

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVAŞ GEMİSİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNİN ARIZA
SONRASI TOPARLANMASINA YÖNELİK YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

İzzet Emre AFACAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAVAŞ GEMİSİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNİN ARIZA
SONRASI TOPARLANMASINA YÖNELİK YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ

DOKTORA TEZİ

İzzet Emre AFACAN

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof.Dr. Mehmet Ali YALÇIN

TEMMUZ 2024

İzzet Emre AFACAN tarafından hazırlanan “SAVAŞ GEMİSİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNİN ARIZA SONRASI TOPARLANMASINA YÖNELİK YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ” adlı tez çalışması 01.07.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

- Jüri Başkanı :** **Prof.Dr.Mustafa BAĞRIYANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Prof.Dr.Mehmet Ali YALÇIN (Danışman)**
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Prof.Dr. İmdat TAYMAZ**
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Doç.Dr. Selçuk EMİROĞLU**
Sakarya Üniversitesi
- Jüri Üyesi :** **Dr.Öğr.Üyesi E.Mustafa YEĞİN**
Kocaeli Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Savaş Gemisi Elektrik Dağıtım Sisteminin Arıza Sonrası Toparlanmasına Yönelik Yöntem Geliştirilmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(01/07/2024)

İzzet Emre AFACAN







TEŞEKKÜR

Eğitim öğretim hayatımın tüm evrelerinde bende emeği olan tüm öğretmen ve hocalarımla birlikte uzun doktora sürecimde beni destekleyen başta danışmanım Sayın Prof.Dr. Mehmet Ali YALÇIN olmak üzere Sakarya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı akademik personeline ve özellikle yakın desteğini gördüğüm Dr.Öğr.Üyesi Talha Enes GÜMÜŞ'e teşekkür ederim.

İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyelerinden yüksek lisans tez hocam Sayın Prof.Dr.Mustafa Bağrıyanık'ın doktora sürecine yönelik bana sağladığı motivasyon ve süreç içerisindeki akademik çalışmalarımdaya sunduğu bilimsel destek için minnettarım.

Doktora tez izleme juri üyelerime tez çalışmalarımdaya sağladıkları katkı ve bu uzun süreçte gösterdikleri sabır için teşekkür ederim.

Eşim, çocuklarım, annem ve babamın doktora sürecimde bana gösterdikleri destek, sağladıkları motivasyon için müteşekkirim.

İzzet Emre AFACAN



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	vii
TEŞEKKÜR	xi
İÇİNDEKİLER	xiii
KISALTMALAR	xv
SİMGELER	xvii
TABLO LİSTESİ	xix
ŞEKİL LİSTESİ	xxi
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1. Elektrik Sistemlerinin Deniz Platformlarındaki Kullanımı, Gelişimi	1
1.2. Gemi Güç Sistemleri ve Literatür Araştırması	4
1.3. Tezin Kapsamı	7
1.4. Tezin Amacı	7
1.4.1. Tezin ikincil amacı	7
1.4.2. Tezin üçüncül amacı	8
1.5. Tezin İçeriği	8
2. ASKERİ GEMİ ELEKTRİK SİSTEMLERİ	11
2.1. Denizaltı Elektrik Güç Sistemleri	11
2.2. Suüstü Harp Gemisi Elektrik Güç Sistemleri	17
2.2.1. Gemi elektrik dağıtım sistemi (genel)	33
2.2.2. Radyal elektrik dağıtım sistemi	35
2.2.3. Halka tipi elektrik dağıtım sistemi	36
2.2.4. Bölgesel elektrik dağıtım sistemi (BEDS)	40
2.3. Suüstü Harp Gemisi Elektrik Sisteminde Yeni Eğilimler	49
2.4. Hibrit Beslemeli Elektrik Gemi Güç Sistemi	54
3. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNDE YENİDEN YAPILANDIRMA	57
3.1. Yeniden Yapılandırma/Restorasyon ile ilgili Literatür Araştırması	57
3.2. Savaş Gemisinde Hasar Kontrol ve Yeniden Yapılandırma	59
4. HARP GEMİSİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ YENİDEN YAPILANDIRILMASI İÇİN AMAÇLANAN YÖNTEM	67
4.1. Genetik Algoritmalar	67
4.2. Patern Arama (Örüntü/Desen Arama Metodu)	69
4.3. 0-1 Tam sayılı Programlama, ...	70
4.4. Önerilen Metot	71
5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ	77
5.1. Giriş	77
5.2. Simülasyona Esas Test Platformu Teknik Verileri	77
5.2.1. Ana gerilim karakteristiği	80
5.2.2. Dağıtım sistem topolojisi	80
5.2.2.1. Makine daireleri	81

5.2.2.2. Generatör sistemi.....	81
5.2.2.3. Gemideki diğer gerilim karakteristikleri	81
5.2.2.4. Ana dağıtım panoları	83
5.2.2.5. Transfer şalteri.....	83
5.2.2.6. Sahil bağlantısı	84
5.2.2.7. Paralel veya ayırık çalışma durumları	84
5.2.2.8. Kablolar	87
5.2.2.9. Bara transfer cihazları	87
5.3. Görev Profilleri ve Elektrik Yük ve Denge Analiz Hesapları:	93
5.3.1. Yükler.....	97
5.4. Senaryolar.....	100
5.4.1. Senaryo-1: Baş makine dairesinde yangın (savaş görevi durumu)	101
5.4.2. Senaryo 2: Baş makine dairesinde yara ve hasar (savaş görevi durumu)	102
5.4.3. Senaryo 3: Kıç makine dairesinde hasar/yara (savaş görevi durumu) ...	103
5.4.4. Senaryo 4: Kıç makine dairesinde arıza ve yangın (barış durumu intikal seyri profili).....	103
5.4.5. Senaryo 5: Kıç makine dairesinde arıza ve yangın (barış durumu intikal seyri profili).....	104
5.5. Analiz Sonuçları	105
5.5.1. Senaryo-1:Savaş görevi durumu (yangına müdahale durumu)	108
5.5.2. Senaryo 2: Savaş görevi durumu (hasarlı gemi)	113
5.5.3. Senaryo 3: Savaş görevi durumu (hasarlı gemi)	117
5.5.4. Senaryo 4: Barış durumu intikal seyri görevi profili	120
5.5.5. Senaryo 5: Barış durumu intikal seyri.....	124
6. HİBRİT BESLEMELİ GEMİ GÜÇ SİSTEMİNDE YENİDEN YAPILANDIRMA UYGULAMASI	129
6.1. Giriş	129
6.2. Gemide PV Panel Yerleştirme Potansiyelinin Belirlenmesi	130
6.3. PV ve Dizel Generatör Sistemli Geminin Işınım Değişimi Temelli Analizi	133
6.4. Hibrit Beslemeli Gemi İçin Tekrar Yapılandırma Algoritma Uygulaması ...	137
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	141
KAYNAKLAR.....	143
EKLER.....	153
ÖZGEÇMİŞ.....	163

KISALTMALAR

A	: Amper
ABT	: Otomatik bara transfer cihazı
AC	: Alternatif akım
BEDS	: Bölgesel elektrik dağıtım sistemi
BİP	: 0-1 Tam Sayı Programlama (Binary Integer Programming)
CODAD	: Kombine Dizel ve Dizel
CODAG	: Dizel ve gaz türbinli kombine tahrik sistemi
CODLAG	: Kombine Dizel Elektrik ve Gaz
CODOG	: Dizel veya gaz türbinli kombine tahrik sistemi
COGAG	: Kombine Gaz ve Gaz
CRP	: Pitch kontrollü pervane (controllable-reversible-pitch)
CRPP	: Pitch kontrollü pervane, sabit devirli şaft ile pervane kanatlarına açı verilerek sürat kademesini arttıran pervane sistemi
DC	: Doğru akım
EGS	: Entegre güç sistemi
EMRG	: Elektro magnetik hızlandırıcı top (elektro magnetic rail gun)
EPKİS	: Entegre platform kontrol ve izleme sistemi
G	: Generatör
GA	: Genetik algoritma
GGS	: Gemi güç sistemi
HBT	: Havadan bağımsız tahrik sistemi
HKS	: Hasar kontrol sistemi
Hz	: Hertz
KBRN	: Kimyasal, biyolojik, radyoaktif, nükleer
kW	: kilowatt
MBT	: Manuel bara transfer cihazı
PS	: Patern arama algoritması
SCB	: Sahil şalteri
TCB	: Transfer şalteri
V	: Volt

VAC : Volt AC sisteme ait
VDC : Volt DC sisteme ait
YSB : Yardımcı sevk birimi



SİMGELER

A	: Amper [Birim]
Hz	: Frekans [Birim]
I	: Akım
kV	: kilovolt [Birim]
kW	: kilowatt [Birim]
NL	: Toplam yük sayısı
Nmsb	: Ana pano sayısı
PG	: Generatör gücü kapasitesi
PL	: Yüklere ait güç matrisi
Ploss	: Yüklere ait kayıp matrisi
s	: Saniye [Birim]
V	: Volt [Birim]
W	: Watt [Birim]
Wsw	: Ceza matrisi
X	: Anahtar durum matrisi



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. İzleme, kontrol ve kumanda fonksiyonlarına ait bilgiler	64
Tablo 5.1. Modelde ana şalterlerin farklı çalışma durumlarındaki konumu	86
Tablo 5.2. Örnek yük için görev profili güç ve faktör ilişkisi.....	96
Tablo 5.3. Görev temelli yük önem dereceleri matrisi.....	98
Tablo 5.4. Senaryo bazlı başlangıç koşulları, arıza durum tespiti özet tablo.	101
Tablo 5.5. Senaryo-1 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.	101
Tablo 5.6. Senaryo-2 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.	102
Tablo 5.7. Senaryo-3 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.	103
Tablo 5.8. Senaryo-4 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.	104
Tablo 5.9. Senaryo-5 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.	105
Tablo 5.10. Önerilen metodun farklı optimizasyon metotları ile karşılaştırılması ..	106
Tablo 5.11. Senaryo-1 atılan yük sonuçları.....	110
Tablo 5.12. Senaryo-1 transfer edilen yük sonuçları.....	111
Tablo 5.13. Senaryo-2 atılan yük sonuçları.....	115
Tablo 5.14. Senaryo-2 transfer edilen yük sonuçları.....	116
Tablo 5.15. Senaryo-3 atılan yük sonuçları.....	118
Tablo 5.16. Senaryo-3 transfer edilen yük sonuçları.....	118
Tablo 5.17. Senaryo-4 atılan yük sonuçları.....	121
Tablo 5.18. Senaryo-4 transfer edilen yük sonuçları.....	122
Tablo 5.19. Senaryo 5 atılan yük sonuçları.....	125
Tablo 5.20. Senaryo-5 transfer edilen yük sonuçları.....	126
Tablo 6.1. Model gemide kullanılan panel miktarı	133
Tablo 6.2. Durum-1 sonuçları	138
Tablo 6.3. Durum-2 sonuçları	139



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Denizaltı güç dağıtım sistemi blok şeması	13
Şekil 2.2. D/A Elektrik platform teknolojileri	16
Şekil 2.3. Denizaltı güç sistemi tek hat şeması	17
Şekil 2.4. Stim tahrikli eski tip gemi şeması	18
Şekil 2.5. İçten yanmalı motorların kullanımı ile tahrik sistemi ve güç sisteminin ayrıldığını gösteren “ayrık güç sistemi” yapısı	20
Şekil 2.6. Entegre güç dağıtım sistemi kullanan elektrik tahrikli gemideki güç sistemi yapısı	20
Şekil 2.7. 1830-2015 yılları arasında gemi elektrik sistemlerindeki gelişim özeti ...	23
Şekil 2.8. Gemi elektrik sistemlerinin platform bazında genel yerleşimdeki oranı ..	24
Şekil 2.9. Gemide test edilen bir lazer silahı ve EMRG silahı ile test atışı	30
Şekil 2.10. USS STARK su üstü gemisinin hasar aldığı gösterim	31
Şekil 2.11. USS STARK gemisinin köprü üstü hasarı	32
Şekil 2.12. Radyal elektrik dağıtım sistemi	36
Şekil 2.13. Ring Elektrik dağıtım sistemi	39
Şekil 2.14. Geleneksel elektrik ve bölgesel elektrik dağıtım mimarisinin	41
Şekil 2.15. Tek bara bölgesel elektrik dağıtım farklı mimarileri	43
Şekil 2.16. EDS'lerin dahil olduğu tek bara bölgesel elektrik dağıtım yapıları	44
Şekil 2.17. Çift bara AC bölgesel elektrik dağıtım şeması	45
Şekil 2.18. Enerji depolama sisteminin bulunmadığı, çift bara bölgesel dağıtım gösterimi	46
Şekil 2.19. Ana dağıtım barasına bağlı enerji depolama ünitesi bulunan çift bara bölgesel dağıtım şeması	47
Şekil 2.20. Her bölgede depolama ünitesi ile çift bara bölgesel dağıtım şeması	47
Şekil 2.21. DC bölgesel dağıtım mimarisi	48
Şekil 2.22. Elektrikli tahrikli gemi topolojisi seçenekleri	53
Şekil 2.23. Hibrit Elektrik Tahrik Sistemi Güç Sistemi Yapısı	55
Şekil 3.1. Geminin hasar kontrolü için karar destek mekanizması modeli	63
Şekil 3.2. Geliştirilmiş hasar kontrol sistemi akış şeması	66
Şekil 4.1. Genetik algoritma akış şeması	69
Şekil 4.2. Yeniden yapılandırma süreci akış şeması.....	76
Şekil 5.1. Test platformu ve su geçirmez bölmelendirme	78
Şekil 5.2. Test platformu su geçirmez bölmelendirme ve 3 boyutlu modeli	79
Şekil 5.3. Simülasyon modeline esas gemi elektrik güç dağıtım sistemi	80
Şekil 5.4. Transfer şalterlerini gösteren prensip şeması	84
Şekil 5.5. ABT/MBT yapısı örneği (arıza kuvvet prizi olmayan)	89
Şekil 5.6. Harici güç girişi için priz iştiraki bulunan ABT/MBT yapısı örneği.....	90
Şekil 5.7. Yangın tulumbalarını besleyen ABT bağlantı yapısı	93
Şekil 5.8. Test Platformunda Bölmelerdeki Yüklerin Yerleşimi	99
Şekil 5.9. Test Platformunda Bölmelerdeki Yüklerin Yerleşimi	99
Şekil 5.10. Senaryo-1 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.	112

Şekil 5.11. Senaryo-1 PS iterasyon grafiği.	112
Şekil 5.12. Senaryo-2 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.	116
Şekil 5.13. PS Senaryo-2 iterasyon grafiği.	117
Şekil 5.14. Senaryo-3 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.	119
Şekil 5.15. Senaryo-3 PS iterasyon grafiği.	120
Şekil 5.16. Genetik algoritma Senaryo-4 sonucu.	123
Şekil 5.17. Senaryo-4 PS iterasyon grafiği.	123
Şekil 5.18. Senaryo-5 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.	126
Şekil 5.19. Senaryo-5 PS iterasyon grafiği.	127
Şekil 6.1. Modelde kullanılan PV panel yerleşim yerleri (iskele baş omuzluktan bakış)	131
Şekil 6.2. Modelde kullanılan PV panel yerleşim yerleri (sancak kış omuzluktan bakış)	132
Şekil 6.3. Modelde kullanılan PV panel alanları (m ²) (üstten bakış).....	132
Şekil 6.4. Hibrit beslemeli gemi simülasyon modeli: hibrit besleme ve PV-dizi modeli.	134
Şekil 6.5. Avrupa PV coğrafi bilgi sistemi.	134
Şekil 6.6. Dalaman Haziran ayı ortalama günlük ışıınım değerleri değişimi.	135
Şekil 6.7. Gemi için sentetik olarak oluşturulan saat 08:00 ile 16:00 arasında barış durumu seyir görevi toplam elektriksel talep değişim senaryosu	135
Şekil 6.8. Seyir senaryosu süresince ışıınım değişimi	136
Şekil 6.9. PV sistem tarafından üretilen aktif güç değişimi.....	137
Şekil 6.10. Seyir süresince generatör tarafından sisteme verilen aktif güç değişimi	137

SAVAŞ GEMİSİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNİN ARIZA SONRASI TOPARLANMASINA YÖNELİK YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bir savaş gemisinin savaş ortamında karşılaşacağı olası senaryolar içinde hasar veya yara alması en ciddi senaryodur. Hasar veya yara herhangi bir çatışma, isabet, arıza, yangın kaynaklı olabilir. Yaralanmış veya herhangi bir arıza nedeni ile harekâttan sarkıt kalmış bir savaş gemisinin durumu kontrol altına alması, en kısa sürede görevine geri dönebilmesi veya yardım alabileceği emniyetli bir sahaya çekilebilmesi hayati önem taşımaktadır.

Gemiler, sevk/tahrik sistemi, platform sistemleri, muhabere, seyir sistemleri, savaş/silah sistemleri ve diğer birçok kritik sistemi, elektriksel yükü bünyesinde barındıran karmaşık güç sistemlerine sahiptirler.

Savaş gemilerinin normal veya savaş durumunda icra ettikleri görevleri farklılık gösterirken gemi güç sisteminde devrede olması gereken yükler ve önem dereceleri de görev tiplerine bağlı olarak farklılık gösterir. Bu durum gemi güç sisteminin çok yönlü görev temelli fonksiyon icra etmesi gerekliliğini doğurur.

Olası bir hasar durumunda gemi güç sistemi ilk olarak hasarı algılar, arızayı izole eder, arıza yerini belirler, hasar kontrol sistemleri yüklerin öncelikleri ve hasar durumunu dikkate alarak güç sisteminin yeniden yapılandırma sürecini işletir, güç sisteminin yeni duruma geçişi için gerekli anahtarlamaları gerçekleştirir ve sistemin son durumunu kontrol eder. Geminin harekât yeteneğini korumak, güç kesinti süresini azaltmak, efektif ve emniyeti hedefleyen bir yeniden yapılandırma sürecinin başarısında personelin yetenekleri de kullanılan metot kadar önemlidir.

Bu tez çalışmasında arıza izolasyonu, arıza yeri belirleme süreçleri ile ilgilenilmemiş bu süreçler sonrasındaki yeniden yapılandırma (restorasyon) süreci çalışmanın odak noktasını oluşturmuştur. Kullanılan yeninden yapılandırma yönteminde akıllı algoritmalar kullanılarak operatör bilgisi görev temelli olarak yönetime dahil edilmiştir. Tez çalışmasında geliştirilen akıllı algoritma temelli yeniden yapılandırma yöntemi ile sistem durumu muhakeme edilerek en iyi anahtarlama sonucu oluşturulmuştur.

Yöntem sonucu elde edilen dağıtım sistemindeki anahtarlara kumanda edilerek yeniden yapılandırma gerçekleştirilmektedir. Gemi güç dağıtım sisteminde yeniden yapılandırma sürecinde çift kaynaktan (normal ve alternatif) beslenen manuel veya otomatik bara transfer cihazları özellikle yaşamsal ve yarı yaşamsal yükleri için önem kazanmakta, yük atıcılar ise yaşamsal olmayan yüklerin sistemden topluca atılması amacı ile kullanılmaktadır. Klasik yaklaşımlarda bara transfer cihazlarının enerjisi kesilen normal hattı gördüğü anda hiçbir muhakeme yapmadan enerjisi olan alternatif hatta yükü transfer ettiği bilinmelidir. Bu durumda klasik yaklaşım ile arızanın yayılması hatta güç üreten jeneratör sistemlerinin yük transferi sonrası aşırı yüklenme nedeni ile devre dışı kalması ve sonuçta dağıtım sisteminin devre dışı kaldığı kötümser senaryo ile karşılaşılabilir. Önerilen akıllı yeninden yapılandırma yöntemi ile sistemin

bütün olarak değerlendirmesi ve özellikle üretim-tüketim dengesi gibi amaç fonksiyonları dikkate alınarak en doğru cevabın yük önceliklerine göre güç sistemine tatbiki amaçlanmaktadır.

Geliştirilen yeniden yapılandırma yöntemi; 0-1 tam sayı programlama, genetik algoritma ve patern arama olmak üzere üç farklı optimizasyon tekniği ile kullanılarak farklı durumlar altında simülasyon analiz sonuçları irdelenmiştir. Tezde önerilen yöntem, üç optimizasyon tekniği ile de tutarlı sonuçlar vermiştir. Özellikle lineer denklem kümelerinin kullanıldığı amaç fonksiyonları için yeterli görünen 0-1 tamsayı programlama yöntemi tez çalışmasında önerilen algoritma ile diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha hızlı sonuçlar sunmuştur. Ancak genetik algoritma ve patern araması optimizasyon tekniklerinin rastsallık içeren metotlar olmaları nedeni ile karmaşık problemlere uyumları, kompleks yapıdaki denklemlerle çalışabilme yeteneği en güçlü yanları olarak ön plana çıkmıştır. Genetik algoritma ve patern araması gibi evrimsel algoritmaların kullanılmadan önce parametrelerinin hesaplanması/ ayarlanması çözümün başarısına etki ederken tam sayı programlama yöntemi ise belirgin bir şekilde diğer yöntemlere göre önerilen yeniden yapılandırma sürecinde daha kolay uygulama yapabilmektedir.

Tez içeriğinde yenilenebilir enerji sistemlerinin gelecek potansiyeli de dikkate alınarak simülasyon senaryolarına güneş enerji paneline sahip bir gemi modeli de dahil geliştirilen yöntemin geminin güç sistemindeki konfigürasyon değişikliği altındaki cevabı da incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarında akıllı algoritma içermeyen klasik hasar kontrol sistemleri ile tez kapsamında sunulan yeniden yapılandırma yöntem sonuçları da gemi güç sistemindeki etkileri ile birlikte değerlendirilmiştir.

NEW DEVELOPING RECONFIGURATION METHOD FOR NAVAL SHIPBOARD POWER DISTRIBUTION SYSTEM AFTER FAULT SITUATION

SUMMARY

The most serious scenario among the possible scenarios that a warship may encounter in a combat environment is damage or injury. Damage or injury can occur due to any conflict, impact, malfunction, or fire. It is vital for a warship that is incapacitated due to injury or any malfunction to regain control of its situation, return to its mission as soon as possible, or be able to withdraw to a safe area where assistance can be obtained.

