T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVAŞ GEMİLERİNİN TASARIM AŞAMASINDA BEKA YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kadir ATASEVEN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman

Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ

Temmuz, 2019

T.C.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVAŞ GEMİLERİNİN TASARIM AŞAMASINDA BEKA YÖNÜNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kadir ATASEVEN tarafından hazırlanan tez çalışması 18.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Prof. Dr. Fahri ÇELİK, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi _____

Doç. Dr. Veysel ALANKAYA, Üye
Milli Savunma Üniversitesi _____

Danışmanım Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Savaş Gemilerinin Tasarım Aşamasında Beka Yönünden Değerlendirilmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Kadir ATASEVEN

Değerli eşim Aslı ve ilham kaynağım oğlum Batu'ya
ithafen yazılmıştır.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın hazırlanmasında değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, her türlü desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca ihtiyacım olduğu her anda yardımını esirgemeyen kız kardeşim Dr. Öğr. Üyesi Burçin ATASEVEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman desteklerini ve güvenlerini hissettiğim aileme de teşekkürü bir borç bilirim.

Kadir ATASEVEN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ VIII
KISALTMA LİSTESİ XI
ŞEKİL LİSTESİ XIII
TABLO LİSTESİ XVI
ÖZET XVII
ABSTRACT XIX
1 Giriş 1
1.1 Literatür Özeti 4
1.2 Tezin Amacı 9
1.3 Orijinal Katkı 9
1.4 Gemi Dizaynına Genel Bakış 9
1.5 Gemi İnşa Sürecinde Erken Aşama Tasarımının Önemi 11
2 Beka Kabiliyetine Genel Bakış 14
2.1 Beka Kabiliyetinin Tanımı 14
2.2 Beka Kabiliyetinin Risk Metodoloji Açısından Değerlendirilmesi 18
2.3 Beka Kabiliyetinin Fonksiyonları 27
2.3.1 Vurulabilirlik 27
2.3.2 Yaralanabilirlik 40
2.3.3 Hasar Kontrol ve Geri Kazanabilirlik 55
2.4 Bilgisayar Destekli Beka Kabiliyeti Değerlendirilmesi 56
2.4.1 Geminin Genel Tanımı 57
2.4.2 Senaryo 59

2.4.3 Tanımlar 59
2.4.4 Değerlendirme Sonuçları 61
3 Beka Kabiliyeti İyileştirme Yöntemleri 69
3.1 Vurulabilirlik Azaltma Yöntemleri 69
3.1.1 Platform İzinin Azaltılması 70
3.1.2 Tehdit Uyarma Sistem/Cihazların Kullanılması 89
3.1.3 Tehdit Önleme Sistemlerinin Kullanılması 92
3.1.4 Entegre Kuvvet Ağı 94
3.2 Yaralanabilirlik Azaltma Yöntemleri 97
3.2.1 Yapısal/Gövde Sağlamlığı 98
3.2.2 Kritik Ekipman 100
3.2.3 Yara Savunma 102
4 Savaş Gemisi Tasarımında Beka Kabiliyetinin Değerlendirilmesine İlişkin Metodoloji 107
5 Sonuç 116
Kaynakça 119

SİMGE LİSTESİ

A	Nesne Yüzeyi
A	Ulaşılan Bölmeleme İndeksi
AP	Kıç Dikey
B	Gemi Genişliği
B	Radar Bant Genişliğini
BM	Enine Metasantr Yarıçapı
B(WL)	Su hattı genişliği
c	Işık Hızı
Cb	Blok Katsayısı
Cm	Orta Kesit Narinlik Katsayısı
Cp	Prizmatik Katsayı
Cwp	Su Hattı Alan Katsayısı
D	Yönelme Özelliği
g	Yerçekimi İvmesi
G	Anten Kazancı
GM	Ağırlık Merkezinin Metasantr Noktasına Olan Uzaklığı
GZ	Doğrultucu Moment Kolu
F	Radar Alıcısının Gürültü Değeri
f_0	Radar İşletme Frekansı
FP	Baş Dikey
H	Dalga yüksekliği
HA	Yatırıcı Moment Kolu
k	Boltzmann Sabiti

KB	Su Altı Hacim Merkezinin Kaide Hattından Uzaklığı
KG	Ağırlık Merkezinin Kaide Hattından Uzaklığı
L	Radar Kayıpları
LBP	Dikeyler Arası Boy
LCB	Boyuna Yüzdürme Yeteneği Merkezi
LCF	Boyuna Yüzme Yeteneği Merkezi
LEP	Olası Doğrusal Hata
LOA	Tam Boy
LOH	Hasar Boyu
LWL	Su Hattı Boyu
N	Merminin Maksimum Dönüş İvmesi
p	Bir Kompartıman/Kompartıman Grubunun Yaralanma Olasılığı
P_A	Aktif Tehdit Olasılığı
$P_{D/A}$	Algılanma Olasılığı
P_E	Angajmana Uğrama Olasılığı
$P_{E/A}$	Aktif Tehdit Tarafından Geminin Angajmana Uğrama Olasılığı
P_{fa}	Hatalı Alarm Olasılığı
P_H	Vurulma Olasılığı
$P_{H/I}$	Merminin İsabet Olasılığı
$P_{H/SS}$	Angajman Geliştirilen Geminin İsabet Alma Olasılığı
$P_{I/L}$	Merminin Gemiye Yaklaşması / Kesişmesi Olasılığı
P_K	Öldürülebilirlik
$P_{K/H}$	Yaralanma Olasılığı
$P_{K/SS}$	Tek Atışlık Angajman Olayının Öldürme Olasılığı
$P_{L/D}$	Traklanma ve Merminin Ateşlenmesi Olasılığı

P_R	Geri Kazanabilirlik Olasılığı
P_S	Savaş Gemisinin Hayatta Kalma Olasılığı
P_{SS}	Tek Bir Atış Olasılığı
P_T	Tepe Gücü
R	Yansıma Özelliği
R	Gerekli Bölmeleme İndeksi
R_{mak}	Maksimum Algılama Mesafesi
R_{regain}	Merminin Geminin Bulunduğu Yerin Net Bir Resmini Alacağı Mesafe
R_{SK}	Kesin Ölüm Yarıçapı
R_{SS}	Kesin Kurtulma Yarıçapı
s	Bir Kompartıman/Kompartıman Grubunun Kurtulma Olasılığı
SNR_{min}	Saptama İçin Radar Eşiği
T	Su Çekimi
T_0	Radar Isısı
V	Gemi Hızı
V	Hacim
V_m	Mermi Hızı
σ	Radar Kesit Alanı
λ	Radar Frekansının Dalga Boyu
τ	Radar Sinyal Genişliği

KISALTMA LİSTESİ

AMM	Anti-missile Missile (Mermi Karşıtı Mermi)
ASAP	Advanced Survivability Analysis Program (Geliştirilmiş Beka Kabiliyeti Analiz Programı)
ASM	Anti-ship Missile (Gemi Karşıtı Mermi)
BuShips	The United States Navy's Bureau of Ships (A.B.D. Deniz Kuvvetleri Gemi Bürosu)
CEC	US Cooperative Engagement Capacity (A.B.D. Kooperatif Angajman İşletmeciliği)
CIWS	Close-in Weapon System (Yakın Savunma Sistemi)
DDS 079-1	Amerikan Donanma Kuralları
ECM	Electronic Countermeasures (Elektronik Karşı Koyma Tedbirleri)
ESSM	Evolved Sea Sparrow Missile (Geliştirilmiş Deniz Güdümlü Mermisi)
FDS	Fire Dynamics Simulator (Yangın Dinamik Simülatörü)
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning (Havalandırma ve Soğutma Sistemi)
IMO	International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
IR	Infra-red (Kızılötesi)
IRM	Integrated Recoverability Model (Entegre Edilmiş Geri Kazanabilirlik Modeli)
İHA	İnsansız Hava Aracı
MOE	Measures of Effectiveness (Etkinlik Ölçümü)
MOP	Measures of Performance (Performans Ölçümü)
MOTISS	Measure of Total Integrated Ship Survivability (Toplam Entegre Gemi Beka Kabiliyeti Ölçümü)

NATO	North Atlantic Treaty Organization (Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü)
NAVSEA	Naval Sea Systems Command (Deniz Sistemleri Komutanlığı)
NES 109	İngiliz Donanma Kuralları
OPNAV	The Chief of Naval Operations (Harekat Başkanlığı)
OPNAVINST	Instruction of the Chief of Naval Operations (Harekat Başkanlığı Talimatı)
ORL	Operational Readiness Level (Operasyon Hazırlık Seviyesi)
RAM	Radar Absorber Material (Radar Absorbe Etme Malzemeleri)
RKA	Radar Kesit Alanı
Ro-Ro	Roll on-Roll off (RO-RO)
SDS	Working Group on Subdivision and Damage Stability (Bölmeleme ve Yaralı Stabilite Alt Grubu)
SNAME	The Society of Naval Architects and Marine Engineers (Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisleri Derneği)
SOLAS	Safety of Life at Sea (Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi)
SURMA	Survivability Manager Application (Beka Kabiliyeti Yönetme Uygulaması)
VLS	Vertical Launcher System (Dikey Lançer Sistemi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Tasarımın birinci hakikatı 12
Şekil 1.2 Tasarımın ikinci hakikatı 12
Şekil 2.1 Beka kabiliyetinin üç fonksiyonu 16
Şekil 2.2 Zamana bağlı harekat kapasitesi 16
Şekil 2.3 Bire-bir angajman senaryosu 21
Şekil 2.4 Basit yansıtıcılar 29
Şekil 2.5 Merminin RKA_{gemi}/RKA_{saman} oranına göre gemiyle kesişmesi olasılığı 35
Şekil 2.6 x'in x_1 ve x_2 arasında meydana gelme olasılığı 36
Şekil 2.7 x'in x_1 ve ∞ arasında meydana gelme olasılığı 36
Şekil 2.8 Olası doğrusal hata veya % 50 hata olasılığı 39
Şekil 2.9 Gabya sınıfı fırkateyn modeli 39
Şekil 2.10 1947 BuShips isabet uzunluğu çalışması 43
Şekil 2.11 Tasarım değişkenleri 45
Şekil 2.12 Boyuna hasar dağılımları 47
Şekil 2.13 Savaş gemileri için hasar boyu 48
Şekil 2.14 Boyuna hasar dağılımları 49
Şekil 2.15 A.B.D. Donaması hava kriteri 50
Şekil 2.16 Su geçirmez enine perde konumları 51
Şekil 2.17 100 – 212'inci kemereler arasındaki hasar durumuna ait GZ eğrisi 54
Şekil 2.18 Genel yerleşim planı 58
Şekil 2.19 EXOCET güdümlü mermisi isabet olasılıkları 62
Şekil 2.20 Kıç makine dairesi isabeti sonucu GZ eğrisi 66
Şekil 3.1 Gemi tiplerine göre RKA tablosu 71
Şekil 3.2 RKA ve radar gücü karşılaştırması 72
Şekil 3.3 Şekillere göre geri yansıma 72
Şekil 3.4 Radar Kesit Alanı Değeri, Biçimlendirme Uygulanmış (Sağ), Biçimlendirme Uygulanmamış (Sol) 73
Şekil 3.5 USS Independent ve USS Zumwalt 74
Şekil 3.6 USS Chafee, RSS Intrepid ve RSS Victory 75

Şekil 3.7 Tipik Dallenbach tabaka, Salisbury pano ve Jaumann tabaka emicilerin çizimleri....76
Şekil 3.8 Manyetik ferrit bazlı RAM örneği....77
Şekil 3.9 Radar absorbe edici petek levha....78
Şekil 3.10 Yayılan gürültü....79
Şekil 3.11 Makine gürültüsü kaynakları....80
Şekil 3.12 Uç-girdap kavitasyonu....80
Şekil 3.13 Şok emciler ve esnek boru bağlantıları....81
Şekil 3.14 FFG ve DDG sınıfı gemilerde masker hava sistemi....82
Şekil 3.15 Prairie hava sistemi....82
Şekil 3.16 Alberich levhası (sol) ve HMS Triumph gövdesindeki anechoic levha (sağ)....83
Şekil 3.17 HMCS Montreal (FFH 336)....84
Şekil 3.18 Popüler makine egzoz IR önleme aygıtları....85
Şekil 3.19 Wash-down sistemi....86
Şekil 3.20 İngiliz Donanmasına ait HMS Argus (1918)....88
Şekil 3.21 İsveç Donanmasına ait Visby sınıfı korvet....88
Şekil 3.22 Radar ikaz alıcısı (AN/ALR-67(V)3)....89
Şekil 3.23 SAAB lazer ikaz sistemi....90
Şekil 3.24 AN/SQS-53 sonar domu....91
Şekil 3.25 AN/SAY-1 kızılötesi sensörü....91
Şekil 3.26 Valour sınıfı fırkateyn optik trak radarı....92
Şekil 3.27 Phalanx yakın savunma silahı....93
Şekil 3.28 Mark 36 SRBOC saman sistemi....94
Şekil 3.29 Torpido yanıltıcı AN/SLQ-25 Nixie....94
Şekil 3.30 Kooperatif angajman kabiliyeti (CEC) konsepti....96
Şekil 3.31 Entegre bilgi tabanlı komuta ve kontrol (IKC2) ağı insansız araçları....96
Şekil 3.32 Çift cidarlı gemi bölmesi....100
Şekil 3.33 Sabit yangın söndürme sistemleri....102
Şekil 3.34 Yangınla mücadele ekipman kontrolü....103
Şekil 3.35 K-tipi payandalama yaparken hasar kontrol ekibi....104
Şekil 3.36 Sızdırmaz kaporta ve bölme....105
Şekil 3.37 Yangına dayanaklı kablo....106

Şekil 4.1 Dizayn spirali, Evans 1959..... 108
Şekil 4.2 Geleneksel dizayn spirali ve yeni yaklaşım ile beka kabiliyetinin değerlendirildiği tam bütünleşik dizayn spirali..... 109
Şekil 4.3 Örnek sistem hiyerarşisi..... 110
Şekil 4.4 Erken aşama savaş gemisi tasarımında beka kabiliyeti..... 114

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1 Görünmezlik özelliği olmayan hedeflerin radar kesit alanları..... 29
Tablo 2.2 Radar bantları ve frekansları..... 30
Tablo 2.3 Ayırt edilebilen minimum sinyal gücü..... 32
Tablo 2.4 Normal (Gaussian) olasılıkları..... 38
Tablo 2.5 Savaş gemileri için A.B.D. ve İngiliz Donanması yaralı stabilite kriterleri..... 42
Tablo 2.6 Amaç fonksiyonları..... 46
Tablo 2.7 Hayatta kalma kriteri..... 50
Tablo 2.8 Gabya sınıfı fırkateyne ait ana boyutlar..... 51
Tablo 2.9 1/2 harcanmış durumdaki hidrostatik değerler..... 52
Tablo 2.10 Geminin bir kompartımanının su basması (yaralanması) olasılığı..... 54
Tablo 2.11 Korvete ait ana boyutlar..... 57
Tablo 2.12 Gemisavar EXOCET güdümlü mermi özellikleri..... 59
Tablo 2.13 Sistem ve bölme seviyeleri..... 60
Tablo 2.14 Yüzebilirlik seviyeleri..... 60
Tablo 2.15 Operasyon hazırlık seviyeleri..... 61
Tablo 2.16 Operasyonel hazırlık seviyesine etkisi..... 63
Tablo 2.17 Bölmelerde ve ekipmanlarda hasar..... 63
Tablo 2.18 Vaka sonuçları..... 63
Tablo 2.19 Kıç makine dairesi hasar olasılığı..... 66
Tablo 2.20 Silah sistemi hasar oranı..... 67
Tablo 3.1 Vurulabilirlik azaltma yöntemleri..... 69
Tablo 3.2 Yaralanabilirlik azaltma yöntemleri..... 97

ÖZET

Savaş Gemilerinin Tasarım Aşamasında Beka Yönünden Değerlendirilmesi

Kadir ATASEVEN

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ

Bir suüstü savaş gemisinin beka kabiliyeti (survivability), tanımlanmış bir silah tehdidine karşı dayanımı ve asgari olarak geminin temel emniyetini ve işlerliğini sürdürme yeteneğinin derecesi olarak tanımlanmaktadır. Son yıllara kadar savaş gemilerinin beka kabiliyeti hesabı temel olarak yolcu/Ro-Ro gemilerine benzer şekilde gemi yaralı stabilite ve yaralı mukavemeti üzerine dayandırılarak deterministik metotlar ile belirlenmeye çalışılmış, ancak hızla gelişen risk metodolojisi ve bilgisayar simülasyonları nedeniyle hava savunma endüstrisindeki gelişmeler de dikkate alınarak daha bütüncül bir şekilde ele alınmaya başlanmıştır. Bu yaklaşımda; savaş gemisinin beka kabiliyeti, geminin vurulabilirlik (susceptibility), yaralanabilirlik (vulnerability) ve geri kazanabilirlik (recoverability) özelliklerinin bileşiminden oluşmakta ve klasik risk metodolojisine paralel olarak ifade edilmektedir. Buna göre; beka kabiliyeti, tehlikelerin oluşma olasılığı (vurulma olasılığı) ile etkinin (yaralanma olasılığı) çarpımı olarak ifade edilmekte ve risk azaltım metodunun (geri kazanabilirlik) bütüncül bir şekilde değerlendirmesini içermektedir. Bu çalışmada beka

kabiliyetinin bu üç fonksiyonu ile risk metodolojisinden detaylı olarak bahsedildikten sonra bilgisayar simülasyonları ile beka kabiliyeti değerlendirilmesinin nasıl yapıldığı üzerinde durulmuştur. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde ise savaş gemilerinin beka kabiliyetinin iyileştirilmesine yönelik tasarım aşamasında göz önünde bulundurulması gereken yöntemler belirtildikten sonra savaş gemisi tasarımında beka kabiliyetinin değerlendirilmesine ilişkin geliştirilen bir metodoloji üzerinde durulmuştur.

Anahtar kelimeler: Savaş gemisi, beka kabiliyeti, vurulabilirlik, yaralanabilirlik, geri kazanabilirlik

ABSTRACT

Naval Ship Survivability Assessment in the Design Phase

Kadir ATASEVEN

Naval Architecture and Marine Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Hüseyin YILMAZ

The survivability of a surface warship is defined as its resistance to a defined weapon threat and, as a minimum, the degree of its ability to maintain the basic safety and operability of the ship. Until recently, the survivability of the warship was basically determined by deterministic methods based on the damaged stability and damaged strength of the ship, similar to the passenger / Ro-Ro ships. However, due to the rapid development of risk methodology and computer simulations, it has begun to be considered in a more holistic manner considering the developments in the air defense industry. In this approach; the survivability of the warship consists of a combination of the susceptibility, vulnerability and recoverability of the ship and is expressed in parallel with the classical risk methodology. According to this; survivability is expressed as the probability of occurrence of hazards (the probability of being hit) and the effect (the probability of damage), and includes a holistic assessment of the risk reduction method (recoverability). In this study, after talking about these three functions of

survivability and risk methodology in detail, how to assess the survivability with a computer aided simulations is given. In the following sections of the study, after specifying the methods that should be considered in the design stage for improving the survivability of the warships, a methodology developed for the assessment of survivability in warship design is emphasized.

Keywords: Warship, survivability, susceptibility, vulnerability, recoverability

1
Giriş

Gemi tasarımı; yapılabilirlik analiziyle başlayan, kavramsal tasarım, ön tasarım ve kontrat tasarım ile devam eden, inşa süreciyle tamamlanan, görev tanımı, ekonomik unsurlar/sınırlamalar, fonksiyonel gereksinimler, kural ve kaideler, dizayn standartları gibi bir takım girdilere bağlı, iterasyona dayalı, uzun bir süreçtir. Ancak her şeyden önce inşa edilmesi istenen geminin kullanım amacı belirlenmelidir. Tasarlanacak gemi kullanım amacı doğrultusunda ister ticari amaçlı inşa edilecek bir yolcu gemisi veya bir yük gemisi olsun isterse de askeri amaçlı inşa edilecek bir savaş gemisi olsun bir takım uluslararası kurallara, standartlara uygun olarak inşa edilmelidir. Bu kuralların başında da yeterli stabiliteye sahip olmak gelmektedir.

Bir geminin, herhangi bir kuvvetin etkisiyle bir tarafa meyil etmesinden sonra tekrar eski dik konumuna gelebilmesi yeteneğine stabilite denir. Stabilite, gemi tasarımı ve bir geminin denizcilik performansı açısından çok önemli bir olgu olup iki temel grupta incelenebilir. Bunlar hasarsız stabilite ve yaralı stabilitedir. Hasarsız stabilite, gemi gövdesinin sağlamlığının muhafaza edildiği, hiçbir bölmenin hasar görmediği durumla ilgilidir. Yaralı stabilite ise geminin hasar gördüğü zamanla ilgilidir, genellikle gemi gövdesi yaralanmıştır ve geminin sınır hattının su altında kalmasına hatta geminin komple batmasına ya da alabora olmasına sebep olan su basmalarını içerir.

Gemi stabilitesinin modern teorisi 1746 yılında Pierre BOUGUER tarafından metasantr yarıçapının tanımlanmasına dayanır. Bu tarihten sonra yapılan çalışmalar uzun yıllar hasarsız stabilite kriterlerine yönelik olmuştur. 1912 yılında Titanic yolcu gemisinin buz dağına çarpması sonucu oluşan su basmasına bağlı olarak batmasıyla yaralı stabilite konusundaki çalışmalar önem kazanmış, I. Dünya Savaşı sonrası ilk yaralı stabilite kriterleri belirlenmiştir.

Stabilite kriterlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar uzun yıllar ticari gemiler üzerine yoğunlaşırken 1930'larda savaş gemilerinin yaralı stabilitesi, ABD

Donanması için önemli bir tasarım faktörü olmuştur. I. Dünya Savaşı sırasında su basması olayının sınırlandırılmasındaki önemin fark edilmesi neticesinde düzenli hasar kontrol prosedürleri oluşturulmuş ve yeni savaş gemileri için yaralı stabilite çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmalar, gemi boyunca seçilen farklı su basması boyları için artık stabilite ve meyil ölçüsü sağlamıştır. II. Dünya Savaşı sırasında ise Amerika Birleşik Devletleri ve diğer ülkeler tarafından savaş hasarı neticesinde ortaya çıkan gemi beka eksikliklerinin giderilmesi için düzeltici önlemler alınmıştır.

II. Dünya Savaşında birçok savaş gemisi düşman silahları tarafından hasara uğratılmış, çoğu batmıştır. Ayrıca Aralık 1944'te Güney Doğu Asya sularında meydana gelen tropikal tayfun, Amerika Birleşik Devletleri Pasifik Filosuna ait 3 destroyerin batmasına, çok sayıda mürettebatın ölümüne sebep olmuştur. Hem II. Dünya Savaşında hem de 1944 tayfununda batan gemiler üzerinde yapılan çalışmalar, savaş gemilerinin stabilitesine yönelik kriterlerin belirlenmesinde büyük rol oynamıştır. Yapılan çalışmalar rüzgâr hızı, doğrultucu kol eğrisi ve artık stabilite kriterleri üzerinde yoğunlaşmıştır.

1962 yılında Sarchin ve Goldberg tarafından yayınlanan bir SNAME (The Society of Naval Architects and Marine Engineers) yayını başta Amerika Birleşik Devletleri olmak üzere hâlihazırda da birçok ülke donanması tarafından kullanılan stabilite kriterlerinin temelini oluşturmuştur. Bu kriterler, II. Dünya Savaşında ve sonrasında batan gemilere ait incelemeleri temel alan, tamamen ampirik, sadece statik doğrultucu kol eğrisini temel alan ve dinamik stabilite üzerine etkilere neden olabilecek değişkenleri hesaba katmayan kuralları içermektedir.

1960'lar ve 1970'lerde bir süre için Donanma, nükleer silahların, gemilere karşı aşırı derecede tehlikeli bir tehdit oluşturduğuna dair düşünceleri kabul etmişti. Bu silahlardan kurtulmanın mümkün olmadığı düşünüldüğünden gemilerin hasardan korunma özelliklerini vurgulamaya çok az ihtiyaç olduğu değerlendiriliyordu. Vurulmuş bir gemi, kaybedilmiş bir gemiydi. Öncelikle gemilerin saldırganlık kabiliyetine vurgu yapılıyordu – okçuyu oklarını fırlatmadan önce vurmaya. Atışını yapmadan önce düşmanını yok etmenin istenen bir eylem olduğunu kimse inkâr edemezdi. Bununla birlikte, angajman kuralları, değişen dünya durumu ve savaş gemilerinin kendilerini "barış zamanı" temelli bir mücadeleyle meşgul bulma

olasılıklarının artması, hayatta kalmanın diğer yarısını da dikkate almamız gerektiğini açık bir şekilde ortaya koymaktaydı: bir isabette hayatta kalma yeteneği.

Zaman içerisinde harekât ihtiyaçlarının artması, eş zamanlı olarak da modern silah sistemlerinin artan tehditleri, geleneksel savaş gemisi tasarımı üzerinde tartışmalara sebep olmuştur. Savaş gemilerinin tasarımında hasar alması sonrasında batmamasına yönelik kriterlerin belirlenmesinin yanı sıra düşmandan sakınarak (vurulmadan) görev yapabilmesine yönelik tedbirlerin ehemmiyeti artmış ve 1985'te R.E. Ball savaş uçakları için öne sürdüğü "olasılığa dayalı beka kabiliyeti hesabı" zamanla deniz platformlarında da uygulanmaya başlanmıştır.

İngilizce "Survivability" terimi Türkçe gemi inşa literatüründe "Beka Kabiliyeti" olarak yerini almış olup kısaca bir sistemin hayatta kalabilirliği olarak tanımlanabilir. Ticari ve askeri gemilerin, sakin suda yüzerlerken veya bir fırtınaya yakalandıklarında ya da herhangi bir hasar durumunda iç veya dış kuvvetlerin etkisi sonucunda hayatta kalabilmeleri yani dik konumda kalabilmeleri esastır ve bu, uluslararası kurallarla belirlenmiş stabilite kriterlerini karşılamalarıyla doğrudan ilgilidir.

Ticari bir geminin limanda veya açık denizde hayatta kalabilmesine yönelik karşı karşıya olduğu tüm tehditler savaş gemileri için de geçerlidir. Bunun yanı sıra savaş gemilerinin düşmanca bir ortamda görev yaptıkları değerlendirildiklerinde daha fazla tehditle karşı karşıya oldukları aşikârdır. Savaş gemileri çatışma, karaya oturma gibi hasarlarla baş edebilmelerine ilave olarak sofistike savaş sistemleriyle de baş edebilmelidirler. Örneğin bir mayın infilakı sonucu oluşan su basmasını Titanic'in buz dağına çarpması sonucu oluşan su basması ile bir tutup savaş gemilerinin hayatta kalabilirlik analizinin ticari gemilerin hayatta kalabilirlik analizi ile aynı olduğunu söyleyebiliriz. Ancak bu doğru değildir. Çünkü bir savaş gemisinin insan yapımı düşmanca bir tehditle karşılaşma olasılığı, ticari bir geminin çatışma, karaya oturma olasılıklarından çok daha fazladır. Bu sebepledir ki savaş gemilerinin beka kabiliyeti analizi çok daha fazla girdinin olduğu karmaşık bir süreçtir.

Bir savaş gemisinin beka kabiliyeti vurulabilirlik, yaralanabilirlik ve geri kazanabilirlik fonksiyonlarından oluşur. Vurulabilirlik fonksiyonu, çok basit bir

ifadeyle şöyle anlatılabilir: yakalanma ki vurulmayasın, vurulma ki yaralanmayasın. Ancak günümüz sofistike silah sistemlerine yakalanmamak o kadar da mümkün değildir. Dolayısıyla mümkün olduğunca görünmez bir gemi tasarlamak ana gaye olmakla birlikte geminin düşman silahlarıyla vurulması durumunda öncelikle hayatta kalabilmesi (batmaması), bunun yanı sıra belirlenmiş görevlerini yapabilmesi tasarım aşamasında dikkat edilmesi gereken ana hususlardır. Bu kısım ise yaralanabilirlik fonksiyonunun tanımıyla alakalıdır. Son olarak geri kazanabilirlik fonksiyonu tasarlanacak gemiye monte edilmesine karar verilecek yara savunma sistemleriyle ilgilidir. Her türlü karşı koyma tedbirlerine rağmen savaş gemisinin vurulması durumunda mevcut yara savunma sistemleriyle geminin tekrar görev fonksiyonlarını geri kazanması beklentiler arasındadır.

Savaş gemilerinin beka kabiliyetini oluşturan fonksiyonlardan özellikle vurulabilirlik ve yaralanabilirlik fonksiyonları gemi tasarımın ilk aşamalarında karar verilmesi gereken hususları barındırır. Örneğin; mümkün olduğunda düşük radar kesit alanına sahip bir gemi tasarlamak vurulabilirliğin, su geçirmez bölmelerin yerinin belirlenmesi ise yaralanabilirliğin ana parametreleridir. Bunlar tasarımın ilk aşamalarında karar verilmesi gereken hususlardır. Bu hususlarda sonradan yapılacak değişiklikler çok büyük maliyetlere yol açacaktır.

1.1 Literatür Özeti

Marco Polo, Çin yelkenlilerinin su geçirmez perdelere sahip olduğunu belirtmesine rağmen, bu konsept uzun yılar Batı gemi tasarımında benimsenmemiştir. 1500'lere gelindiğinde borda silahları, tokmaklamayı bir savaş taktiği olmaktan çıkarmış ve su altı hasarlarının çok nadir görünmesine sebep olmuştur. Hasarlardan sağ çıkabilmek için gemilerin yapısal tasarımları 1800'lerin ortalarından itibaren hızlı bir şekilde gelişmiştir. Teknoloji ilerledikçe, gemilerin beka kabiliyetinin temeli iki kilit noktaya dayanmıştır. İlki, düşmanı daha hızlı ve daha geniş bir çapta yok etmek olmuş; bu, daha büyük ve daha güçlü silahlara sahip olmak ve silah sayısını artırmak suretiyle sağlanmıştır. İkinci kilit nokta ise, düşmanın sebep olabileceği her türlü hasara dayanabilme kabiliyetine sahip olma üzerine olmuş; bu da, düşman silah sistemlerinin hasar mekanizmalarını yenebilecek daha ağır ve daha iyi zırhlara sahip olmakla başarılmıştır [1].

Savaş gemilerinin deniz muharebesinde beka kabiliyetlerinin iyileştirilmesinde bu gelişmeler yaşanırken gemilerin stabilite kriterlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da eş zamanlı devam etmiştir. Ticari ve askeri standartlar, gemilerin belirli bir su basmasına dayanabilmeleri için geliştirilmiştir. Gemilerin sakin sudaki stabilitesinin, geminin geometrisi ile ağırlık dağılımdan tayin edilebileceğine dair ilk önemli buluş, 1746'da Bouguer tarafından metesantr yarıçapının (BM) tanımlanması olmuştur [2]. 1800'lerin sonlarına kadar birçok stabilite kriteri önerisi geliştirilmiş; doğrultma enerjisine bağlı kriterler, 1900'lerin başlarında oluşmuştur. Stabilite kriterlerinin geliştirilmesinde en önemli çalışmalardan biri 1939'da Rahola tarafından yapılmıştır. Rahola, Baltık gemilerinin stabilite yetersizliği sebebiyle devrilmesini analiz ettiği çalışmasıyla doğrultucu kol (GZ) ve meyil açısına bağlı stabilite kriterlerin oluşturulmasına vesile olmuştur [2], [3].

Ticari gemilerin stabilite kriterlerine yönelik çalışmalar çok eski yıllara dayansa da ilk yazılı kriterler "TITANIC" faciasının ardından SOLAS (Safety of Life at Sea-Denizde Can Güvenliği Uluslararası Sözleşmesi) 1914 ile oluşmuştur. SOLAS 1914'te yaralı stabilite gereksinimlerine yer verilmemiş yalnızca yaralı bölme boyları eğrilerine yönelik talepler yer almıştır. Bölmeleme standardı ilkelerinin temeli (yaralı bölme boyu eğrileri, permeabilite, geçirgenlikler, 1-2-3 kompartıman gemisi vb.) SOLAS 1914 ile atılmıştır. Ancak SOLAS 1914, I. Dünya Savaşı nedeniyle onaylanmamış bu hususlar SOLAS 1929 sözleşmesi ile yürürlüğe girmiştir. SOLAS 1948 ile ilk defa hasar boyu (gemi boyunun % 3'ü + 3,05 m.) tanımı yapılmış, SOLAS 1960 sözleşmesinde de benzer kriterlere yer verilmiştir [4]. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO-International Maritime Organization) SOLAS 1974 ile ticari gemilerinin beka kabiliyetinin değerlendirilmesi için olasılık kavramını benimsemiştir. Ticari gemilerin beka kabiliyetinin değerlendirilmesine yönelik olasılık hesaplarına dayalı yaralanma indeksine yönelik çalışmalar hâlihazırda IMO'nun Bölmeleme ve Yaralı Stabilite Alt Grubunda (Working Group on Subdivision and Damage Stability (SDS)) devam etmektedir.

Ticari gemiler için yapılan bu çalışmalardan yola çıkarak savaş gemileri için de stabilite kriterlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmış ancak her ne kadar savaş gemilerinin hasar olasılığı ticari gemilere oranla çok daha yüksek olsa da

1940'lı yıllara kadar yaralı stabilite kriterlerinin geliştirilmesi üzerinde çalışmalar tam olarak yapılmamıştır. 1947'de BuShips (The United States Navy's Bureau of Ships) tarafından II. Dünya Savaşı sırasında torpido isabetinden kurtulan 24 suüstü savaş gemisine yönelik çalışma ile 1960'da Korotkin [5] tarafından yazılan su üstü savaş gemilerinin II. Dünya Savaşı hasarlarına ait kitap savaş gemilerinin yaralı stabilite kriterlerinin geliştirilmesine öncelik etmiştir. İlk yaralı stabilite kriterleri, 1962'de Sarchin ve Goldberg [6] tarafından yayınlanmış; bu kurallar diğer ülkelerin donanmaları tarafından temel olarak alınmıştır. Hâlihazırda yürürlükte olan A.B.D. Donanmasına ait stabilite kriterleri DDS 079-1 [7] ile İngiliz Donanmasına ait stabilite kriterleri NES 109 [8] bu temele dayanan ve sadece statik doğrultucu kol eğrisini baz alan, tamamen ampirik kurallardır.

Günümüzde modern deniz muharebesi çok daha gelişmiş silah sistemleri ile karakterize edilmektedir. Savaş gemileri, radar, kızılötesi, elektro-optik veya lazer gibi çeşitli sensörlerle yönlendirilen havadan, satıhtan ve su altından atılan silahlarla tehdit altındadır. Savaş gemileri, 2007 yılında INS Hanit'ta olduğu gibi gemi karşıtı mermiler (anti-ship missile-ASM), 2000 yılında USS Cole'da meydana geldiği gibi asimetrik tehditler veya 2010 yılında ROKN Cheonan'ın yaşadığı gibi torpidolar tarafından doğrudan zarar görebilirler. Donanmalar ayrıca, 2009 yılında USS Port Royal'ın yaşadığı gibi karaya oturma veya 2012 yılında USS Porter'da tecrübe edildiği gibi çatışma senaryolarıyla da karşılaşabilirler. Bunların yanı sıra savaş gemileri, 1989'da USS Iowa'nın yaşadığı gibi, gemiyi ve personeli riske sokan kazayla veya başka nedenlerle ortaya çıkan yangın olaylarıyla da karşılaşabilirler.

Dolayısıyla savaş gemilerinin görevlerini yerine getirebilmeleri için büyük bir cephane ile gelişmiş elektronik cihazlardan oluşan karmaşık bir sistem taşımaları gerekmektedir. Bu da, inşa ve harekat maliyetlerini arttırmış ve Donanma filolarının boyutunun azaltılmasına sebep olmuştur. Bunun yanı sıra; yüksek yük taşıma kapasitesi/deplasman oranına olan ihtiyaç, Donanmaları ve dolayısıyla tasarımcıları yapısal ağırlığı mümkün olduğu kadar düşük tutmak için gövde sac kalınlığının azaltılmasına yöneltmiştir. Bütün bunların sonucu olarak, USS Stark ve Körfez Savaşı Deniz Harekatı sırasında görüldüğü gibi savaş gemilerini daha yaralanabilir kılan, arttırılmış zırhtan sensör yeteneğine kayan tasarım değişiklikleri oluşmuştur. Bu soruna etkili bir çözüm olarak Papanikolaou ve

Boulougouris [9] tarafından "Arttırılmış Beka Kabiliyeti" olarak tanımlanan, tasarımın her aşamasında beka kabiliyetinin bütünleşik olarak ele alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Savaş gemileri için beka kabiliyeti teriminin ilk kullanımlarından biri, temel tasarım konularına ve ilgili koruma seviyesi gerekliliklerine değinerek hazırlığın arttırılması ve sürdürülebilirlikle mücadele açısından tanımlandığı, 1988 tarihli A.B.D. Donanması OPNAVINST (Instruction of the Chief of Naval Operations) Talimatı OPNAV 9070.1'dir [10]. Bu talimatla, üç beka kabiliyeti düzeyi tanımlanmıştır: Seviye I (düşük), Seviye II (orta) ve Seviye III (yüksek). Her bir seviye, savaş gemisinin operasyon kabiliyetini korurken taşıyabileceği hasar seviyesini yansıtmaktadır. Ancak bu talimat günümüzde beka kabiliyetinin tanımlandığı üç temel fonksiyonunu (vurulabilirlik, yaralanabilirlik ve geri kazanabilirlik) yansıtmamaktadır.

Mühendislik yönetimi disiplininin geliştirilmesiyle birlikte, NAVSEA (Naval Sea Systems Command) tarafından kullanılan "Toplam Gemi Beka Kabiliyeti-TSS", beka kabiliyetinin üç temel fonksiyonunu diğer gemi tasarımı disiplinleriyle bütünleşik olarak ele alan ilk disiplindir [11]. 2012 yılında yürürlüğe giren OPNAV 9070.1A [12] ve 2017 yılında yürürlüğe giren OPNAV 9070.1B [13] talimatları, beka kabiliyeti ve her bir fonksiyonunu savaş veya savaş harici kazalarla ilişkilendirmek suretiyle kapasitenin bir ölçüsü olarak yeniden tanımlamış ve beka kabiliyetinin ağırlık marjları, manevra kabiliyeti, yapısal bütünlük ve savaş sistemleri kabiliyetleri gibi gemilerin diğer kabiliyetlerine benzer, temel bir kabiliyet olarak ele alınması gerektiğini belirtmiştir. Pek çok bilim adamı beka kabiliyetini tanımlamış ve günümüzde de tanımlamaya devam etmektedir. Aşağıda bazı araştırmacıların beka kabiliyeti konusunda yaptıkları tanımlamalardan örneklere yer verilmiştir.

Ball'ın [14] ile ilk kez 1985'te savaş uçakları için öne sürdüğü olasılığa dayalı beka kabiliyeti tanımı, savaş gemilerinin beka kabiliyetinin değerlendirilmesinde de temel olmuştur. Ball ve Calvano [15]'de suüstü savaş gemilerinin beka kabiliyetini, görevini yerine getirirken insan yapımı düşman ortamından kaçınma ve/veya ona dayanma kabiliyeti olarak tanımlamıştır.

Surko [16]'de, farklı Donanmalara ait Yaralı Stabilite Kriterlerini değerlendirdiği çalışmasında beka kabiliyetini direkt olarak tanımlamamakta; geminin hayatta kalabilmesi için gerekli üç operasyonel şarttan bahsetmektedir. Surko'ya göre; savaş gemileri, nominal bir metrik ton savaş başlığına sahip bir gemi karşıtı güdümlü mermisi tarafından vurulmasını müteakip savaşmaya devam edebilecek, gemi karşıtı iki güdümlü mermi saldırısından veya omurga altındaki bir torpido hasarından kurtulabilecek ve mühimmatını düşman unsurlarına karşı kullanabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

Said [11]'te, savaş gemilerinin beka kabiliyetini, bir geminin ve sistemlerinin belirlenmiş görevlerini yerine getirme yeteneklerinde bir bozulma olmaksızın silahtan kaçınma ve bunlara dayanma kabiliyeti olarak tanımlamaktadır.

Shafiepour ve Sajdak [17]'de beka kabiliyetini, geminin, kaza veya insan yapımı düşmanlığın neden olduğu yapısal hasar, yangın ve su basması gibi planlanmamış olaylara karşı, ilgili olayların gemi sistem operasyonlarında minimum etkileri olacak şekilde dayanma kabiliyetinin ölçüsü olarak tanımlamaktadırlar.

Turner vd. [18]'de bir savaş gemisinin saldırıdan sonra görevini tamamlayabilmesinin, vurulabilirliğe (vurulmaktan kaçınma yeteneği), yaralanabilirliğe (vurulduğunda hasar seviyesi) ve geri kazanalabilirliğe (belirli bir hasar seviyesinden kurtarma yeteneği) bağlı olduğunu ve beka kabiliyetinin bu üç unsurun birleşimi olduğunu belirtmişlerdir. Turner vd. beka kabiliyetini değerlendirme metotları ile yaralanabilirliği azaltma yöntemleri üzerinde durmuşlardır.

Petersen [19]'da bir savaş gemisinin hayatta kalabilmesini, tanımlanmış bir silah tehdidine dayanma ve geminin en azından temel emniyetini ve çalışabilirliğini sağlama yeteneği olarak tanımlamıştır. Petersen çalışmasında su üstü savaş gemilerinin beka kabiliyetinin iyileştirilmesine yönelik Germanischer Lloyd tavsiyelerini açıklamıştır.

Schofield [20]'de beka kabiliyetini, savaş gemisinin düşmanca bir ortamda başarıyla görevini tamamlayabilmesi olarak tanımlanmakta ve İngiliz Donanmasına ait beka kabiliyeti politikasına değinmekte ayrıca İngiliz Donanması tarafından savaş gemilerinin beka kabiliyetinin analizinde kullanılan bilgisayar programını (SURVIVE) açıklamaktadır.

Günümüzde savaş gemilerinin beka kabiliyetine yönelik olasılığa dayalı hesaplamalara en yoğun şekilde değinen Papanikolaou ve Boulougouris [21] ise savaş gemileri için beka kabiliyetinin, öldürücü savaş ortamında görevlerini sürdürmeye devam etme kabiliyeti olduğunu ve bunun düşmanın kendilerini tespit etmesini, sınıflandırmasını, hedeflemesini, saldırmasını veya vurmasını önleme yeteneklerinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmektedirler.

