sürat-Güç-Zaman İlişkisi .....	22
Şekil 4-1 Benzer Gemi Sevk Sistemleri .....	23
Şekil 4-2 Benzer Gemi Deplasman-Boy Dağılımı .....	34
Şekil 4-3 Fırkateyn ve Destroyer Deplasman-Güç ve Sürat İlişkisi (Renk Ltd.,2007).....	34
Şekil 5-1 Hava Emiş Kanallarından Gaz Türbini Çıkarılışı .....	38
Şekil 5-2 CODAG Sistemi .....	41
Şekil 5-3 CODOG Sistemi .....	42
Şekil 5-4 CODAD Sistemi .....	43
Şekil 5-5 CODAD ve CODAG Kombine Sistemleri Güç-Hız Karşılaştırma Eğrileri.....	44
Şekil 6-1 Gaz Türbini Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli.....	45
Şekil 6-2 Gaz Türbini Yağlama Yağı Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli .....	47
Şekil 6-3 Gaz Türbini ve Bağlantı Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli .....	48
Şekil 6-4 Gaz Türbini Yakıt Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli.....	48
Şekil 6-5 Gaz Türbini Aktarma Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli.....	49
Şekil 6-6 Dizel Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli .....	50
Şekil 6-7 Dizel Soğutma Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli .....	50
Şekil 6-8 Dizel ve Bağlantı Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli.....	51
Şekil 6-9 CODAD Kombinasyonu Güvenilirlik Modeli.....	53
Şekil 6-10 CODAG Kombinasyonu Güvenilirlik Modeli.....	54
Şekil 6-11 COGAG Kombinasyonu Güvenilirlik Modeli.....	55

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 3-1 MTU 20 V ve 16 V Boyutsal Değerler .....	8
Çizelge 3-2 LM 2500 Boyutsal Değerler .....	9
Çizelge 3-3 Güç-Ağırlık Ve Güç-Hacim Değerleri (Ship Design and Construction,2006)....	10
Çizelge 3-4 Tipik Fırkateyn Sürat Profili .....	20
Çizelge 4-1 Benzer Tekne Özellikleri .....	24
Çizelge 4-2 Hava savunma Harbi Fırkateyni Tekne Karakteristikleri (Şener, 2010) .....	35
Çizelge 4-3 Hava savunma Harbi Fırkateyni Hız-Güç Değerleri (Şener, 2010).....	36
Çizelge 5-1 Tahrik Sistemleri avantaj ve dezavantajları .....	37
Çizelge 6-1 Tahrik Sistemi Elemanları Güvenilirlik Değerleri.....	46
Çizelge 6-2 Ana Seçim Kriterleri ve Alt Başlıkları.....	59
Çizelge 6-3 Ana ve Alt Kriterlere ait Veriler .....	60
Çizelge 6-4 Ana ve Alt Kriterlere ait Değerlerin Normalizasyonu .....	62
Çizelge 6-5 Ana ve Alt Kriterlere ait Değerlerin Etkinlik Puanları .....	64
Çizelge 6-6 Etkinlik Analiz sonucu.....	65
Çizelge 6-7 Alternatif Sistemlerin Hesaplara Esas Değerleri .....	66
Çizelge 6-8 Alternatif Sistemlerin Değerleri (CODAG).....	68
Çizelge 6-9 Alternatif Sistemlerin Değerleri (CODAD ve COGAG).....	69
Çizelge 6-10 Alternatif Sistemlerin Maliyet Özetleri.....	70
Çizelge 6-11 Maliyet Etkinlik İnceleme Sonuçları .....	71
Çizelge 7-1 Aday Sistemlerin Seçim Kriterleri Sonuçları.....	72



## ÖNSÖZ

Yeni nesil bir hava savunma harbi firkateyninin ana makina seçimini ele alıp inceleyen bu tezin, konusunun seçilmesinde, oluşturulmasında her türlü desteği veren, ilerleyen safhalarında sonsuz sabrı ile çalışmanın tamamlanmasını sağlayan Prof.Dr. Tamer YILMAZ'a, çalışma esnasında gerek idari gerekse içeriksel konularda desteklerini esirgemeyen Doç.Dr. Yasin ÜST'e ve yüksek lisans öğrenimim süresince beni devamlı motive eden ve aile içi iş yükünün çoğunu üzerine alan eşim Emel Şerife AKCA'ya ve bu yoğun tempo nedeniyle bu süreçte kendilerine hak ettikleri zamanı ayıramadığım oğlum Ömer Faruk AKCA ve kızım Zehra Merve AKCA'ya teşekkürlerimi sunarım.

## ÖZET

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizin gerek ticari gerekse askeri anlamda etkili bir donanmaya sahip olması arzulanan bir gerçektir. Bulduğumuz topraklarda harp gemileri tarih içerisinde ulusların kaderleri üzerinde her zaman etkili bir role sahip olmuşlardır. Bu bugün de böyledir. Bir harp gemisinden istenilen, üzerindeki gerek silah gerek elektronik gerekse makina sistemleri ile her zaman göreve hazır olmasıdır. Bu husus gemilerin inşa safhasında en etkili sistemlerin seçilmesi ile en üst düzeyde tutulabilmektedir.

Yapılan bu çalışmada bir harp gemisinin sahip olması gereken sistemlerden makina sistemi ele alınmıştır. İlk önce tahrik sisteminin seçimine yönelik kriterler belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Sonra aday sistemler belirlenerek bu sistemlerin Güvenilirlikleri hesaplanmıştır. Daha sonra ise aday sistemlerin etkinlik ve maliyet analizleri yapılarak istenilen kriterlere en uygun sistem belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler** : Dizel, gaz türbini, ana tahrik sistemi seçimi, fırkateyn.

## **ABSTRACT**

It is a desired reality that our country which is surrounded by seas, to possess a strong navy in both commercial and military areas. In history, in these lands warships had always taken an effective role in the destiny of the nations. So it is the same today as well. A war ship must be always ready for a mission with its both weapons, electronic systems and machinery systems. This can be maintained by selecting a most appropriate and effective systems during the construction phase.

In this thesis, among the systems a warship must possess, main propulsion system is held. At first, the criterias of the selection of a propulsion system are determined and analyzed. Then candidate systems are choosen and reliability analyzes of the systems are made. Later, cost effectiveness of the systems are calculated. As a result of these analyzes and calculations most appropriate candidate system is determined.

**Key Words :** Diesel, Gas Turbine, main propulsion system selection, frigate.

## 1. GİRİŞ

Fırkateyn ve Korvet gibi su üstü harp gemilerinin dizaynı esnasında ana tahrik sistemlerini değerlendirirken birçok kriter birden değerlendirilmeye alınmalıdır. Belirli bir tahrik sisteminin seçimi, bahse konu tahrik sisteminin; ağırlığından, gemi içerisinde kaplayacağı hacime, maksimum seyir sığasını sağlayacak intikal (cruise), dolanma(loitering) ve maksimum süratine kadar değişen geniş bir yelpaze içerisinde yer alan ana öğeleri içermektedir. Diğer bir taraftan, ilk maliyet, işletim maliyeti gibi mali hususların en uygun sistemin seçimi üzerindeki etkisi günden güne artmaktadır.

Savaş gemisi dizaynı zaman isteyen ve bu esnada optimumu yakalayabilmek için devamlı olarak kendi içerisinde tekrarlanan bir süreçtir. Bir tahrik sistemi, geminin ayrılmaz bir parçasıdır ve kurulumundan sonra bir daha değiştirilmeyeceği göz önüne alındığında dizayn sürecinin ilk safhasından itibaren seçiminin dikkatle yapılması oldukça önem arz etmektedir.

Savaş gemisi dizaynında en kritik hususlardan birisi geminin ne maksatlı olarak kullanılacağına belirlenmesidir. Bu amaca yönelik olarak görev ihtiyaçları, hareket gereklilikleri nelerdir? Operasyon konsepti nedir? Geminin görev alanındaki tehdit unsurları nelerdir? Bunlar bir harp gemisinin dizaynında cevaplanması gerekli olan sorulardır. Ancak bir savaş gemisinin hizmet süresinin 30-40 yıl civarında olduğu düşünüldüğünde, dizaynı gerçekleştirilen harp gemisinin bu süreç boyunca gelişen teknoloji ile birlikte dinamik yapıya sahip yeni teknoloji ürünü tehditlerle karşılaşacağı kaçınılmaz olduğundan bu sorulara cevap bulmak aslında düşünüldüğü kadar kolay değildir.

### 1.1 Tahrik Sistemlerinin Tarihsel Gelişimi

Tahrik sistemlerinin yaklaşık 160 yıllık tarihsel gelişimine bakacak olursak;

- |           |  |
|-----------|--|
| 1820'ler  | 1 bar civarında basınç kullanan mütenavip (eksenel ileri-geri) buhar sistemlerinin başlangıcı. Yandan çarklı sistemlerin kullanılması,   |
| 1850'ler  | Yandan çarklı sistemlerin yerini pervaneli sistemlere bırakması,   |
| 1850-1880 | Kazan sistemlerindeki gelişmelere bağlı olarak 7 bar basınca sahip buhar sistemlerinin yaygın hale gelmesi, bu basınca sahip iki kademeli mütenavip buhar sistemlerinin kullanılmaya başlanması, |
| 1880-1900 | Teknolojik gelişmelerle kullanılan buhar basıncının yükselmeye devam etmesi ve 21 bar basınca sahip sistemlerin yaygın hale gelmesi,   |
| 1906      | HMS Dreadnought, ilk buhar türbini tahrikli savaş gemisi,  |
| 1906-1916 | Tek kademeli düşürücü sistemlerin kabul görmeye başlaması, kömür yerine petrolün kullanılmaya başlanması,  |

- 1920-1940 İngiliz Bahriyesinde sınırlı kalmasına karşılık Amerikan Bahriyesinde Buhar Türbinini gelişimine devam etmesi,
- 1940'ların Sonu İngilizlerin Amerikan buhar teknolojisine yetişmek için yoğun çaba sarf etmeleri ve İngiliz dizaynlarında buhar teknolojisinin yükselmesi,
- 1950'ler Gaz Türbinlerinin, Buhar Türbinleri ile birlikte kombine sistem olarak ana unsur savaş gemilerinde boy göstermeleri,
- 1970'ler İngiliz Type 21 ve Type 42 savaş gemilerinde tamamı Gaz Türbini ana makina sistemi kullanmaları.
- 70'li yıllardan itibaren kullanımına başlanan Gaz Türbinleri halen daha günümüz donanmalarının bel kemiğini oluşturan fırkateyn ve destroyerlerin ana tahrik sistemlerinde gerek tek başlarına gerekse kombine sistemler ile baş rolü oynamaktadırlar.

## 1.2 Önceki Yapılan Çalışmalar

**Ralph Trappe (2001)**, tezinde gelecekte kullanılacak sınırlı kaynakları göz önünde bulundurarak kriz yönetimi için gerekli hareket ihtiyaçlarına cevap verebilecek fırkateyn/destroyer büyüklüğünde bir harp gemisi geliştirmeyi amaçlamıştır. Yapmış olduğu çalışmada bir harp gemisinin temel hareket ihtiyaçlarını ele almış ve bu ihtiyaçları destekleyecek tekne yapısı ve tahrik sistemi konfigürasyonları üzerine yoğunlaşmıştır. Klasik tek tekneli (monohull) yaklaşıma ilave olarak Katamaran, Trimaran, SWATH(Small waterplane area twin hull) ve O'Neill tekne formu konfigürasyonlarını da incelemiştir. Dizel ve Gaz Türbini Kombinasyonları (CODAG) ile Dizel yada Gaz Türbini (CODOG) kombinasyonlarının karşılaştırılmasını yapmış, bunların yanı sıra Dizel Elektrik, Gaz Türbini Elektrik ve bu tahrik sistemlerinin mümkün olan kombinasyonlarını değerlendirmiştir.

**Nigel S.Right, (2000)**, İngiliz Kraliyet donanmasında gelecekte Gaz türbini ve buna bağlı tahrik elemanlarının önemli bir rol oynayacağını, CODLAG kombinasyonu uygulanmış olan gemilerinden,

- 1) Düşük sürat ve manevra süratlerinde kullanılması gereken 6 adet makina olmasından,
- 2) Sistemde çok makina çalışmasından dolayı bu makinaların bakım maliyetlerinin ve ömür devri maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı verim alınamadığını,

Gelecekte, yeni nesil gaz türbinlerinin düşük emisyonlarından, yüksek güvenilirlik ve kullanılabilirlik oranlarından, minimum ömür devri maliyetlerinden, yüksek yoğunlukta güç sağlayabilmelerinden ve düşük gürültü seviyelerinden dolayı tercih edilmeleri gerektiğini belirtmiştir.

**P.Genova, G.B. Marchello, F.Tortarolo, (2000)** Yazılarında yeni gelişen teknoloji olarak ‘tümü elektrikli’ tahrik sistemini ele almış, günümüz tahrik sistemlerinden dizel, gaz türbini ve bunların kombinasyonlarına karşı avantajlarını ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır. Daha çevre dostu ve yakıt yönünden tasarruflu bir sistem olması gibi avantajlarının yanında yüksek ilk maliyetleri, sistemin ağırlık olarak gemiye diğer sistemlere nazaran daha fazla yük getirmesi ve karşılaşılabilecek potansiyel elektro manyetik problemlerinin olması da dezavantajları olarak belirtilmiştir.

**John Schank, John Birkler, Edward Keating, Michael Mattock, Malcolm MacKinnon, Dennis Rushworth (1999)**, Yeni nesil uçak gemilerinin tahrik sisteminin nükleer yada konvansiyonel (Buhar Türbini, Gaz Türbini, Dizel) olması konusu üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ABD’nin iç piyasa imkanları ile sistemlerin desteklenebilirlikleri araştırılmış, ilk maliyetleri ve ömür devri maliyetleri çıkarılmış, hacim ve ağırlık olarak sistemler değerlendirilmiş (emiş ve egzost alanları), sistemlerin emisyon değerleri de incelenerek Uçak gemisinin ihtiyacı olan gücü karşılayabilecek sistemler belirlenmiştir.

**Lawrence Snyder, Anne-Marie Sattler, Michael Kipp, Jason Eberle, William Downing (2007)** Hazırlamış oldukları raporda Amerika Birleşik Devletleri donanması için bir hava savunma harbi fırkateyni geliştirme konseptini tanımlamışlardır. Fırkateynden arzulanan operasyonel yetenekleri geminin görev analizlerini yaparak belirlemişler, bunlara bağlı olarak da tekne formu, ana tahrik sistemi, elektrik üretim sistemleri, savaş sistemleri ve otomasyon sistemlerinin alternatiflerini belirlemişlerdir. Sonrasında yaptıkları detaylı çalışmada geminin yapısal dizayn ve analizlerini yapmışlar, tespit ettikleri dirence karşılı güç ihtiyacını belirlemişler, elektrik yük analizini yapmışlar, ağırlıkları ve yükleme şartlarını belirlemişler, stabilite hesaplarını ve gemi bölmelendirmesini yapmışlardır.

**James Schultz, Justin Baity, Erika Kast, John Wilde, Nate Reimold, Rich Hardy (2006)** Amerika Birleşik Devletleri donanması için bir kruvazör dizayn raporu hazırlamışlardır. Bir önceki bahsedilen çalışmada yapılan gibi Kruvazörden arzulanan operasyonel yetenekleri geminin görev analizlerini yaparak belirlemişler, bunlara bağlı olarak da tekne formu, ana tahrik sistemi, elektrik üretim sistemleri, savaş sistemleri ve otomasyon sistemlerinin alternatiflerini belirlemişlerdir. Sonrasında yaptıkları detaylı çalışmada geminin yapısal dizayn ve analizlerini yapmışlar, tespit ettikleri dirence karşılı güç ihtiyacını belirlemişler, elektrik yük analizini yapmışlar, ağırlıkları ve yükleme şartlarını belirlemişler, stabilite hesaplarını ve gemi bölmelendirmesini yapmışlardır.

**John Boylston, Michael Brooks (2001)** yaptıkları çalışmada bir Ro Ro gemisi için uygun makina tipini belirlemeye çalışmışlardır. Belirledikleri 4 adet alternatif ana makina sisteminin

- 2 adet ağır devirli dizel ve 2 şaft,
- 2 Şaft, Doğrudan tahrik dizel elektrik,
- 2 Şaft, dişli bağlantılı Dizel Elektrik,
- 2 Dizel elektrik Tahrikli Azimut tahrik sistemi,

bakım maliyetlerini, yağlama yağı ve yakıt harcamalarını, yedek parça ihtiyaçlarını belirleyerek karşılaştırmalar yapmışlar ve bu alternatif sistemlerin avantaj ve dezavantajlarını ortaya koyarak bahse konu ticari gemiye en uygun opsiyonu belirlemişlerdir.

**K.Gunz (2000)**, günümüz bahriyelerinde görev yapacak Fırkateyn ve Korvetler için (2500 ton ve üzeri) uygun makina alternatifleri üzerinde çalışmıştır. Çalışmasında Merit başaram ölçütünü kullanmıştır. Kriter olarak,

- Performans
  - Güç,
  - Hız,
  - Esneklik,
  - Kullanılabilirlik.
- Operasyonel uygunluk,
  - Geliştirilmiş güvenlik,
  - Emisyonlar,
  - Risk Yönetimi,
  - Güvenilirlik.
- Kurulum Masrafları
- İşletim masrafları
  - Yedek Parçalar,
  - Yakıt masrafları,
  - Bakım masrafları,
  - Lojistik Hususlar,
  - İdame Edilebilirlik.

değerleri alınmıştır. Bu kriterler üzerinden ana tahrik sistemi olarak belirlenen,

- Doğrudan Tahrik,
  - 2 adet Dizel Makina, 2 Şaft,
- Kombine Sistem (CODAD)
  - 4 adet Dizel Makina, 2 Şaft,
- Kombine Sistem (CODOG)
  - 2 adet Dizel Makina, 2 Adet Gaz Türbini, 2 Şaft,

- Kombine Sistem (CODAG)
  - 2 adet Dizel Makina, 1 adet Gaz Türbini, 2 Şaft,

alternatifleri değerlendirilerek en yüksek notu alan sistem belirlenmiştir.

## **2. Fırkateyn Görev Tanımı ve Dizayn Gereklilikleri**

Bir harp gemisinin silah sistemleri olsun, elektronik sensörleri olsun gerekse makina sistemleri olsun seçimleri yapılırken ilk önce dikkate alınması gereken husus inşa edilecek olan geminin hangi görevleri yerine getirmesi istendiği, görev alanlarının nereler olduğudur. Bu hususlardan yola çıkılarak geminin hücumbot mu, korvet mi, Fırkateyn mi vs. olacağına karar verilir ve bu tip gemiye yönelik seçimler gerçekleştirilir. Sadece gemi tipinin de belirlenmesi yeterli olmayabilir. Bunun yanı sıra belirlenen tip geminin görev alanı, mayın avlama, denizaltı savunma, hava savunma vs. gibi hususlarda sistemlerin seçiminde etkili olacaktır. Tezimizin konusu yeni nesil hava savunma harbi fırkateynine makina sistemi seçmek olduğundan bir fırkateynin görev tanımına ve dizayn gerekliliklerine göre seçimimiz şekillenecektir.

### **2.1 Fırkateyn Görev Tanımı**

Su üstü muharebe gemileri bir donanmanın omurgasını oluşturan ana unsurlardandır. Su üstü gemilerini büyüklüklerine göre sınıflandırmak gerekirse, kruvazörler, destroyerler, fırkateynler ve korvetler şeklinde bir sıralama yapmak mümkündür. II. Dünya savaşından 1980'li yıllara kadar su üstü muharebe gemileri büyük çoğunlukla donanmaların diğer su üstü gemilerini ve ticari kargo gemilerini savunmak için eskort amacıyla kullanılmışlardır. 80'li yıllardan itibaren gelişen teknoloji ile yüksek nitelikli ürünlerin kullanılmaya başlanması (Uzun menzilli Su üstü güdümlü mermileri, dikey fırlatma sistemleri, geliştirilmiş savaş yönetim sistemleri vb.) ile bu tip gemilerin yapısı ve görevleri değişmeye başlamıştır. Bu gelişmeler çerçevesinde yeni nesil muharebe gemilerinin bağımsız görev yapabilme ve gerektiğinde tek başına muharebe edebilme imkan ve kabiliyetinde olmaları beklenilmektedir. Hem gemilerin bağımsız olarak hareket icra edebilmesi hem de hareketlerin çok tehditli ortamlarda gerçekleştirilmesi muharip gemilerin her alanda (Hava Savunma Harbi, Denizaltı Savunma Harbi, Su Üstü Harbi) kendisini savunabilme yeterliliğinde olmasını, ayrıca bu ana görev alanlarından da bir tanesinde vurucu güç olarak donanımlı olmasını gerektirmektedir. Ana makina seçiminde fırkateynin görev tanımı, geminin görev yapacağı harekât sahalarının (HSH, DSH, SUH vb.) belirlenmesinde, buna bağlı olarak maksimum ve intikal süratlerinin, geminin parmak izlerinden hangisinin daha fazla öneme sahip olduğunun belirlenmesinde önem arz etmektedir. Bu durum çerçevesinde bir Hava Savunma Harbi Fırkateyninden beklenenler;



- 1) Hava hedeflerine karşı (Uçaklar ve Güdümlü mermiler) sahip olduğu savunma ve hücum silahları ile Hava Savunma Harektı düzenleyebilmesi, bölge savunması yapabilmesi,
- 2) Harekt alanındaki diğer dost birliklere kendi sensörleri marifetiyle elde ettiği hava hedef bilgilerini aktarabilmesi,
- 3) Gerektiğinde Komuta Kontrol gemisi olarak sahip olduğu taktik komutan vasıtasıyla harektı idare edebilecek donanıma sahip olması,
- 4) Denizaltı ve Su st hedeflerine karşı kendini savunabilecek donanıma sahip olması,
- 5) Elektronik Harp imkân kabiliyetlerine sahip olması, (ECM, ECCM) şeklinde sıralanabilir.

## 2.2 Dizayn Gereklilikleri

Fırkateyn görev tanımında bir Hava Savunma Harbi Fırkateyninden beklenenler başlığı altında sıralanan maddeler arasında firkateynin ana makina seçiminde etkili olabilecek görevler incelendiğinde;

1) Hava Savunma Harektı ve/veya bölge savunması yapacağı dşnldğinde güdümlü mermi ve uçak saldırılarına maruz kalacağından IR parmak izinin öneminin Akustik parmak izinden daha fazla olduğu,

2) Fırkateynin güdümlü mermilere ve uğaklara karşı savunma yapacağı, kendini denizaltılara ve su üstü gemilerine de karşı koruması gerektiği ve onlara da karşı taarruz düzenleyebileceği dşnldğinde yüksek sürat ve manevra kabiliyetine sahip olması gerektiği,

3) Bölge savunması yapma gerekliliği ana üssünden bağımsız kalabilme süresinin uzun olmasını gerektirdiğinden yüksek seyir sığasının olması, dolayısıyla düşük yakıt sarfiyatı gerektiği görülmektedir.

## 3. Ana Makina Seçim Kriterleri

Gemi tasarımı ve inşaat aşamaları birėok kez birden fazla parametrenin önemli olduğu ve seğilebilecek birėok alternatifin mevcut olduğu karar verme işlemlerini iğerirler. Bu kararların en önemlilerinden biri kuşkusuz gemide kullanılacak ana makinanın seğimidir. Tek başına gemi maliyetinin önemli bir bölümünü kapsayan ve bakım, tutum ve onarımı dşnldğinde tüm gemi ömür çevrim masraflarında büyük paya sahip olan ana makina ve sevk sistemi için en uygun alternatifin seçilmesi gereklidir. Seçimde genel olarak, makinanın ve sevk sisteminin ağırlığı, hacim, ağırlık merkezi, kullanılacak yakıt cinsi, fiyat, yakıt sarfiyatı bakım tutum kolaylığı ve güvenilirliği dikkate alınması önemli kriterlerdir.

Bir geminin tahrik sistemi için başlangıçtaki temel belirleme kriterleri şunlardır;

1. Gemiden beklenen görev,
2. Sürat istekleri
3. Gemi güç ihtiyacının belirlenmesi

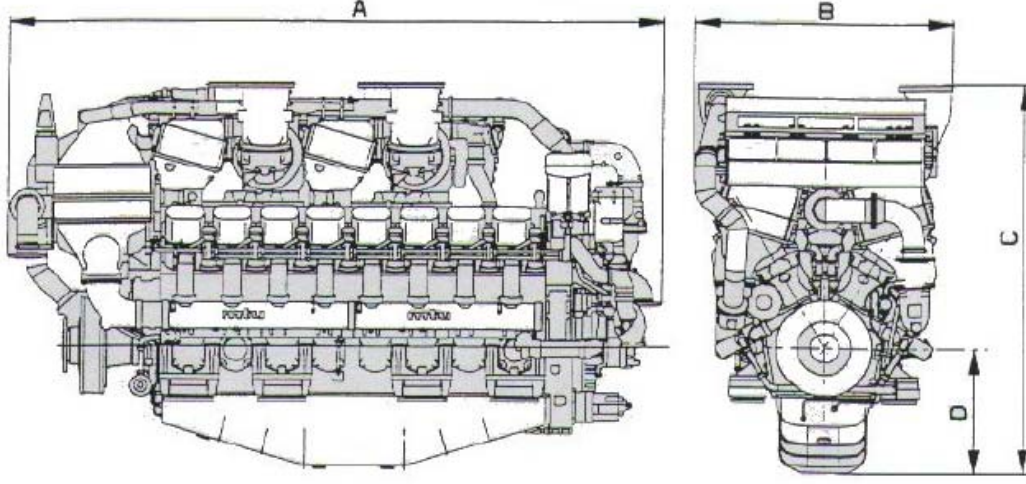
Bir harp gemisi olarak fırkateyn veya korvet tipi gemi göz önüne alınırsa; geminin görev ihtiyaçları, denizaltı görevleri için; sualtı gürültüsünün düşük olması, ani ivmelenme ve yüksek hareket kabiliyetinin olması, karakol görevi için; düşük süratte uzun süreli seyir imkânı bulunması, düşük kızıl ötesi izi ve ani ivmelenme ve manevra kabiliyetinin olması önemlidir.