Ships have complex power systems that encompass propulsion/drive systems, platform systems, communication systems, navigation systems, combat/weapon systems, and many other critical systems that carry electrical loads. While the missions performed by warships in normal or combat situations vary, the loads that need to be present in the ship's power system and their importance levels also vary depending on the types of missions. This situation necessitates the ship's power system to perform multifaceted task-based functions.

In the event of possible damage, the ship's power system first detects the damage, isolates the fault, identifies the fault location, operates the reconfiguration process of the power system considering the priorities of loads and the damage situation, performs the necessary switching for the transition of the power system to the new state, and checks the final status of the system. Preserving the ship's operational capability, reducing the power outage duration, and the personnel's abilities are as important as the method used in the success of a reconfiguration process that is effective and safety-oriented.

In this thesis, the focus of the study is on the reconfiguration (restoration) process after fault isolation and fault location processes have not been addressed. In the reconfiguration method used, intelligent algorithms are incorporated into the method task-based with operator knowledge. With the intelligent algorithm-based reconfiguration method developed in the thesis, the system status is analyzed, and the best switching result is obtained. Reconfiguration is performed by controlling the switches in the distribution system obtained as a result of the method. During the reconfiguration process in the ship's power distribution system, manual or automatic bus transfer devices fed from dual sources (normal and alternative) become particularly important for vital and semi-vital loads, while load shedders are used to collectively shed non-vital loads from the system. In classical approaches, it should be noted that when the energy of the normal line is cut off, the bus transfer devices transfer the load to the alternative line without any reasoning. In this case, with the classical approach, encountering the pessimistic scenario where the fault spreads, even the power-generating generator systems go offline due to overload after load transfer, and ultimately encountering the scenario where the distribution system goes offline. The proposed intelligent reconfiguration method aims to apply the most accurate solution to the power system according to load priorities, taking into account the overall

evaluation of the system and especially the objective functions such as power generation-consumption balance.

The developed reconfiguration method has been analyzed under different scenarios using three different optimization techniques: 0-1 integer programming, genetic algorithm, and pattern search. The proposed method in the thesis has provided consistent results with all three optimization techniques. Particularly, the 0-1 integer programming method, which seems sufficient for objective functions using sets of linear equations, has yielded faster results compared to other optimization techniques with the algorithm proposed in the thesis. However, genetic algorithm and pattern search optimization techniques have emerged as the strongest due to their ability to adapt to complex problems and work with equations of complex structure, owing to their inherent randomness. Before using evolutionary algorithms such as genetic algorithm and pattern search, the calculation/adjustment of their parameters affects the success of the solution, whereas the integer programming method can be applied more easily in the proposed reconfiguration process compared to other methods.

In this thesis study, a method aimed at the reconfiguration of a sample warship's power system after damage or malfunction using intelligent methods has been developed, and the results obtained have been examined. The study focused on the ship's power distribution system with a radial structure. The dynamically changing importance levels and priorities of loads based on the ship's mission type were utilized, and operator experience was incorporated into the method. Simulation-based analyses were conducted on the ship's power distribution system.

The proposed intelligent reconfiguration method has been tested in challenging scenarios created for the ship's power system, and the results obtained in the thesis study have shown that it prevents a complete power outage on the ship and successfully maintains the system operational. The proposed reconfiguration method utilized genetic algorithm, pattern search, and 0-1 integer programming methods, and the results of the three different optimization techniques were comparatively presented in the thesis study. The proposed method yielded consistent results with all three optimization techniques.

The calculation/adjustment of parameters before using evolutionary algorithms such as genetic algorithm and pattern search affects the success of the solution. Due to their inherent randomness, the adaptation of these optimization methods to complex problems and their ability to work with complex equations are their strongest aspects. However, it has been observed in this thesis study that solution times for sets of linear equations are longer compared to the 0-1 integer programming method.

Dynamic load priority lists, operator knowledge, and intuitive rules defined with penalty scores on a load basis have been included in the method content. In the thesis study, the results obtained from the developed method and three different optimization methods have been compared, and it has been observed that intelligent reconfiguration methods are highly successful in a radial distribution system compared to classical reconfiguration methods.

Considering the future potential of renewable energy systems, a simulation scenario including a ship model with solar energy panels has been included in the thesis content to examine the response of the developed method under configuration changes in the ship's power system. The simulation results have also evaluated the results of the proposed reconfiguration method presented within the scope of the thesis along with

conventional damage control systems without intelligent algorithms, considering their effects on the ship's power system





1. GİRİŞ

Denizler, küresel ölçekteki büyüklüğüyle, kendisinden yararlanan ülkelere yine küresel ölçekte etki yaratma olanağı sağlamaktadırlar. Büyük Türk denizcisi Barbaros Hayrettin Paşa'nın "Denizlere hâkim olan cihana hâkim olur." sözleri denizin önemini vurgulayan en net ifadelerden birisidir.

Türkiye Cumhuriyeti'nin kurucusu büyük önder Mustafa Kemal ATATÜRK de "Hudutlarının mühim ve büyük aksamı deniz olan Türk Devleti'nin Donanması da mühim ve büyük olmak gerektir. O zaman Türkiye Cumhuriyeti daha müsterih ve emin olacaktır [1]." sözleri ile deniz ve ülke güvenliği ilişkisini [2] vurgulamıştır.

Deniz ve denizciliğin önemi dikkate alındığında, ülkemiz mühendislerinin deniz platformları üzerine yapacakları inceleme, araştırma ve teknik çalışmaların önemi daha da artmaktadır. Deniz platformları ve savunma sanayi bakış açısı ile savaş gemileri özelinde dünyadaki mühendislik çalışmaları incelendiğinde, ülkemizin elektrik mühendisliği alanında deniz sistemleri ile ilgili akademik çalışma ve uygulamaları arttırması gerektiği ve bu çalışmalara ihtiyaç duyduğu değerlendirilmektedir.

Yukarıda özetlenmeye çalışılan motivasyon ile bu tez çalışmasında savaş gemisi güç dağıtım sisteminin arıza sonrası yeniden yapılandırılarak toparlanmasına yönelik yöntem geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geminin farklı görev senaryolarına cevap verebilecek şekilde yüklerin değişken önceliklerine cevap verebilecek bir yeniden yapılandırma yöntemi önerilmektedir.

1.1. Elektrik Sistemlerinin Deniz Platformlarındaki Kullanımı, Gelişimi

Günümüzde elektrik enerjisi sanayileşme ve teknolojik gelişmelerle birlikte hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline dönüşmüştür. Elektrik enerjisi hâlihazırda sadece elektrikli teçhizatlar ve karasal sistemler için kullanılmamakta aynı zamanda gemilerde sevk sistemleri ile cihaz/sistemlerde ana güç kaynağı olarak kullanımı da giderek yaygınlaşmaktadır. Başka bir ifade ile gemilerde elektrik enerjisinin kullanımı incelendiğinde ilk olarak geminin sevk sistemi haricindeki yükler için

enerji kaynağı olarak kullanılmasının yanı sıra, ana sevk sisteminin elektrik tahrikli olduğu tasarım ve uygulamaların çağımızda yaygınlaştığı hatta tüm elektrikli gemi konseptlerinin uygulama alanı bulduğu görülmektedir. Deniz sistemlerine ilham kaynağı olan karasal sistemler açısından günümüzdeki çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların hibrit elektrikli araçlar/sistemler, tüm elektrikli araçlar, enerji depolama sistemleri, yeni nesil yüksek kapasiteli bataryalar, güneş panelleri, yakıt pilleri gibi konularda çalışmalarını yoğunlaştırdıkları gözlemlenmektedir.

Elektrik enerjisinin gemilerde daha fazla ve etkin kullanılmaya başlanması; arıza yeri belirleme, arıza sonrası sistemin restore edilerek çalıştırılması, savaş gemilerinde hasarlı (arıza-yara alma) durum senaryoları için daha kararlı sistem tasarımlarını ön plana çıkarmaktadır [3]. Ayrıca kontrol, koruma ve otomasyon sistemlerinin yaygınlaşması ile akıllı algoritma/sistem yapıları, yeni nesil elektrik dağıtım sistemi mimarisi ve bunun yanında elektrik motor-sürücülerin tasarımı, enerji depolama vb. uygulamalar deniz platformlarına yönelik bilimsel çalışmalara yön vermektedir. Bu açıdan bakıldığında deniz platformları ve savaş gemileri için yapılacak akademik çalışmalar gittikçe önem kazanmaktadır.

Son yıllarda, elektrikli tahrik sistemlerinin güç ihtiyaçları karşılanırken aynı zamanda elektrik dağıtım sistemlerinin ihtiyacını karşılayacak ortak bir güç sistemi kullanılması fikri gemi güç sistemi alanında birçok araştırmacıya ilham kaynağı olmuştur. Yeni nesil gemilerde hem tahrik hem de elektrik dağıtım sistemlerinde kullanılan ortak güç sistemine “entegre güç sistemi” adı verilmektedir. Geleneksel suüstü harp gemilerinde tahrik sistemi elektrik sistemine dâhil olmayıp dizel makinelerle ve/veya gaz türbini ile tahrik edilmekte ve ayrı güç sistemi (ing. segregate) olarak adlandırılmaktadır [4].

Geleneksel yapıda elektrik sistemi kullanan platformlarda sevk sisteminden beklenen değişken sürat talepleri karşılanırken dizel makine ve gaz türbinlerinin en verimli çalışma koşulundan uzaklaştığı gözlemlenmekte olup, yeni nesil gemilerde elektrik tahrikli sistemlere güç sağlayan dizel-generatör sistemlerinin ise sürekli en ideal çalışma noktasında çalıştırılmakta olduğu görülmektedir. Bu koşullar altında elektrik tahrikli gemilerin yakıt maliyeti düşmekte ve aynı zamanda mekanik tahrik sistemlerinin ihtiyaç duyduğu tahrik bileşenlerinin büyüklüğü (örneğin dişli grubu gibi güç aktarma organlarına ihtiyaç duyulmamaktadır), sistem maliyeti azalmakta ve tüm sistem verimi artmaktadır. Başta ticari gemilerde olmak üzere sistemin daha verimli işletilmesi yakıt tüketimi maliyetlerinin ve sera gazı emisyonlarının azaltılmasında

önemli fayda sağlamaktadır. Bununla beraber yeni nesil savaş gemilerinin elektrik tahrikli olması yüksek güce ihtiyaç duyan sensör ve yeni nesil silah sistemlerine uyumlu bir platform tasarımını oluşturmaktadır. Aynı zamanda yakıt tüketimini azaltan daha verimli bir tahrik sistemi ile geminin seyir menzili uzatılarak harekât etkinliği artmakta, dizel-generatör setlerinin geleneksel platformlardaki gibi tahrik dizelleri gibi pervane ile mekanik ara yüzleri olmaması nedeni ile makine dairesine, pervane ile aynı hizaya konumlandırılma ihtiyacı ortadan kalkmakta ve bu durum gemi yerleşiminden başlayarak birçok alanda büyük tasarım avantajları sunmaktadır.

Su üstü harp gemilerinde ayrık güç sistemi yerine entegre güç sistemi kullanılması geminin tasarımından başlayarak işletme koşulları dahil farklılıklar içerir. Entegre güç sisteminin ayrık güç sistemlerinden farklılaştığı en önemli nokta, entegre güç sisteminin elektrik tahrikli platformlarda yaygın kullanılması olup burada Gemi Güç Sisteminden (GGS) talep edilen gücün büyüklüğü ana tahrik sisteminden beklenen güç değerine başka bir ifade ile gemiden beklenen sürat isterine bağlıdır. Ayrık güç sistemlerinde ise tahrik sistemi mekanik olduğu için (dizel makine, gaz türbini gibi) elektrik güç talebine geminin süratinin etkisi diğeri ile kıyaslandığında çok düşüktür. Entegre güç sisteminde üretilen toplam gücün ana tahrik ve otel yükleri arasında paylaştırabilmesi önemli bir özelliktir. Bu durum toplam güç kapasitesi yüksek olan elektrik tahrikli su üstü harp gemilerinde daha fazla güce ihtiyaç duyan yeni nesil sistemlerin (manyetik hızlandırıcı top, lazer silah vb.) platformda kullanılabilmesini ve geminin görev kabiliyetinin artırılabilmesini sağlamaktadır [5].

Harp gemileri, sistem/silah/sensörlerin görev esnasında değişen bir yük profiline sahiptir. Gemide elektrik sisteminde yer alan yüklerin başta silah sistemleri olmak üzere dinamik yük profiline sahip olması, yönetim sistemi ve ekipman-pano seçimi, boyutlandırılmasını etkilemektedir. Geleceğin savaş sistem teknolojileri arasında yerini alması muhtemel olan yeni nesil manyetik hızlandırıcı top ve lazer silah sistemleri gibi yüksek güç yoğunluğu gerektiren darbeli yükler [6] için büyük güçlü generatörlerin ataleti anlık değişimlere, güç ihtiyaçlarına cevap veremeyeceğinden, ultra-kapasitör, yüksek kapasiteli batarya, fly-wheel gibi enerji depolama sistemlerinin (EDS) kullanılması güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır [7]. Gemilerde enerji depolama sistemleri ile anlık güç ihtiyacının azaltılması (peakshaving) amaçlanmaktadır [8, 9]. Enerji depolama sistemleri için ömür, şarj/deşarj hızı, iz (gizlilik), güvenlik ve ağırlık hacim hususları göz önünde bulundurulmalıdır [10, 11].

1.2. Gemi Güç Sistemleri ve Literatür Araştırması

Gemilerde güvenilirlik, süreklilik, yedeklenebilirlik ve verimlilik gibi hususlar elektrik sisteminin kararlılığı ve çalışma şekliyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle de harp gemilerinin tasarımlarında savaş durumu dikkate alınarak yüksek güvenilirliğe sahip dayanıklı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Harp gemilerinde hayatta kalma yeteneğinin arttırılması generatör sistemi başta olmak üzere güç kaynaklarının ve elektrik dağıtım sisteminin türüne, büyüklüğüne, konumlarına bağlıdır [5, 12, 13]. Platform tip ve özelliklerine bağlı olarak klasik ayrık güç sistemi mimarisi; yeni nesil tahrik ve silah sistemlerinin, sensör vb. donanımların teknolojik gelişimi ile birlikte artan güç taleplerini güvenilir bir şekilde karşılamak için yetersiz kalabilmektedir. Bu durumda yeni nesil silah ve sensör vb. sistemlerin ihtiyaç duyduğu artan güç talepleri GGS'nin verimli, yedeklenebilir ve esnek olarak tasarlanması ve işletilmesi ihtiyacını daha önemli hale getirmektedir. Geminin farklı çalışma koşullarını içeren senaryolar altında, özellikle savaş durumunda ve/veya hasar altında sistem kararlılığı ve güvenilirliğini GGS'nin hayatta kalma olasılığını değerlendirmek, analiz etmek ve bu amaçla modelleme, simülasyon çalışmaları yapmak zorunlu hale gelmektedir [14].

Geleneksel güç sistemi mimarisi radyal dağıtım sistemi iken entegre güç sistemi tasarımlarının genel olarak bölgesel dağıtım sistemi mimarisi kullandıkları literatürde gözlemlenmektedir [15]. Bölgesel dağıtım sistemi mimarisi de DC ve AC bölgesel dağıtım sistemi olarak iki tipe ayrılmaktadır [16]. Tez içeriğinde su üstü savaş gemilerinin elektrik dağıtım sistemleri incelenirken farklı dağıtım sistem mimarileri ve geminin tasarımına etkileri güç dağıtım sistemi tasarımının güvenilirlik, hayatta kalma kabiliyeti ve bir savaş gemisi için kritik unsur olan yedeklenebilirlik ilkesi çerçevesinde açıklanmıştır.

Gelecekteki gemi güç sistemlerinde, daha yüksek hizmet kalitesi (quality of service), daha fazla güvenilirlik ve verimlilik gibi hususların tasarım ve inşa faaliyetlerinde etkin rol oynayacağı görülmektedir. Su üstü harp gemileri başta olmak üzere tüm deniz platformlarında işletme verimliliğinin artırılmasına yönelik özgün çalışmalar halen devam etmektedir. Bununla birlikte yeni nesil gemilerin artan karmaşıklığı, bakım prosedürlerinin artması, hareket gereksinimlerindeki artış GGS'de akıllı fonksiyonların kullanılması ihtiyacını oluşturmaktadır. Yeni nesil teknolojilerde akım-gerilim ve sıcaklık gibi gerçek zamanlı ölçümlerin yanı sıra temel ve harmonik akım

ve gerilimler gibi parametreler izlenmektedir. Bu çalışmalar özellikle gemide personel ve ekipman kaybına yol açabilecek, görev kabiliyetini olumsuz bir şekilde etkileyebilecek olayların yönetilebilmesini kapsamaktadır [17].

Savaş gemisinde savaşta alınan isabet/yara çok boyutlu hasar ve yaygın bir elektrik arızasına sebep olabilir ve devredeki yükler için yetersiz elektriksel güç üretimi ile de sistem ya da sistemlerin işlerliğini kaybetmesine yol açabilmektedir. Geminin elektrik dağıtım sistemindeki bir arızada, arıza durumunun tanımlanıp, arıza yerinin belirlenmesi, sistemin yeniden yapılandırılması, böylece sistemde restorasyona gidilmesini kapsayan arıza sonrası adımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Savaş gemilerinde hasar kontrol sistemlerinde akıllı fonksiyonların kullanımı ile geminin görev kabiliyetinin, vuruş ve duruş gücünü kaybedilmemesinin, yaşamsal önem taşıyan gemi sistemlerinin zarar görmesinin önlenmesi için insan müdahalesi beklemeden hızlı eylemler gerçekleştirilebilmektedir [18].

Hasar kontrolü geleneksel olarak insan muhakeme ve müdahalesini bekleyen bir işlev olarak görünse de, günümüzde gemi tasarım, inşa ve işletme süreçleri ile etkileşim halinde olup otomatik kontrol mimarisi ve akıllı algoritmalar içermektedir [19, 20]. Hasar Kontrol Sistemi (HKS) gemi personeli ve sistem/cihaz/gemi tasarımına ait çeşitli veri tabanlarını kullanarak gemide hasar durumlarını tespit etme, analiz etme ve restore etme imkanı sağlayan sistemdir [17, 21]. Hasar kontrol sistemi gemide başlıca yara, yangın, sistem arızası ve geminin o anki görev profili kapsamına giren tehditlerine karşı korumayı ve hasarların etkisini en aza indirmeyi amaçlamaktadır [20].

GSS için dağıtım sistemin otomasyonu ve akıllı-uzman sistemlerin kullanımının artması geminin hayatta kalma, güvenlik, personel sayısının azaltılması ve otomatik olarak yeniden yapılandırma prosedürlerinin yürütülmesi açısından son derece kritik öneme sahiptir. Yeni nesil su üstü harp gemilerinde otomatik olarak yeniden yapılandırabilen hasar kontrol sistemi, dağıtım sistemi kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak yük önceliğine bağlı en uygun şebeke yapılandırmasını sağlamaktadır [22]. Burada gemi sisteminde yer alan şalterlerin konumları ve transfer/yedek hatların kullanımının otomatik veya manuel gerçekleştirilecek olması göz önünde bulundurulmalıdır. Su üstü harp gemisinin bir çatışma anında isabet alarak yaralandığı senaryosu dikkate alındığında yeni nesil gemilerin hayatta kalma kabiliyeti, yara veya

hasarın hızlı ve otomatik olarak algılanmasını sağlayan, arızayı karakterize eden daha sonra dağıtım sistemini hayati sistemleri beslemek üzere revize eden/yeniden yapılandıran ve bu yeniden yapılandırma faaliyeti için entegre algılama ve kontrol sistemine gereksinim duyan HKS'nin yeteneklerine bağlıdır. Sistemdeki sağlıklı yüklerin mevcut arıza/hasardan etkilenmesini engellemek için restorasyon adımlarının hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle GGS'de ilgili ekipmanların uzaktan kontrole uyumlu olması gerekir.

Günümüzde su üstü harp gemileri olmak üzere tüm deniz platformlarında elektrik ihtiyacının ve elektriksel ekipmanların artması sistemin yukarıda belirtilen hususlara göre daha etkin tasarım, inşa ve işletme yöntemlerinin incelenmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

Hasar kontrol sistemleri kapsamındaki literatür taraması sonucunda; askeri gemilerde kullanılan hasar kontrol fonksiyonlarının ilk olarak uzman personelden gelen bilgilere ve bu doğrultuda önceden belirlenmiş kurallara dayanan insan muhakemesi ve müdahalesi bekleyen sistemler oldukları sonrasında bulanık mantık temelli kontrol sistemlerin dahil olması ile çalışmaların [23-25] genişletildiği görülmektedir. Uzman sistem yaklaşımı ile gemi elektrik sisteminin meydana gelen hasar/arızaların karmaşık yapısı içerisinde yürütülen restorasyon faaliyetleri için genetik algoritma temelli [19, 26, 27] veya parçacık sürüşü algoritması [28] veya çok katmanlı uzman sistem [29, 30] yaklaşımları üzerine çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Restorasyon faaliyetinde anahtarlama işlemi sayısını en az indirmeyi amaçlayan geliştirilmiş algoritmaların ise GGS'deki anahtarların durumu, yüklerin önem derecesi ve yaşamsal öncelikleri kapsamında da çalışmalarda bulundukları görülmüş olup yük ve anahtarlama elemanları için ağırlık faktörlerinin belirlenmeye çalışıldığı görülmüştür [26, 28, 31, 32]. Hasar kontrol sistemi için yeni geliştirilen uzman sistemler ve yöntemler olasılık tabanlı otonom “kendi kendini iyileştirme” veya “arıza sonrası toparlanma” adı verilen algoritmaları içerisinde barındırmaktadır [33].