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, askeri bir bakış açısıyla ve askeri literatüre uygun olarak savaş gemilerinin beka kabiliyetine ait kavramları detaylandırmak, tasarım aşamasında beka kabiliyetini güçlendirmek üzere ele alınabilecek yöntemleri belirtmek, ticari amaçlı bir bilgisayar programında korvet tipi savaş gemisinin beka kabiliyeti değerlendirilmesinin nasıl yapıldığına yer vermek ve savaş gemilerinin tasarım aşamasında beka kabiliyetinin değerlendirilmesine ilişkin metodoloji üzerinde durmaktır.

1.3 Orijinal Katkı

Bu çalışma ülkemizde savaş gemilerinin beka kabiliyetinin temellerini içeren ilk çalışmadır. Bu tez ile beka kabiliyeti ile ilgili kavramlar detaylı bir şekilde sunulmuş ve savaş gemisi tasarımında beka kabiliyetinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir metodoloji verilmiştir.

1.4 Gemi Dizaynına Genel Bakış

Gemi dizaynı, hem teknik hem de teknik olmayan birçok farklı disiplinin, uzmanların bireysel görüşlerinin tasarım çözümlerine başarılı bir şekilde koordinasyonunu gerektiren karmaşık bir uğraştır. Tasarım süreci ile birleştiğinde tasarım optimizasyonu, bir kriter veya daha çok kriterler seti temelinde en uygun çözümün seçimidir [22]. Gemi dizayn projesi, yapılabilirlik (fizibilite) çalışmasıyla başlayan, kavramsal tasarım, ön tasarım ve kontrat tasarım ile devam eden, üretim mühendisliği ile geminin inşa süreçlerine bağlanan ve inşa sonrasında doğrulama deneyleri ve sertifikasyon işlemleriyle son bulan bir süreçler bütünü olarak tanımlanabilir [23].

Gemi sahibinin inşa edilmesini istediği gemiyi tarif ettiği kavramsal tasarımdan sonra ilk aşama, gemi karakteristiklerini ve temel yükleri tanımlamayı amaçlayan ön tasarımdır. Bu aşama, deneyimli karar vericiler ile son kullanıcıların gemi ile ilgili isterlerini ve takaslarını açıkça ifade etmesiyle başlar. Deneyimli gemi inşa mühendisleri, bu hedefleri kullanarak asıl tasarım parametrelerine yön vermek için tecrübelerine dayanarak dizayn takasları üzerinde çalışır. Bu noktada mühendisler ve proje yöneticileri, bütçe kısıtı ve takvime uyma gibi performans gereksinimlerini karşılamak üzere doğal olarak baskı altındadırlar. Düşünülen kritik objektif özellikler görev etkinliği ve maliyetidir [24].

Bir önceki paragrafta belirtilen kısıtlamalara ek olarak, bir savaş gemisi tasarımı, düşmanca bir ortamda görev yapabilen, verimli ve etkili bir silah-sensör platformu geliştirmek gibi daha karmaşık görevler gerektirir. Savaş gemisi tasarımının özü, istenen görevlerden ve geminin beklenen veya olası bir tehdide karşı performans seviyesinden gelir.

Savaş gemisi tasarım süreci, çeşitli kavramsal çözümler geliştirmek amacıyla ihtiyaçların analizi ile başlar. Bu kavramsal çözümleri geliştirmek, alternatif tekne formları, silah tipleri, sensör sistem konfigürasyonları, mevcut tasarım algoritmaları ve alternatif güç ve direnç sistemleri hakkında derinlemesine araştırma gerektirir. Bu araştırma alanlarına ek olarak, teknolojik riskler ve mühendislik karmaşıklığı tasarım sürecinin başında ihmal edilmemesi gereken hususlardır.

Kavramsal çözümler hakkındaki sözü edilen analizden bir sonraki adım, kavramları bazı takas çalışmalarını da dahil ederek detaylandırılmaktır. Bu çalışmaları aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür [25]:

- Güç, manevra kabiliyeti ve stabilite ile ilgili tekne formunun optimizasyonu
- Her silah sisteminin ayrı ayrı ve tüm sistemlerin bütünleşik konfigürasyonu
- Platform izi azaltma yöntemleri dâhil olmak üzere vurulabilirlik analizi
- Tahrik sistemi alternatiflerinin değerlendirilmesi
- Personel sayısının optimizasyonu

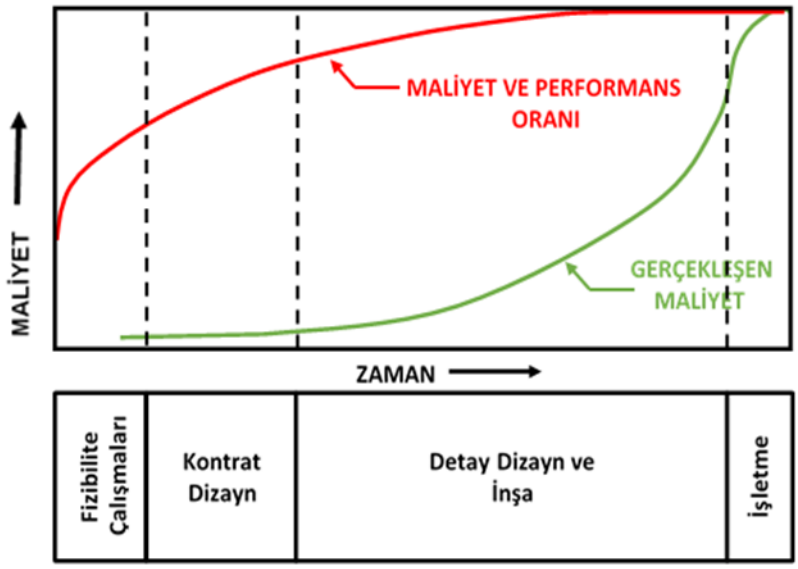
Bu takas aşamasının sonunda, tercih edilen tek bir tasarım konfigürasyonu tanımlanmış ve seçilmiş olacaktır. Bu seçim, kabul edilebilir düzeyde riskleri içeren ana donanım ve sistemleri içerir. Bu aşamada, geminin genel bir yerleşim planına da ulaşılır. Anten, savaş sistemleri yerleri, taret tahdit açıları, ana ve yardımcı makine dairelerinin yerleri, komuta ve kontrol bölmeleri, silah sistemleri ve kompartımanları ile güvertelerin konumları bu planda bulunmalıdır [26].

Tasarım sürecinin bir sonraki aşaması, tüm ihtiyaçlara ve detay yerleştirme gereksinimlerine cevap vermek için eksiksiz bir mühendislik çalışması geliştirmektir.

Son aşamada, savaş gemisi tasarımı için testler ve denemeler planlanmaktadır. Bu testler ve denemeler, bir savaş gemisi için hizmete girmeden önce gerekli prosedürler olduğundan, tüm spesifikasyonları, tüm gerekler setini ve tüm sistemlerin bütünleşik performansını kontrol edebilmek için çok dikkatli bir şekilde planlanmaları gerekir. Bir sistem için önceden belirlenmiş spesifikasyondan ufak bir sapma diğer sistemlerin performansını etkileyebileceğinden dikkatli bir kontrol gereklidir.

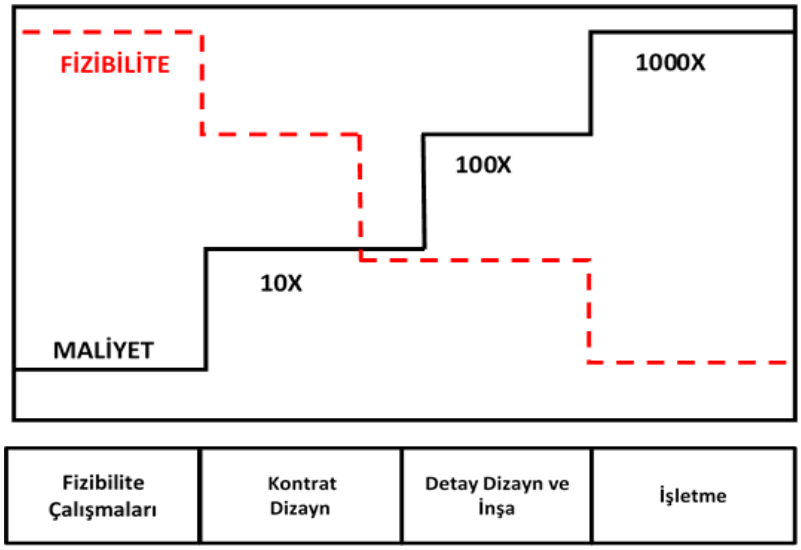
1.5 Gemi İnşa Sürecinde Erken Aşama Tasarımının Önemi

Savaş gemileri de dâhil olmak üzere yeni ürün geliştirmede uzman teknik direktör olan Huthwaite, kendisinin “stratejik tasarım yaklaşımı” olarak adlandırdığı [27], eşzamanlı mühendisliğin temellerini oluşturan üç temel hakikatı ifade etmektedir. Birincisi, kalite, maliyet ve zamanın tasarım aşamasının birincil faktörü olduğudur. Şekil 1.1’in alt yarısında görüldüğü üzere, detay tasarımın bir kısmı da dâhil olmak üzere tasarım aşamaları, ister ticari bir ürün ister bir savaş gemisi olsun, ürün geliştirmede toplam maliyetin küçük bir kısmını temsil etmektedir. Ancak, şeklin üst yarısında gösterildiği gibi, tasarımın etkisi muazzamdır. Genel olarak, tasarımın, maliyete etkisi %5 olmasına rağmen tesiri %70’dir.



Şekil 1.1 Tasarımın birinci hakikatı

İkinci hakikat, tasarım gücünün daha kapsamlı, daha derin bir şekilde erken safhalarda kullanılması gerektiğidir (Şekil 1.2). Geçmişte, genel edinim sürecinin kısaltılması için tasarım aşamalarına ayrılan sürelerin kısaltılmasına dair çabalar sarf edilmiştir. Bu, gemi inşa kontratlarının daha erken yapılması gibi bir ödüle yol açmış olsa da; temel amacına ulaşmayı başaramamıştır. Yani, tasarım sırasında çözülmesi gereken problemler, maliyet ve zaman kaybına neden olacak değişikliklerle, inşa aşamasına kadar sonuçlanamamıştır. Eşzamanlı mühendislik temel ilkelerinden biri, daha az değil, tasarım ve planlama üzerinde daha fazla zaman harcanması gerektiğidir.



Şekil 1.2 Tasarımın ikinci hakikatı

Son olarak üçüncü hakikat, güçlü bir ürün yöneticisi tarafından yönetilen çok fonksiyonel ekipler, toplam tasarım denklemini çözmenin anahtarlarıdır. Bir ortak tasarım ekibi gelişmiş iletişimden yararlanır ve kıt kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlar [28]. A.B.D. Donanması gemilerinin tasarımından sorumlu NAVSEA'nin gemi tasarım yönetici ve ekipleri buna en iyi örneklerden birdir.

Sonuç olarak Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'den görüleceği üzere erken tasarım aşaması, tasarıma ilişkin maliyetin çok daha düşük olması, aynı zamanda tasarımın esnekliğinin çok yüksek olması nedeniyle önemlidir. Bu nedenle; istenilen savaş gemisinin karakteristikleri göz önüne alınarak, genel yerleştirme ve bölmelendirmenin tamamlandığı erken tasarım aşamasına yeteri kadar vakit ayırarak, gerektiği önem verilmelidir.

2
Beka Kabiliyetine Genel Bakış

Bu bölümde, ilk olarak tezin amacı doğrultusunda gemi inşa sürecinin erken aşama tasarımında göz önünde bulundurulması gereken ve günümüzde önemi daha da artan "Beka Kabiliyeti" kavramı tanımlanacaktır. Beka kabiliyetinin genel tanımı yapıldıktan sonra beka kabiliyetinin risk metodolojisi açısından değerlendirilmesi yapılacak, beka kabiliyetinin üç temel fonksiyonundan detaylı olarak bahsedilecek ve son olarak bilgisayar destekli beka kabiliyeti değerlendirilmesine yer verilecektir.

2.1 Beka Kabiliyetinin Tanımı

Beka kabiliyeti, bir sistem veya organizasyonun, normal faaliyetlerinde önemli bir bozulma olmaksızın, felaket veya düşmanca bir ortama dayanma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır [29]. Burada, sistem veya organizasyon olarak bir gemiyi ele aldığımız göz önüne alındığında; kısaca bir geminin beka kabiliyeti, herhangi bir hasar durumunda geminin hayatta kalabilme kabiliyeti diğer bir deyişle dik konumda kalabilme yeteneği olarak tanımlanabilir.

Bir savaş gemisi ile bir yolcu/Ro-Ro gemisinin tasarımı arasındaki temel benzerlik, herhangi bir hasar durumunda her ikisinin de hayatta kalabilme gereksinimleridir; tabii ki savaş gemileri doğası gereği daha çok tehdide maruz kalmaktadırlar. Bu durumda, bir savaş gemisinin beka kabiliyetini tanımlarken maruz kalabileceği insan yapımı düşman ortamını da hesaba katmalıyız. Dolayısıyla tanımdaki "hasar" teriminin, savaş şartlarında suüstü/sualtı platformları ile kara ve hava araçlarından ateşlenebilecek top mermisi, güdümlü mermi, torpido, mayın gibi tehditler ile yüksek süratli küçük teknelerle yapılabilecek asimetrik terörist saldırısından, barış şartlarında ise geminin çatışma, karaya oturma gibi sebeplerle borda veya karinasından yara almasından herhangi bir yerde yangın çıkması, cephane patlaması, makine/sistem arızalarına kadar çok geniş bir alanı kapsadığı göz önüne alınmalıdır.

Bununla birlikte bir yolcu/Ro-Ro gemisinin beka kabiliyeti açısından incelenmesinde herhangi bir hasar durumunda dik konumda kalabilmesi yeterli görülürken; bir savaş gemisi için dik durumda kalabilme kabiliyeti ön şart olmakla birlikte belirlenmiş görevlerini yerine getirmesi de büyük öneme sahiptir.

Bunların ışığında bir savaş gemisinin beka kabiliyeti tanımlarınken ele alınan sistem veya organizasyonun bir gemiden mütevellit silah sistemi olduğu ve insan yapımı düşmanca bir çevrede görev icra ettiği dikkate alınmalıdır.

NATO, 2003 yılında beka kabiliyeti ile ilgili şu tanımları kabul etmiştir:

- Beka kabiliyeti, bir silah sisteminin belirlenen görev (ler) ini bir savaş ortamında yürütmeye devam etme kabiliyetidir.
- Vurulabilirlik, belirli bir tehdidin isabet olasılığını belirleyen faktörlerin birleşimidir. (Bu faktörler; algılamaya, sınıflandırmaya, hedeflemeye, saldırıya, vurmaya duyarlılığı içerir.)
- Yaralanabilirlik, bir tehdidin tehdidine maruz kaldıktan sonra bir sistemin bozulma derecesidir, yani, silah isabetlerinin neden olduğu sınırlı hasarların sürdürülmesinin bir sonucu olarak görev bozukluğu derecesidir [30].

NATO'nun ilgili tanımlamasında, bir silah sisteminin beka kabiliyeti üzerinde durulmuştur; ancak savaş gemilerinin tek başına bir silah sistemi olarak tanımlanması yeterli olmayıp içinde görev yapan personelin de dikkate alınması gerektiği aşikârdır. Bu sebepledir ki yıllar içerisinde araştırmacılar tarafından üçüncü bir fonksiyon olarak geri kazanabilirlik fonksiyonu da tanım içine alınmıştır.

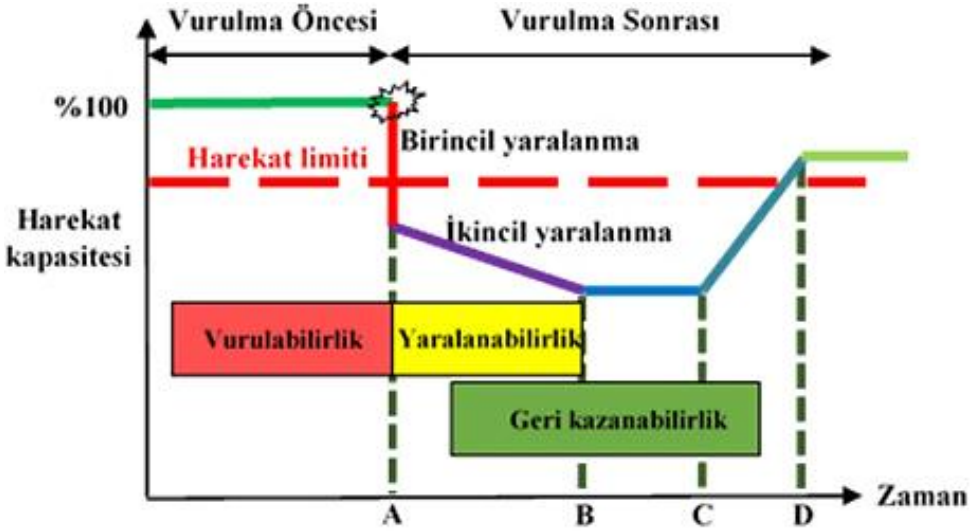
Ocak 2014 yılında NATO, savaş gemilerinin beka kabiliyetini, vurulabilirlik (geminin ne kadar kolay algılanabileceği), yaralanabilirlik (geminin ve sistemlerinin hasara karşı direnme kabiliyeti) ve geri kazanabilirlik (gemi personelinin gemiyi onarma ve işletme kapasitesini sürdürebilme yeteneği) açısından değerlendirmiş; ayrıca çatışma, karaya oturma veya düşman eylemi ile oluşan hasarın yanı sıra, nükleer, kimyasal ve biyolojik savunma konusunun da ele alınması gerektiğini belirtmiştir [31].



Şekil 2.1 Beka kabiliyetinin üç fonksiyonu

Detaylandıracak olursak; bir savaş gemisinin beka kabiliyeti, düşmanca bir ortamda algılanmadan görev yapabilme veya algılanması durumunda düşmanca ortamdan vurulmadan uzaklaşabilme (vurulabilirlik), vurulması durumunda dik konumda kalabilmekle birlikte, ana görev fonksiyonlarında önemli bir bozulma olmaksızın görev(ler)ini yürütebilme (yaralanabilirlik) ile gemi personelinin mevcut yara savunma sistemleriyle gemiyi eski konuma getirebilme (geri kazanabilirlik) kabiliyetlerinin toplamıdır.

Şekil 2.2'deki diyagram, bir savaş gemisinin beka kabiliyetini oluşturan vurulabilirlik, yaralanabilirlik ve geri kazanabilirlik fonksiyonlarının zamana bağlı olarak harekât kapasitesine etkilerini göstermektedir.



Şekil 2.2 Zamana bağlı harekat kapasitesi

Geminin tam olarak yetenekli olduğu Şekil 2.2'deki A noktasından önceki her şey, gemilerin saldırıya yatkınlığının/vurulabilirliğinin bir ölçüsüdür. Bu, geminin kesit izi, tehdit vurma (hard kill)/tehdit yanıltma (soft kill) sistemleri ve saldırıların karmaşıklığı ile ilgilidir.

A noktasında, gemi başarılı bir şekilde saldırıya uğruyor ve patlama, parçalanma benzeri birincil silah etkilerinden ötürü kapasitesinde ani bir düşme oluyor. Su basması ve yangın gibi ikincil etkiler, daha fazla kabiliyet kaybına yol açabilir (A noktasından B noktasına kadar). Bu, eğer gemi battıysa, elbette sıfıra düşecektir. A noktasından B noktasına olan kısım, geminin silah etkilerine karşı direncinin bir ölçüsü olan yaralanabilirlik fonksiyonudur.

Yayılmayı önleme ve yenileme aşamaları, B noktasından D noktasına, geminin hasardan kurtulma yeteneğini kapsar. Ancak, gerçekte, geri kazanabilirlik süreci, personelin yara savunma ve yangınla mücadele faaliyetlerini başlattığında, A noktası ve B noktası arasında bir yerde başlar.

Saldırı sırasında sürdürülebilen ya da daha sonra geri kazanılabilen yetenek miktarı, bir savaş gemisinin tasarımının iyi bir ölçüsüdür [18].

Son olarak, beka kabiliyetine yönelik ana kavramlarla ilgili öldürülebilirlik kavramına değinilmesinde yarar görülmektedir. Bir sonraki kısımda detaylı olarak açıklanacağı üzere; beka kabiliyetinin tersi öldürülebilirliktir. Doğaldır ki, gemi tasarımında öldürülebilirliğin sıfıra yakın olması istenmektedir. Ancak burada ifade edilen öldürülebilirlik ile sadece bütün geminin komple kaybının ifade edilmediği, gemi ölümünün birkaç şekilde olabileceği göz önüne alınmalıdır. Aşağıda gemi ölümleri tanımları artan önem derecesine göre verilmiştir [32]:

- **Sistem kaybı:** Bir veya birkaç bileşenin hasar görmesi sonucu bir sistemin kaybedilmesi. (bir yardımcı makinenin kaybı, CIWS kaybı vb.)
- **Harekat yeteneğinin kaybı:** Geminin ana görev fonksiyonlarından bir veya birkaçının kaybedilmesi. (Su üstü savunma harbi, hava savunma harbi vb.).
- **Hareket kaybı:** Geminin hareket kabiliyeti veya manevra kabiliyetinin kaybedilmesi. (Ana makine hasarı, dümen hasar vb.)
- **Toplam gemi kaybı:** Geminin batması, alabora olması, yangın gibi sebeplerle geminin bütün olarak kaybedilmesi.

Görüleceği üzere kayıplar arasında hiyerarşik bir yapı mevcuttur. Bir sistemin kaybı, zaman içerisinde görev fonksiyonlarından birinin kaybına neden olabileceği gibi bütün bir geminin yok olmasına sebep olabilecek bir su basması gemi personeli tarafından kontrol edilebilmesi durumunda sadece hareket kaybıyla sınırlandırılabilir. Kısaca zaman içerisinde kayıplar artabilir veya azalabilir. Öncelikli hedefimiz hasar seviyesini mümkün olan en düşük seviyeye kadar sınırlamaktır.

Burada yaralanabilirliğin ve geri kazanabilirliğin önemi ortaya çıkmaktadır. Çünkü gemi vurulduktan sonra ne kadar az yaralanabilir ise o kadar az önem derecesine sahip kayıplar olacaktır. Benzer şekilde geri kazanabilirlik ne kadar fazla ise hasar sonrası oluşan kayıplar o kadar iyi bir şekilde onarılmak suretiyle yeniden faal hale getirilebilecektir.

2.2 Beka Kabiliyetinin Risk Metodoloji Açısından Değerlendirilmesi

R.E. Ball, ilk kez 1985'te savaş uçakları için öne sürdüğü olasılığa dayalı beka kabiliyeti hesabının, 1994 yılında gemi tasarımında nasıl kullanılabileceğini ve beka kabiliyeti ile ilgili genel tanımlamaları ortaya koymuştur. Bir savaş gemisi göreve çıktığında, geminin hayatta kalmasına ilişkin önceden kesin bir tahmin yapılamaz. Savaş gemisi, belki görevden başarı ile dönecek belki de dönemeyecektir. Belki düşman tarafından vurulacak belki de vurulmayacaktır. Belki düşman tarafından vurulduğunda yangın başlayacak, belki de başlamayacaktır. Yangın çıkarsa belki geminin kaybına neden olacak, belki de olmayacaktır.

Herhangi bir görev senaryosunda, savaş gemisinin hayatta kalma kabiliyetini etkileyecek yukarıda tarif edilenlere benzer birçok rassal değişken vardır. Bu belirsizliklerin bir sonucu olarak, geminin savaşta hayatta kalmasını kesin olarak tahmin edilebilecek deterministik bir sonuç yoktur; bunun yerine stokastik bir sonuç vardır: savaş gemisi belki hayatta kalacaktır, belki kalmayacaktır.

Savaş doğasının rassal yapısının bir sonucu olarak, savaş gemisinin hayatta kalma kabiliyeti olasılıkla ölçülür. Bu olasılık P_S olarak belirtilir, savaş gemisinin hayatta kalma olasılığı (kabiliyeti). Hayatta kalma olasılığı, 0 ila 1 arasında değişir; değer 1'e ne kadar yakınsa, o kadar hayatta kalabilen bir gemi söz konusudur.

Bu yaklaşımda beka kabiliyetinin tamamlayıcısı olan öldürülebilirlik-P_K (killability), klasik risk metodolojisine paralel olarak tehlikelerin oluşma olasılığı (vurulma olasılığı-P_H) ile vurulma etkisinin (yaralanma olasılığı-$P_{K/H}$) çarpımı olarak ifade edilmiştir:

$$P_K = P_H \cdot P_{K/H} \tag{2.1}$$

Düşman ortamına giren bir savaş gemisi ya hayatta kalacak ya da ölecektir. Başka bir yolu olmadığı göz önüne alındığında beka kabiliyeti, öldürülebilirliğin tamamlayıcısıdır ve matematiksel olarak aşağıdaki formülle ifade edebilir:

$$P_S = 1 - P_K = 1 - P_H \cdot P_{K/H} \tag{2.2}$$

(2.2) eşitliği başka bir bakış açısıyla şöyle de ifade edilebilir. Beka kabiliyetinin tanımına göre, insan yapımı düşman ortamını önlediği veya buna karşı koyabildiği sürece savaş gemisi hayatta kalacaktır. Savaş gemisinin düşman ortamından kaçınmadaki yetersizliği P_H ile ölçülür. Bu durumda, savaş gemisinin düşman ortamından kaçınma yeteneği, P_H'nin tamamlayıcısıdır ve P_H^C ile gösterilir. Savaş gemisinin düşman silahına dayanamaması $P_{K/H}$ ile ölçülür. Bu durumda da, savaş gemisinin düşman silahına dayanma kabiliyeti $P_{K/H}$'nin tamamlayıcısıdır ve $P_{K/H}^C$ ile belirtilir. Sonuç olarak, beka kabiliyetinin (hayatta kalmanın) tanımı matematiksel olarak şöyle ifade edebiliriz:

$$P_S = P^C{}_H + P_H \cdot P^C{}_{K/H} \tag{2.3}$$

P_H ve $P^C{}_H$, $P_{K/H}$ ve $P^C{}_{K/H}$ birbirlerinin tamamlayıcısı olduklarından olasılık hesabına göre matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:

$$P_H + P^C{}_H = 1 \tag{2.4}$$

$$P_{K/H} + P^C{}_{K/H} = 1 \tag{2.5}$$

(2.4) eşitliği ve (2.5) eşitliğinde verilen ifadelerin (2.3) eşitliği ile ilişkilendirilmesi durumunda; (2.3) aşağıdaki gibi türetilebilir:

$$P_S = (1 - P_H) + P_H \cdot \left(1 - P_{K/H}\right) = 1 - P_H \cdot P_{K/H} \tag{2.6}$$

Görüleceği gibi (2.6) eşitliğinde verilen beka kabiliyetinin hesaplanmasına ait denklem ile (2.2) eşitliğinde verilen denklem aynıdır. Basit bir ifadeyle, hayatta kalmak istiyorsan, vurulma; ama vurulursan, sakın ölme.

Yukarıda verilen matematiksel ifadelerden anlaşılacağı üzere vurulabilirlik ve yaralanabilirlik fonksiyonları geminin düşman ortamına dayanma yetersizliklerini belirtmekte olup bu fonksiyonlar ne kadar fazla ise geminin yok edilebilme olasılığı da o kadar fazla olur. Dolayısıyla savaş gemisi tasarımında vurulabilirliğin ve yaralanabilirliğin azaltılması ana gayedir.

R.E. Ball'un 1994 yılında ortaya koyduğu bu yaklaşımdan yıllar sonra araştırmacılar tarafından geri kazanabilirlik fonksiyonu, beka kabiliyeti tanımı içine alınmış ancak matematiksel olarak ifade edilmemiştir. Bunun nedeni, geri kazanabilirlik fonksiyonunda büyük öneme sahip olan gemi personelinin eğitim düzeyinin yeterli olup olmadığına yönelik bir model geliştirmenin zorluğudur. Ancak yine de tasarım ekibi tarafından yara savunma sistemlerinin monte edilme süreçlerinde alınacak kararlara yönelik göz önünde bulunulması gereken tedbirler olduğu unutulmamalıdır. Risk azaltım metodunun (geri kazanabilirlik olasılığı-P_R) bütüncül bir şekilde uygulanması halinde; bütünsel gemi beka olasılığı kapsamında vurulabilirlik, yaralanabilirlik ve geri kazanabilirlik arasındaki matematiksel ilişkinin aşağıdaki şekilde ifade edilebileceği değerlendirilmektedir:

$$P_K = P_H \cdot P_{K/H} \cdot (1 - P_R) \tag{2.7}$$

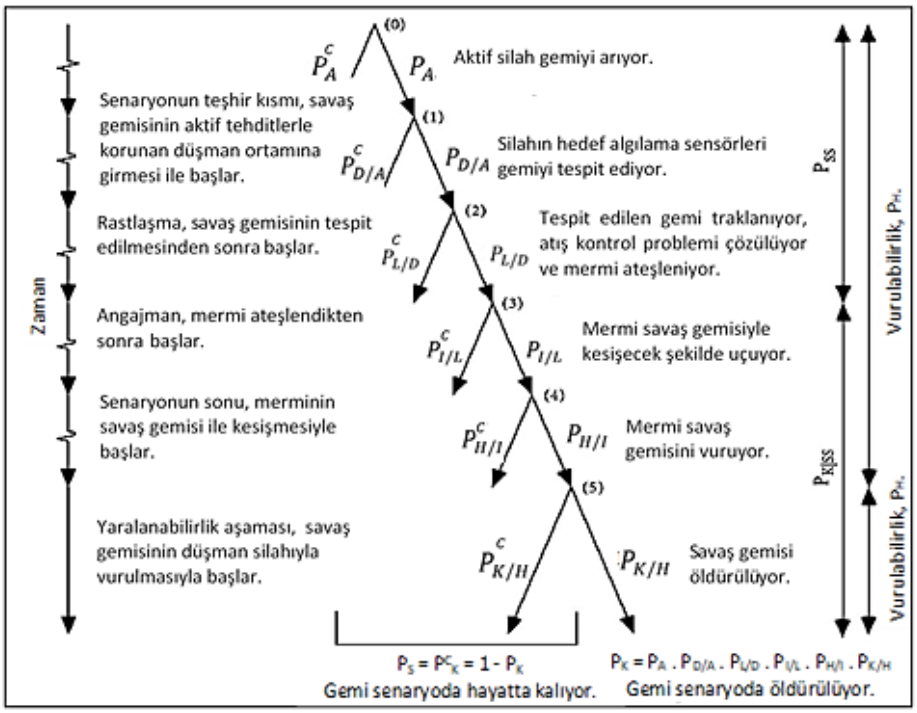
$$P_S = 1 - [P_H \cdot P_{K/H} \cdot (1 - P_R)] \tag{2.8}$$

Bir savaş gemisinin beka kabiliyeti yeteneğini arttırmanın belki de en önemli kısmı görev yapacağı ortamda karşılaşabileceği tehditlerin tahmin edilebilmesidir. Savaş gemisinin görev yapacağı ortamdaki tehditlerin kapasiteleri değerlendirilirken ne aşırı düşük kabul edilmeli ne de aşırı derecede kıymetlendirilmelidir. Çünkü tehdit kapasitelerinin düşük değerlendirilmesi tasarlandığı görevde etkili olamayacak şekilde yok edilebilen bir savaş gemisi tasarımına yol açacakken, aşırı derecede kıymetlendirilmesi ise görevi için çok fazla maliyetli bir savaş gemisi tasarımına yol açacaktır. Bunun yanı sıra, bir savaş gemisinin tasarım aşamasından hizmet dışına çıkarıldığı zamana kadarki sürenin yaklaşık 40 ila 50 yıl arasında olduğu göz önüne alındığında, örneğin 2020 yılındaki tehditler ile 2070 yılındaki tehditler

arasındaki kapasite farkının gelişen teknolojiye paralel olarak çok büyük olacağı unutulmamalıdır. Tabi ki bugünden 2070 yılındaki tehdit kapasitelerini tahmin etmek çok zordur; ancak mümkün olduğunca iyi bir değerlendirme yapılması ve geminin ömrü boyunca karşılaşabileceği tehditlere dayanabilecek şekilde tasarlanması ilerleyen yıllarda ekstra maliyetlerin önüne geçilmesini sağlayacaktır.

Bu kısımda, savaş gemisinin hayatta kalma olasılığını tahmin etmek için üretilebilecek basit bir prosedür üzerinde durulacaktır. Bu prosedür ile ayrıntılı bir değerlendirme amaçlanmamış; bunun yerine, düşman sahasına giren bir savaş gemisinin karşılaşabileceği tehditler ile hayatta kalmasının nelere bağlı olduğu ile ilgili genel terminolojiyi, ana aşamaları ve sonuçları içeren basit bir senaryo üretilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda; bire-bir angajman (tehdit tarafından tek bir angajman geliştirildiği) için öldürme zinciri Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

Şayet savaş gemisinin düşman unsuru tarafından vurulmasına neden olacak olaylar zincirini kırabilirsek, gemi, düşman angajmanından kurtulabilme yeteneğine sahip olacaktır; bu kısım, vurulabilirlik azaltma tedbirleriyle ilgilidir. Geminin vurulduğu anda komple veya kritik bileşenlerinin yok edilmesini önleme ise yaralanabilirlik azaltma tedbirleri ile ilgili olup geminin ve kritik bileşenlerinin, düşman hasar mekanizmalarına dayanabildiği anlamına gelir [1].



Şekil 2.3 Bire-bir angajman senaryosu

Şekil 2.3'te görüleceği üzere ele alınan senaryo vurulabilirlik kısmı ve yaralanabilirlik kısmı olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Vurulabilirlik kısmı kendi içinde sıralı beş aşamadan oluşur. Düşman unsuru, savaş gemisini vurmak için sırasıyla aşağıdaki işlemleri yerine getirmelidir:

1. Savaş gemisini aramalı,

2. Savaş gemisini algılamalı (tespit etmeli),

3. Savaş gemisine top mermisi veya güdümlü mermi ile angajman geliştirilmeli (ateş etmeli),

4. Ateşlenen top mermisi veya güdümlü mermi uçmalı ve savaş gemisiyle kesişmeli,

5. Ateşlenen top mermisi veya güdümlü mermi üzerindeki harp başlığı tahrip mekanizması türüne göre ya direkt olarak ya da parça tesirli olarak kesişen savaş gemisine çarpmalıdır.

Son aşama yaralanabilirlik kısmıdır ve isabet alan savaş gemisini öldürmek için şu yapılmalıdır:

6. Savaş gemisine çarpan hasar mekanizmaları (direkt veya parça tesirli harp başlığı), geminin seyir/harekât görevlerini yapmasına engel olacak şekilde kritik bileşenlerinden bir veya daha fazlasını yok etmelidir.

Düşman gözüyle bakarsak; bu aşamaların her biri ya senaryodaki bir noktada başarılı bir sonuçla ya da tüm aşamada başarısız bir sonuçla sona erecektir. Örneğin, savaş gemimizin su üstü arama radarını çalıştırmak suretiyle düşman su üstü gemisi tarafından savunulan bir sahaya girdiğini varsayalım. Düşman unsuru arama yapıyor, bu tehdidin aktif ve birinci aşamanın başarılı olduğu anlamına gelir. Şayet aktif tehdit, senaryo içinde belirli bir zamanda, savaş gemimizi algılarsa ikinci aşama başarılı olarak kabul edilir ve senaryo üçüncü aşamaya devam eder. Öte yandan senaryo içinde gemimiz düşman unsuru tarafından savunulan sahadan algılanmadan geçer ise ikinci aşama sonucu başarısız kabul edilir ve tüm senaryo sona erer.

Şekil 2.3'te soy ağacı şeması ile gösterilen senaryo her bir aşamanın başarılı veya başarısız olması durumunu göstermektedir. Sağ tarafta aşamaların başarılı olması

durumu, sol tarafta ise başarısız olması durumu gösterilmektedir. Görüleceği üzere, oklar aşağıya doğru dallanırken sol tarafta her hangi bir aşamanın düşman gözüyle başarısız olması durumunda dallanma sona ermekte kısaca senaryo bitmektedir. Özetle bir savaş gemisi, ancak altı aşamanın her birinin başarılı olması durumunda öldürülecektir. Bu durumda da savaş gemisi tasarımında amacımız bu aşamalardan herhangi birinin başarısız kılınmasıdır.

Çok sayıda benzer senaryo incelenirse; önceki aşamaların başarılı olduğu göz önüne alındığında senaryo sırasında herhangi bir zamanda her bir aşamanın başarılı bir sonuca sahip olması olasılığı tahmin edilebilir. Her bir vurulabilirlik aşamasının başarılı sonuca sahip olma olasılığı aşağıda belirtilen ifadelerle ölçülebilir:

1. P_A, savaş gemisinin yakınında bir tehdit silahının aktif olma olasılığıdır; yani, tehdit atış kontrol radarı aktif ya da pasif bir biçimde arama yapıyor ve savaş gemisini bulmaya veya angajman geliştirmeye hazır.

2. $P_{D/A}$, tehdidin aktif olduğu göz önüne alındığında geminin algılanma koşullu olasılığıdır.

3. $P_{L/D}$, tehdidin aktif olduğu ve geminin algılandığı göz önüne alındığında geminin traklanma, atış kontrol probleminin çözülme ve merminin ateşlenme koşullu olasılığıdır.

4. $P_{I/L}$, merminin ateşlenmesi şartıyla, tehdidin (merminin) gemiye yaklaşması veya kesişmesi koşullu olasılığıdır.

5. $P_{H/I}$, merminin gemiyle kesişmesi koşuluyla, gemiyi vurma koşullu olasılığıdır.

Bire bir senaryonun son aşaması, yaralanabilirlik aşamasıdır:

6. $P_{K/H}$, merminin gemiyi vurma koşuluyla geminin öldürülme koşullu olasılığıdır.

Örnek olarak radyo frekansı (RF) veya radar-yönlendirmeli güdümlü mermi sistemine sahip tehdit tarafından gece şartlarında bir hücum geliştirilecek senaryoyu ele alalım. Senaryo, Şekil 2.3'teki soy ağacının tepesinde (0 noktası), savaş gemisinin tehdit silahının savunduğu alana girmesiyle başlar. Gemi, P_A, olasılığı ile aktif olarak arama tehdidine maruz kalır. Maruz kalma terimi, geminin

aktif tehdit tarafından savunulan alanda olduğu durum anlamına gelir. Gemi, P_A^C, olasılığında aktif bir tehdide maruz kalmamaktadır; burada $P_A^C = 1 - P_A$'dır.

Gemi aktif bir tehdide maruz kalmazsa, senaryodan kurtulur. Örneğin, gece saldırısı bir sürprizse ve tehdit, gemi savunma alanından geçerken aramaya başlamaya hazır değilse, tehdit etkin değildir ve bu nedenle gemi öldürülemez. Etkin olmayan diğer bir tehdit örneği, düşmanın arama radarı veya güdümlü mermi fırlatma platformunun, savaş gemisi veya dost müttefik kuvvetleri tarafından tahrip edildiğidir. Bu durumlardan herhangi birinin meydana gelme olasılığı P_A^C'dır. Gemi, tehdit tarafından savunulan alanın etrafından seyredecek şekilde kumanda edildiğinde, $P_A = 0$'dır.

Gemi aktif bir tehdide maruz kalırsa, senaryo, soy ağacının sağ kolunu 0 noktasından 1 noktasına kadar ilerletir. 1 noktasında, geminin aktif tehdit tarafından algılanması, $P_{D/A}$ olasılığı ile gerçekleşir ve $P_{D/A}^C$ olasılığı ile gerçekleşmez. Gemi platform izi, düşman radarı tarafından görülmek için yeterince büyük olduğunda algılanma gerçekleşebilir. Algılanma, geminin aktif tehdit radarına nisbi konumuna bağlı olduğundan, $P_{D/A}$'nın spesifik değeri, ilgilenilen senaryodaki geminin konumuna bağlıdır. Genel olarak, gemi tehdit radarına ne kadar yakınsa, algılanma olasılığı da o kadar fazladır. Aktif tehdidin gemiyi algılama olasılığı, iki sonucun, $P_A \cdot P_{D/A}$, koşullu olasılığı ile verilmektedir. Eğer gemi görevi esnasında tehdit arama radarına maruz kalırsa, ancak ekosunun algılanma için tehdit radarı eşik değerin altında olduğu veya dost karıştırma sistemlerinin gürültüsü sayesinde gemi ekosunu gizleyebilmesi nedenleriyle, radar tarafından hiçbir zaman algılanmaz ise senaryodan kurtulur. Aktif tehdidin gemiyi tespit etmediği, bu hayatta kalma olayının olasılığı, $P_A \cdot P_{D/A}^C$ tarafından verilmektedir.

Gemi eninde sonunda algılanırsa, soy ağacı 1 noktasından 2 noktasına kadar ilerler ve çarpışma başlar. 2 noktasında, bir atış kontrol çözümü elde etmek için gemi yeterli bir süre traklanır ve $P_{L/D}$ olasılığı ile mermi ateşlenir. Merminin algılanan gemiye ateşlenememesi olasılığı $P_{L/D}^C$'dır. Aktif tehdidin gemiyi algıladığı ve güdümlü mermiyi ateşlediği olasılık $P_A \cdot P_{D/A} \cdot P_{L/D}$ ile verilir; aktif tehdidin gemiyi algıladığı ancak güdümlü mermiyi ateşleyemediği olasılık $P_A \cdot P_{D/A} \cdot P_{L/D}^C$ ile verilir.

Şayet tehdit güdümlü mermiyi ateşlerse, senaryo soy ağacını 2 noktasından 3 noktasına kadar ilerletir ve angajman başlar. Bu örnek senaryoda, gemiye yalnızca bir güdümlü mermi ile angajman geliştirilmektedir. Ateşlenen güdümlü merminin üzerindeki harp başlığının hedefi öldürme olasılığı olacak şekilde hedefe yeterince yaklaşması durumunda, başarılı bir müdahalenin gerçekleştiği söylenir. 3 noktasında $P_{I/L}$ olasılığı ile başarılı bir kesişme meydana gelir ve $P_{I/L}^{C}$ olasılığı ile başarılı bir kesişme gerçekleşmez.

Bir kesişme olursa, senaryo, 3 noktasından son oyunun başladığı 4 noktasına ilerler. 4 noktasında güdümlü mermi ya gemiyi $P_{H/I}$ olasılığı ile vurur ya da $P_{H/I}^{C}$ olasılığı vurmaz.