Gemi güç ihtiyacı; görev ve sürat isteklerini göz önünde bulundurularak, tasarıma esas gemi boyutları ve tekne formunu dikkate alarak gerekli güç hesabını önce bilgisayar yazılımları ile teorik olarak tespit edilir. Bir geminin güç ihtiyacını belirleyen ana faktörler gemi hareketine karşı gösterilen direnç ve ana tahrik sisteminde üretilen gücün pervaneye aktarılması esnasında oluşan kayıplardır.

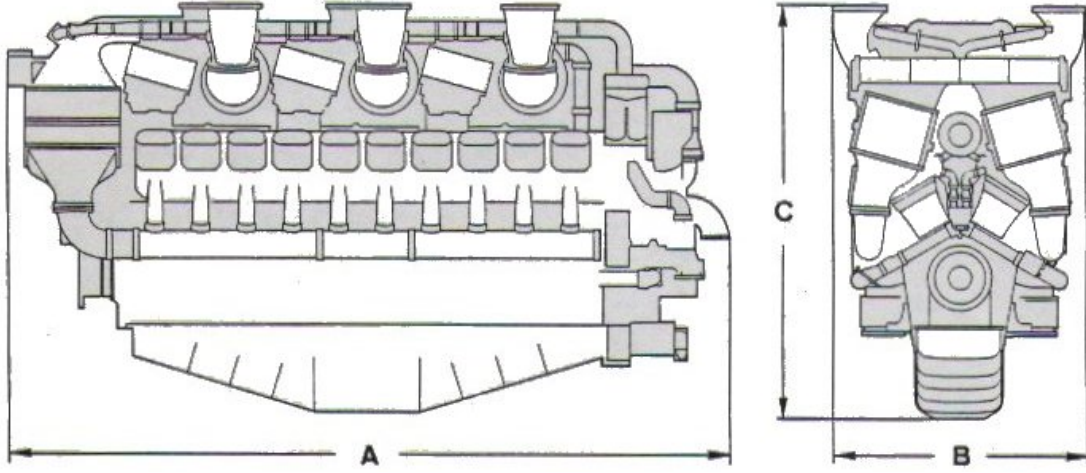
Temel belirleme kriterlerinin değerlendirilmesinin ardından daha detaylı olarak alt kriterlerin belirlenmesine geçilebilir. Ancak, ana tahrik sisteminin seçilmesinde bu alt kriterlerin tamamının değerlendirilmesine her zaman gerek olmayabilir. Bu husus daha çok kullanıcının istekleri doğrultusunda değerlendirilmektedir.

### **3.1 Boyut**

Bir harp gemisi için seçilecek olan ana tahrik sistemi elemanları hem direk hem de dolaylı olarak geminin boyutları üzerinde etkili olacaktır. Ana Tahrik sistemi elemanı olarak kullanılan gaz türbinlerinin ve dizellerin boyutları örnek sistem olarak ele alınan MTU 16V 1163 TB83, 20V 1163 TB93 dizelleri ve LM 2500 gaz türbini için Şekil- 3.1, 3.2, 3.3'de ve Çizelge - 3.1, 3.2'de verilmiştir.



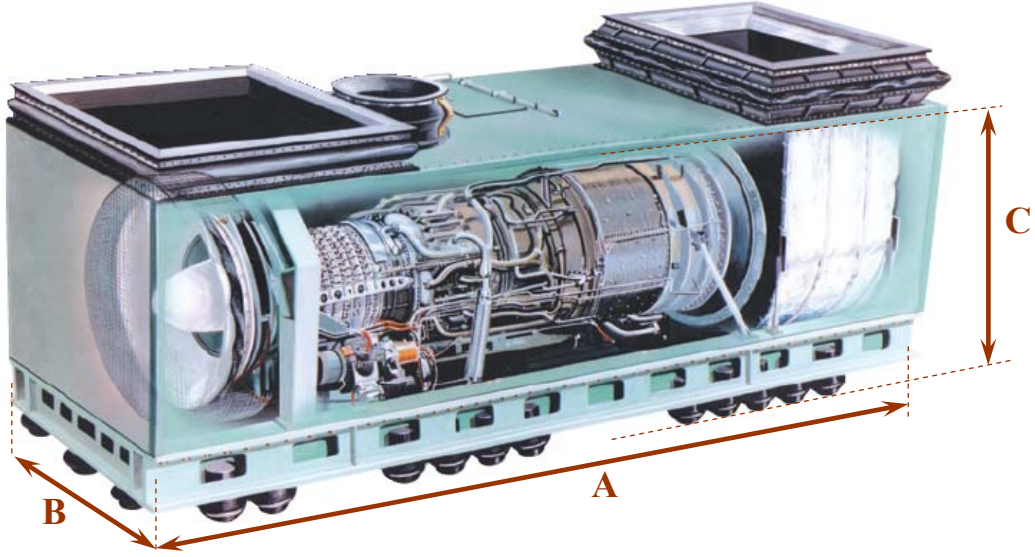
Şekil 3-1 MTU 16 V 1163 TB83 Boyutları



Şekil 3-2 MTU 20 V 1163 TB93 Boyutları

Çizelge 3-1 MTU 20 V ve 16 V Boyutsal Değerler

BOYUTLAR	20V	16V
A (Tam Boy)	5438 mm	4830 mm
B (Tam En)	1886 mm	1910 mm
C (Tam Yükseklik)	3130 mm	2929 mm
D (Karterden Krankşaft yüksekliği)	1035 mm	940 mm



Şekil 3-3 LM 2500 G/T Boyutları

Çizelge 3-2 LM 2500 Boyutsal Değerler

BOYUTLAR	
A (Tam Boy)	8230 mm
B (Tam En)	2740 mm
C (Tam Yükseklik)	3050 mm

Sistemin kendi ağırlığı, modülü ile birlikte kaplayacağı hacim, sistemin yakıt tüketimine bağlı olarak depolanması gereken miktar gibi etkenler geminin dizaynında etkili olan hususlardandır. Her bir hususun tek tek ele alınıp sistemin bütünü üzerinde oluşturacağı etkiler dikkatlice analiz edilmelidir. Ana tahrik sisteminin elemanlarını boyutsal olarak ağırlık ve hacim olmak üzere iki ana başlık altında değerlendirebiliriz.

### 3.1.1 Ağırlık

Ana tahrik sisteminin ağırlığı, gemi tonajı, gemi mukavemeti, geminin inşaatı ve sistemin bakım tutum kolaylıkları açısından önemlidir. Gemi ağırlık hesabı ile uyumlu olmak üzere, asgari seviyede olmalıdır. Savaş gemilerinde ise, göreceli olarak küçük bir tekneden yüksek hız istenmesi nedeniyle güç/ağırlık oranı çok önemlidir. Geminin ön dizaynının ilk safhalarında, gemi ana değerlerinin saptanması için makina ağırlığının ve ağırlık dağılımının yaklaşık değerlerle bilinmesi gerekmektedir. Ana makina ile pervane arasında yer alan düşürücünün ağırlığı da önem kazanmaktadır ve hem gemi tasarımcısı hem de ana makinaryı seçecek kişiler tarafından dikkate alınmalıdır.

Seçilecek ana makinanın farklı sürat kademelerindeki özgül yakıt tüketimi, gemide depolanması gereken yakıt miktarını belirlemekte ana unsurdur. Gemi yakıt sarnıçlarının toplam kapasitesi minimum seviyede olmalıdır. Fırkateyn tipi harp gemileri ortalama 400–600 ton motorin taşıma kapasitesine sahiptir. Fazladan depolanması gereken her birim ağırlıktaki yakıt gemi ağırlığını da artıracak ve gerek hedeflenen sürat için daha fazla güce gerekse depolama maksadıyla daha fazla hacime gerek duyulacaktır.

### 3.1.2 Hacim

Ağırlık için ifade edilen özellikler hacim için de geçerlidir. Genellikle hacim ağırlıkla orantılı değişir. Tercih imkanı varsa, genel olarak; ağırlık temelinde tasarımı yapılan gemilerde daha fazla hacim işgal etse dahi daha hafif makina seçilir, hacim temelinde dizayn edilen gemilerde daha ağır olsa dahi daha az yer işgal eden makina seçilir ve savaş gemilerinde ağırlık gibi hacim de kısıtlıdır ve güç/hacim oranı çok önemlidir. Eğer seçilen makina hacim olarak büyük bir alanı kaplarsa bu geminin boyutunu ve dolayısıyla da maliyeti etkileyecektir. Makinanın kolaylıkla sökülebilmesi için dizayn safhasında söküm metodu belirlenmeli ve gerekli alan ayrılmalı, makinanın hava emiş dakları ve egzost kanalları hacim hesaplarına dahil edilmelidir. Bundan da anlaşılacağı gibi seçilecek makinanın güç-ağırlık ve güç-hacim oranları da önemlidir ve göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur. Çeşitli tipteki tahrik elemanlarının güç-ağırlık ve güç-hacim değerleri Çizelge 3-3’de verilmiştir.

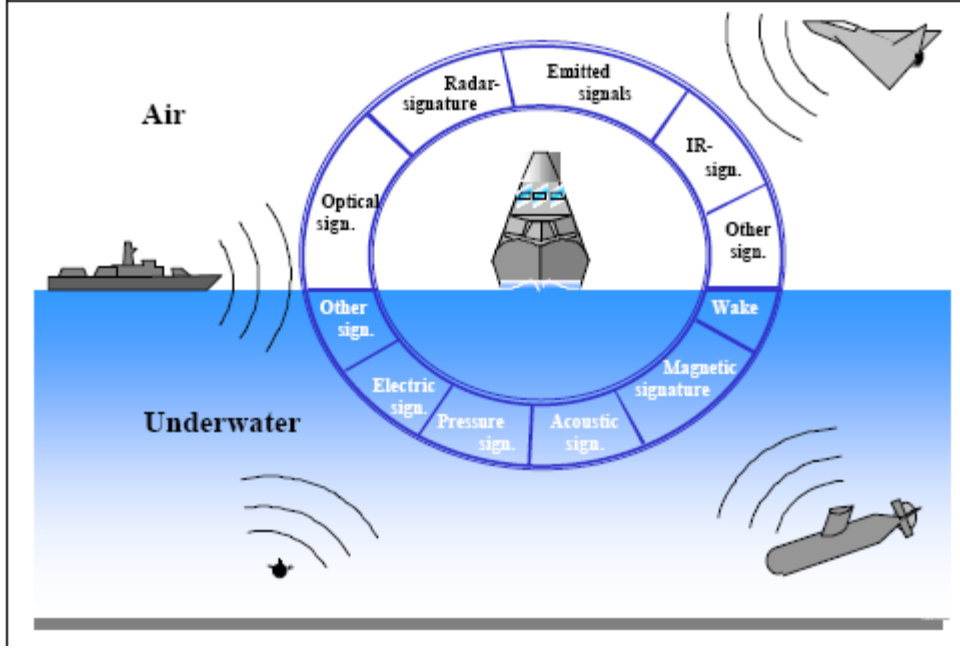
Çizelge 3-3 Güç-Ağırlık Ve Güç-Hacim Değerleri (Ship Design and Construction,2006)

Tahrik Sistemi	$\frac{m^3}{kW}$	$\frac{kg}{kW}$
Düşük Devirli Dizeller	0,35 – 0,7	60 -130
Orta Devirli Dizeller	0,12 – 0,35	25 – 90
Yüksek Devirli Dizeller	0,07 – 0,2	10 – 35
Buhar Türbini Sistemleri	0,25 – 0,6	30 – 90
Gaz Türbini sistemleri	0,04 – 0,15	7 - 35

Çizelge 3-3’den de görüldüğü üzere en düşük ağırlıkta ve en düşük hacimde en yüksek gücün alınabileceği sistem içerisinde eleman olarak Gaz Türbinlerini barındıran sistemlerdir.

### 3.2 Gemi İzi

Su üstü harp gemileri kendilerine verilen görevleri, yüksek imha kabiliyetine sahip radar ya da kızılötesi güdümlü mermilerin, akustik, manyetik ya da basınca duyarlı mayınların, güdümlü akustik torpidoların çok yüksek seviyede tehdit oluşturduğu bölgelerde icra ederler. Bir harp gemisinin güçlü saldırı yeteneklerine sahip olması kadar bu tehditlere karşı iyi bir savunma sistemine de sahip olması gerekliliği kaçınılmaz bir gerçektir. Savunma mantığında her şeyin öncesinde ana amaç, ilk adım olan geminin tespit edilmesini engellemek veyahut mümkün olduğunca güçleştirmektir. Bu da ancak geminin diğer birlikler tarafından tespit edilmesini sağlayan fiziksel karakteristiklerini minimize etmekle mümkün olabilir. Bahse konu fiziksel karakteristikler arasında , Şekil 3-4, geminin radar kesit alanı, kızılötesi (yaydığı ısı) izi, oluşturduğu manyetik alan, sualtı gürültüsü, yarattığı basınç değişimi gibi hususlar sayılabilir.



Şekil 3-4 Gemi Parmak İzini Oluşturan Fiziksel Karakteristikleri

Bu izler arasında yer alan kızılötesi ve akustik izlerin oluşumunda geminin ana makinalarının çok büyük etkisi vardır. Fırkateynin görev sahasının belirlenmesini müteakip karşılaşıma ihtimali yüksek olan tehdit unsurları belirlenip (torpido, mayın, güdümlü mermi vb.), özellikleri ile bu tehditlere karşı düşük profil sergileyecek sistemler seçilir. Örneğin, bir DSH fırkateyninde aktif ve/veya pasif sonar vasıtasıyla tespit edilme ihtimalini düşürmek, akustik güdümlü torpidolara karşı düşük profil sergileyebilmek için düşük sualtı gürültüsüne sahip sistemler seçilirken, bir hava savunma harbi fırkateyninde kızılötesi güdümlü mermilere düşük profil sergilemek ön plana çıkmaktadır.

### 3.2.1 Akustik İz

Sualtı gürültüsü gemi bünyesinde su içerisine yayınlanan sesi ifade eder. Bu gürültünün şiddeti ve frekansı,

- Düşman pasif dinleme vasıtalarıyla tespit ve teşhis edilme mesafesini,
- Mayınları aktif hale getirme derecesini,
- Akustik güdümlü torpidolar tarafından tespit edilme mesafesini,
- Geminin kendi sonarında düşman temaslarını maskeleyebilecek girişimleri belirler.

Gürültü yayıldığı kaynağa göre, yapısal ve hidrodinamik gürültü olarak ikiye ayrılır. Yapısal gürültü, gemi bünyesinde yer alan tahrik sistemi, iklimlendirme, yara savunma, basınçlı hava gibi farklı tiplerdeki sistemlerin normal çalışmalarından kaynaklanan titreşimler sebebiyle oluşur. Hidrodinamik gürültüler ise geminin su kesimi altında yer alan pervane, fin stabilayzer kanatları gibi elemanlardan kaynaklanmaktadır.

Harp gemisinin sahip olması istenilen maksimum sualtı gürültü seviyesi geminin seçilecek olan ana makinasının seçiminde bir parametre olarak karşımıza çıkar. Bir DSH fırkateyni için dizel bir makina tarafından tahrik edilen bir elektrik motoru seçilebilecekken, bir HSH fırkateyni için bu seçim dizel-gaz türbini kombinasyonunun bir düşürücü üzerinden kullanılması şeklinde olabilmektedir.

### 3.2.2 Kızıl Ötesi İz

Kızıl ötesi izler yayıldığı kaynağa göre dahili ve harici izler olmak üzere ikiye ayrılır. Dahili ısı kaynaklarına arasında makinaların egzost çıkışları yer alırken harici ısı kaynağı olarak da güverte ve bordalarda güneş ışınması nedeniyle oluşan ısı sayılabilmektedir. Günümüz teknolojisi ile gemi tarafından yayılan ortam sıcaklığı üzerindeki her ısı gemiye tehdit olabilecek kızılötesi güdümlü mermiler tarafından hissedilebilmektedir.

Çoğu modern savaş gemisi, kızıl ötesi güdümlü su üstü mermilerince geminin tespitini azaltmak amacıyla, kızıl ötesi iz bastırma yöntemlerinden bir veya bir kaçını kullanırlar. Egzost gazı sıcaklığının ve dolayısıyla kızıl ötesi iz seviyelerinin yüksek olması, kızıl ötesi iz tespiti ile hedefe kilitlenen güdümlü mermiler için kolaylık sağlamaktadır. Savaş sahnesinde değerli harp unsurları olan gemilerin, bu tip güdümlü mermiler tarafından hasar görmemesi amacıyla kızıl ötesi izlerinin, dolayısıyla çevre sıcaklığı ile geminin dış yüzeyi sıcaklık farkının eksi artı beş dereceden fazla olmaması gerekmektedir.

Güdümlü mermi tehdidini en aza indirebilmek maksadıyla bahse konu sistemler üzerinde çeşitli kızılötesi parmak izi düşürücü tedbirleri alınmaktadır. Ancak alınacak bu tedbirler

öncesinde, harp gemileri için en az oranda iz teşkil edecek makinaların seçilmesi önem arz etmektedir.

### 3.3 Maliyet

Gemi inşa sürecinde sistemlerin ömür devri maliyetlerinin önceden tahmini, tedarikte karar verme, tasarımı optimize etme ile bakım ve destek faaliyetlerini düzenlemede yararlı bilgiler sağlar. Bir sistemin gerçek maliyeti, sadece tedarik maliyeti ile sınırlı değildir. Sistem maliyetinin büyük bir kısmını, toplam sahip olma maliyeti olarak da bilinen, işletme, idame, tedarik maliyetleri oluşturur. Fırkateynimizin ana tahrik sistemini ele aldığımızda İşletme maliyetini;

- Sistemin harcadığı yakıt ve yağlama yağı giderleri,
- Sistemin işletiminde görevlendirilen personel giderleri gibi hususlar,

İdame maliyetini;

- Sistemin ömrü boyunca yapılacak ara bakım harcamaları,
- Sistemin ömrü boyunca yapılacak ana bakım harcamaları,
- Arıza onarımları esnasında kullanılacak yedek parça giderleri,
- Arıza onarım/bakımları esnasında kullanılacak özel ekipman giderleri,
- Arıza onarımını ve/veya arıza lokalizasyonunu, sistemin kontrol ve

değerlendirilmesini yapacak personel yetiştirilmesi için harcanacak eğitim giderleri gibi hususlar,

Tedarik maliyetini ise sistemin ilk kurulumu esnasında yapılacak olan harcamalar oluşturmaktadır. Sistemin tedariki esnasında bu hususların dikkate alınmaması durumunda, beklenmeyen maliyetlerle karşılaşılabilir. Bu nedenle maliyet ve etkinlik analizlerinin dikkatli bir şekilde yapıp elde edilen veriler ışığında uzun vadeli bir karar oluşturmak seçilecek sistemde optimumu yakalayabilmek açısından önemlidir.

### 3.4 Güvenilirlik

Güvenilirlik, herhangi bir sistemin tanımlanan şartlar altında arıza yapmama olasılığıdır. Güvenilirlik arttıkça tedarik maliyeti artar; bunun yanında, işletme ve idame maliyetleri düşer. Güvenilirlik faktörleri, kullanım şartları, zaman, arıza yapmadan çalışma ve olasılıktır. Kullanım şartları, sistemin işlevlerini yerine getirebilmesi için hangi şartlarda (ısı, nem, çevresel faktörler, depolama, taşıma vb.) kullanılması gerektiğini belirtir. Zaman, sistemin hiç



arızalanmadan kendisinden beklenen işlemi ne kadar sürede yaptığını belirtir. Güvenilirlik, MTBF (Mean Time Between Failure) (Arızalar Arası Ortalama Süre, AAOS), MTTR (Mean Time to Repair)(Ortalama Arıza Onarım Süresi, OAOS) ve işletim süresinin bir fonksiyonudur.

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (3.1)$$

$\lambda$  arıza oranı olarak alındığında onarılamayan sistemler (non-reparable) ve bileşenleri için güvenilirlik,

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.2)$$

şeklinde tanımlanır.

Onarılabilen (Reparable) bir sistemin ve bileşenlerin güvenilirliği ise,

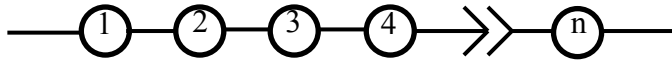
$$R_{CC} = \frac{\mu + \lambda e^{-(\lambda + \mu)t}}{\mu + \lambda} \quad (3.3)$$

şeklinde hesaplanır.

$$\left[ \mu = \frac{1}{MTTR} \right] \quad (3.4)$$

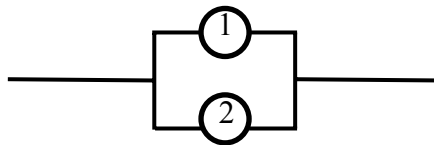
Güvenilirliğin temel parametresi olan arıza oranı  $\lambda$ , sistem tasarımının bir sonucudur. Genel olarak, bir sistemin ömür periyodunda,  $\lambda$ 'nın davranışı zamanla doğru orantılıdır. Sistemin kullanım sıklığına bağlı olarak yıpranmasıyla birlikte  $\lambda$  değeri de artma eğilimindedir.

Seri olarak bağlı sistemlerde, istenilen sonucu elde edebilmek için tüm elemanların düzgün olarak çalışması gerekmektedir. Bu durumda güvenilirlik,



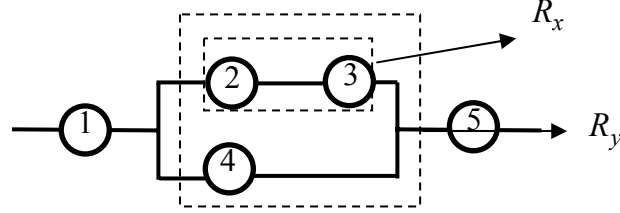
$$R_{sis} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \cdot \dots \cdot R_n \quad (3.5)$$

şeklinde elde edilir. Paralel olarak bağlı sistemlerde ise bir elemanın görevini yapması istenilen sonucun elde edilmesi için yeterlidir. Bu durumda ise,



$$R_{sis} = R_1 + R_2 - R_1 \cdot R_2 \quad (3.6)$$

şeklinde olmaktadır. Seri ve Paralel olarak kombinasyonlu şekilde birbirine bağlı sistemlerde güvenilirlik,



$$R_x = R_2 \cdot R_3 \quad (3.7)$$

$$R_y = R_x + R_4 - R_x \cdot R_4 \quad (3.8)$$

$$R_{sis} = R_1 \cdot R_y \cdot R_5 \quad (3.9)$$

$$R_{sis} = R_1 \cdot (R_2 \cdot R_3 + R_4 - R_2 \cdot R_3 \cdot R_4) \cdot R_5 \quad (3.10)$$

şeklinde yazılabilir.

### 3.5 Kullanılabilirlik

Kullanılabilirlik, sistemin gerekli olduğu anda kullanıma hazır olma olasılığıdır. İdeal, gerçekleştirilebilir ve gerçek kullanılabilirlik olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılır. İdeal kullanılabilirlik (arızalanma durumunda bakım personelinin hazır olduğu, yedek parça ve bakım takım avadanlıklarının hazırda bulunduğu varsayılan durumlar), sistemin ideal çalışma ve destek ortamında kullanıldığında göreve hazır olma derecesidir. Gerçekleştirilebilir kullanılabilirlik (periyodik ve koruyucu bakımların yapıldığı kabul edilir), ideal destek ortamında bir görevin icrası için gerekli bakım faaliyetlerinin yapılmasını dikkate alarak hesaplanan kullanılabilirlik düzeyidir. Gerçek kullanılabilirlik (bakım tesisinin uygun duruma gelmesi için beklenen süre, bakım personelinin beklenildiği süre, yedek parça bekleme süresi, vb.) ise bir sistemin operasyonel ortamda ve gerçek lojistik şartlarda kullanılabilirlik derecesidir ve aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (3.11)$$

Maliyet etkinlik analizlerinde, çoğunlukla gerçek kullanılabilirlik oranı, ideal ve gerçekleştirilebilir kullanılabilirlikler ise mühendislik hesaplarında kullanılmaktadır.

### 3.6 İdame Edilebilirlik

İdame edilebilirlik, belirli bir periyot içerisinde başarılı bir onarımı gerçekleştirebilme olasılığı olarak tanımlanabilir. Başka bir deyişle, idame edilebilirlik bir arıza oluşumundan

sonra sistemin tekrar operasyonel duruma getirilebileceği hızı ölçer. Örneğin, belirli bir elemanın idame edilebilirliği bir saat için %90 olarak veriliyorsa bu, o elemanın bir saat içerisinde onarılabilmek ihtimalinin %90 olduğunu gösterir. Güvenilirlikte düzensiz değişkenin arızaya-zaman (time to failure) olduğu gibi idame edilebilirlikteki düzensiz değişkenimiz onarıma zamanıdır (time to repair).