Otomatik otomasyona dayalı HKS uygulamaları entegre güç sistemi kullanan bölgesel dağıtım sistemler için bazı literatür çalışmaları tespit edilmiş olsa da gemilerdeki radyal dağıtım sistemleri için otomasyona dayalı akıllı algoritmalar kullanan merkezi bir hasar kontrol sistemi ile GGS'nin restorasyonunu amaçlayan ve aynı zamanda

operatör girdisini de algoritmasına dahil eden bir çalışma literatürde tespit edilmemiştir [34-39].

1.3. Tezin Kapsamı

Radyal dağıtım sistemli gemi güç sistemi için arıza sonrası yeniden yapılandırmayı amaçlayan akıllı hasar kontrol algoritmalarının geliştirilmesi ve geliştirilen yöntem ile farklı optimizasyon algoritmalarının karşılaştırmalı olarak denenmesini kapsamaktadır.

1.4. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasının amacı;

Radyal dağıtım sisteminde kullanılacak akıllı hasar kontrol yönetim algoritmaları geliştirilmesi için yöntem geliştirmek,

Gemi radyal elektrik dağıtım sisteminde güç sistemi işletim limitlerini kullanarak, algoritmaya dayalı sezgisel kuralların kullanılabilmesi,

Önerilen yöntemin çeşitli çalışma koşullarında yük restorasyonu güç sisteminin yeniden yapılandırılmasının gerçekleştirilebilmesi,

olarak sıralanmaktadır.

1.4.1. Tezin ikincil amacı

Önerilen yöntemde farklı optimizasyon metotlarının cevaplarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Tez içeriğinde oluşturulan yöntem ile genetik algoritma, patern arama algoritması, 0-1 tamsayı programlama optimizasyon metotları kullanılarak sonuçlar elde edilmiştir.

Tez çalışmasında günümüzde dünyamız için önemi gittikçe artan deniz platformları ve çevresel etkiler üzerine de çalışma genişletilmeye çalışılmıştır. Sivil ve askeri uygulamaları incelenen güneş enerjisi panellerinin örnek savaş gemisi sistemine uygulanması ve güneş enerjisi panelleri ile generatör sisteminin entegre çalışması da incelenmiştir. Tez içeriğinde önerilen yeniden yapılandırma yöntemi güneş panelli bir gemiye de başarıyla uygulanmıştır. Yöntemin farkı enerji kaynakları ve enerji depolama birimleri ile uygulama alanı bulabileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

1.4.2. Tezin üçüncül amacı

Tez içeriğinde tezin ana konusu üzerinde çalışmaları sunmadan önce; gemi elektrik sistemleri ve özellikle savaş gemilerinin elektrik sistemleri üzerinde çalışan ülkemizdeki uzman personel azlığı da dikkate alınarak savaş gemilerinin elektrik sistemlerinin tanıtımının yapılmasının önem kazandığı değerlendirilmiştir.

Askeri gemi elektrik sistemleri tanıtılırken platform farklılıkları dikkate alınarak denizaltılar ve su üstü savaş gemileri olarak iki kısma ayrılmış ve tez içeriğinde ayrı ayrı sunulmuştur.

1.5. Tezin İçeriği

Tez çalışması 8 bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde; elektrik sistemlerinin deniz platformlarındaki kullanımı ve gelişimi ile gemi güç sistemleri üzerine literatür araştırması sonuçlarına değinilerek tezin kapsamı ve amacı sunulmuştur.

İkinci bölümde; askeri gemilerin elektrik sistemlerinin tanıtımı gerçekleştirilmiş olup platform farklılıkları ele alınarak denizaltı ve su üstü savaş gemilerinin elektrik güç sistemlerinin tanıtılması hedeflenmiştir. Bölüm içerisinde su üstü savaş gemilerinin elektrik sistemlerindeki yeni eğilimler ve hibrit beslemeli güç sistemleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Üçüncü bölümde elektrik dağıtım sistemlerinde yeniden yapılandırma, savaş gemilerindeki hasar kontrol algoritmalarına değinilmiştir.

Dördüncü bölümde ise birçok mühendislik alanında sistem eniyilemesinde kullanılan genetik algoritma, patern arama algoritması, 0-1 ikili doğrusal programlama optimizasyon metotlarına ilişkin temel kavramlar ve radyal yapıda savaş gemisi elektrik dağıtım sistemi için önerilen yeniden yapılandırma yöntemi sunulmuştur.

Beşinci bölümde ise çalışmaya temel oluşturacak su üstü savaş gemisi elektrik dağıtım sistemi için oluşturulan benzetim modeli ve özellikleri kapsamında bilgiler verilmiş ve test sistemi için farklı senaryolar için elde edilen analiz sonuçlarına yer verilmiştir.

Altıncı bölümde son yıllarda ticari gemiler başta olmak üzere askeri gemilerde de uygulama alanı bulmaya başlayan, çevresel duyarlılıklar nedeni ile önem kazanan düşük emisyonlu sistemlerin de tez içeriğinde ele alınması amaçlanmıştır. Önerilen

yöntem fotovoltaik panel grubu ile güç üretimini içeren bir modeli temel alan ilave bir senaryo üzerinde de uygulanmıştır.

Yedinci bölümde ise tez konusu kapsamındaki geliştirilen algoritmanın mevcut gemilerde sağladığı faydalardan ve bu çalışmanın yeni nesil platformlardaki uygulama alanlarından ve deniz platformlarına yönelik gelecek çalışma konularından bahsedilerek, değerlendirmelere yer verilmiştir.

Sekizinci bölümde kaynakçalara yer verilmiştir.





2. ASKERİ GEMİ ELEKTRİK SİSTEMLERİ

Tez içeriğinde gemi güç sisteminin ne olduğunu tanımadan önce savaş gemilerinin temel olarak suüstü ve denizaltı platformları olarak iki kısma ayrıldığını belirtmek, her iki platformunda tarihsel gelişim sürecini incelemek, elektrik sistemleri olarak kullandıkları teknolojileri tanımak, gelecekte kullanmayı hedefledikleri teknolojiler kapsamında bilgi vermenin faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

Bu kapsamda literatür incelemeleri sonucu elde edilen bilgiler ve uzmanlık alanım gereği oluşan mesleki bilgi birikimim ilk olarak denizaltılar ve sonra suüstü gemilerine ait elektrik sistemlerini kapsayacak şekilde sunulacaktır.

Bu bölüm içeriğinde sivil denizcilikte kullanılan ticari platformlar ile askeri gemilerin elektriksel sistemlerinin farklılıkları, platformların tasarımlarındaki farklılıklara da değinilmiştir.

2.1. Denizaltı Elektrik Güç Sistemleri

Belirli bir süre için su altı operasyonlarını gerçekleştirmek üzere tasarlanmış ve inşa edilmiş deniz platformlarına, gemilere “Denizaltı” denir. Denizaltılar; sualtı araştırması, sualtı kurtarma ve denizaltı harekâtı gibi çeşitli sivil ve askeri amaçlar için kullanılmaktadır.

Askeri amaçlı kullanımda düşman su üstü gemilerine ve denizaltılarına karşı icra ettikleri görevler ile harekât alanında sürpriz etkisi yaratan, baskı unsuru oluşturan gizli ve stratejik platformlar olmalarının yanı sıra; istihbarat toplama, terörle mücadele ve özel operasyonlarda da görev alabilmektedirler, hatta bazı nükleer denizaltıların kıtalararası balistik füze atabilme yetenekleri de bulunmaktadır.

Savaş gemisi denildiğinde akla ilk gelen su üstü savaş gemileri olsa da denizaltılarda bu alanda özel bir yer tutmaktadır. Dikkatle incelenmesi gereken ileri teknoloji ürünleri ile donatılmış platformlardır. Su üstü savaş gemileri ile karşılaştırıldıklarında kendilerine has tasarım ve inşa felsefeleri olan, tasarım ve inşası oldukça zorlayıcı platformlar olarak karşımıza çıkmaktadırlar.

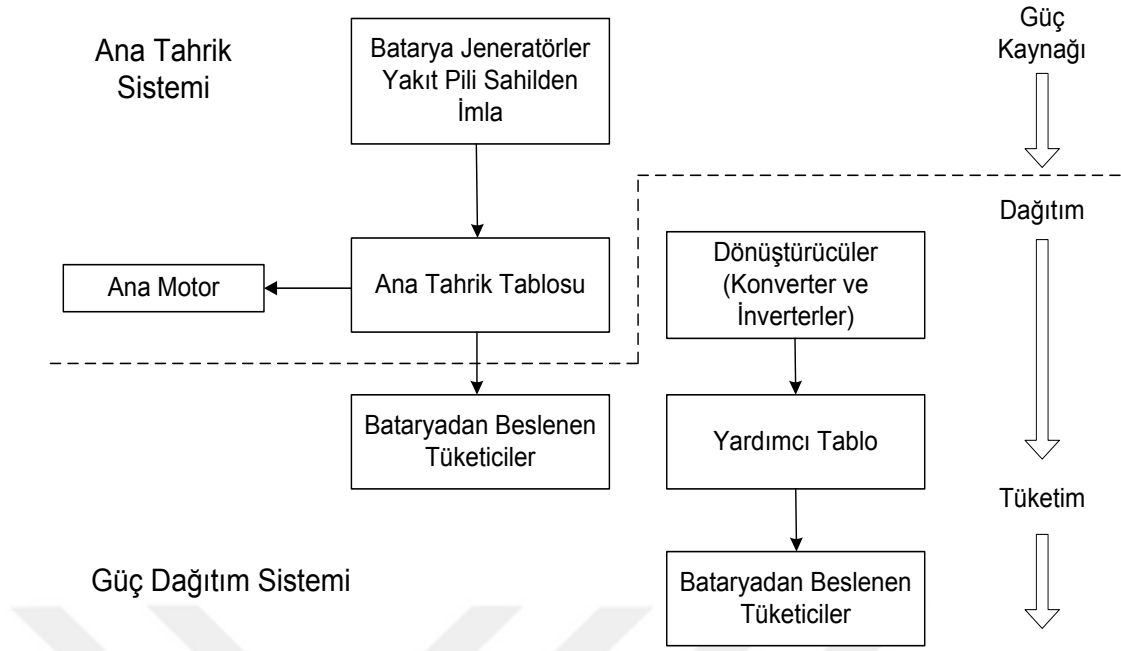
Dünya donanmaları incelendiğinde denizaltı inşa edebilen ülke sayısının sınırlı olduğu ancak denizaltı tasarımı yapabilen ülke sayısının ise daha da az olduğu görülmektedir. Denizaltı tasarım yeteneği olan ülkelerin doğal olarak inşa yetenekleri olduğu da görülmekte ve bu ülkelerin su üstü savaş gemisi tasarım ve inşasında da geliştikleri gözden kaçırılmamalıdır. Kısacası modern bir denizaltıyı tasarlayan ve inşa edebilen bir ülkenin en gelişmiş su üstü savaş gemilerini rahatça tasarlayabileceği ve inşa edebileceği kıymetlendirilmektedir.

Denizaltılar; tasarımı çok iyi optimize edilmiş, çok daha sınırlı bir hacimde birçok sistemin birbirine entegre çalıştığı, sınırlı enerji kaynaklarını sualtında en verimli şekilde kullanan savaş platformları olarak su üstü savaş gemilerine göre daha zorlayıcı tasarım isterlerini barındırmaktadır. Denizcilik mühendisliği (ing. Marine engineering; gemi inşa, makine, elektrik, elektronik mühendisliği) alanında çok farklı teknolojiler için uygulama alanı barındıran bir platform tipidir.

Günümüzde kara araçları, sivil ve askeri su üstü platformları için yeni yeni uygulama alanı bulan ve henüz tam olarak yaygınlaşmayan enerji depolama (batarya, yakıt pili, yakıt pili yakıt bileşenleri ve hidrojen depolama/üretim teknolojileri gibi), elektrik tahriki (elektrik motor teknolojileri, güç elektroniği uygulamaları gibi) vb. teknolojiler denizaltılarda uzun süredir güvenilir bir şekilde kullanılmaktadır [40, 41].

Şekil 2.1’de denizaltı güç dağıtım sistemi genel blok şeması verilmektedir.

Denizaltının ana güç dağıtım sistemin en önemli bileşeni olan ana tahrik tablosu gemideki enerji kaynakları ile tüketiciler arasındaki enerji arayüzünü sağlar ve koruma elemanlarını barındırır. Motor tipi, jeneratör sayısı, batarya grubu sayısı, havadan bağımsız tahrik (HBT) sisteminin var olup olmadığı gibi kriterler ana tahrik tablosunun yapısına ve boyutlara etki etmektedir.



Şekil 2.1. Denizaltı güç dağıtım sistemi blok şeması.

Şekil 2.2’de denizaltı elektrik sisteminin ana bileşenleri güç kaynakları, dağıtım sistemi ve tüketiciler olarak gruplanmaktadır. Burada ana tahrik bileşenleri içerisinde tanımladığımız ve sistem tasarımları birbirleri ile direkt ilişkili olan, denizaltının tasarımına direkt etkisi olan sistemler görülmektedir [42]. Şekil 2.2’de,

Ana motor özelindeki bileşenler “ana tahrik sistemi” başlığı altında (kırmızı renkle),

Generatör dağıtım panosu ile yardımcı ve alt dağıtım sistemleri, ana bara gerilimi haricinde hizmet veren diğer kullanıcılar/yükler için güç dönüşümünü sağlayan dönüştürücüler DC/AC inverter ve DC/DC konverterler “elektrik dağıtım sistemi” başlığı altında (mavi renkle),

Enerji depolama birimleri olan batarya, HBT sistemi ile dizel-jeneratör sistemi, sahil ve sahil şarj bağlantı iştiraki “enerji kaynakları” başlığı altında (turuncu renkle);

Kontrol ve kumanda sistemi olan EMCS (Engineering monitoring control system) ve alt işlemci birimleri ile haberleşme veri ağı sistemi “kontrol kumanda ve otomasyon sistemi” başlığı altında (yeşil renk ile),

EMCS sistemi ile entegre çalışan trim, kompanzasyon, hidrolik sistemler vb. (Gemi manevra ve dengesine kumanda eden sistemlerdir.) ve EMCS ile sadece veri alışverişi olan EMCS’den izlenebilen kendi başına çalışan tekil (ing. Stand-alone) sistemler,

EMCS ile entegre olmayan aydınlatma, muhabere sistemleri gibi sistemler ise “yardımcı sistemler” başlığı altında (yeşil renk ile),

Güç dağıtım sistemindeki yükler olan diğer sistemler ile dümen sistemi gibi platform sisteminin parçası olan EMCS ile kontrol ve geri besleme veri hattı bulunan sistemlerde (gri renk ile) gösterilmiştir.

Denizaltının güç kaynakları olan bataryalar, jeneratör, yakıt pili, şarj bağlantıları ile ana dağıtım tablosu üzerinde ana motora giden güç hattı tahrik sistemi olarak tanımlanabilmektedir. Ana motor ve ana motor çıkış gücünün şaft vasıtasıyla pervaneye aktarılması işlemi de tahrik sisteminin bileşenleri arasında yer almaktadır. Ana dağıtım tablosu sonrasında yer alan alt dağıtım sistemi ise ana tablodan direkt beslenen yükler dışında farklı gerilim seviyelerine geçişi sağlayan dönüştürücüler ile yardımcı dağıtım panosuna bağlı yüklerden oluşmaktadır. Ana motorun çalışma gerilim aralığı ile batarya sisteminin tasarımı ana tahrik tablosunun gerilim aralığının belirlenmesinde doğrudan etkili olmaktadır.

Denizaltı güç dağıtım sisteminin; tahrik sistemi, elektrik dağıtım sistemi, enerji kaynakları, kontrol sistemi ve yardımcı sistemler ile olan veri ve güç hatları kapsamındaki ilişkisine “elektrik platform teknolojileri” olarak Şekil 2.2’de yer verilmiştir [42]. Bu örnek özellikle alt sistem birimlerine değinmesi ve kontrol kumanda otomasyon sistemi ile sistemler arası güç hattı ve veri hattını göstermesi açısından incelenmektedir.

Şekil 2.3’te Permasyn tip sabit mıknatıslı ana tahrik motoru kullanan bir denizaltı sistemi örnek verilmiştir [43]. Bu taslak örnek özelinde denizaltı dağıtım sistemi incelediğinde;

Güç kaynakları olarak 2 batarya kuyusu, 2 dizel jeneratör bulunduğu, Havadan Bağımsız Tahrik Sisteminin (HBT) enerji depolama birimi olarak dağıtım sistemine entegre edildiği,

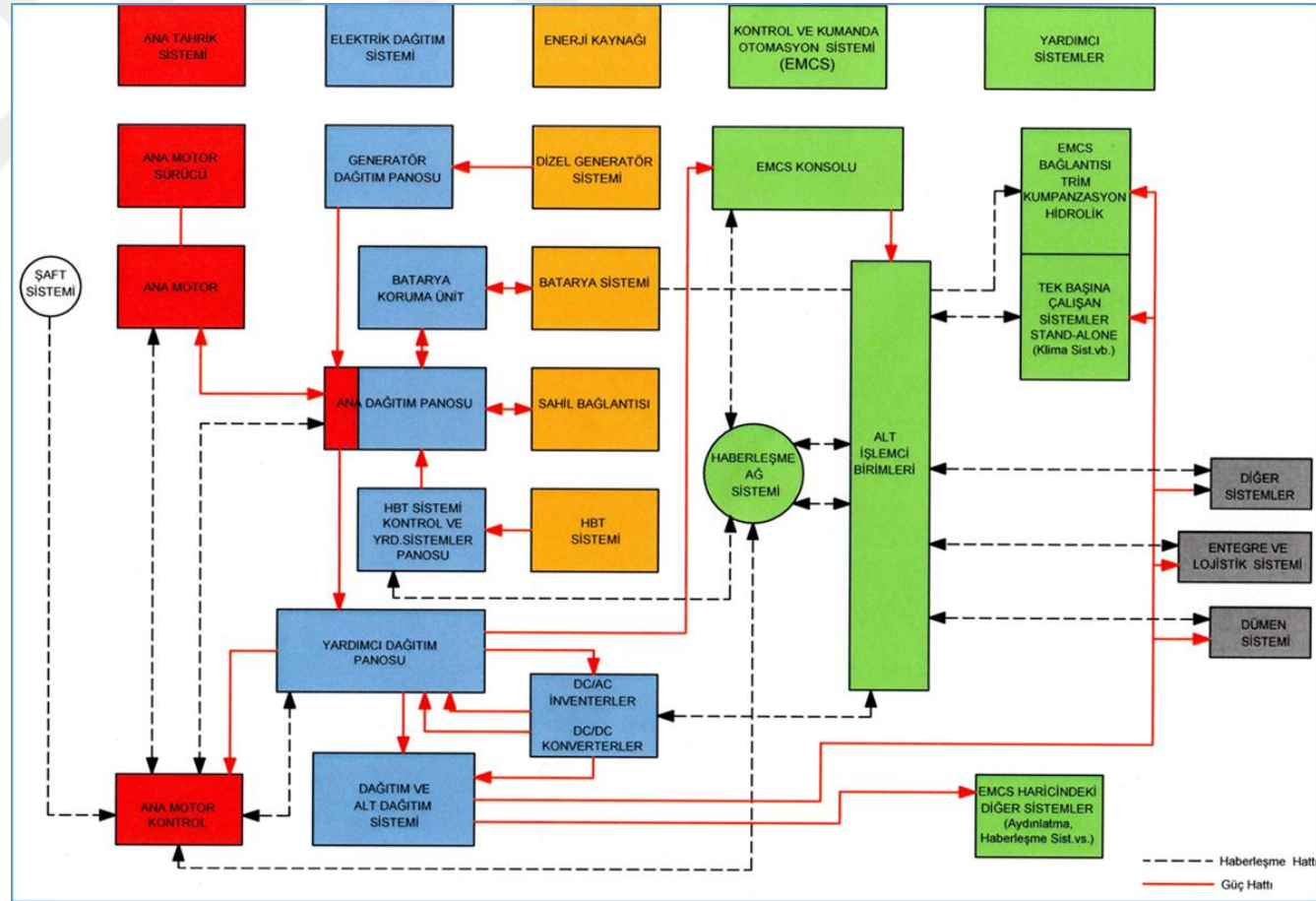
Ana güç hattının yedeklenebilirlik konsepti olarak ana tahrik motorunu birbirinden bağımsız iki güç hattı ile beslediği, arıza durumunda ise bu güç hatlarının ortak bara olarak hareket edebilecek şekilde yapılandığı, ana tahrik motorunu ayrı güç hatları ile besleyebilen inverter modülleri bulunduğu,

Otel yükü olarak tanımlanabilecek olan yüklerin ise Gemi Dağıtım Sistemi 1 ve 2 olarak yedeklenebilirlik konseptine uygun bir şekilde ayrı hatlar üzerinden beslendiği,

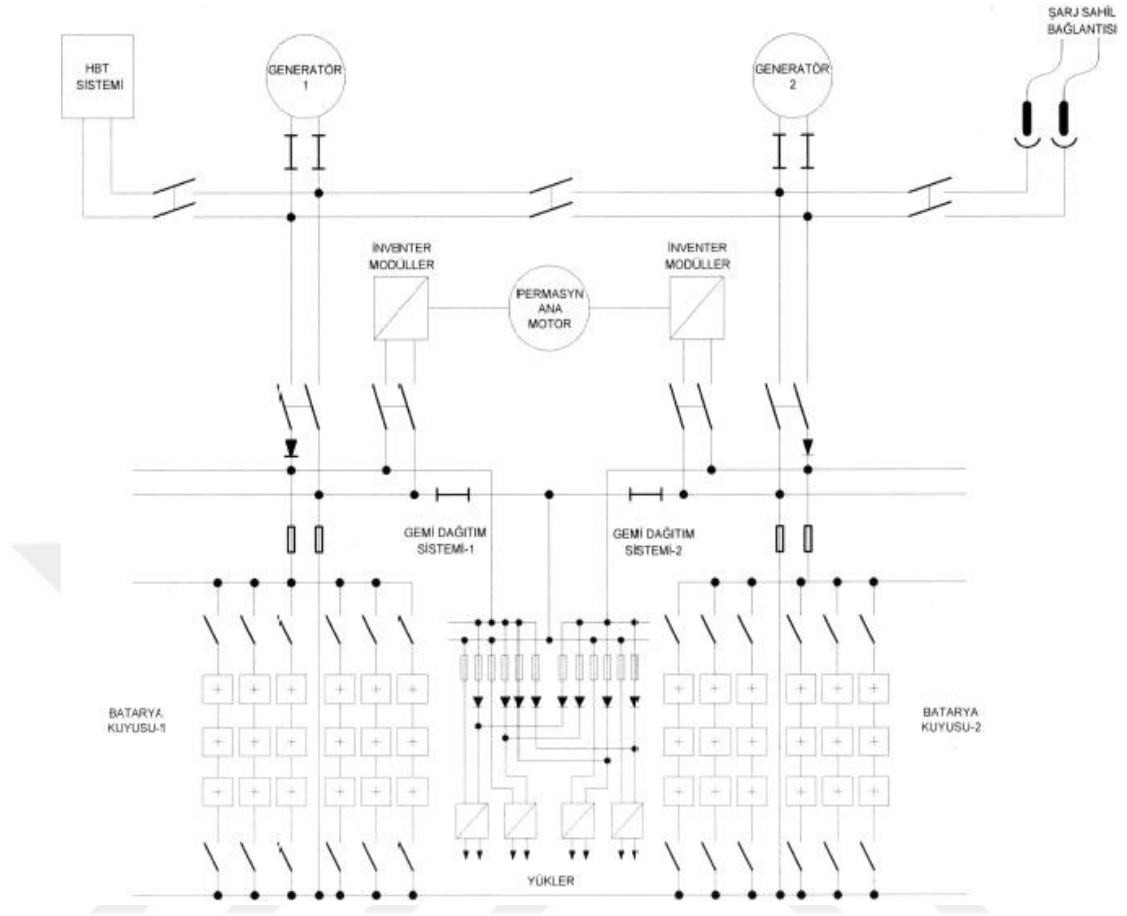
Güç dağıtım sisteminde görev yapan diyot modüllerin ise alt seviyedeki herhangi bir sebeple oluşan kısa devrelerin bir üst seviyeye yansımaları engellediği,

Bataryaların gemideki dizel jeneratörün kullanımına gerek kalmadan böylece dizel çalışma saatlerini arttırmadan sahil imkânları ile liman durumunda şarj edilebilmesi için sahil şarj bağlantısı bulunduğu görülmektedir.