Şayet gemi isabet alırsa, yaralanabilirlik aşaması başlar ve senaryo, 5 noktasından geminin $P_{K/H}$ olasılığı ile öldüğü sağ en alt noktaya ilerler; aksi durumda $P_{K/H}^{C}$ olasılığı ile ölmez.

Yukarıda tarif edilen senaryonun vurulabilirlik bölümünün beş ardışık aşamasının her biri, gemide bir isabet elde etmek için başarılı sonuçlanmalıdır. Bu nedenle, geminin isabet olma olasılığı, bu beş fazın başarılı olmasının bileşik olasılığıdır. Bu bileşik olasılık, soy ağacının sağ kısmının 0 noktasından 5 noktasına kadar başarıyla yol almasını sağlayan beş bireysel olasılığın mantıksal sonucu ile verilmektedir. Böylelikle; geminin, tehdidin savunduğu alana doğru ilerlerken tek bir atışla vurulma olasılığı,

$$P_H = P_A \cdot P_{D/A} \cdot P_{L/D} \cdot P_{I/L} \cdot P_{H/I} \tag{2.9}$$

ile ifade edilir.

Bu bire-bir senaryoda, gemi, sadece Şekil 2.3'te gösterilen soy ağacı diyagramının sağ tarafındaki altı kolun tamamı aşağı ilerletilerek öldürülebilir. Bu aşağı giden altı kol, öldürme zinciri olarak adlandırılır. Bu nedenle; geminin, güdümlü mermiye sahip bir tehdit tarafından öldürülme olasılığı,

$$P_K = (P_A \cdot P_{D/A} \cdot P_{L/D} \cdot P_{I/L} \cdot P_{H/I}) \cdot P_{K/H} = P_H \cdot P_{K/H} \tag{2.10}$$

ile ifade edilir.

Şekil 2.3'te gösterilen olasılıklarının birkaçı ile (2.9) ve (2.10) eşitliklerinde verilen denklemlerin kombinasyonu, ilgilenilen diğer olasılıkları vermek için birleştirilebilir. Örneğin $P_{D/A}$ ve $P_{L/D}$'nin mantıksal sonucu, aktif bir silah tarafından gemiye angajman geliştirilebilirliği ($P_{E/A}$) belirtir. Böylece;

$$P_{E/A} = P_{D/A} \cdot P_{L/D} \tag{2.11}$$

ile ifade edilir.

Senaryoda geminin angajmana uğradığı olasılık (P_E), tehdidin aktif olması (P_A) ile tehdidin aktif olması koşuluyla geminin angajmana uğrama koşullu olasılığının ($P_{E/A}$) bileşke olasılığıdır. Böylece;

$$P_E = P_A \cdot P_{E/A} = P_A \cdot (P_{D/A} \cdot P_{L/D}) \tag{2.12}$$

ile ifade edilir.

Angajman tek bir mermiden oluştuğunda, P_E, P_{SS} ile değiştirilebilir. P_{SS}, senaryoda tek bir atış olasılığı olmak üzere;

$$P_{E(TEK\ ATIŞ)} = P_{SS} \tag{2.13}$$

Tek atış için $P_{I/L}$ ve $P_{H/I}$'nin mantıksal sonucu, angajman geliştirilen geminin isabet alma olasılığını ($P_{H/SS}$) ifade eder. Bu nedenle,

$$P_{H/SS} = P_{I/L} \cdot P_{H/I} \tag{2.14}$$

olarak ifade edilir.

$P_{H/SS}$ ve $P_{K/H}$ olasılıklarının bileşik kombinasyonu, tek atışlık angajman olayının öldürme olasılığını ($P_{K/SS}$) verir. Böylece,

$$P_{K/SS} = P_{H/SS} \cdot P_{K/H} \tag{2.15}$$

olarak ifade edilir.

Tek atışlı bir senaryoda gemiye angajman geliştirilmesi olasılığı (P_{SS}) ile bu tek atışlı angajman tarafından geminin öldürülme olasılığının ($P_{K/SS}$) bileşik kombinasyonu daha genel bir denklem olarak tehdit silahının gemiyi öldürme kabiliyetini verir. Bu;

$$P_K = P_{SS} \cdot P_{K/SS} \tag{2.16}$$

şeklinde ifade edilir.

Düşman savunma sistemi açısından değerlendirecek olursak, P_K'nın ölçüsü, silah sisteminin etkinliğini verir. $P_{K/SS}$, silahının öldürücülüğünü veya silahın uçuştaki etkinliği; merminin harp başlığının öldürücülüğünü verir.

Geminin bire-bir senaryoda hayatta kalma olasılığı, tehdidin her bir bağımsız olayda başarısız olma olasılıklarının bileşkesidir. Bu, soy ağacının sol tarafına uzanan başarılı olma olasılıklarının tamamlayıcısıdır. Buradan hareketle geminin beka kabiliyeti olasılığı aşağıdaki formül aracılığıyla hesaplanabilir.

$$P_S = P_K^C = 1 - P_K = 1 - P_H \cdot P_{K/H} \tag{2.17}$$

$$P_S = 1 - (P_A \cdot P_{D/A} \cdot P_{L/D} \cdot P_{I/L} \cdot P_{H/I}) \cdot P_{K/H} \tag{2.18}$$

Bu alt bölümde bahsedilen senaryoda ortaya çıkabilecek tüm olası tehditlere karşı geminin beka kabiliyetini artırmak için yapılması gereken işlemler ve dikkat edilmesi gereken hususlar, sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.3 Beka Kabiliyetinin Fonksiyonları

Beka kabiliyetinin daha önceki alt bölümlerde bahsedildiği üzere üç temel fonksiyonu bulunmaktadır. Bunlar vurulabilirlik, yaralanabilirlik ve geri kazanabilirliktir. Bu alt bölümde beka kabiliyetinin sözü edilen fonksiyonlarına değinilecektir.

2.3.1 Vurulabilirlik

Genel olarak bir geminin vurulabilirliği, düşman silahları veya silahların hasar mekanizmaları tarafından geminin vurulma olasılığı olup (P_H) ile ifade edilir. Diğer bir deyişle vurulabilirlik, geminin insan yapımı düşman ortamındaki sensörlerden, silahlardan ve silah etkilerinden kaçabilme yetersizliğidir [32].

Gemi tasarımında arzu edilen geminin vurulmaz olmasıdır; bu durumda vurulabilirlik fonksiyonu sıfır olmalıdır. Ancak bu imkânsızdır. Vurulabilirliği etkileyen özellikleri istediğiniz kadar iyi tasarlayın günümüz sofistike radar ve silah sistemleri tarafından geminin algılanamaması söz konusu değildir.

Dolayısıyla amaç vurulabilirliği mümkün olduğunca azaltmaktır. Bunun için de vurulabilirliği etkileyen hususların çok iyi bir şekilde bilinmesi ve optimum düzeyde tasarlanması gerekmektedir.

Bir savaş geminin vurulabilirliğini etkileyen beş temel fonksiyondan tehdit silahının aktif olma olasılığı, P_A, gemi tasarımıyla doğrudan ilgili olmayıp düşmanın operasyonuyla ilgilidir. Diğer fonksiyonların neler olduğu ve tahminlerine yönelik açıklamalar alt bölümlerde verilecektir.

2.3.1.1 Algılanma Olasılığı, $P_{D/A}$

İlk fonksiyon, geminin herhangi bir tespit sistemi tarafından algılanabilme kolaylığı; diğer bir deyişle arama yapan aktif bir sensör tarafından algılanma olasılığıdır ($P_{D/A}$). Geminin aktif bir tehdit tarafından algılanma olasılığı, tehdidin sensörünün, menzilinin ve geminin platform izinin bir fonksiyonudur. Gemi platform izi, geminin ne kadar kolay algılanabileceğine etki eder. Geminin radar kesit alanı (RKA), kızılötesi (IR), sualtı ve görsel izinin tespiti için bilgisayar modelleri geliştirilmiş ve gemi platform izini hesaplamak için kullanılmaktadırlar. Ancak bu programlar geminin üst yapısı dahil tam bir resmine ihtiyaç duyduklarından genellikle hantaldır ve mevcut alternatifleri değerlendirmez. Bu sebeple tasarımın ilk aşamalarında basitleştirilmiş ampirik formüller kullanılır.

Bir nesnenin radar kesit alanı aşağıdaki fonksiyon ile hesaplanabilir:

$$\sigma = A \times R \times D \tag{2.19}$$

(2.19) eşitliğinde;

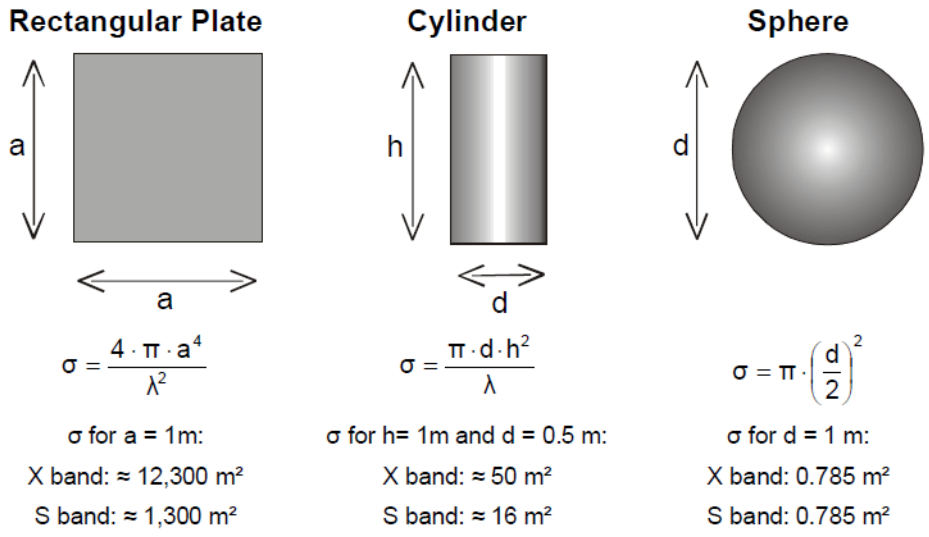
A, ilgili nesnenin yüzeyini,

R, yansıma özelliğini,

D, yönelme özelliğini,

temsil eder.

Bazı basit yansıtıcıların radar kesit alanı hesabı Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Basit yansıtıcılar [33]

Tablo 2.1'de görünmezlik özelliği olmayan hedeflerin RKA'ları verilmiştir.

Tablo 2.1 Görünmezlik özelliği olmayan hedeflerin radar kesit alanları [34]

Hedef	RKA (m2)	RKA (dBsm)	Göreceli aralık
Uçak gemisi	100.000	50	1778
Korvet	10.000	40	1000
Kargo uçağı	100	20	316
Bomba uçağı	40	16.0	251
Büyük avcı uçağı	6	7.8	157
Küçük avcı uçağı	2	3.0	119
İnsan	1	0	100
Konvansiyonel güdümlü mermi	0.5	-3.0	84
Büyük kuş	0.05	-13.0	47
Büyük böcek	0.001	-30	18
Küçük kuş	0.00001	-50	6
Küçük böcek	0.000001	-60	3

Rains'a göre bir suüstü savaş gemisinin RKA'sının ilk tahmini için (2.20) eşitliğinde verilen denklemden yararlanılabilir [35].

$$\sigma = 52 \times \sqrt{f} \times \sqrt[3]{Disp^2} \tag{2.20}$$

(2.20) eşitliğinde;

σ, geminin m^2 cinsinden RKA'sını,

f, MHz cinsinden radar frekansını,

$Disp$, ton cinsinden geminin deplasmanını,

temsil eder.

Tablo 2.2'de örnek radar bandları ve frekansları verilmiştir.

Tablo 2.2 Radar bantları ve frekansları [34]

Bant	Maksimum Frekans	Tipik Merkez Frekans	İlgili Dalga Boyu	Örnek Açıklamalar
mm	300 GHz	100 GHz	3 mm	Çok kısa mesafe görüntüleme radarları
K_a	40 GHz	35 GHz	8.6 mm	Çok kısa mesafe arayıcılar
K_u	18 GHz	16 GHz	18.7 mm	Kısa mesafe arayıcı, Seyir radarları
X	12 GHz	9.5 GHz	3.2 cm	Hava aracı tespit radarları, Arayıcılar, Seyir radarları
C	8 GHz	5.5 GHz	5.5 cm	Kara ve gemi atış kontrol radarları
S	4 GHz	3 GHz	10 cm	Çok fonksiyonlu radarlar, AEW
L	2 GHz	1.3 GHz	23 cm	Hava gözetleme, radarları AEW
UHF	1 GHz	450 MHz	67 cm	Hava gözetleme radarları, AEW
VHF	300 MHz	225 MHz	1.3 m	Uzun mesafe hava gözetleme radarları
HF	30 MHz	10 MHz	3 m	Ufuk ötesi gözetleme radarları

Mahafza [36], radarın maksimum algılama denklemini (2.21) eşitliği ile ifade etmiştir:

$$R_{mak} = \left[\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 B F L (SNR)_{min}}\right]^{\frac{1}{4}} \quad (2.21)$$

(2.21) eşitliğinde bütün parametreler dB alınmak suretiyle;

R_{mak}, maksimum algılama mesafesini,

P_T, tepe gücünü,

G, anten kazancını,

λ, radar frekansının dalga boyunu ($\lambda = \frac{c}{f_0}$),

c, ışığın hızını, f_0, radar işletme frekansını,

σ, hedefin radar kesit alanını,

k, boltzmann sabitini, ($1.38 \times 10^{-23}\, J/K$)

T_0, Kelvin cinsinden radarın ısısını,

B, radar bant genişliğini, $B = \frac{1}{\tau}$, τ, radar sinyal genişliğini,

F, radar alıcısının gürültü değerini,

L, radar kayıplarını,

$(SNR)_{min}$, saptama için radar eşiğini (ayırt edilebilen minimum sinyal gücünü),

temsil etmektedir.

(2.21) eşitliğinde verilen denkleme göre, radarın algılama mesafesi, RKA'nın ¼'üncü kuvvetiyle, ($\sigma^{1/4}$) orantılıdır. Örneğin, eğer geminin RKA'sını % 20 oranında azaltır isek; geminin düşman radarı tarafından algılanma mesafesi yaklaşık % 5,5 oranında azalacaktır. Bu husus Şekil 3.2'den de kolaylıkla gözlemlenebilmektedir; geminin RKA'sının % 25 oranında azaltılmasıyla algılanma mesafe % 7 oranında azalmıştır.

(2.21) eşitliği ayırt edilebilen minimum sinyal gücünü bulmak üzere düzenlendiğinde aşağıdaki eşitlik elde edilir;

$$(SNR)_{min} = \frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_0 B F L R_{mak}^4} \quad (2.22)$$

Mahafza [36]'a göre, aktif tehdit tarafından geminin algılanma olasılığı, $P_{D/A}$, aşağıdaki denklem ile tanımlanabilir;

$$P_{D/A} \approx 0.5 \times erfc(\sqrt{-lnP_{fa}} - \sqrt{SNR + 0.5}) \quad (2.23)$$

(2.23) eşitliğinde;

$erfc = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-v^2} dv$ olmak üzere,

P_{fa}, hatalı alarm olasılığını,

temsil etmektedir.

Tablo 2.3 Ayırt edilebilen minimum sinyal gücü [36]

	P_{fa}									
P_D	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}
0.1	4.00	6.19	7.85	8.95	9.94	10.44	11.12	11.62	12.16	12.65
0.2	5.57	7.35	8.75	9.81	10.50	11.19	11.87	12.31	12.85	13.25
0.3	6.75	8.25	9.5	10.44	11.10	11.75	12.37	12.81	13.25	13.65
0.4	7.87	8.85	10.18	10.87	11.56	12.18	12.75	13.25	13.65	14.00
0.5	8.44	9.45	10.62	11.25	11.95	12.60	13.11	13.52	14.00	14.35
0.6	8.75	9.95	11.00	11.75	12.37	12.88	13.5	13.87	14.25	14.62
0.7	9.56	10.50	11.50	12.31	12.75	13.31	13.87	14.20	14.59	14.95
0.8	10.18	11.12	12.05	12.62	13.25	13.75	14.25	14.55	14.87	15.25
0.9	10.95	11.85	12.65	13.31	13.85	14.25	14.62	15.00	15.45	15.75
0.95	11.50	12.40	13.12	13.65	14.25	14.64	15.10	15.45	15.75	16.12
0.98	12.18	13.00	13.62	14.25	14.62	15.12	15.47	15.85	16.25	16.50
0.99	12.62	13.37	14.05	14.50	15.00	15.38	15.75	16.12	16.47	16.75
0.995	12.85	13.65	14.31	14.75	15.25	15.71	16.06	16.37	16.65	17.00
0.998	13.31	14.05	14.62	15.06	15.33	16.05	16.37	16.70	16.89	17.25
0.999	13.62	14.25	14.88	15.25	15.85	16.13	16.50	16.85	17.12	17.44
0.9995	13.84	14.50	15.06	15.55	15.99	16.35	16.70	16.98	17.35	17.55
0.9999	14.38	14.94	15.44	16.12	16.50	16.87	17.12	17.35	17.62	17.87

Tablo 2.3, (2.23) eşitliğini kullanılarak birkaç $P_{D/A}$ ve P_{fa} değerine karşılık gelen bazı SNR örneklerini vermektedir. Örneğin, $P_{D/A} = 0{,}80$ ve $P_{fa} = 10^{-10}$ ise, bu $P_{D/A}$ ve P_{fa} kombinasyonunu gerçekleştirmek için gereken Minimum Sinyal Gücü, SNR = 14,55 dB'dir.

(2.22) eşitliğinde verilen denklemden anlaşılacağı üzere, geminin radar kesit alanında meydana gelen bir azalma daha düşük bir sinyal gürültü oranı meydana getirmektedir. Tablo 2.3'den görüleceği gibi, aynı hatalı alarm oranına sahip bir radar ve daha düşük bir SNR değeri, daha düşük algılama olasılığına neden

olacaktır. Böylece, belli bir mesafede, düşük radar kesit alanına sahip bir geminin algılanma olasılığı, normal seviyede radar kesit alanına sahip bir geminin algılanma olasılığına kıyasla daha düşük olacaktır. Bu nedenle, düşük radar kesit alanına sahip bir gemi, daha düşük algılanma riskiyle görevini yerine getirebilecektir.

2.3.1.2 Traklanma ve Merminin Ateşlenmesi Olasılığı, $P_{L/D}$

Geminin algılanmasından sonra, tespit ettiği hedefin ele alınmasına karar vermek düşmana kalmıştır. Şayet hedefe angajman geliştirmek istiyorsa, sıra sınıflandırma, hedefleme ve mermilerin ateşlenmesi işlemlerine gelecektir.

İkinci fonksiyon, geminin herhangi bir atış kontrol sistemi tarafından traklanması ve atış kontrol probleminin çözülmesi suretiyle merminin ateşlenmesi kolaylığıdır. Traklanma, atış kontrol sistemine hedef üzerinde hesaplamaları gerçekleştirebilmesi için belirli bir süre boyunca sabit ve tutarlı bir sinyal gücü gerektirdiği için algılamadan farklıdır. Yine, gemi izi, geminin ne kadar kolay traklanabileceğini belirlemekte olup genel olarak geminin algılandıktan sonra atış kontrol sistemi tarafından traklanma ve merminin ateşlenmesi olasılığı ($P_{L/D}$) olarak tarif edilebilir.

2.3.1.3 Merminin Gemiye Yaklaşması / Kesişmesi Olasılığı, $P_{I/L}$

Bu aşamada savaş gemisi saldırı altında olduğunu anladığında tehdit önleme sistemlerini kullanmak suretiyle merminin gemiyle kesişmesini önlemeye çalışacaktır. Merminin savaş gemisine hasar verecek şekilde yaklaşması veya gemiyle kesişmesi olasılığı, $P_{I/L}$, geminin tehdit önleme sistemlerinin etkinliyle ilgilidir.

Savaş gemisi tehdit mermisinin yaklaştığını tespit ettiğinde ilk olarak merminin radarını karıştırmaya çalışacaktır.

Geminin karıştırma cihazı, yüksek gücü nedeniyle, merminin radarını hedefinden belli bir mesafeye ulaşana kadar engelleyebilir. Bu mesafe, karıştırma cihazı ile radar arasındaki güç oranına bağlıdır. Mermi bir kez gemiye kilitlendiğinde, geminin yönüne dönüp dönmeyeceği aerodinamik özelliklerine (maksimum dönüş ivmesi ve hızı gibi) bağlıdır. Şayet dönmezse, gemiyi ıska geçecektir. Merminin

başarılı olabilmesi için, minimum dönüş yarıçapının o anda gemiye olan mesafesinden daha az olması gerekir [35].

$$Mermi\ yarçapı = \frac{V_m^2}{N \cdot g} \leq R_{regain} \tag{2.24}$$

(2.24) eşitliğinde;

V_m, merminin hızını,

N, merminin maksimum dönüş ivmesini,

g, yerçekimi ivmesini,

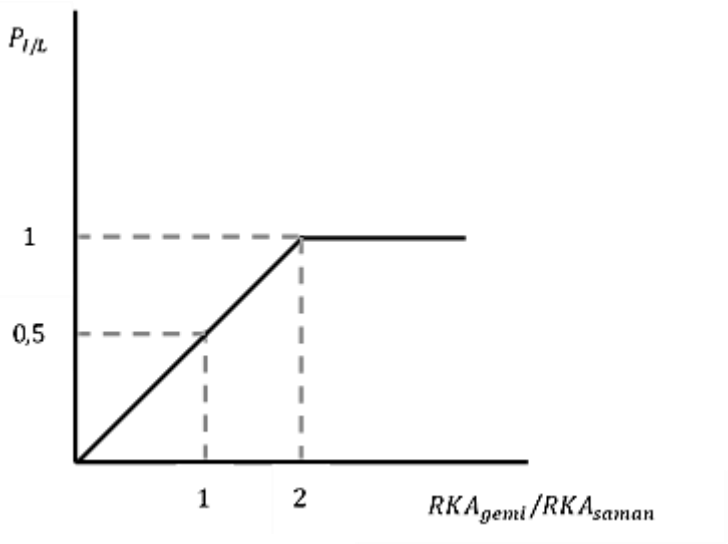
ifade eder.

Merminin, geminin bulunduğu yerin net bir resmini alacağı mesafe, (2.25) eşitliğinde verilen denklem ile hesaplanır [35]:

$$R_{regain} = \sqrt{\frac{P_M}{P_J} \cdot \frac{\sigma}{4\pi}} \tag{2.25}$$

(2.25) eşitliğinde P_M/P_J, merminin arama radarı ile geminin karıştırma cihazı arasındaki güç oranını ifada eder. Dolayısıyla, karıştırmanın etkinliği, normal dağılımın geminin bir ucu ile $R_{mak} - R_{regain}$ mesafesinin geminin orta noktasına kadar olan mesafesine integralinin alınması ile ifade edilebilir [9].

Savaş gemisinin, merminin gemiyle kesişmesini önleyebilmesi için bir sonraki aşama saman sistemidir. Saman sisteminin performansı samanın RKA'sına bağlıdır. Eğer geminin RKA'sından daha büyükse, tehdidin aldatılmasına izin verecektir. Şayet eşit ise merminin samanları takip etme ihtimali % 50'dir. Saman sisteminin etkinliği basit bir doğrusal ilişki varsayılarak değerler elde edilebilir [30] (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Merminin RKA_{gemi}/RKA_{saman} oranına göre gemiyle kesişmesi olasılığı

Saman RKA'sı normal olarak geminin RKA'sını geçmelidir. 10-20 GHz arasında saman RKA'sının 2.000 m^2 olduğu varsayılabilir [37].

Karıştırma ve saman sistemlerinin yanı sıra şayet savaş gemisinin yakın savunma silahı (CIWS gibi) varsa gelen mermiyi yok etmeye çalışacaktır. Yakın savunma silahlarının başarı olasılığı genellikle gerçek testlere dayanmaktadır. Şayet savaş gemisinin füze karşıtı sistemi (Evolved Sea Sparrow Missile (ESSM) gibi) varsa bunların da katkısı dâhil edilmelidir.

2.3.1.4 Merminin İsabet Olasılığı, $P_{H/I}$

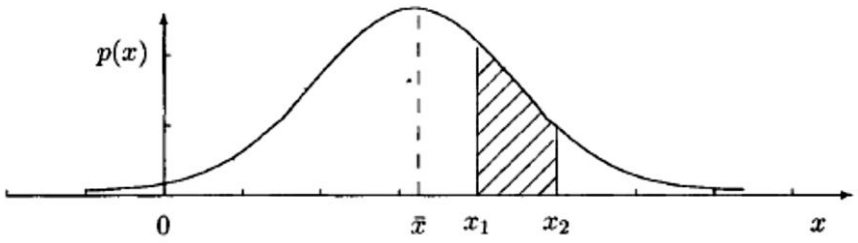
Son fonksiyon, ya sakınma ya da gemiye isabet etmeden önce silahın yok edilmesiyle vurulmaktan kaçınma yeteneğidir. Merminin gemiye yaklaşmasından sonra mermi harp başlığının veya hasar mekanizmalarının gemiye isabet olasılığı ($P_{H/I}$) olarak ifade edilir.

Suüstü savaş gemileri için, bir tehdit silahının isabetinin gemi boyunca herhangi bir pozisyonda bulunma olasılık dağılımı vardır. Bu, hem tehdidin (silahın) özelliklerine hem de hedefin (gemi) özelliklerine bağlıdır. Bu dağılımın, vurulabilirlik ile ilişkili olduğu aşikârdır. Gemi boyunca iz dağılımı için gerçek tahminlerin bulunmadığı ilk aşamalarda, gemi boyunca silah etkisi olasılığının parçalı doğrusal ya da normal dağılım gibi temel bir matematiksel dağılım izlediğini varsayabiliriz [21].

Normal olasılık dağılımı (2.26) eşitliğinde verilen denklem ile ifade edilir;

$$p(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\times\sigma} \times exp\left[-\frac{(x-\bar{x}^2)}{\sigma^2}\right] \qquad (2.26)$$

Bu dağılım, ortalama pozisyon etrafında simetriktir ve Şekil 2.6'da gösterildiği gibi genel çan eğrisi şekline sahiptir.

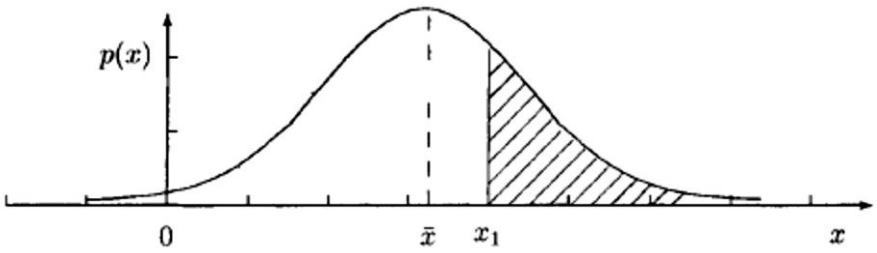


Şekil 2.6 x'in x_1 ve x_2 arasında meydana gelme olasılığı

Bu kısımda, normal olasılık yoğunluk dağılım eğrisinden olasılık hesaplanması ile ilgili bazı temel kavramlar tanımlanacaktır.

Şekil 2.6'da gösterilen x_1 ile x_2 arasındaki eğri altındaki alan (2.27) eşitliğinde gösterildiği gibi, x'in x_1 ve x_2 arasında meydana gelme olasılığını yansıtmaktadır.

$$p(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p(x)dx \qquad (2.27)$$



Şekil 2.7 x'in x_1 ve ∞ arasında meydana gelme olasılığı

Benzer şekilde Şekil 2.7'de verilen x_1 ile $x = \infty$ arasındaki eğri altındaki alan (2.28) eşitliğinde gösterildiği gibi, x'in x_1 ve ∞ arasında meydana gelme olasılığını göstermektedir.

$$p(x_1 < x < \infty) = \int_{x_1}^{\infty} p(x)dx \qquad (2.28)$$

Eğrinin altındaki tam alan $-\infty$ ve $+\infty$ arasında x'in meydana gelme olasılığını, tabii ki, (2.29) eşitliğinde gösterildiği gibi, 1'in temsil ettiği bir oluşum kesinliğini temsil eder.

$$p(-\infty < x < +\infty) = \int_{-\infty}^{+\infty} p(x)dx = 1 \tag{2.29}$$

Pratik uygulamalarda, (2.28) eşitliği genellikle x'in aritmetik ortalamasının ($\bar{x}$) standart sapmaya oranıyla bulunan, u, standart değişkenler cinsinden hesaplanır;

$$x = \bar{x} + u \times \sigma \tag{2.30a}$$

veya,

$$u = \frac{x-\bar{x}}{\sigma} \tag{2.30b}$$

(2.26) eşitliğinin, (2.28) eşitliğinde yerine konulması ve (2.30b) eşitliği ile $dx = \sigma\, du$ olmak üzere x değişkenini u değişkenine dönüştürmek suretiyle standart sapmadan (σ) bağımsız olacak şekilde (2.31) eşitliği elde edilir.

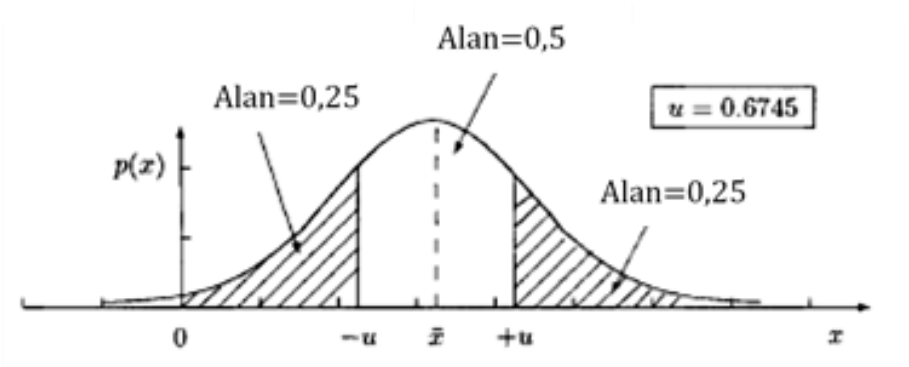
$$p(u_1 < u < \infty) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{u_1}^{\infty} e^{-\frac{1}{2}u^2} du \tag{2.31}$$

(2.31) eşitliği ile verilen denklem bilinen fonksiyonlar açısından değerlendirilemez. Bu nedenle, sayısal olarak hesaplanmıştır ve özel tablolar (Tablo 2.4) olarak mevcuttur.

Tablo 2.4 Normal (Gaussian) olasılıkları

u	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,00	0,5000	0,4960	0,4920	0,4880	0,4840	0,4801	0,4761	0,4721	0,4681	0,4641
0,10	0,4602	0,4562	0,4522	0,4883	0,4443	0,4404	0,4364	0,4325	0,4286	0,4247
0,20	0,4207	0,4168	0,4129	0,4090	0,4052	0,4013	0,3974	0,3936	0,3897	0,3859
0,30	0,3821	0,3783	0,3745	0,3707	0,3669	0,3632	0,3594	0,3557	0,3520	0,3483
0,40	0,3446	0,3409	0,3372	0,3336	0,3300	0,3264	0,3228	0,3192	0,3156	0,3121
0,50	0,3085	0,3050	0,3015	0,2981	0,2946	0,2912	0,2877	0,2843	0,2810	0,2776
0,60	0,2743	0,2709	0,2676	0,2643	0,2611	0,2578	0,2546	0,2514	0,2483	0,2451
0,70	0,2420	0,2389	0,2358	0,2327	0,2296	0,2266	0,2236	0,2206	0,2177	0,2148
0,80	0,2119	0,2090	0,2061	0,2033	0,2005	0,1977	0,1949	0,1922	0,1894	0,1867
0,90	0,1841	0,1814	0,1788	0,1762	0,1736	0,1711	0,1685	0,1660	0,1635	0,1611
1,00	0,1587	0,1562	0,1539	0,1515	0,1492	0,1469	0,1446	0,1423	0,1401	0,1379
1,10	0,1357	0,1335	0,1314	0,1292	0,1271	0,1251	0,1230	0,1210	0,1190	0,1170
1,20	0,1151	0,1131	0,1112	0,1093	0,1075	0,1056	0,1038	0,1020	0,1003	0,0985
1,30	0,0968	0,0951	0,0934	0,0918	0,0901	0,0885	0,0869	0,0853	0,0838	0,0823
1,40	0,0808	0,0793	0,0778	0,0764	0,0749	0,0735	0,0721	0,0708	0,0694	0,0681
1,50	0,0668	0,0655	0,0643	0,0630	0,0618	0,0606	0,0594	0,0582	0,0571	0,0559
1,60	0,0548	0,0537	0,0526	0,0516	0,0505	0,0495	0,0485	0,0475	0,0465	0,0455
1,70	0,0446	0,0436	0,0427	0,0418	0,0409	0,0401	0,0392	0,0384	0,0375	0,0367
1,80	0,0359	0,0351	0,0344	0,0336	0,0329	0,0322	0,0314	0,0307	0,0301	0,0294
1,90	0,0287	0,0281	0,0274	0,0268	0,0262	0,0256	0,0250	0,0244	0,0239	0,0233
2,00	0,0228	0,0222	0,0217	0,0212	0,0207	0,0202	0,0197	0,0192	0,0188	0,0183
2,10	0,0179	0,0174	0,0170	0,0166	0,0162	0,0158	0,0154	0,0150	0,0146	0,0143
2,20	0,0139	0,0136	0,0132	0,0129	0,0125	0,0122	0,0119	0,0116	0,0113	0,0110
2,30	0,0107	0,0104	0,0102	0,0099	0,0096	0,0094	0,0091	0,0089	0,0087	0,0084
2,40	0,0082	0,0080	0,0078	0,0075	0,0073	0,0071	0,0036	0,0068	0,0066	0,0064
2,50	0,0062	0,0060	0,0059	0,0057	0,0055	0,0054	0,0052	0,0051	0,0049	0,0048
2,60	0,0047	0,0045	0,0044	0,0043	0,0041	0,0040	0,0039	0,0038	0,0037	0,0036
2,70	0,0035	0,0034	0,0033	0,0032	0,0031	0,0030	0,0029	0,0028	0,0027	0,0026
2,80	0,0026	0,0025	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0021	0,0021	0,0020	0,0019
2,90	0,0019	0,0018	0,0018	0,0017	0,0016	0,0016	0,0015	0,0015	0,0014	0,0014
3,00	0,0013	0,0013	0,0013	0,0012	0,0012	0,0012	0,0011	0,0011	0,0010	0,0010

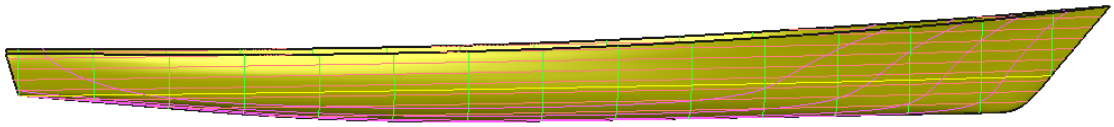
Birçok istatistiksel çalışmada ve seyir hatalarının analizinde, uygun hata ölçüsü standart sapmadır, ancak silah etkisi analizinde genellikle % 50 hata veya olası hata denilen yöntem kullanılır. Bu, ortalama değerinin ($\bar{x}$), her iki yanındaki kuyruk alanlarının, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi 0,25'e eşit olması gerektiği anlamına gelir.



Şekil 2.8 Olası doğrusal hata veya % 50 hata olasılığı

Tablo 2.4'ten bu durum için $u = \pm 0{,}6745$ olarak bulunur ve eğrinin altındaki toplam alan 1'e eşit olduğu için, merkez alan bu nedenle 0,50'a eşittir ve olası doğrusal hatayı (LEP) tanımlar. Dolayısıyla, Eşitlik 2.30b'deki u tanımı kullanılmak suretiyle mesafe olarak LEP aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$LEP_{mesafe} = 0{,}6745 \times \sigma \qquad (2.32)$$



Şekil 2.9 Gabya sınıfı fırkateyn modeli

(2.32) eşitliğinde verilen ifadenin uygulamada nasıl kullanılacağına ilişkin bir örnek, Maxsurf programında modellenmiş (Şekil 2.9) Gabya sınıfı fırkateyn üzerinden verilecektir. 408 kemereden oluşan Gabya sınıfı fırkateynin ana makine dairesi 250 ile 292'inci kemereler arasındadır. Buna göre ana makine dairesinin uzunluğu 12,8 m.'dir. Hata olasılığı 11,5 m. olan satıhtan satıha atılan bir Harpoon Blok II güdümlü mermisinin ana makine dairesini orta noktasından vurma olasılığı şu şekilde hesaplanır;

Ana makine dairesinin tam orta noktasından vurulma olasılığı ele alındığı için: $\bar{x} = 0$'dır.

$\sigma = 11{,}5/0{,}6745 = 17{,}05\ m.$

$x = \pm 6{,}4\ m.$

$u = 6{,}4/17{,}05 = \pm 0{,}375$

Tablo 2.4'ten,

$P(u > 0{,}375) = 0{,}3538$

Bunun sonucu olarak, güdümlü merminin ana makine dairesini orta noktadan vurma olasılığı;

$P(-0{,}375 < u < +0{,}375) = P_{H/I} = 1 - 2 \times 0{,}3538 = 0{,}2924$

olarak bulunur.

Buraya kadar vurulabilirliğin üç fonksiyonu üzerinde durulmuş, stokastik bir yaklaşımla tasarımın ilk aşamalarında vurulabilirliğin değerlendirilmesine yönelik veriler verilmiştir. Vurulabilirlik fonksiyonunun azaltılmasına yönelik alınabilecek tedbirler Bölüm 3'te açıklanacaktır.

2.3.2 Yaralanabilirlik

Yaralanabilirlik, geminin düşman ortamının etkilerine dayanma yetersizliği veya geminin "ölü" olarak değerlendirilmeden önce ne tür ve ne kadar hasar alabileceği olarak tanımlanabilir [15].

Bölüm 2.1'de değinildiği üzere, bir gemi birkaç kategori altında öldürülmüş kabul edilir. Genel olarak geminin kaybı iki kategori altında ele alınabilir. Bunlar; toplam geminin kaybı ve görev kaybı (kritik bileşenlerin kaybı) olarak kabul edilebilir. Bir savaş gemisi iki senaryo altında görev kaybına uğramış olarak kabul edilebilir; ilki, temel bileşenlerini, yani yapısal ve gövde bütünlüğünü, pervane, güç, yakıt ve yaşam desteğini kaybettiği zamandır. Bu bileşenlerin kaybı, geminin görevine devam edememesine neden olabilir. Diğeri ise, görevin kritik bileşenlerinin, yani komuta ve kontrol sisteminin, iletişim, otomatik kontrol sistemlerinin, sensör ve silah sistemleri ile görevin başarısı için önemli olan diğer sistemlerdir.

Geminin yaralanabilirliğini azaltmak için, bu kritik bileşenlerin her biri detaylı olarak incelenmeli; bu bileşenleri olası düşman etkilerine dayanacak ve hasar aldıklarında kayba uğrama olasılıklarını ($P_{K/H}$) azaltacak şekilde iyileştirmek, korumak ve güçlendirmek için mümkün olan en iyi yolları bulmalıyız. Bunlar, Bölüm 3'teki yaralanabilirlik azaltma yöntemleri altında ele alınacaktır.

Vurulabilirlik ve yaralanabilirlik arasındaki genel fark, birincinin tasarımın ilerleyen aşamalarında hatta geminin kullanım ömrü boyunca bile (radar absorbe etme malzemeleri kullanımı, kızılötesi izi bastırma cihazları ve düşük emisyonlu boyaların kullanılması) belli oranda değiştirilebilmesidir. Oysa yaralanabilirliği etkileyen konuların çoğu, gemiyi yaşamı boyunca kesinlikle karakterize edecektir. Bu nedenle, hayatta kalabilmenin geliştirilmesine yönelik genel bir savaş gemisi tasarım metodolojisi, kavramsal tasarım aşamasında geminin yaralanabilirliğini en aza indirmeyi dikkate almalıdır [21].

Ancak uygulamada, bir geminin yaralanabilirliğinin değerlendirilmesi, tasarım sürecinin geç aşamalarında gerçekleştirilmektedir. Bunun nedeni genellikle, analizin yapılmasına izin verecek yeterli bilgi mevcut olmadan önce tasarımın belirli bir olgunluk seviyesine ulaşması gerektiğidir. Ayrıca, tasarım hala sık sık değişikliklere maruz kalırken, ayrıntılı yaralanabilirlik analizi ile ilgili maliyet ve zamanı ayarlamak zor olduğundan, yaralanabilirliği erken değerlendirmeden sık sık kaçınılmaktadır. Dolayısıyla uygulamada yapılan, geminin tüm yerleşimi tamamlandıktan sonra bilgisayar yazılımları kullanmak suretiyle geminin beka analizini çıkarmaktır. Bu, tasarımı tamamlanmış bir geminin beka resmini çizmekle eşdeğerdir. Analizde ortaya çıkacak zayıflıklar ya çok büyük ilave maliyetlerle giderilecek ya da geminin yaşamı boyunca bu zayıflıklarıyla görev yapması gerekecektir. Bilgisayar yazılımı yardımıyla gelişmiş beka analizi değerlendirmesine Alt Bölüm 2.5'de değinilecektir.

Yukarıda bahsedildiği üzere; beka analizinin tasarımın geç aşamalarında yapılması perde yerleşiminin tamamlandığı anlamına gelir. Hâlbuki beka kabiliyetinin yaralanabilirlik fonksiyonunun en önemli bileşeni perde yerleşimidir. Değerlendirmede tespit edilecek bir zayıflık, perde yerleşiminin yerinin değiştirilmesini zaruri kılarsa bunun maliyete etkileri büyük olacaktır. Dolayısıyla, yaralanabilirliği azaltmanın temelleri, tasarımın çok erken aşamalarında, gemi henüz konsept aşamasındayken, tasarıma tam anlamıyla dahil edilmelidir. Erken bir aşamada değerlendirme yaparak, sistem ve bileşenlerin yerini tayin ederken yaralanabilirlik gerekliliklerini dikkate alabiliriz. Ayrıca, enine su geçirmez perdelerin konumunu hareket ettirmek gibi potansiyel değişikliklerin, tasarım

sürecinin başlarında vurgulanması durumunda, tasarımın daha sonraki bir aşamasında tekrar işlenmesi ile ilgili maliyetlerden kaçınılabilir.