$\mu$  arıza oranı olarak alındığında idame edilebilirlik;

$$M(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (3.12)$$

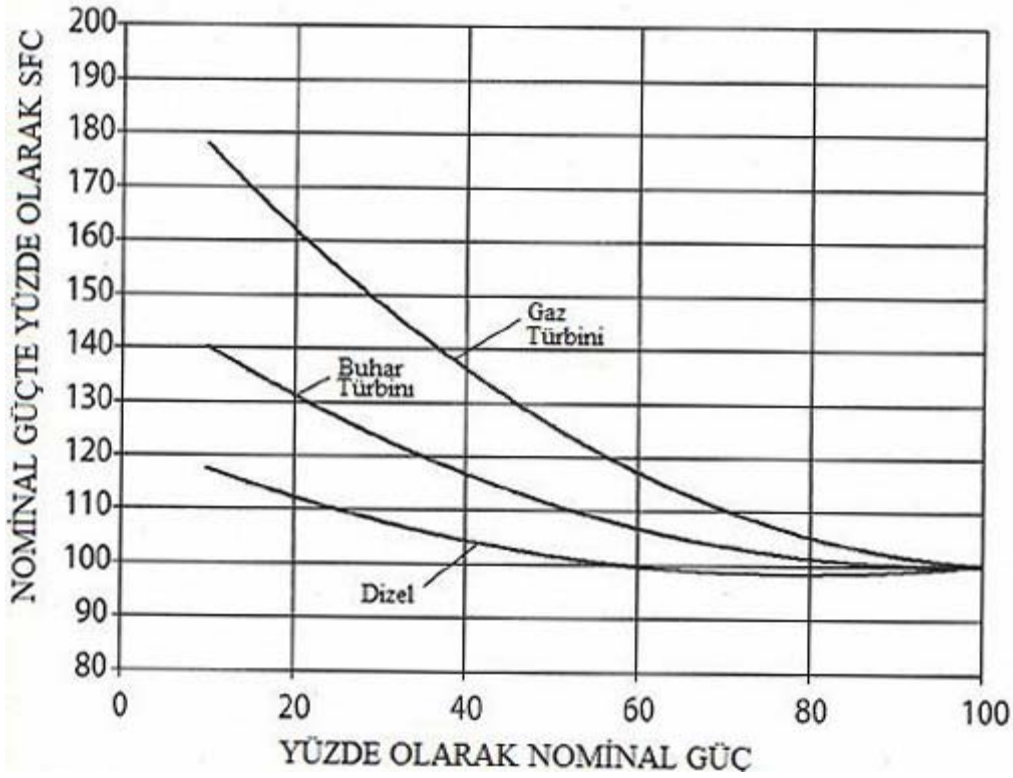
şeklinde yazılabilir. Ayrıca  $\frac{1}{\mu}$  MTTR değerine eşit olmaktadır.

### 3.7 Performans

Ana tahrik sistemi elemanlarını belirlemede özellikle harp gemileri için en büyük etken sistemlerin sahip olacakları performans değerleridir. Performans değerlerini sistemin yakıt tüketimi, reaksiyon süresi, maksimum sürati, düşük süratlerde kullanım parametreleri olarak dört başlık altında toplayabiliriz. Bahse konu değerlerin, olması gereken alt/üst limitleri, dizaynı yapılacak geminin hareket isterlerine göre şekillenmektedir. Bazı tip gemilerde maksimum sürat daha önemli iken diğer bir tip gemide düşük süratlerde kullanım parametreleri ön plana çıkabilmektedir. Tezimizde belirlenilmeye çalışılan ana makine sistemine yönelik performans değerlerinin birbirleri arasındaki ağırlıklı puanları Çizelge 6-2’de verilmiş olup etkinlik hesaplamaları bu değerler üzerinden yapılmıştır.

#### 3.7.1 Yakıt Tüketimi

Tahrik sistemleri birbirleri ile genelde, sağlanan birim güç için harcanılan yakıt miktarını belirten özgül yakıt tüketimleri (SFC, specific fuel consumption) ile karşılaştırılırlar. Fakat ham olarak alınan SFC değerleri, buhar türbinleri için kullanılan yakıtı yönelik ve yardımcı sistemlerin de ihtiyaçlarını da içerecek şekilde çok maksatlı SFC (All-purpose SFCs) olarak, Dizel makineler ve Gaz türbinleri için ise daha hassas yakıt ve yardımcı sistem ihtiyaçlarını içermeyecek şekilde sadece makinenin kendisi için verildiğinden zaman zaman yanıltıcı olabilir. Buhar türbinleri ve Gaz türbinleri ile dizel makinelerin özgül yakıt tüketimleri arasındaki bahsedilen farklar%15-20 civarında bir fark yaratabilir. Karşılaştırmalar esnasında bu hususun göz önünde bulundurulması gerekir. Şekil 3-5’de Dizel, Gaz türbini ve Buhar türbini çok maksatlı SFC değerlerindeki farklılıkları gösteren grafik yer almaktadır.



Şekil 3-5 Özgül Yakıt Tüketimi Karşılaştırma

Ağır yakıt ile çalışan bir buhar türbininin özgül yakıt tüketimi;

- 15000 kW ve üzeri için 260 – 300 g/kW-h
- 10000 kW için 280 – 320 g/kW-h
- 5000 kW için 320 – 360 g/kW-h aralığındadır.

Buhar Türbinleri için daha düşük yüklerde özgül yakıt tüketimi daha da artmaktadır.

Dizeller için yakıt tüketimi;

- Düşük devirli dizeller için 160 – 180 g/kW-h
- Orta devirli dizeller için 165 – 210 g/kW-h
- Yüksek devirli dizeller için 200 – 250 g/kW-h aralığındadır.

Dizelerde de Şekil 3-5'de de görüleceği üzere düşük yüklerde yakıt tüketimi artmakla beraber bu makinalar diğer sistemler arasında en iyi değerlere sahiptir. Dizel makinalar nominal güçlerinin %50'sinin üzerinde sabit bir yakıt tüketimine sahiptirler.

Gaz Türbinleri 25000 kW güç üretirken ortalama 200 g/kW-h değerinde özgül yakıt tüketim değerine sahiptir. Ancak düşük yüklerde yakıt tüketimi diğer sistemler ile karşılaştırıldığında en yüksek (en kötü) değerlere sahiptir.

### 3.7.2 Reaksiyon Süresi

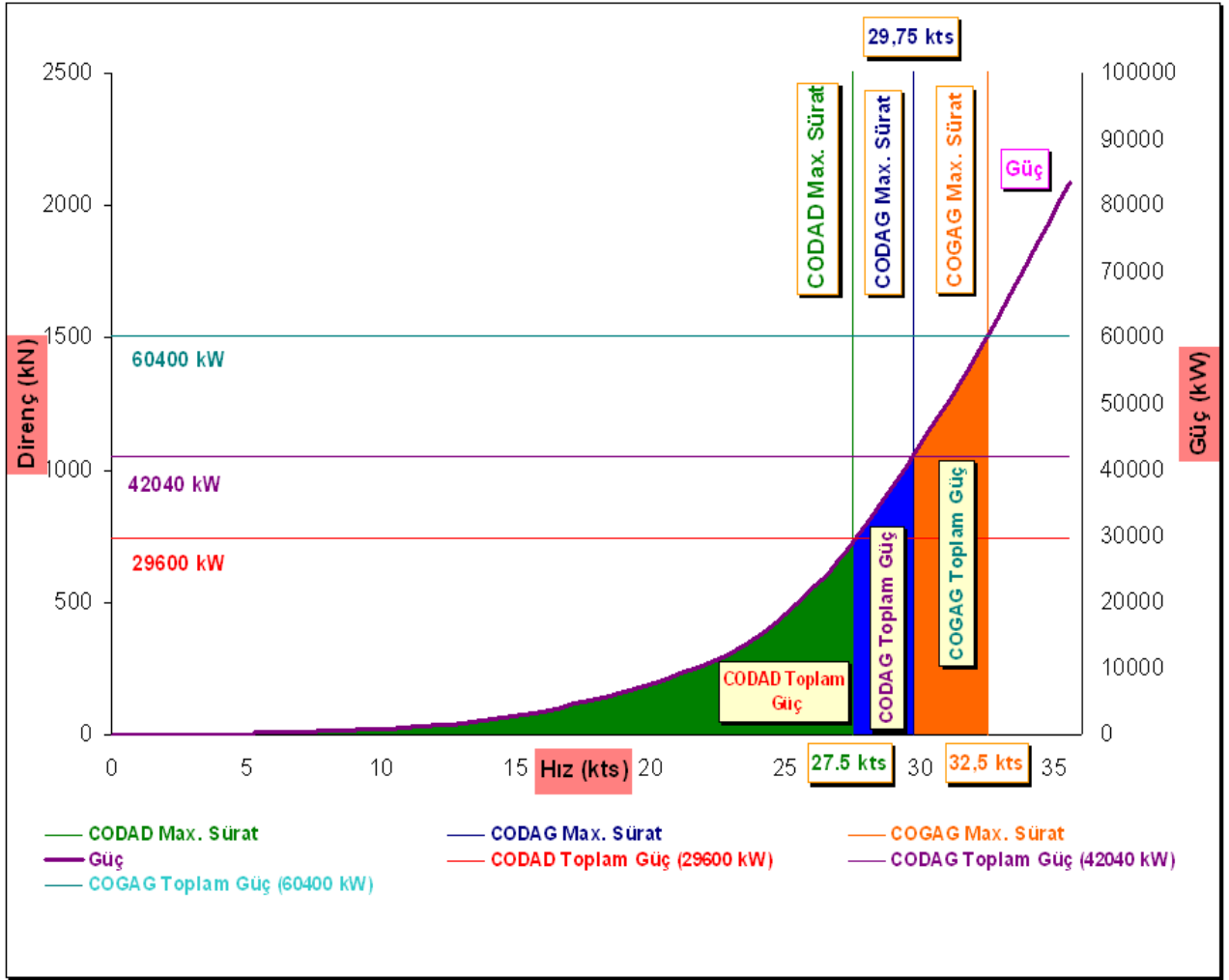
Özellikle harp gemilerinde yapılan manevralara bağı olarak tahrik sisteminin değışken sürat isteklerine mümkün olduğunca çabuk reaksiyon gösterip ihtiyacı karşılayacak gücü üretebilmesi aranan özellikler arasındadır. Bu özellik,

- Yapılan yakın manevralarda muhtemel bir çatışmayı önleyebilmek,
- Gerçek bir harp durumunda geminin savunmasını yapabilmek için ihtiyaç duyulan anlık istekleri karşılayabilmek,
- Geminin süratli hücum yapabilmesini sağlamak için yapılacak manevraların isteklerini karşılayabilmek açısından önem arz etmektedir.

Buhar türbinleri bu konuda incelenen sistemler arasında en geç reaksiyon süresine sahiptir. Gaz türbinleri ise sisteme iletilen isteklere en süratli cevap veren tahrik sistemi elemanıdır.

### 3.7.3 Maksimum Sürat

Askeri bahriyede de, sivil bahriyede de gemilerin maksimum süratleri önemlidir. Ancak donanma gemilerinde bu husus daha büyük bir ehemniyete sahiptir. Gemilerin gerek denizatlılardan gerek uçaklardan gerekse suüstü gemilerinden atılacak güdümlü mermilere karşı yapacağı sakınma manevralarında, yine bu platformlardan atılacak torpidolara karşı yapacağı sakınma manevralarında, bu platformlara karşı yapılacak taarruz manevralarında sahip olunacak maksimum sürat önem arz etmektedir.



Şekil 3-6 Maksimum Sürat-Güç-Direnç İlişkisi

Belli bir sürat kademesinden itibaren tekne üzerinde oluşan direnç çok hızlı bir şekilde artma eğiliminde olduğundan yüksek süratler için çok yüksek makina gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Şekil 3-6'da, Çizelge 4-3'de özellikleri verilmiş olan tekne formuna sahip bir fırkateynin ,

- Her biri 7400 kW güce sahip 4 adet dizel makinadan oluşan bir CODAD sistemi ile,
- 1 adet 30200 kW güce sahip LM 2500+ gaz türbini ve 2 adet 5920 kW güce sahip dizel makinadan oluşan CODAG sistemi ile,
- Her biri 30200 kW güce sahip 2 adet LM 2500+ gaz türbininden oluşan COGAG sistemi ile sahip olduğu toplam güç, bu güç ile yapabileceği maksimum sürat ve bu sürat kademesinde üzerinde oluşan direnç değerleri gösterilmiştir.

Bu grafikten de görüleceği üzere gemi maksimum hızını 27,5 kts'dan 29,75 kts'a çıkarabilmek için ilave 12440 kW güce, 29,75 kts'dan 32,5 kts'a çıkarabilmek için ise ilave 18360 kW güce ihtiyaç duyulmaktadır.

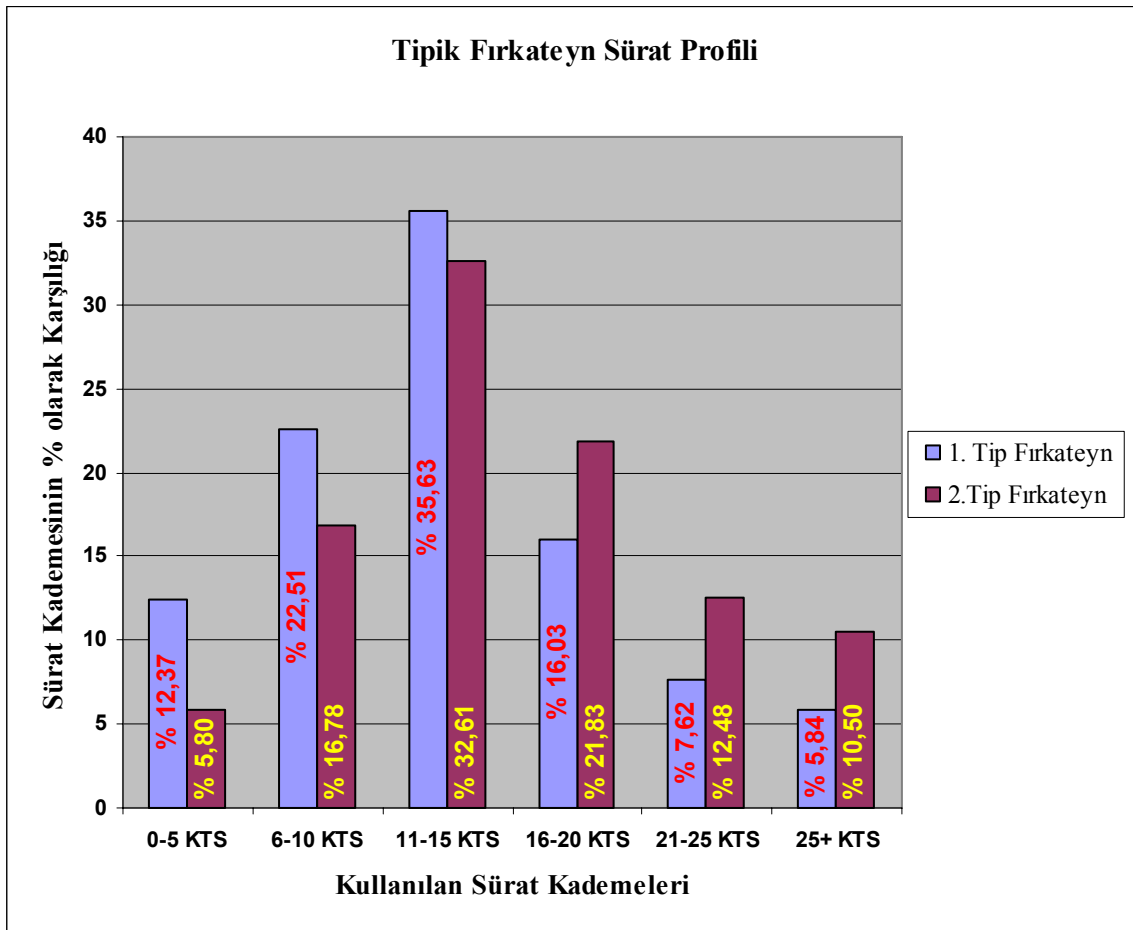
Çizelge 3-4'de yer alan tipik fırkateyn sürat profili incelendiğinde fırkateynlerin toplam çalışma saatlerinin ancak %5-10'nunda 25 kts ve üzeri sürat kullandıkları görülür. Bununla

birlikte bu istatistiksel veriden hareket ederek fırkateynlerin maksimum süratlere fazla ihtiyaçları olmadığı yönünde karar vermek yanlış olacaktır. Bu sürat kademeleri az kullanılmakla beraber yeri geldiğinde bir insanın hayatını kurtaracak, yeri geldiğinde ise bir geminin bekasını sağlayacaktır. Dolayısıyla bir harp gemisinin optimum olarak elde edilebilecek en yüksek sürat değerine sahip olması arzu edilen bir durumdur.

### 3.7.4 Düşük Süratlerde Kullanım Parametreleri

Farklı iki tipte fırkateynin bir yıl boyunca toplam yaptığı seyir saati içerisinde kullandıkları sürat kademelerinin yüzde olarak değerleri Çizelge 3-4’de gösterilmiştir.

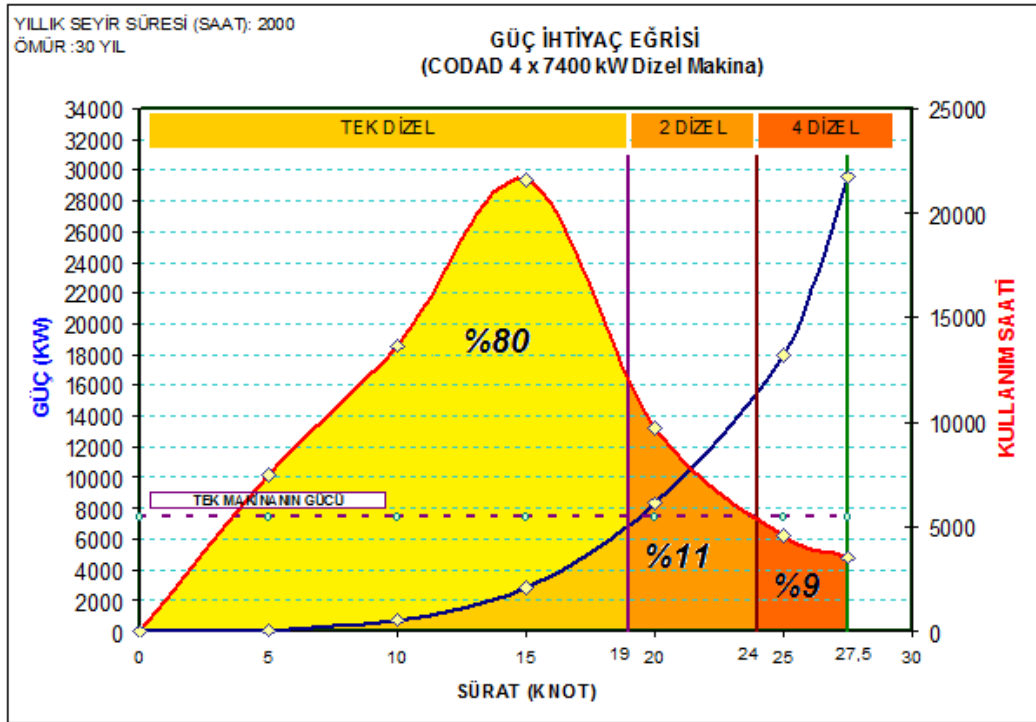
Çizelge 3-4 Tipik Fırkateyn Sürat Profili



Bu değerlerden ve Çizelge 4-3’de yer alan hız-güç değerlerinden faydalanılarak, kullanılan sürat değerleri, bunlara karşılık gelen güç ihtiyacı ve hangi sürat kademesinin kaç saat kullanıldığı CODAD ve CODAG makina kombinasyonları için grafik olarak hazırlanmış olup Şekil 3-7 ve 3-8’de görülmektedir. Şekiller incelendiğinde,

- CODAD versiyonunda, Şekil 3-7 , bir fırkateynin faaliyette bulunacağı ömrü boyunca yapacağı seyir saatinin %80’inde ancak sahip olduğu makina gücünün %25’ini kullandığını,

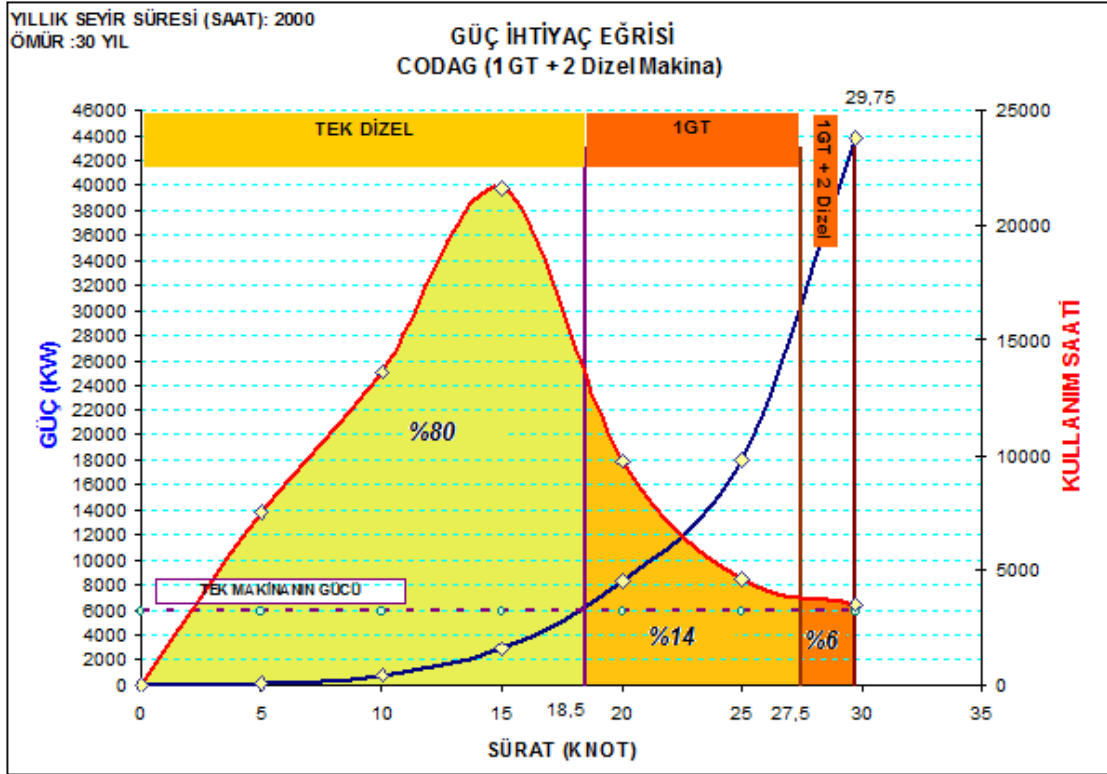
kalan %20'lik zaman diliminde de makina gücünün %75'lik kısmına ihtiyaç duyduğunu görüyoruz.



Şekil 3-7 Tipik Fırkateyn CODAD Kombinasyonu Sürat-Güç-Zaman İlişkisi

- CODAG versiyonunda da, Şekil 3-8, benzer şekilde toplam seyir saatinin %80'ninde sahip olduğu makina gücünün ancak %15'ini, kalan %20'lik zaman zarfında da makina gücünün %85'lik kısmına ihtiyaç duyduğunu görüyoruz.





Şekil 3-8 Tipik Fırkateyn CODAG Kombinasyonu Sürat-Güç-Zaman İlişkisi

Buradan çıkaracağımız sonuç, fırkateynlerin sahip olacakları makina sistemlerinin düşük süratlerde performans ve verim olarak etkin sistemler olması gerektiğidir.