Şekil 2.2. D/A Elektrik platform teknolojileri [42]

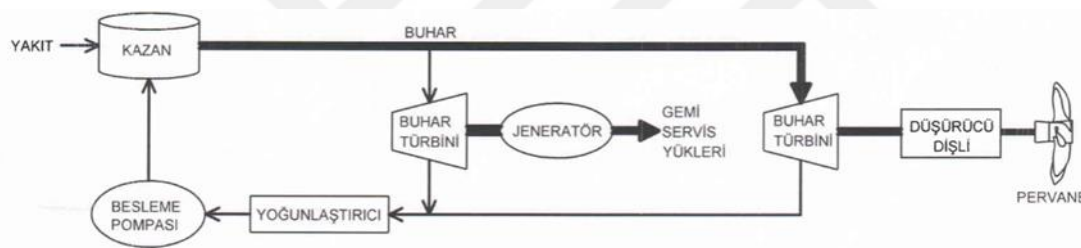


Şekil 2.3. Denizaltı güç sistemi tek hat şeması [43]

2.2. Suüstü Harp Gemisi Elektrik Güç Sistemleri

Gemilerde elektrik enerjisinin kullanımı ilk olarak 1880’li yıllarda yelkenli gemiler ile buharlı gemilerin elektrik enerjisini kullanması ile başlamaktadır. Thomas Edison’un geliştirdiği aydınlatma teknolojisinin ilk olarak 1880’de yolcu gemisi olan SS Columbia’da kullanılması ile elektrik enerjisinin deniz platformlarında uygulama alanı bulunduğunu görülmektedir [44]. Elektrik sistemini ilk kullanan savaş gemisi ise USS Trenton isimli bir Amerikan donanma gemisidir [5, 45]. Bu savaş gemisi yelkenli bir tekne olmasının yanında hem çelik gövdesi hem de buhar gücü ile sevk edilmesi onu döneminin iki yeni teknolojisini de barındıran yenilikçi bir platform yapmış ve görev süresi içerisinde modernize edilerek Edison firmasının aydınlatma sistemi ile donatılarak elektrik enerjisini kullanan ilk savaş gemisi olmuştur. Daha sonraki

19. yüzyılın son çeyreğinde gemi inşa sektörünün ana sevk sistemi olarak yelkenden buhar gücüne geçiş aşamasında birçok yeniliğin platformlarda denendiği görülmektedir (Şekil 2.4'te buhar gücü ile çalışan gemi şeması sunulmuştur.). Bunlar arasında buhar gücünden pistonlu stim makinelerine geçiş ve gemi sevk sistemlerinin pistonlu buhar makinesi teknoloji ile tanışması örnek verilebilmektedir. Pistonlu buhar makineleri ile çalışan pervane sistemlerinin tasarımlarında her ne kadar yüksek süratte çalışacakları dikkate alınsa da yüksek süratli tahrik sistemine direkt bağlanmış olmasının sonuçlarının tatmin edici olmadığı görülmüştür. Gemi tasarımcıları çözüm arayışına girmişlerdir. Gemi tasarımcıları buhar türbinine direkt bağlı pervane kaynaklı soruna çözüm olarak gemiler için düşürücü dişli grubu (reduction gear) tasarlamaya başlamışlar ve aynı zamanda da elektrik tahrikli gemi üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmışlardır.



Şekil 2.4. Stim tahrikli eski tip gemi şeması [45]

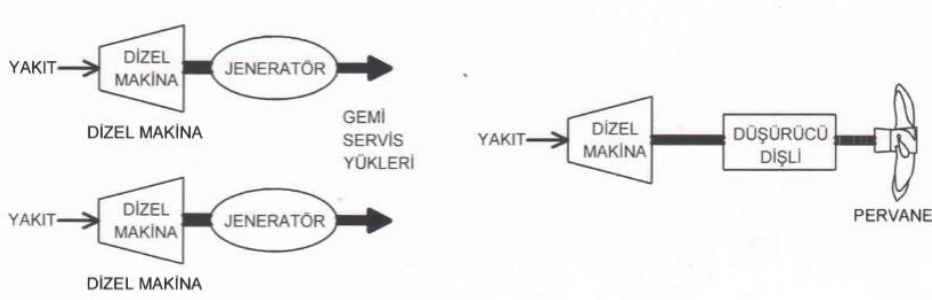
Elektrik tahrik sisteminin uygulama alanı bulunduğu bu dönemde Amerikan donanmasına ait su üstü gemisi USS Jupiter ilk girişim olarak değerlendirilebilir [45]. Bu geminin birkaç teknolojiyi üzerinde barındıran bir yapıya sahip tasarlandığı görülmektedir. Gemi dizel tahrik sistemine, turbo-elektrikli bir tahrik sistemine, bununla birlikte direkt bağlı bir buhar türbinine sahiptir ve bu sistemlerden istediği ile seyir yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu tasarımdaki asıl başarının turbo-elektrikli tahrik sistemi olduğu görülmekte olup Amerikan donanması tarafından bu başarı sonrasında USS Jupiter bir uçak gemisine (USS Langley) dönüştürmüş ve daha sonra inşa edilen uçak gemileri de turbo-elektrik tahrik sistemi kullanmışlardır. Bu ilk nesil turbo-elektrik tahrik sistemlerinde geminin hız değişimini günümüzdeki güç elektroniği uygulamaları ile gerçekleştirme olasılığı olmadığından oldukça karmaşık olarak nitelendirilebilecek frekans değişimi, generatör setlerinin geriliminin

değiştirilmesi, motorların kutup sayısının dinamik olarak değiştirilmesi gibi teknikler kullanılmıştır.

Birinci Dünya Savaşı sonrasında gemi inşa endüstrisindeki büyük ölçekli gemi inşa etme yarışına uluslararası anlaşmalar ile sınırlamalar getirilmesi ile ülkelerin gemi inşa kapasitesi sayı ve deplasman olarak sınırlandırılmıştır. Bu sınırlamalar nedeni ile “turbo-elektrik tahrik sistemlerinin” birçok gemideki başarısına karşılık “buhar-türbinli tahrik sistemlerinin” daha düşük deplasmana izin veren bir teknoloji olması dikkate alınmış ve daha düşük deplasmana izin veren teknolojiler ile savaş gemilerinde daha fazla silah, cephane taşıyabilme imkânı ön plana çıkmıştır.

Elektrik tahrik sistemleri buz kırıcı gemiler, araştırma gemileri ve özellikle denizaltılar için o dönemde de sık kullanım alanı bulsa da yolcu gemileri, büyük savaş gemileri de dâhil olmak üzere birçok gemide tahrik sistemi olarak dişli sistemi üzerinden gücü pervaneye ileten buhar türbinli sistemler (geared steam turbine drive) daha çok kullanılmaya başlanmıştır.

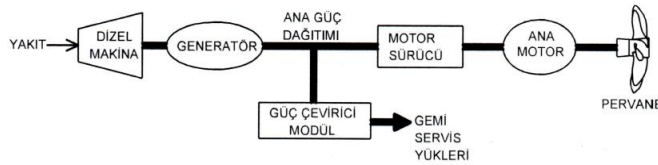
Bir sonraki teknolojik gelişim olan buhar gücünden içten yanmalı motorlara geçiş ile gemilerin tahrik sistemleri ve elektrik güç dağıtım sistem yapıları oldukça değişmiştir. Burada dizel ve gaz türbininin gemi tahrik sistemlerinde kullanılmasında sistemlerin işletilmesine yönelik işgücü ihtiyaçlarında azalma, bakım kolaylığı, yakıt tüketiminde yüksek verim, hızlı devreye alabilme gibi sistem özelliklerinin etkili olduğu görülmektedir. Ancak buhar gücü kullanıldığında dahi mevcut olan elektriksel yükleri besleyen gemi elektrik dağıtım sistemi ile tahrik sisteminin bağlantısı bu sistem yapısı ile ortadan kalkmış ve bu durum yüksek güç ihtiyacı bulunan gemi tahrik sistemi ile birlikte yüklerin yüksek güç ihtiyacı dikkate alındığında büyük ölçekli generatör bulundurma ihtiyacını doğurmuştur. Yüksek güçlü jeneratör sistemlerinin gemide bulundurulması ile tam kapasite çalışmasına nadiren ihtiyaç duyulacak jeneratörlerin gemilerde konumlandırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Şekil 2.5’te içten yanmalı motorların kullanımı ile ortaya çıkan tahrik sistemi ve güç sisteminin birbirinden ayrıldığı ayrık güç mimarisi şematik gösterimi sunulmuştur.



Şekil 2.5. İçten yanmalı motorların kullanımı ile tahrik sistemi ve güç sisteminin ayrıldığını gösteren “ayrık güç sistemi” yapısı [45]

20. yüzyıl başlarında eski turbo-elektrik ve dizel sistemleri yerine motor sürücülerin elektrik tahrik sistemlerinde kullanıldığı görülmektedir.

Gemi tahrik sistemi ile servis sistemi (gemi yardımcı güç dağıtım sistemi); buhar türbinli sistemlerde birbirine mekanik olarak bağlı olmasına rağmen elektriksiz olarak birbirinden ayrı tutulmuş, içten yanmalı makine (dizel makine vb.) kullanan gemilerde ise birbirinden tamamen izole yapılandırılmış olmasına karşın yeni nesil elektrik tahrik sistemleri tasarım mimarisinde ise tekrar bir araya getirilmiştir. Şekil 2.6 Entegre güç dağıtım sistemi kullanan elektrik tahrikli gemideki güç sistemi yapısını göstermektedir.



Şekil 2.6. Entegre güç dağıtım sistemi kullanan elektrik tahrikli gemideki güç sistemi yapısı [45]

Günümüzde bu ortak tasarım mimarisi yapısı Donanmamızda görevlerine göre tanımlanmıştır ve tahrik sistemini besleyen elektrik dağıtım sistemi kısmı “ana güç/elektrik dağıtım sistemi” olarak, ana tahrik yükleri haricindeki servis yüklerini besleyen elektrik dağıtım sistemi kısmı ise “yardımcı güç/elektrik dağıtım sistemi” olarak ifade edilmektedir.

Terminolojiyi açıklamak için elektrik tahrikli sistem örneği olarak envanterimizdeki denizaltılar ele alınırsa, denizaltılar sualtında batarya enerjisi ile seyir yapmakta, su üstünde veya şnorkelde ise dizel-jeneratör sistemini devreye alarak elektrik enerjisi elde ederek bataryasını şarj etmekte ve aynı zamanda tahrik sistemine enerji sağlamaktadır. Sualtında ana güç kaynağının temel olarak batarya olduğu dikkate

alındığında elektrik dağıtım sistemi tasarım mimarisinde bir ortaklık söz konusudur. Ancak gemideki dağıtım sistemi görevlerine göre terminoloji iki farklı şekilde ifade edilmektedir. Elektrik tahrikli bir sistem olarak bataryaların gerilimini kullanan bir “DC ana dağıtım sistemi” ve servis yükü/otel yükü oluşturan diğer yükler için ihtiyaç duyulan AC ve farklı DC gerilim seviyeleri ise “yardımcı dağıtım sistemi” olarak adlandırılmaktadır.

Elektrik tahrik sistemlerinde kullanılan itici motorların değişken frekans kontrollü sürücüler tarafından kontrol edilebilmeleri; gemi servis güç sistemi ile tahrik sistemi yapısının birleştirilebilmesindeki en önemli faktördür. Böylece hem servis güç ihtiyacı hem de tahrik gücü ihtiyacı ortak generatör setleri üzerinden karşılanabilmektedir. Bu konsept, güç istasyonu konsepti (power station concept) , entegre tüm elektrikli gemi (integrated full electric propulsion), entegre güç sistemi (integrated power system-IPS) gibi isimlerle anılmakla birlikte genel kullanım IPS’dir [46]. Yeni nesil bu tip elektrik tahrik sistemlerinin kullanımı sivil denizcilikte de yaygın kullanım alanı bulmuştur.

Yeni nesil elektrik tahrikli gemilerin mekanik tahrikli sistemlerin yerini almasında geminin görev isterlerinin etkin olduğu görülmüştür. Günümüzde IPS konseptlerinde daha karmaşık yapıdaki hibrit uygulamalar yer almaktadır. Hibrit yapılarda hem mekanik hem elektrik tahrik sistemi bileşenleri öngörülmektedir. Tarihsel süreçte elektrik tahrik sisteminin gemilerdeki ilk uygulamalarında oldukça ağır, çağdaşlarına göre daha pahalı, yüksek süratte mekanik sistemlere göre daha az verime sahip oldukları görülmekte olup günümüzde ise teknolojinin ilerlemesi ile bu bakışın tamamen değiştiği anlaşılmaktadır [47].

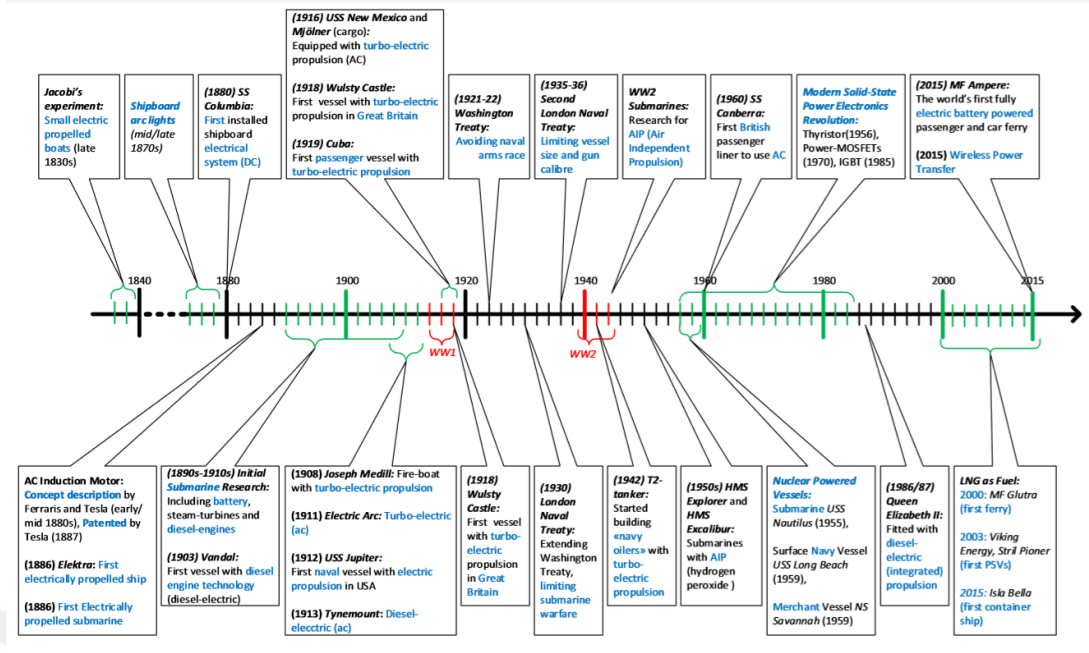
Günümüzde teknolojik eğilimin elektrik tahrik sistemleri üzerinde olmasının farklı sebepleri olmakla birlikte sivil denizcilik alanında en büyük etken gemi sahiplerinin uluslararası denizcilik standartları (MARPOL) gereği hava kirliliğini azaltmak için egzoz emisyon düzenlemelerine maruz kalmalarıdır [48]. Egzoz emisyon düzenlemeleri yanında yakıt fiyatlarındaki değişkenlik/artışlar da sivil gemicilik sektörünü alternatif yakıt tipleri, atık enerjinin geri kazanımı, yakıt pili, enerji depolama sistemleri gibi alternatif teknolojileri kapsayan araştırmalara yönlendirmiş ve alternatif teknolojilerin gemi sistemlerinde uygulama alanı bulunmasına olanak sağlamaktadır [49].

Askeri gemiler değerlendirildiğinde ise geleneksel generatör setleri için yüksek güç ihtiyacı bulunan gelişmiş sensör, silah sistemlerinin güç ihtiyaçları (solid state radar, laser silahları/topları, manyetik hızlandırıcılı top vb. yeni teknolojiler), görevlere göre değişken zorlayıcı yük profili, doğrusal olmayan yükler günümüz savaş gemilerinin elektrik güç sistem tasarımcılarını zorlamaktadır [50]. Hâlihazırda yer alan su üstü platformlarında tahrik sistemi yükleri hariç hiçbir yük tek başına geminin generatörlerinin kapasitesinden büyük olmamaktadır ancak tahrik sisteminden farklı olarak günümüzde değişken kaotik yük yapıları, yüksek güç talepleri ile servis yüklerinin yönetilmesi teknik/finansal boyutlarda dikkate alınarak günümüz gemi tasarımcılarının ilgilenmesi gereken en önemli alanlardan birisi olarak karşımıza çıkmaktadır [51, 52].

Savaş gemilerinin gelişim sürecine dikkat edildiğinde elektrik güç ihtiyacının yıllara sari olarak arttığı görülmekte ve günümüzdeki yeni nesil silah/sensör sistemleri ile bu talep hız kazanmaktadır. Bu durum güç yoğunluğunun artışı ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Güç yoğunluğunun artırılması yönelik olarak savaş gemilerinde kullanılması öngörülen bazı teknolojileri sıralayacak olursak; geniş bant aralıklı güç elektroniği, süper iletken malzemeler, büyük ölçekli enerji depolama sistemleri (bataryalar, kapasitörler, uçan tekerlek-flywheels), gelişmiş kontrol konsepti, verim iyileştirmesi (enerji geri kazanımı vb.), siber güvenlik, alternatif mimari örnek verilebilir [45]. Sivil gemilerde ise güç yoğunluğu yerine sürdürülebilirlik, yakıt ekonomisi, emisyon değerlerini karşılayabilme gibi konu başlıkları üzerinde çalışmaların yoğunlaşacağı öngörülmektedir [53].

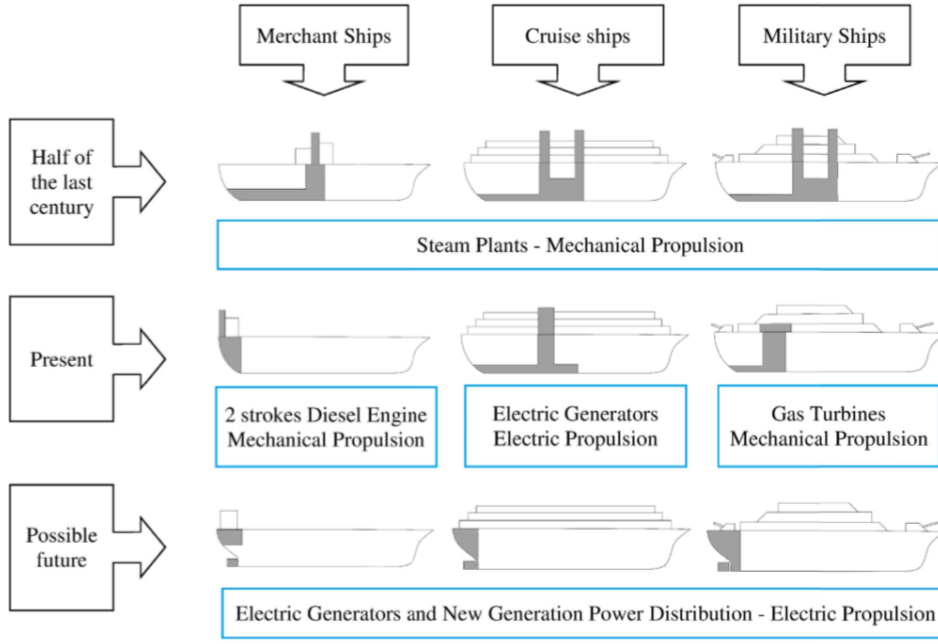
Dünya üzerinde gemi elektrik sistemleri ile ilgili gelişmeler zaman ekseninde toplu olarak Şekil 2.7’de sunulmuştur.