2.3.2.1 Deterministik Yaklaşım

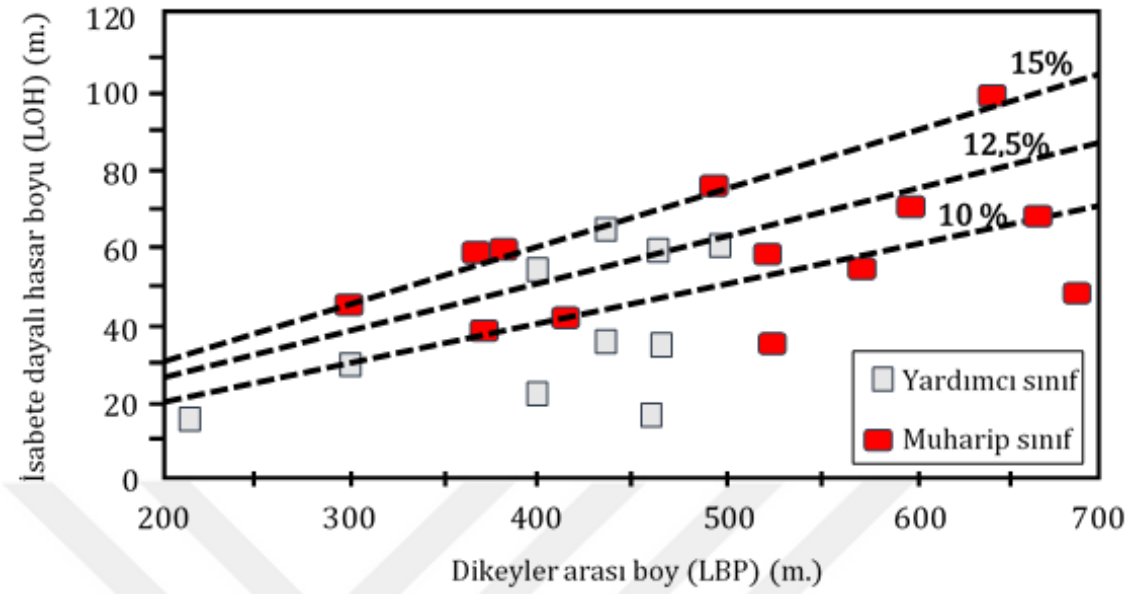
1990'lı yıllara kadar suüstü savaş gemilerinin tasarımındaki eğilim, detaylı platform izi yönetimi ile vurulabilirliği değerlendirmek ve en aza indirgemek üzerineydi. Bu nedenle, geminin algınlama olasılığı genellikle tahmin edilebilir ve senaryo benzetimlerinde girdi olarak kabul edilebilirdi. Diğer yandan dik durma olasılığı daha az dikkate alınmıştır. Benzetimlerin çoğu, küçük gemiler için tek bir isabetin öldürme olasılığını 1,0'a eşit varsayarken, daha büyük gemilerin batması için 2 isabetin yeterli olduğu yönündeydi. Dolayısıyla beka analizleri, yaralanabilirliği hiçbir zaman bir olasılık olarak değerlendirmemekteydi [16]. Gemi tasarımcıları için, Tablo 2.5'de verilen A.B.D. ve İngiliz Donanma kuralları gibi çeşitli donanmaların getirdiği deterministik hasarlı stabilite gerekliliklerinin kullanımı yoluyla tasarımın yaralanabilirliği açısından yetersizliğinin değerlendirmesi genellikle kafi gelmekteydi.

Tablo 2.5 Savaş gemileri için A.B.D. ve İngiliz Donanması yaralı stabilite kriterleri

Kriter	UK "NES 109"		USN "DDS-079-1"	
Hasar Boyu	LWL < 30 m.	1 bölme	LWL<100 ft.	1 bölme
	30 m. < LWL <92 m.	2 bölme/en az 6 m.	100 ft.< LWL <300 ft.	2 bölme
	92 m. < LWL	Max [15%LWL / 21 m.]	300 ft. < LWL	15%LWL
Kalıcı meyil	$< 20^0$		$< 15^0$	
Alan "A1"	> 1,4 Alan "A2"		> 1,4 Alan "A2"	
Alan "A1"	$> A_{min}$			
	$A_{min}=2,74x10^{-2}-1,97*10^{-6}x\Delta$ (m rad) ($\Delta<5000$)			
	$A_{min}=0,164x\Delta^{-0,265}$ (m rad) ($\Delta>5000$)			
"C"deki "GZ"	< 60 % "GZmax"		-	
Boyuna "GM"	> 0		-	
"GZmax"			0,25 feet < "GZmax" – "HA"	
Yüzme yeteneği	Su basmasına neden olmayacak boyuna trim		Marjin hattı suya girmemeli	

A.B.D. Donanmasına ait hasarlı stabilite kriterleri, esasen, yaşanmış olaylara ait verilerin toplanmasına dayanmaktadır. 1947'de BuShips, II. Dünya Savaşı sırasında torpido isabetinden kurtulan 24 suüstü savaş gemisine yönelik bir çalışma yapmıştır. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi grafiğe dökülen bu veriler, 10 muharip sınıf ve 14 yardımcı sınıf suüstü savaş gemisi için hayatta kalabilecek maksimum su basmasıyla sonuçlanacak minimum isabet uzunluğundan oluşuyordu. Yapılan bu çalışma sonucu; muharip sınıf suüstü savaş gemilerinin gemi boyunun % 15'i

açıklığa, yardımcı sınıf suüstü savaş gemilerinin ise gemi boyunun % 12,5'i açıklığa dayanmaları gerektiğine yönelik kriter getirildi.



Şekil 2.10 1947 BuShips isabet uzunluğu çalışması [16]

Sarchin ve Goldberg, II. Dünya Savaşı hasar raporlarının, 20 derece ve üzerinde bir meyilin hasar kontrol çabalarını ve gemilerin kurtarılmasını engellemediğini; dolaysıyla, hayatta kalmak için, kabul edilebilir üst meyil limitinin 20 derece olarak kabul edilebileceğini belirtmiştir [6]. Bununla birlikte, bu önemli meyil açılarında hayatta kalma nadirdir ve yine II. Dünya Savaşı verilerine göre hasar sonrası 15 derecelik meyil açılarında, personel, gemileri (emirlerle veya emirsiz olarak) terk etmeye başlamaktadır. Bunun bir sonucu olarak, A.B.D. Donanması gemileri için, ekipman ve makinelerin 15 dereceye kadar kalıcı meyilde tatmin edici bir biçimde çalışacak şekilde tasarlanması kriteri getirilmiştir [16] (Şekil 2.15).

Gerek A.B.D. ve İngiliz Donanma kuralları olsun gerekse de diğer yabancı ülkelerin donanma kuralları olsun sunulan stabilite ve yüzdürme kriterleri esas itibariyle deneyseldir; savaş hasarı deneyimi, model ve patlama testleri ve genel işletme deneyimine dayanarak oluşturulmuşlardır.

2.3.2.2 Stokastik Yaklaşım

Uluslararası Denizcilik Örgütü, SOLAS 1974 ile yolcu gemilerinin beka kabiliyetinin değerlendirilmesi için olasılık kavramını benimsemiştir. IMO'nun A.265 (VIII) kuralları, SOLAS 1960'da yer alan deterministik stabilite kriterlerine alternatif

olarak getirilmiş olup SOLAS 1990'da yer alan MSC.19(58) kuralları ile boyu 100 metreden uzun Ro-Ro gemileri ve kuru yük gemilerinin beka kabiliyetinin değerlendirilmesinde olasılık kavramı zorunlu hale getirilmiştir. MSC.216(82) (SOLAS 2006) kuralları ile mevcut deterministik kurallar stokastik süreç ile harmanlanmış ve boyu 80 metreden uzun kargo ve yolcu gemileri için de uygulanma zorunluluğu getirilmiştir. Olasılık kavramı, son olarak MSC.281(85) (SOLAS 2008) kuralları ile 500 tondan küçük okyanus teknesi, balıkçı teknesi gibi bazı özel gemilerin de dâhil edilmesiyle son halini almıştır.

K.Wendel'in temel konsepti ve IMO A.265 (VIII) kurallarına göre yaralı stabilite çerçevesinde aşağıdaki olayların olasılıkları vardır:

- Geminin bir kompartımanının veya kompartıman grubuna su basması (yaralanması) olasılığı, p,
- Ele alınan kompartımanının veya kompartıman grubuna su basması (yaralanması) durumunda kurtulma olasılığı, s,

"Ulaşılan Bölmeleme İndeksi, A", olarak ifade edilen geminin toplam kurtulma olasılığı, gemi boyunca her bir kompartıman ve kompartıman grubu, i, için üretilen p_i ve s_i değerlerinin toplamına eşittir:

$$A = \sum_i (p_i \cdot s_i) \tag{2.33}$$

Kurallar ulaşılan bölmeleme indeksinin, geminin taşıdığı yolcu kapasitesi ile gemide bulunan can kurtarma donanımlarının bir fonksiyonu olan "Gerekli Bölmeleme İndeksi, R'' den büyük olmasını ($A > R$) dikte etmektedir. Bu değer, geminin herhangi bir hasardan kurtulamamasının kabul edilebilir riskinin ölçüsüdür ve gemide bulunan yolcu sayısıyla artmaktadır.

Son yıllarda, deterministik kuralların yanında SOLAS ile yolcu/Ro-Ro gemileri için zorunlu hale getirilen olasılık yaklaşımı, savaş gemileri için de kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmanın bu bölümünde savaş gemisi tasarımının ilk safhalarında stokastik yaklaşım ile yaralanabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilecek bir metodoloji üzerinde durulacaktır.

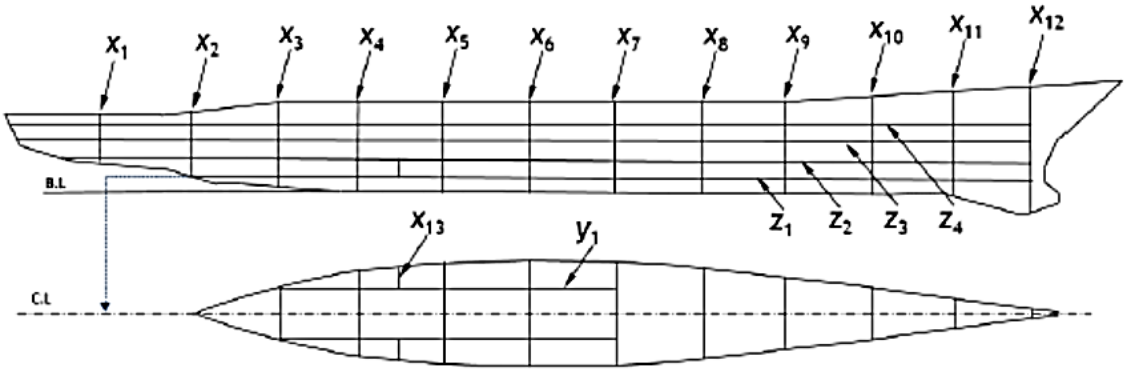
- **Girdi Bilgileri**

Tasarımın ilk safhalarında yaralanabilirliğin değerlendirilmesi için birkaç girdi bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Öncelikli olarak, gövde şeklinin belirlendiği varsayılmaktadır. Genel olarak ihtiyaç duyulan girdi bilgileri şunlardır;

  - Gövde Modeli
  - Bölme ve Güverte Sayısı
  - Sıvı Tankları İçin İhtiyaç Duyulan Alan
  - Sıvı Tanklarının Konumu
  - Her Bölmenin Ağırlık Merkezi

- **Tasarım Değişkenleri**

Yaralanabilirliğin değerlendirilmesindeki tasarım değişkenleri, sistemi tanımlayan değişkenler kümesidir; tasarım optimizasyonu sırasında değişmesine izin verilir. Bu aşamada tasarım değişkenleri, Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, perdelerin x, y yönünde ve güvertelerin z yönünde konumlarıdır.



Şekil 2.11 Tasarım değişkenleri

- **Amaç Fonksiyonları**

Amaç fonksiyonu, minimize veya maksimize edilmesi gereken, optimizasyonun amacını ifade eden, değişkenleri içeren bir denklemdir. Tasarımın ilk aşamalarında Tablo 2.6'da gösterildiği dört amaç fonksiyonu vardır.

Tablo 2.6 Amaç fonksiyonları

Açıklama	Fonksiyon
Sıvı Tanklarının Hacmi	$f_1 = V_{FOT} + V_{FWT} + V_{WBT} + V_{LOT}$
Maksimum Eğilme Momenti	$f_2 = maksimum\ BM$
İsabet Nedeniyle Yaralanabilirlik	$f_3 = \sum_i p_i \cdot s_i$
İşlerlik-Bitişiklik İndeksi	$f_4 = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} a_{i,j} \cdot d_{i,j}$

Sıvı tankları hacminin, maksimum eğilme momentinin ve kompartıman bitişikliğin minimize edilmesi bu çalışmanın temel alanlarından biri olmadığından hesaplanmalarına ilişkin bilgilere burada yer verilmemiştir. Ancak bu üç fonksiyonun optimizasyonu temel olarak perde ve güvertelerin konumuyla sağlanabileceğinden tasarımın ilk aşamalarında yaralanabilirlik fonksiyonunun optimizasyonuyla eş zamanlı değerlendirilmeleri gerektiği unutulmamalıdır.

Çalışmanın bu bölümünde yaralanabilirlik fonksiyonunun optimizasyonu için yolcu/Ro-Ro gemilerine uygulanan olasılıklı yaralı stabilite kriterleri ışığında temelleri Boulougouris ve Papanikolaou tarafından oluşturulan metodolojiye değinilecektir.

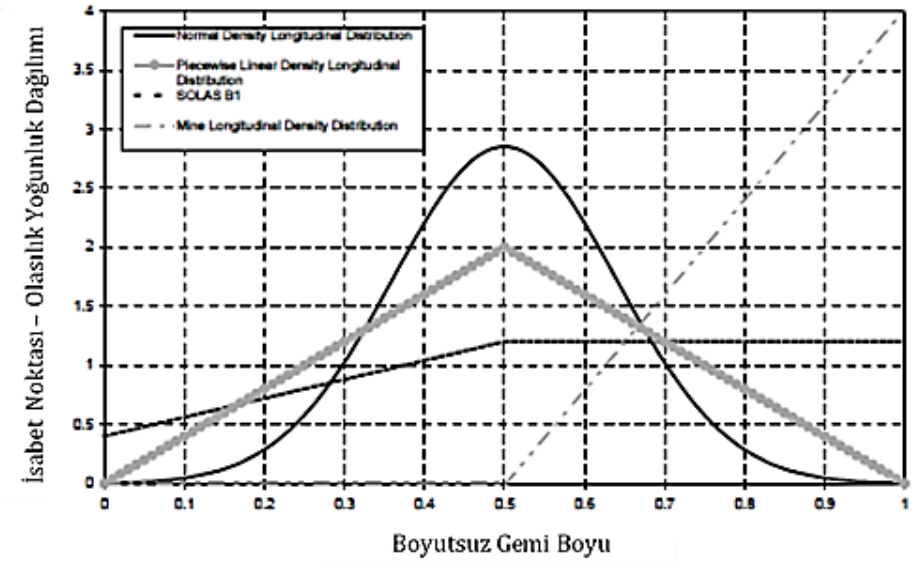
Aynı yolcu/Ro-Ro gemileri gibi savaş gemilerinin de toplam hayatta kalma olasılığı, (2.31) eşitliğinde verildiği gibi, hasardan sonra geminin yüzebilirliğini ve stabilitesini temsil eden "Ulaşılan Bölmeleme İndeksinden" çıkarılabilir.

Savaş gemisinin toplam hayatta kalma olasılığı yerine, belli bir görevinin kaybı hesaplanmak istendiğinde; $j^* = \{j1, j2, j3, \cdots, jn\}$, bu görevi yerine getiren bölmeleri ifade etmek üzere, j^*'ı içeren herhangi bir j setinin hasarı ele alınan görevin kaybına neden olur. Bu nedenle, belirli bir görevin hayatta kalma olasılığı, aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$A_G = \sum_i p_i s_i - \sum_j p_j s_j \qquad (2.34)$$

Bir suüstü savaş gemisinin, tehdit silahı tarafından alacağı muhtemel hasar, gemi boyunca herhangi bir pozisyonda olabilir ve kapsamı hem tehdidin hem de geminin özelliklerine bağlıdır. Savaş gemisinin hayatta kalması yaralanabilirlik fonksiyonu tarafından belirlendiği için, geminin hasar olasılığı dağılımı yaralanabilirlik ile ilgilidir [32].

Savaş gemisi tasarımının ilk aşamalarında, gemi boyunca tehdidin dağılımına ilişkin ayrıntılı bir bilgi eksikliği olduğunda, hem gemi radar profili hem de makine ve egzozdan kaynaklanan ısı emisyonlarının en yüksek değerinin geminin ortasında olduğu varsayımından hareketle, gemisavar güdümlü mermilerin gemi üzerindeki isabet olasılığının Şekil 2.12'de gösterildiği gibi parçalı doğrusal dağılımı takip ettiği varsayılabilir [38].



Şekil 2.12 Boyuna hasar dağılımları [21]

Böylelikle parçalı doğrusal dağılım kullanılarak merminin isabet noktası şöyledir;

$$Imp(x) = \begin{cases} 4x, & x \leq 0{,}5 \\ -4x + 4, & x > 0{,}5 \end{cases} \tag{2.35}$$

Savunma analizi teorisinde kullanılan "Hasar Fonksiyonu" kavramına dayanarak, merminin (2.36) eşitliğinde verilen log-normal dağılımını takip edecek şekilde isabet noktasından bir r yarıçap içerisinde etkisi olduğu varsayılır [39].

$$d(r) = 1 - \int_0^r \frac{1}{\sqrt{2\pi}\cdot\beta\cdot r} \cdot exp\left[-\frac{\ln^2(r/\alpha)}{2\cdot\beta^2}\right] dr \tag{2.36}$$

(2.36) eşitliğinde;

$\alpha = \sqrt{R_{SS} \cdot R_{SK}}$, $\beta = \frac{1}{2\sqrt{2} \cdot Z_{SS}} \cdot \ln\left(\frac{R_{SS}}{R_{SK}}\right)$,

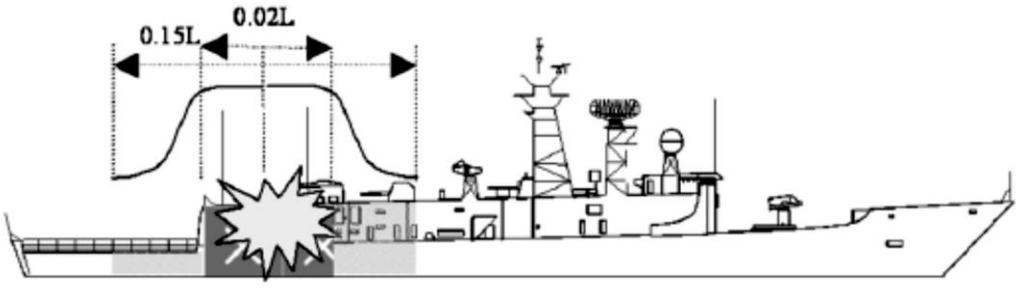
R_{SS} , $d(R_{SS}) = 0{,}02$ anlamına gelen kesin kurtulma yarıçapını,

R_{SK} , $d(R_{SK}) = 0{,}98$ anlamına gelen kesin ölüm yarıçapını,

$Z_{SS} = 1{,}45222$ sabitini,

temsil eder.

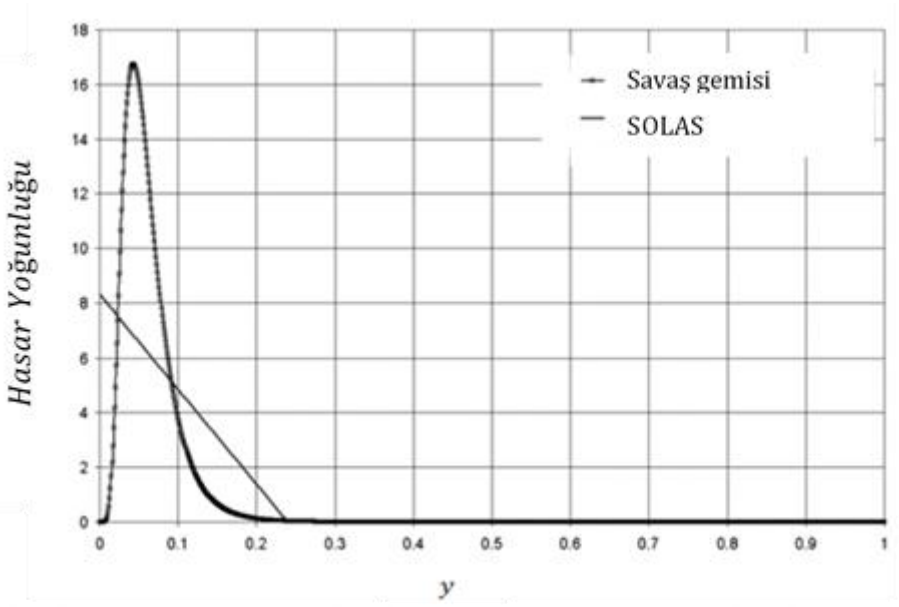
Savaş gemileri için hasar boyları, gerçek angajmanlardan elde edilen verilerin analizinden, harp başlığının türü ve ağırlığına bağlı ampirik formüllerden veya deterministik donanma kurallarından elde edilebilir. Boulougouris ve Papanikolaou, ilk yaklaşım olarak R_{SS}'nin, NES 109 ve DDS-079'a göre $0{,}15 \cdot L$ olarak alınabileceğini; R_{SK}'nın ise Şekil 2.13'de gösterildiği üzere $0{,}02 \cdot L$'ye eşit olduğu varsayılabileceğini belirtmişlerdir.



Şekil 2.13 Savaş gemileri için hasar boyu

Yukarıdaki denklemlere dayanarak hasar uzunluğu olasılık yoğunluğu dağılımı, Şekil 2.14'de gösterildiği üzere aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$Dam(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \beta \cdot y} \cdot exp\left[-\frac{\ln^2(y/\alpha)}{2 \cdot \beta^2}\right] \qquad (2.37)$$



Şekil 2.14 Boyuna hasar dağılımları [21]

(2.37) eşitliği bilinen fonksiyonlarla rahatlıkla çözülebilmesi açısından doğrusal dağılıma sadeleştirilebilir [40]:

$$Dam\,(y) = \begin{cases} 177{,}78y, & 0 \leq\ y \leq 0{,}075 \\ -178{,}78y + 26{,}67, & 0{,}075 \leq\ \ y \leq 0{,}15 \end{cases} \tag{2.38}$$

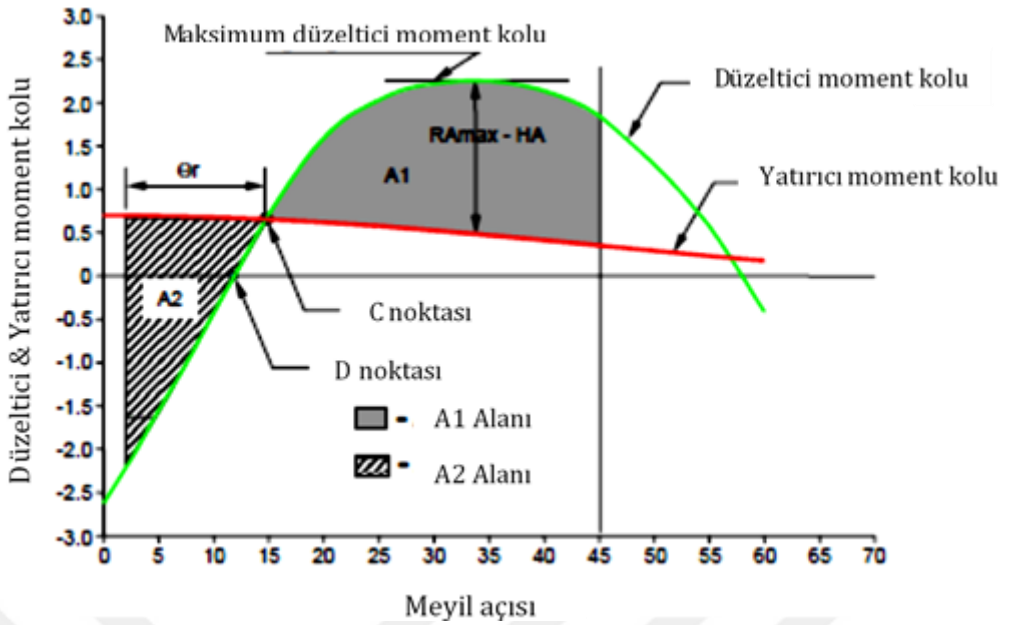
Yukarıdakilere dayanarak, x_1 ve x_2 sınırları arasında kalan bir bölmesinin hasar olasılığı, p_i, (2.39) eşitliği ile verilen denklemle hesaplanabilir.

$$p_{i_{x_1}}^{x_2} = \int_0^y Dam(y) \cdot \int_{x_1}^{x_2} Imp(x)\, dx\, dy \tag{2.39}$$

Savaş gemisinin bir bölmesinin hasar olasılığı, p_i, tanımladıktan sonra geriye hasarın yeri ve kapsamı göz önüne alındığında geminin hayatta kalma olasılığını tanımlamak kalmaktadır.

Bu değerlendirme rasyonel bir metodolojiye, A.B.D. Donanması'nın hayatta kalma kriterlerine dayanabilir [16]. Bu determinist kriterleri bir dizi rasyonel yaklaşım kriterine dönüştürme felsefesi, ticari gemiler için IMO'nun A.265 (VIII) düzenlemelerine dayanacaktır.

Boulougouris ve Papanikolaou tarafından ilk adım olarak, savaş gemilerinin hayatta kalabilmesi için olasılıklı bir yaklaşım çerçevesinde uygulanacak hayatta kalma kriterlerinin formülasyonu için Tablo 2.7'de verilen rehber önerilmiştir.



Şekil 2.15 A.B.D. Donaması hava kriteri

Tablo 2.7 Hayatta kalma kriteri

$s_i = 1$	$\Theta_{roll} = 25\ derece$ $Rüzgâr\ hızı\ =\ DDS\ 079-1\ ile\ uyumlu$ $A_1 \geq 1{,}4 \cdot A_2$ $Min.fribord\ \geq\ 3\ in\ +\ 0{,}5\ \times (H_S(0{,}95) - 8\ ft)$
$s_i = P(H_S \leq 8\ ft)$	$A.B.D.Donanması\ deterministik\ kriterlerini\ sağlıyorsa$
$s_i = 0$	$\Theta_{roll} = 15\ derece$ $Rüzgâr\ hızı\ \leq 11\ knot$ $A_1 \leq 1{,}05 \cdot A_2$ $Marjin\ hattı\ suya\ batmış$

Savaş gemileri için "s_i" değerinin daha titiz bir şekilde hesaplanabilmesi için bazı sistematik deneysel ve teorik çalışmaların gerekliliği devam etmektedir. Her durumda, geminin harekât alanındaki dalga aşımının olasılık dağılımının hesaplanması gereklidir. Örneğin, Athanassoulis ve Skarsoulis, 1992'e göre Kuzey Atlantik için $P(H_S \leq 8\ ft) = 0{,}56$, Akdeniz için $P(H_S \leq 8\ ft) = 0{,}90$'dır. Bu nedenle, A.B.D. Donanması kriterlerini karşılayan bir suüstü savaş gemisi, mevcut düzenlemeleri aşmayan bir hasar uzunluğu için Kuzey Atlantik'te % 56 oranında hayatta kalma olasılığına sahiptir.

Lee, 1995'e göre Kuzey Pasifik için $P(H_S \leq 8\ ft) = 0{,}42$ ve Havemanetal, 2006'a göre Güney Çin Denizi için $P(H_S \leq 8\ ft) = 0{,}71$ alınabilir.

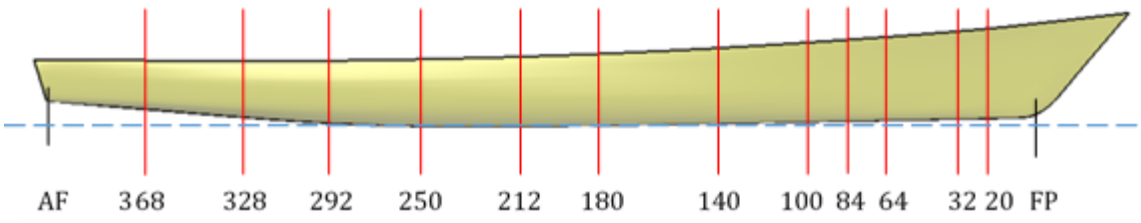
Yukarıdaki açıklanan prosedür, savaş gemilerinin yaralanabilirlik değerlendirilmesinde önemli bir yaklaşımdır. Bölmelerin bir isabet sonucu hasar alması başta olmak üzere bitişik olmayan bölmelerin birden fazla isabetinin meydana gelebildiği büyük hasar durumlarında dahi yaralanabilirlik değerlendirilmesini mümkün kılar. Bu, tasarımcının esnekliğini arttırır. Ayrıca, geminin yaralanabilirliğini tasarımın bir özelliği yapar.

Çalışmanın bu kısmında; yukarıda açıklanan metodolojiyle ilgili hâlihazırda Deniz Kuvvetleri Komutanlığı envanterinde 8 adet bulunan ve Maxsurf programıyla modellenmiş (Şekil 2.8) Gabya sınıfı fırkateyn üzerinden bir örnek verilecektir. Gabya sınıfı fırkateyne ait ana boyutlar Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 Gabya sınıfı fırkateyne ait ana boyutlar

Ana Boyut	Değer
LOA	435 ft
B	45 ft
T	14ft 8in
Cb	0,529
V	14 knot
Vmax	29+ knot

Maxsurf programında her bir enine su geçirmez perde arası bir adet kompartıman olarak tanımlanmıştır Gerçeğine uygun olarak tanımlanan enine su geçirmez perdelerin konumları Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16 Su geçirmez enine perde konumları

Gabya sınıfı fırkateynlerin stabilite hesaplamalarında kritik yükleme koşulunun 1/2 harcanmış yükleme koşulu olduğu hasar kontrol kitabında belirtilmiştir. Bu yükleme koşulunda yeterli stabilite kriterlerini karşılayan bir Gabya sınıfı fırkateyn diğer yükleme koşullarında da kriterleri karşılayacaktır. Bu sebeple verilen örnekte en kritik yükleme koşulu değerlendirilmiştir. Bu yükleme koşulu için hidrostatik değerler Tablo 2.9'da verilmiştir.

Tablo 2.9 1/2 harcanmış durumdaki hidrostatik değerler

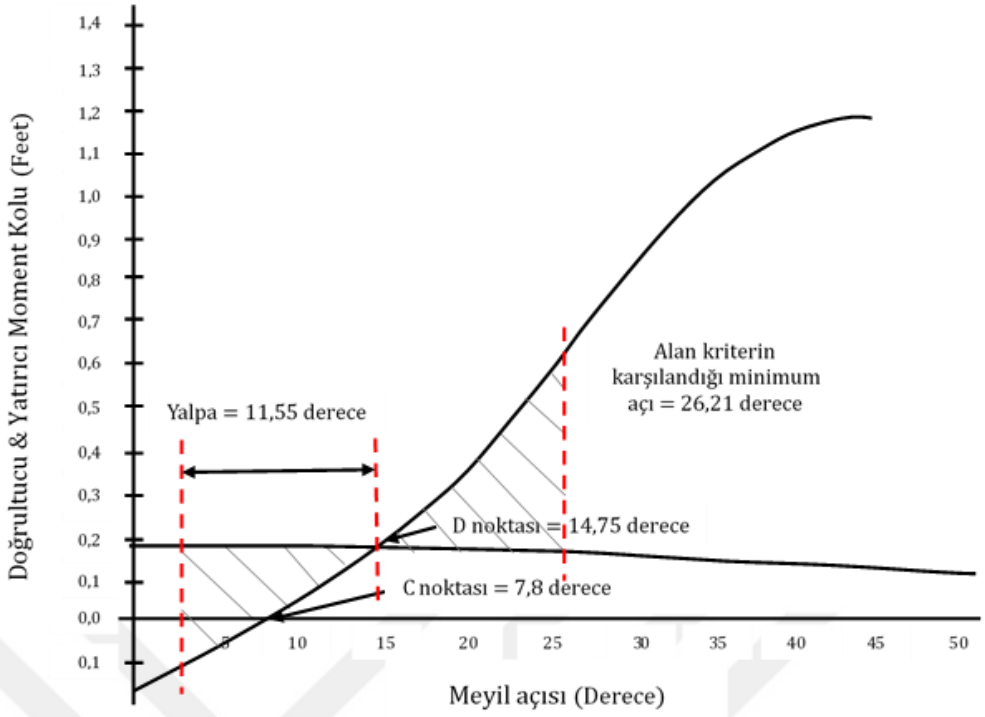
Ana Boyut	**Uzunluk**
LWL	411 ft 11,63 in
Deplasman	3716 LTon
Draft (FP)	11 ft 2,7 in
Draft (AP)	15 ft 11,96 in
Draft (Mastori)	13 ft 7,33 in
Trim	4 ft 9,25 in (Kıça)
Meyil	-1,2 derece
B (WL)	44 ft 7,26 in
Cp	0,664
Cb	0,522
Cm	0,788
Cwp	0,800
LCB	4 ft 0,67 in (Başa)
LCF	23 ft 1,13 in (Başa)
KB	8 ft 5,68 in
KG	19 ft 2,9 in
GM (düzeltilmiş)	4 ft 1,91 in
1 in batma tonajı	35,016 LTon/in
1 in trim momenti	886,237 LTon.ft

Şayet Gabya sınıfı bir fırkateyn yükleme koşullarına uyulmuş ve deniz durumu stabilite kriterlerinde belirtilen değerin (100 knot) üzerinde değil ise gemi boyunun % 15'i gövde açıklığına (61,2 ft) dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kabaca, bitişik 3 bölmeye su basması durumunda yeterli stabiliteye sahip olduğu anlamına gelir. Gemi boyunun % 15'ine denk gelecek su basmalarının olabileceği bitişik kompartıman grupları aşağıda verilmiştir:

- Baş bodoslama – 100'üncü kemere arası
- 32 – 140'ıncı kemereler arası
- 64 – 180'inci kemereler arası
- 100 – 212'inci kemereler arası
- 140 – 250'inci kemereler arası
- 180 – 292'inci kemereler arası
- 212 – 328'inci kemereler arası
- 250 – 368'inci kemereler arası
- 292'inci kemere – kıç aynalık arası

Hasar için kritik kompartıman grupları baş tarafta 64 – 180'inci kemereler arası ile 100 – 212'inci kemereler arasıdır. Kıç tarafta ise; 250 – 368'inci kemereler arası ile 292'inci kemere – kıç aynalık arasıdır.

Deterministik yaklaşım değerlendirilmesi için A.B.D. Donanma kuralları kullanılmıştır. Buna göre; geminin en kritik olan 100 – 212'inci kemereler arasındaki hasar durumuna ait GZ eğrisi Şekil 2.17'de verilmiştir. Görüleceği üzere en kötü yükleme koşullunda ve en kritik bitişik 3 kompartımanın su ile dolması durumunda gemi tüm stabilite kriterlerini sağlamaktadır.



Şekil 2.17 100 – 212'inci kemereler arasındaki hasar durumuna ait GZ eğrisi

Temelleri Boulougouris ve Papanikolaou tarafından stokastik yaklaşım metodolojisinin aynı Gabya sınıfı fırkateyne uygulanması neticesinde (2.35), (2.38) ve (2.39) eşitliklerinde verilen denklemlerle elde edilen 1 kompartıman yaralanmasına ait sonuçlar Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.10 Geminin bir kompartımanının su basması (yaralanması) olasılığı

x_1	x_2	$x_1 u$	$x_2 u$	y	p_i
0	20	0,000	0,049	0,049	0,001
20	32	0,049	0,078	0,029	0,001
32	64	0,078	0,157	0,078	0,020
64	84	0,157	0,206	0,049	0,008
84	100	0,206	0,245	0,039	0,005
100	140	0,245	0,343	0,098	0,088
140	180	0,343	0,441	0,098	0,117
180	212	0,441	0,520	0,078	0,081
212	250	0,520	0,613	0,093	0,115
250	292	0,613	0,716	0,103	0,111
292	328	0,716	0,804	0,088	0,056
328	368	0,804	0,902	0,098	0,044
368	408	0,902	1,000	0,098	0,015

Buna göre; hesaplamalar, verilen kemere yerleşiminin Gabya sınıfı fırkateynin 1 kompartımanın su basması için Ulaşılan Bölmeleme İndeksine yaklaşık 0,37 katkısı olduğunu gösterirken, 2 ve 3 kompartıman durumunun sırasıyla yaklaşık 0,54 ve 0,06 olduğunu göstermektedir. Bu durumda, Gabya sınıfı fırkateyn için Ulaşılan Bölmeleme İndeksi, $A = 0{,}97$ olarak hesaplanmıştır.

2.3.3 Hasar Kontrol ve Geri Kazanabilirlik

Hasar kontrolü, geminin bir silah tarafından vurulduktan sonra gemi personeli tarafından yürütülen eylemlerdir. Genellikle yangınla mücadele ve su basmasının kontrolünü içerir. Yangınla mücadele, yangının neden olabileceğinden çok hasara sebep olmasını durdurmaktır. Örneğin yangın kontrol altına alınamadan yakıt tanklarına, yakıt hatlarına veya cephaneliklere sirayet ederse patlamalara neden olabilir. Şayet yangınlar, yönetilmezse, güç ve elektrik hatlarını keserek, geminin kritik savaş sistemlerine güç ve sinyal bağlantılarını kesecek, sonuç olarak geminin kaybına neden olacaktır.

Su basması, geminin yan yatmasına neden olacak ve geminin hareketini, manevra kabiliyetini azaltacaktır. Ciddi su basmaları, kritik savaş sistemlerine ait elektrik devrelerinin kısa devre olmasına ve bu sistemlerin kaybına neden olacak şekilde elektrik-elektronik donanımlarla donatılmış kompartımanların suya maruz kalmasına neden olabilir. Şayet su basması makine dairelerine ulaşırsa, gemi sevk gücünü komple kaybedecektir. Bir şekilde, hasar kontrolü, gemi kaybı ihtimalini önlemek ve azaltmak içindir; bu nedenle, yaralanabilirlik azaltma kavramlarından biri olarak da kategorize edilir.

Geri kazanabilirlik işlemi, gemiye verilen hasarların değerlendirilmesiyle başlar; ilk hasar değerlendirmesi de genellikle hasar kontrol aşaması ile birlikte yapılır. Nihai hasar değerlendirmesi, yalnızca yangın ve su baskını kontrol altındayken veya durduğunda yapılabilir.

Geri kazanabilirlik işleminin ilk aşaması, gemi hala savaştayken, küçük onarımların yapılması, sistemler arası geçişlerin sağlanması ve yedek sistemlerinin devreye alınmasıdır. Bu, sistemlerin fonksiyon kaybına uğramış bir modda çalışabilmesine rağmen geminin ve kritik bileşenlerinin savaşa ve göreve uygun hale getirilmesi

için yapılır. Böylece, en azından geminin savaş ortamından kaçınabilmesi için savaşacak durumda olmasını sağlanacaktır.

Geri kazanabilirlik işleminin ikinci aşaması, hasar görmüş veya "öldürülmüş" sistemlerde onarım yapmaktır. Bu aşama, daha çok geminin onarılabilirliği hakkındadır. Buna, hasarlı ekipmanın yedek parçalarla değiştirilmesi veya gemi atölyesinde onarımının yapılması da dâhildir. Büyük onarımların, sistemlerin kapatılmasını gerektireceği için gemi angajman bölgesinin dışındayken yapılması gerekir. Buradaki amaç, sistemleri ya tam çalışır duruma ya da en azından fonksiyon kaybına uğramış olsalar da çalışır duruma getirmektir. Bu, kritik bir sistemin angajman sırasında öldürüldüğü düşünülse bile, sistemin tekrar çalışır duruma geri döndürülebilme ve böylece görevin sürdürülmesini sağlama olasılığı nedeniyle yapılır. Bu da, geminin kritik bileşenlerinin, operatör seviyesi onarımlarının (örneğin hasar görmüş kabloların değiştirilebilmesi veya bilgi işlem modüllerinin değiştirilebilmesi gibi) denizde yapılabilir şekilde tasarlanması gerektiği anlamına gelir. Bu aynı zamanda gemide taşınacak yeterli yedek parçaya ihtiyaç duyulacağı ve operatörlerin bu tür onarımları yapabilecek şekilde eğitilmesi gerektiği anlamına gelir.

2.4 Bilgisayar Destekli Beka Kabiliyeti Değerlendirilmesi

Günümüzde, belli bir dereceye kadar bütünleşik beka kabiliyeti analiz desteği sağlayan birçok yazılım aracı mevcuttur. Bir kısım yazılım aracı ise hayatta kalma kabiliyetinin sadece bazı yönlerini incelemektedir.

Yaralanabilirlik ve geri kazanabilirlik analizleri yapan yazılım aracı Measure of Total Integrated Ship Survivability (MOTISS) aynı zamanda platform izinin tahminine olanak sağlamaktadır. Temel olarak büyük savaş gemilerindeki patlama etkilerini simüle eden bir yaralanabilirlik analizi yazılımı olan Advanced Survivability Analysis Program (ASAP), hava ve su altı patlamaları gibi silahların birincil etkilerine karşı tekne yapısını ve bu silahların ikincil etkilerine karşı yangın, duman ve su basması yayılımını modelleyebilmektedir. SURVIVE ise çeşitli yaralanabilirlik analiz yazılım araçlarından geliştirilen, sistem ve personel hasarlarını tahmin etmek ve patlama ile parçalanmadan kaynaklanan hasarın yayılmasını belirlemek maksadıyla tasarlanmıştır.

Survivability Manager Application (SURMA), "kapsamlı bir donanma harekâtında beka kabiliyeti değerlendirmesi için yazılım aracı" olarak tanımlanmaktadır. SURMA'nın geliştirilmesi Finlandiya Donanmasının yaralanabilirlik analizi yazılımına sahip olma isteğiyle başlamıştır. Bununla birlikte, bir dizi aşamada tasarlanan SURMA, bir takım yazılım araçlarının birleştirilmesiyle hâlihazırda daha geniş, bütünleşik beka kabiliyeti analizi yapabilmektedir. Spesifik olarak, radar kesit alanı vurulabilirlik analizi, CAST ve yaralanabilirlik analizi, NAPA yazılım araçlarının kullanımıyla sağlanmıştır. NAPA yazılımını, geri kazanabilirlik ve su basması analizi için Fire Dynamics Simulator (FDS) yazılımına, yangın ve duman yayılımını modellemek için ise Integrated Recoverability Model (IRM) yazılımına bağlamaktadır [41].