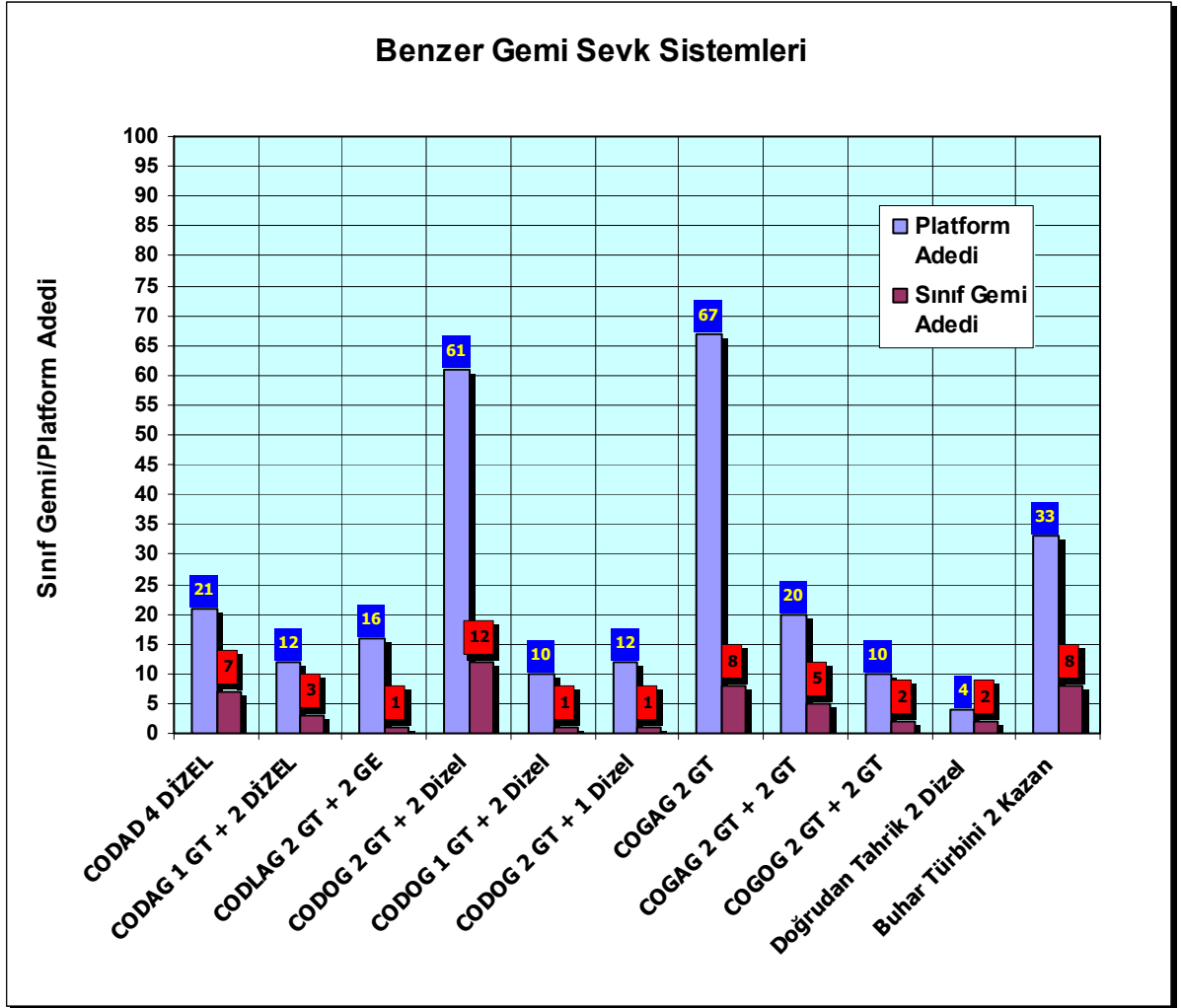
#### 4. Ana Boyutlandırma

Bir geminin ana tahrik sisteminin elemanlarının belirlenmesinde tekne formunun belirlenip, direnç hesaplarının yapılması önem arz etmektedir. Bu hususların belirlenmesini müteakip isterlerde yer alan intikal, manevra ve maksimum sürat değerlerini sağlayabilecek güce sahip makinalar ve sistemler belirlenip seçim kriterlerine yönelik etkinlik ve maliyet analizleri yapılarak uygun sistem belirlenilmeye çalışılmaktadır.

##### 4.1 Benzer Tekne Özellikleri

Bir harp gemisinin ana boyutlandırılmasındaki ilk adım benzer gemi tiplerinin incelenilmesidir. Elbette boyutlandırmada harp gemisinin görev tanımı ve dizayn gereklilikleri de çok önemlidir. Ancak tezimizin konusu olan bir hava savunma harbi fırkateynini örnek olarak alacak olursak, dünya bahriyelerinde daha önce inşası tamamlanmış aynı görev tanımına sahip bir çok tipte gemi bulunmaktadır ve bu gemilerin tekne formları ve büyüklükleri bize oldukça değerli katkılarda bulunmaktadır. Bu kapsamda yapılan incelemede elde edilen sonuçlar Çizelge 4-1' de sunulmuştur.

Yapılan incelemede toplam olarak 52 tip fırkateyn sahip oldukları boyutlar ve tahrik sistemleri olarak ele alınmıştır. Üzerinde çalıştığımız Hava Savunma Harbi fırkateynine benzer boyutlarda olan ve Çizelge 4-1’de yer alan gemiler sahip oldukları tahrik sistemleri ile değerlendirilerek tasnif edilmiş ve neticesinde Şekil 4-1 elde edilmiştir. Bu çizelgeden de anlaşılacağı üzere gemilerin büyük çoğunluğunda CODOG ve COGAG kombine sistemleri ile buhar türbini kullanılmıştır. Ancak bu gemilerin inşa yıllarına baktığımızda 70-80’li yıllara karşılık geldiğini görüyoruz. Son yıllarda inşa edilen platformlarda bu sistemlerin yerini daha çok daha verimli gelişmiş düşürücü sistemlerine sahip CODAG ve düşürücüden bağımsız elektrik motoru tahrikli CODLAG kombine sistemleri almaya başlamıştır.



Şekil 4-1 Benzer Gemi Sevk Sistemleri

Çizelge 4-1 Benzer Tekne Özellikleri

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplasman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Tahrik Sistemi Gücü
1	Hercules (Arjantin)	125,6	14,3	5,8	4100	29	COGOG, 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbin, 1 şaft	2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) , 2 RR Tyne RM1A Gaz-Türbini; 9,900 hp (7.4 MW)
2	Adelaide (Avustralya)	138,1	13,7	7,5	4100	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	41,000 hp (30.6 MW)
3	Oliver Hazard Perry (Bahreyn)	135,6	13,7	7,5	3638	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	41,000 hp (30.59 MW)
4	Broadsword (Brezilya)	131,2	14,8	6	4400	30	COGOG, 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 1 şaft	2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) ; 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini; 9,900 hp (7.4 MW)
5	Niteroi (Brezilya)	129,2	13,5	5,5	3707	30	CODOG 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 4 MTU 16 V TB91 DİZEL, 2 Şaft	2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,880 hp (37.9 MW) ; 4 MTU 16V 956 TB91 Dizel; 15,000 hp (11 MW)
6	Para (Brezilya)	126,3	13,5	7,3	3560	27,5	2 Foster-Wheeler Kazan, 1 Westinghouse ya da GE Türbin, 1 Şaft	35,000 hp (26 MW);

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplasman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
7	Leander Class (Brezilya)	113,4	13,1	5,5	4800	29	2 Bobcock&Wilcox Kazan, 2 White/Engkish Electric Türbin, 2 Şaft	30,000 hp (22.4 MW);
8	Jiangwei II (Çin)	111,7	12,4	4,8	2250	27	2 Type 18E 390 Dizel	2 Type 18E 390 Dizel; 24,000 hp(m) (17.65 MW)
9	Jianghu III ve IV (Çin)	103,2	10,8	3,1	1924	26	2 Type 18E 390V Dizel	14,400 hp(m) (10.6 MW)
10	Stanflex Patrol Ships (Danimarka)	130	19	6	4500	26	Henüz Bilinmiyor	
11	Oliver Hazard Perry (Mısır)	135,6	13,7	7,5	3638	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 Şaft	41,000 hp (30.59 MW)
12	Knox (Mısır)	134	14,3	7,8	4260	27	2 Combustion Eng./Bobcock&Wilcox Kazan, 1 Turbin, 1 Şaft	35,000 hp (26 MW);
13	La Fayette (Fransa)	124,2	15,4	5,9	3700	25	CODAD; 4 SEMT-Pielstick 12 PA6 V 280 STC Dizel, 2 Şaft	21,107 hp(m) (15.52 MW)

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplesman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
14	Bremen (Almanya)	130	14,5	6,5	3680	30	CODOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 MTU 20V 956 TB92 DİZEL, 2 Şaft	2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 51,000 hp (38 MW) ; 2 MTU 20V 956 TB92 Dizel; 11,070 hp (8.14 MW)
15	Brandenburg (Almanya)	138,9	16,7	6,8	4900	29	CODOG 2 GE 7LM2500SA-ML Gaz Türbini, 2 MTU 20V 956 TB92 DİZEL, 2 Şaft	CODOG; 2 GE 7LM2500SA-ML Gaz Türbini; 51,000 hp (38 MW) ; 2 MTU 20V 956 TB92 Dizel; 11,070 hp (8.14 MW)
16	Sachsen (Almanya)	143	17,4	4,4	5600	29	CODAG; 1 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 MTU 20V 1163 TB 93 DİZEL, 2 Şaft	CODAG; 1 GE LM 2500 Gaz Türbini; 31,514 hp (23.5 MW); 2 MTU 20V 1163 TB 93 Dizel; 20,128 hp(m) (14.8 MW);
17	Elli (Yunanistan)	130,5	14,6	6,2	3630	30	COGOG, 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 2 Şaft	COGOG; 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,880 hp (39.7 MW) ; 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini; 9,900 hp (7.4 MW)
18	Hydra (Yunanistan)	117	14,8	6	3350	31	CODOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 MTU 20V 956 TB92 DİZEL, 2 Şaft	CODOG; 2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 60,000 hp (44.76 MW) ; 2 MTU 20V 956 TB82 Dizel; 10,420 hp (7.66 MW)

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplasman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
19	Talwar (Hindistan)	124,5	15,2	4,2	3250	32	COGAG; 2 (M 8KF) Gaz Türbini, 2 M62 Gaz Türbini, 2 Şaft	2 (M 8KF) Gaz Türbini; 43,283 hp(m) (31.83 MW); 2 M62 Gaz Türbini; 12,000 hp (8.82 MW)
20	Godavari (Hindistan)	126,5	14,5	9	3850	27	2 Bobcock&Wilcox Kazan, 2 Türbin, 2 Şaft	30,000 hp (22.4 MW)
21	Brahmaputra (Hindistan)	126,5	14,5	9	4450	27	2 Kazan, 2 Türbin, 2 Şaft	30,000 hp (22.4 MW);
22	Eliat (İsrail)	86,4	11,9	3,2	1227	33	CODOG; 1 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 MTU 12V 1163 TB82 DİZEL, 2 Şaft	CODOG; 1 GE LM 2500 Gaz Türbini; 30,000 hp (22.38 MW) ; 2 MTU 12V 1163 TB82 Dizel; 6,600 hp (4.86 MW)
23	Lupo (İtalya)	113,2	11,3	3,7	2525	35	CODOG; 2 Fiat/GE LM2500 Gaz Türbini, 2 GMT BL 230.20 M DİZEL, 2 Şaft	Fiat/GE LM 2500 Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) ; 2 GMT BL 230.20 M Dizel; 10,000 hp (7.3 MW)
24	Maestrale (İtalya)	122,7	12,9	4,6	3200	32	CODOG; 2 Fiat/GE LM2500 Gaz Türbini, 2 GMT BL 230.20 DVM DİZEL, 2 Şaft	CODOG; 2 Fiat/GE LM 2500 Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) ; 2 GMT BL 230.20 DVM Dizel; 12,600 hp(m) (9.3 MW)
25	Allende (Knox) (Mexico)	134	14,3	7,8	4260	27	2 Combustion Eng./Bobcock&Wilcox Kazan, 1 Westinghouse Türbin, 1 Şaft	35,000 hp (26 MW);

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplesman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
26	Jacob Van Heemskerck (Hollanda)	130,5	14,6	6,2	3750	30	COGOG; 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini,2 Şaft	2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,880 hp (37.9 MW) , 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini; 9,900 hp (7.4 MW)
27	Karel Doorman (Hollanda)	122,3	14,4	4,3	3320	30	CODOG; 2 RR Spey SM1C Gaz Türbini, 2 Stork Wartsila 12SW280 Dizel, 2 Şaft	CODOG; 2 RR Spey SM1C; 33,800 hp (25.2 MW) ; 2 Stork-Wärtsilä 12SW280 Dizel; 9,790 hp (7.2 MW) ;
28	Kortenaar (Hollanda)	130,5	14,6	4,3	3630	30	COGOG; 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini,2 Şaft	CODOG; 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,880 hp (37.9 MW) , 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini; 9,900 hp (7.4 MW) ; 2 şaft.
29	Meko Type 360 (Nijerya)	125,6	15	5,8	3360	30,5	CODOG; 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 2 MTU 20V 956 TB92 DİZEL, 2 Şaft	CODOG; 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,880 hp (37.9 MW) ; 2 MTU 20V 956 TB92 Dizel; 10,420 hp(m) (7.71 MW) ; 2 şaft.
30	Fridtjof Nansen (Norveç)	132	16,8	7,6	5121	27	CODAG; 1 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 Bazan Bravo 12V Dizel, 2 Şaft	CODAG; 1 GE LM 2500 Gaz Türbini; 26,112 hp (19.2 MW); 2 Bazan Bravo 12V Dizel; 12,240 hp(m) (9 MW); 2 şaft;

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplesman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
31	Oliver Hazard Perry (Polonya)	135,6	13,7	7,5	3638	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 41,000 hp (30.59 MW) ; 1 şaft; cp prop
32	Marasesti (Romanya)	144,6	14,8	7	5790	27	4 Dizel, 4 şaft	
33	Broadsword (Romanya)	146,5	14,8	6,4	4100	30	COGOG; 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini,2 Şaft	CODOG: 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) ; 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini; 9,900 hp (7.4 MW); 2 şaft; cp props
34	Krivak (Rusya)	123,5	14,3	7,3	3650	32	COGAG; 2 M8K Gaz Türbini, 2 M62 Gaz Türbini, 2 Şaft	COGAG; 2 M8K Gaz-Türbin; 55,500 hp(m) (40.8 MW); 2 M 62 Gaz-Türbin; 13,600 hp(m) (10 MW);
35	Neustrashimy (Rusya)	131,2	15,5	4,8	4250	30	COGAG; 2 Gaz Türbini, 2 Gaz Türbini, 2 Şaft	COGAG; 2 Gaz Türbini; 48,600 hp(m) (35.72 MW); 2 Gaz Türbini; 24,200 hp(m) (17.79 MW); 2 şaft
36	Al Riyadh (S.Arabistan)(Mod.La Fayette)	133,6	17,2	4,1	4650	25	CODAD; 4 SEMT-Pielstick 16 PA6 STC Dizel, 2 Şaft	CODAD; 4 SEMT-Pielstick 16 PA6 STC Dizel; 28,000 hp(m) (20.58 MW) ; 2 şaft;



No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplasman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
37	Alvaro De Bazan (İspanya)	146,7	18,6	4,9	5853	28	CODOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 Bazan/Caterpillar Dizel, 2 Şaft	CODOG; 2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 47,328 hp(m) (34.8 MW) ; 2 Bazán/Caterpillar Dizel; 12,240 hp(m) (9 MW) ; 2 şaft; acbLIPS cp props
38	Santa Maria (İspanya)	137,7	14,3	7,5	3969	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	41,000 hp (30.59 MW) ; 1 şaft; cp prop
39	Beleares (İspanya)	133,6	14,3	7,8	4177	28	2 Combustion Eng. V2M Kazan,1 Westinghouse Turbine, 1 şaft	35,000 hp(m) (25.7 MW); 1 şaft
40	Cheng Kung (Tayvan)	138,1	13,7	7,5	4105	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 41,000 hp (30.59 MW) ; 1 şaft; cp prop
41	Kang Ding (Tayvan)(Modifiye La Fayette)	124,2	15,4	5,5	3800	25	CODAD; 4 SEMT-Pielstick 12 PA6 V 280 STC Dizel, 2 Şaft	CODAD; 4 SEMT-Pielstick 12 PA6 V 280 STC Dizel; 23,228 hp(m) (17.08 MW); 2 şaft; acbLIPS cp props
42	Barbaros (Türkiye)(Modifiye MEKO 200)	118	14,8	4,3	3380	32	CODOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 MTU 16V 1163 TB83 Dizel, 2 Şaft	CODOG; 2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 60,000 hp (44.76 MW) ; 2 MTU 16V 1163 TB83 Dizel; 11,780 hp(m) (8.67 MW) ; 2 şaft; Escher Wyss; cp props

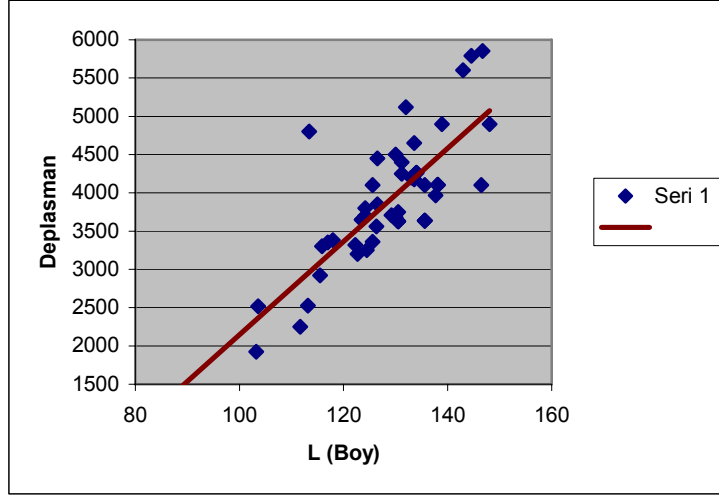
No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplesman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
43	Gaziantep (Türkiye)	135,6	13,7	7,5	4100	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 41,000 hp (30.59 MW) ; 1 şaft; cp prop 2 auxiliary retractable props; 650 hp (484 kW)
44	Yavuz (Türkiye)	115,5	14,2	4,1	2919	27	CODAD; 4 MTU 20V 163 TB93 Dizel, 2 Şaft	CODAD; 4 MTU 20V 1163 TB93 Dizel; 29,940 hp(m) (22 MW) ; 2 şaft; cp props
45	Tepe (Türkiye)	134	14,3	7,8	4260	27	2 Combustion Eng./Bobcock&Wilcox Kazan, 1 Türbin, 1 Şaft	35,000 hp (26 MW); 1 şaft
46	Krivak 3 (Ukrayna)	123,5	14,3	5	3650	32	COGAG; 2 Gaz Türbini, 2 Gaz Türbini, 2 Şaft	COGAG; 2 Gaz Türbini; 55,500 hp(m) (40.8 MW); 2 Gaz Türbini; 13,600 hp(m) (10 MW); 2 şaft
47	Kortenaer (Birleşik Arap Emirlikleri)	130,5	14,6	6,2	3630	30	COGOG; 2 RROlympus TM3B Gaz Türbini, 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini,2 Şaft	CODOG; 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,880 hp (37.9 MW) , 2 RR Tyne RM1C Gaz Türbini; 9,900 hp (7.4 MW) ; 2 şaft; cp props

No	İsim / Sınıf	Boy	Genişlik	Draft	Deplasman	Hız (kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
48	Broadsword (İngiltere)	148,1	14,8	6,4	4900	30	COGOG; 2 RR Sprey SM1A Gaz Türbini, 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini, 2 Şaft	COGOG; 2 RR Spey SM1A Gaz Türbini; 29,500 hp (22 MW) ; 2 RR Olympus TM3B Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) (F 96); 2 RR Tyne RM3C Gaz Türbini; 10,680 hp (8 MW) ; 2 şaft;
49	Duke (İngiltere)	133	16,1	7,3	4200	28	CODLAG; 2 RR Sprey SM1A yada SM1C Gaz Türbini, 4 Paxman 12CM Dizel, 2GEC Motors, 2 Şaft	CODLAG; 2 RR Spey SM1A (F 229-F 236) yada SM1C (F 237) Gaz Türbini; 31,100 hp (23.2 MW) ; 4 Paxman 12CM Dizel; 8,100 hp (6 MW); 2 GEC motors; 4,000 hp (3 MW); 2 şaft
50	Vasco Da Gama (Portekiz) (MEKO 200)	115,9	14,8	6,1	3300	32	CODOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 2 MTU 12V 1163 TB82 DİZEL, 2 Şaft	CODOG; 2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 53,000 hp (39.5 MW) ; 2 MTU 12V 1163 TB83 Dizel; 8,840 hp(m) (6.5 MW); 2 şaft;
51	Leopard (Bangladeş)	103,6	12,2	4,7	2520	24	8 VVS ASR 1 Dizel, 2 Şaft	8 VVS ASR 1 Dizel; 12,380 hp (9.2 MW) ; 2 şaft
52	Oliver Hazard Perry (ABD)	138,1	13,7	7,5	4100	29	COGOG; 2 GE LM2500 Gaz Türbini, 1 şaft	GE LM 2500 Gaz Türbini; 41,000 hp (30.59 MW) ; 1 şaft; cp prop

No	İsim / Smf	Boy	Geniş İlk	Draft	Depla sman	Hiz (Kts)	Ana Makina Tipi	Gerekli Güç
53	CARVAJAL (LUPO) CLASS (FFGHM)	113	11,3	3,7	2208	35	CODOG; 2 GE/Fiat LM 2500 Gaz Türbini, 2 GMT A 230.20 M Dizel;	CODOG; 2 GE/Fiat LM 2500 Gaz Türbini; 50,000 hp (37.3 MW) ; 2 GMT A 230.20 M Dizel; 8,000 hp(m) (5.88 MW) ; 2 şaft;
54	HALIFAX CLASS (FFH/FFG)	134,7	16,4	5	4770	29	CODOG; 2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 1 SEMT-Pielstick 20 PA6 V 280 diesel	CODOG; 2 GE LM 2500 Gaz Türbini; 47,494 hp (35.43 MW) ,1 SEMT-Pielstick 20 PA6 V 280 diesel; 8,800 hp(m) (6.48 MW) ; 2 şaft
55	ANZAC (MEKO 200) CLASS (FF)	118	14,8	4,35	3600	27	CODOG: 1 GE LM 2500 Gaz Türbini, 2 MTU 12V 1163 TB83 Dizel	CODOG: 1 GE LM 2500 Gaz Türbini; 30,172 hp (22.5 MW) ; 2 MTU 12V 1163 TB83 Dizel; 8,840 hp(m) (6.5 MW) ; 2 şaft;

## 4.2 Boyutlandırma Grafikleri

Benzer tip gemiler arasında yapılan incelemenin neticesinde, Şekil 4-2'de de verilen grafikte de görüleceği gibi, dünya bahriyelerinde yer alan fırkateynlerin boyutlarının 120 ila 140 metre arasında ve deplasmanlarının da 3500 ila 4500 ton arasında olduğu görülmüştür.

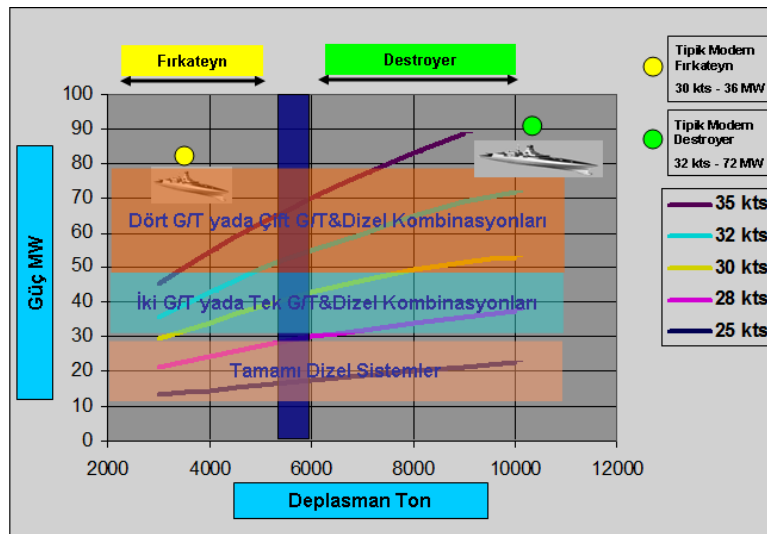


Şekil 4-2 Benzer Gemi Deplasman-Boy Dağılımı

Buradan yola çıkılarak ele aldığımız Hava Savunma Harbi fırkateyninin 125 metre boy ve 4500 ton deplasmanda olması öngörülmüştür.

## 4.3 Gücün Belirlenmesi

Dünya bahriyelerinde yer alan fırkateynlerin incelenmesi esnasında gemilerin sahip olduğu maksimum süratler, deplasmanları ve sahip oldukları tahrik sistemleri elemanlarının Şekil 4-3'de verilen ve Renk firması tarafından hazırlanmış olan grafik ile örtüştüğü görülmüştür.



Şekil 4-3 Fırkateyn ve Destroyer Deplasman-Güç ve Sürat İlişkisi (Renk Ltd.,2007)

Uygun tipte makinayı belirleyebilmek için öncelikle ihtiyaç olan sürat değerlerinin ne olacağına karar vermek gerekmektedir. Bu noktada tekne formunun belirlenmesine ve farklı

sürat değerlerine ulaşılabilmek için o form üzerinde oluşacak direncin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. YTÜ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi Araştırma Görevlilerinden Bekir Şener tarafından halen üzerinde çalışmaya devam ettiği doktora tezinde Rhinoceros ve MaxSurf programları kullanılarak 125 metre boy ve 4500 ton deplasman değerlerine sahip bir tekne modellenmiş, teknenin direnç değerleri hesaplanarak, hangi sürat kademesinde ne kadar güce ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4-2 ve 4-3’de elde edilen değerler görülmektedir.