Şekil 2.7. 1830-2015 yılları arasında gemi elektrik sistemlerindeki gelişim özeti [44]

Gemilerin elektrik dağıtım sistemi yapısının en çok etkileyen unsur geminin sevk sistemi yapısıdır. Sevk sistemine karar verilirken de görev ihtiyaçları ön plana çıkmakta ve görev ihtiyaçları dikkate alınarak belirlenen tahrik sistemi elektrikli, dizel, stim, gaz türbini, hibrit (CODAG/CODOG vb.) vb. dikkate alınarak gemi elektrik güç dağıtım sistemi tasarlanmaktadır. Bu nedenle gemi güç dağıtım sistemi üzerinde yapılacak çalışmalarda ilk olarak tahrik sistemi üzerinde bilgi edinilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

Gemilerin ticari gemi, yolcu gemisi ve askeri gemiler olarak ayrılması durumunda geçtiğimiz asrın ortasında, günümüzde ve gelecekteki platformda yer alan veya yer alacak güç üretimi-dağıtım ve tahrik sistemlerinin elektrik sistemleri başlığı altında geminin genel yerleşimdeki oranı Şekil 2.8’de görsel olarak sunulmuştur [54].



Şekil 2.8. Gemi elektrik sistemlerinin platform bazında genel yerleşimdeki oranı [54]

Elektrik güç üretimi ve dağıtımı için harcanan hacim gelecekte daha da azalacağı ancak etkisinin tahrik sisteminin de tamamen elektrikli olması ile artacağı öngörülmektedir.

Mekanik tahrik sistemlerinden gaz türbininin örnek olarak ana tahrik elemanı olarak kullanıldığı varsayıldığında; gaz türbinin ağırlığı ve hacmi nedeni ile gemi karinasına aşağı konuma monte edilme zorunluluğu bulunduğu ancak türbini sabitleyen kaide ve destek elemanlarının fazlaca yer kapladığı, bu durumda da ağırlık ve hacim açısından gemiye kötü bir etkisi olduğu bilinmektedir. Gaz türbinin düşürücü mekanik bağlantı ile pervaneye bağlandığı, gaz türbinin hava devrelerinin çok yer kapladığı bunun da hacim ve ağırlık açısından gemi tasarımında olumsuz bir etkisinin olacağı bilinmektedir [54, 55]. Gemi karinasının yerleşim açısından küçük olamaması geminin form direncini arttıracak ve verimini düşürecektir. Ayrıca gaz türbini sistemlerinin tek yöne devirli oldukları değerlendirildiğinde hem sürat değişimini sağlayabilmesi, hem de tornistan (geri) yönde hareket edebilmesi için sabit devirle dönen pervanede kanat açılarının değiştirilebilir olmasına ve hatta ters yöne çevrilmesine ihtiyacı olduğu ve bunun da pitch kontrol (CRPP olarak adlandırılır) sistemi ile gerçekleştirilebileceği bilinmelidir [56]. Ancak CRPP sistemi de pervane verimi açısından sabit kanatlı pervaneler kadar iyi sonuçlar vermediği değerlendirildiğinde yakıt tüketiminin

artacağı ve geminin menzil/dayanıklılık isterlerine olumsuz etkisi olacağı görülmektedir [56].

Elektrik tahrikli sistemlerde ise mekanik sistemlerin ihtiyaç duydukları yardımcı sistemler yerine verimli motorlar, verimli sabit pervane kullanımı, sürücüler ile esnek yumuşak bir şekilde sürat ayarlayabilme yeteneği ve dişli gürültülerinden kurtulabilme, daha küçük gemi gövdesi tasarımı (karinası daha dar gemiler ile form direncinin azaltılması), gemide hacim ve ağırlık avantajı sağlaması gibi olumlu etkiler beklenmektedir [56, 57].

Gemide enerji üretim birimi; dizel makine, generatör ve uyartım sisteminden meydana gelmektedir. Dizel makine sabit devirde çalıştırılarak çıkışında elde edilen moment generatöre iletilmektedir. Bu momentle generatör mekanik hareketi elektrik enerjisine çevirmekte ve yüklerin ihtiyacı olan enerjiyi üretmektedir. Otomatik gerilim regülâtörü aracılığıyla generatör uç gerilimi ve generatör ana dağıtım barasının gerilimi sürekli olarak nominal değerinde işletilmektedir [58, 59].

Gemi güç sistemin güvenliğini, verimini ve güvenilirliğini arttırmak ve daha etkin bir şekilde elektrik dağıtımının yapılabilmesi amacıyla birden fazla güç üretim ünitesine gereksinim duyulmaktadır. Genel işletme koşullarına bağlı olarak generatörler tek başına ve paralel olarak çalıştırılabilmektedir. Generatörler ana dağıtım panolarına bağlanmaktadır. Ana dağıtım panoları bara transfer şalterleri vasıtasıyla yük, yük merkezleri ve generatörler arasında güç transferine imkân tanımaktadır.

Gemilerde güç ihtiyacını karşılamak için güç kaynağının yedeklenebilirliği dikkate alınarak iki veya daha fazla generatör kullanılmaktadır. Generatörlerin herhangi bir veya birkaçında arıza meydana gelmesi durumunda acil durum generatörleri devreye alınabilmektedir. Acil durum generatörü, acil durum aküleri ve ana güç beslemesinde bir arıza olduğunda yaşamsal yüklere elektrik enerjisini sağlamaktadır. Acil durum generatörünün ayrı olduğu sistemlerin yanında sistemde rezerv olarak kullanılan generatörün de acil durum generatörü gibi görev yaptığı tasarımlarda mevcuttur.

Gemilerdeki güç kaynaklarına bakıldığında liman durumunda kullanılmak üzere sahil bağlantı iştiraki ve beslemesi bulunmaktadır. Limanda generatörlerin çalıştırılmadığı durumda gemi yükleri sahil beslemesinden sağlanmaktadır.

Gemi güç sistemi; elektrik enerjisi üreten güç üretim üniteleri, yüklerin ihtiyaç duyduğu gerilim ve frekans değerlerini gücü dönüştüren güç dönüştürme üniteleri

(inverter/konverter/transformatör), yüklere gerekli enerjiyi iletmemizi sağlayan dağıtım sistemi, bu sistemlerin korunması, kumanda edilmesini sağlayan koruma-kontrol birimlerini içeren tüm ekipman ve donanımları kapsamaktadır [59, 60].

Konvansiyonel harp gemilerinde dağıtım sisteminde 440V, 230V, 115V 60Hz, 115V 400Hz gerilim seviyesine ihtiyaç duyulmaktadır [61, 62]. 400Hz'e ihtiyaç duyan sistemler, silah sistemleri ve komuta-kontrol sistemleridir. Generatörlerden elde edilen enerji transformatörler, konverterler kullanılarak ihtiyaç duyulan gerilim ve frekans değeri elde edilmektedir [46, 61].

Harp gemisinin ana gerilim karakteristiği yaygın olarak 440 V 60Hz olsa da bazı gemilerde 380 V 50 Hz kullanıldığı görülmektedir. 380 V 50 Hz kullanılmasındaki ana amaç ülkemizin sanayi altyapısının da bu gerilim seviyesini kullanması olup, bu durum özellikle platform sistemleri için gemiye adapte edilecek cihaz/sistemlerin iç piyasadan tedarik edebilme kolaylığı sağlamaktadır. 380 V 50 Hz gerilim seviyesi kullanan harp gemileri görevleri bizim karasularımız olan gemilerdir (örneğin Sahil Güvenlik botları). Savaş gemilerinin uluslararası sahada görev yaptıkları, uluslararası limanların alt yapılarını da kullandıkları dikkate alındığında geminin ana gerilim seviyesi belirlenirken uluslararası sivil/askeri standartlar da dikkate alınmaktadır ve bu nedenle 440V 60Hz donanmadaki ana gerilim karakteristiği olarak belirlenmiştir. Dünya bahriyesinde uçak gemisi veya özel görev icra eden yüksek güç isteri bulunan elektrik tahrikli gemilerde 4160V seviyesinde de güç kullanıldığı bilinmektedir [3, 46, 63-65].

Harp gemilerinde tulumbarlar, pompalar, kompresörler, fanlar, genel aydınlatma, havalandırma gibi sistemler yardımcı sistemler olarak adlandırılmaktadır. Aydınlatma ve diğer düşük güçlü yardımcı sistemler 110V veya 220V ile çalışmaktadırlar. Gerekli gerilim seviyeleri ana besleme kaynağına bağlı transformatörlerden elde edilir.

Geminin ana elektrik gücü, acil durum generatörlerine ihtiyaç duyulmadan geminin normal çalışması, görevini ifa etmesi ve içindeki personelin yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli yardımcı hizmetlerin tümünü karşılayacak düzeyde olmalıdır. Gemilerde elektrik enerjisi ihtiyacı günden güne artmaktadır. Bu nedenle gemilerin tasarım aşamasında özellikle de harp gemilerin tasarımında artan elektrik ihtiyacına uygun olacak şekilde ve gelecekte ihtiyaç duyacağı sensör/sistem yenileme,

platform modernizasyon ihtiyaçlarını da göz önünde bulunduracak şekilde dizayn ve inşa marjını bırakılmalıdır.

Gemi sistemlerinde ağırlık ve hacim açısından kısıtlamaların bulunması ayrıca üretim ve işletme açısından bütçe sınırlarının olması birçok mühendislik problemini meydana getirmektedir. Özellikle de harp gemilerinin görev fonksiyonlarının ilave donanım, sensör ve silahlara ihtiyaç duyduğu dikkate alındığında problem daha da karmaşık hale gelmektedir. Harp gemilerinde tasarım aşamasında; ağırlık-hacim dengesi, hareket isteklerini karşılayacak şekilde görev kabiliyetinin belirlenmesi, bu kabiliyetlerin değişik sensör/silah/platform sistem konfigürasyon seçenekleri ile artırılması değerlendirilirken maliyet fonksiyonları da göz önünde tutulmalı ve tasarım aşamasında en uygun tasarım seçenekleri belirlenmelidir. Tasarım, imalat/üretim ve devreye alma süreçleri için en uygun (optimum) olan belirlenmektedir. Gemi elektrik güç sisteminin tasarımında dikkat edilmesi gereken temel hususlar aşağıda özetlenmiştir.

Dağıtım sisteminin yapısı; dağıtım sistemi tasarımında geminin konsept tasarım aşamasından itibaren başlayarak yüklerin sınıflandırılması (yaşamsal, yarı yaşamsal, yaşamsal olmayan gibi) dikkate alınarak çeşitli arıza/hasar senaryoları altında geminin görevine devam etmesine yönelik çalışmalar yapılarak gemiye ait yedeklenebilirlik konsepti geliştirilmeli ve dağıtım sistemi bu kapsamda tasarlanmalıdır.

Generatör kapasitesi ve sayısı; generatör kapasitesi ve sayısını belirlemek için yük analizi yapılmaktadır. Gemide kullanılan farklı gerilim seviyeleri ve farklı görev tiplerindeki çalışma koşulları için yapılan yük analizi gemideki konverter/inverter/transformatör gibi gerilim dönüştürücülerinin de kapasitelerinin boyutlandırılmasında kullanılmaktadır. Su üstü harp gemilerini denizaltılar ile karşılaştırdığımızda hacim kritik tasarım olan denizaltılara göre gemideki elektrik güç sisteminin kapasitesinin boyutlandırılması daha kolaydır. Yük analiz hesaplamalarında yüklerin eş zamanlı çalışması dikkate alınmakta olup hesaplamalarda yüklere ait eş zamanlılık faktörleri kullanılmaktadır [61]. Su üstü gemilerinde bu faktör her bir görev fonksiyonu için genel olarak tanımlanabilse de denizaltılarda yükler için özel olarak tanımlanmaktadır. Elektrik tahrikli su üstü gemilerinde de aşırı bir boyutlandırılma yapılmaması için denizaltılardaki gibi her bir yük için özel tanımlanması gerekmektedir. Yükler için tanımlanan bu faktörlerin optimum olarak nasıl belirlendiğine yönelik olarak elektrik tahrikli gemilerde bilim

dünyasını çalışmaları devam etmektedir [46]. Yük analiz hesaplarına ilave olarak yüklerin dağıtım sistemini yapısına dengeli dağıtıldığı da ayrıca hesaplanmaktadır, bu hesaplama elektrik denge hesabı olarak da anılmaktadır. Boyutlandırma hesaplamalarında maliyet ve gemiye yerleşim açısından aşırı dizayna kaçmamak önem kazandığı kadar gücün geminin görevleri için yetersiz kaldığı bir dizayn yapmamak da bir o kadar önemlidir. Ayrıca elektrik sistem tasarımında dizayn, inşa ve büyüme marjinlerini de dikkate almak gerekmektedir.

Gemi ana gerilim seviyesi ve frekansın belirlenmesi; gemi elektrik dağıtım sisteminde gerilim seviyesinin belirlenmesi dizayn spiralinin ilk adımlarına karşılık gelmektedir. Başka bir ifade ile konsept tasarım aşamasından itibaren incelenmesi gereken bir tasarım işlem maddesidir. Gemideki ana gerilim seviyesi; elektrik tahrikli bir gemide tahrik motorunun kapasitesinin belirlenmesinde ve kabloların, koruma elemanlarının seçiminde de etkin rol oynar.

Gemilerde kullanılan üç fazlı gerilim seviyeleri 440V-480V-690V-3.3kV-6.6kV vb. gibidir. Geminin görevleri ve elektrik sisteminin servis sağlayacağı yük ihtiyaçları, hareket ihtiyaçları ve lojistik hususlar ana gerilim seviyelerinin belirlenmesinde etkindir. Gemilerde ana dağıtım sistemi altında alt gerilim sistemleri ve alt dağıtım sistemleri de yer almaktadır.

Kablo kesitlerinin belirlenmesi (kısa devre, yük akışı ve gerilim düşümü hesabı); akım taşıma kapasitelerine, kısa devre dayanım kapasitelerine ve gerilim düşümü hesaplarına göre besleme kablolarının kesitleri belirlenmektedir.

Koruma ekipmanlarının seçilmesi; kısa devre analizi, gemi elektrik güç sistemindeki uygun koruma elemanlarının boyutlandırılması ve uygun elemanların belirlenmesi için önemli ve gereklidir. Ayrıca seçilmiş olan dağıtım sistem yapısı ve koruma elemanları özelliklerinin analizlere dahil edilmesi ile arıza senaryoları altında koruma performansları da izlenmekte ve kontrol edilebilmektedir. Ana dağıtım tablosundaki kısa devre akımlarının hesaplanması da önemlidir.

Koruma koordinasyonu çalışmalarının yapılması; seçici bir koruma sistemini oluşturmaktadır.

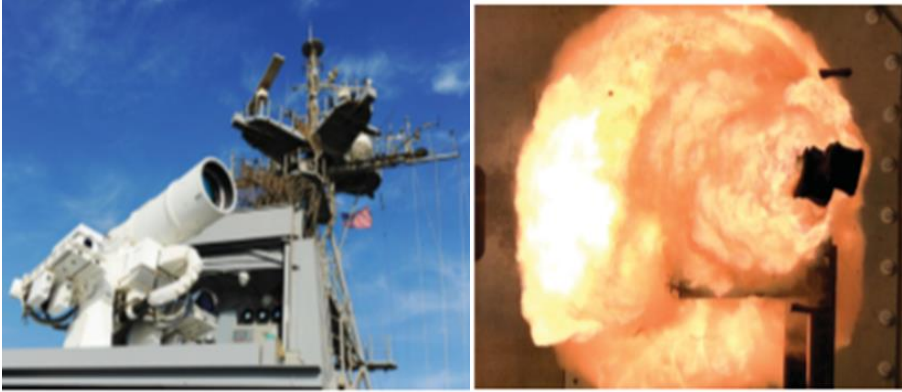
Bu analizler sonucunda geminin güvenli seyre imkân verecek şekilde gemi elektrik sistemi tasarımı yapılmaktadır. GGS'nde yükler öncelik sırasına göre yaşamsal yükler, yarı yaşamsal yükler ve yaşamsal olmayan yükler olarak sınıflandırılabilir.

Bir harp gemisinde yüklerin sınıflandırılması; harp gemilerindeki yükler geminin farklı görev fonksiyonları/görev tipleri dikkate alınarak önem derecelerine göre sınıflandırılmaktadır. Dümen sistemi örneğinden yola çıkarak bir seyir anında çok önemli olan geminin manevra kabiliyetine etkisi olan dümen sistemi, liman durumundaki bir gemide normalde devrede olmadığı için yaşamsal değildir.

Yaşamsal yükler; geminin vuruş ve duruş gücünü etkileyen yükleridir. Kaybedilmesi görevi tehlikeye sokacak olan, seyir emniyeti ve geminin vuruş gücü olarak tanımlanan silah sistemine ait sensör ve silahları gibi yüklerdir. Bu yükler her durumda enerjisinin kesilmemesi ve eksik/yetersiz güç üretimi durumu ile karşılaşıldığında devredeki yük miktarını azaltmak için çalışan yük atma algoritmalarında kasıtlı olarak atılmaması gereken yüklerdir. Başka bir ifade ile yük atma algoritmaları bu tip yüksek önemli yükleri devrede tutmak için çalışmaktadır. Yaşamsal yükler farklı kaynaklardan beslenebilecek şekilde gemi güç sisteminin yedeklenebilirlik konseptine dâhil edilmiş, dağıtım sisteminden asıl ve alternatif kaynaklar üzerinden beslenebilen yüklerdir. Savaş gemisinin savaş görev profili için silah sistemlerini oluşturan top, güdümlü mermi, su üstü arama radarı, hava arama radarı ile ameliyathaneler, sonar sistemi, dümen sistemleri, yangın tulumbaları, Savaş Harekât Merkezindeki (SHM) operatör konsolları örnek olarak verilebilmektedir. Yarı yaşamsal yükler; yaşamsal yükler kadar geminin duruş ve vuruş gücüne doğrudan etkisi olmayan devreden çıkması durumunda çok kritik bir yetenek kaybına yol açmasına karşılık görevin devamı için devreye alınması gereken ve performansa etki edebilecek nitelikteki yüklerdir. Elektrik gücünün kaybedilmesi durumlarında alternatif besleme ile beslenebilecek yükler olarak değerlendirilmektedir. Örneğin; deniz suyu servis pompaları bu kapsamda değerlendirilebilmektedir. Yaşamsal olmayan yükler; gemi operasyonlarını, hayatta kalma kabiliyetini olumsuz yönde etkilemeden gücünün kesilmesi durumunda emniyet altına alınabilecek yüklerdir. Örneğin; ısıtma ve mutfak gibi otel yükleridir ve gemi de kısa süreli elektrik kesintilerinde devre dışı kalabilecek yüklerde bu kapsamda değerlendirilebilmektedir. Bazı dağıtım sistemi örneklerinde gemi elektrik sisteminde üretim-tüketim dengesizliği ile karşılaşılması durumunda yaşamsal olmayan yüklerin direkt devreden çıkarılmasına yönelik yük atıcı şalter yapıları (ing. load shedder) mevcuttur. Bu tip yük atıcı şalterler sistemin aşırı yüklenmesini engellemek için kendisine bağlı tüm yükleri devre dışı bırakır.

Gemilerde yer alan yükler davranışlarına göre devrede kaldıkları sürede sürekli olarak devrede olan ve aralıklı olarak devreye girip çıkan yükler olarak da sınıflandırılabilir. Sürekli devrede olan yükler; gemide sürekli olarak devrede olması gereken yüklerdir. Gemi aydınlatma sistemi, dizel makine soğutma sistemi deniz suyu tulumbası örnek verilebilmektedir.

Darbeli yükler ise; kısa süreli olarak devreye giren, devreye alındıkları zaman yüksek enerji ve güç yoğunluğuna sahip olan yükler bu sınıfta değerlendirilmektedir. Darbeli yüklerle örnekler olarak yeni nesil silah sistemlerinden elektromanyetik topun ateşlenmesi, lazer silahları örnek verilebilir. Bu tip yeni teknolojilerden olan lazer silahı ve EMRG (Elektro magnetic rail gun) olarak adlandırılan manyetik hızlandırıcılı top için ABD Deniz Kuvvetleri Kılığının çalışması olduğu literatürden takip edilmektedir [50]. Şekil 2.9'da gemide test edilen bir lazer silahı (a), elektromanyetik hızlandırıcılı top sistemi ait test atışı (b) verilmektedir.



Şekil 2.9. Gemide test edilen bir lazer silahı (a) EMRG silahı ile test atışı (b) [5, 50]

Aralıklı yükler tasarımları gereği kontrol sistemleri tarafından zaman zaman devreye alınan veya çıkarılan yüklerdir. Havalandırma sistemi ısı kontrollü olarak çevresel şartlara göre devreye giren-çıkan yükler olup basınçlı hava vasıtasıyla ilk çalıştırılması sağlanan (air start) bir dizel makinenin hava şişelerindeki basıncın düşmesi ile devreye giren bir kompresör de bu tip yüklerle örnek verilebilir. Örnek olarak; akaryakıt transfer tulumbaları, hidrofor motorları, sintine ve balast tulumbaları, yangın ve genel hizmet tulumbaları gösterilebilmektedir.

Harp gemilerinde güç sistemi; silah sistemleri, haberleşme sistemleri, seyir sistemleri ve tahrik sistemi gibi sistemler için gerekli enerjiyi sağlamaktadır. Bu nedenle GGS'nin güvenilirliği, sürdürülebilirliği özellikle savaş koşullarında geminin vuruş

duruş gücü için kritik öneme sahiptir. Savaş sırasında alınan bir isabet/yara sonrasında gemi güç sistemlerinin bir kısmı hasar nedeniyle devre dışı kalabilmekte ancak bu şartlar altında dahi geminin ve personelin emniyeti, görevin devamı, geminin emniyetli sahaya intikal edebilmesi, yüzebilirliğini koruması gibi hususlar ön plana çıkmaktadır. Gemilere yapılan saldırı nedeniyle bazı GGS hasarlarına ait örnekler aşağıda gösterilmektedir [30]:

1987'de USS Stark uçaktan atılan 2 füzenin isabet etmesi ile yara almış ve oluşan büyük elektriksel hasar ve yangın gemide yayılmış ancak gemi yüzebilirliğini korumuştur. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de USS Stark gemisine ait hasar görselleri sunulmuştur [30, 66].