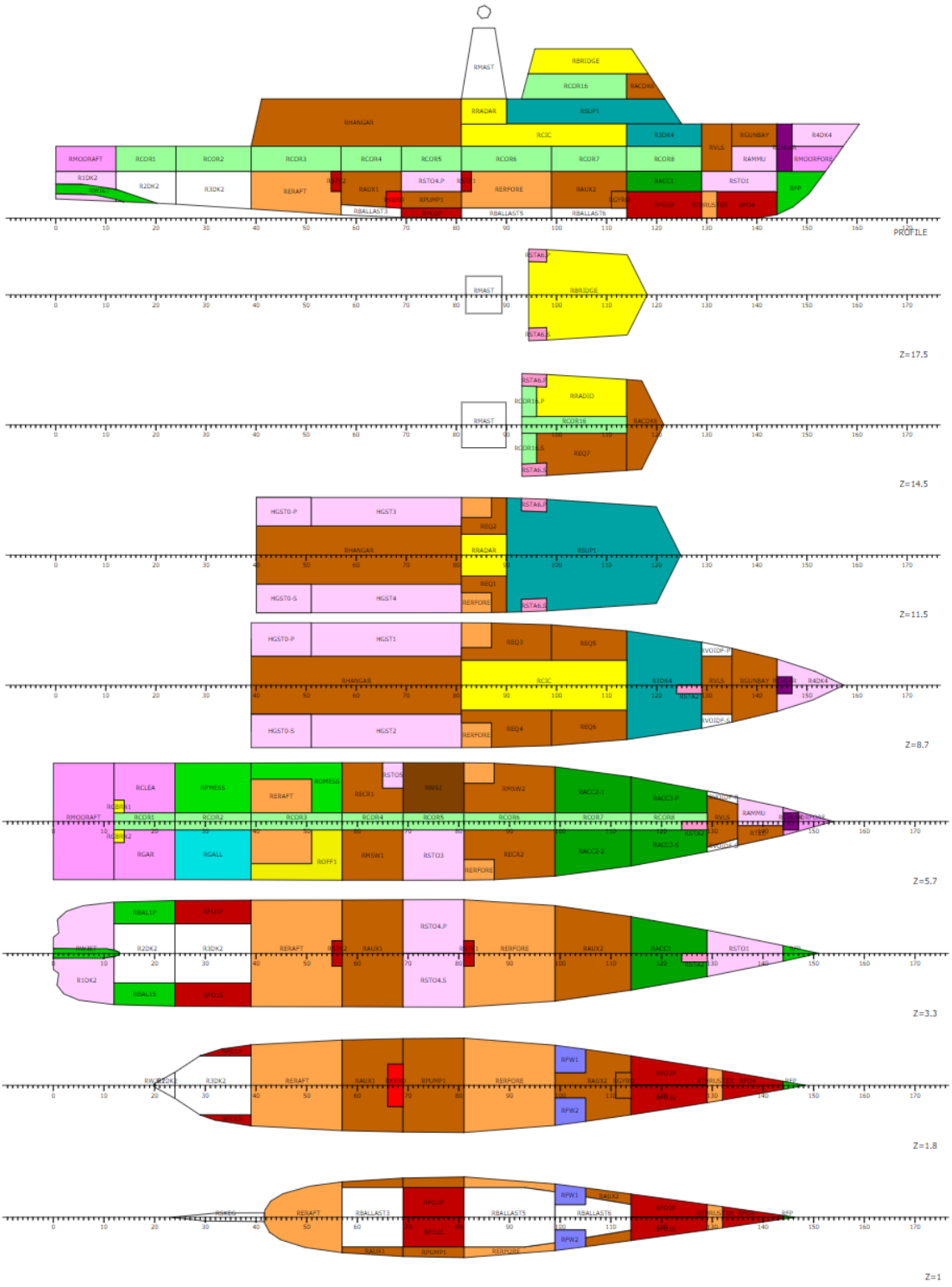
Bu bölümde bilgisayar yardımıyla beka kabiliyeti değerlendirilmesinin nasıl yapıldığının gösterilmesi maksadıyla demo SURMA program raporu [42] kullanılmak suretiyle 110 m boyunda korvet tipi bir savaş gemisinin beka kabiliyeti değerlendirilmesine yer verilecektir.

2.4.1 Geminin Genel Tanımı

Beka kabiliyeti değerlendirilmesi yapılan korvete ait ana boyutlar Tablo 2.11'de, geminin genel yerleşim planı Şekil 2.18'de verilmiştir.

Tablo 2.11 Korvete ait ana boyutlar

Ana Boyut	Uzunluk
LOA	110 m
LBP	100 m
B_{MAX}	13 m
T	4 m



Şekil 2.18 Genel yerleşim planı [42]

2.4.2 Senaryo

Yapılan değerlendirmede gemisavar EXOCET güdümlü mermisinin gemiye isabeti sonucunda kritik bölme, cihaz ve sistemlerin hasar durumu incelenmiştir. Geminin 72 farklı noktasında EXOCET güdümlü mermi isabeti değerlendirilmiştir.

EXOCET güdümlü mermisi, küçük ve orta büyüklükteki (korvet ve fırkateyn) savaş gemilerine karşı kullanılmak üzere geliştirilmiş bir gemisavar mermisidir. EXOCET, Dünya'daki ana gemisavar mermilerinden biri olan HARPOON ile karşılaştırıldığında; sahip olduğu menzili ve tahrip gücü daha az olsa da maliyeti ve platformlara olan entegre kolaylığı ile avantaj sağlamaktadır. EXOCET mermisinin en büyük özelliklerinden biri 5-10 metre gibi bir seyir irtifasına sahip olması ve hedefine 8 deniz mili kala aktif radarını açmasıyla hedefi tarafından sadece 3,5 deniz mili gibi bir mesafeden tespit edilebilmesidir [43]. Tablo 2.12'de gemisavar EXOCET güdümlü mermisinin özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.12 Gemisavar EXOCET güdümlü mermi özellikleri

Özellik	Değer
Sınıfı	Gemisavar
Fırlatma Platformu	Kara-Gemi-Uçak
Boyu	4,69-5,95 m
Çapı	350 mm
Harp Başlığı	165 kg HE
Menzili	20-100 deniz mili

2.4.3 Tanımlar

Tablo 2.13 sistem ve bölme seviyelerini belirtmektedir. Tablodaki S-seviyesi operasyonel kritik sistemler yüzdesinin karşılaştırılmasıyla; C-seviyesi, hasar görmemiş bölme hacminin karşılaştırılmasıyla çıkarılmıştır.

Tablo 2.13 Sistem ve bölme seviyeleri

	S1/C1 seviyesi	S2/C2 seviyesi	S3/C3 seviyesi	S4/C4 seviyesi
Sistemler	≥ 90	≥ 80	≥ 70	Diğer durumlar
Bölmeler	≥ 90	≥ 80	≥ 70	Diğer durumlar

Yüzebilirlik seviyesine ait veri tablosu Tablo 2.14'de verilmiştir.

Tablo 2.14 Yüzebilirlik seviyeleri

Kriter	Birim	F1 seviyesi	F2 seviyesi	F3 seviyesi	F4 seviyesi
Meyil	derece	< 5	< 10	< 12	Diğer durumlar
Draft	m	< 4,5	< 5	< 5,5	Diğer durumlar

Tablo 2.14'de;

F1: Stabilite sorunu olmadığını,

F2: Küçük stabilite bozulmasını,

F3: Şiddetli stabilite bozulmasını,

F4: Stabilite tehlikesini,

BATMA: Geminin batmasını (Şayet gemi battıysa bu seviye uygulanır.),

temsil etmektedir.

Operasyon Hazırlık Seviyesi (ORL), bir geminin operasyonelliğini tanımlayan beş kategoriye sahiptir. Yüzebilirliği, hasarsız bölmelerin hacmi ile hasarsız kritik sistemlerin oranını dikkate alır. Gemi, kritik sistemler içermiyorsa S-seviyesi göz ardı edilir. ORL seviyesi, C / F / S minimum seviyelerinden çıkarılmıştır (Tablo 2.15).

Tablo 2.15 Operasyon hazırlık seviyeleri

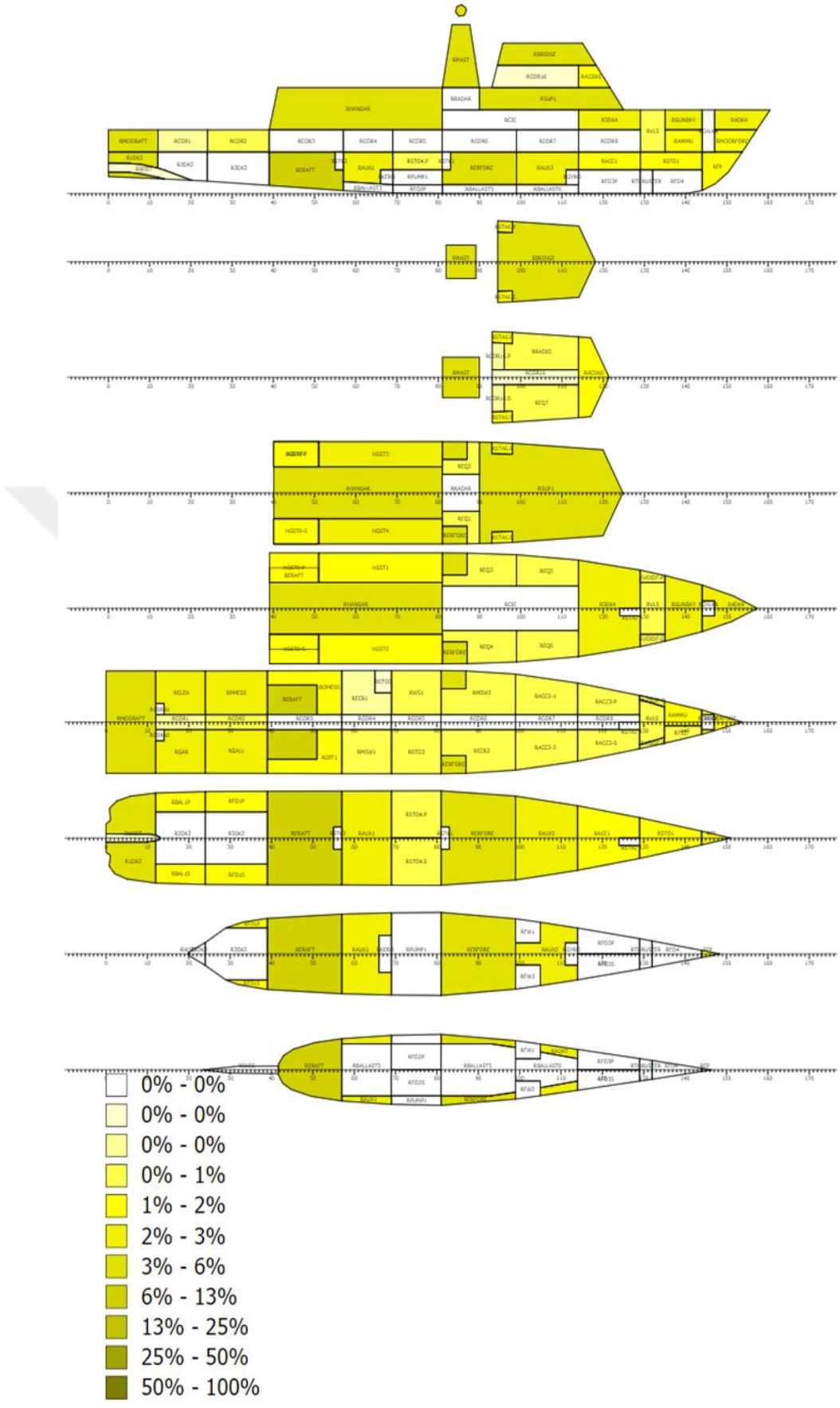
ORL seviyesi	Açıklama
ORL1	C / F / S seviyelerinin tümü 1'dir
ORL2	C / F / S seviyelerinden en kötü değer 2'dir.
ORL3	C / F / S seviyelerinden en kötü değer 3'tür.
ORL4	C / F / S seviyelerinden en kötü değer 4'tür.
BATMA	Gemi batmıştır.

2.4.4 Değerlendirme Sonuçları

Bu alt başlıkta, demo SURMA program raporu [42] kullanarak yapılan beka kabiliyeti değerlendirilmesinin isabet olasılıkları, operasyonel hazırlık seviyeleri ve vaka sonuçları verilecektir.

2.4.4.1 İsabet Olasılıkları

Gemisavar EXOCET güdümlü mermisinin korvette hangi noktalara isabet edebileceğine dair olasılıklar renklendirilmiş olarak Şekil 2.19'da gösterilmektedir.



Şekil 2.19 EXOCET güdümlü mermisi isabet olasılıkları [42]

2.4.4.2 Operasyonel Hazırlık Seviyeleri (ORL)

Her bir operasyonel hazırlık seviyesinin EXOCET güdümlü mermisinin isabet etmesiyle oluşma olasılıkları Tablo 2.16'da verilmiştir. Tablo 2.16'dan görüleceği üzere değerlendirilmesi yapılan korvetin EXOCET güdümlü mermisi isabeti neticesinde batma olasılığı bulunmamaktadır. Ancak % 49,4 ihtimalle gemi ORL4 seviyesinde hasara uğrayacaktır.

Tablo 2.16 Operasyonel hazırlık seviyesine etkisi

Savaş Başlığı	ORL1	ORL2	ORL3	ORL4	BATMA
EXOCET	% 21,7	% 11,0	% 17,9	% 49,4	% 0,0

Tablo 2.17, EXOCET güdümlü mermisinin zarar verdiği ortalama bölme ve ekipman sayısını içermektedir.

Tablo 2.17 Bölmelerde ve ekipmanlarda hasar

Savaş Başlığı	Bölme	Ekipman
EXOCET	8,5	2,2

2.4.4.3 Vaka Sonuçları

72 farklı isabet noktasına göre vaka sonuçları Tablo 2.18'de verilmiştir.

Tablo 2.18 Vaka sonuçları [42]

Patlama Bölmesi	Olasılık	ORL	Yüzme Seviyesi	Sistem Seviyesi	Geri Kalan Kritik Sistem	Bölme Hasar Seviyesi	Hasar Almamış Bölme Yüzdesi
RAMMU	0.97 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	95.9 %
HGST3	2.61 %	ORL3	F1	S1	96.8 %	C3	76.2 %
R1DK2	3.84 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C1	94.3 %
R3DK4	2.26 %	ORL2	F1	S1	93.5 %	C2	85.2 %
R4DK4	2.52 %	ORL1	F1	S1	100.0 %	C1	97.7 %
RACC1	1.16 %	ORL4	F1	S4	29.0 %	C2	89.8 %
RACC2-1	0.71 %	ORL3	F1	S3	74.2 %	C1	90.5 %
RACC2-2	0.71 %	ORL1	F1	S1	93.5 %	C1	90.5 %
RACC3-P	0.75 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	92.7 %

Tablo 2.18 Vaka sonuçları [42] (devam)

Patlama Bölmesi	Olasılık	ORL	Yüzme Seviyesi	Sistem Seviyesi	Geri Kalan Kritik Sistem	Bölme Hasar Seviyesi	Hasar Almamış Bölme Yüzdesi
RACC3-S	0.75 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	92.8 %
RACDK6	1.14 %	ORL4	F1	S4	58.1 %	C2	89.0 %
RAUX1	2.29 %	ORL4	F1	S4	25.8 %	C2	89.7 %
RAUX2	2.24 %	ORL4	F1	S4	29.0 %	C2	86.9 %
RBAL1P	0.96 %	ORL1	F1	S1	90.3 %	C1	94.6 %
RBAL1S	0.96 %	ORL1	F1	S1	90.3 %	C1	94.6 %
RBRIDGE	5.09 %	ORL4	F1	S4	58.1 %	C1	94.1 %
RCBRN1	0.04 %	ORL1	F1	S1	93.5 %	C1	94.9 %
RCBRN2	0.04 %	ORL1	F1	S1	93.5 %	C1	94.9 %
RCHLKR	0.09 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	96.8 %
RCLEA	1.65 %	ORL1	F1	S1	93.5 %	C1	93.2 %
RCOR1	0.36 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C1	93.5 %
RCOR16	0.15 %	ORL4	F1	S4	58.1 %	C2	88.8 %
RCOR16.P	0.26 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C1	90.3 %
RCOR16.S	0.26 %	ORL2	F1	S2	83.9 %	C1	90.3 %
RCOR2	0.44 %	ORL3	F1	S3	74.2 %	C1	94.2 %
RECR1	0.36 %	ORL4	F1	S4	16.1 %	C2	84.9 %
RECR2	0.55 %	ORL4	F1	S4	45.2 %	C2	87.2 %
REQ1	0.45 %	ORL3	F1	S2	80.6 %	C3	75.0 %
REQ2	0.45 %	ORL3	F1	S3	74.2 %	C3	75.0 %
REQ3	0.49 %	ORL4	F1	S4	58.1 %	C3	74.4 %
REQ4	0.49 %	ORL3	F1	S3	71.0 %	C3	74.4 %
REQ5	0.62 %	ORL3	F1	S3	74.2 %	C2	87.7 %
REQ6	0.62 %	ORL2	F1	S2	80.6 %	C2	87.7 %
REQ7	0.73 %	ORL4	F1	S4	64.5 %	C2	89.7 %
RERAFT	9.37 %	ORL4	F1	S4	58.1 %	C3	73.3 %
RERFORE	5.34 %	ORL4	F1	S4	29.0 %	C2	82.2 %
RFO1P	1.27 %	ORL4	F2	S4	12.9 %	C2	88.0 %
RFO1S	1.27 %	ORL3	F2	S3	74.2 %	C2	88.0 %
RFP	0.99 %	ORL1	F1	S1	100.0 %	C1	98.3 %
RGALL	2.12 %	ORL2	F1	S1	93.5 %	C2	86.2 %
RGAR	1.65 %	ORL1	F1	S1	93.5 %	C1	93.2 %
RGUNBAY	2.05 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	95.9 %
RHANGAR	5.14 %	ORL4	F1	S4	54.8 %	C4	67.4 %
RMAST	3.84 %	ORL1	F1	S1	93.5 %	C1	97.5 %
RMOORAFT	4.80 %	ORL2	F1	S2	83.9 %	C1	95.3 %
RMOORFOR	1.17 %	ORL1	F1	S1	100.0 %	C1	98.6 %
RMSW1	0.54 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C2	84.9 %
RMSW2	0.55 %	ORL4	F1	S4	22.6 %	C2	87.2 %
ROFF1	0.81 %	ORL4	F1	S4	3.2 %	C3	78.8 %
ROMESS	0.81 %	ORL4	F1	S4	3.2 %	C3	79.0 %
RPMESS	2.12 %	ORL4	F1	S4	16.1 %	C2	86.2 %

Tablo 2.18 Vaka sonuçları [42] (devam)

Patlama Bölmesi	Olasılık	ORL	Yüzme Seviyesi	Sistem Seviyesi	Geri Kalan Kritik Sistem	Bölme Hasar Seviyesi	Hasar Almamış Bölme Yüzdesi
RRADIO	0.73 %	ORL4	F1	S4	64.5 %	C2	89.7 %
RSTA2	0.07 %	ORL4	F1	S4	29.0 %	C2	88.5 %
RSTA6.P	0.84 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C1	90.1 %
RSTA6.S	0.84 %	ORL2	F1	S2	83.9 %	C1	90.1 %
RSTO1	1.14 %	ORL4	F1	S4	29.0 %	C1	94.5 %
RSTO3	0.54 %	ORL4	F1	S4	51.6 %	C2	80.8 %
RSTO4.P	0.44 %	ORL4	F1	S4	51.6 %	C2	87.3 %
RSTO4.S	0.44 %	ORL4	F1	S4	51.6 %	C2	87.3 %
RSTO5	0.18 %	ORL4	F1	S4	16.1 %	C1	93.6 %
RSUP1	3.79 %	ORL4	F1	S4	54.8 %	C2	84.9 %
RTEC	0.46 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	95.7 %
RVLS	0.62 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	91.6 %
RVOIDF-P	0.72 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	95.1 %
RVOIDF-S	0.72 %	ORL1	F1	S1	96.8 %	C1	93.7 %
RWJET	0.10 %	ORL2	F1	S2	83.9 %	C1	98.0 %
RWS1	0.54 %	ORL4	F1	S4	29.0 %	C2	80.8 %
HGST1	1.23 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C3	74.8 %
HGST2	1.23 %	ORL3	F1	S3	77.4 %	C3	74.8 %
HGST4	2.61 %	ORL3	F1	S2	83.9 %	C3	76.2 %
HGST0-P	0.96 %	ORL4	F1	S4	54.8 %	C2	83.9 %
HGST0-S	0.96 %	ORL4	F1	S4	3.2 %	C2	83.9 %

72 vaka üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda Tablo 2.18'den görüleceği üzere en yüksek isabet olasılığı kıç makine dairesidir. % 9,37 olasılıkla kıç makine dairesi isabet alacaktır. Kıç makine dairesinin isabet alması neticesinde hiçbir stabilite sorunu yaşanmayacak olmasına rağmen geminin her iki ana makinesinin de (sancak ve iskele gaz türbini) bu bölmede olması nedeniyle gemi harekâttan sakıt kalacaktır. Gemi batmamış, ancak harekâttan sakıt kalmıştır; bu durumdaki bir savaş gemisinin hayatta kaldığının ifade edilmesi mümkün değildir; gemi "ölü" olarak değerlendirilmelidir.

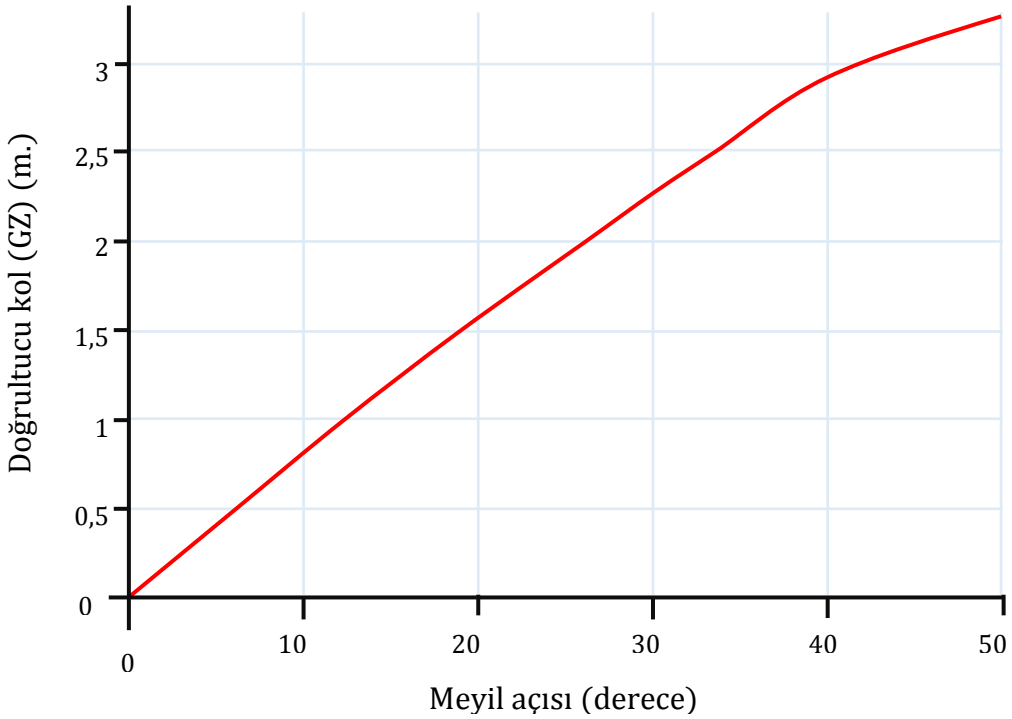
Bu isabet oranı direkt kıç makine dairesinin isabet alma olasılığıdır. Bu % 9,37 olasılıkla geminin her iki ana makinesini kaybedeceği anlamına gelmemektedir. Bitişik bölme hasarları neticesinde de kıç makine dairesinde hasar oluşabilir. Tablo 2.19'da hangi bölmelerin isabet alması durumunda kıç makine dairesinin hasar alacağı dolayısıyla geminin her iki ana makinesinin devre dışı kalması

nedeniyle harekâttan sakıt kalacağı verilmiştir. Görüleceği üzere kıç makine dairesinin hasar alma olasılığı % 32,51'dir.

Tablo 2.19 Kıç makine dairesi hasar olasılığı [42]

Vaka No	Patlama Bölmesi	İsabet Olasılığı	Sebep
2	HGST3	2.61 %	Patlama, Parçalanma
35	RERAFT	9.37 %	Patlama, Parçalanma
37	RFO1P	1.27 %	Patlama, Parçalanma, Su Basması
38	RFO1S	1.27 %	Patlama, Parçalanma, Su Basması
40	RGALL	2.12 %	Parçalanma
43	RHANGAR	5.14 %	Patlama
49	ROFF1	0.81 %	Patlama, Parçalanma
50	ROMESS	0.81 %	Patlama, Parçalanma
51	RPMESS	2.12 %	Parçalanma
68	HGST1	1.23 %	Patlama, Parçalanma
69	HGST2	1.23 %	Patlama, Parçalanma
70	HGST4	2.61 %	Parçalanma
71	HGST0P	0.96 %	Patlama, Parçalanma
72	HGST0S	0.96 %	Patlama, Parçalanma

Kıç makine dairesi isabeti sonucu GZ eğrisi Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Kıç makine dairesi isabeti sonucu GZ eğrisi [42]

Bir başka örnek olarak; Dikey Lançer Silahının (Vertical Launcher System, VLS) bulunduğu bölmenin isabet alma olasılığı % 0,62'dir. Ancak bitişik bölme hasarlarının neden olacağı kayıpları da göz önüne aldığımızda gemi % 10,5 olasılıkla VLS'ini kaybedecektir. Geminin ana batarya, uçaksavar silahı ve VLS dahil tüm silah sistemlerini kaybetme olasılığı % 59,9'dur. Geminin silah sistemi hasar olasılıkları Tablo 2.20'de verilmiştir.

Tablo 2.20 Silah sistemi hasar oranı [42]

Vaka No	Patlama Bölmesi	İsabet Olasılığı	Sebep
1	RAMMU	0.97 %	Patlama, Parçalanma
2	HGST3	2.61 %	Parçalanma
4	R3DK4	2.26 %	Patlama, Parçalanma
6	RACC1	1.16 %	Parçalanma
7	RACC2-1	0.71 %	Patlama
8	RACC2-2	0.71 %	Patlama
9	RACC3-P	0.75 %	Patlama
10	RACC3-S	0.75 %	Patlama
13	RAUX2	2.24 %	Parçalanma
19	RCHLKR	0.09 %	Parçalanma
27	RECR2	0.55 %	Patlama
28	REQ1	0.45 %	Parçalanma
29	REQ2	0.45 %	Parçalanma
30	REQ3	0.49 %	Patlama, Parçalanma
31	REQ4	0.49 %	Patlama, Parçalanma
32	REQ5	0.62 %	Patlama
33	REQ6	0.62 %	Patlama
35	RERAFT	9.37 %	Parçalanma
36	RERFORE	5.34 %	Parçalanma
42	RGUNBAY	2.05 %	Patlama, Parçalanma
43	RHANGAR	5.14 %	Patlama, Parçalanma
44	RMAST	3.84 %	Parçalanma
48	RMSW2	0.55 %	Patlama
49	ROFF1	0.81 %	Parçalanma
50	ROMESS	0.81 %	Parçalanma
53	RSTA2	0.07 %	Patlama

Tablo 2.20 Silah sistemi hasar oranı [42] (devam)

Vaka No	Patlama Bölmesi	İsabet Olasılığı	Sebep
54	RSTA6.P	0.84 %	Parçalanma
55	RSTA6.S	0.84 %	Parçalanma
56	RSTO1	1.14 %	Patlama, Parçalanma
61	RSUP1	3.79 %	Patlama
62	RTEC	0.46 %	Parçalanma
63	RVLS	0.62 %	Patlama, Parçalanma
64	RVOIDF-P	0.72 %	Patlama, Parçalanma
65	RVOIDF-S	0.72 %	Parçalanma
68	HGST1	1.23 %	Parçalanma
69	HGST2	1.23 %	Parçalanma
70	HGST4	2.61 %	Parçalanma
71	HGST0-P	0.96 %	Parçalanma
72	HGST0-S	0.96 %	Parçalanma

SURMA yazılımı ile yukarıda verilen örnek değerlendirmelerde olduğu gibi tanımlanmış tüm bölmelerin ayrı ayrı isabet olasılıkları, kritik cihaz ve sistemlerin hangi bölme hasarlarında kaybedileceği bilgileri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

3
Beka Kabiliyeti İyileştirme Yöntemleri

Bu bölümde, savaş gemisi tasarımında beka kabiliyeti fonksiyonlarından vurulabilirlik ve yaralanabilirliğin azaltılmasında uygulanabilecek yöntemlerden bahsedilecektir. Bu yöntemler, genel olarak, savaş gemisinin öngörülen tehdit ortamında görev kabiliyetini desteklemek ve personele koruma sağlamak için maliyet etkin yöntemler olarak kabul edilirler. Değinilecek yöntemlerle halen kullanımda olan belirli sistemleri zorunlu kılmak yerine genel beka kabiliyetini arttırma yöntemlerini ana hatlarıyla belirtmek amaçlanmıştır.

3.1 Vurulabilirlik Azaltma Yöntemleri

Beka kabiliyetinin temel özelliği sadece hasarlara karşı dayanıklı olabilmek değildir, çünkü yeterli derecede hasar gördüklerinde en güçlü sistemler bile çökebilir. Geminin beka kabiliyetini artırmak için diğer bir metot ilk etapta vurulmaktan kaçınmaktır. Vurulabilirlik, platform izinin azaltmasıyla, tehdit uyarma ve önleme sistemlerinin kullanılmasıyla ve entegre kuvvet ağı ile azaltılabilir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Vurulabilirlik azaltma yöntemleri [13]

Vurulabilirlik Türü	Harp Alanı	Vurulabilirlik Azaltma	Yetenek veya Bileşen
Algılanma ve hedeflenmeden sakınma	Hava Harbi Suüstü Harbi	İz	Absorbe edici malzemeler, platform tasarımı, yalıtım, kablo koruma
	Denizaltı Harbi	İz	Gürültü azaltma, digavsing, mekanik maskeleme
Vurulmadan sakınma	Hava Harbi Suüstü Harbi	Aktif savunmalar	Satıhtan havaya atılan mermi sistemleri, aktif elektronik karşı koyucular
			Nokta savunma sistemleri
		Pasif savunmalar	Aldatıcılar
	Denizaltı Harbi	Aktif savunmalar	Nokta savunma sistemleri
		Pasif savunmalar	Aldatıcılar, Taktik manevralar

Tablo 3.1 Vurulabilirlik azaltma yöntemleri [13] (devam)

Vurulabilirlik Türü	Harp Alanı	Vurulabilirlik Azaltma	Yetenek veya Bileşen
Bilgi bütünlüğü/ erişebilirliği	Bilgi Harbi	Aktif savunmalar	Bilgi sistemleri ve komuta, kontrol, iletişim, bilgisayar, istihbarat, gözetim ve keşif (C4ISR)
		Pasif savunmalar	Bilgi sistemleri, C4ISR
KBRN saldırılarının azaltılması		Pasif savunmalar	Yıkama sistemi (Wash-down sistemi), dekontaminasyon istasyonları

3.1.1 Platform İzinin Azaltılması

"Görünmez" kelimesi halk tarafından her zaman radar görünmezliği ile ilişkilendirilmiştir. Aslında, radar izi, görünmezliği sağlamak için gerekli birçok platform izi azaltma yöntemlerinden sadece biridir. Görünmezlik, görülmezlik veya gizlenme değildir, görünmezlik teknolojisi düşük izlenebilirlik ile ilgilidir. Gemi platform izi, radar kesit alanı, sualtı gürültüsü, kızılötesi, manyetizm ve elektro-optik gibi birçok özelliği kapsar. Düşük izlenebilirlik için tüm bu özelliklerin yönetilmesi ve azaltılması gerekmektedir. Azaltılmış platform iziyle, bir geminin saptanabilirliği azalır ve böylece düşmanları tarafından algılanması zorlaşır.

3.1.1.1 Radar Kesit Alanı

Skolnik'e göre radar kesit alanı σ (RKA-radar kesit alanı), her yöne düzgün bir şekilde dağılmışsa, radarda, gerçek hedef tarafından radarda üretilene eşit bir yankı gücü üreten kurgusal alandır. "Kurgusal" kelimesi, RKA'nın gerçek geometrik alana kıyasla çok daha büyük olabileceği anlamına gelmektedir [44].

Bir geminin radar kesit alanını azaltarak, geminin algılanmadan görevine daha da yaklaşmasını sağlamak mümkündür. Böylece, gemi görevini daha düşük algılanma olasılığı olan bir ortamda yerine getirebilecektir. Bu durumda sorulması gereken soru, geminin sahip olduğu yüksek radar kesit alanını nasıl azaltabiliriz? Şekil 3.1'de farklı gemi sınıflarının tipik radar kesit alanları gösterilmektedir.

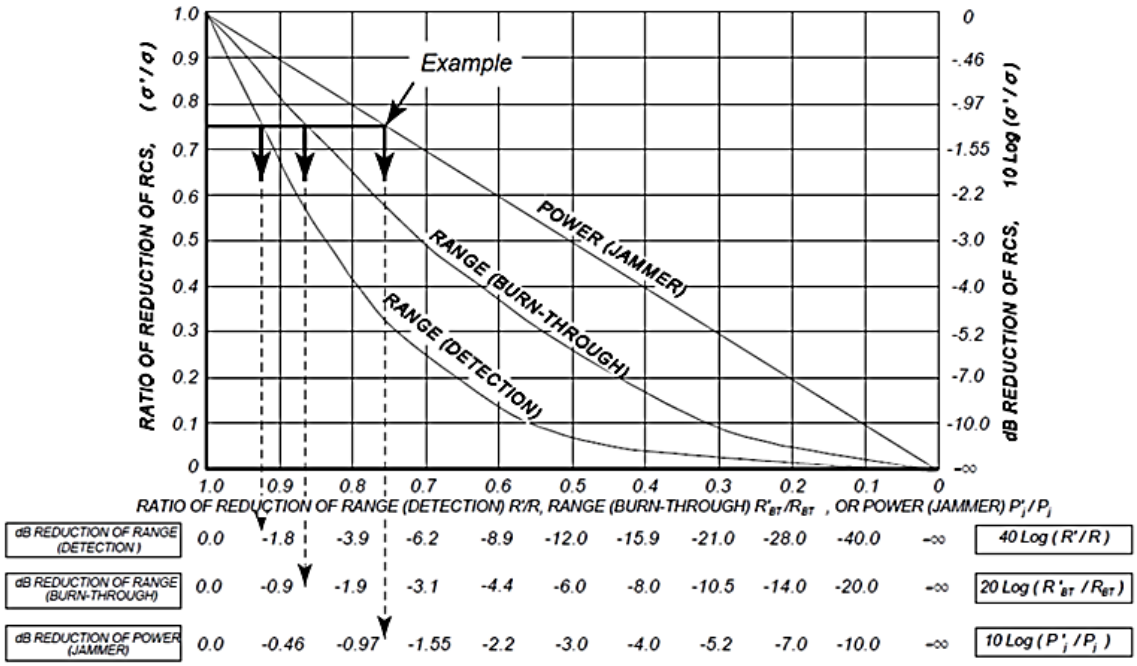
Target Ship			Median radar cross section of target vessel, m²								
Type	Overall length (m)	Gross tonnage	10	100	1.000	10.000	100.000	1.000.000	10.000.000	approx. min. RCS	approx. max. RCS
Inshore fishing vessel	9	5								3	10
Small coaster	40-46	200-250								20	800
Coaster	55	500								40	2.000
Coaster	55	500								300	4.000
Coaster	57	500								1.000	16.000
Large Coaster	67	836-1.000								1.000	5.000
Collier	73	1.570								300	2.000
Warship (frigate)	103	2000*								5.000	100.000
Cargo liner	114	5.000								10.000	16.000
Cargo liner	137	8.000								4.000	16.000
Bulk carrier	167	8.200								400	10.000
Cargo	153	9.400								1.600	12.500
Cargo	166	10.430								400	16.000
Bulk carrier	198	15.000-20.000								1.000	32.000
Ore carrier	206	25.400								2.000	25.000
Container carrier	212	26436**								10.000	80.000
Medium tanker	213-229	30.000-35.000								5.000	80.000
Medium tanker	251	44.700								16.000	1.600.000

* Displacement
** Considerable deck cargo

S = stern on
Q = quarter
B = broadside
BW = bow
BWO = bow on
n = near

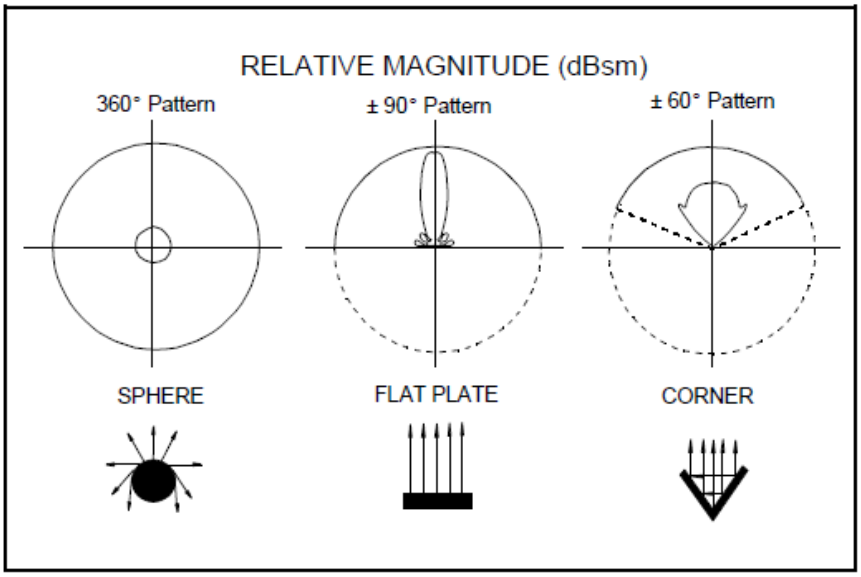
Şekil 3.1 Gemi tiplerine göre RKA tablosu [45]

Bir geminin radar kesit alanını düşürmek sadece onun algılanabilirliğini azaltmamaktadır. Geminin hedef alındığı ve ona doğru radar güdümlü bir merminin ateşlendiği durumda, füzeyi aldatmak ve ondan kaçınmak için üzere saman ve elektronik karşı koyma tedbirleri (ECM) kullanılabilir. Daha düşük radar kesit alanı sayesinde, kullanılan ECM sinyal bozucu daha az güç ile çalışabilecek ve Şekil 3.2'de gösterildiği gibi yanma aralığı da azalabilecektir. Saman kullanıldığı durumda ise güdümlü mermi için daha çekici bir radar kesit alanı hedefi sunabilecektir.



Şekil 3.2 RKA ve radar gücü karşılaştırması [46]

Tüm silahları, ekipmanı, direği ve antenlerinin güverte üzerinde olduğu geleneksel bir gemi, radar alıcısına doğru geri yansıma yapacak çok fazla radar enerjisine sebep olan büyük bir reflektör olacaktır. Bu, gemi için yüksek bir radar kesit alanı profili meydana getirecektir. Şekil 3.3, bir gemideki şekil ve köşelerin nasıl farklı radar enerjisi yansıtacaklarını ve sunacakları radar kesit alanları göstermektedir. Küre şekli haricinde, tüm diğer şekiller mevcut fiziksel alanlarına kıyasla daha geniş bir radar kesit alanı yüzeyine sahip olma eğilimindedirler [46].

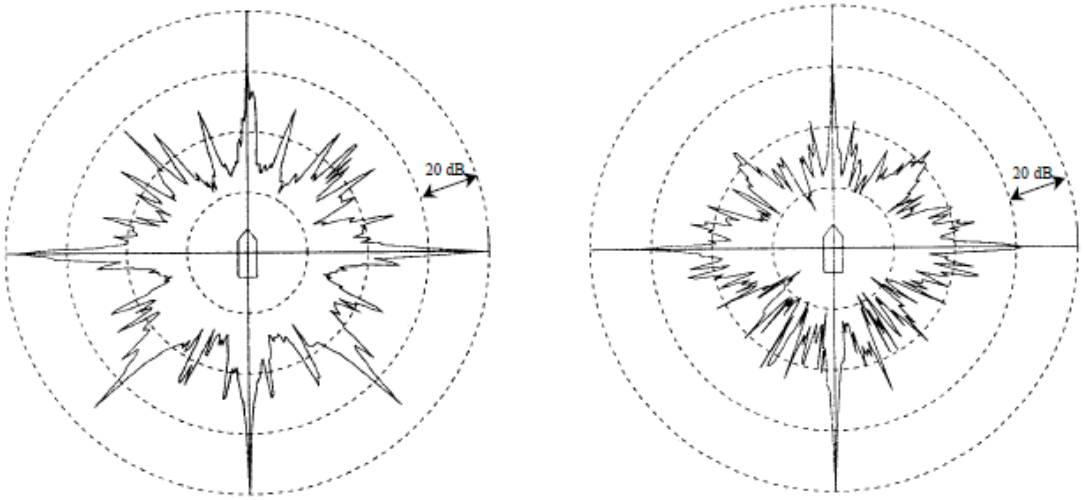


Şekil 3.3 Şekillere göre geri yansıma [46]

Bir geminin radar kesit alanı üç farklı şekilde azaltılabilir veya değiştirilebilir:

- Biçimlendirme
- Radar absorbe etme malzemelerinin (RAM) kullanımı
- Aktif ve pasif iptal etme

Kullanılacak ilk metot biçimlendirmedir. Geminin gövdesi ve üst yapısı, elektromanyetik dalgaların radardan uzak yönlere yansıtılacak biçimde biçimlendirilmektedir. Yüzeylerin radar için dikgen olduğu açılar her zaman olabileceğinden ve bu açılarda, radar kesit alanı yüksek olabileceğinden tüm açılar için bunu başarmak mümkün değildir (Şekil 3.4). Bu açılar geminin kurbanlık açılarıdır; tüm ekipmanlar, diğer tüm açılarda radar kesit alanını düşük tutarken, bu açılarda elektromanyetik dalgaları yansıtacaktır.