Çizelge 4-2 Hava savunma Harbi Fırkateyni Tekne Karakteristikleri (Şener, 2010)

Deplasman	4542 t
Hacim (Volume displaced)	4431,645 m <sup>3</sup>
Vasat Su Çekimi	4,95 m
Su Çekimi	4,95 m
Su Hattı Boyu	123,47 m
Su Hattı Max. Genişlik	15,063 m
Islak Yüzey Alanı	1985,982 m <sup>2</sup>
Su Hattı Alanı	1481,106 m <sup>2</sup>
Prizmatik Katsayı (Cp)	0,622
Blok Katsayısı (Cb)	0,481
Orta Kesit Katsayısı (Cm)	0,786
Su Hattı Alan Katsayısı(Cwp)	0,796
LCB	63,195 sıfır noktasından (+ve baş) mt.
LCF	56,882 sıfır noktasından (+ve baş) mt.
LCB %	51,183 sıfır noktasından (+ve baş) %
LCF %	46,069 sıfır noktasından (+ve baş) %
KB	3,089 m
BMt	5,21 m
BML	305,376 m
Düzeltilmiş GMt	8,3 m
GML	308,465 m
KMt	8,3 m
KML	308,465 m
1 cm Batma Tonajı	15,181 ton/cm
1 cm Trim Momenti	113,479 ton.m

Çizelge 4-3 Hava savunma Harbi Fırkateyni Hız-Güç Değerleri (Şener, 2010)

Hız (kts)	Direnç (kN)	Güç(kW)	Hız (kts)	Direnç (kN)	Güç(kW)
10	65,11	744,31	30,25	1310,75	45328,36
10,75	75,36	926,15	31	1415,43	50162,05
11,5	86,71	1139,93	31,75	1520,67	55195,52
12,25	99,3	1390,62	32,5	1626,46	60430,17
13	113,3	1683,86	33,25	1732,82	65867,39
13,75	128,9	2026,17	34	1839,73	71508,57
14,5	146,22	2423,82	34,75	1947,19	77355,1
15,25	165,3	2881,87	35,5	2055,21	83408,38
16	186,49	3411,09	36,25	2163,78	89669,78
16,75	210,55	4031,68	37	2272,9	96140,69
17,5	237,84	4758,21	37,75	2349,55	101397,66
18,25	267,43	5579,49	38,5	2411,04	106118,51
19	297,44	6460,8	39,25	2469,67	110816,31
19,75	326,62	7374,59	40	2526,12	115515,23
20,5	355,37	8328,28			
21,25	385,46	9364,04			
22	419,18	10542,53			
22,75	458,71	11930,25			
23,5	506,02	13594,49			
24,25	562,74	15600,78			
25	630,09	18008,2			
25,75	708,68	20861,86			
26,5	798,3	24184,4			
27,25	897,63	27963,36			
28	1000,06	32011,95			
28,75	1103,06	36254,72			
29,5	1206,62	40693,05			

## 5. Aday Tahrik Sistemleri

Savaş gemilerinde ve sivil gemilerde kullanılan ve ana makina sistemlerinden; dizel makineler (motorlar), gaz türbinleri ve buhar türbinlerinin, bunların kombine hallerinin avantajlarının ve dezavantajlarının karşılaştırmaları Çizelge 5-1’de verilmektedir.

Çizelge 5-1 Tahrik Sistemleri avantaj ve dezavantajları

ÇEŞİTLER	ÖNEMLİ TEKNİK PARAMETRELER	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Dizel Makina	Fırkateyn/Korvetlerde, seri manevra ihtiyacı nedeniyle yüksek devirli Dizel kullanılır (ortalama 1800–2100 dev/dak.).Azami 10 000 BHP (Şaft üzerindeki güç)’ye kadar güce sahiptirler.	-Kolay Entegrasyon -Düşük Yakıt Tüketimi	- Yüksek Su Altı Gürültüsü- Düşük Güç Yoğunluğu (BHP/Kg)- Çok fazla sayıda hareketli mekanik eleman ihtiva ettiğinden düşük güvenilirlik
Gaz Türbini	5500-40000 BHP aralığında güç üretir, 1000-9000 dev./dak. aralığında çalışır.	-Yüksek Güç Yoğunluğu -Düşük Su Altı Gürültüsü - Yüksek Güvenilirlik - Yüksek İvmelenme	- Dünyada üç Üretici - Düşük Süratlerde Yüksek Yakıt Tüketimi - Yüksek egzost sıcaklığı nedeniyle Yüksek Kızılötesi İz
Buhar Türbini	30000 HP’a kadar güç üretir. Nükleer sistemler hariç, kullanımdan kalkmıştır. Fırkateyn/Korvetlerde kullanılmamaktadır.	- Yüksek Güvenilirlik - Düşük Su Altı Gürültüsü	- Çok yüksek hacim ihtiyacı- Çok kapsamlı entegrasyon - Yüksek Yakıt Tüketimi

### 5.1 Gaz Türbinleri

Gemilerde kullanılan gaz türbinleri “Uçak Motorlarından Türetilmiş” (ADGTs, aircraft-derivative gas turbines) ve “Ağır Yük Gaz Türbinleri” (HDGTs, heavy duty gas turbines) olarak tasniflenebilir. Gaz türbinlerinin güç/ağırlık ve güç/hacim oranları diğer tahrik sistemleri ile karşılaştırıldığında oldukça yüksektir. Bu sistemin kullanım alanlarında tercih edilmesinin temel sebebi de budur. Ancak gaz türbinlerinin özgül yakıt tüketimleri yüksektir ve özellikle kısmi yükte çalıştırılmaları durumunda (düşük yükler, alçak sürat) yakıt sarfiyatları daha da artmaktadır. Denizcilikte kullanılan gaz türbinleri 40000 kW ve üzerinde

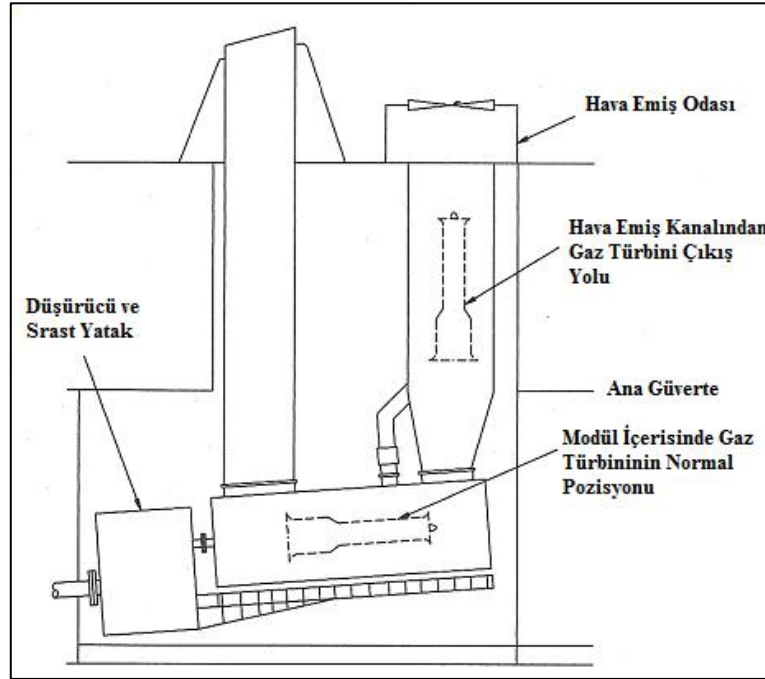


güç üretebilme kapasitesine sahiptirler. Sistemde üretilen güç pervaneye bir düşürücü vasıtasıyla iletilir. Sistem, üzerinde hareketli parçanın az olmasından kaynaklanan yüksek güvenilirlik ve düşük arıza oranlarına sahiptir. Gaz türbinlerinin diğer tercih edilme sebepleri arasında,

- Düşük egzost emisyonları (özellikle NOx),
- Düşük gürültü ve titreşim değerleri,
- Düşük yedek parça gereksinimleri,
- Kullanımda az personel ihtiyacı,
- Hızlı start edilebilme, 30 saniye içerisinde tam yola çıkabilecek seviyede hazır olma, değişken sürat isteklerine anında cevap verebilme gibi konularda operasyonel elastikiyete sahip olması sayılabilir.

olma, değişken sürat isteklerine anında cevap verebilme gibi konularda operasyonel elastikiyete sahip olması sayılabilir.

Gaz türbinleri çalışma esnasında yüksek miktarda havaya ihtiyaç duyarlar, bunun gereği olarak da gemi üzerinde geniş hacimli hava emiş (intake) ve egzost kanalları sistem için ayrılmak zorundadır. Bu noktada sistem için bir dezavantaj olarak değerlendirilen bu husus, gerçekleştirilecek bir arızaya istinaden gaz türbini değişimi gerekmesi durumunda bu kanallardan faydalanılarak gaz jeneratörü ve/veya güç türbininin değiştirilebilmesine olanak sağladığından aynı zamanda bir avantaj olarak da değerlendirilebilir. Emiş kanalından gaz türbini çıkarılması Şekil-5-1’de gösterilmiştir.



Şekil 5-1 Hava Emiş Kanallarından Gaz Türbini Çıkarılışı

Gaz türbinlerinin dezavantajları arasında,

- Yakıt kalitesinin yüksek olması gerekliliği,
- Özellikle düşük süratlerde yüksek yakıt sarfiyatı,
- Yüksek debide hava ve egzost akışı,
- Yüksek ortam sıcaklıklarında oluşan düşük performans,
- Yüksek sıcaklıkta egzost,
- Düşürücü gerektiren yüksek devirde çıkış sayılabilir.

## 5.2 Buhar Kazanı ve Türbinleri

Buhar türbinleri, yüksek güç isteklerine yanıt veremeyen dizel makinalara karşı bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Kullanımları çok yaygın değildir. 1950 li yılların sonlarına kadar çok yaygın olarak kullanılan buhar türbinleri bu tarihten itibaren yerini dizel makinalara ve gaz türbinlerine bırakmaya başlamıştır. Günümüzde sivil bahriyede buhar türbinleri transatlantik, büyük konteyner gemileri gibi ticaret gemilerinde kullanılmaktadırlar. Harp gemileri için büyük makina güçlerine gerek olduğunda ağır kruvazörler, uçak ve helikopter gemileri ve büyük amfibi gemilerinde de buhar türbinlerinden yararlanılır.

Buhar türbinleri genel özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz; çok büyük güç gereksinimleri için seçilirler, özgül yakıt tüketimleri dizel motorlardan yüksektir, kömür ve nükleer yakıtların kullanılmasına imkân verirler, gaz türbinleriyle kombine güç üretim sistemlerinde kullanılırlar (COSAG, COGAS vb.) benzer güç üreten gaz türbinlerine göre daha ağırdırlar ve daha büyük hacim işgal ederler, devreye alınmaları için uzun zamana ihtiyaç gösterirler. Buhar türbinlerinin operasyonel esneklikleri çok düşüktür. Yüksek sürate çıkmak, yüksek süratten sıfır sürate düşmek için diğer sistemlerle kıyaslandıklarında oldukça uzun süreye ihtiyaç duyarlar. İşletme açısından uzman operatörlük gerektirir ve sistem devrede iken azami dikkat gerektirir.

Halen buhar türbinleri 70'li yılların teknolojisi ile üretilmiş firkateynlerde bulunmaktadır. Ancak bu gemilerin büyük çoğunluğu hizmet yıllarını doldurdıklarından kullanıcı ülkeler tarafından hurdaya ayrılmışlardır. Yeni üretilen gemilerde ise buhar türbinleri yüksek güç ihtiyacı olduğunda ve eğer gemi nükleer sisteme sahip ise tercih edilmektedir. Bu nedenle bu tahrik sistemi bu tez içerisinde incelenmeyecektir.

### 5.3 Dizel Motorlar

Günümüzde dizel tahrik sistemleri her tip ve boyuttaki ticari gemilerin hemen hemen tamamında görülür. Dizel makinalar düşük devirli, orta devirli ve yüksek devirli makinalar olmak üzere üçe ayrılırlar.

Düşük devirli makinalar çok büyük hacme ve ağırlığa sahiptirler, şaft devirleri de pervaneye direk bağlanabilecek kadar düşüktür. Bu tip makinaların devirleri 300 rpm'in altındadır, devrin 55 rpm'e kadar düştüğü de olur. Düşük devirli dizeller sıralı 4 ila 12 silindir ile 3000 kW-60000 kW arasında güç üretme kapasitesinde olup iki zamanlı, turboşarjerli sisteme sahiptirler. Orta devirli ve yüksek devirli dizellere nazaran daha makul bakım gereksinimleri bulunmaktadır.

Orta devirli ve yüksek devirli dizeller alçak devirli dizellere nazaran daha kompaktırlar. Ancak pervaneye bir düşürücü vasıtasıyla bağlanma gereklilikleri bulunmaktadır. Bu tipteki makinalar bir-iki istisnai durum hariç genelde dört zamanlıdır. Sıralı olarak 4 ila 10 silindire ya da V formatında 24 adet silindire kadar sahip olabilirler. Orta devir dizel kategorisinin üst limit, yüksek devirli dizel kategorisinin başlangıç değerleri 1200 rpm civarındadır. Orta devirli makinaların çıkış gücü 1000 kW ila 20000 kW arasında, yüksek devirli dizellerin ise 100 kW'tan daha düşük değerlerden 3000 kW'tan daha büyük değerler arasında olabilmektedir. Bu özelliklere sahip dizeller genellikle harp gemileri, hızlı feribotlar gibi performans ihtiyacı duyulan gemilerde tercih edilmektedir.

### 5.4 Nükleer

Nükleer enerji, genelde yüksek ve kesintisiz güç gerektiren unsurlarda tercih edilmektedir. Özellikle denizaltı gemilerinde kullanılan bu teknoloji yüksek güç gerektirmelerinden dolayı büyük uçak gemilerinde de kullanılmaktadır. Bu teknolojinin kullanıldığı tahrik sisteminin ana elemanı buhar türbinidir. Türbinin tahrik edilmesinde kullanılan buharın üretimi konvansiyonel sistemlerde petrol ürünü kullanan kazanlar vasıtasıyla yapılırken, nükleer sistemde bu üretim bir reaktörden elde edilen ısı vasıtasıyla yapılmaktadır. Dünyada denizaltı ve gemilerin tahrik mekanizması olarak kullanılan 400 den fazla reaktör mevcuttur. Ülkemizde nükleer enerji kullanılan deniz platformu mevcut değildir.

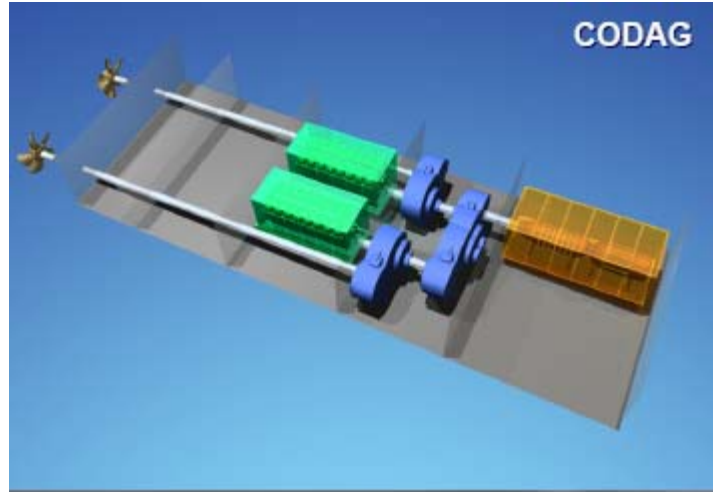
Sistemin üretimi, kullanımı ve idame edilebilmesi için ileri teknoloji ve iyi eğitilmiş personel gerekmektedir. Bakım işletim masrafları oldukça yüksektir. Çevresel etkileri nedeniyle atıklarının depolanması hassas süreçler gerektirmektedir. Bu sistem, tercih edildiği platformlar ve kullanım amaçları konumuz olan firkateynlerin dışında kaldığından tahrik sistemi olarak bu tez içerisinde incelenmeyecektir.

## 5.5 Kombine Sistemler

Kombine Sistemler Dizel makinalar, gaz türbinleri ve buhar türbinlerinin beraber yada ayrı ayrı olarak bir tahrik sistemi içerisinde kullanılmasıyla elde edilir. Alt başlıklarda dizel ve gaz türbinlerinin birlikte oluşturdukları kombine sistemlere değinilecektir. Buhar türbinleri günümüzde demode olduğundan ve sadece yüksek güç ihtiyacı olan büyük deplasmanlı gemilerde tercih edildiğinden bu tahrik sistemi elemanı ile oluşturulabilen kombinasyonlar incelenmeyecektir.

### 5.5.1 CODAG

Bir tahrik sisteminde Gaz türbinini ve Dizel makınayı birleştirmek her iki tahrik elemanının avantajlarından faydalanmanın en uygun yoludur. Bu birleştirme CODOG veya CODAG olarak yapılabilmektedir. CODAG Sistemi; dizel makına(lar) ve gaz türbininden elde edilen gücün hidrolik kaplin veya kavramalar vasıtasıyla dişli kutuları üzerinden şafta bağlanması ile oluşturulan tahrik sistemidir. Şekil 5-2' de CODAG olarak yerleşimi yapılmış bir ana tahrik sistemi modeli görülmektedir.



Şekil 5-2 CODAG Sistemi

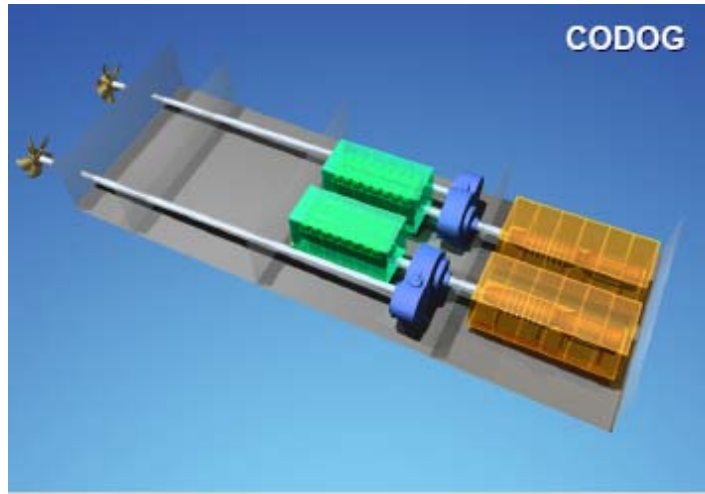
Bu sistem 20 MW üzerindeki güçler için tercih edilir ve günümüzde korvetlerde ve fırkateynlerde tercih edilen temel tahrik sistemidir. Gaz türbini yüksek güç gereksinimini karşılarken, dizel makinalar ile intikal seyirleri ekonomik bir şekilde yapılabilir. Sistem yüksek güvenilirlik değerlerine sahiptir. Çapraz bağlamalar ile tahrik elemanlarını çok alternatifli şekilde kullanmak mümkündür. Tüm tahrik elemanları devreye alınarak tamamından elde edilen güç şafta aktarılabilmektedir. Dizel ve gaz türbini devir farklılıklarını

karşılatabilmek için bu sistemin kullanıldığı gemilerde genelde değişken pıçlı (CPP) pervaneler kullanılır.

İlk milli gemi olarak inşasına devam edilen “MİLGEM” TCG Heybeliada korvetinde 1 adet LM 2550 gaz türbini ve 2 adet MTU 16V 1163 dizel makinadan oluşan CODAG kombinasyonu kullanılmıştır.

### 5.5.2 CODOG

CODOG Sistemi; gaz türbini ve dizel makina(lar)den ve düşürücülerden meydana gelir. Büyük hacim kaplar. Bu kombine sisteminde sistem üzerindeki mevcut şaftları Gaz türbini yada Dizel makina vasıtasıyla tahrik etmek mümkündür ancak farklı iki tip makinayı bir arada devreye almak mümkün değildir. Yine de kullanım esnasında oluşan durumlara uygun olarak o durumda avantajlı olan makinayı seçerek farklı sistemlerin avantajlarını kullanmak açısından faydalı bir sistemdir. CODOG ile donatılmış sistemlerde dizeller düşük süratlerde ve intikallerde kullanılırken, performans gerektiren ve ani sürat değişiklikleri istenilen durumlarda Gaz Türbinleri kullanılmaktadır. Şekil 5-3’ de CODOG olarak yerleşimi yapılmış bir ana tahrik sistemi modeli görülmektedir.



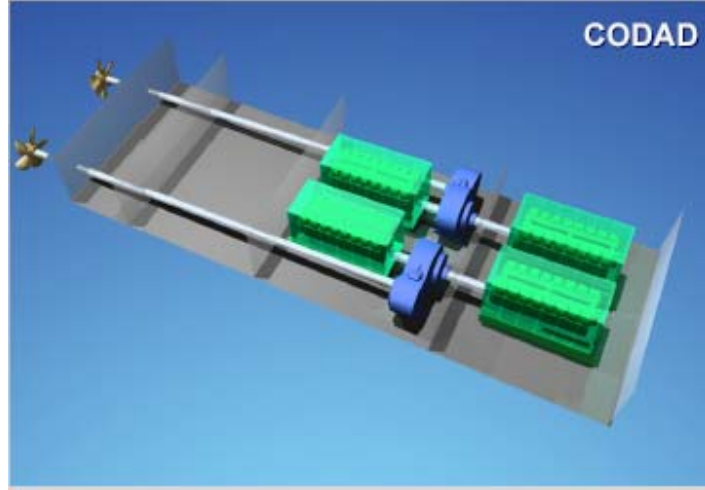
Şekil 5-3 CODOG Sistemi

90’lı yılların ortalarına kadar kombine sistemlerin tercih edildiği ana tahrik sistemlerinde CODOG başrolü oynamıştır. Ancak gelişen düşücü teknolojileriyle birlikte ilerleyen yıllarda CODOG yerini CODAG sistemine bırakmıştır. Yüksek güvenilirliğe sahip bir sistemdir. Dezavantajı sistemin tüm elemanlarından elde edilen gücü bir arada kullanamamasıdır.

2 adet LM 2500 gaz türbini ve 2 adet MTU 16V 1163 dizel makinadan oluşan CODOG kombinasyonu halen Türk Deniz Kuvvetleri envanterinde yer alan 4 adet Barbaros sınıfı fırkateynde kullanılmaktadır.

### 5.5.3 CODAD

Dizel makinelerin (1 veya 1'den fazla) uygun dişli mekanizmaları ile bağlantılanarak gemi şaft sistemine göre kombinasyonlarından oluşur. Avantajları; kolay entegrasyon yapılıır, yakıt oranları düşüktür. Dezavantajları; yüksek su altı gürültüsü, düşük güç yoğunluğu ve düşük güvenilirliktir. CODAD tahrik sistemi ,Şekil 5-4, olarak adlandırılan bu sistemler gemi genel yerleşim planı içerisinde hacim olarak büyük yer kaplamaktadırlar. Türk Deniz Kuvvetlerinde envanterinde yer alan Yavuz Sınıfı fırkateynler CODAD sistemine sahiptir.

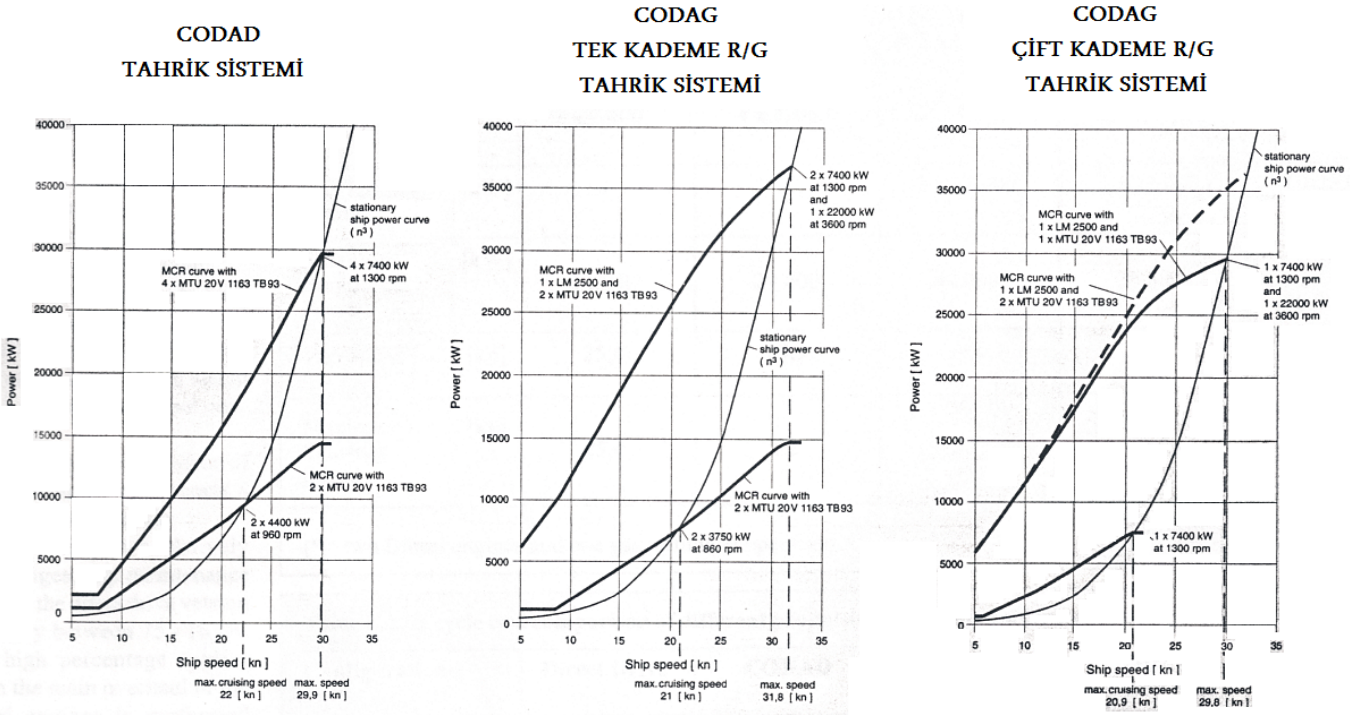


Şekil 5-4 CODAD Sistemi

Dizeller, Gaz türbinlerine nazaran daha fazla hareketli parçaya sahip olduklarından hem arıza oranları daha yüksektir hem de arıza çeşitliliği daha fazladır. Gemi bazında yapılması gereken çok bakım içermektedirler. Çalışma saatine bağlı bakımlar gerektirdiğinden bu husus hareket konularında bağlayıcı olmaktadır. Tek tip makina ile donatılan CODAD kombine sistemi maliyet açısından cazip görünmekle birlikte, işletim ve performans açısından diğer sistemler ile kıyaslandığında gerilerde kalmaktadır.