1988'de USS Samuel B. Roberts gemisi bir mayın isabeti alarak makine dairesi deniz suyu ile imla etmiş ve gemiye elektrik enerjisi sağlayan jeneratörlerin bulunduğu üç yardımcı makine dairesinden ikisi devre dışı kalmıştır.

1991 USS Princeton gemisi de mayın isabeti almış ve hasarın kapsamı açık kaynaklarda yer almasa da önemli hasarlar aldığı ve geminin karardığı bilgisi ile açık kaynaklarda karşılaşılmıştır.



Şekil 2.10. USS STARK su üstü gemisinin hasar aldığı gösterim [30]



Şekil 2.11. USS STARK gemisinin köprü üstü hasarı [66]

Harp gemisi elektrik sistemleri savaşta karşılaşılan isabet/yara ve sonucunda oluşacak kısa devre arızalarından kaynaklanabilecek hasarlara karşı duyarlıdırlar. Bu nedenle yeniden yapılandırılma kabiliyetine sahip olması hem geminin hem de GGS'in dayanıklılığını arttırabilmekte, sistemlerin güç beslemesinin yedeklenebilirlik konseptine uygun sağlanmasını gerçekleştirmektedir. Yeniden yapılandırma GGS'in sürekliliğini ve güvenilirliğini arttırarak gemilerin çalışır durumda tutulmasına olanak sağlayabilmektedir [67]. Savaş gemileri ciddi hasar senaryosunda bile hayatta kalabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Gemi güç sisteminde yer alan haberleşme, seyir ve sevk sistemleri geminin mevcut görev gereksinimlerine göre farklı konfigürasyonlarında işletilebilmektedir. Bununla beraber güç sisteminde arızalar meydana geldiğinde, arızalı bölgeyi sistemin geri kalanından izole etmek ve geminin hayatta kalma ve güvenilirliği için hayati yüklere elektrik gücünün erişilebilirliğini korumak zorundadır. Gemi güç sisteminde, koruma ve yeniden yapılandırma sistemleri güç dağıtım sisteminin görevidir ve güç dağıtım sistemi yaygın olarak radyal topolojiyi kullanmaktadır.

Gemi inşa sanayisi ve bilim insanları savaş gemilerinin elektrik dağıtım sistemlerinde yeni gelişen tahrik sistemi (elektrikli tahrik ihtiyaçları) ve yeni nesil silah sistem teknolojilerine geçme çabası doğrultusunda yeni nesil dağıtım sistemine geçme ihtiyacı duymaktadırlar ve bu çalışmaların (AC veya DC bölgesel dağıtım sistemi, entegre güç sistemi gibi) bazıları pratikte uygulama alanı bulmuştur.

Savaş gemilerinde sadece savaşta oluşacak yara/hasar kaynaklı arızaların yanından aynı zamanda sistemin veya başka sistemlerin yaşayabileceği münferit arıza/kısa

devrenin tüketicilerin beslenmesinde kesinti yaratmaması gücün sürekliliğinin sağlanması açısından önemlidir. Bu nedenle gemilerde topraklama sistemi olarak nötrü yalıtılmış (nötr noktası topraklanmamış) elektrik sistemi tercih edilmektedir. Nötr noktası topraklanmış sistemlerde herhangi bir arıza o faza bağlı koruma elemanını açar ve arızalı fazı devre dışı bırakır, bu uygulama karasal tesislerde kullanılmaktadır ancak bu yapının gemilerde uygulanması durumunda kritik yüklerin devre dışı kalması söz konusudur. Tek bir faz arızası nedeni ile bir harp gemisini vuruş ve duruş gücüne etki eden gemi için yaşamsal sayılan dümen motorları, silah sensör ve sistemleri gibi yüklerin devre dışı kalarak enerjisiz kalması kabul edilemez bir durumdur. Kritik yüklerin enerjisiz kalması geminin hareketsiz kalmasına veya seyir ve görev emniyetinin tehlikeye girmesine sebep olacağı için dağıtım sistemi yapısında nötr noktası yalıtılmış (topraksız) sistemler kullanılır [68]. Topraksız bir bağlantı yapısında tek faz toprak (gemi gövdesi) arızalarında önemli tüketicilerin beslemeleri arıza anında da sağlanabilmekte, güç sistemi toparlanarak tek faz kaybını tolere edebilmektedir. Bu durum topraklı sistemlerde ise sistemin koruma elemanlarının çalışması sonucu komple devreden çıkarılması ile sonuçlanır [63, 68, 69].

2.2.1. Gemi elektrik dağıtım sistemi (genel)

Gemilerde elektrik dağıtımı; generatörlerde üretilen enerjiyi e-tahrikli gemilerde tahrik motorlarına, fosil yakıtlı makine ile tahrik edilen sistemlerde de makinenin kontrol sistemine ve diğer sistem/yüklere iletmek amacıyla kullanılmaktadır. Gemi elektrik dağıtım sisteminde generatörler ve elektrikli tahrik motorları aynı gerilim seviyesinde ana dağıtım sistemine bağlı iken farklı gerilim seviyesi ihtiyaçları ise alt dağıtım sistemleri üzerinden sağlanmaktadır. Bu iki gerilim seviyesi arasındaki bağlantı transformatörler aracılığıyla yapılmaktadır. Aynı zamanda gemide farklı frekanslarda yükler de bulunmaktadır ve bu durumda ihtiyaç duyulan frekans dönüşümü frekans konverterleri aracılığıyla gerçekleştirilmektedir.

Gemi elektrik dağıtım sistemleri radyal, bölgesel veya radyal-bölgesel dağıtım sistemi olarak üçe ayrılmaktadır. Sistemde güç akışı yük merkezleri ve dağıtım panelleri üzerinden yükleri beslemektedir. Radyal bir dağıtım sisteminde, ana gerilim seviyesinden beslenen her yük ve konverter/inverter gibi dönüştürücüler ana dağıtım panosundan beslenmektedir. Bölgesel elektrik dağıtım sisteminde ise geminin fiziksel yara savunma bölmeleri birer elektriksel bölge olarak kabul edilerek her bir elektriksel bölge içerisinde yer alan yükler o bölgeye ait bölgesel tevzi panolarından

beslenmektedir. Büyük güç ihtiyacı olan gemilerde ise radyal-bölgesel elektrik dağıtımında bölgeler birbirleri ile bağlantılı olup yükler ait oldukları bölgenin tevzi panolarından beslenmektedir.

Savaş gemilerinin dağıtım sistemi sivil sektöre ait gemilerde kullanılan elektrik dağıtım sisteminden farklı olarak göreve yönelik daha fazla yaşamsal öncelikli yük barındırır ve bu yükler için enerjinin sürekliliğini sağlamak amacı ile dağıtım sisteminde alternatif besleme hattı bulunmaktadır. Ayrıca bu alternatif besleme hattı için normal besleme hattından ayrılmış kablo ve baralar üzerinden yara ve/veya arıza koşullarında gücün alternatif ayrı bir kaynaktan beslemesini sağlayabilecek bir dağıtım sistemi yapısı mevcuttur. Alternatif ve normal dağıtım hattının alternatif ve normal güç kaynakları da birbirinden ayrıdır ve dağıtım sistemindeki bara transfer şalterleri vasıtasıyla birbirinden izole çalışabilmektedir. Bara transfer şalterleri yaşamsal yüklere iştirakli oldukları yükün beslendiği seviyedeki besleme gücünün kesilmesine hassas olarak otomatik devreye girebildikleri gibi (ABT tipi), operatör müdahalesi ile el ile kumanda edilerek (MBT tipi) alternatif hatta geçiş yapabilmektedirler.

Ayrıca transfer şalterlerinin kaynak seviyesinde başka bir değişle ana tevzi panosu seviyesinde olanlarına da “generatör transfer şalteri” adı verilmekte olup bu şalterin gemi dağıtım sisteminde tasarımında yedeklenebilirlik konsepti gereği arızanın alternatif kaynak tarafına yayılmaması için ana bara yapılarını izole eden görevi yanında, yük tarafındaki izole edilmiş bir arıza sonrasında geminin faal yükleri için güç ihtiyacını karşılamak üzere dağıtım panosundaki yük talebine göre baraları birleştiren ve generatörleri paralele alan görevleri de bulunmaktadır. Generatör transfer şalteri kullanılarak enerji kesintisine karşı operasyonlar icra ederken generatörleri paralele alıp herhangi bir generatör kaybının yaratacağı enerji kesintisi riski de engellenebilmektedir.

İhtiyaç halinde generatör bara transfer şalterleri kapatılarak izole ana tevzi panosu baralarının tek bir bara yapısına dönüşmesi sağlanmakta ve güç kaynaklarının ortak kullanımı yani faal generatörlerin sistemin ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için paralel çalışması gerçekleştirilebilmektedir. Böylece kendisine direk bağlı generatörleri kullanım dışı kalmış enerji kesintisi yaşayan ana dağıtım panosundan talep edilen güç ihtiyacı, generatörleri faal ve enerjili olan diğer dağıtım panosu üzerinden bara transfer şalterlerinin kapatılması ile sağlanabilmektedir.

Başta su üstü harp gemilerinde olmak üzere tüm gemilerde elektrik kaynağının sürekliliği, güvenilirliği ve güvenliği önem arz etmektedir. Bu nedenle servis sürekliliğini sağlamak, kalitesini arttırmak amacıyla generatörlerin, ana tevzi panolarının ve kurulacak elektrik dağıtım sistemlerinin türüne, büyüklüğüne ve konumlarına sistemin hasarlı bölümleri izole etme kurgusu, arızanın yayılmasını önleme mantığı ve yedeklenebilirlik konsepti dikkate alınarak karar verilmektedir. Aynı zamanda normal olmayan aşırı yüklenme koşullarında generatörlerin devreden çıkmasını önlemek amacıyla yüklerin öncelik sıralamasına göre devreden ayrılması durumu da gemi enerji sürekliliği için önem arz etmektedir. Sistemde var olan yüklerin talep ettiği güç miktarı; devredeki generatör/generatörlerin üretim kapasitesinde büyük ise frekans değerinde azalmaya neden olmaktadır. Frekanstaki bu azalma ile üretim ve tüketim dengesi korunamadığından frekans koruma rölesi generatörü devreden çıkaracaktır. Bu durumda generatörün devreden çıkmasının önlemek ve sistemin kararlılığını korumak için gemi elektrik sisteminde gücün komple kaybedilmemesi ve sürekliliğinin sağlanması için yüklerin öncelik derecelendirmesine göre otomatik/manuel yük atma prosedürleri uygulanmaktadır.

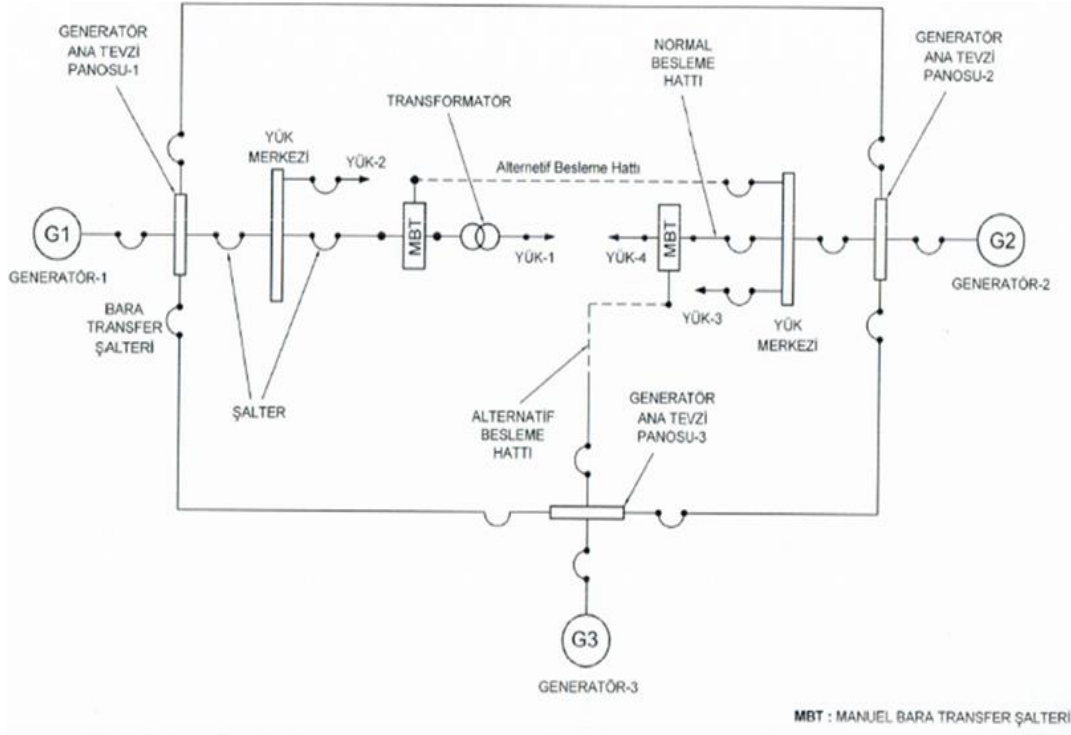
2.2.2. Radyal elektrik dağıtım sistemi

Konvansiyonel gemilerde elektrik sistemi olarak radyal dağıtım sistemi tercih edilmektedir. Generatör ana tevzi panolarına birden fazla generatör bağlanmaktadır. Bu generatörler paralel veya birbirinden bağımsız olarak çalıştırılabilmektedir. Radyal dağıtım sistemlerinde, her bir yük doğrudan generatörlerin bağlı olduğu ana tevzi panosundan beslenmektedir.

Radyal dağıtım yapısında; kablo işçiliği çok olmasına karşın, devreye alması özel uzmanlık alanı ihtiyacı duymayan daha basit, tasarım mantığı olarak sivil gemi konfigürasyonlarıyla daha çok benzeyen, kendini ispatlamış ve güvenilir bir topoloji uygulanmıştır. Radyal sistemler genel olarak tahrik sistemi mekanik olan elektrik enerjisini servis yükleri için kullanan sistemlerde uygulama alanı bulmuş bir yapıdır.

Günümüzde kullanılan birçok gemide yardımcı sistemler için AC radyal elektrik dağıtım sistemi kullanılmaktadır. Tahrik sistemi elektrik sistemine dâhil değildir. Tahrik sistemi dizel motorlarla veya gaz türbini gibi fosil yakıt ile çalışan mekanik sistemlerle tahrik edilir. AC elektrik dağıtım sisteminde generatör panoları elektriksel olarak bir halka yapı ile bağlanır. Tüm bu jeneratör panoları, güç akışını sağlayan transfer bara şalterleri üzerinden sağlarlar. Yük merkezleri ve bazı yükler, generatör

panosundan beslenir. Yük merkezleri de yükleri veya alt yük panellerini beslerler. Yaşamsal yükler genellikle iki besleme yolu, yani normal besleme yolu ve alternatif besleme hattı ile beslenirler. Yaşamsal olmayan yükler ise tek bir kaynak ve hattan beslenmektedir. Bir arıza veya hasar durumunda, yaşamsal yükleri devrede tutabilmek/devreye alabilmek için yeterli enerjiyi sağlamak maksadı ile yaşamsal olmayan yüklerin enerjisi kesilebilmektedir [70]. Şekil 2.12’de radyal elektrik dağıtım sistemi gösterimi sunulmuştur [70].



Şekil 2.12. Radyal elektrik dağıtım sistemi [70]

2.2.3. Halka tipi elektrik dağıtım sistemi

Gemi elektrik sistemlerinde kullanılan en yaygın yapılardan birisi; herhangi bir generatörün herhangi bir yüke güç sağlamasına imkân tanıyan halka tipinde (ing.ring) generatörlerin bağlanmasıdır. Bu dağıtım sistemi mimarisinde hayati bir yükün beslenmesi için hali hazırda kullanılan generatör ünitesinin kaybedilmesi durumunda, yedek olarak kullanılan generatörden ilgili yük/yüklerin enerjisi sağlanabilmektedir.

Halka elektrik dağıtım sistemi mimarisi şeklinde bağlı generatörler Şekil 2.13'te gösterilmektedir. Generatörler ana tevzi panoları üzerinden sisteme bağlanmaktadır. Ana tevzi panoları kendilerine ait olan generatöre yakın yerleştirilmektedir. Ana tevzi panoları generatörler, yükler ve yük merkezleri arasında güç transferi yapmaktadır. Generatör dağıtım panolarının içerisinde anahtarlama ekipmanları (kontaktör ve

kesici/şalter vb.) bulunmaktadır. Ana tevzi panoları ayrıca ölçü aletleri, koruma cihazları ve ayar (regüle) işleminde kullanılan cihazları üzerlerinde barındırırlar. Ana tevzi panolarından elektrik dağıtımı ve generatörler kontrol edilmektedir.

Jeneratör transfer şalteri ana tevzi panolarını birbirine bağlamaktadır. Böylece bir tevzi panosu ile diğer bir tevzi panosu arasında güç transferine olanak sağlanır. Özellikle harp gemilerinde grup halindeki generatörler ile ana tevzi panoları ve diğer gruplar geminin dikey olarak farklı seviyelerine (farklı güvertelere) ve aynı zamanda da gemi boyunca, yatay olarak da farklı bölmelere yerleştirilirler. Bunun sebebi, harp gemilerinde savaş sırasında alınan bir yaranın generatörlerin hepsinde aynı anda bir hasara sebep olmasının önüne geçmektedir. Böylece geminin tamamen enerjisiz kalarak harekâttan sarkıt bir duruma düşmesi engellenebilmektedir.

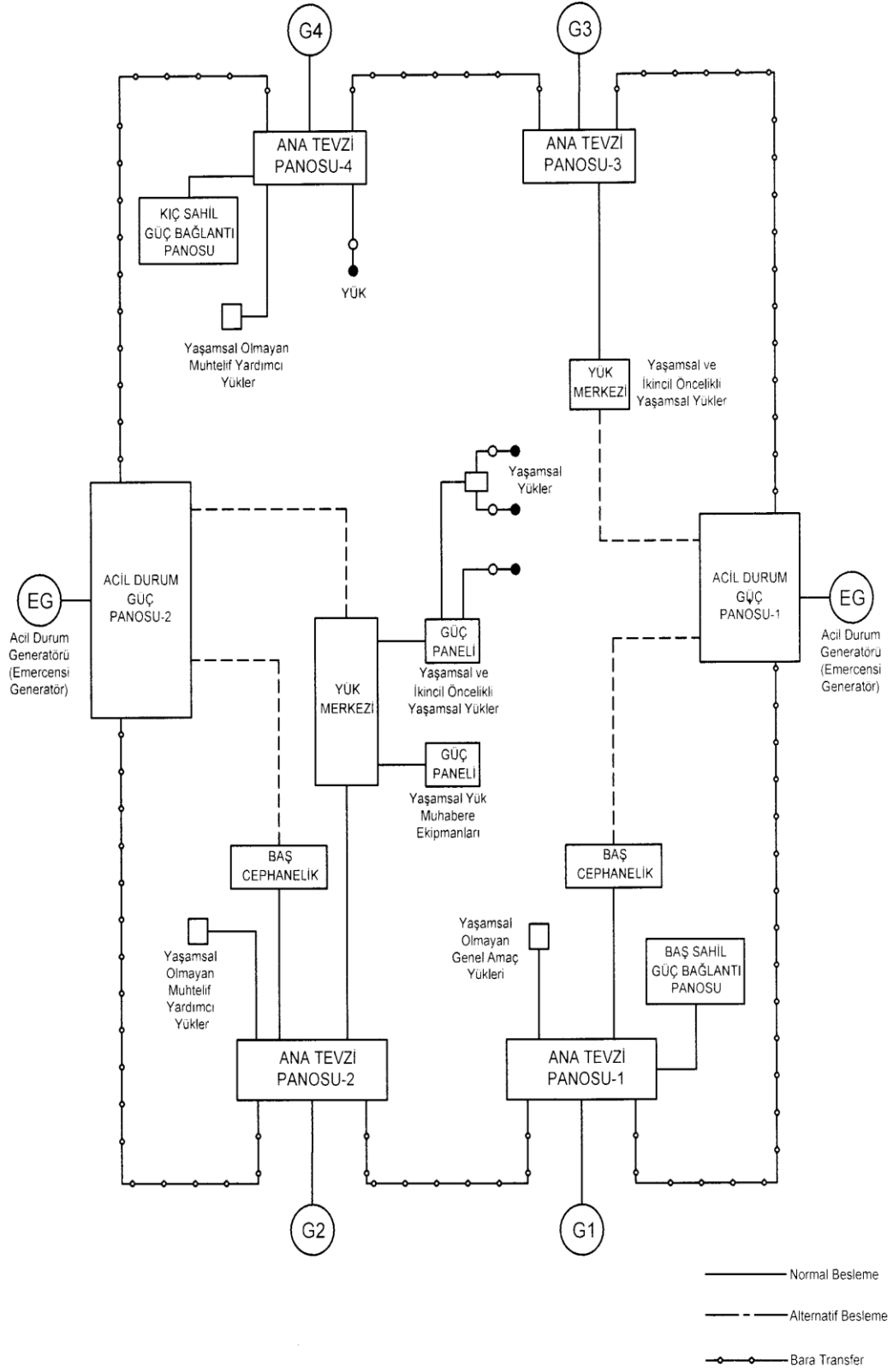
Şekil 2.13 incelendiğinde; halka yapıda tüm ana tevzi panoları ve acil durum güç panolarının bara transfer hattı ile birbirlerine bağlanabildikleri ancak istenildiğinde de ayrı izole çalışabildikleri görülmektedir. Panoların birbirlerine bağlı olarak kullanılmaları herhangi bir kısa devre arızası ile karşılaşıldığında oluşacak kısa devre akımının arızanın meydana geldiği panoda izole edilmesi yerine yayılması olasılığını da arttırdığında genel kullanım halka yapının her zaman bir halkayı tamamlayacak şekilde kullanılmamasıdır. Ancak halka yapı herhangi bir kaynağın herhangi bir yükü beslemesine olanak sağlayacak bir esneklik içerdiğinden özellikle arıza altında yaşamsal yüklerin beslenebilmesi gerekliliğini en esnek şekilde sağlayarak savaş gemisinde GGS’de yedeklenebilirlik konseptine büyük bir katkı sağlar.