Şekil 3.4 Radar Kesit Alanı Değeri, Biçimlendirme Uygulanmış (Sağ), Biçimlendirme Uygulanmamış (Sol) [1]

Biçimlendirme, radar yönünde gemi yüzeylerinin neden olduğu geri yansımayı yok ederek ve azaltarak işe yaramaktadır. Amaç, ufukta ve/veya düşük seviye irtifada düşman gemileri, hava unsurları ve güdümlü mermiler ile diğer radar sistemleri tarafından algılanma ihtimalini azaltmaktır. Bu durum, ufuktan yaklaşık 30 derecelik açılara kadar radar kesit alanının minimum olması gereken yansıma açılarına eşittir. İdeal olarak, radar kesit alanı gemi çevresinde 360 derece azaltılmalıdır; ancak bu, normalde mümkün değildir, böylece radar kesit alanının daha yüksek olduğu kurbanlık açılar her zaman olacaktır.

Geminin yüzeyindeki karışıklığı azaltarak, örneğin anten direkleri ve dizisi, yansıtma açıları kontrol edilebilir ve yansıtma kuvveti azaltılabilir. Geminin yüzeylerini pürüzsüz yapmak aynı zamanda yansıtma açıların kontrolüne ve kuvvetinin azalmasına izin verecektir. Yüzeylerde köşelerden kaçınılmalı ve iki yüzeyin birbirlerine göre 90 derecelik bir açıyla hizalanmamasına dikkat edilmelidir. Böylece, Şekil 3.3'de gösterildiği gibi radyo dalgasının bir yüzeyden bir diğerine yansıması ve radar yönüne doğru geri yansıması engellenmiş olacaktır.

Kavisli veya yuvarlak bir yüzey, düz bir yüzeye kıyasla, radar yönüne doğru daha küçük oranda geri yansıtmaya neden olmasın rağmen, yansıtma açıları üzerinde herhangi bir kontrol bulunmamaktadır. Elektromanyetik radyasyon tüm yönlerde dağılacaktır ve diğer radar alıcıları geri dağılan radyasyonu alabilecektir. Bu, geminin tüm açılardan görünür olması demektir. Yüzeyler, geminin radar kesit alanı açılarının daha iyi kontrol edilmesi için kavisli veya yuvarlak olmamalıdır. Bu durum, Şekil 3.5'de USS Independent (LCS-2) ve USS Zumwalt (DDG 1000) gemilerinde görülmektedir.



Şekil 3.5 USS Independent ve USS Zumwalt [47]

Yansıtma kontrolü için temel metot eğimli yüzeylere sahip olmaktır. Yüzey açıları algılanan radar tehdidi açısına göre seçilmektedir. Bu, yüzeylerin olay radyasyonunu radardan uzağa yansıtmalarını sağlayacaktır. Maalesef, bu, yüksek enerji yansımasının belli bir açıda algılanabilmesi anlamına gelmektedir. Uzlaştırıcı çözüm, tepe radar kesit alanını azaltıcı daha az yansıtma açısının olmasıdır. Şekil

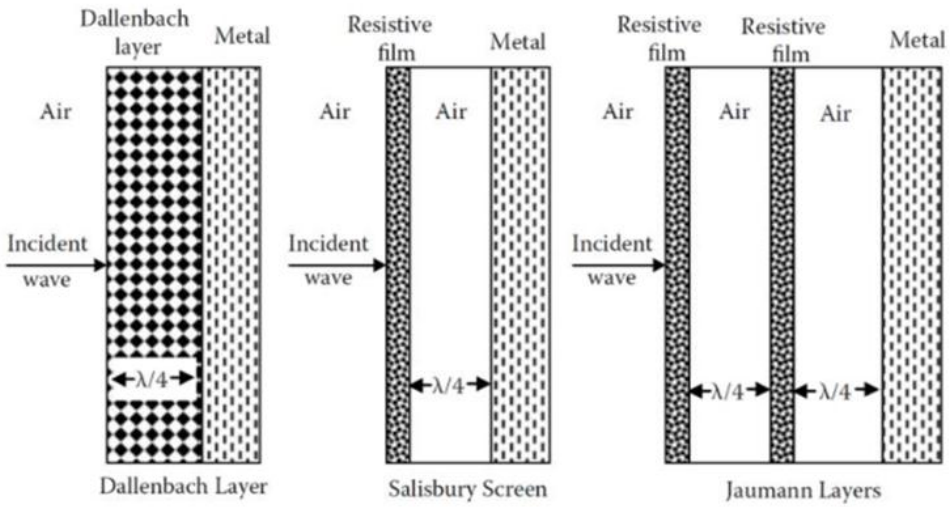
3.6, kendine özgü radar kesit alanına sahip üç gemiyi göstermektedir; radar kesit alanı azaltması olmayan RSS Victory, biçimlendirme ile kısmi radar kesit alanı azaltmasına sahip Arleigh Burke sınıfı destroyer, USS Chafee ve biçimlendirme ile önemli ölçüde radar kesit alanı azaltmasına sahip RSS Intrepid. Radar kesit alanını biçimlendirmenin amacı, yansıtmayı tamamen yok etmek değildir; geminin düşman radarında mümkün olduğunca küçük görünmesini sağlayacak biçimde azaltmaktır, örneğin küçük bir balıkçı teknesi oldukça zararsız görünecektir.



Şekil 3.6 USS Chafee, RSS Intrepid ve RSS Victory [48]

RKA'yı azaltmada kullanılacak ikinci metot radar absorbe etme malzemeleri veya boyası kullanarak absorbe etmektir. RAM, radar enerjisinin bir kısmını, ısıya dönüştürerek absorbe eder, böylece yansıyan enerjiyi azaltmış ve radarın daha küçük bir hedef görmesini sağlamış olacaktır. RAM tarafından dağıtılan ısı, geminin ısı izini önemli ölçüde arttırmayacaktır; radar enerjisini ısı izine dönüştürerek radar kesit alanı azaltma işini yerine getirmiş olacaktır.

Uygulamada, radar absorbe etme malzemeleri, geniş radar frekans aralığında düşük yansıyabilirliğe sahip olmalıdır. Mümkün olduğunca ince, kolay uygulanabilir ve standart olmalıdır. Ağırlığı minimumda tutulmalı ve denizdeki zor şartlara dayanıklı olmalıdır. Ve son olarak, yapım ve bakım maliyetleri de dâhil düşük maliyetli olmalıdır. En çok kullanılan RAM türleri, Dallenbach tabakaları, Salisbury panoları ve Jaumann tabakaları gibi katmanlı yalıtkan absorbe ediciler ve manyetik RAM'lardır [49].



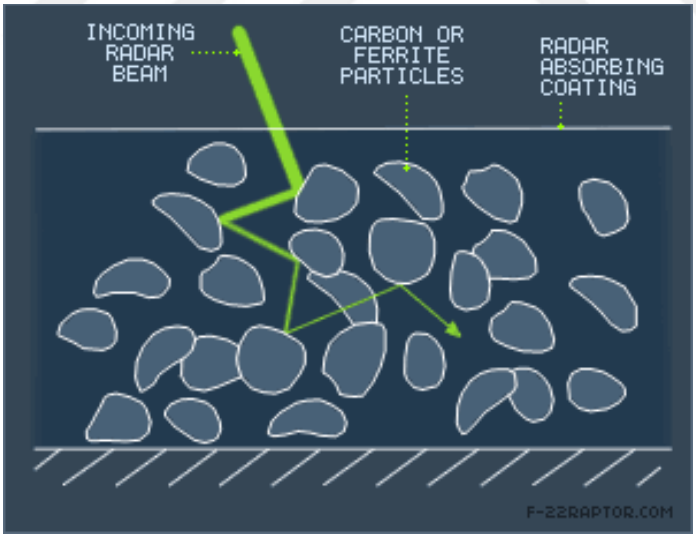
Şekil 3.7 Tipik Dallenbach tabaka, Salisbury pano ve Jaumann tabaka emicilerin çizimleri [50]

Şekil 3.7'de gösterilen bir Dallenbach tabakası, topraklanmış metal iletken bir düzleme yerleştirilmiş homojen yalıtkan absorbe edici bir katmandan oluşmaktadır. Yansıtmayı en aza indirilecek dalga boyu için kalınlık, geçirgenlik ve geçirirlik dikkate alınmalıdır. Farklı absorbe eden bantlarla iki veya daha fazla katmanlı Dallenbach tabakaları absorbe etme band genişliğini artıracaktır. Katmanın enerjiyi absorbe etmesi, hava/absorbe edici arayüz ve absorbe edici/metal arayüz tarafından yansıyan elektromanyetik dalgaların müdahalesi ile gerçekleşmektedir. Salisbury panoları, genellikle bir hava boşluğuyla ayrılan topraklanmış metal desteğin önünde 1/4 dalga boyunun tek sayılı katlarına yerleştirilen dirençli bir levhadan oluşmaktadır. Boşluk kalınlığını azaltmak için hava boşluğu yerine daha yüksek geçirgenliğe sahip bir malzeme de kullanılabilir, ancak band genişliği azalacaktır. Jaumann tabakaları ise geliştirilmiş band genişlik kapsamı için dirençli levhaların çoklu katmanlarına sahip olması haricinde Salisbury panolarına benzemektedirler. En yüksek dirençli levha öne, en düşük dirençli levha ise arkaya yerleştirilir. İletken panelin önüne yerleştirilen iki eşit boşluklu (1/4 dalga boyunun tek sayılı katı) dirençli levhalardan oluşan Jaumann cihazının yansımadaki minimum değeri ürettiği matematiksel olarak ifade edilebilir. Altı katmanlı bir Jaumann cihazı 7-15 GHz frekans aralığından yansımada yaklaşık 30 dB'lik azalma sağlamaktadır [50].

Manyetik RAM'ler, örneğin Dallenbach tabakasında olduğu gibi, genellikle bir yalıtkan içine gömülü karbonil demir ve heksaferritler ile yapılır. Frekans kapsamı, manyetik ve yalıtkan yüklemeyi ve her bir tabakanın kalınlığını kontrol ederek tasarlanabilir (Şekil 3.8).

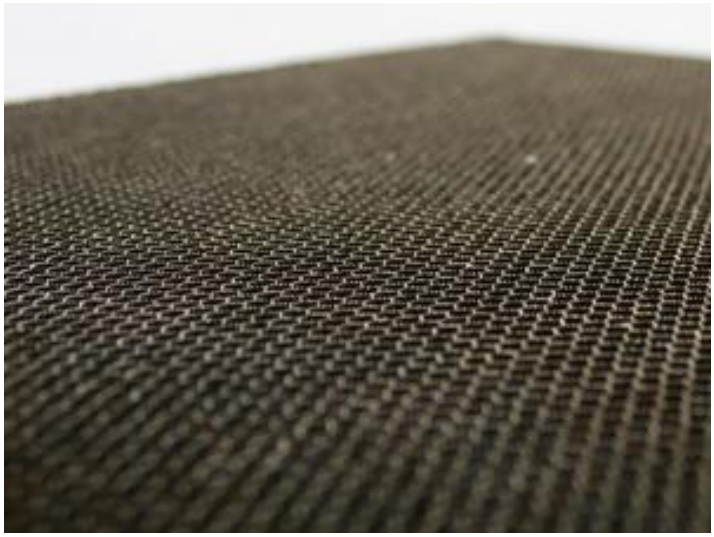
Manyetik RAM'lar yalıtkan absorbe edicilere kıyasla daha fazla avantaja sahiptirler. Özellikle düşük frekans aralığında (100 MHz'e kadar) göreceli olarak daha küçük kalınlıklarla frekansların geniş aralığını örtmek mümkündür. Manyetik RAM için gerekli olan kalınlık yalıtkan absorbe edicilerin 10%'undan daha azdır. Demir içeriğinden ötürü manyetik bir RAM'in yoğunluğu anlamlı olarak daha yüksek olmasına rağmen düşük kalınlık bu artışı telafi etmektedir [49].

Manyetik RAM'de, RKA azaltması faz iptali ile sağlanır. Elektromanyetik enerji, malzemeden kısmen yansıtılır ve kısmen iletilir. İletilen enerji, materyal içindeki birçok partiküle çarpar ve bir yığın dalga yaratmak oluşturmak için çoklu iç yansımalara neden olur. Ortaya çıkan dalgaların toplamı, genlik bakımından dizayn frekansındaki ilk yansıma miktarına eşittir; teoride, herhangi bir yansıma olmayacaktır [51].



Şekil 3.8 Manyetik ferrit bazlı RAM örneği [51]

Açıklığa ihtiyaç duyulduğunda, örneğin hava giriş/egzoz veya vasıta matafora erişimi, radar kesit alanı azaltım profili kırılabilecektir. Radar kesit alanındaki artışı önlemek adına, açıklığı kapatacak petek veya ızgara levhalar kullanılabilir. Izgara ve petek levhalar enerjiyi uzaklaştıracak, enerjinin açıklığa girmesini önleyecek ve iç yüzeyleri radarın dışına doğru yansıtacaktır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9 Radar absorbe edici petek levha [52]

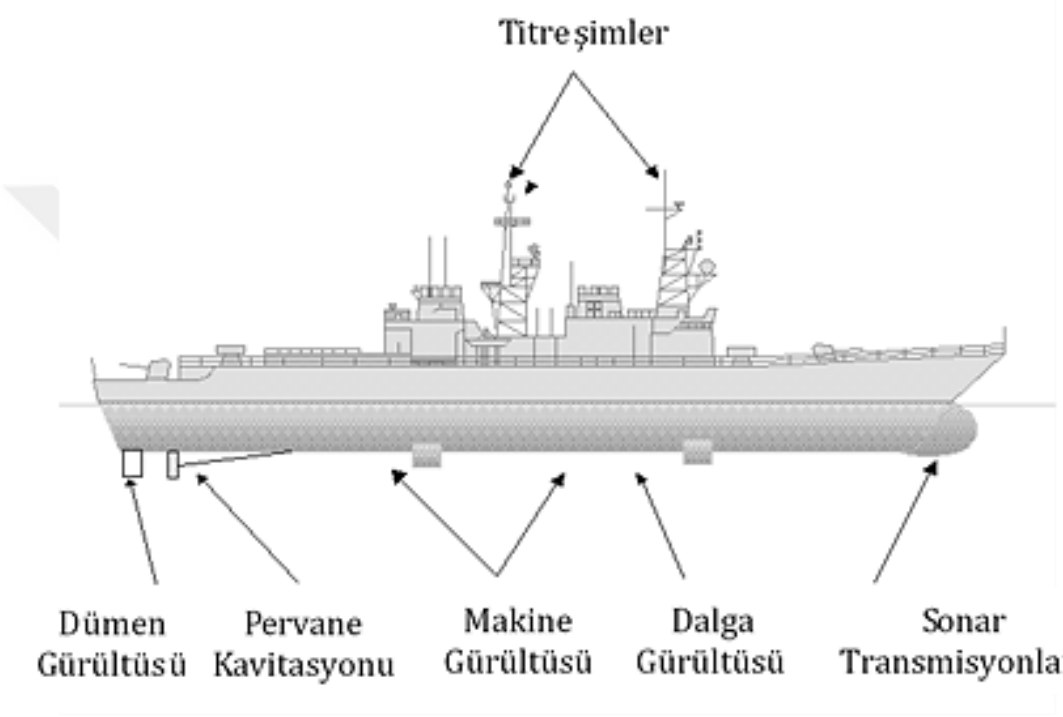
RAM kullanımı, öncelikle malzemelerin ilave ağırlığının ve boyutunun tasarımda dikkate alınmasını gerektirmektedir. Ayrıca malzeme maliyeti daha yüksek olacağından genel edinimde ilave maliyete neden olacaktır. RAM'ın istenilen görevlerini yerine getirdiğinden emin olmak için gerekli düzenli bakımlardan ötürü, geminin hayat döngüsündeki operasyon ve destek maliyetleri de artacaktır.

RKA'yı azaltmada kullanılacak üçüncü metot ise iptal etme veya müdahale etmedir. Pasif iptal yöntemi, birincil sinyalin yansımasını iptal edecek olan ikincil bir yayılmayı sokacak bir yapı oluşturularak gerçekleştirilir. Buna empedans yükleme denir [53]. Bunu yapmanın altında yatan fikir, genliği ve fazı birinci geri yansımayı yok edecek bir kaynak yaratmaktır. Ancak, bu tür yapının tasarımı normal olarak dalga boyuna bağlı olduğundan genellikle tüm frekans aralığını kaplamak mümkün değildir. Frekans değiştikçe radar kesit alanı azaltımı da kaybolacaktır.

Aktif bir sistemle iptal etme, yüzeye bir akım uygulayarak, elektronların akışını değiştirerek ve böylece elektromanyetik dalgaları bozarak gerçekleştirilir. Buna reaktif yükleme denir. Radar elektromanyetik enerjisini iptal etmenin bir diğer metodu, eşit yoğunlukta ve ters fazda (180°) bir elektromanyetik alanın yansıtılan radar sinyaline üretilmesidir. Üretilen alan yansıyan enerjiyi engeller ve iptal eder (gürültü önleyici kulaklık konseptine benzer şekilde), böylece RKA'yı azaltır. Aktif iptal etmenin çalışması için, gelen radar sinyali hakkında detayların bilinmesi gerekmektedir. Sinyal genliği, fazı, frekansı, polarizasyonu, açısı ve irtifası sistemin işlemesi ve iptal sinyalinin iletilmesi için bilinmelidir [49].

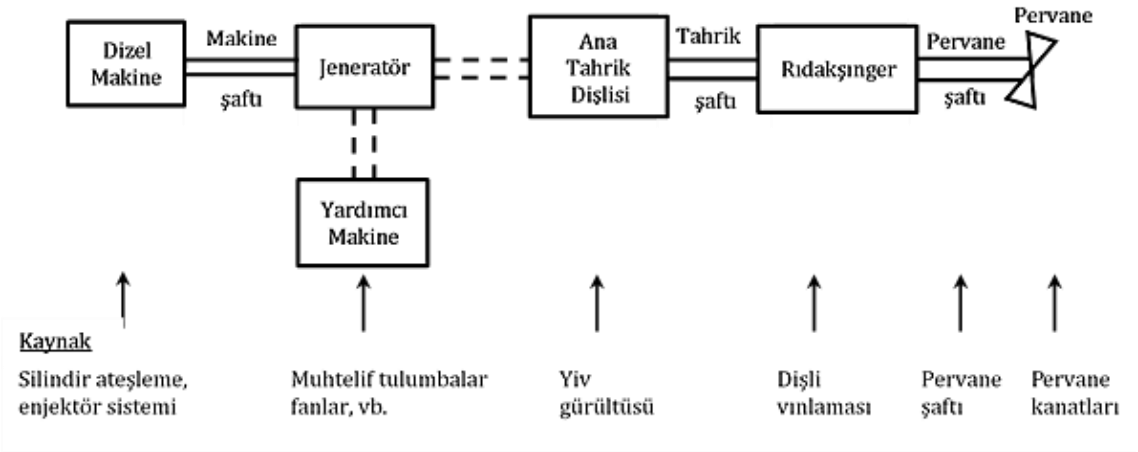
3.1.1.2 Akustik

Su üstünde veya suyun içince ses dalgası yaratıldığında, suda hareket eder ve hidrofon tarafından çekilir. Bu akustik gürültüdür. Geminin akustik izi, makine gürültüsü, pervane gürültüsü, hidrodinamik gürültü ve var ise geminin sonar gürültüsü olmak üzere gemi tarafından yaratılan tüm seslerin birleşimidir (Şekil 3.10). Yayılan gürültü, düşmanın gemiyi saptaması için bir araçtır. Gürültü, aynı zamanda geminin sonar verimliliğiyle çatışacaktır.



Şekil 3.10 Yayılan gürültü

Makine gürültüleri, geminin makineleri, pervane şaftları, kompresörler ve her türlü pistonlu makinenin titreşimleriyle ortaya çıkar. Titreşim geminin yapısı aracılığıyla suya iletilir. Diğer makine gürültüleri personelle ilgilidir, örneğin, gemi mutfağında bir tencerenin düşürülmesi, su geçirmez bir kaportanın kapatılması ve hatta tuvalet flaşörlerinin kullanılması gibi (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Makine gürültüsü kaynakları ([54]'den uyarlanmıştır)

Pervane gürültüsünün başlıca kaynağı kavitasyondur. Kavitasyon iki kategoriye ayrılabilir; uç-girdap kavitasyon (Şekil 3.12) ve kanat-yüzeyi kavitasyon. Kabarcıklar, suyun püskürttüğü düşük basınçlı alanlarda oluşur. Kabarcık çöktüğünde, keskin bir ses darbesi yayılır. Kavitasyon genellikle sabit piç açılı gemiler için 9-15 knot aralığında gerçekleşir. Değişken piç açılı gemiler için, kavitasyon içermeyen hızlar yaklaşık 12 knot civarı olmak zere hem yüksek hem de düşük hızlarda kavitasyon gerçekleşir. Diğer bir pervane gürültüsü ise kanat titreşimlerinden kaynaklanır; ancak bu sadece düşük hız aralıklarında meydana gelir [55].



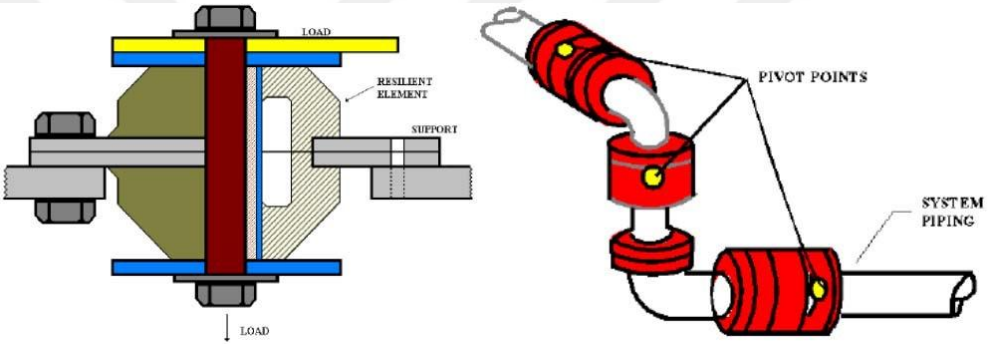
Şekil 3.12 Uç-girdap kavitasyonu [56]

Hidrodinamik gürültü veya akış gürültüsü, hareket eden gövdenin yarattığı düzensiz ve dalgalanan su akışı tarafından ortaya çıkar [55]. Basınç dalgalanması ve düzensiz akış ses olarak yayılır. Aynı zamanda geminin yapısı da akış tarafından uyarılabilir ve yapının titreşimi gürültü yaratabilir. Diğer hidrodinamik gürültü

türleri, yaran pruvanın ve hareket eden geminin kıç dalgalarının kükremesi ve su sisteminin giriş ve çıkışında çıkan gürültüdür [54].

Geminin akustik izini azaltmak için, yönetmemiz gereken iki alan bulunmaktadır. İlk olarak, pasif sonarla saptamayı azaltmak için geminin gürültü seviyesinin düşük tutulması veya çevreye iletilmesinin maskelenmesi gerekir. İkinci olarak, aktif sonar durumunda geminin ses iletimi minimum seviyede tutulmalıdır.

Akustik susturma veya gemi susturma, üç gürültü kaynağının, makine gürültüsünün, pervane gürültüsünün ve hidrodinamik gürültünün detektöre ulaşmasını önleyerek geminin ürettiği gürültüyü azaltma işlemidir. Makine gürültüsü, şok emiciler, esnek boru bağlantıları ve izolasyon malzemeleri kullanılarak iletim yolunun yalıtılmasıyla kontrol edilebilir (Şekil 3.13).

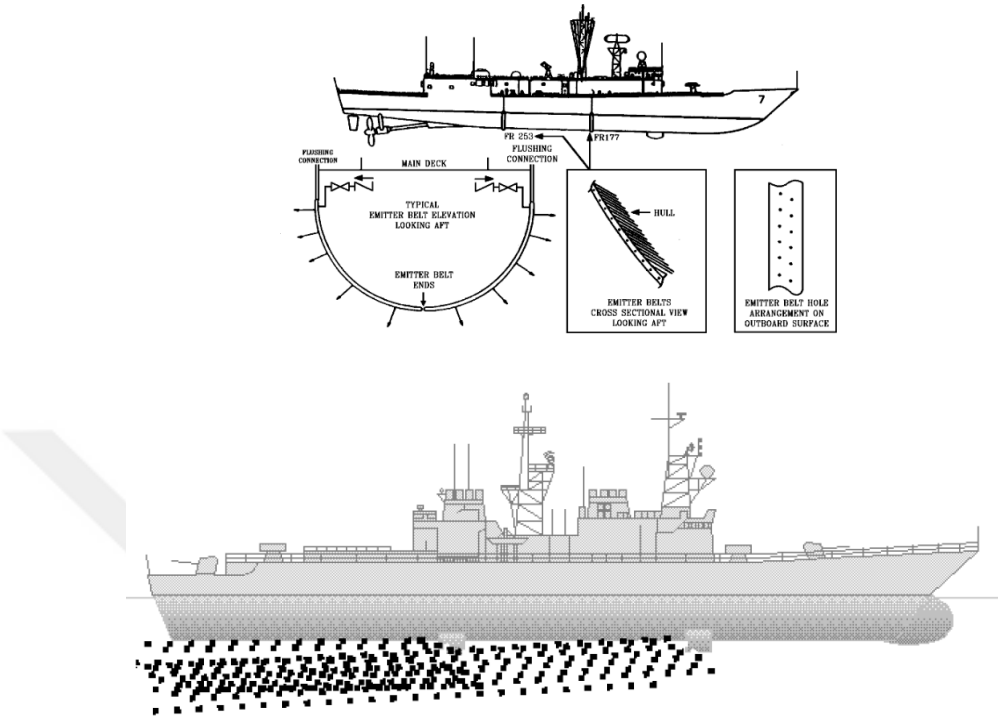


Şekil 3.13 Şok emciler ve esnek boru bağlantıları [55]

Geminin çıkardığı gürültüyü azaltmak akustik yönetimi metotlarından biridir. İkinci metot, gürültünün pasif sonar detektörüne ulaşmasını engellemektir. Bu da, geminin gövdesini saran hava kabarcıklarından oluşan bir duvar yaratmakla gerçekleştirilebilir. Hava kabarcığı ve çevresindeki su arasındaki empedanstaki (ses hızı) büyük fark, onları iyi bir akustik enerji yansıtıcısı yapar. Önemli ölçüde farklı bir ses hızına sahip olan bir ortamdan diğerine geçen akustik dalgalar nüfuz etmez, ancak geri yansır. Sudaki kabarcıklar bulutundaki sesin hızı, sudakinden 10, havadakinden 3 kat daha yavaş bir faktördür. Suya iletilen ve aksi takdirde uzun mesafeler boyunca yayılacak olan gemi gövdesinde oluşan olan sesler, gövdeye geri yansır ve dağılır.

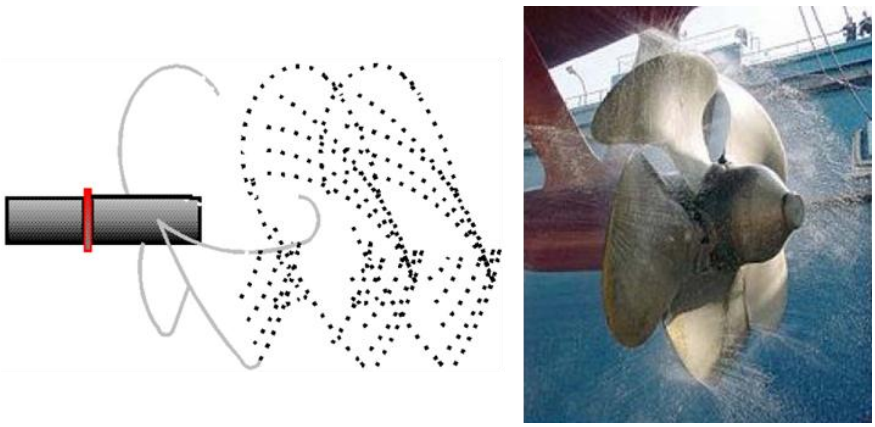
Şekil 3.14'de verilen Masker hava sistemi, makine dairelerinin (örneğin ana makine dairesi) bulunduğu yerlerde gemi gövdesini saran hava kabarcıkları formu oluşturur ve makine gürültüsünün suya iletimini azaltır.

Masker sistemini, makine gürültüsünün iletimini azaltmasına rağmen, başka bir sorun yaratır. Masker sistemi, geminin anaforunu arttırır ve böylece gemi için daha büyük bir görsel iz yaratır. Ayrıca torpidolar için daha büyük bir imza sunar.



Şekil 3.14 FFG ve DDG sınıfı gemilerde masker hava sistemi [57]

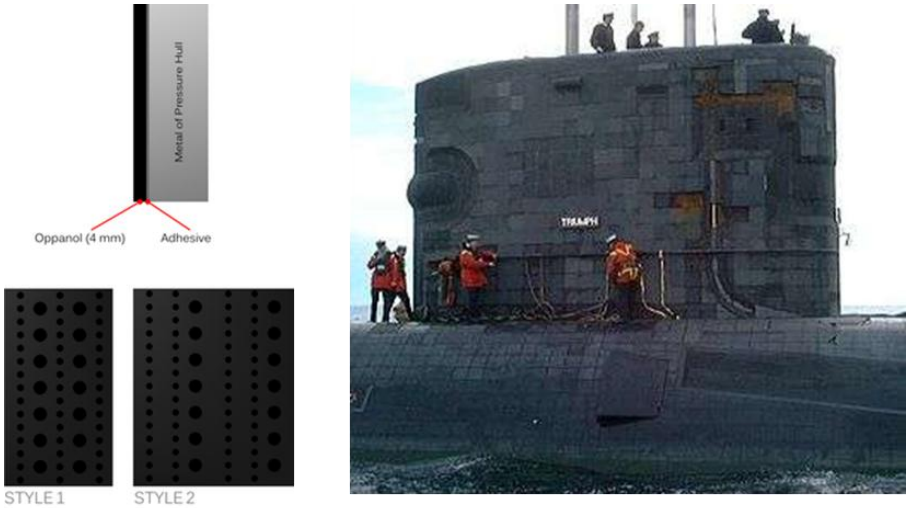
Şekil 3.15'de gösterilen Prairie hava sistemi, Masker hava sistemine benzemektedir ve genellikle Masker hava sistemiyle birlikte kullanılır, ancak çalışma prensibi farklıdır. Prairie hava sistemi hareket eden kanatlar tarafından bırakılan vakumu doldurarak pervanenin uçları boyunca hava kabarcıkları yaratır. Hava kabarcıkları alçak basıncı düşürerek kavitasyon kabarcıklarının daha yavaş sönmelerini sağlar, böylece kavitasyon gürültüsünü azaltır [57].



Şekil 3.15 Prairie hava sistemi [57]

Gürültü azaltma, pasif sonarlar tarafından algılanmayı önlemek için kullanışlı bir metottur, ancak aktif sonarın bir gürültü kaynağına ihtiyacı yoktur. Aktif sonar, daha çok radarın çalışmasına benzer şekilde, ses dalgalarını iletir ve ses dalgası gemiye çarptığında sesin bir kısmını geri iletir. İletimin ne kadar kuvvetli olacağı geminin yansıtıcılığına bağlıdır. Gemi gövdesinin akustik yansıması Anechoic levhalar kullanarak azaltılabilir (Şekil 3.16). Anechoic levhalar radarı absorbe eden süngerlere benzerler ve genellikle içinde binlerce küçük boşlukların olduğu sentetik polimerden veya kauçuktan yapılırlar. Hava boşluklarından geçen ses dalgaları enerji kaybeder ve böylece ses dalgalarının hareket ettiği mesafeyi azaltırlar.

Levhalar iki şekilde çalışırlar. İlk olarak, levhalar aktif sonarın ses dalgalarını absorbe ederler ve böylece geminin hedef kuvvetini azaltırlar. Dönüş sinyali azaltılır ve yönü değiştirilir; böylece sonarın verimli mesafesi azaltılmış olur. II. Dünya Savaşı sırasında, Alman U-botları tarafından Anechoic levhalar kullanılmıştır. Sonuç 10'dan 18 kHz'e kadar olan frekans aralığındaki sonar dönüşünde yaklaşık % 15'lik bir azalma olmuştur. Modern Rus levhalar yaklaşık 100 mm kalınlıkta ve Akula sınıfı denizaltıların akustik izini yaklaşık 10 ile 20 desibel arası azaltmaktadır. Levhaların izi azaltmaya yardımcı oldukları ikinci yol, onların gövdedeki makine gürültüsünün iletimini absorbe eden susturucu olarak kullanılmalarıdır. Böylece geminin akustik izi azaltmış olur ve verimli bir şekilde pasif sonar tarafından saptanabilme olasılığı ve mesafesi de azaltılmış olur [58].



Şekil 3.16 Alberich levhası (sol) ve HMS Triumph gövdesindeki anechoic levha (sağ) [58]

Anechoic levhalar, gövdenin algılanabilirliğini ve makine gürültüsünün iletimini azaltabilmelerine rağmen, bakım çalışmalarına ilave yük getirmektedirler. Levhalar gövdeye özel yapıştırıcılar, kauçuk ve metal ile bağlanmaktadır. Sürecin tamamlanması oldukça uzun zaman almakta ve tüm bu süre boyunca geminin suda bulunmaması gerekmektedir. Daha sonra değiştirilecek her levha için benzer şekilde geminin havuzlanması gerekmektedir.

Ağır deniz şartlarında, zaman içerisinde yapıştırıcı çıkabilir ve bazı levhalar gevşeyebilir ve düşebilir. Levhaların daha uzun süre dayanabilmeleri için yapıştırıcılarda geliştirmeler yapılmaktadır, ancak hala optimum çalışma şartlarını sağlamak için düzenli kontroller gerekmektedir. Gevşek herhangi bir levha türbülansa neden olacak ve suda sürüklenecek ve böylece verimlilik azalacak ve gövdedeki direnç yüzünden hareket etmek için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyacaktır. Kanada Kraliyet Ordusu gemisi, HMCS Montreal (FFH 336), yayılan gürültüyü azaltmak için makine alanları çevresinde geminin sualtında kalan dış tarafında 12.500 sentetik kauçuk Anechoic levhalara sahiptir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 HMCS Montreal (FFH 336) [59]

3.1.1.3 Kızılötesi

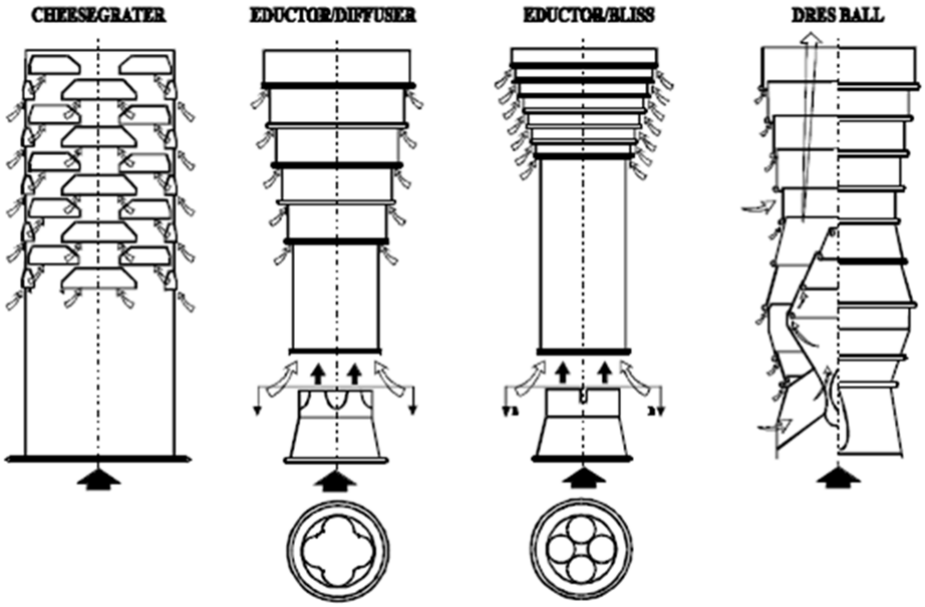
Bir geminin ısı izi, esas olarak egzoz ve havalandırma çıkışları boyunca makinelerin ve diğer ekipmanların atık ısısından kaynaklanmaktadır [60]. Mutlak sıfır üzerinde sıcaklığa sahip tüm gövdeler termal radyasyon yayacaktır. Yayılacak

radyasyonun miktarı gövdenin sıcaklığına ve yayma kabiliyetine bağlıdır. Sıcak bir gövde, daha soğuk bir gövdeden daha fazla radyasyon yayacaktır [61].

Elektromanyetik radyasyon aynı zamanda bir yüzeyden de iletilebilir; diğer bir ısı izi kaynağı güneş ve deniz radyasyonunun gemi yüzeyi tarafından emilmesi ve yansıtılmasıdır [60]. Pürüzlü bir yüzey, pürüzsüz bir yüzeye göre daha fazla radyasyon yayacaktır [61].

Geminin ısı izleri, kızılötesi (IR) alıcısı kullanılarak alınabilir. IR sensörler, hem gemiden hem de arka plandan elektromanyetik enerjiyi alır ve bunların karşılaştırılması sonucu gemiyi tespit eder. Geminin ısı izinin yönetimi kavramı, tamamıyla radyasyon emilimini yok etme değil, gemi ile çevresi arasındaki IR emilim zıtlıklarını azaltmaktır. Zıtlık gemi ile çevresi arasındaki sıcaklık farklılıklarını azaltarak düşürülebilir.

Bu, Şekil 3.18'de gösterildiği gibi egzoz sisteminin soğutulmasıyla yapılabilir. Egzoz bacası metallerindeki ısıyı bastırmak için soğuk bir ortam havası tabakası kullanılır; bu da ortamın yaklaşık 20-30^{0}C üzerinde bir metal sıcaklığı sağlar. Bu durum, günümüzün tehditlerine karşı korunmak için yeterli bir bastırma seviyesi olarak düşünülebilir. Tüm kompartımanlar 50^{0}C'nin altında bir sıcaklıkta tutulacak biçimde havalandırılmalıdır. Çevreyle $\mp$5^{0}C'lik bir ısı farkını korumak için tüm dış gövdeye termal yalıtım uygulanmalıdır. 25 mm incelikteki cam elyaf izolasyon malzemesi dış yüzey sıcaklığını kabul edilir seviyeye düşürebilir [60].



Şekil 3.18 Popüler makine egzoz IR önleme aygıtları [60]

Güneş radyasyonu problemi, güneş emilimini veya maruz kalan yüzeylerin yansımasını azaltmak için düşük emiciliği veya termal yayıcılığı olan özel boya ve malzemeler kullanılarak veya gemi yüzeylerinin soğutulması için Şekil 3.19'da gösterilen yıkama sistemleri ile yönetilebilir [60].



Şekil 3.19 Yıkama (wash-down) sistemi [62]

3.1.1.4 Manyetizm

Geminin manyetik alanı, manyetik bileşenlerinden gelmektedir. Deniz suyundaki yayılım kaybıyla birlikte ilgilenilen frekanslar ~0 dan 3 Hz'e kadarki ultra-düşük frekanslar ile 3 Hz - 3 kHz arasındaki çok düşük frekanslardır. Bu frekanslar genellikle intikal halindeki geminin tespit edilmesi, konumunun saptanmasında kullanılır. Manyetik etkili mayınlar ve torpidolar da, intikal halindeki geminin anormal şekilde sebep olduğu manyetiği gemiyi imha etmek için kullanırlar [63].

Manyetizmin neden olduğu vurulabilirliği azaltmak için öncelikle gemideki manyetik alan kaynaklarının neler olduğuna bakılmalıdır.

- Bir geminin ana manyetik kaynağı ferromanyetik (demirsel mıknatıslık) izdir. Gemiler dünyanın manyetik alanının etkisi altında inşa edildiklerinden, gemilerin yapımda kullanılan ferro malzemeler, dünyanın doğal manyetik alanı tarafından manyetizmle indüklenmektedir. Metaller, dünyanın manyetik alanında şekillendirildiğinden ve kaynak yapıldığından zamanla manyetizm oluşur.

- Manyetik alanlar, gemiler dünyanın manyetik alanlarından geçtikçe geminin elektriksel iletken malzemelerinde de uyarılır.
- Geminin gövdesi veya katodik koruma sistemi ve doğal elektrokimyasal korozyon süreçleri altında deniz suyu tarafından üretilen elektrik akımı, bir geminin statik ve değişen manyetik alan izlerinin bir kaynağıdır.
- Gemideki elektrik motorları, jeneratörler, dağıtım kabloları, tevzi panoları, devre kesiciler ve diğer aktif devreler aracılığıyla akan akımlar manyetik alanlar yaratırlar [64].

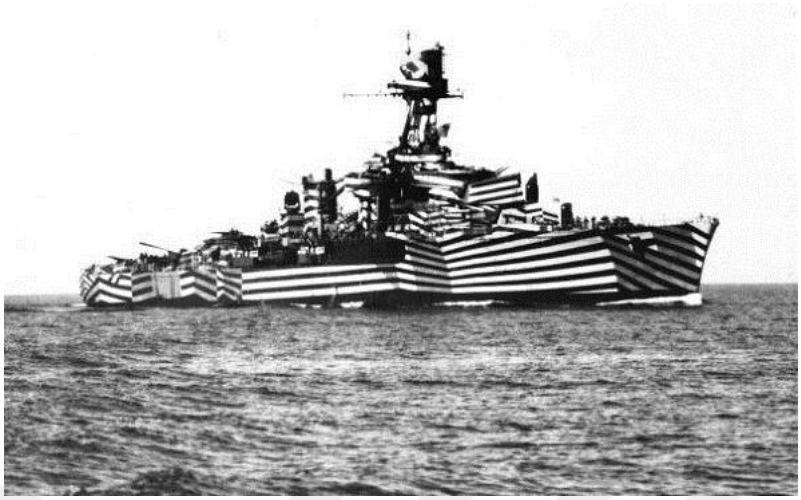
Diğer iz azaltma tekniklerine benzer şekilde, bir geminin manyetik alanı pasif ve aktif vasıtalar tarafından azaltılabilir. Pasif azaltma daha az ferro malzemeler kullanarak veya tümünü yok ederek başarılabilir. Örneğin, mayın tarama gemileri, manyetik izlerini azaltmak için genellikle cam elyafı veya ahşaptan yapılmış gövdelere sahiptirler. Buna rağmen, ferro malzemelerin miktarını azaltmanın veya manyetik olmayan malzemeler kullanmanın başka etkileri de bulunmaktadır, örneğin gövde ve üst yapıların kuvvetini ve mukavemetini azaltırlar ve böylece yaralanabilirliği arttırırlar. Son zamanlarda, gemi inşasında alüminyumun kullanımına yönelik bir eğilim bulunmaktadır, ancak alüminyum yapılarda yorgunluk kırılmalarına rastlanabilir ve alüminyum çeliğe göre daha düşük sıcaklıklarda mukavemetini kaybedebilir. Malzeme kullanarak manyetizmi azaltmak için geminin harekât ihtiyaçlarını karşılayacak doğru malzemenin bulunması gerekmektedir.