CODAD ile CODAG sisteminin Hız-Güç karşılaştırmalı eğrileri Şekil 5-5'de verilmiştir. Burada iki tip CODAG sistemi görülmektedir. Bu sistemde kullanılan düşürücü tipinden kaynaklanmaktadır. Daha basit yapıda olan CODAG sisteminde yüksek hız moduna (Dizellerin Gaz Türbinine uyum sağlayabilmeleri için) ayarlanmış tek kademeli düşürücü kullanılmıştır. Bu durumda dizeller maksimum devirlerine ulaşamadıklarından maksimum intikal (cruise) süratine ulaşabilmek için 2 dizelin birden devreye alınması gerekmektedir. 21 kts intikal süratine erişebilmek için 860 rpm'de 3750 kW güç üreten 2 adet dizelin devrede olmasına ihtiyaç duyulmaktadır. CODAD sisteminde 22 kts max.. İntikal süratine 960 rpm'de 4400 kW üreten aynı tipte 2 adet dizel ile ulaşılabilir. Oysa daha sofistike bir düşürücü olan çift kademeli sisteme sahip bir CODAG kombine sisteminde 20,9 kts max.

intikal hızına, aynı tip dizel makina kullanılmak koşulu ile, 1300 rpm'de 7400 kW güç üreten bir makina ile ulaşılabilmektedir.



Şekil 5-5 CODAD ve CODAG Kombine Sistemleri Güç-Hız Karşılaştırma Eğrileri

### 5.5.4 COGAG

COGAG Sistemi; Gaz türbinlerinin (1 veya 1'den fazla) uygun dişli mekanizmaları ile bağlantılanarak gemi şaft sistemine göre kombinasyonlarından oluşur. Sistem performansı yüksektir. Ancak sistem üzerinde tek tip tahrik elemanı bulunduğu için alternatifli sistemlere nazaran mevcut tahrik sistemi elemanının/elemanlarının dezavantajlarından kaynaklanan olumsuzluklara daha çok maruz kalmaktadır. Yakıt tüketimi, özellikle düşük süratlerde çok fazladır. Bunun yanında gaz türbinleri bakım tutum yönünden çalışma saatinden bağımsız olduğundan dizel makinalara göre daha avantajlı bir durumdadır. Genelde COGAG sistemlerinde 2 gaz türbinini ve tek şaft tercih edilmekte ve kullanılmaktadır. Şekil-4-1'de de görüleceği üzere 8 ayrı tip fırkateynde olmak üzere toplam 67 adet gemide 2 gaz türbinine sahip COGAG sistemi, 5 ayrı tip fırkateynde olmak üzere toplam 20 adet gemide 2 ayrı tipte olmak üzere 4 adet gaz türbinine sahip COGAG sistemi kullanılmaktadır. Sistem güvenilirliği bu tip sisteme sahip gemilerde gerek tahrik elemanı adedinin az olması (2 adet gaz türbinini) gerekse tek şaft bulunması nedeniyle düşüktür. Gaz türbinlerinin 2 adedini de tek şaftta bağlı sistemlerde aynı anda kullanabilmek mümkündür. Gaz türbinlerinden elde edilen gücün yüksek olması nedeniyle bu tip tahrik sistemine sahip platformlar yüksek süratlere sahiptirler.

Gaz türbinleri dizel makinalara göre akustik gürültü olarak daha iyi değerlere sahip olduklarından denizaltı savunma harbi gemilerinde tercih edilebilirler, bunun yanında yüksek egzost sıcaklıkları nedeniyle de kızılötesi parmak izi açısından dezavantaja sahiptir.

## 6. Aday Sistemlerin Analiz ve Karşılaştırılmaları

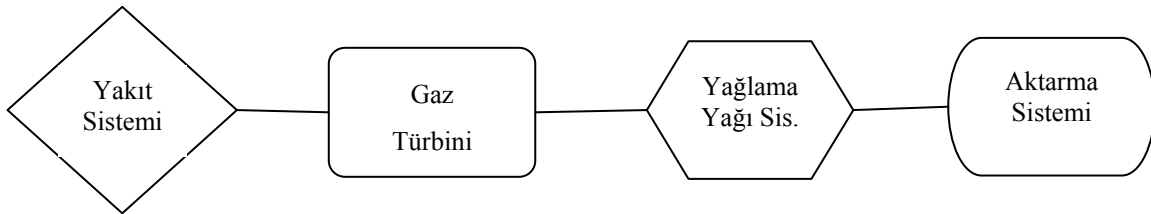
Aday Sistemler birbirleri arasında alt başlıklarda yer aldığı şekilde Güvenilirlik ve maliyet-etkinlik analizleri yapılarak karşılaştırılacaktır. Yapılan analizlerde ana tahrik sistemleri tek tek ele alındığı gibi birbirleri ile oluşturdukları kombinasyonlarda incelenecektir.

### 6.1 Aday Sistemlerin Yardımcı Sistemleri İle Birlikte Güvenilirlik Analizleri

Tüm sistem güvenilirliği, alt sistemler ve parçaların güvenilirliğinin bir fonksiyonudur. Bir sistem veya alt sistemler birbirine göre güvenilirlik açısından seri, paralel veya kombinasyonlu yapılar içerebilir. Yedek sistemlerin bulundurulması ise kritik sistem yada alt sistemlerin güvenilirliğini artırmakla birlikte karmaşıklığa sebep olabilir, ek maliyet getirebilir ama bazı durumlarda bulundurulması kaçınılmazdır. Sistemlerin analizlerinde ve hesaplamalarda kullanılacak elemanlarının güvenilirlik değerleri Çizelge 6-1’de verilmiştir.

#### 6.1.1 Gaz Türbini Sistemi

Ana tahrik sistemi olarak Gaz Türbini sistemini yardımcı elemanları ile modellemek gerekirse;



Şekil 6-1 Gaz Türbini Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli

şeklinde bir model oluşturulabilir. Bu kapsamda tüm sistemin güvenilirliğini hesaplayabilmek için modeli oluşturan her bir sistem/elemanın güvenilirliklerinin tek tek hesaplanması gerekmektedir.

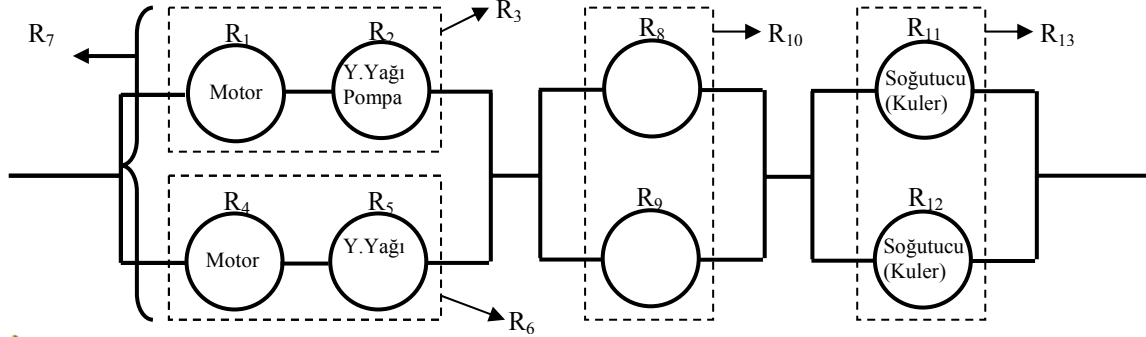


Çizelge 6-1 Tahrik Sistemi Elemanları Güvenilirlik Değerleri

Sistem Adı	MTBF (Saat) (Michell W.R., 1971)	MTTR (Saat) (Michell W.R., 1971)	Onarılabilir Sistem	Onarım az Sistem	Güvenilirlik (Onarılamaz Sistem)			Güvenilirlik (Onarılabilir Sistem)	
					$\mu = \frac{1}{MTTR}$	$\lambda = \frac{1}{MTBF}$	$R_{(t)} = e^{-\lambda t}$	$e^{-(\lambda+\mu)t}$	$R_{CC} = \frac{\mu + \lambda e^{-(\lambda+\mu)t}}{\mu + \lambda}$
Gaz Türbini	4000	24.0	x		0.04	0.00025000	<b>YOK</b>	7.81614E-14	<b>0.9940</b>
Dizel Makina	1900	24.0	x		0.04	0.00052632	<b>YOK</b>	6.40606E-14	<b>0.9875</b>
Bağlantı Elemanı	50000	YOK	<b>YOK</b>	x	<b>YOK</b>	0.00002000	<b>0.9857</b>	<b>YOK</b>	<b>YOK</b>
Düşürücü	200000	YOK	<b>YOK</b>	x	<b>YOK</b>	0.00000500	<b>0.9964</b>	<b>YOK</b>	<b>YOK</b>
Şaft ve Yataklar	200000	YOK	<b>YOK</b>	x	<b>YOK</b>	0.00000500	<b>0.9964</b>	<b>YOK</b>	<b>YOK</b>
Yakıt Motor	7500	18.0	x		0.06	0.00013333	<b>YOK</b>	3.85948E-18	<b>0.9976</b>
Yakıt Pompa	5500	4.5	x		0.22	0.00018182	<b>YOK</b>	2.85779E-70	<b>0.9992</b>
Yakıt Filtresi	60000	3.0	x		0.33	0.00001667	<b>YOK</b>	5.8092E-105	<b>1.0000</b>
Yakıt Ayrıştırıcı	10000	4.0	x		0.25	0.00010000	<b>YOK</b>	6.24776E-79	<b>0.9996</b>
Y.Yağı Motoru	7500	7.8	x		0.13	0.00013333	<b>YOK</b>	7.40604E-41	<b>0.9990</b>
Y.Yağı Pompası	4000	5.0	x		0.20	0.00025000	<b>YOK</b>	2.41781E-63	<b>0.9988</b>
Y.Yağı Filtre	60000	3.0	x		0.33	0.00001667	<b>YOK</b>	5.8092E-105	<b>1.0000</b>
Y.Yağı Ayrıştırıcı	10000	4.0	x		0.25	0.00010000	<b>YOK</b>	6.24776E-79	<b>0.9996</b>
Soğ. Dz.Suyu Motoru	27000	9.2	x		0.11	0.00003704	<b>YOK</b>	1.00036E-34	<b>0.9997</b>
Soğ. Dz.Suyu Pompası	12500	7.6	x		0.13	0.00008000	<b>YOK</b>	6.78105E-42	<b>0.9994</b>
Piç Kontrollü Pervane (CPP)	25000	15.0	x		0.07	0.00004000	<b>YOK</b>	1.3847E-21	<b>0.9994</b>
Y.Yağı Soğutucu	90000	3.0	x		0.33	0.00001111	<b>YOK</b>	5.8324E-105	<b>1.0000</b>
Yakıt Isıtıcısı	15000	3.8	x		0.26	0.00006667	<b>YOK</b>	4.91788E-83	<b>0.9997</b>

### 6.1.1.1 Yağlama Yağı Sistemi Güvenilirliği

Gaz Türbini yağlama yağı sistemini eleman bazında,



Şekil 6-2 Gaz Türbini Yağlama Yağı Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli

şeklinde modelleyebiliriz. Bu sistemin güvenilirlik analizi;

Yağlama yağı motor ve Pompası için,

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 \quad R_3 = 0,9990 \cdot 0,9988 \quad R_3 = 0,9978 \quad (6.1)$$

$$R_6 = R_4 \cdot R_5 \quad R_6 = 0,9990 \cdot 0,9988 \quad R_6 = 0,9978 \quad (6.2)$$

$$R_7 = R_3 + R_6 - R_3 \cdot R_6 \quad R_7 = 0,9978 + 0,9978 - (0,9978 \cdot 0,9978) \quad R_7 = 0,99 \cong 1,0 \quad (6.3)$$

Filtreler için,

$$R_{10} = R_8 + R_9 - R_8 \cdot R_9 \quad R_{10} = 1,0 + 1,0 - (1,0 \cdot 1,0) \quad R_{10} = 1,0 \quad (6.4)$$

Soğutucular (Kulerler) için,

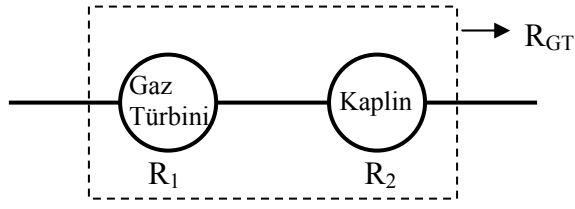
$$R_{13} = R_{11} + R_{12} - R_{11} \cdot R_{12} \quad R_{13} = 1,0 + 1,0 - (1,0 \cdot 1,0) \quad R_{13} = 1,0 \quad (6.5)$$

Yağlama Yağı Sisteminin tamamının güvenilirliği,

$$R_{YY} = R_7 \cdot R_{10} \cdot R_{13} \quad R_{YY} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \quad R_{YY} = 1,0 \quad (6.6)$$

### 6.1.1.2 Gaz Türbini Güvenilirliği

Gaz türbini sistemini,



Şekil 6-3 Gaz Türbini ve Bağlantı Sistemi Güvenirlilik Analizi Modeli

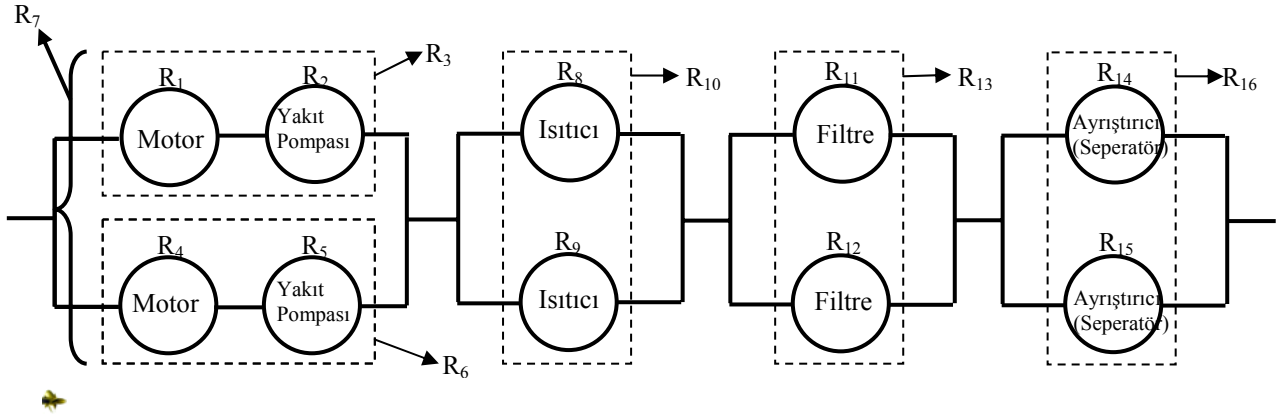
şeklinde modelleyebiliriz. Bu sistemin güvenilirlik analizi sonucunda,

$$R_{GT} = R_1 \cdot R_2 \quad R_{GT} = 0,9940 \cdot 0,9857 \quad R_{GT} = 0,9797 \quad (6.7)$$

elde edilir.

### 6.1.1.3 Yakıt Sistemi Güvenirliliği

Yakıt Sistemi de aşağıda verildiği gibi modellenip, güvenilirlik analizi yapılacak olursa;



Şekil 6-4 Gaz Türbini Yakıt Sistemi Güvenirlilik Analizi Modeli

Yakıt pompası ve motoru için,

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 \quad R_3 = 0,9976 \cdot 0,9992 \quad R_3 = 0,9968 \quad (6.8)$$

$$R_6 = R_4 \cdot R_5 \quad R_6 = 0,9976 \cdot 0,9992 \quad R_6 = 0,9968 \quad (6.9)$$

$$R_7 = R_3 + R_6 - R_3 \cdot R_6 \quad R_7 = 0,9968 + 0,9968 - (0,9968 \cdot 0,9968) \quad R_7 = 0,9999 \cong 1,0 \quad (6.10)$$

Isıtıcılar için,

$$R_{10} = R_8 + R_9 - R_8 \cdot R_9 \quad R_{10} = 0,9997 + 0,9997 - (0,9997 \cdot 0,996897) \quad (6.11)$$

$$R_{10} = 0,9999 \cong 1,0$$

Filtreler için,

$$R_{13} = R_{11} + R_{12} - R_{11} \cdot R_{12} \quad R_{13} = 1,0 + 1,0 - (1,0 \cdot 1,0) \quad R_{13} = 1,0 \quad (6.12)$$

Ayrıştırıcılar (Seperatörler) için,

$$R_{16} = R_{14} + R_{15} - R_{14} \cdot R_{15} \quad R_{16} = 0,9996 + 0,9996 - (0,9996 \cdot 0,9996) \quad (6.13)$$

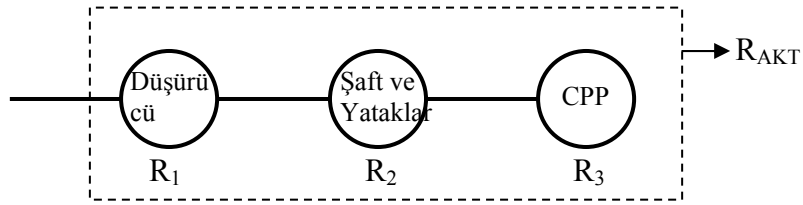
$$R_{16} = 0,9999 \cong 1,0$$

Yakıt Sisteminin tamamının güvenilirliği,

$$R_{Yak} = R_7 \cdot R_{10} \cdot R_{13} \cdot R_{16} \quad R_{Yak} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \quad R_{Yak} = 1,0 \quad (6.14)$$

#### 6.1.1.4 Aktarma Sistemi Güvenilirliği

Aktarma sisteminin güvenilirlik analizi ise;



Şekil 6-5 Gaz Türbini Aktarma Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli

$$R_{AKT} = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (6.15)$$

$$R_{AKT} = 0,9964 \cdot 0,9964 \cdot 0,9994$$

$$R_{AKT} = 0,9922$$

#### 6.1.1.5 Tüm Sistem Güvenilirliği

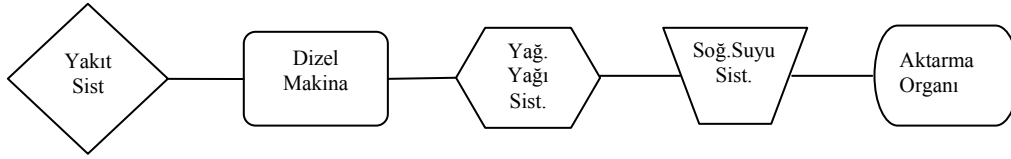
Sistem elemanlarının yapılan güvenilirlik analizleri neticesinde elde edilen sonuçlardan tüm sistemin güvenilirliği aşağıdaki gibi elde edilir.

$$R_{GTSis} = R_{YY} \cdot R_{GT} \cdot R_{YAK} \cdot R_{AKT} \quad (6.16)$$

$$R_{GTSis} = 1,0 \cdot 0,9797 \cdot 1,0 \cdot 0,9922$$

$$\boxed{R_{GTSis} = 0,9720} \quad \text{Dizel Sistemi}$$

Ana tahrik sistemi olarak Dizel sistemini de Gaz Türbini sistemi gibi yardımcı elemanları ile modellemek gerekirse;



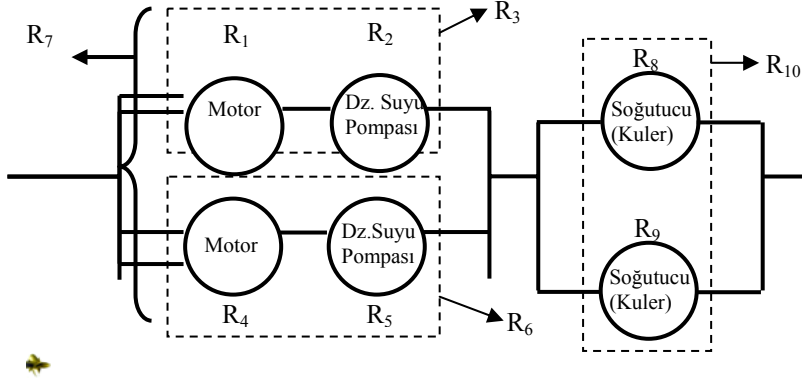
Şekil 6-6 Dizele Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli

şeklinde bir model oluşturulabilir. Bu kapsamda tüm sistemin güvenilirliğini hesaplayabilmek için modeli oluşturan her bir sistem/elemanın güvenilirliklerinin yine tek tek hesaplanması gerekmektedir. 6.1.1 konu başlığı altında hesaplanan Yakıt Sistemi, Yağlama Yağı Sistemi ve Aktarma Organı Güvenirlikleri Dizele sisteminde de aynı olacaktır.

Gaz türbini sisteminin soğutması, sistemin kompresör tarafından alınan hava ile yapıldığından Dizele sisteminde farklı olarak modele bir de soğutma suyu sistemi ilave edilmiştir.

#### 6.1.1.6 Soğutma Sistemi Güvenirliliği

Şekil 6-7'de görülen soğutma suyu sisteminin güvenilirlik analizi yapılacak olursa;



Şekil 6-7 Dizele Soğutma Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli

Deniz suyu pompası ve motoru için,

$$R_3 = R_1 \cdot R_2 \quad R_3 = 0,9997 \cdot 0,994 \quad R_3 = 0,9991 \quad (6.17)$$

$$R_6 = R_4 \cdot R_5 \quad R_6 = 0,9997 \cdot 0,9994 \quad R_6 = 0,9991 \quad (6.18)$$

$$R_7 = R_3 + R_6 - R_3 \cdot R_6 \quad R_7 = 0,9991 + 0,9991 - 0,9991 \cdot 0,9991 \quad (6.19)$$

$$R_7 = 0,9999 \cong 1$$

Soğutucular (Kulerler) için,

$$R_{10} = R_8 + R_9 - R_8 \cdot R_9 \quad R_{10} = 1,0 + 1,0 - 1,0 \cdot 1,0 \quad R_{10} = 1$$

(6.20)

olarak elde edilir. Soğutma Sisteminin toplam güvenilirliği birbirine seri olarak bağlı  $R_7$  ve  $R_{10}$  elemanlarının toplam güvenilirliği olan;

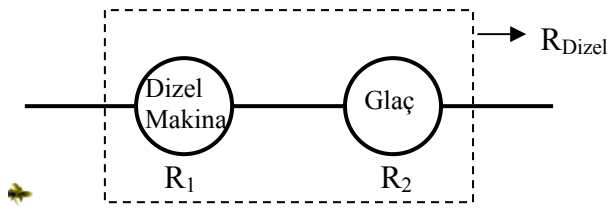
$$R_{Soğ} = R_7 + R_{10} - R_7 \cdot R_{10} \quad R_{Soğ} = 1,0 + 1,0 - 1,0 \cdot 1,0 \quad R_{Soğ} = 1$$

(6.21)

olarak bulunur.

### 6.1.1.7 Dizel Makina Güvenilirliği

Dizel makina sisteminin güvenilirlik analizi sonucunda;



Şekil 6-8 Dizel ve Bağlantı Sistemi Güvenirlik Analizi Modeli

Şeklinde modelleyebiliriz. Güvenilirlik analizi sonucunda,

$$R_{Dizel} = R_1 \cdot R_2 \quad R_{Dizel} = 0,9875 \cdot 0,9857 \quad R_{Dizel} = 0,9733 \quad (6.22)$$

elde edilir.

### 6.1.1.8 Tüm Sistem Güvenilirliği

Sistem elemanlarının 6.1.1 ve 6.1.2 konu başlıkları altında yapılan güvenilirlik analizleri neticesinde elde edilen sonuçlardan tüm sistemin güvenilirliği aşağıdaki gibi bulunur.

$$R_{DizelSis} = R_{YY} \cdot R_{Dizel} \cdot R_{YAK} \cdot R_{AKT} \cdot R_{Soğ} \quad (6.23)$$

$$R_{GTSis} = 1,0 \cdot 0,9733 \cdot 1,0 \cdot 0,9922 \cdot 1,0$$

$$\boxed{R_{DizelSis} = 0,9657}$$

### 6.1.2 Kombine Sistemler

Şu ana kadar yapılmış olan güvenilirlik hesaplamalarında gaz türbini veya dizel makinaların oluşturdukları sistemler ele alınmıştı. Günümüzde mevcut harp gemileri arasında bu tip, yani sadece bir adet gaz türbini ve şafttan yada sadece bir adet dizel makina ve şafttan oluşan makina sistemine sahip bir gemi tipi mevcut değildir. Ancak yapılan hesaplamalar sistemlerin güvenilirliği hakkında bir fikir vermesi açısından oldukça önemlidir.

Günümüz harp bahriyelerinde kullanılan fırkateynlerin tamamı Şekil 4-1’de ve Çizelge 4-1’de de görüleceği üzere gaz türbini ve/veya dizel kombinasyonlarından oluşan tahrik sistemlerine sahiptirler. Bu kombinasyonlardan CODAD, CODAG ve COGAG sistemlerinin güvenilirlik hesaplamaları alt maddelerde verilmiştir.