Şekil 2.13’te acil durum güç panoları ve acil durum generatörleri de görülmektedir. Acil durum panoları ve acil durum generatörleri bu örnekte normal generatör yapısından ayrı bir şekilde isimlendirilmiş olmalarına karşın farklı tasarımlarda gemideki rezerv güç kaynağı olarak tutulan generatörün acil güç kaynağı ve bu generatörün bağlı olduğu ana tevzi panosunun da acil durum panosu olarak görev yaptığı durumla da karşılaşılabilir. Acil durum generatörleri ve acil durum panoları ana tevzi panolarının kaybedilmesi durumunda sadece yaşamsal ve bir ölçüde de yarı yaşamsal yüklerin beslenmesinde kullanılmakta, bu önemli yükler için alternatif besleme hatlarını içeren bir dağıtım sistemi parçasını oluşturmaktadırlar.

Bu kapsamda Şekil 2.13’ten örnek verildiğinde; cephanelik gibi silah sistemine ait bir yük için veya “muhaberesiz muharebe olmaz” sözüyle de donanmamızda önemi

vurgulanan muhabere sistemi gibi yaşamsal bir yük için alternatif besleme hattının ve alternatif güç kaynağının acil durum panosu ve generatörleri üzerinden sağlanabildiği görülmektedir. Yaşamsal olmayan yüklerin sadece tek tevzi panosu ve tek hat üzerinden beslendikleri verilen örnekte ayrıca görülmektedir.





Şekil 2.13. Ring Elektrik dağıtım sistemi [70]

2.2.4. Bölgesel elektrik dağıtım sistemi (BEDS)

Bölgesel elektrik dağıtım sisteminde; dağıtım sistemi elektriksel bölgelere ayrılmış olup bu elektriksel bölgeler genelde gemi tekne yapısında su geçirmez perdelerle ayrılmış su geçirmez yara savunma bölmeleridir [71]. Su üstü harp gemilerinde bölge tanımı; gemideki fiziksel bölge konumu olarak da ifade edilebilir. Bölge sınırları su geçirmez perdelerden başlayarak yukarıdaki üst binayı da içerecek şekilde olabileceği gibi üst binada da birbirleri ile ilişkili olmayan ayrı bölgelerden oluşabilmektedir [72].

Ülkelerin donanmaya yönelik bütçelerini azaltmaları; en son teknolojiye sahip etkin ancak uygun maliyetli platformlar geliştirilmesi hedefini ortaya çıkarmıştır. Bölgesel sisteminin daha sonra açıklanacağı üzere gemi inşa ve işletme maliyetlerini azaltmada da ekonomik bir etkisi bulunmaktadır.

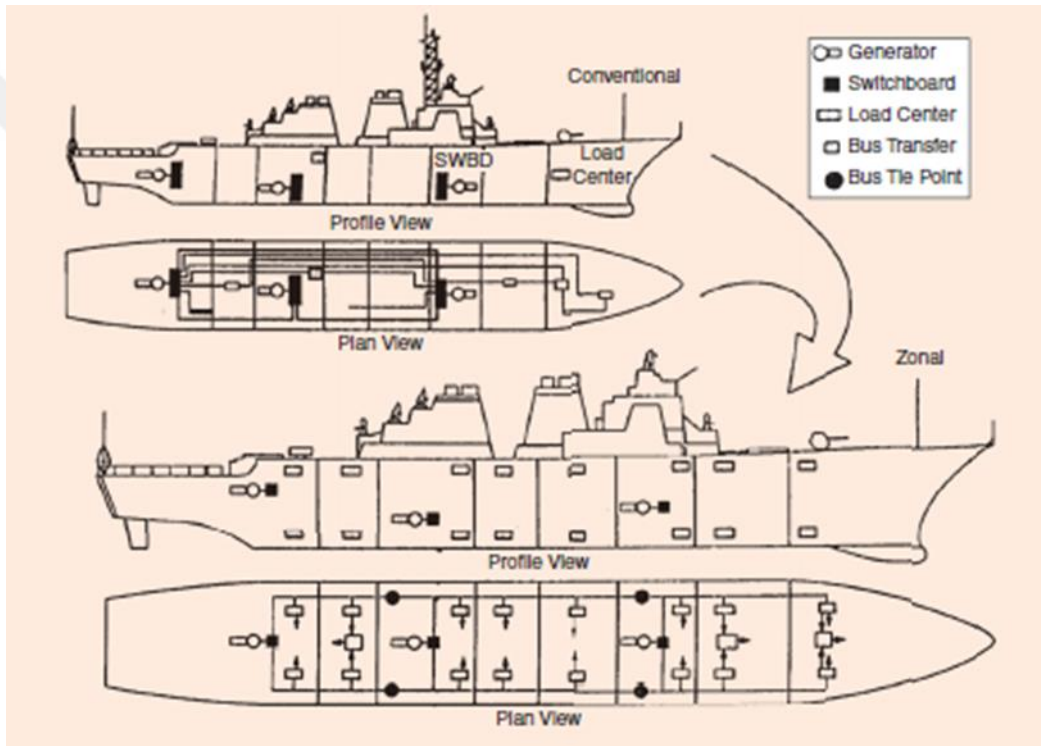
Bölge dağıtım sisteminde herhangi bir bölgede meydana gelen bir arızanın sistemin geri kalanına yayılması bir arızanın meydana geldiği bölgede sınırlandırılması ile önlenmekte ve bu da koruma açısından bir avantaj sunmaktadır.

Su üstü harp gemilerinde sistemler genel olarak gemi bünyesine dağıtılmış sistem mimarisi ile gemiye yerleştirilmiştir. Elektrik ve soğutulmuş su (ing. chilled water) gibi cihaz/sistemlerin ortak ihtiyaçlarını merkezi kaynaklar kullanarak üretip transfer etmek yerine dağıtılmış sistem mimarisi daha ucuz ve basit bir yapı olarak bu ihtiyaçları bölgesel olarak üretmekte ve sistem/cihazları yerinde beslemektedir. Savaş gemilerinde dağıtılmış sistem tasarımlarında maliyet her zaman göz önünde tutulan bir unsurdur. Bu nedenle bölgesel dağıtım sistemi maliyet etkin ve efektif bir tasarım çözümü olarak karşımıza çıkmaktadır.

Mevcut radyal dağıtım sistemi yerine bölgesel dağıtım sistemine geçilmesinde, hayatta kalma, ağırlık-hacim, personel gereksinimleri ve maliyet açısından önemli kazançlar elde edilebilmektedir. Geminin elektrik güç dağıtımının dönüştürülmesindeki temel amaçların başında, platformun boyutunu ve ağırlığını azaltarak geminin menziline etki edecek olan yakıt kapasitesinin artırılması için tasarruf sağlamak ve/veya ilave silah, sensör, sistemlerin monte edilebilmesi için marjin yaratmak gelmektedir. Gemi inşasında özellikle de harp gemilerinin inşasında düşük maliyet, arttırılmış faydalı yük ve modüler tasarım son derece önem kazanmaktadır [73].

Bölgesel elektrik dağıtım sistemi; elektrikli tahrik sistemi, güç isteri yüksek yükler, yeni nesil silah/sensörler gibi yeni teknolojilerin gemiye entegrasyonunda daha esnek bir konfigürasyon olarak ele alınabilir. Bu mimari hasar/yara koşullarında arızanın etkisini elektriksel bölgede izole ederek komşu bölgelere yayılmasını engelleyen esnek koruma konsepti ile klasik radyal dağıtım sistemine göre önemli fark yaratmaktadır.

Geleneksel elektrik dağıtım mimarisi ve bölgesel elektrik dağıtım mimarisinin karşılaştırılması Şekil 2.14’te verilmektedir. Bölgesel mimaride radyal mimariye göre gemi bünyesine dağılmış olan kablo yapıları gemi boyunca bölgelerden geçecek şekilde sadeleştirilmiştir [73].



Şekil 2.14. Geleneksel elektrik ve bölgesel elektrik dağıtım mimarisinin karşılaştırılması [71]

Bölgesel dağıtım mimarisi, hasar/arıza altında maksimum koruma sağlayabilmektedir. Bölgesel mimarinin önemli avantajı, jeneratör tevzi panosundan yükleri beslemek için çekilen çok sayıda kablunun azaltılmasıdır [74]. Bunun yanı sıra basitleştirilmiş bir dağıtım sistemi yaklaşımı, hem gemi inşada kullanılan kablo miktarının azalmasıyla inşaa malzeme maliyetini azaltırken hem de kablo kargaşasını engelleyerek montajını da önemli derecede kolaylaştırır ve gemi inşadaki montaj işçiliğini de azaltır. [72].

Her bir bölgede ana gerilim seviyesinden beslenmeyen yükler için ana bara ile yükler arasında elektriksel olarak izole olan güç dönüştürücü ünitesi (inverter&konverter)

kullanılmakta olup yükte oluşan bir arızanın dağıtım sisteminin üst seviyelerine yayılması böylece önlenmektedir. [46]. Ana bara gerilimindeki istenmeyen değişimler konverterler aracılığıyla gerilim seviyesi ayarı ile tolere edilebilmektedir. Paralel konverter ve inverter setleri, güç ihtiyacının artması ile birlikte tercih edilmekte ayrıca yedeklenebilirlik konsepti gereği konverterlerin kaybı durumunda gücü oranında sistem kapasitesinde azalma olmaktadır.

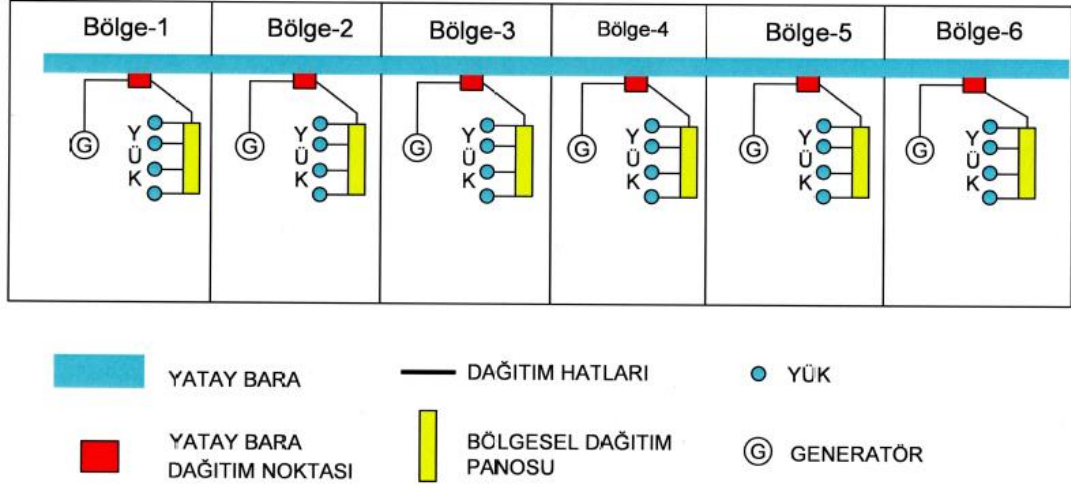
Bölgesel dağıtım sistemi tasarımında her bölgenin mümkün olduğu kadar birbirinden bağımsız olması ve bir bölge için ihtiyaç duyulan üretim (konverter ve inverter gibi dönüştürücüler) ve dağıtımının o bölge içinde yapılması gerekmektedir.

Bölgesel hayatta kalma kabiliyeti; hasarlı bir bölgede veya hasarlı bölgeye bitişik komşu bölgelerde hasar/ekipman arızası nedeniyle bölgesel arızalar yaşanırken, hasar görmemiş bölgelerdeki yüklerin servis kesintisi yaşamaması sağlanmaktadır.

Tek bara yapısına uygun olarak bölgesel elektrik dağıtımı Şekil 2.15'te verilmektedir. Burada bölgesel dağıtım sistemini besleyen tek bara veya kablo yapısı gösterilmiş olup, gemi boyunca ana güç hattı bölmelerden geçmektedir. Ana kablo/bara yapısı her bir bölmede gemi boyunca devam edebilmek için bir düğüm bağlantı noktası barındırmaktadır. Bölge içerisindeki kaynak veya yüklerde bu bağlantı noktasına iştiraklidir. Ayrıca Şekil 2.15'de bölgesel dağıtımda her bir bölmede güç dönüşümü sağlayan konverter/inverter/trafoların bağlantı noktasında gösterilmiştir [75].

Şekil 2.15'teki tek bara sisteminde her bir elektriksel bölmede generatör bulunduğu görülmektedir. Arızalı ve izole edilmiş bir bölgedeki generatörün çalışmadığı durumda dağıtım sisteminde faal olan komşu bölmelerden güç alabilecek bağlantı yapıları da mevcuttur. Normal durumda tüm generatörler devrede değildir ve yükü karşılayacak sayıda generatör ortak bara sistemini beslemektedir. Her bir bölmeye enerji depolama ünitesi koyulmasının maliyet etkin olmadığı, aynı zamanda dağıtım elemanlarının maliyetinin de yüksek olacağı tasarımlar için generatör maliyetleri daha düşük ise bu tip bir dağıtım sistemi yapısının kullanılması mümkün olabilmektedir. Bir savaş gemisinin ana dağıtım sistemi ele alındığında tek hat bulundurması nedeni ile yedeklenebilirlik açısından ve her bir bölmede generatör bulundurması nedeniyle de maliyet açısından uygun bir tasarım olmasa da hayati bir sistem için acil güç kaynağı sağlamak, bu tip sistemlerin güvenilebilirlik ve yedeklenebilirlik oranını yükseltmek açısından alt dağıtım sistemlerinde kullanılabilmesi gündeme alınabilir.

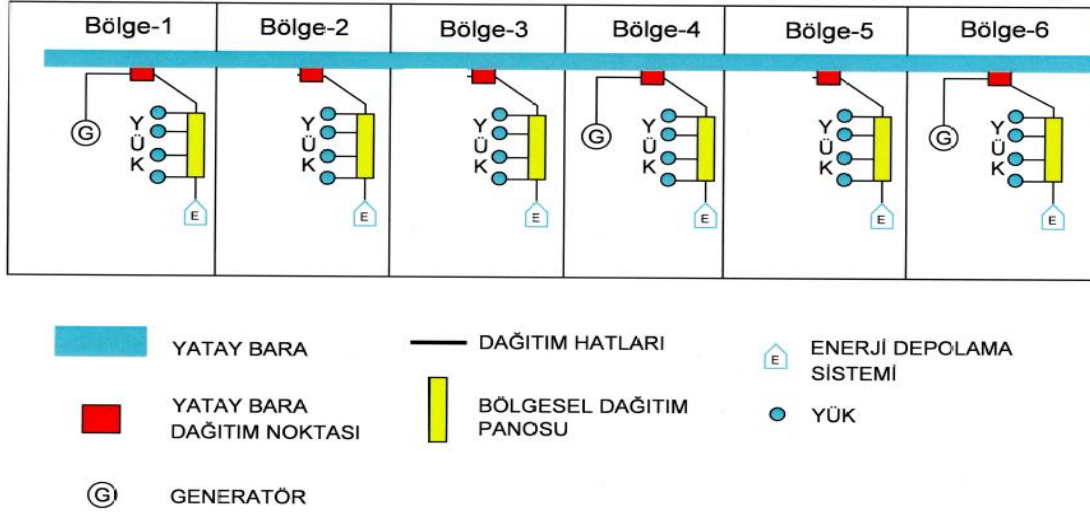
Bu açıdan bakıldığından ana yangın tulumba devrelerinin bir savaş gemisinde tek bara/hat bölgesel dağıtım sistemi konfigürasyonu ile beslendiği literatürde görülmüştür [76].



Şekil 2.15. Tek bara bölgesel elektrik dağıtımını farklı mimarileri [72, 77]

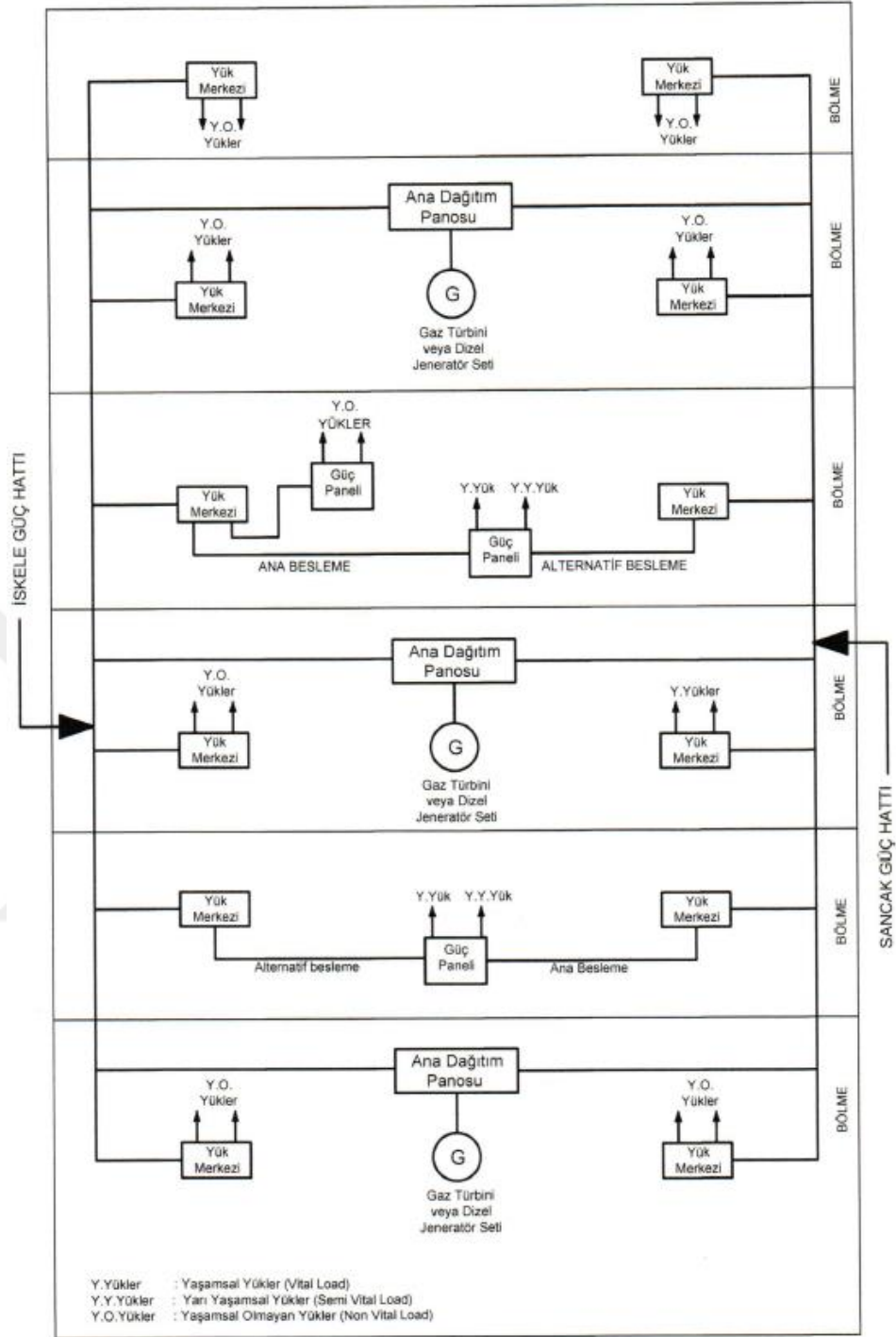
Şekil 2.16'da görüldüğü üzere tasarımda ihtiyaç duyulursa bölmedeki yük merkezleri aynı zamanda enerji depolama sistemleri ile de desteklenebilirler. Tek bara/hat ile beslenen bölgesel dağıtım sistemleri su üstü savaş gemilerine uygun olmamak ile birlikte bu örnek özelinde de yedeklenebilirliğin artırılabilmesi için güç kaynağı olarak her bir bölmede bir generator ve/veya enerji depolama birimi olduğuna dikkat edilmelidir. Generatorler maliyet etkin bir tasarım olması açısından tüm bölmelere yerleştirilmemiş ve aynı zamanda yerleşimde generator konumlandırılan bölmenin gemiye göre baş ve kıç tarafındaki komşu bölmelerinde de generator konumlandırılmadığına dikkat edilmelidir [77]. Generator olamayan bölmeler veya hasar altındaki enerjisiz kalan bölme komşu bölmedeki generatorün bara/hat sistemini beslemesine bağlanması ile ortak bara/hat sistemine bağlanarak enerjisini sağlayacak ve aynı zamanda da enerji depolama sistemleri ile de desteklenebilecektir. Böylece tek bara/ana hat yapısında her bir bölmede generator barındırma ihtiyacından da sakınılmış olmaktadır.

Savaş gemilerindeki ana dağıtım sistemi yapısında kullanılan bölgesel dağıtım sistemi tasarımlarında, geminin genelde fiziki su geçirmez bölmeleriyle gösterilen bir dizi elektrik bölgesine ayrıldığı ve geminin sancak ve iskelesinden geçen ana kablo/bara yapısı ile bu bölgelerin beslendiği tipte bir dağıtım sistemi konfigürasyonu benimsenmiştir [71].