Aktif azaltma tekniği ise digavsing sisteminin kullanılmasıdır. Gemi boyunca bir dizi elektrik kablosu sargısı yerleştirilir ve bunlar arasında bir DC akımı geçirilir. Bu geminin manyetik alanına eşit ve ters bir alan oluşturur ve gemiyi manyetik olarak görünmez kılar [65].

3.1.1.5 Görsellik

Bir geminin görsel tespiti satıhtan veya havadan belli olabilir. Özellikle gölgeler ve renklerde büyük zıtlıklar olduğu zamanlarda geminin silueti satıhtan ufka karşı kolaylıkla görülebilir. Elektro-optik sistemler de karşıtlıkların tespit edilebilirliğini arttırmaktadır. Geminin yüksekliğini minimum seviyede tutarak ve gölgeyi ve

rengi kırmak için kamuflaj boyalar kullanarak görsel tespit edilebilirlik azaltılabilir.



Şekil 3.20 İngiliz Donanmasına ait HMS Argus (1918) [66]

I. Dünya savaşında, Şekil 3.20'de görünen "Dazzle" adında yeni bir kamuflaj yaratmıştır. Buradaki amaç gemiyi gizlemek yerine, saldırganın geminin rotasını saptamasını zorlaştırmaktır. Renkler genellikle siyah, beyaz, mavi ve yeşil olmak üzere eğimli ve ince çizgiler en iyi çarpıtmayı sağlamak üzere kullanılmıştır [66]. Ancak sensör teknolojisindeki ilerlemeler sayesinde bu yöntem daha fazla kullanılmamaktadır. Buna rağmen, SAAB grubu tarafından tasarlanmış İsveç Donanmasına ait Visby sınıfı korvetler (Şekil 3.21) [67] ve Çin Donanmasına ait Houbei sınıfı hücumbotlar gibi bir çok modern savaş gemisi hala kamuflaj boyaları kullanmaktadır [68].



Şekil 3.21 İsveç Donanmasına ait Visby sınıfı korvet [69]

Geminin görsel görünümü havadan da olabilir ancak en görünür kısmı genellikle geminin kendisi değil dümen suyunda bıraktığı izdir. Daha kısa ve daha az dalgalı etki yaratan tekne formları tasarlayarak ve deniz yüzeyine uygun kamuflaj boya temaları kullanarak, görsel görülebilme olasılığı azaltılabilir.

3.1.2 Tehdit Uyarma Sistem/Cihazların Kullanılması

Gelişmiş pasif ve aktif sensör sistemleriyle gemi, çevresi hakkında bilgi toplayabilecek; böylece düşman hareketleri ve eylemleri hakkında önceden uyarılmış olacaktır. Eğer düşman radarını çalıştırmak suretiyle arama yapmaya ya da angajman başlatmaya teşebbüs eder ise gemi bu tür eylemlerden kaçınmak için daha iyi bir konumda olacaktır. Gelen mermiler veya torpidolar hakkında erken uyarı yapıldığında karşı önlemler alınabilir. Karar verme ve kaçınmaya yol açan eylemlerin gerçekleşmesi zaman aldığından, tespit sırasında kazanılan her saniye saldırıdan kurtulma olasılığını artıracaktır.

Örneğin, 1,6 deniz mili mesafesindeki, 2 Mach hızında havadan satıha atılan bir güdümlü mermi yaklaşık 4,4 saniyede gemiye ulaşacaktır. Bu, saldırıya karşı uygulanacak hareket tarzının ne olacağı konusunda karar vermek ve onu gerçekleştirmek için geminin sadece 4 saniyesi olduğu anlamına gelir. Güdümlü mermi, daha önce tespit edilirse, örneğin 2,7 deniz milinde, geminin bu sefer yaklaşık 7 saniyelik reaksiyon süresi olabilecektir.

3.1.2.1 Radar İkaz Alıcı



Şekil 3.22 Radar ikaz alıcısı (AN/ALR-67(V)3) [70]

Radar ikaz sistemine (Şekil 3.22) sahip olmak suretiyle tehdidin yaydığı herhangi bir radyo dalgası dinlenebilinir. Bu, gemiye tehdidin tespiti için erken uyarı

sağlayacak ve müdahale etmesi daha fazla zaman tanıyacaktır. Ayrıca gelen tehdidin yönü de belirlenebilecektir.

3.1.2.2 Lazer İkaz Sistemi

Lazer ikaz sistemi (Şekil 3.23), 360 derecelik bir algılama kapsamı sağlamak için gemi boyunca dağılmış birçok lazer dedektörden oluşur. Tehdit lazer ışığı kullanırken, dedektörlerden biri veya daha fazlası lazeri algılar ve gemiye bir uyarı verir. Lazer üzerindeki yön, dedektörlerin konumları enterpole edilerek belirlenebilir.



Şekil 3.23 SAAB lazer ikaz sistemi [71]

3.1.2.3 Sonar Sistemi

Denizaltı torpido ateşleme sistemi, ateşlemeye hazırlanırken bir miktar akustik gürültü oluşturacaktır veya başka bir geminin, denizaltının veya torpidonun pervanesi, kavitasyon gürültüsü yaratacaktır. Gemi, sonar sistemini kullanarak (Şekil 3.24), çevredeki akustik gürültüyü duyabilir. Sonar sisteminin pasif modu, geminin bulunduğu yerin keşfedilmesini önlemek için kullanılmalıdır.



Şekil 3.24 AN/SQS-53 sonar domu [72]

3.1.2.4 Kızılötesi Sensör

Kızılötesi sensörler (Şekil 3.25), geminin çevresini taramak için kullanılabilir; tespit edilen herhangi bir sıcak temas namlu flaşı veya ateşlenmiş güdümlü mermi olabilir. Böylece gemi uyarılmış olur. Kızılötesi sensörü, havanın tam aydınlık olmadığı durumlarda, hava ve satıh hedeflerini tespit etmek için de kullanılabilir.



Şekil 3.25 AN/SAY-1 kızılötesi sensörü [73]

3.1.2.5 Elektro-Optik

Elektro-optikler tipik olarak yüksek büyütme özelliklerine sahip düşük ışık kameralarıdır. Genellikle hedef algılama ve onaylama için kullanılırlar.



Şekil 3.26 Valour sınıfı fırkateyn optik trak radarı [74]

Ayrıca yakın mesafeden arama ve traklama için kullanılırlar. Video besleme özelliği, silah angajmanlarının atış kontrolü için de kullanılabilmektedir (Şekil 3.26).

3.1.3 Tehdit Önleme Sistemlerinin Kullanılması

Gelen bir tehditle karşı karşıya kaldığında, tehdidi önlemenin farklı yolları vardır. Bu araçlardan biri, mermiyi (hardkill) gemiye saldırmadan veya isabet etmeden önce imha etmektir; diğer yöntem ise gemiyi hedeflememesi veya etkilememesi için onu aldatmak veya başka bir tarafa yöneltmektir.

3.1.3.1 Tehdit Tahrip Etme (Hardkill)

Gemiye yönelik tehdit temel olarak güdümlü mermilerdir. Bunlar gemideki savunma sistemi tarafından vurulabilir ve tahrip edilebilir. Bir gemi için savunma sistemleri, farklı angajman menzillerine sahip sistemlerle kademeli savunma yapacak şekilde tasarlanmalıdır. Örneğin, füzesavar füze (AMM) sistemi orta ile uzun menzilli savunma için kullanılır. Kısa-orta mesafeleri kapamak için yakın savunma sistemi (CIWS) (Şekil 3.27) kullanılmalıdır; böylece tehdidin, AMM sisteminin etkili olamayacağı kadar yakın bir mesafede algılanması durumunda, başka bir savunma silahı kullanılabilir.



Şekil 3.27 Phalanx yakın savunma silahı [75]

Gelen mermiyi düşürmek tek savunma şekli değildir. Düşman algılandığında, ilk reaksiyon göstererek angajman geliştiren muhtemelen kazanacaktır. Uzun menzilli, yüksek hızlı, gemisavar bir güdümlü mermi ya da torpidoya sahip olmak, kendisini saldırıya uğrayacak mesafeden yeterince uzak tutmak suretiyle düşman gemisini imha edebileceği anlamına gelir. Bir AMM genellikle aynı zamanda bir hava savunma mermisidir; bu, uçağın saldırısını başlatmadan önce geminin hücum geliştirebileceği anlamına gelir. CIWS, aynı zamanda diğer silah sistemlerinin minimum angaje olma mesafesinin altına giren küçük, hızlı tekneleri hedef almak için de kullanılabilir.

3.1.3.2 Tehdit Yanıltma (Softkill)

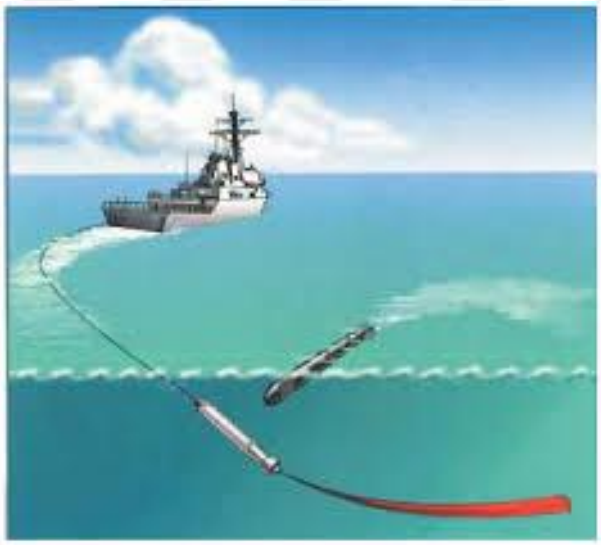
İkinci önleme yöntemi tehdidin sensörlerini aldatmaktır. Bu, saman sistemlerine ve elektronik karıştırıcılara sahip olmak suretiyle yapılabilir (Şekil 3.28).

Yüzey yanıltıcı mühimmat olarak saman, fişekler ve duman kandilleri kullanılmaktadır. Saman sistemi, radar yansıtıcı malzemelerin bulut şeklinde bırakılması prensibiyle çalışır. Böylece radyo dalgası yansımasını engelleyebilir ve yanlış bir hedef sunabilir. Fişekler, geminin kızılötesi imzasını maskeleyici ve kızılötesi sensörlerini karıştıran parlak, sıcak malzemeden bir duvar oluşturur. Duman kandilleri ise geminin görünüşünü engeller, böylece düşmanın izlemesini ve geminin optik ve lazer hedefleme sistemleriyle kilitlenmesini önler.



Şekil 3.28 Mark 36 SRBOC saman sistemi [76]

Günümüzde torpidolara karşı kullanılacak torpidosavar mermiler üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Hâlihazırda torpidolara karşı en etkili yol, yanıltmadır (Şekil 3.29). Torpidolar, gemilerin akustik imzasını taklit eden cihazlar kullanmak suretiyle aldatılır. Bu nedenle, geminin hızı ve manevra kabiliyeti de önemlidir.



Şekil 3.29 Torpido yanıltıcı AN/SLQ-25 Nixie [77]

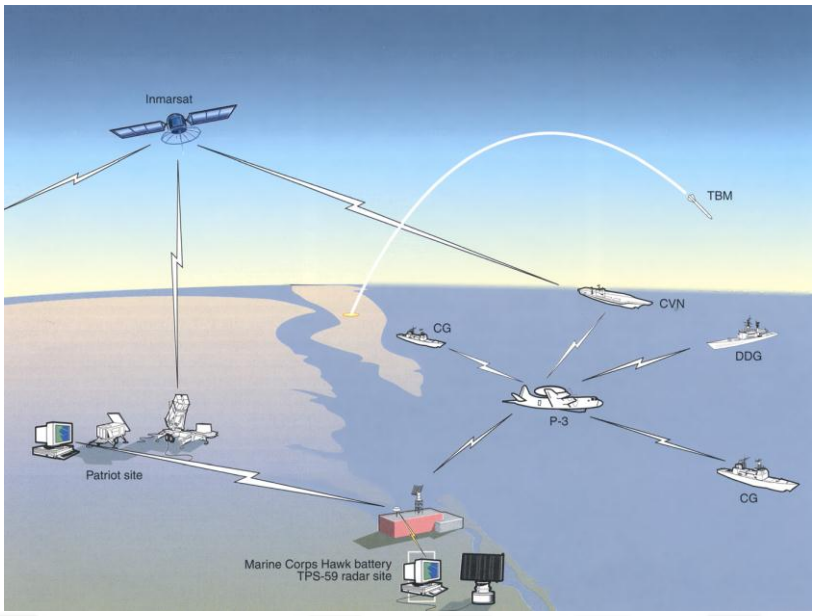
3.1.4 Entegre Kuvvet Ağı

Bir geminin angajman menzili, yalnızca silah ve sensörlerinin menzili kadar iyidir. Bu menzilin sınırı fizik ile silah ve sensör sistemlerinin kapasitesi ile ilgilidir. Zaman zaman, silah sistemlerinin menzili sensörlerin algılama kabiliyetinden daha

uzundur. Angajman menzilini genişletmek için harici sensör bilgileri kullanılabilir. Bu bilgiler bölgedeki diğer dost güçlerden gelebilir veya gemi insansız araçlar kullanmak suretiyle sensör menzilini genişletebilir.

Kendi kuvvetleri ile koalisyon gemilerinin taktik resimleri ya da insansız araçlar gibi diğer kaynaklardan gelen bilgilerin kullanımı, protokollerde ve veri aktarımında standardizasyon gerektirecektir. Veri aktarımı ve iletişimi için güvenli, yüksek hızlı ve geniş veri bant genişliği gerekli olacaktır. Büyük çapta bilgi akışını birleştirmek ve yönetmek için yüksek güçte hesaplama ve algoritmalar gerekecektir. Bütün bunların çalışması için güçlü ve sağlam bir Komuta, Kontrol, İletişim, Bilgisayar ve İstihbarat (C4I) sistemi gerekli olacaktır. Çeşitli iletişim ve operasyon yönetimi sistemlerini işletmek için iyi operatör eğitimi gerekecektir. Ayrıca karar vericilerin, bu tür bir ağın etkinliğini en üst düzeye çıkarmak için durum farkındalığı ve taktikler konusunda eğitilmesi gerekir. Ağ tasarımı, sergilenen bilgilerin operatörlerin ve karar vericilerin aşırı yüklenmesine sebep vermeyecek şekilde tasarlanmalıdır.

ABD Kooperatif Angajman Kabiliyeti (CEC) programı bu ağlardan biridir (Şekil 3.30). CEC, operasyon alanındaki tüm hava tehditlerini tespit ve takip etmek ve angaje olmak için entegre bir hava savunma harbine olanak tanır. Geniş bir alana dağılmış çok sayıda platformdan elde edilen radar, sensör ve izleme verilerini bir araya getirerek çalışır; bu sayede çok sayıda geminin, uçağın ve kara tabanlı hava savunma sistemlerinden elde edilen bilgiler ile tutarlı, kesin ve güvenilir bir hava resmi geliştirilmesine olanak sağlar [78]



Şekil 3.30 Kooperatif angajman kabiliyeti (CEC) konsepti [78]

Singapur Cumhuriyeti Donanması'nın Entegre Bilgi Tabanlı Komuta ve Kontrol Ağı (IKC2) insansız araçlara dayanmaktadır (Şekil 3.31). Çeşitli İnsansız Hava Araçları (İHA), İnsansız Suüstü Gemileri ve İnsansız Sualtı Araçları kullanılarak, küçük bir görev grubu veya tek bir gemi için algılama ve angajman mesafesi artırılabilir. Gemiden fırlatılan İHA'lar, sensör sistemlerinin fiziksel sınırlarını aşarak geminin görsel ve radar kapsamını genişletebilir; böylece deniz yüzeyinde daha kapsamlı bir hava gözetimi sağlayabilir.



Şekil 3.31 Entegre bilgi tabanlı komuta ve kontrol (IKC2) ağı insansız araçları [79]

Tüm bu insansız araçların kombinasyonlu kullanımı daha fazla algılama mesafesi, daha fazla istihbarat toplama ve daha fazla angajman mesafesi sağlayacaktır. Bu kabiliyetler, erken tehdit algılama, tehditlerin bastırılması, durum bilincinin artması ve sıyrılma menzilinin artırılması yoluyla vurulabilirliği azaltacak; buna bağlı olarak geminin hayatta kalma yeteneğini büyük ölçüde artacaktır.

3.2 Yaralanabilirlik Azaltma Yöntemleri

Geminin isabet aldıktan sonra dik konumda kalabilmesi, geminin yaralanabilirliğinin değerlendirmesinde tek ölçü değildir. "Ölü" olarak değerlendirilmemek için, gemi hala manevra kabiliyetine ve sevk gücüne sahip olmalıdır. "Harekât yeteneği bakımından ölü" olarak görülmemek için görevini hala yerine getirebilmelidir. Geminin birincil ve kritik görev sistemlerini kaybetme olasılığını düşürmek için yaralanabilirlik azaltma yöntemlerinin söz konusu sistemlere uygulanması gerekmektedir. Tablo 3.2'de gösterilen bu yöntemler; geminin yapısal/gövde sağlamlığı, gemide kullanılan kritik ekipmana yönelik dikkat edilmesi gereken yöntemler ve yara savunma çalışmaları olmak üzere üç temel alt başlıkta incelenebilir.

Tablo 3.2 Yaralanabilirlik azaltma yöntemleri [13]

Tolerans Türü	Yaralanabilirlik Azaltma	Yetenek veya Bileşen
Gemi ölümü	Cephanelik infilakını önleme	Pasif koruma, zırh, balistik kaplama, yan ve dip koruma
Konvansiyonel Hasar Azaltma (Patlama ve şok)	Yapısal ve ekipman tasarımı iyileştirmeleri	Gövde, yapısal ve ekipman dayanıklılık iyileştirmeleri
Nükleer hasar azaltma	Nükleer koruma	Gövde, yapısal ve ekipman güçlendirme, radyasyondan koruma maddesi ile kaplanmış ve sertleştirilmiş ekipman, yıkama sistemi
Serpinti kaldırma	Nükleer radyasyonun (serpinti, partikül madde) geminin dışından çıkarılması.	Radyolojik kirlenmeyi giderebilen sistem
Elektromanyetik darbe ve yüksek irtifada elektromanyetik darbe	Elektromanyetik darbe koruma	Elektromanyetik darbeler için güçlendirilmiş ekipman, kaplama, filtreleme, koruyucu cihazlar, yedek parçalar
Görev yönünden hayati sistem kaybı	Yedeklilik, alternatif sistemler	Birincil ve alternatif güç kaynakları, birincil ve alternatif görev sistemlerinin ayrılması
Dâhili ve harici Siber saldırılar	Bilgi emniyeti	Bilgi sistemleri
Kötü amaçlı yazılım ve kötü amaçlı kod	Bilgi emniyeti	Bilgi sistemleri
Deniz durumu	Yapısal tasarım iyileştirmeleri	Gövde, yapısal ve ekipman güçlendirme iyileştirmeleri

Tablo 3.2 Yaralanabilirlik azaltma yöntemleri [13] (devam)

Tolerans Türü	Yaralanabilirlik Azaltma	Yetenek veya Bileşen
Buzlanma	Kaplama	Boyalar, kompozitler
Deniz suyu sıcaklığı	Sıcaklık ayarlama sistemleri	Soğutma
Hava sıcaklığı	Hava sıcaklığı ayarlama sistemleri	Klimalar, ısı değiştiriciler
Kum ve toz	Hava geçirmez yapılar, filtrasyon	Gemi tasarımı, filtreleme sistemleri
Çatışma, karaya oturma	İndikasyonlar, uyarıcılar	Sensörler, alarmlar
	Yapısal tasarım iyileştirmeleri	Gövde ve yapısal güçlendirme iyileştirmeleri

3.2.1 Yapısal/Gövde Sağlamlığı

Gemi yapısı ve gövdesi, silah etkisi ile kritik sistemler arasındaki ilk engeli temsil etmektedir. Gövdenin sağlamlığı, cephanelikler, makine daireleri ve yakıt tankları gibi gemide bulunan kritik bölgeler için zırh koruma olasılığını artırarak geminin isabetlere dayanabilmesini sağlamaktadır.

3.2.1.1 Malzeme

Gemi inşasında kullanmak üzere seçilecek malzeme, geminin herhangi bir hasar karşısında dayanıklılığını etkilemektedir. Malzeme seçim sürecini etkileyen en önemli faktörlerden biri genellikle ağırlıktır. Diğer faktörler ise malzemenin gerilme ve akma mukavemeti, kullanım koşulları, imalat kolaylığı, maliyeti gibi unsurlardır.

Gemi inşasında kullanılacak malzemelerin türleri genellikle geminin mekanik gereklilikleri ve yapısal ihtiyaçları ile sınırlandırılmıştır. Aşağıda gemi yapı ve gövdesinde yaygın olarak kullanılan malzemelerin bazıları listelenmiştir:

- Yüksek-güçlü aşınmaya dayanıklı çelik
- Yüksek-güçlü manyetik olmayan çelikler
- Yüksek-alaşımlı çelik
- Aşınmaya dayanıklı alaşımlar

- Titanyum alaşımlar
- Alüminyum alaşımlar
- Metal-bazlı bileşke malzemeler
- Polimer-bazlı bileşke malzemeler
- Metal olmayan malzemeler

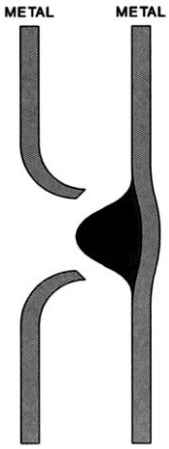
Gemiye yüklenecek donanımın, taşıyıcı yapılara eşit şekilde dağıtılacak biçimde hatta gerektiğinde yapıları güçlendirecek biçimde tasarlanması gerekmektedir. Bitişik yapıların esnemesine izin verecek ancak yine de yapı bütünlüğünü koruyacak biçimde yükleme toleranslarına izin verilmelidir. Yapısal tasarım, aynı zamanda yapısal mukavemeti kaybetmeden yüksek ısıya dayanıklı olabilecek şekilde yapılmalıdır.

3.2.1.2 Zırh

Günümüz modern savaş gemilerine çok kalın sac levhaların veya kuşaklarının yerleştirilmesi artık görülmemektedir. Zırh için kullanılacak ilave her ağırlık geminin hızını büyük oranda düşürecektir. Gemiyi istenilen hızda hareket ettirebilmek için daha fazla yakıt ve daha büyük itici güç sistemi gerekecektir. Aynı zamanda, günümüz modern tehditleri göz önüne alındığında, hasar mekanizmalarını yenmek için gerekli sac levha kalınlığı oldukça fazla olacaktır. Bu nedenle, birçok savaş gemisi artık daha az zırhla, hızı ön planda tutacak şekilde ve kalın sac levhalar için harcanacak ağırlığı daha fazla donanım ve savaş sistemlerine ayıracak şekilde inşa edilmektedir.

Buna rağmen, küçük silahları, infilak ve parça tesirli saldırıları yenmek için gemide yeteri kadar zırh korumasına hala ihtiyaç bulunmaktadır. Bunun başlıca nedeni, personele ve gemiye yerleştirilmiş kritik bileşenlere yeterli koruma sağlayabilmektir. Gemiyi zırhlandırmak, gövdeyi zırh korumasını geliştirecek şekilde tasarlamak suretiyle de mümkündür; örneğin eğimli bir yapının oluşturulması merminin geliş açısına açı yaparak etkisinin azaltılması suretiyle zırh korumasını artıracak, aynı zamanda ağırlığı düşük tutacaktır. Sıradan çelik kullanımı yerine daha yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahip bileşke

malzemelerin kullanımı ağırlığı düşük seviyede tutarak koruma düzeyini artırabilecektir.



Şekil 3.32 Çift cidarlı gemi bölmesi

Daha iyi bir parça tesiri koruması, gemi bölmelerini çift-cidarlı olacak şekilde tasarlayarak sağlanabilir (Şekil 3.32). Çift-cidarlı bölmenin ilk perdesi, silahlardan gelen parçalanmaların parçalanmasına ve böylece enerji kaybetmelerine neden olacaktır. Düşük enerjili silah parçaları daha sonra ikinci perde tarafından durdurulabilir, bu sayede gemi içine sirayet ve gemideki ekipman ile personele daha fazla hasar verilmesi önlenir [80].

3.2.2 Kritik Ekipman

Gemi için kritik olan ekipmanın sayısı/miktarı, gemi içerisindeki yerleşimi, koruması ve yedeklenmesi yaralanabilirliğin azaltılması bakımından oldukça önemlidir.

3.2.2.1 Kritik Zincir Azaltma/Yok Etme

Bir sistem, kritik ekipmanlarının sayısının azaltılması veya yok edilmesi suretiyle yeniden tasarlanarak, diğer bir deyişle hasar gördüğünde sistemin bir bütün olarak işlemez hale gelmesine neden olacak ekipmanlarının sayısı azaltılarak, daha az yaralanabilir hale getirilebilir. Örneğin, daha az hareket eden parçalı ve daha basit tasarlanmış bir gaz türbini, sadece kritik parçaların hasar görme riskini azaltmayacak aynı zamanda hasar gördüklerinde daha kolay onarılabilmelerini sağlayacaktır.

3.2.2.2 Ekipman Yerleşimi

Kritik ekipmanların yerleşimi vurulma olasılığını etkileyecektir. Ekipmanın, hasar olasılığına maruz kalmasını en aza indirecek şekilde yerleştirilmesiyle, sistem, düşük öldürülebilirlik olasılığına sahip olacaktır. Kritik olmayan ekipmanların, kritik ekipmanların çevresine yerleştirilmesi ağırlık ve alan arttırmadan ilave koruma sağlanacaktır.

3.2.2.3 Ekipman Koruması

Eğer ekipman görev için kritik bir değer taşıyorsa, ilave zırh koruması gerekebilir. Örneğin, cephanelikler ilave zırh korumasına ihtiyaç duyacaktır. Bunlara gelecek bir isabet, sadece silah sistemlerinin kaybedilmesine neden olmayacak; patlayan mühimmat gemiye daha fazla hasara sebep olacak ve hatta onu öldürecektir. Bu nedenle, özellikle silah sistemleri gibi kritik sistemler için ilave oluşabilecek hasarlardan kaçınmak maksadıyla yeterli korumanın tasarlanması gerekmektedir.

3.2.2.4 Ekipman Yedeği

Gemide bulunan birincil sistemlerin yedekleriyle birlikte tasarlanması gerekmektedir, örneğin elektrik sistemi geminin her bir tarafında uzanan en azından iki bağımsız hatta sahip olmalıdır. Geminin bir tarafının isabet alması durumunda, diğer hat yük kullanımını destekleyebilecektir. Benzer şekilde, yedek kullanma mantığı sinyal ve iletişim hatları ile yangın söndürme sistemleri için de kullanılmalıdır.

İki ekipman seti, yaralanabilirliğin azaltılması maksadıyla fiziksel olarak yeterli mesafeyle ayrılmalıdır. Örneğin, komuta kontrol bilgisayar sisteminin yedeklenmesi için bir setin gemi baş kısmı sancak tarafına, diğer setin gemi kıç kısmı iskele tarafına monte edilmesi gerekmektedir. Ekipmanın ilk setinin hasar aldığı bir olayda, ikinci setin bu hasardan etkilenmeyecek şekilde uzakta olması gerekmektedir. Dahası, kuvvet ve sinyal kablolarının yedeklenmesiyle, eğer gemi bir tarafından hasar alırsa, her bir tarafa yerleştirilen sistemle genel olarak tüm sistemin hala işlemesi sağlanabilir.

Komuta kontrol bilgisayar sistemi örneğinden hareketle, ekipman yedekleme yalnızca bu bağımsız sisteme ait değildir. Birbirleriyle entegre olan sistemler için

kuvvet ve iletişim açısından yedekleme planının bir bütün olarak düşünülmesi gerekmektedir.

3.2.3 Yara Savunma

Yara savunma çalışmaları aktif ve pasif olmak üzere iki alt başlıkta incelenebilir.

3.2.3.1 Aktif

Aktif yara savunma yöntemleri yangın söndürme sistemleri, tahliye tulumbaları, yangınla mücadele ve hasar kontrol/onarım timleri ile bağlantılıdır.

- **Yangın Söndürme Sistemleri**



Şekil 3.33 Sabit yangın söndürme sistemleri [81]

Gemi içinde çıkan bir yangın, eğer uygun bir şekilde yönetilmezse, geminin toptan ölmesine neden olabilir. Gemide, kuru, elektrik ve akaryakıt yangını olmak üzere farklı sınıfta yangınlar meydana gelebilir. Her bir sınıf ile baş etmek için farklı yangın söndürme teknikleri kullanılmaktadır. Örneğin, elektronik kamarasında kuru kimyevi yangın söndürücüler kullanılmalıdır; böylelikle yangını söndürürken su ve karbondioksit kullanılması durumunda elektronik sistemlerinde ortaya çıkabilecek hasarlar önlenmiş olur.

- **Tahliye Tulumbaları**

Su basması bir gemide ortaya çıkabilecek önemli meselelerden biridir. Ağır su basmaları geminin yan yatmasına, alabora olmasına ve batmasına neden olabilir. Su tahliye sisteminin yalnızca gemide oluşabilecek sıradan kaçaklar için değil aynı

zamanda geminin görevini yerine getirmesi beklenen hasarlı durumlardaki su basmalarına göre de dizayn edilmesi gerekmektedir. Tahliye sisteminin su emme oranı yeterli biçimde ölçeklendirilmelidir. Seyyar tahliye tulumbaların lokal su basması için hazır bulundurulmaları gerekmektedir. Bu, hasar görmüş alanların, hasar kontrol timinin müdahale edebilmesi için erişilir hale getirilmesine olanak sağlayacaktır.

- **Yangınla Mücadele Timi**

Yangınla mücadele timi, mümkün olan tüm yangın senaryolarıyla baş edebilecek şekilde donanımlı ve iyi eğitimli olmalıdır. Tim, yangınla mücadele hasarlarından korunmalıdır; bu kapsamda yeterli yangınla mücadele eçhizesinin gemide hazır bulundurulması gerekmektedir. Ekipmanların bakımları yapılmalı ve çalışabilirlik kontrolleri ihmal edilmemelidir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34 Yangınla mücadele ekipman kontrolü [82]

- **Hasar Kontrol/Onarım Timi**

Hasar kontrol ve onarım timleri kendi özellikli görevleri için eğitilmelidirler. Görevlerini yerine getirmek için uygun teçhizatla korunmalıdırlar. Yeterli yedekler ve payandalama ekipmanları hazır bulundurulmalı ve tüm ekipmanların kullanılabilirliklerini temin etmek adına bakımları ve çalışabilirlik kontrolleri yapılmalıdır (Şekil 3.35).



Şekil 3.35 K-tipi payandalama yaparken hasar kontrol ekibi [83]

3.2.3.2 Pasif

Pasif yara savunma yöntemleri; hassas olmayan mühimmat, kendinden yalıtılmış yakıt sistemi, düşük seviye yanıcı hidrolikler/yağlar, sızdırmaz perdeler ve yangın bölme kaportaları, yangına dayanıklı elektrik ve sinyal kabloları ile yangına dayanaklı malzemeler ile ilgi yöntemleri içermektedir.

- **Hassas Olmayan Mühimmat**

Geminin silah sistemleri için gerekli mühimmat, özellikle güdümlü mermi ve torpidolar, parça tesirlerine, patlamalara, kendiliğinden ateşlenmeye karşı sağlam duracak şekilde tasarlanmalı ve test edilmelidir. Eğer mühimmat gerekli standartlara sahip değilse, uygun koruma sağlanmalıdır. Böylelikle, vurulduğunda veya yüksek ısı durumlarında mühimmattan kaynaklı hasarlardan kaçınılabilir.

- **Kendinden Yalıtılmış Yakıt Sistemi**

Kendinden yalıtılmış yakıt tankları ve rezervleri, negatif basınç besleme tulumbaları ve otomatik akış kesici valflerin, hasar durumunda her türlü yakıt ve yanıcı sıvıların püskürmelerini veya etrafı sarmalarını engellemek için tasarım sürecine entegre edilmeleri gerekmektedir. Böylece, yakıtın hâlihazırda yanan alanlara sıçraması engellenmiş ve yanıcı sıvıların etrafa nüfuz etmesinden kaynaklı yangın sıçramaları azalmış olacaktır.

- **Düşük Seviye Yanıcı Hidrolikler/Yağlar**

Yüksek yanıcı özelliğe sahip hidrolikler ve yağlar yerine bunların düşük yanıcı özelliğe sahip olanları kullanılmalıdır. Bu türde hidrolikler ve yağlar kullanarak, herhangi bir hasar durumunda, yangın sıçrama riski azaltılmış veya önlenmiş olacaktır.

- **Sızdırmaz Perdeler ve Yangın Bölme Kaportaları**

Su basması ve yangın durumunda her bir bölmeyi birbirinden ayırmak için sızdırmaz kaportaları olan su geçirmez perdeler kullanılmalıdır (Şekil 3.36). Tüm sızdırmaz yalıtımlar kontrol edilmeli ve sağlam olduklarından emin olacak şekilde düzenli olarak bakımları yapılmalıdır. Hassas alanlarda yangının sıçramasını engellemek için yangına dayanaklı bölme kaportaları kullanılmaktadır.



Şekil 3.36 Sızdırmaz kaporta ve bölme [84]

- **Yangına Dayanaklı Elektrik ve Sinyal Kabloları**

Özellikle kritik sistemlerin tüm elektrik ve sinyal kabloları, yangın ve yüksek ısıya dayanaklı olmalıdır (Şekil 3.37). Böylelikle yangın durumunda sistem fonksiyonların devamı sağlanabilir. Kablo izolasyonunun yüksek ısı veya tutuşma durumunda toksik içeren duman çıkarmaması gerekmektedir.



Şekil 3.37 Yangına dayanaklı kablo [85]

- **Yangına Dayanaklı Malzemeler**

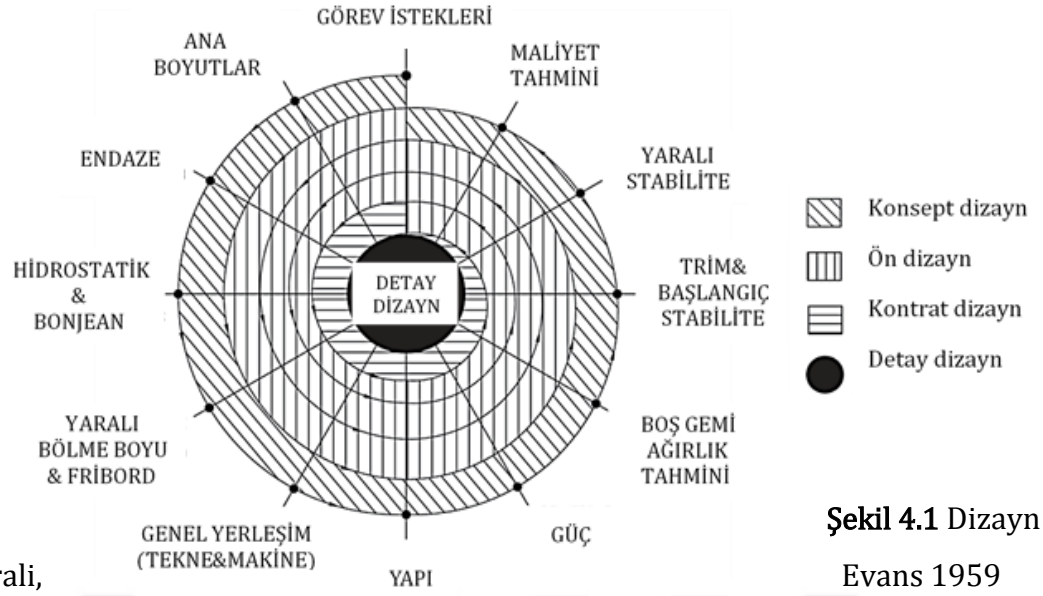
Bağlantı elemanları ve gemideki diğer materyallerin yangına dayanıklı olmaları gerekmektedir. Böylece, herhangi bir yangın sıçramasına neden olacak yakıt kaynağı olmayacaklardır. Aynı zamanda, kullanılan materyallerin yüksek ısı ve tutuşma durumunda toksik içeren dumanlar çıkarmamaları da gerekmektedir.

4
Savaş Gemisi Tasarımında Beka Kabiliyetinin Değerlendirilmesine İlişkin Metodoloji

Çalışmanın buraya kadarki bölümlerinde beka kabiliyeti ve fonksiyonlarının tanımları, değerlendirilmesi ve iyileştirilmelerine yönelik tedbirlerden bahsedilmiştir. Bu bölümde ise savaş gemilerinin tasarım aşamasında beka kabiliyetinin değerlendirilmesine ilişkin metodoloji üzerinde durulacaktır.

Savaş gemisi tasarımı, mühendislik, bilgisayar bilimi, yönetim ve hatta strateji ve politikanın bütünüdür. Savaş gemisi inşaatı mühendisleri, tekne formu, stabilite, yapısal analiz, manevra kabiliyeti ve sevk gücü gibi gemi inşaatının temel meselelerinin yanı sıra, görev ihtiyaçları, etkinlik, maliyet/risk avantajları ve tüm savaş sistemlerinin entegrasyonu gibi meseleleri de değerlendirmelidir. Gemi inşaatı ve savaş sistemleri mühendisliği, tasarım sürecinin bir parçasıdır ve savaş gemisinin tasarımında aynı anda bir sistem mühendisliği yaklaşımı olarak ele alınmalıdır. Bir savaş gemisini doğru bir şekilde tasarlamak için, mühendisler, her sistemin en iyi şekilde bir sistem sistemine nasıl birleştiğini düşünmelidir.

Geleneksel olarak gemi tasarımı, birleşik, uygulanabilir bir tasarım elde etmek için tasarım olaylarının sırasıyla ele alındığı bir dizayn spirali ile tanımlanır ve tasarımda sürekli artan ayrıntıyı elde etmek için spirallerin art arda geçişleri mevcuttur. Şekil 4.1'de ilk olarak 1959'da J.H. Evans [86] tarafından ortaya konan ve en iyi bilenen, klasik dizayn spirali gösterilmektedir. Klasik dizayn spirali gemi boyutlarının ve diğer özelliklerinin, son olarak da detay tasarımın elde edilmesi için kademeli, iterasyona dayalı bir prosedürdür.

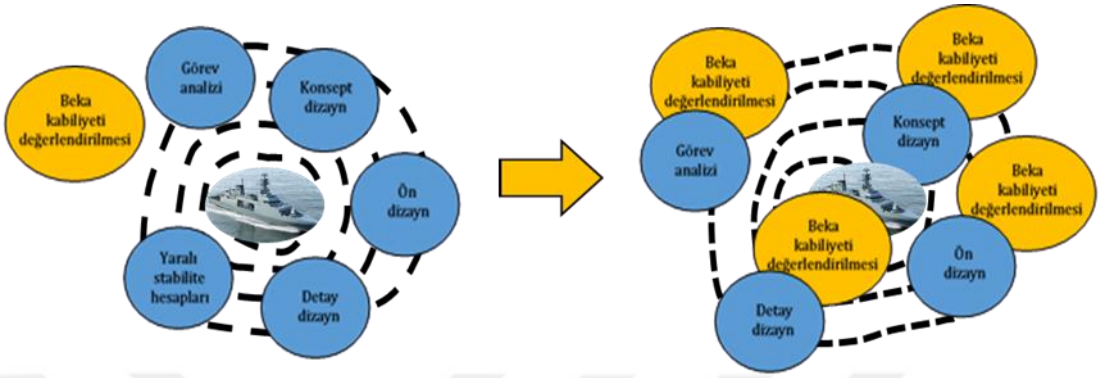


Şekil 4.1 Dizayn spirali, Evans 1959

Dizayn spiralinin kullanışlılığını arttırmak üzere zamanla yeni metotlar geliştirilmiştir. Ancak, tasarım sürecinin bu şekilde bir spiral olarak temsili birçok araştırmacı tarafından da eleştirilmiştir. Örneğin Mistree vd. [87]'da, gemi tasarımını spiral olarak görmenin iki sorunundan bahsetmişlerdir: ilki, spiral konsept gemi tasarımına doğrusal bir yaklaşım getirmektedir, oysa gerçekte her bir aşama diğerleriyle etkileşime girer. İkincisi, spiral yaklaşım, yaşam döngüsü maliyeti, modülerlik veya entegre işlemler gibi beklentiler için genel bir optimizasyon sağlamaz. Chalfant vd. [88]'de ise savaş gemisi tasarımına özgü olarak dizayn spiralinin üçüncü bir problemine değinmişlerdir: savaş gemilerinin silah ve sensör sistemlerinin artan karmaşıklığı, daha kompleks ve daha entegre kontrol, tahrik ve destek sistemlerini gerekli kılmakta; bunun sonucu olarak da, tasarımın erken safhalarında çeşitli girdilerin etkili bir şekilde yönetilebilmesi koşuluyla farklı disiplinlerden elde edilen uzman görüşlerinin entegrasyonunun daha uygulanabilir bir tasarım üretebileceği ortaya çıkmaktadır.