#### 6.1.2.1 CODAD Kombinasyonu

Şekil 6-9’da görülen CODAD kombinasyonunda,

- D1 ve D2 dizelleri birbirleri ile paralel bağlıdır. Paralel bağlı olan bu iki makinanın güvenilirlik hesaplaması,

$$D_5 = D_1 + D_2 - D_1 \cdot D_2 \quad (6.24)$$

şeklinde elde edilirken;

- Yine birbirleri ile paralel bağlı olan D3 ve D4 dizellerinin güvenilirlik hesaplaması,

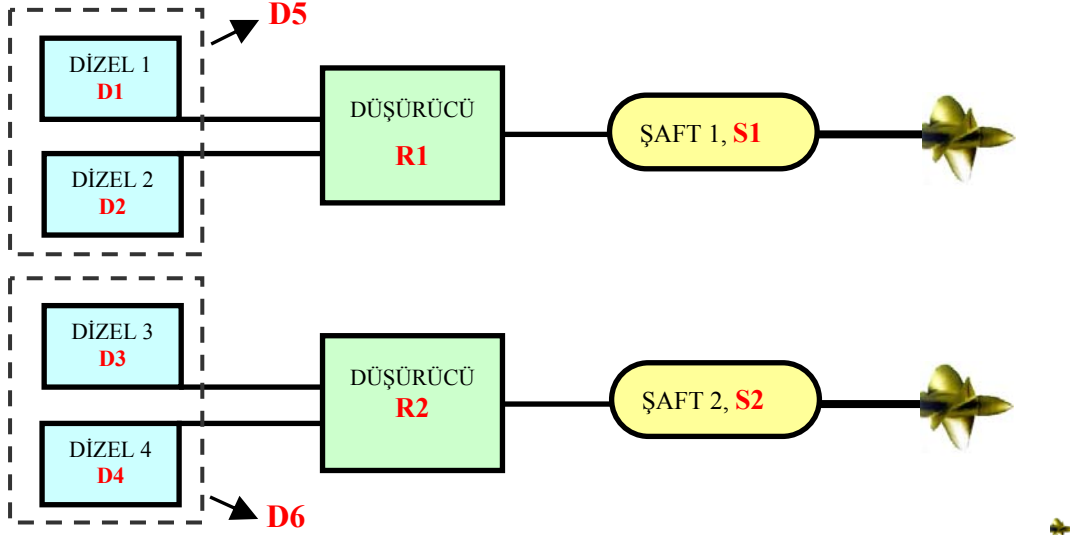
$$D_6 = D_3 + D_4 - D_3 \cdot D_4 \quad (6.25)$$

olmaktadır. Bu durumda;

$$D_5 = 0,9875 + 0,9875 - (0,9875 \cdot 0,9875) \Leftrightarrow D_5 = 0,9998 \quad (6.26)$$

$$D_6 = 0,9875 + 0,9875 - (0,9875 \cdot 0,9875) \Leftrightarrow D_6 = 0,9998 \quad (6.27)$$

olur.



Şekil 6-9 CODAD Kombinasyonu Güvenilirlik Modeli

Dizel makinaların, düşürücü ve şaft ile seri bağlı olduğu göz önüne alındığında bu durumda toplam sistem güvenilirliği,

$$R_{CODAD} = D_5 \cdot R_1 + D_6 \cdot R_2 - (D_5 \cdot R_1 \cdot D_6 \cdot R_2) \quad (6.28)$$

şeklinde yazılabilir. Değerler denklem 6.28’de yerine konulduğunda;

$$R_{CODAD} = 0,9998 \cdot 0,9964 \cdot 0,9964 \Rightarrow \boxed{R_{CODAD} = 0,9998} \quad (6.29)$$

olmaktadır.

### 6.1.2.2 CODAG Kombinasyonu

Şekil 6-10’da verilen CODAG sisteminin güvenilirlik analizi CODAD kombinasyonuna benzer şekilde elde edilebilir.

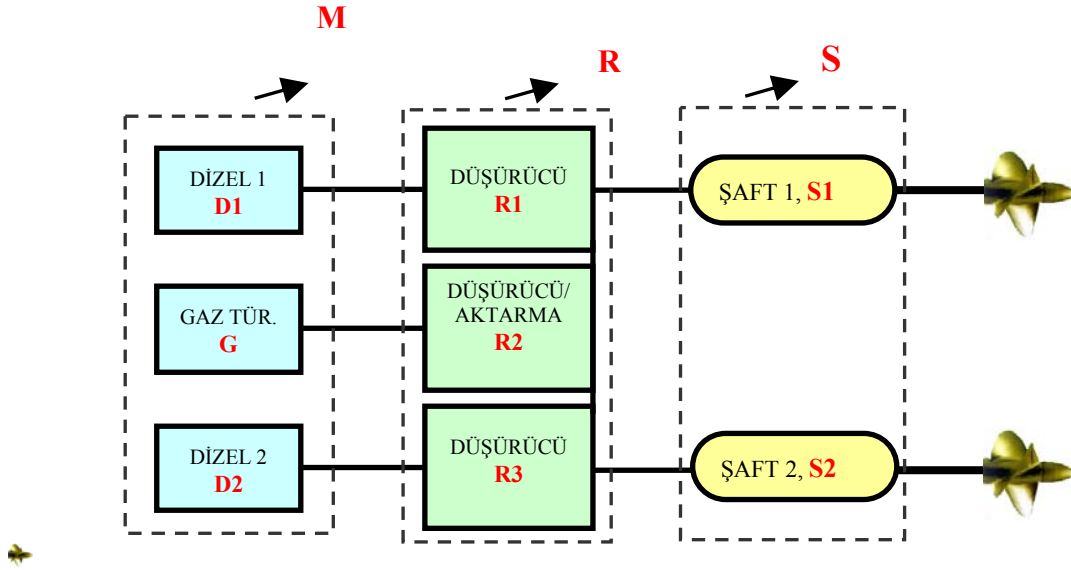
$D_1$ ,  $D_2$  ve  $G$  birbirleri ile paralel olmak üzere,

$$M = G + [D_1 + D_2 - (D_1 \cdot D_2)] - \{G \cdot [D_1 + D_2 - (D_1 \cdot D_2)]\} \quad (6.30)$$

$$M = 0,9999$$

elde edilir.





Şekil 6-10 CODAG Kombinasyonu Güvenilirlik Modeli

$R_1$ ,  $R_2$  ve  $R_3$  birbirleri ile seri olarak alındığında,

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdot R_3 \quad (6.31)$$

$$R = 0,9892$$

elde edilir.  $S_1$  ve  $S_2$ 'nin birbirleri ile paralel olması halinde,

$$S_1 = M \cdot R \quad (6.32)$$

$$S_2 = M \cdot R \quad (6.33)$$

$S_1 = S_2 = 0,9891$  olarak bulunur.

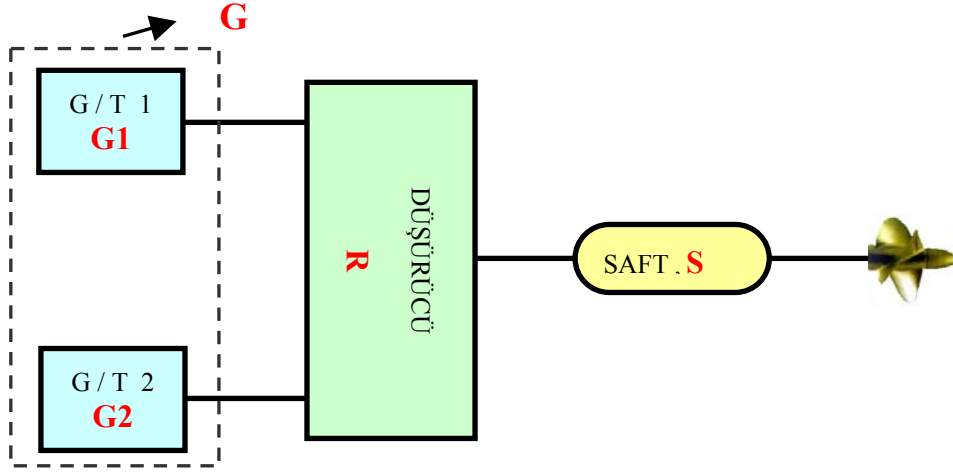
Sonuç olarak CODAG sistemi için güvenilirlik değeri,

$$R_{CODAG} = S_1 + S_2 - (S_1 \cdot S_2) \quad (6.34)$$

$R_{CODAG} = 0,9998$  olarak bulunur.

### 6.1.2.3 COGAG Kombinasyonu

Şekil 6-11'de verilen COGAG sisteminin güvenilirlik modelinde,  $G_1$  ve  $G_2$ 'nin birbirleri ile paralel,  $R$  ile seri olarak bağlı olduğunu görüyoruz. Bu durumda sistemin toplam güvenilirliği,



Şekil 6-11 COGAG Kombinasyonu Güvenilirlik Modeli

$$G = G_1 + G_2 - (G_1 \cdot G_2) \quad G = 0,9940 + 0,9940 - (0,9940 \cdot 0,9940) \quad (6.35)$$

$$G = 0,9999$$

$$R_{COGAG} = S = G \cdot R \quad (6.36)$$

$$R_{COGAG} = S = 0,9999 \cdot 0,9914$$

$$R_{COGAG} = 0,9913 \quad \text{şeklinde elde edilir.}$$

## 6.2 Aday Sistemlerin Seçim Kriterlerine Yönelik Etkinlik ve Maliyet Analizleri

Sistem tedarikinin ilk aşamalarında, sistem seçimi ile ilgili birçok kararın verilmesi sebebiyle, sistem etkinlik analizleri büyük öneme sahiptir. Sistemlerin seçimlerinde, ömür devri maliyet analizi ve ekonomik analizlerin kullanmasının en önemli nedenlerinden biri, maliyeti az olan sistemin tedarik edilmesi yönünde bir eğilim olmasındandır. Bununla beraber, sistemin işletme ve idame aşamasında karşılaşılabilecek problemler de göz önüne alınarak, maliyet-etkinlik analizinin yapılması gereklidir. Özellikle bir harp gemisinde maliyetten daha ziyade etkinlik ön plana çıkmaktadır. Maliyet-etkinlik kavramı basit olarak, teknik özellikleri itibariyle aynı niteliklere sahip ve aynı görevleri ifa eden sistemlerden ömür devri maliyeti en düşük olan sistemi seçmek olarak tanımlanabilir.

### 6.2.1 Etkinlik

Etkinlik, fonksiyonel analizler ve bakım analizleri sonucunda ortaya çıkar. Fırkateynimizin ana tahrik sistemi elemanlarının etkinlik analizini 4 ana başlık altında inceleyebiliriz. Bu ana başlıklar altında sistemin etkinliğini daha iyi saptayabilmemize yardımcı olacak alt başlıklar da belirlenir. Bunlar;

1. Parmak İzleri
  - a. Kızıl Ötesi (I/R) iz
  - b. Akustik İz
2. Performans
  - a. Reaksiyon Süresi
  - b. İlk Hareket Sistemi
  - c. Düşük Süratte Kullanım
  - d. Yakıt Tüketimi
3. Boyut
  - a. Ağırlık
  - b. Hacim
  - c. Emme/Egzost Alanları
  - d. Yakıt Kapasitesi
  - e. Düşürücü Boyutu
4. Bakım, İdame ve Maliyet.
  - a. İlk Kurulum
  - b. Ana Bakım (Periyot ve Maliyet)
  - c. Ara Bakım (Periyot ve Maliyet)
  - d. Özel Cihaz Gereksinimi
  - e. Arıza Sıklık Oranı

şeklinde sıralanabilir.

Belirlenen 3 adet aday tahrik sisteminin etkinlik analizi , 4 adet ana başlık altında olmak üzere toplam 16 adet alt başlık arasında karşılaştırmalı olarak yapılmıştır. Sistemlerin etkinlik oranlarının belirlenebilmesi için referans bir değere ihtiyaç duyulmaktadır. İhtiyaç duyulan bu değerler, aday sistemlere ait en iyi kriterler seçilerek belirlenmiş ve bunlara sahip bir referans sistem oluşturularak Çizelge 6-3, 6-4 ve 6-5'de görüldüğü gibi tüm karşılaştırmalar bu referans sistem üzerinden yapılmıştır.

### 6.2.1.1 Etkinlik Hesaplamaları

Belirlenen ana başlıkların etkinlik hesaplamasındaki yüzde olarak ağırlıkları ve alt başlıkların da ana kriterleri etkileme yüzdeleri Çizelge 6-2'de verilmiştir. Sistemin etkinliğinin hesaplanmasında kullanılacak ana oranlar bunlar olup kullanıcının gemi üzerindeki iradesine göre şekillenebilir ve farklılık gösterebilirler. Bu tezde incelenen Fırkateyn için olması istenilen değerler bu şekilde belirlenmiştir.

Alternatif olarak belirlenen sistemlerin etkinlik hesaplarında kullanılacak ölçütleri, Çizelge 6-2'de belirlenmiş yüzde oranları ile hesaplanmıştır. Alt başlıkların ana kriterin içerisindeki etkinlikleri, ana kriterin sistemin tümündeki yüzde olarak ağırlığından yola çıkılarak puan olarak belirlenmiştir. Elde edilen ve kriter olarak belirlenen değerler Çizelge 6-3'de sunulmuştur.

Tüm ana ve alt kriterleri tek bir birim üzerinden değerlendirebilmek için puan hesaplamaları yapılmış olan alt başlıklar normalize edilmiş olup elde edilen değerler Çizelge 6-4'de olduğu gibidir.

Alternatif sistemlere ait kriterlerin değerlendirilebilmeleri için, her bir alt kriterin ana kriter içerisindeki etkisini belirleyen puanlar hesaplanmış ve elde edilen değerler ve bu değerlerin gösterildiği grafikler Çizelge 6-5'de sunulmuştur.

Yapılan tüm bu analizlerin neticesinde elde edilen etkinlik değerlerinden fırkateynimize en uygun sistem olarak CODAG kombinasyonu belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 6-6'da belirtilmiştir.

### 6.2.2 Maliyet Hesaplamaları

Çizelge 6-7'de, geminin 30 yıl boyunca hizmette olacağı göz önüne alınmış ve yılda ortalama 2000 saat seyir yapacağı öngörülerek, Çizelge 3-4'de yer alan sürat kullanım yüzdeleri kullanılarak hangi sürat kademesinin kaç saat kullanıldığı belirlenmiş ve buna karşılık gelen yakıt tüketimi belirlenmiştir. Bu tabloda aynı zamanda belirlenen güç ihtiyaçlarına karşılık verebilecek sistemlerin yaklaşık tedarik maliyetleri ile ana ve ara bakım maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 6-8'de CODAG sisteminde yer alan Gaz türbini ve dizel makinaların istenilen sürate karşılık

- Her bir makina sisteminin kullanım yüzdelerine göre toplam çalışma saati belirlenmiş,
- Makina sistemlerinin çalışma saatlerine göre harcayacakları yakıt miktarı belirlenmiş,

- Tüm sistemin harcadığı yakıt üzerinden ortalama yakıt sarfiyatı tespit edilmiş,
- Ortalama yakıt sarfiyatı ile hedeflenen seyir sığasına ulaşılabilmesi için depolanması gereken yakıt miktarı belirlenmiş
- Toplam maliyet hesaplarında kullanılmak üzere çalışma saatlerinden yola çıkılarak 30 yıllık hizmetleri boyunca tabii tutulacakları ana ve ara bakım adetleri belirlenmiştir.

Çizelge 6-9'da da 6-8'de olduğu gibi aynı değerler CODAD ve COGAG sistemleri için hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 6-10'da sistemlerin, Çizelge 6-8 ve 6-9'da elde edilen verilerden faydalanılarak ilk kurulum, ana bakım, ara bakım ve yakıt maliyetleri verilmiştir.

Çizelge 6-11'de aday sistemler için hesaplanmış olan etkinlik ve maliyet değerleri bir grafik üzerine yerleştirilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 6-2 Ana Seçim Kriterleri ve Alt Başlıkları

1. KRİTERLER VE ALT BAŞLIKLARI											
ANA KRİTER 1	AĞIRLIĞI (%)		ANA KRİTER 2	AĞIRLIĞI (%)		ANA KRİTER 3	AĞIRLIĞI (%)		ANA KRİTER 4	AĞIRLIĞI (%)	
İZLER	20		PERFORMANS	45		BOYUT	10		BAKIM-İDAME-MALİYET	25	
ALT KRİTERLER	AĞR. (%)	BİRİM	ALT KRİTERLER	AĞR. (%)	BİRİM	ALT KRİTERLER	AĞR. (%)	BİRİM	ALT KRİTERLER	AĞR. (%)	BİRİM
I/R İz	60	---	Reaksiyon süresi	25	---	Ağırlık	25	ton	İlk Kurulum	25	\$
Akustik İz	40	---	İlk hareket sistemi	5	---	Hacim	15	m <sup>3</sup>	Ana Bakım	20	adet
			Düşük süratte kullanım	35	---	Emme/Egzoz Alanları	25	m <sup>3</sup>	Ara Bakım	20	adet
			Maksimum Sürat	10	knot	Yakıt miktarı	25	ton	Özel cihaz gereksinimi	10	---
			Yakıt tüketimi	25	ton/sa	Düşürücü Boyutu	10	m <sup>3</sup>	Arıza sıklık oranı	25	---
<p><b>ALTERNATİFLER :</b></p> <p>1 CODAG 1GT+2 D ; 1 GAZ TÜRBİNİ + 2 DİZEL (5000 kW)</p> <p>2 CODAD 4D ; 4 DİZEL (7400 kW)</p> <p>3 COGAG 2GT; 2 GAZ TÜRBİNİ</p>											

Çizelge 6-3 Ana ve Alt Kriterlere ait Veriler

2. VERİLER							
Ana Kriter 1				ALTERNATİFLER			
GEMİ İZİ				ALTERNATİFLER			
Ağırlığı (%) = 20				ALTERNATİFLER			
Alt Kriterler 1 :	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
I/R iz	---	60	0,120	0,5	0,25	1	0,25
Akustik iz	---	40	0,080	0,75	1	0,5	0,5
0	0	0	0,000				
0	0	0	0,000				
Ana Kriter 2							
PERFORMANS				ALTERNATİFLER			
Ağırlığı (%) = 45				ALTERNATİFLER			
Alt Kriterler 2 :	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
Reaksiyon süresi	---	25	0,113	0,25	1	0,25	0,25
İlk hareket sistemi	---	5	0,023	0,8	0,75	1	1
Düşük süratte kullanım	---	35	0,158	1	3	5	1
Maksimum Sürat	knot	10	0,045	29,75	27,5	32	32
Yakıt tüketimi	ton/sa	25	0,113	1,54	1,32	1,85	1,32

2. VERİLER (Devamı)							
Ana Kriter 3				ALTERNATİFLER			
BOYUT				ALTERNATİFLER			
Ağırlığı (%) =		10		CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
Alt Kriterler 3 :	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı				
Ağırlık (Modül Hariç)	ton	25	0,025	40,35	95,54	10,50	10,50
Hacim	m3	15	0,015	96,2	66	127	66
Emme/Egzoz Alanları	m3	25	0,025	19	6	26	6
Yakıt miktarı	ton	25	0,025	639,84	553,46	762,20	553,46
Düşürücü Boyutu	m3	10	0,010	1,5	1	1,2	1
Ana Kriter 4							
BAKIM-İDAME-MALİYET				ALTERNATİFLER			
Ağırlığı (%) =		25		CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
Alt Kriterler 4 :	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı				
İlk Kurulum	\$	25	0,063	9,3	12	9	9
Ana Bakım	adet	20	0,050	3	4	1	0
Ara Bakım	adet	20	0,050	3	5	0	0
Özel cihaz gereksinimi	---	10	0,025	0,5	1	0	1
Arıza sıklık oranı	---	25	0,063	2	4	1	1



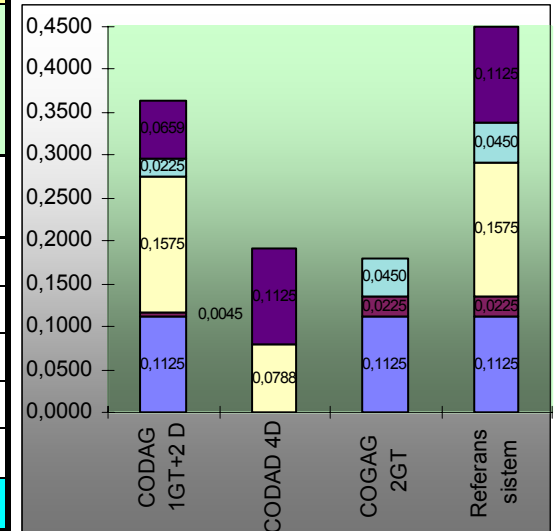
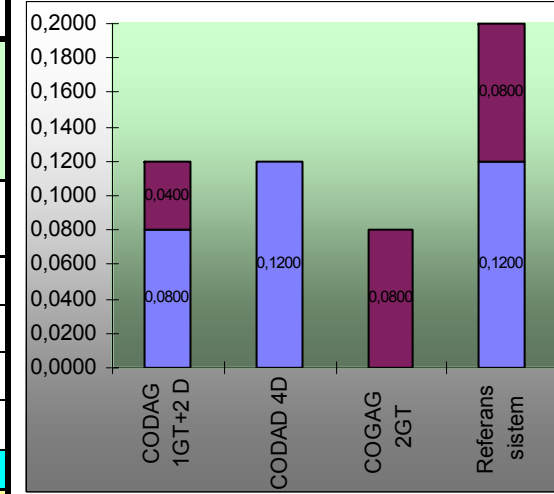
Çizelge 6-4 Ana ve Alt Kriterlere ait Değerlerin Normalizasyonu

3. NORMALİZASYON							
Ana Kriter 1				ALTERNATİFLERİN NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMU			
GEMİ İZİ							
Ağırlığı (%) = 20							
Alt Kriterler 1 :	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
I/R iz	---	60	0,12	0,67	1,00	0,00	1,00
Akustik iz	---	40	0,08	0,50	0,00	1,00	1,00
0	0	0	0				
0	0	0	0				
Ana Kriter 2				ALTERNATİFLERİN NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMU			
PERFORMANS							
Ağırlığı (%) = 45							
Alt Kriterler 2 :	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
Reaksiyon süresi	---	25	0,1125	1,00	0,00	1,00	1,00
İlk hareket sistemi	---	5	0,0225	0,20	0,00	1,00	1,00
Düşük süratte kullanım	---	35	0,1575	1,00	0,50	0,00	1,00
Maksimum Sürat	kts.	10	0,045	0,50	0,00	1,00	1,00
Yakıt tüketimi	t/sa	25	0,1125	0,59	1,00	0,00	1,00

3. NORMALİZASYON (Devamı)							
Ana Kriter 3				ALTERNATİFLERİN NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMU			
BOYUT							
Ağırlığı (%) = 10							
Alt Kriterler 3 :				CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı				
Ağırlık	ton	25	0,025	0,65	0,00	1,00	1,00
Hacim	m3	15	0,015	0,50	1,00	0,00	1,00
Emme/Egzoz Alanları	m3	25	0,025	0,35	1,00	0,00	1,00
Yakıt miktarı	ton	25	0,025	0,59	1,00	0,00	1,00
Düşürücü Boyutu	m3	10	0,01	0,00	1,00	0,60	1,00
Ana Kriter 4							
BAKIM-İDAME- MALİYET				ALTERNATİFLERİN NORMALİZE EDİLMİŞ DURUMU			
Ağırlığı (%) = 25							
Alt Kriterler 4 :				CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
	Birimi	Ağırlığı (%)	Puanı				
İlk Kurulum	\$	25	0,0625	0,90	0,00	1,00	1,00
Ana Bakım	adet	20	0,05	0,40	0,20	0,80	1,00
Ara Bakım	adet	20	0,05	0,40	0,00	1,00	1,00
Özel cihaz gereksinimi	---	10	0,025	0,50	1,00	0,00	1,00
Arıza sıklık oranı	---	25	0,0625	0,67	0,00	1,00	1,00

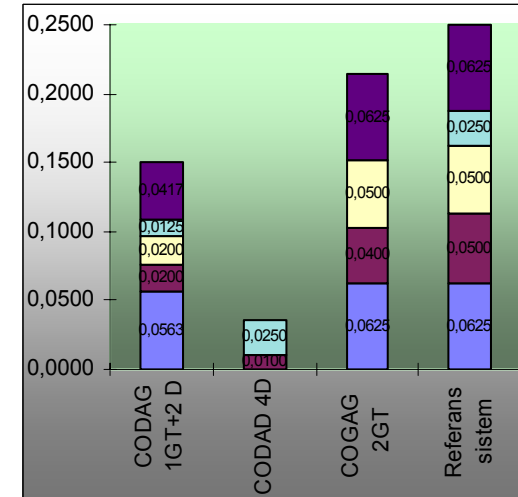
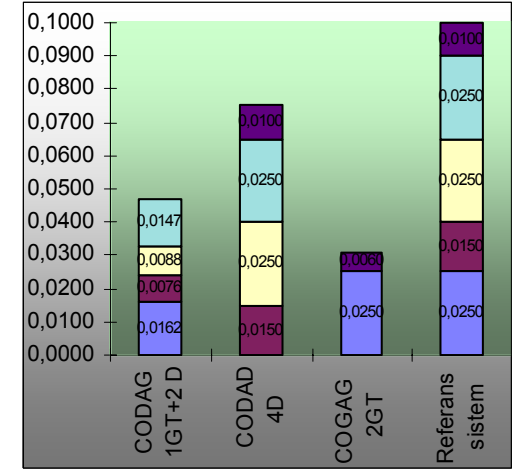
Çizelge 6-5 Ana ve Alt Kriterlere ait Değerlerin Etkinlik Oranları