Bütün bunların yanı sıra klasik dizayn spirallerinde gerek ticari gerekse de savaş gemilerin beka kabiliyeti kapasitesine yönelik doğrudan bir değerlendirmeye yer verilmemektedir. Genel olarak hasarsız ve hasarlı stabilite hesapları, yapısal analizler, denizcilik değerlendirmeleri vb. beka kabiliyetinin değerlendirilmesine ayrı ayrı katkıda bulunmakta ve gemilerin toplam beka kabiliyeti değerlendirilmesi ayrı olarak ele alınmaktadır. Ancak beka kabiliyetinin değerlendirilmesi daha önceden bahsedildiği gibi savaş gemi tasarımının yalnız bir aşamasında değil her

bir aşamasında bütüncül olarak ele alınmalıdır. Yalnız bu sayede yüksek beka kabiliyetine sahip gemiler tasarlanabilir. Geleneksel dizayn spirali ve yeni yaklaşım ile beka kabiliyetinin değerlendirildiği tam bütünleşik dizayn spirali Şekil 4.2'de gösterilmiştir.

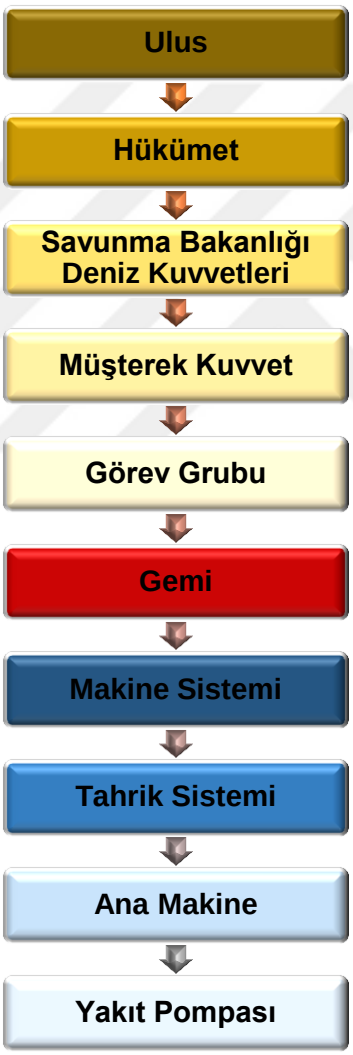


Şekil 4.2 Geleneksel dizayn spirali ve yeni yaklaşım ile beka kabiliyetinin değerlendirildiği tam bütünleşik dizayn spirali

Bugün, savaş gemisi tasarım süreci, çeşitli nedenlerle herhangi bir mühendislik sisteminin en karmaşık, en çeşitli ve son derece bütünleşik olanı olarak gösterilmektedir. Örneğin, savaş gemileri birden çok görev için tasarlanmaktadırlar. Bu nedenle de performanslarının birçok yönünü ölçmek zordur, belirgin bir şekilde büyük ve karmaşıktırlar, düşmanca bir ortamda çalışırlar, personel için yaşanabilir bir ortam sağlamalıdırlar ve bir dizi yüksek riskli alandan oluşurlar. Tasarım karmaşıklığının ve riskin derecesi ise yenilik derecesiyle birlikte artar. Ayrıca tasarım, her zaman sıkı bir bütçe altında ve hemen hemen her zaman, görevi daha da karmaşıklaştıran bir prototipin (büyüklük ve karmaşıklık, maliyet ve zaman faktörleri nedeniyle) güvencesi olmadan, genellikle birbiriyle çelişen çeşitli amaçlara hitap etmelidir.

Bu karmaşıklıklar ancak sistem mühendisliği yaklaşımı kullanılarak giderilebilir. Sistem mühendisliği, bir mühendislik sürecini yönetmek için genelleştirilmiş bir model ve çerçevedir; karmaşık projelerin tasarımı, mühendisliği ve işletimi hakkında farklı bir bakış açısı sunmaktadır. Bu terim nadiren kullanılsa bile, tasarım yönetimi ile ilgili gemi inşaatı mühendisliğinin büyük bir kısmının şüphesiz bir sistem mühendisliği örneği olduğu ve deniz ürünlerinin her zaman bir sistem mühendisliği yöntemi kullanılarak tasarlandığı ve üretildiği aşikârdır.

Sistem mühendisliğinin temeli, sistemlerin daha yönetilebilir alt sistemlere ve bileşenlere ayrıştırılmasıdır. Her sistem, kendi başına bir sistemdir; ancak aynı zamanda daha büyük bir sistemin parçasıdır. Bir sistemin ihtiyaç duyduğu performans, konfigürasyon ve işleyişindeki herhangi bir kısıtlama, parçası olduğu daha büyük bir sistem tarafından belirlenir. Küçük sistemin veya alt sistemin tüm amacı, bir şeyi başarmada büyük sistemi desteklemesidir. Küçük sistemin ne kadar iyi bir performans gösterdiğinin değerlendirilmesi, büyük sistemin yapması gerekenleri başarması konusunda ona ne kadar yardımcı olduğu ile ölçülür. Bir sistemi yalnız başına, kendi şartlarına göre değerlendirmek doğru değildir.



Şekil 4.3 Örnek sistem hiyerarşisi

Birbirleriyle hiyerarşik ilişki içinde olan sistemler içinde sonsuz sistem zincirleri vardır. Şekil 4.3, tasarlayabileceğimiz bir savaş gemisi için basit bir örnek hiyerarşik ilişkiler zincirini göstermektedir. Gösterilen her öğe, üstündeki öğeyi

oluşturmak için birleştiren birkaç öğeden yalnızca biridir. Öncelikle yeni bir gemi tasarımı geliştirmemizin nedeni, ulusun hayati çıkarlarını desteklemektir. Hiyerarşideki geminin yukarısındaki her sistem, geminin ulusun çıkarlarına hizmet etme kabiliyetlerine katkıda bulunduğu araçların bir parçasıdır. Geminin altındaki her sistem, geminin gerektiği gibi çalışmasını sağlamak için esas olan araçlardır.

Şekil 4.3'deki sistem hiyerarşisi örneğinde en altta ana makineye bağlı bir yakıt pompası bulunmaktadır. Pompanın makineye yakıt sağlamaktan başka bir amacı yoktur ve performansı yalnızca makinenin yakıt ihtiyacına ne kadar iyi yanıt verdiği ile değerlendirilir. Tasarımı ve işletimindeki kısıtlamalar da makine tarafından belirlenir.

Burada önemli bir noktaya vurgu yapılmalıdır. Pompanın performansı, tasarımcılarının ve üreticilerinin istediği gibi olabilir; ancak bu uygulamadaki etkinliği, pompanın bu performans seviyesinin makineyi desteklemek için uygunluğu ile ilişkilidir ve bu nedenle etkinliği düşük olabilir. Pompa bu uygulama için çok az kapasiteye sahip olabilir veya duyarlı olmayan kontrollere veya başka bir eksikliğe sahip olabilir. Başka bir kullanım için mükemmel bir pompa olabilir, ancak bu burada sayılmaz. Burada, makine, pompanın performansının hâkimidir. Performans ölçümleri (measures of performance-MOP) pompada bulunur, ancak makine önemli olan etkinlik ölçümlerinin (measures of effectiveness-MOE) kaynağıdır.

Şekil 4.3'deki ana makine de tek başına değerlendirilemez. Ana makinenin bu hiyerarşi içerisinde tahrik sisteminin gemiyi suda ilerletmesine yardımcı olmaktan başka bir amacı yoktur ve performansı, suya itme sağlamak için tahrik sistemi ile çalışması için uygunluğu açısından değerlendirilir. Makine tasarımına, yapımına ve bakımına göre mükemmel çalışıyor olabilir, ancak desteklediği daha büyük sistemin yani tahrik sisteminin ihtiyaçlarını karşılayamıyor olabilir.

Tahrik sistemi ise, elektrik, ısıtma, havalandırma ve iklimlendirme (Heating Ventilating and Air Conditioning – HVAC), sıvılar, makine kontrol ve çeşitli diğer sistemlerle birlikte geminin genel makine sisteminin bir parçasıdır. Bu nedenle, makine sisteminin genel etkinliği, hem itici gücün hem de elektriğin makineler tarafından yeterli seviyede üretilip üretilmediği, atık ısının ısıtma için makinelerden geri kazanılıp kazanılmadığı, jeneratör boyutlarının ve sayılarının

hangi kombinasyonunun kullanıldığı, vb. faktörlere bağlıdır. Bu faktörler, geminin yakıt tüketimini ve tanklarını, güvenilirliğini, bakım gereksinimlerini, personel tahsisini, deplasmanını ve beka kabiliyetini güçlü bir şekilde etkilediğinden makine sisteminin etkinliği bütün gemi seviyesinde değerlendirilmelidir.

Bu temel ilke, sistemler hiyerarşisinde devam eder. Geminin kendisi, bir görev grubu veya bir amfibi grubu ya da bir lojistik destek grubu gibi daha büyük bir sistemin alt sistemidir. Görevi kendi başına var olmak değil, gruba destek olmak ve misyonunu yerine getirmesine yardımcı olmaktır ve geminin etkinlik ölçümleri grubun hedefleri tarafından belirlenir.

Birçok mühendis, tasarladıkları geminin "toplam sistem" dendiğinde belirtilen sistem olduğunu düşünmeye meyillidir. Bu yalnızca geminin üst düzey performansının her yönü önceden belirlenmişse geçerlidir ve geriye kalan tek şey, çeşitli alt sistemler ve bileşenlerin bu performansı üretmek için uyumlu ve verimli bir şekilde birlikte çalışmasını sağlamaktır.

Bu durum, erken aşamadaki tasarım sürecinde değil, sadece tasarımın sonraki aşamalarında mevcuttur. Erken aşama tasarımında, geminin performansı ve özelliklerinin, gemi dışındaki birçok şeyle uyum içerisinde belirlenmeleri gerekir. Bu nedenle; burada, geminin kendisi optimizasyon yapmaktan bahsettiğimiz sistem değil, gemiden daha büyük bir sistemin sadece bir parçası olmalıdır.

Bir savaş gemisi, bir görev grubunun parçası olarak faaliyet gösterdiğinde, performansı yalnızca görev grubunun amaçlarını yerine getirmek için o görev grubuna sağladığı desteğin kalitesi açısından değerlendirilebilir. Geminin kendisinin böyle bir durumda hiçbir amacı yoktur; bir takım oyuncusu olmalıdır.

Saldırı grubuna refakat eden bir savaş gemisi, saldırı grubunun kara hedeflerini yok etmesine yardımcı olduğu için takdir toplar. Eğer savaş gemisi, saldırı grubunun kara hedeflerine ulaşmasına yardım etmenin bir parçası olarak, bir denizaltıyı batırmalı ya da uçakları düşürmelidirse, görevini yapıyordur. Ancak, öte yandan, savaş gemisi, gereksiz yere bir denizaltı izlerse ve dikkat dağıtıcı durum saldırı grubunun kara hedeflerini yok etmedeki etkinliğini azaltıyor veya diğer tehlikelere maruz bırakıyorsa, savaş gemisi işini yapmıyordur. Bu roldeki birincil etkinlik ölçümü, batmış denizaltılar değil, imha edilen kara hedefleridir. Aynı savaş gemisi, savaş malzemelerini taşıyan deniz taşıtlarına refakat ediyorsa, aynı

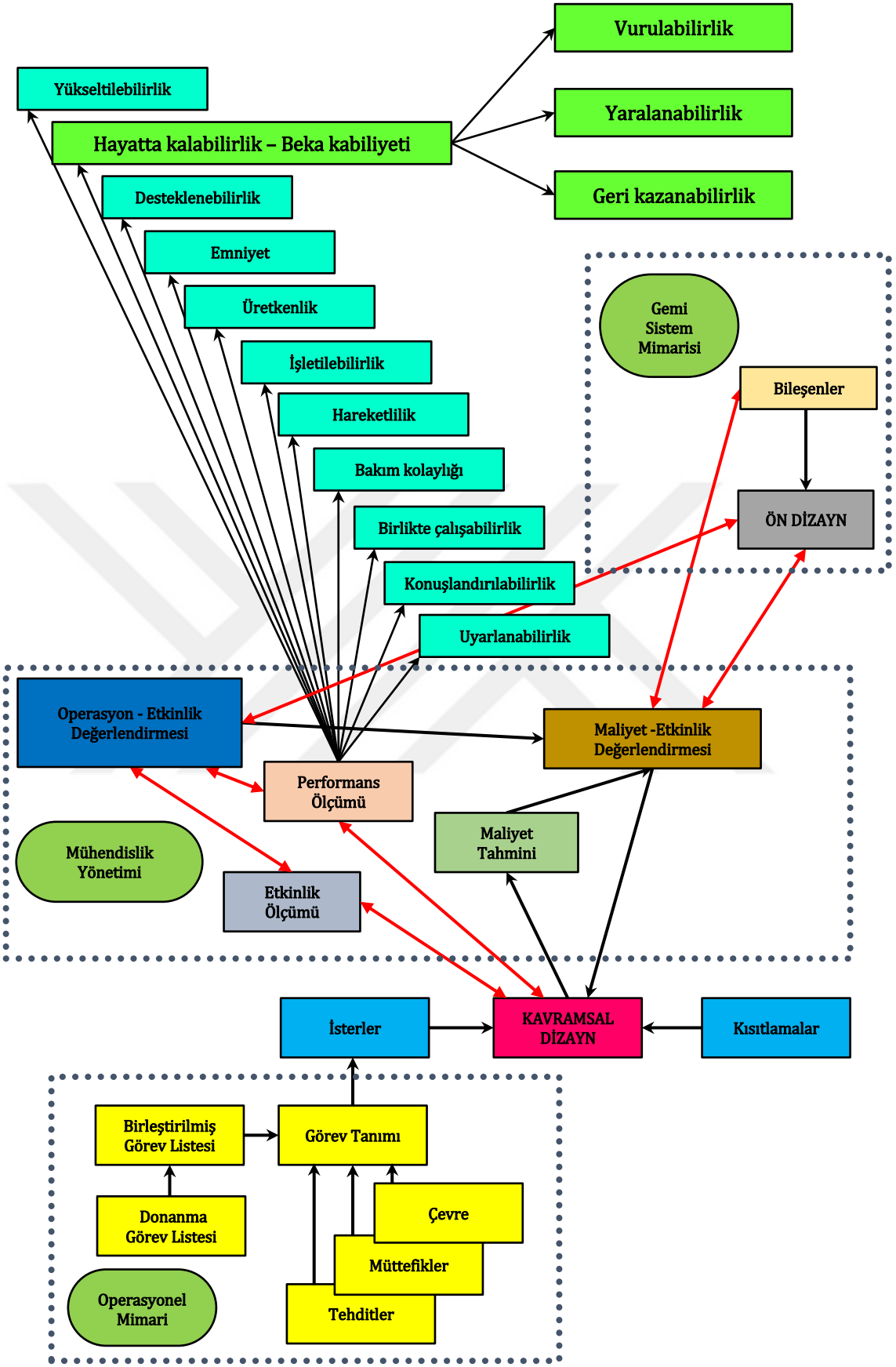
düşünce süreci, bu roldeki ilk etkinlik ölçümünün kargo teslimatı olduğu sonucuna varmaktadır. Refakat görevlerinden bir denizaltının peşine düşmek, daha az kargonun geçmesine neden olabilir.

Her durumda, savaş gemisinin optimizasyonunda dikkate alınacak olan sistem, hiyerarşide savaş gemisinden bir seviye yukarıda görünmektedir ve savaş gemisinin gereksinimleri, etkinliği ve etkinlik ölçümleri bu sistemden elde edilir.

Üst sisteme duyulan ihtiyaç, yeni bir geminin tasarımını etkileyen, iki tür etki olması gerçeğinden gelmektedir. Birincisi, gemiyi belirli performans düzeylerine sahip olmaya iten görev gereksinimleri; ikincisi, fiili olarak çalışacağı görev gruplarına veya kuvvetlerine ek olarak, geminin konfigürasyonu, alt sistemleri ve çalışma modları üzerindeki mevcut diğer sistemlerle uyumlu hale getirme zorunluluğundan kaynaklanan etkiler. Birinci kategorideki etkiler, geminin sahip olması gereken performansı belirlerken; ikinci kategorideki etkiler, geminin sahip olması gereken görev performansını değiştirmez, ancak bu performansı gerçekleştirmenin maliyetini etkiler.

Bir savaş gemisi konseptinin özellikleri ne olursa olsun, performansı bir dizi standart kategori ile tanımlanabilir. Bunu yapmak, farklı alternatif konseptlerin bir model veya simülasyonda test edilmesinde önemli bir ön hazırlıktır. Bu amaç için kullanılabilecek bir performans kategorisi seti aşağıda gösterilmiştir:

- Uyarlanabilirlik
- Konuşlandırılabilirlik
- Birlikte çalışabilirlik
- Bakım kolaylığı
- Hareketlilik
- İşletilebilirlik
- Üretkenlik
- Emniyet
- Desteklenebilirlik
- Hayatta kalabilirlik – Beka kabiliyeti
- Yükseltilebilirlik



Şekil 4.4 Erken aşama savaş gemisi tasarımında beka kabiliyeti

Şekil 4.4 erken aşama (kavramsal ve ön dizayn) savaş gemisi tasarımında beka kabiliyetinin hangi aşamada değerlendirileceğini vermektedir. Şekil 4.4 ile verilen erken aşama tasarım metodolojisi, klasik dizayn spiralinin aksine doğrusal olmayan, etkileşime çok daha açık bir yaklaşım sunmaktadır.

Operasyonel mimari, üst sistem tarafından belirlenir. Görevlerin ve tehditlerin, müttefiklerin, çevre koşullarının değerlendirilmesiyle savaş gemisinin görev tanımı bu aşamada belirlenir. Görev tanımı doğrultusunda istekler bir kez belirlendikten sonra kısıtlamalarla birlikte kavramsal tasarım oluşturulur.

Kavramsal dizayn ile ön dizayn arasında kalan mühendislik yönetimi, maliyet ve operasyon etkinlik değerlendirilmeleri ışığında takasların yer aldığı, aynı zaman da beka kabiliyeti değerlendirilmesini de içeren aşamadır. Bu aşama, gemiye konulması planlanan her bir sistemin alternatifleriyle karşılaştırıldığı ve gemi inşaatı ve savaş sistemleri mühendislerinin ortak çalışmasıyla çeşitli sistemlerin alternatiflerini maliyet ekseninde değerlendirdikleri kısımdır. 3'üncü bölümde verilen beka kabiliyeti iyileştirme yöntemleri, bu aşamada değerlendirilmeye alınır. Mühendisler için geminin en sofistike savaş sistemlerinin kullanılması beka kabiliyetinin iyileştirilmesi açısından her zaman en etkin yöntem olmayacaktır. Öncelikle, bu maliyet açısından etkinlikle çelişebilir. Öte yandan ilave her sistem daha fazla ağırlık demektir; bu da geminin birçok özelliğine doğrudan etki edecektir.

Bileşenlerin belirlenmesini de içeren ön dizayn aşaması ise gemi sistem mimarisinin belirlendiği kısımdır.

5
Sonuç

Gemi tasarımı, genellikle dizayn spirali şeklinde tasvir edilen yinelemeli bir süreçtir. Bu süreç içerisinde istenilen sonuca ulaşılabilmesi için değerlendirilmesi gereken çok sayıda değişken bulunmaktadır. "Beka kabiliyeti", günümüz sofistike silah sistemleriyle baş etmesi gereken savaş gemilerinin tasarımında ele alınması ve analiz edilmesi gereken birçok değerlendirmeden yalnızca biridir. Savaş gemileri için beka kabiliyeti, düşmanca bir ortamda savaşabilme yeteneğini sürdürmek için çok önemlidir. Bu nedenle tasarım sürecinde, amaçlanan operasyonlar için hangi beka kabiliyeti seviyesinin elde edilebileceğini belirlemek önemlidir. Bu tezde;

- Beka kabiliyetine ait kavramlar, klasik risk metodolojisine dayandırılarak detaylandırılmaya,
- Savaş gemilerinin tasarım aşamasında;
  - Beka kabiliyetini iyileştirmek için yapılması gerekenler ele alınmaya,
  - Beka kabiliyetinin değerlendirilmesine ilişkin bir metodoloji geliştirilmeye,

çalışılmıştır.

Çalışmanın giriş bölümünde, beka kabiliyetinin gemi tasarımında yüz yıllar boyunca nasıl önem kazandığı ve savaş gemisi tasarımında beka kabiliyeti değerlendirilmesinin nasıl değiştiğine ilişkin literatür özeti verildikten sonra çalışmanın geri kalan kısmıyla bütünlük sağlanabilmesi açısından gemi dizaynıyla ilgili genel bilgi verilmiş ve gemi inşa sürecinde erken aşama tasarımının önemine değinilmiştir.

Daha sonraki tasarım aşamalarına geçmeden önce, konsept aşamasında bir dizi alternatif tasarımın araştırılmasına ve değerlendirilmesine olan ihtiyaç kolayca anlaşılabilir. Tüm proje maliyeti değerlendirildiğinde, son ürünü tanımlayacak büyük kararların alındığı ve takas çalışmalarının yapıldığı "erken aşama

tasarımı"nda harcanan zaman ve kaynakların minimum düzeyde olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Dahası, erken aşama tasarımında bir sorunun tespiti ve çözümü, gecikmiş düzeltici eylemler uygulamaktan çok daha kolay ve ucuzdur. Ayrıca, erken aşama tasarımında, yeni tasarım özelliklerinin (örneğin, kapasiteyi arttırmak ve/veya maliyeti azaltmak vb.) eklenmesinin araştırılması ve etkin bir şekilde dahil edilmesi çok daha kolaydır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, beka kabiliyetinin klasik risk metodolojisi üzerinden detaylı tanımı yapılmış, üç temel fonksiyonu tüm boyutlarıyla ele alınmış ve bilgisayar destekli beka kabiliyeti değerlendirilmesine yer verilmiştir.

Özetle; beka kabiliyeti, savaş gemisinin düşmanca bir ortamda algılanmadan görev yapabilme (vurulabilirlik), vurulması durumunda görev fonksiyonlarında önemli bir bozulma olmaksızın görev(ler)ini yürütebilme (yaralanabilirlik) ile düzeltme tedbirleriyle geminin eski konumuna döndürülebilme (geri kazanabilirlik) kabiliyetlerinin toplamıdır.

Üçüncü bölümde, savaş gemisi tasarımında beka kabiliyeti fonksiyonlarından vurulabilirlik ve yaralanabilirliğin azaltılmasında uygulanabilecek yöntemler ele alınmıştır. Genel olarak,

- Platform izinin azaltması, tehdit uyarma ve önleme sistemlerinin kullanılması ile entegre kuvvet ağı "vurulabilirliği",
- Yapısal sağlamlığın arttırılması, kritik ekipman yönetimi ve yara savunma çalışmaları ise "yaralanabilirliği",

azaltan temel beka kabiliyeti iyileştirme yöntemleridir. Görevin başarısı ve can kaybının azaltılması için tüm bunların bütüncül bir şekilde değerlendirilmesi önemlidir.

Son bölümde ise, savaş gemilerinin tasarım aşamasında beka kabiliyetinin değerlendirilmesine ilişkin bir metodoloji geliştirmek amaçlanmıştır.

Bir savaş gemisi tasarım projesi, müşteri tarafından "kullanıcı gereksinimleri dokümanı" veya "sistem gereksinimleri dokümanı" şeklinde tanımlanan bir görev ihtiyacını karşılamak üzere başlatılır. Savaş gemisine ait görev tanımı yapıldıktan sonra belirlenecek isterler ve başta maliyet olmak üzere kısıtlamalar tasarımın ilk aşaması olan kavramsal dizayna temel oluşturacaktır.

Kavramsal ve ön dizaynı kapsayan erken aşama tasarımda takas çalışmalarını da içeren mühendislik yönetimi yer almaktadır. Bu aşamada; sistemlerin performans ve etkinlik ölçümlerini içeren "operasyon-etkinlik" ve "maliyet-etkinlik" değerlendirilmesi yapılmalıdır. Beka kabiliyeti de erken aşama tasarım sürecinin bir parçası olarak ele alınmalıdır; tasarım aşamalarının başlarında diğer tüm savaş sistemleri gibi bir gereklilik olarak değerlendirilmelidir. Bir geminin inşa sonrası hayatta kalma özelliklerini yükseltme veya güçlendirme, hem parasal hem de zaman açısından yüksek maliyete neden olur. Ayrıca, alan ve ağırlık kısıtlamaları bu tür değişiklikleri daha da zorlaştırır.

Ülkemizde bu çalışmaya kadar beka kabiliyetinin temellerini içeren bir çalışma yapılmamıştır. Bunun yanı sıra, Türk araştırmacılar tarafından savaş gemilerinin tasarım aşamasında beka yönünden değerlendirilmesine ilişkin geliştirilmiş bir simülasyon da bulunmamaktadır. Beka kabiliyetinin temellerinin verildiği bu tez ışığında yapılacak müteakip çalışmalarda, "bütünleşik beka kabiliyeti değerlendirme simülasyonu" geliştirilmesinin uygun olacağı mütalaa edilmektedir.

Kaynakça

[1] S. L. Y. Kok, Naval Survivability and Susceptibility Reduction Study - Surface Ship, Monterey, California: Naval Postgraduate School, 2012.

[2] K. O. Yüksekdağ, Su Üstü Savaş Gemilerinde Uygulanan Stabilite Kriterlerinin Karşılaştırılmalı İncelenmesi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2003.

[3] C. Bakar, Hasarsız Stabilite Kriterlerinin Karşılaştırılmalı Değerlendirilmesi, İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.

[4] E. Boulougouris, "The Historical Development of SOLAS", 2015.

[5] I. M. Korotkin, Battle Damage to Surface Ships During World War II, Leningrad, Sudpromgiz, 1960.

[6] T. H. Sarchin ve L. L. Goldberg, "Stability and Buoyancy Criteria for U. S. Naval Surface Ships", The Society of Naval Architects and Marine Engineers, pp. 418-458, 1962.

[7] Department Of US Navy, Design Data Sheet DDS079-1 Stability and Buoyancy of U.S. Naval Surface Ships, 2002.

[8] U.K. Ministry of Defence Standard, Stability Standards For Surface Ships, 2000.

[9] A. Papanıkolaou and E. Boulougouris, "Design Aspects of Survivability of Surface Naval and Merchant Ships", Proceedings of International Conference on Naval Technology, 1998.

[10] Office of the Chief of Naval Operations, Department of the U.S. Navy., OPNAV Instruction 9070.1 Survivability Policy for Surface Ships of the U.S. Navy, US Department of Defense, 1988.

[11] M. O. Said, "Theory and Practice of Total Ship Survivability for Ship Design", Naval Engineers Journal, pp. 191-203, 1995.

[12] Office of the Chief of Naval Operations, Department of the U.S. Navy, OPNAV Instruction 9070.1A Survivability Policy and Standards for Surface Ships and Craft of the U.S. Navy, US Department of Defense, 2012.

[13] Office of the Chief of Naval Operations, Department of the U.S. Navy, OPNAV Instruction 9070.1B Survivability Policy and Standards for Surface Ships and Craft of the U.S. Navy, US Department of Defense, 2017.

[14] R. E. Ball, The Fundamentals of Aircraft Combat Survivability Analysis and Design, Blacksburg, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1985.

[15] R. E. Ball ve C. N. Calvano, "Establishing the Fundamentals of a Surface Ship Survivability Design Discipline", Naval Engineers Journal, pp. 71-74, January 1994.

[16] S. W. Surko, "An Assessment of Current Warship Damaged Stability Criteria", Naval Engineers Journal, pp. 120-131, May 1994.

[17] R. Shafiepour and J. W. Sajdak, "Total Ship Survivability System (TS3) Integrating MOTISS and BDCS to Provide Predictive Awareness Capabilities", Canada.

[18] S. Turner, P. Horstmann ve G. Bain, "Warship Survivability", Warship 2006: Future Surface Ships, London, UK, 2006.

[19] L. Petersen, "Survivability in Naval Ship Classification", Warship 2006: Future Surface Ships, London, UK, 2006.

[20] J. Schofield, "SURVIVE and SURVIVE Lite - Survivability Assessment from Concept to Operational Support", in American Society of Naval Engineers (ASNE), Alexandria, VA, 2009.

[21] E. Boulougouris ve A. Papanikolaou, "Optimisation of the Survivability of Naval Ships by Genetic Algorithms", 3rd Int. EuroConference on Computer Applications and Information Technologies in the Maritime Industries, Siguenza, Spain, 2004.

[22] A. Papanikolaou, "Holistic Ship Design Optimization", Ship Science & Technology, cilt 5, no. 9, pp. 9-26, 2011.

[23] "Delta Marine", Delta Denizcilik Mühendislik ve Bilgisayar San. ve Tic. A.Ş., [Çevrimiçi]. Available: http://www.deltamarine.com.tr/tr/services/basic-design.php. [Erişildi: 11 Ocak 2018].

[24] A. Brown and J. Salcedo, "American Society of Naval Engineers (ASNE) Technical Paper", Naval Engineers Journal, pp. 49-61, 2003.

[25] A. Ata ve B. Sennaroğlu, "The Usage of MCDM Techniques in Determining the Constants of Criteria's Weight of Warship Design", Journal of Naval Science and Engineering, cilt 4, no. 1, pp. 1-16, 2008.

[26] "Global Security", GlobalSecurity.org, [Çevrimiçi]. Available: https://www.globalsecurity.org/military/systems/ship/design.htm. [Erişildi: 20 Şubat 2018].

[27] B. Huthwaite, Strategic Design: A Guide to Managing Concurrent Engineering, Mackinac Island, Michigan: Institute for Competitive Design, 1994.

[28] B. Tibbitts ve R. G. Keane, "Acquisition Reform It All Starts with Design", Naval Engineers Journal, pp. 39-53, 1999.

[29] B. Dictionary, "Survivability Definition", 2017.

[30] A. S. Piperakis, "An Integrated Approach to Naval Ship Survivability in Preliminary Ship Design", Department of Mechanical Engineering, UCL, London, 2013.

[31] NATO, Naval Ship Code ANEP-77 Edition E Version 1, Brussels: NATO Standardization Office (NSO), 2014.

[32] E. Boulougouris, S. Winnnie and A. Papanikolaou, "Advanced Damaged Stability Assessment of Surface Combatants", in Proceedings of the 12th International Conference on the Stability of Ships and Ocean Vehicles, Glasgow, UK, 2015.

[33] I. Harre, “RCS in Radar Range Calculations for Maritime Targets”, 2009. [Çevrimiçi].

[34] W. D. O’Neil, “Stealth – Radar stealth”, 2001. [Çevrimiçi]. Available: http://www.analysis.williamdoneil.com/Stealth.pdf.

[35] D. A. Rains, “Methods For Ship Military Eflectiveness Analysis”, Naval Engineers Journal, pp. 126-135, 1994.

[36] B. R. Mahafza, Radar Systems Analysis and Design Using Matlab 3rdEdition, London: Taylor&Francis Group, 2013.

[37] N. Friedman, The Naval Institute Guide to World Naval Weapons Systems 5th Edition, Maryland: US Naval Institute Press., 2006.

[38] E. Harmsen ve M. Krikke, “A Probabilistic Damage Stability Calculation Method For Naval Vessels”, Proceedings of the 7th International Conference on Stability of Ships and Ocean Vehicles, 2000.

[39] J. S. Przemieniecki, Mathematical Methods in Defense Analyses, Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2000.

[40] Z. Lyu, K. Ma ve F. Liu, “Military ship’s subdivision optimization for reinforcement of anti-wind capacity after damage”, Journal of Marine Science and Technology, no. 20, pp. 579-589, 2015.

[41] SURMA Ltd., “Software for Comprehensive Navy Combat Survivability Analysis”, 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.survivability.fi/files/SURMA-nutshell.pdf. [Erişildi: 3 Kasım 2017].

[42] SURMA Ltd., “Survivability Analysis”, 2014. [Çevrimiçi]. Available: http://www.survivability.fi/surma/demo/. [Erişildi: 1 Aralık 2018].

[43] O. Takmaz, “Türk Donanması’nın Kullandığı Mühimmatlar”, Savunma Sanayi, 2018. [Çevrimiçi]. Available: http://savunmasanayi.org/turk-donanmasinin-kullandigi-muhimmatlar/. [Erişildi: 16 Kasım 2018].

[44] M. I. Skolnik, Introduction to Radar Systems 3. Baskı, Singapore: McGraw-Hill, 2001.

[45] I. Harre, “Ship RCS Table”, [Çevrimiçi]. Available: http://www.mar-it.de/Radar/RCS/Ship_RCS_Table.pdf. [Erişildi: 3 Temmuz 2017].

[46] “Electronic Warfare and Radar Systems Engineering Handbook”, [Çevrimiçi]. Available: http://www.rfcafe.com/references/electrical/ew-radar-handbook/radar-cross-section.htm. [Erişildi: 19 Temmuz 2017].

[47] “USS Independence LCS-2 Stealth Trimaran”, wordlessTech, [Çevrimiçi]. Available: https://wordlesstech.com/uss-independence-lcs-2-stealth-trimaran/. [Erişildi: 18 Ekim 2018].

[48] “File:USS Chafee RSS Intrepid RSS Victory.jpg”, Wikimedia, [Çevrimiçi]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:USS_Chafee_RSS_Intrepid_RSS_Victory.jpg. [Erişildi: 2 Kasım 2018].

[49] C. K. Yüzçelik, “C. K. Yuzcelik, “Radar Absorbing Material Design”“,, Naval Postgraduate School, California, 2003.

[50] X. C. Tong, Advanced Materials and Design for Electromagnetic Interference Shielding, New York: Taylor & Francis, 2009.

[51] P. Skalskı ve J. Krupskı, "Stealth technology. Yesterday, today and tomorrow", Logistyka, no. 6, pp. 9554-9561, 2014.

[52] "Absorber Systems", SI2 Technologies, Inc., [Çevrimiçi]. Available: http://www.si2technologies.com/absorber-systems/. [Erişildi: 3 Aralık 2018].

[53] H. Uçar, "Radar Cross Section Reduction", Journal of Naval Science and Engineering, cilt IX, no. 2, pp. 72-87, 2013.

[54] R. J. Urick, Principle of Underwater Sound 3. Baskı, California: Peninsula Publishing, 1983.

[55] Federation of American Scientists, "Ship's Silencing Program", [Çevrimiçi]. Available: https://fas.org/man/dod-101/navy/docs/swos/stu2/NEWIS9_7.html. [Erişildi: 19 Eylül 2017].

[56] F. Çelik, "Kavitasyon", [Çevrimiçi]. Available: http://www.yildiz.edu.tr/~fcelik/dersler/gemidirenci/PDF/9.%20Kavitasyon.pdf. [Erişildi: 28 Kasım 2018].

[57] Federation of American Scientists, "https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/prairie.htm", [Çevrimiçi]. Available: https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/prairie.htm. [Erişildi: 16 Şubat 2018].

[58] Wikipedia, "Anechoic tile", [Çevrimiçi]. Available: https://ipfs.io/ipfs/QmXoypizjW3WknFiJnKLwHCnL72vedxjQkDDP1mXWo6uco/wiki/Anechoic_tile.html#cite_note-Alberich_1-1. [Erişildi: 9 Ekim 2017].

[59] WikiVisually, "HMCS Montréal (FFH 336)", [Çevrimiçi]. Available: https://wikivisually.com/wiki/HMCS_Montr%C3%A9al_(FFH_336). [Erişildi: 13 Aralık 2018].

[60] J. Thompson, D. Vaitekunas ve A. M. Birk, "IR Signature Suppression of Modern Naval Ships", ASNE 21st Century Combatant Technology Symposium, Mississippi, 27- 30 Ocak 1998.

[61] G. M. Koretsky, J. F. Nicoll ve M. S. Taylor, "A Tutorial on Electro-Optical/Infrared Theory and Systems", Institute for Defens Analyses, Virginia, 2013.

[62] Defense Visual Information Distribution Service, "Countermeasure Washdown System Test", [Çevrimiçi]. Available: https://www.dvidshub.net/image/1024607/countermeasure-washdown-system-test. [Erişildi: 5 Aralık 2018].

[63] J. J. Holmes, Reduction of a Ship's Magnetic Field Signatures, Arizona: Morgan & Claypool Publisher, 2008.

[64] J. J. Holmes, Exploitation of A Ship's Magnetic Field Signatures, Arizona: Morgan & Claypool Publisher, 2006.

[65] R. A. Varma, "Design of Degaussing System and Demonstration of Signature Reduction on Ship Model through Laboratory Experiments", International Conference on Magnetic Materials and Applications, Guwahati, 5-7 Aralık 2013.

[66] Twisted Sifter, "The History of Razzle Dazzle Camouflage", [Çevrimiçi]. Available: https://twistedsifter.com/2010/02/razzle-dazzle-camouflage/. [Erişildi: 5 Aralık 2018].

[67] SAAB Group, "Solutions for Naval Operations", [Çevrimiçi]. Available: https://saabgroup.com/globalassets/corporate/media-news-press-stories/event-press-kits/zip-folders/laad-2017/saabnavalsolutions_brief_laad_eng.pdf. [Erişildi: 23 Kasım 2018].

[68] World Defense, "Chinese Type 022 Stealth Fast Attack Craft", [Çevrimiçi]. Available: http://defenceanalyzist.blogspot.com/2011/08/chinese-type-022-stealth-fast-attack.html. [Erişildi: 29 Kasım 2018].

[69] Encyclopedia of Safety, "The world's first stealth warships: corvettes project Visby", [Çevrimiçi]. Available: http://survincity.com/2014/05/the-world-s-first-stealth-warships-corvettes_2/. [Erişildi: 29 Kasım 2018].

[70] Raytheon, "AN/ALR-67(V)3 Radar Warning Receiver", [Çevrimiçi]. Available: https://www.raytheon.com/capabilities/products/alr67. [Erişildi: 15 Ekim 2018].

[71] SAAB Group, "Laser Detection and Identification", [Çevrimiçi]. Available: https://saab.com/naval/electronic-warfare/naval-laser-warning-systems/nlws/. [Erişildi: 19 Ekim 2018].

[72] Wikimedia, "SQS-53 Sonar DDG-53", [Çevrimiçi]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SQS-53_Sonar_DDG-53_John_Paul_Jones_2010-09-07.jpg. [Erişildi: 17 Ekim 2018].

[73] The Federation of American Scientists, "https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/an-say-1.htm", [Çevrimiçi]. Available: https://fas.org/man/dod-101/sys/ship/weaps/an-say-1.htm. [Erişildi: 18 Ekim 2018].

[74] Defense Web, "Navy Contracts for New Frigate Optical Radar Trackers", [Çevrimiçi]. Available: http://www.defenceweb.co.za/index.php?option=com_content&view=article&id=15851&catid=74&Itemid=30. [Erişildi: 19 Ekim 2018].

[75] Raytheon, "Phalanx Close-In Weapon System", [Çevrimiçi]. Available: https://www.raytheon.com/capabilities/products/phalanx. [Erişildi: 1 Kasım 2018].

[76] Wikimedia, "Mark 36 SRBOC on USS Barry", [Çevrimiçi]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mark_36_SRBOC_on_USS_Barry.jpg. [Erişildi: 1 Kasım 2018].

[77] Fore Cast International, "SLQ-25A/B (Nixie)", [Çevrimiçi]. Available: https://m.forecastinternational.com/archive/disp_pdf.cfm?DACH_RECNO=709. [Erişildi: 16 Ekim 2018].

[78] Johns Hopkins, "The Cooperative Engagement Capability", Johns Hopkins, Maryland, 1995.

[79] Republic og Singapore Navy, “Onwards and Upwards - Celebrating 40 Years of the Navy”, [Çevrimiçi]. Available: https://www.mindef.gov.sg/oms/navy/careers/static/pdf/media/Onwards_and_Upwards.pdf. [Erişildi: 13 Aralık 2018].

[80] C. A. Adams, “ME 4751 (Combat Survivability Engineering) Class Notes”, [Çevrimiçi]. Available: C. A. Adams, “ME 4751 (Combat Survivability Engineering) Class Notes”, Naval Postgraduate School, Winter 2012. [Erişildi: 2 Kasım 2018].

[81] Hiller Companies, “Fire Suppression Systems”, [Çevrimiçi]. Available: FIRE SUPPRESSION SYSTEMS. [Erişildi: 12 Aralık 2018].

[82] Wikimedia, “Air Department Personnel Inventory Damage Control Equipment in the Hangar Bay”, [Çevrimiçi]. Available: https://www.google.com/search?q=damage+control+equipments+cinpection+naval+ship&tbm=isch&tbs=rimg:Cbw12qIs4mjTIjixzPvLxTiXyowwVDvJz9Y-C5i8b70bgq1SAw8L8L8_1Xs8Qeyx7WrmxqIY9OoyE0O1K2WQP6AQoeyoSCbHM-8vFOJfKEWz4l3NUQkPqKhIJjDBUO8nP1j4RJ7-PDJmSQV4qEgkLmLxvvRuC. [Erişildi: 2 Aralık 2018].

[83] Wikimedia, “Sailors secure the K-type shoring during damage control training at the Center of Naval Engineering Learning Site Pearl Harbor”, [Çevrimiçi]. Available: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:US_Navy_091020-N-7498L-053_Sailors_secure_the_K-type_shoring_during_damage_control_training_at_the_Center_of_Naval_Engineering_Learning_Site_Pearl_Harbor.jpg. [Erişildi: 2 Aralık 2018].

[84] Top Writers Reviews, “Watertight Door”, [Çevrimiçi]. Available: https://www.google.com/search?q=The+Watertight+Door&tbm=isch&source=univ&sa=X&ved=2ahUKEwj8rZTemL7gAhW1SRUIHQUfA2MQsAR6BAgCEAE&biw=1366&bih=657#imgdii=AoObRO6JtxfBWM:&imgrc=0hn7Q1oMRZk3zM:. [Erişildi: 2 Aralık 2018].

[85] AMCO Electrical & Engineering Co., “Fire Survival Cable”, [Çevrimiçi]. Available: http://www.amcoelectrical.in/fire-survival-cable/. [Erişildi: 2 Aralık 2018].

[86] J. H. Evans, “Basic Design Concepts”, Naval Engineers Journal, cilt 71, pp. 671-678, 1959.

[87] W. F. S. B. B. J. K. A. a. D. M. F. Mistree, “Decisionbased design: A contemporary paradigm for ship design”, Transactions, Society of Naval Architects and Marine Engineers, no. 98, pp. 565-597, 1990.

[88] J. &. L. B. &. A. S. &. C. C. &. D. R. &. D. A. &. E. M. T. &. H. J. &. K. T. &. O. J. Chalfant, “A collaborative early-stage ship design environment”, CEM Publications, pp. 1-17, 2012.

Tezden Üretilmiş Yayınlar

İletişim Bilgisi: kataseven78@dho.edu.tr

Makaleler

1. K. Ataseven ve H. Yılmaz, "On the Assessment of Survivability of Surface Combatants", Journal of Naval Sciences and Engineering, no. 15, pp. 63-85, 2019