4. ETKİNLİK ORANLARI						
Ana Kriter 1			ALTERNATİFLERİN ETKİNLİK ORANLARI (%)			
GEMİ İZİ			CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans sistem
Ağırlığı (%) = 20		Puanı				
Alt Kriterler 1 :	Ağırlığı (%)	Puanı				
I/R iz	60	0,12	0,0800	0,1200	0,0000	0,1200
Akustik iz	40	0,08	0,0400	0,0000	0,0800	0,0800
0	0	0				
0	0	0				
ANA KRİTER 1 İÇİN ETKİNLİK =			0,1200	0,1200	0,0800	0,2000
Ana Kriter 2			ALTERNATİFLERİN ETKİNLİK ORANLARI (%)			
PERFORMANS			CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans sistem
Ağırlığı (%) = 45		Puanı				
Alt Kriterler 2 :	Ağırlığı (%)	Puanı				
Reaksiyon süresi	25	0,1125	0,1125	0,0000	0,1125	0,1125
İlk hareket sistemi	5	0,0225	0,0045	0,0000	0,0225	0,0225
Düşük süratte kullanım	35	0,1575	0,1575	0,0788	0,0000	0,1575
Maksimum Sürat	10	0,045	0,0225	0,0000	0,0450	0,0450
Yakıt tüketimi	25	0,1125	0,0659	0,1125	0,0000	0,1125
ANA KRİTER 2 İÇİN ETKİNLİK =			0,3629	0,1913	0,1800	0,4500

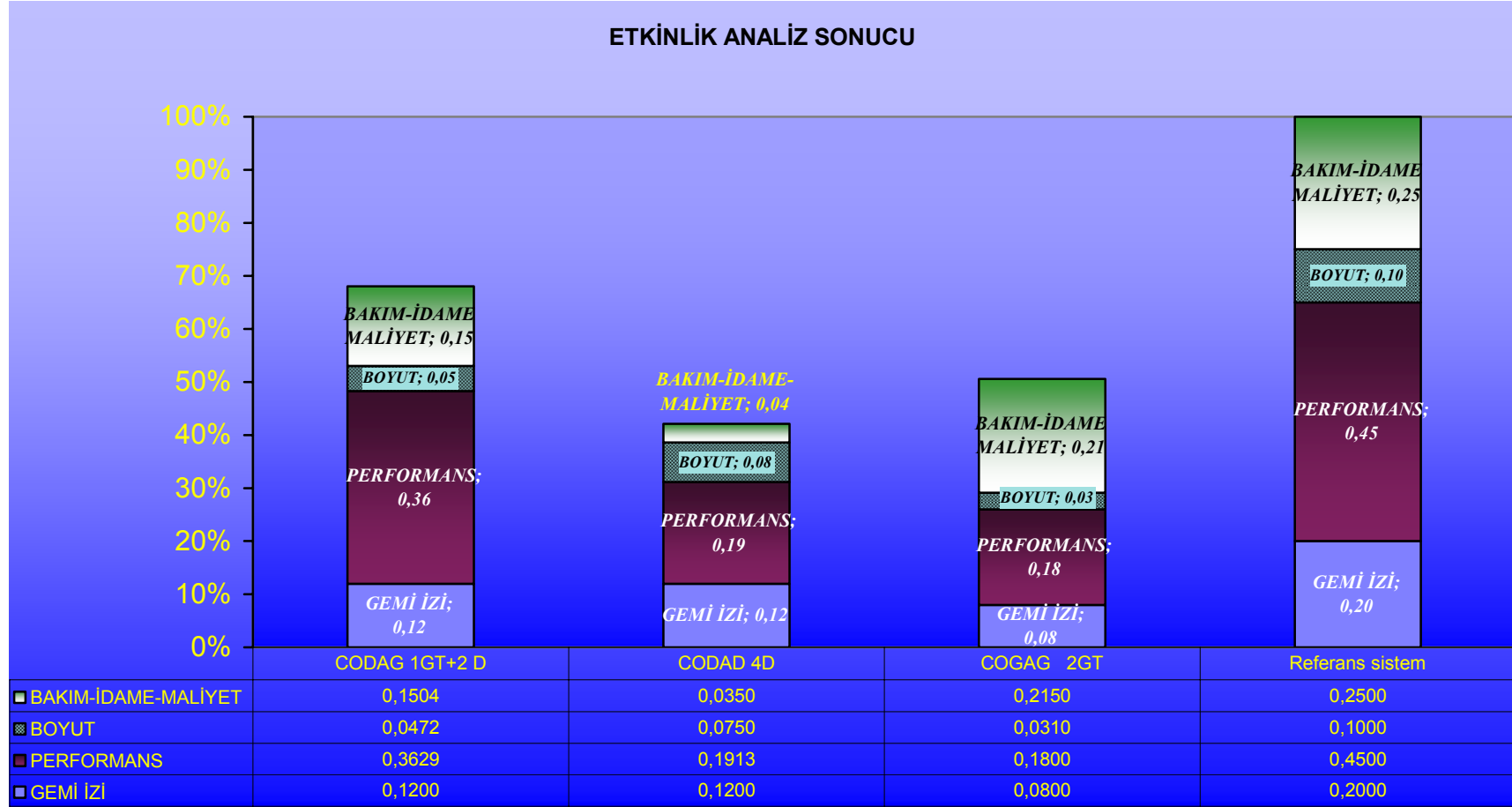


#### 4. ETKİNLİK ORANLARI (Devamı)

Ana Kriter 3			ALTERNATİFLERİN ETKİNLİK ORANLARI (%)			
BOYUT						
Ağırlığı (%) = 10						
Alt Kriterler 3 :	Ağırlığı (%)	Puanı	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans sistem
Ağırlık	25	0,025	0,0162	0,0000	0,0250	0,0250
Hacim	15	0,015	0,0076	0,0150	0,0000	0,0150
Emme/Egzoz Alanları	25	0,025	0,0088	0,0250	0,0000	0,0250
Yakıt miktarı	25	0,025	0,0147	0,0250	0,0000	0,0250
Düşürücü Boyutu	10	0,01	0,0000	0,0100	0,0060	0,0100
ANA KRİTER 3 İÇİN ETKİNLİK =			0,0472	0,0750	0,0310	0,1000
Ana Kriter 4			ALTERNATİFLERİN ETKİNLİK ORANLARI (%)			
BAKIM-İDAME-MALİYET						
Ağırlığı (%) = 25						
Alt Kriterler 4 :	Ağırlığı (%)	Puanı	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans sistem
İlk Kurulum	25	0,0625	0,0563	0,0000	0,0625	0,0625
Ana Bakım	20	0,05	0,0200	0,0100	0,0400	0,0500
Ara Bakım	20	0,05	0,0200	0,0000	0,0500	0,0500
Özel cihaz gereksinimi	10	0,025	0,0125	0,0250	0,0000	0,0250
Arıza sıklık oranı	25	0,0625	0,0417	0,0000	0,0625	0,0625
ANA KRİTER 4 İÇİN ETKİNLİK =			0,1504	0,0350	0,2150	0,2500



Çizelge 6-6 Etkinlik Analiz sonucu

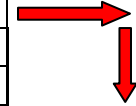


ALTERNATİF :	CODAG 1GT+2 D	CODAD 4D	COGAG 2GT	Referans Sistem
TOPLAM ETKİNLİK :	68,1%	42,1%	50,6%	100,0%

Çizelge 6-7 Alternatif Sistemlerin Hesaplara Esas Değerleri

**HESAPLAMA DEĞERLERİ**

YILLIK SEYİR SAATİ	2000					
HİZMET SÜRESİ (YIL)	30					
İNTİKAL SÜRAT (knot)	15					
SÜRAT KADEMELERİ	0-5 KTS	5-10 KTS	10-15 KTS	15-20 KTS	20-25 KTS	25-30 KTS
SÜRAT YÜZDELERİ	0,12	0,23	0,36	0,16	0,08	0,06
SÜRAT KULLANIM SAATİ (saat)	7422	13506	21378	9618	4572	3504
GÜÇ İHTİYACI (KW)	114,28	744,3	2881,87	8328,28	18008,2	44800
						29000
DİZEL YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT) (CODAD 7400 KW)	0,03	0,17	0,68	1,96	4,23	6,82
DİZ. YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT) (CODAG 5000 KW)	0,02	0,16	0,61	1,75	3,78	2,94
DİZEL JEN.YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT)	0,105					
G/T YAKIT TÜKETİMİ (TON SAAT)	0,03	0,19	0,72	2,08	4,50	7,50
	<b>TEDARİK</b>		<b>ARA BAKIM</b>		<b>ANA BAKIM</b>	
DİZEL (5000 KW) MALİYETİ (M\$) (CODAG)	2,4		0,7		1,14	
DİZEL (7400 KW) MALİYETİ (M\$) (CODAD)	3		0,8		1,2	
G/T MALİYETİ (M\$)	4,5		0		1,4	
DİZ. ARA BAKIM SAATİ (CODAG 5000 KW)	7500					
DİZ. ARA BAKIM SAATİ (CODAD 7400 KW)	4500					
DİZ. ANA BAKIM SAATİ (CODAD 7400 KW)	9000					
DİZ. ANA BAKIM SAATİ (CODAG 5000 KW)	15000					
GAZ TÜRBİN ANA BAKIM SAATİ (LM 2500 veya Rolls Royce MT-30)	30000					



(CODAG G/T için)  
(CODAD Dizel için)

Çizelge 6-8 Alternatif Sistemlerin Değerleri (CODAG)

**ALTERNATİF SİSTEMLERİN DEĞERLERİ**

<b>CODAG 1GT+2 D</b>	<b>1 GAZ TÜRBİNİ + 2 DİZEL (5000 kW)</b>					
<b>SÜRAT KADEMELERİ</b>	0-5 KTS	5-10 KTS	10-15 KTS	15-20 KTS	20-25 KTS	25-30 KTS
<b>SÜRAT KULLANIM SAATİ (saat)</b>	7422	13506	21378	9618	4572	3504
<b>SEYİR KONFIGURASYONU</b>	1 DİZEL	1 DİZEL	1 DİZEL	G/T	G/T	G/T+2 DİZ.
<b>HERBİR DİZEL ÇALIŞMA SAATİ (saat)</b>	3711	6753	10689	0	0	3504
<b>G/T ÇALIŞMA SAATİ (saat)</b>			0	9618	4572	3504
<b>HERBİR DİZEL TOP. ÇALIŞMA SAATİ</b>	24657					
<b>G/T TOPLAM ÇALIŞMA SAATİ(saat)</b>	17694					
<b>BAKIM İHTİYACI (adet)</b>	<b>DİZ. ARA BAK.</b>	3	<b>DİZ. ANA BAK.</b>	1	<b>G/T ANA BK</b>	0
<b>BAKIM MALİYETİ (M\$)</b>	6,48					
<b>YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT)</b>	0,02	0,16	0,61	2,08	4,50	10,44
<b>ORT. YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT)</b>	1,540290647					
<b>YAKIT MİKTARI</b>						
<b>ORTALAMA KULLANIM İLE (TON)</b>	639,84					
<b>DİZEL İNTİKAL SÜRATİ İLE (TON)</b>	276,19					
<b>G/T İNTİKAL SÜRATİ İLE (TON)</b>	280,18					

Çizelge 6-9 Alternatif Sistemlerin Değerleri (CODAD ve COGAG)

**ALTERNATİF SİSTEMLERİN DEĞERLERİ**

<b>CODAD 4D</b>	<b>4 DİZEL (7400 kW)</b>					
SEYİR KONFIGURASYONU	1D	1D	1D	2D	4D	4D
HERBİR DİZEL ÇALIŞMA SAATİ	1856	3377	5345	4809	4572	3504
HERBİR DİZ.TOP.ÇALIŞMA SAATİ	23461,5					
BAKIM İHTİYACI (adet)	DİZ. ARA BAK.	5		DİZ. ANA BAK.	2	
BAKIM MALİYETİ (M\$)	23,12					
YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT)	0,03	0,17	0,68	1,96	4,23	6,82
ORT.YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT)	1,318194141					
YAKIT MİKTARI						
ORTALAMA KULLANIM İLE (TON)	553,46					
DİZEL İNTİKAL SÜRATİ İLE (TON)	276,19					
<b>COGAG 2GT</b>	<b>2 GAZ TÜRBİN</b>					
SEYİR KONFIGURASYONU	1G/T	1G/T	1G/T	1G/T	1G/T	2G/T
HERBİR G/T ÇALIŞMA SAATİ	3711	6753	10689	4809	2286	3504
HERBİR G/T TOP.ÇALIŞMA SAATİ	31752					
BAKIM İHTİYACI (adet)	G/T ANA BAK.	1		G/T ARA BAK.	0	
BAKIM MALİYETİ (M\$)	2,8					
YAKIT TÜKETİMİ (TON/SAAT)	0,03	0,19	0,72	2,08	4,50	15,00
ORT. YAKIT TÜK. (TON/SAAT)	1,85					
YAKIT MİKTARI						
ORTALAMA KULLANIM İLE (TON)	762,20					
G/T İNTİKAL SÜRATİ İLE (TON)	280,18					



Çizelge 6-10 Alternatif Sistemlerin Maliyet Özetleri

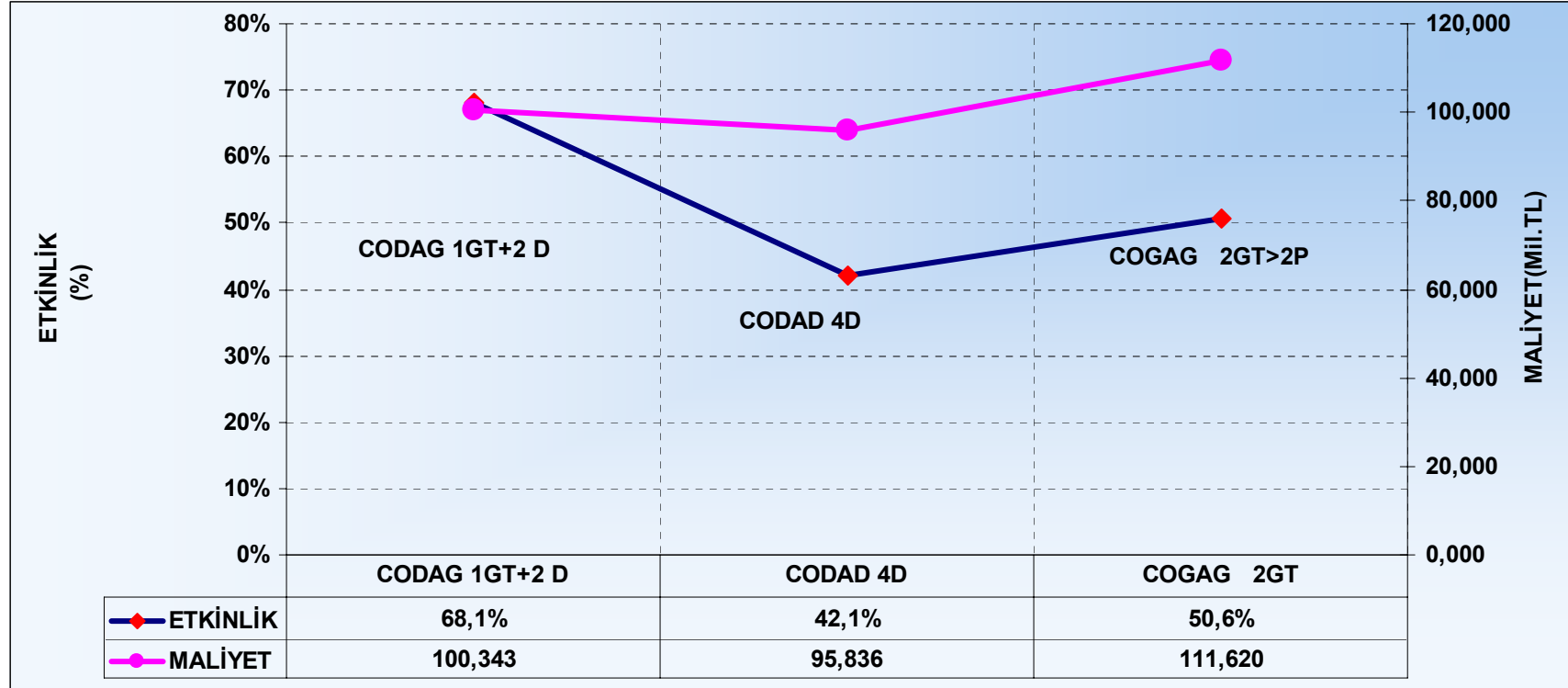
<b>HARCAMA KALEMİ</b>	<b>ALTERNATİFLER</b>		
	<b>CODAG 1 GT+2 D</b>	<b>CODAD 4 D</b>	<b>COGAG 2 GT</b>
İlk Kurulum (Mil. TL)	15.75	18	13.5
Ara Bakım Maliyeti (Mil. TL)	3.15	6	0
Ana Bakım Maliyeti(Mil. TL)	1.71	3.6	2.1
ToplamYakıt Maliyeti (Mil. TL)	79.73	68.24	96.02
<b>TOPLAM (Mil. TL)</b>	<b>100.34</b>	<b>95.84</b>	<b>111.62</b>

1 Lt. motorin= 1,1 TL olarak,

1 \$=1,5 TL olarak alınmıştır.

Çizelge 6-11 Maliyet Etkinlik İnceleme Sonuçları

### MALİYET-ETKİNLİK İNCELEME SONUÇLARI



## 7. SONUÇ

Tez içerisinde ana makine sistemlerini oluşturan elemanlardan Dizel Makinaların, Gaz Türbinlerinin ve bu iki unsurun tek tek ve birbirleri ile oluşturdukları CODAG, CODAD ve COGAG kombinasyonlarının güvenilirlik analizleri yapılmış, aday sistemlerin etkinlikleri hesaplanarak belirlenen etkinlik üzerinde ömür devrindeki maliyet hesabı yapılmıştır.

Aday sistemler arasından seçim yapmaya yönelik kullanılacak değerler Çizelge 7-1’de sunulmuştur.

Çizelge 7-1 Aday Sistemlerin Seçim Kriterleri Sonuçları

<b>Sistem</b>	<b>Güvenilirlik</b>	<b>Etkinlik (%)</b>	<b>Maliyet (Mil. TL)</b>	<b>Birim Etkinlik İçin Maliyet (Mil. TL)</b>
CODAD	0,9998	42,1	95,836	2,27
CODAG	0,9998	68,1	100,343	1,47
COGAG	0,9913	50,6	111,620	2,20

Çizelge 7-1’de de görüleceği üzere CODAD ve COGAG sistemleri güvenilirlik açısından 0,9998 gibi yüksek bir değere sahipken COGAG sistemi gerek sistemde bulunan tahrik elemanı azlığından (2 adet Gaz türbini) gerekse tek şafta sahip olmasından dolayı 0,9913 gibi düşük bir değere sahiptir.

Maliyet açısından en düşük değere CODAD sistemi, en yüksek değere ise COGAG sistemi sahiptir. Ancak sistemlerin esas unsur olan etkinlikleri ile birlikte maliyetlerini değerlendirdiğimizde CODAG sistemi birim etkinlik için en uygun maliyet değeri ile öne çıkmaktadır.

Yapılan tüm bu analizler neticesinde elde edilen veriler ışığında inşa edilecek yeni nesil bir Hava Savunma Harbi Fırkateyni için en uygun ana tahrik sisteminin 1 adet Gaz türbini ve 2 adet Dizel makinadan oluşan 2 şaftlı CODAG kombine sistemi olduğu ortaya çıkmaktadır.

**KAYNAKLAR**

- Barrass, C.B., (2004), *Ship Design and Performance for Masters and Mates*, Elsevier Limited, Oxford.
- Beck, D. ve Lord, J., (1998), "Design And Production Of ANZAC Frigates", *Journal of Ship Production*, 14(2): 85-109.
- Blount, D.L. ve Bartee, R.J., (1996), "Design of Propulsion Systems for High-Speed Craft", *Marine Technology*, 34(4), 276-292.
- Boyce, M.P., (2006), *Gas Turbine Engineering Handbook*, Gulf Professional Publishing, Oxford.
- Carlton, J.S., (2007), *Marine Propellers and Propulsion*, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Chris, Hodge C., Williamson, S. ve Smith, S., (2007), "Direct Drive Marine Propulsion Motors", Rolls-Royce Naval Marine.
- Çelebi, M.S., Cin, S., Özer, S. ve Donbaloğlu, B., (1999), "Uçak Gemilerinin Genel Dizayn Parametreleri Üzerine", *Gemi İnşaatı Ve Deniz Teknolojisi Teknik Kongresi 99*, İstanbul.
- Fitzsimonds, J.R., (1980), "Performance Optimization in Surface Warship Design", Massachusetts Institute Of Technology.
- Genova, P., Marchello, G.B., Tortarolo F., (1999), "All Electric Ship: Oppurtinity or Necessity?", RTO Applied Vehicle Technology Panel (AVT) Symposium, 18-21 October 1999, Ottawa, Canada.
- Horlock, J. H., (2003), *Advanced Gas Turbine Cycles*, Elsevier Science, England.
- Jane's, (2004), *Jane's Fighting Ships 2004*, Elektronik Yayım, 2004.
- Kambanis, L., (1995), "Analysis And Modeling Of Power Transmitting Systems For Advanced Marine Vehicles", Massachusetts Institute Of Technology.
- Kiameh, P., (2002), *Power Generation Handbook Selection, Application, Operations and Maintenance*, McGraw-Hill Professional.
- Lee, D., Lee, K., ve Han, S., (1995), "Intelligent Selection of Main Engine at the Preliminary Design Stage of Ships", *Journal of Ship Production*, 11(4):245-251.
- MacKenzie, S.C. ve Tuteja, R., (2006), "Modular Capabilities for the Canadian Navy's Single Class Surface Combatant", Defence R&D Canada – Ottawa Contract Report.
- Michell, W.R., (1971), "A Design Guide For Naval Ship Propulsion Plants", Massachusetts Institute Of Technology.
- Mueller, S., (2007), "The New MTU Engine Series 4000 03 for Future Naval Propulsion Systems", MTU Yayınları.

- Okan, O.B., (2005), Savaş Gemilerinde Egzoz ve Baca Sistemleri ve Tasarımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Oller, E., Nikou, V., Psallidas, K., (2003), "Focused Mission High Speed Combatant", Massachusetts Institute Of Technology.
- Rawson, K.J. ve Tupper, E.C., (2001), Basic Ship Theory Vol.1, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Rawson, K.J. ve Tupper, E.C., (2001), Basic Ship Theory Vol.2, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Rolls-Royce, (2004), Possible Systems Options Available From Rolls-Royce, Brouchure.
- RTO (Research And Technology Organisation) Technical Report, (2007), "Performance Prediction and Simulation of Gas Turbine Engine Operation for Aircraft, Marine, Vehicular, and Power Generation", RTO/NATO.
- Schank, J., Birkler J., Keating, E., Mattock, M. , MacKinnon, M. ve Rushworth, D., (1999), CVX Propulsion System Decision, National Defense Research Institute.
- Schneekluth, H. ve Bertram, V., (1998), Ship Design for Efficiency and Economy, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Schultz, J., Baity, J., Kast, E., Wilde, J., Reimold, N. ve Hardy, R., (2006), "Design Report Air Superiority Cruiser (CGX) VT Total Ship Systems Engineering", Virginia Tech Team.
- Snyder, L., Sattler, A.M., Kipp, M., Eberle, J. ve Downing, W., (2007), "Design Report Area Defense Frigate", Virginia Tech Team.
- Storch, R.L., Hammon, C.P., Bunch, H.M. ve Moore, R.C., (1995), Ship Production, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New Jersey.
- Sullivan, P.E., (1980), "A Comperative Analysis of Small Combatant Ships", Massachusetts Institute Of Technology.
- Şener, B., (2010), Devam eden Doktora Tezi Çalışması, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Taggard, R., (1980), Ship Design and Constructions, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, New York.
- Taylor, D. A., (1996), Introduction to Marine Engineering, Elsevier Ltd., Oxford.
- Eyres, D. J., (2007), Ship Construction, Elsevier Limited, Oxford.
- Trappe, R., (2001), Concept Exploration for a Future Frigate/Destroyer Size Warship, Naval Postgraduate School, Monterey.
- Watier, B., (1999), Power Systems on Board With Gas Turbines", RTO Applied Vehicle Technology Panel (AVT) Symposium, 18-21 October 1999, Ottawa, Canada.
- Watson, D.G.M., (1998), Practical Ship Design Vol.1, Elsevier Science Lt., Oxford.

Woodyard, D., (2004), *Pounder's Marine Diesel Engines and Gas Turbines*, Elsevier Ltd., Oxford.

Wright, N., (1999), "The Future of Royal Navy Marine Gas Turbines and Their Application", RTO Applied Vehicle Technology Panel (AVT) Symposium, 18-21 October 1999, Ottawa, Canada.

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum Tarihi	04.05.1970	
Doğum Yeri	Isparta	
Lise	1984-1988	Deniz Lisesi K.lığı
Lisans	1988-1992	Deniz Harp Okulu K.lığı
Yüksek Lisans	2007-2010	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Mühendisliği Anabilim Dalı

**Çalıştığı Kurumlar**

1992-1999	TCG Kılıçalipaşa K.lığında Yarasavunma Subayı
1999-2000	TCG Karadeniz K.lığında Kazan Subayı
2000-2002	TCG Karadeniz K.lığında II.Çarkçı
2002-2004	TCG Gökova K.lığında II.Çarkçı
2004-2007	TCG Gökova K.lığında Başçarkçı
2007-2007	Gölcük Tersanesi K.lığı Elk. ve Güç Elektroniği Fb. Md.
2007-2010	Gölcük Tersanesi K.lığı Fırkateyn Onr.Pln.Subayı