Şekil 2.16. EDS'lerin dahil olduğu tek bara bölgesel elektrik dağıtım yapıları [77]

Şekil 2.17’de AC bölgesel elektrik dağıtım şeması verilmektedir. Burada bir örnek üzerinde; sancak iskele güç hatları, generatör içeren veya içermeyen elektriksel bölgeler, sancak ve iskele ana besleme hattına iştirakli yük merkezleri ile bu yük merkezlerinden normal ve alternatif dağıtım hattı üzerinden beslenen yaşamsal ve yarı yaşamsal yükler ve sadece tek bir hat üzerinden beslenen yaşamsal olmayan yükler gösterilmektedir. Sancak ve iskeleden gemi boyunca tüm elektriksel bölgeleri geçerek giden ana dağıtım hatları generatörlerin beslediği ana dağıtım panoları (ana tevzi panoları) üzerinden beslenmektedir. Görüleceği üzere radyal dağıtım sistemi ile bölgesel dağıtım sistemindeki en büyük fark bölgesel dağıtımda ana dağıtım panolarının temel olarak sadece sancak /iskele ana dağıtım hatlarını beslemeleri buna karşın radyal dağıtım sisteminde ise ana dağıtım panolarından gemi bünyesine dağıtılmış yüklere veya alt dağıtım panolarına direkt kablo hattı gitmesidir. Radyal dağıtımdaki yapının bölgesel dağıtım sistem yapısına göre daha karmaşık kablolama barındıracağı söylenebilir [5].

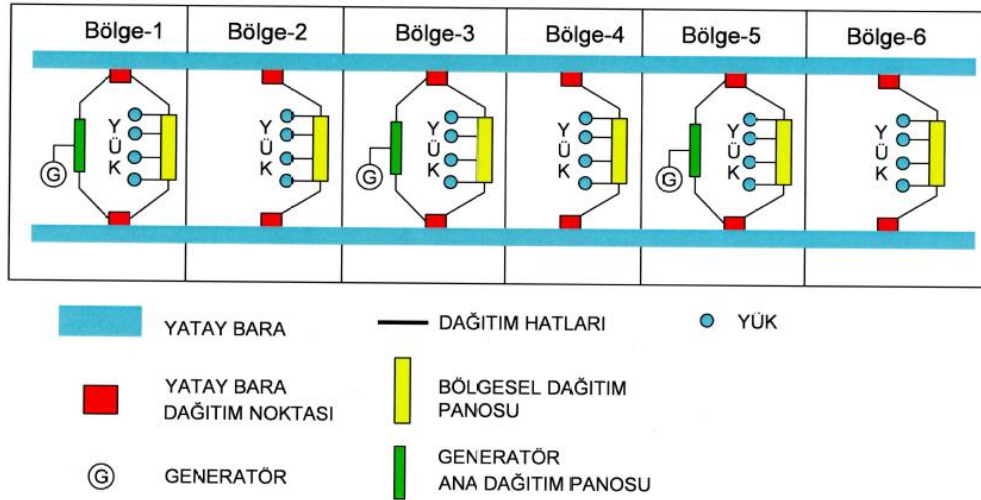


Şekil 2.17. Çift bara AC bölgesel elektrik dağıtım şeması [44]

Su üstü harp gemilerinde kullanılan bölgesel elektrik dağıtımında sancak/iskele ana dağıtım hatlarından beslenen mimariye çift bara yapısı da denilmekte olup Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Çift bara yapısına uygun bölgesel elektrik dağıtım mimarisi özellikle geminin hayatta kalma kabiliyeti için önemlidir. Depolama biriminin kullanılması hareket isterleri ve maliyet fonksiyonlarına göre gözden geçirilmektedir.

Çift bara mimarisinden maliyet açısından bakıldığında, generatör maliyetlerinin dağıtım sistemi ve güç dönüştürücü cihaz (konverter/inverter) maliyetlerine göre daha pahalı olduğu ve generatör sayısını gereksiz yere artırılmasından kaçınıldığı bir yapı anlaşılmalıdır. Bu yapıda kullanılan ana hat ve bara yapısındaki gemi boyuna döşenmiş kablolar birbirlerinden oldukça ayrılmış olup hasar/yara altında her ikisinin de yaralanarak devre dışı kalmaması hedeflenmiştir [72].

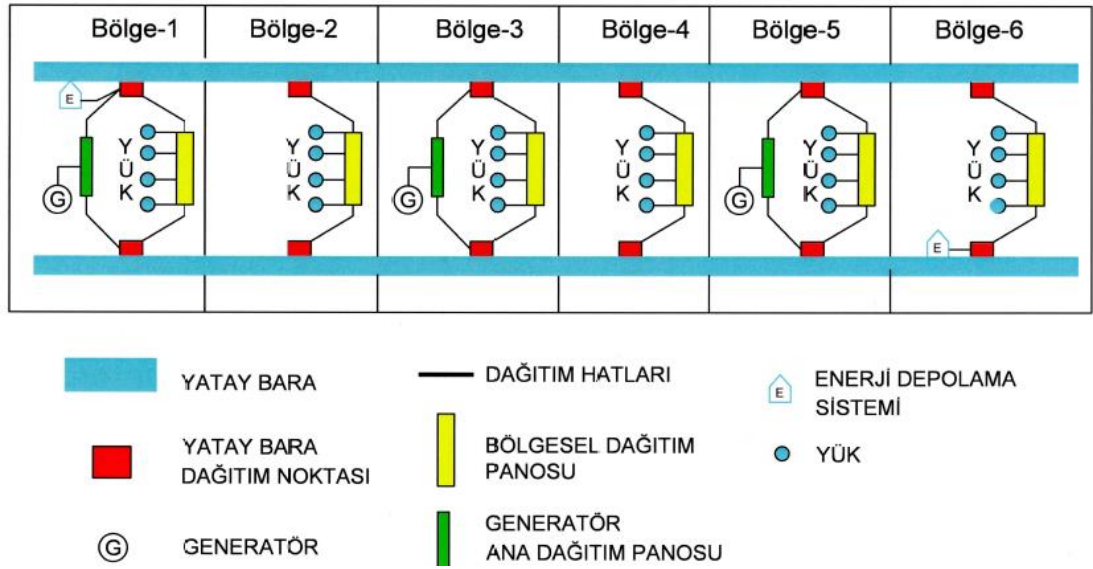
Generatörler çift bara sisteminde Şekil 2.18’de 3 generatör bulunduğu ve 2 generatörün tüm yükleri beslemek için yeterli olduğu diğer generatörün ise rezerv olarak tutulduğu bir yapılandırma örnek verilmiştir. Generatörler yara anındaki en kötümser senaryo dikkate alınarak kayıp olasılığını düşürmek için farklı bölmelere yerleştirilmiş ve birbirine bitişik bölmelere yerleştirilmemesine de dikkat edilmiştir. Hasar altından boyuna ana dağıtım hatlarından birisi çalışamaz duruma geldiğinde tüm yüklerin diğer hattan beslenmesi gündeme gelebilir ancak bu durumda diğer ana dağıtım hattının gücü aşılabılır veya generatörlerin güç üretimi yeterli olamayabilir bu durumda yük atma algoritmaları devreye girerek önem derecelerine göre yükleri devreden çıkarırlar. Bu örnekte yük atma algoritmaları kullanılmadığından generatör kapasitelerinin 3 kat daha fazla büyütülmesi gerektiği ve bununda çok pahalı olduğundan maliyet etkin bir tasarım olmayacağı değerlendirilmektedir [72].



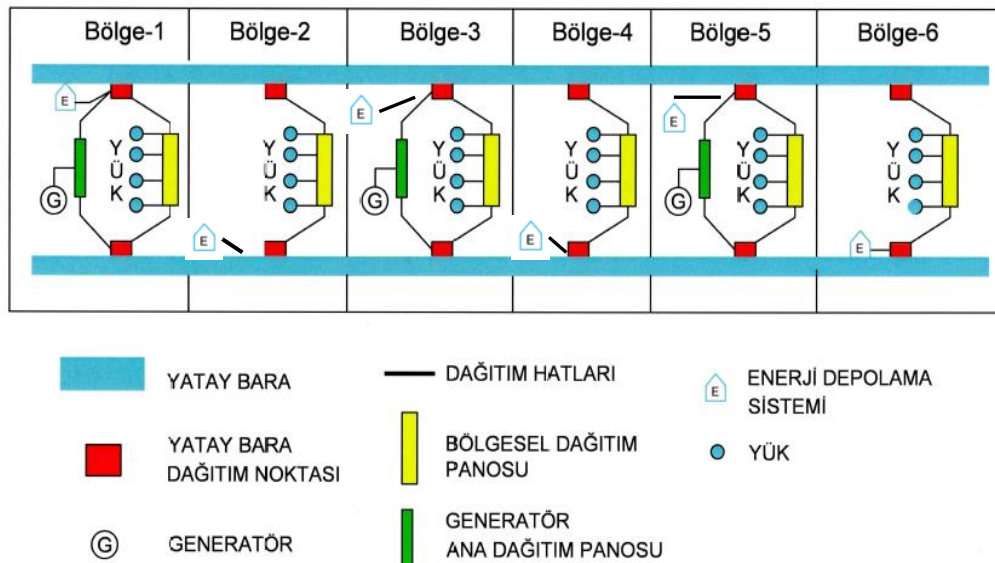
Şekil 2.18. Enerji depolama sisteminin bulunmadığı, çift bara bölgesel dağıtım gösterimi [72, 77]

Dağıtım sistem mimarisini geliştirmek üzere enerji depolama birimleri de kullanılabilir. Şekil 2.19’da dağıtım sistem mimarisine ana dağıtım hattı/barası dâhil

edilmiş ve rezerv generatör arıza anında devreye girene kadar kısa süreli olarak dağıtım sistemini destekleyen ve sancak iskele bara sistemine bağlanmış enerji depolama birimleri görülmektedir. Burada ana dağıtım barasına bağlanmış her bir generatörün ve enerji depolama biriminin gücü, yüklerin toplam güç ihtiyacının yarısı ile büyüme marjini de içerecek güçte olmalı ve enerji depolama sistemi için rezerv generatörün devreye alma süresi için yeterli enerji kapasitesini sağlaması beklenmektedir [72, 77]. Şekil 2.20’de ise enerji depolama birimlerinin her bir bölmeyi destekleyecek şekilde yerleştirilmiş oldukları görülmektedir.

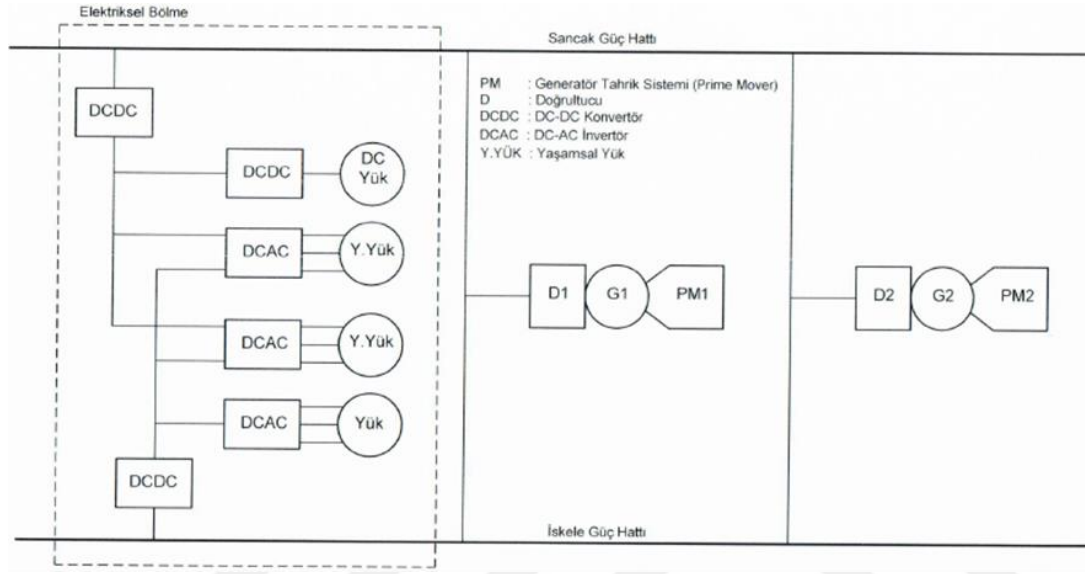


Şekil 2.19. Ana dağıtım barasına bağlı enerji depolama ünitesi bulunan çift bara bölgesel dağıtım şeması [72]



Şekil 2.20. Her bölgede depolama ünitesi ile çift bara bölgesel dağıtım şeması [72]

Ana bara gerilimi 3 faz AC gerilim, DC bölgesel dağıtım sisteminde doğrultucu üniteler kullanılarak DC gerilime dönüştürülür ve DC gerilim gemi bölmelerine sancak/iskele ana güç hattı ile taşınır. AC yükler için ise DC/AC dönüştürücüler kullanılmakta olup yaşamsal ve yarı yaşamsal yükler iskele/sancak her iki ana güç hattından da beslenmektedirler. Şekil 2.21’de DC bölgesel dağıtım mimarisi verilmektedir.



Şekil 2.21. DC bölgesel dağıtım mimarisi [75]

DC bölgesel dağıtım sistemi mimarisinde yer alan inverter ve konverter modülleri güç dönüştürme işlemini gerçekleştirir ve yapısındaki yarı iletken cihazlar arıza anında da akımı izleyerek arıza akımının tüm dağıtım sistemine geçmesini engeller böylece uygun şekilde GGS’ni korumaktadırlar. DC bölgesel elektrik dağıtım sisteminin bir diğer avantajı da yüksek verimde değişken hızlarda motor kontrolünü kolaylıkla sağlayabilmesidir. DC sistemde 60 Hz’e ihtiyaç olmaması nedeniyle transformatör ve AC şalt ekipmanlarına da gerek kalmamaktadır. Başka bir deyişle AC ana dağıtım sistemlerindeki gerilim frekans dönüştürücü birimler birinci aşamada AC gerilimi önce DC’ye sonraki aşamada ise DC’den istenen AC gerilim seviyesine geçiş yapmaktadır, ancak DC ana dağıtım sisteminde ilk aşamayı kullanmaya gerek kalmamaktadır.

DC bölgesel dağıtım sisteminin dezavantajı ise ana bara gerilimi ile doğrudan bağlantılıdır. MCT (ing. MOS-controlled-thyristor) ve IGBT (ing. insulated-gate-bipolar-transistor) tabanlı güç elektroniği elemanlarının 1500 ile 2000 V arasında üretilmesi tasarımı önemli derece etkilemektedir [75] Özellikle de dağıtım hattı

kablolarının boyut ve ağırlığını azaltmak amacıyla daha yüksek gerilimler seçilmektedir [46]. Bu durum, inverter/konverter modüllerinde topraklama ve izolasyon sorunlarını ortaya çıkarmaktadır. Ancak DC bölgesel elektrik dağıtım sisteminin sağladığı hayatta kalma, boyut/ağırlık, daha verimli işletme ve yüksek manevra kabiliyeti düşünüldüğünde, DC bölgesel elektrik dağıtımının diğer dağıtım sistemlerine göre önemli esneklikleri bulunmaktadır.

2.3. Suüstü Harp Gemisi Elektrik Sisteminde Yeni Eğilimler

Günümüzde klasik radyal dağıtım sistemlerinden farklı olarak gemi servis yüklerini ve gemi tahrik gücünü ortak enerji kaynağından besleyen Entegre Güç Sistemi (EGS, ing. integrated power system (IPS)), yeni nesil harp gemilerinin temel mimarisini oluşturmaktadır.

Yeni nesil su üstü harp gemilerinde; ana tahrik motorları, güç dönüştürme, dağıtım şebekesi, servis yükleri bunlara ek olarak görev yükleri entegre güç sisteminden beslenmektedir. Bu sistemin en önemli avantajlarından birisi de tahrik ve kritik yükler arasındaki gücü ihtiyaç duyulduğunda değiştirme esnekliğidir. Entegre güç sistemlerinde gemi bünyesine dağıtılmış enerji üretimi, enerji depolama, sistem otomasyonu, şebeke yeniden yapılandırması dinamik güç dağıtımı ve durum bazlı bakım sistemini bünyesinde barındırmaktadır [78].

Gemi güç sisteminde farklı güç ve karakteristikte yükler bulunmaktadır. Bu yüklerin öncelikleri işletme görev ve koşullarına göre oluşturulan önemlilik seviyelerine göre belirlenmektedir. Yüklerin kaliteli, verimli ve güvenilir bir şekilde beslenmesi güç sistemi mimarisi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle güç sistem mimarisinde kontrol, koruma, stabilite, güvenilirlik, verimlilik ve yük alma/atma ve restorasyon kapasitesi etkin rol oynamaktadır [79].

Gelecekte harp gemilerinin manyetik hızlandırıcılar, toplar, lazer silahları, geliştirilmiş radar ve entegre iletişim sistemleri gibi büyük güç yoğunluğuna ihtiyaç duyacak gelişmiş silah ve sensör yeteneklerine sahip olması beklenmektedir. Gemi elektrik ihtiyacındaki bu önemli artış, tahrik ve servis gücü arasındaki dengeyi değiştirmektedir [6]. 1970’li yıllardaki savaş gemilerinde servis gücü tahrik gücünün %10’unu oluştururken, günümüzde kullanılan gemilerde servis gücü toplam gücün yaklaşık %30’unu oluşturmakta ve geleceğin yeni nesil savaş gemilerinde servis gücünün tahrik gücüne eşit veya daha büyük olacağı öngörülmektedir [80]. Bu kadar büyük güç

gereksinimine ihtiyaç duyan sistemler için elektrik tahrikinden yararlanarak, gemide herhangi bir yerde güç üretme esnekliği barındıran ve bu gücü servis ve/veya tahrik yükleri için hangi oranda kullanacağına karar veren sistem; entegre güç sistemidir.

Gelecek nesil yoğun güç ihtiyacı olan savaş sistem yükleri dikkate alındığında tahrik sistemi ile eşdeğer seviyelerdeki servis gücünü sağlamak amacı ile hem maksimum tahrik gücü hem de maksimum silah yükünü devrede tutmanın elektrik güç sisteminde aşırı bir dizayn sonucu doğuracağı bilinmektedir. Bu gerçek dikkate alınarak entegre güç sistemi geminin maksimum silah-sensör yükü veya maksimum hızda tahrik gücü ile işletilmesi ancak her ikisini aynı anda sağlayamama sınırları üzerine tasarlanmaktadır [80]. Entegre güç sistemi ile daha düşük kurulu güce sahip gemi ile tasarım daha da kolaylaştırılabilir. Diğer bir deyişle, gemi tam sensör ve silah kapasitesini kullanabilir veya maksimum hıza çıkabilir, ancak her ikisini birden yapamamaktadır. Örnek olarak geminin sürat isterini 1 deniz mili (1knot) düşürerek tahrik sistemi güç talebindeki azalma diğer silah sistem yükleri için 10MW ilave güç sağlayabilme esnekliğini sağlamaktadır [80].

Entegre güç sistemlerinin kullanılmasının başlıca avantajı, tahrik ve kritik yükler arasındaki gücü gerektiğinde değiştirme esnekliğidir. Entegre güç sistemi ayrıca GGS'nin hayatta kalma ve güvenilirliğini artırabilmektedir. Entegre güç sistemi tüm elektrikli gemi için yeni nesil teknoloji olarak tanımlanmaktadır [70, 81]. EGS'nin amacı; geminin hayatta kalma oranını arttırmak, insan hatalarını ortadan kaldırmak, akıllı yeniden yapılandırma kararlarını daha hızlı almak ve hızlı bir şekilde fonksiyonları yerine getirerek uygun elektrik güç sistemini sağlamaktır.

Gemi güç sistemlerinde yeniden yapılandırılma ile kendi kendini iyileştirme ve hayatta kalmasını sağlayan kontrol teknikleri üzerine yapılan araştırmalar/çalışmalar güncelliğini korumaktadır. GGS'nin otonom olarak yeniden yapılandırılması üzerine yürütülen çalışmalar ile arıza kaynaklı olarak sistemin/geminin hayatta kalma gereksinimleri karşılamaya çalışılmaktadır [82]. Mevcut koruma sistemi, savaş sırasında gücün sürekliliğinin sağlanmasında eksikliklere sahip olabilmektedir. Bu nedenle uygulanan kontrol stratejileri, hasardan etkilenen yüklerin doğru bir şekilde yalıtılmasında (çok geniş bir alanı izole etmek yerine sadece arızalı sistemi izole etme) yeterli etkinlikte değildir ve arıza nedeni ile izole edilen dağıtım sistemindeki hasar alanı içinde kalan sağlıklı yüklere gücün geri kazandırılması için GGS'nin yeniden yapılandırılması faaliyeti operatör girdisine/tecrübesine büyük ölçüde bağımlıdır [21].

Sistem karmaşıklığı ve savaş alanındaki zamanlama baskısı dikkate alındığında GGS'nin en doğru şekilde otomatik olarak yeniden yapılandırması ve/veya operatöre doğru bilgi akışını sağlayarak doğru tavsiyede bulunması gerekmektedir [83].

Son yıllarda hem sevk ve hem de operasyonel hizmetler için ortak bir güç sistemi kullanılmasını yönelik çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Bu kapsamda tahrik sistem yapısını mevcut gemiler ve yeni nesil gemiler açısından incelediğimizde farklı konfigürasyonlar dikkat çekmektedir. Bu tip fosil yakıt kullanan mekanik tahrikli gemilerde dizel makine ve/veya gaz türbini geminin değişik süratler isterini sağlayabilmek amacı ile değişik sürat kademelerinde kullanılmaktadır. Ancak bu durum dizel/gaz türbini için egzoz salınımlarının en az olduğu, makinenin en verimli dolayısı ile en az yakıt tüketimi sunan nokta olmamaktadır.

Mevcut gemilerde kullanılan tahrik sistemi konfigürasyonu aşağıda verilmektedir:

Kombine Dizel ve Dizel (CODAD)

Kombine Dizel ve Gaz (CODAG)

Kombine Gaz ve Gaz (COGAG)

Kombine Dizel Elektrik ve Gaz (CODLAG)

Yeni nesil elektrik tahrikli gemilerde güç ünitesi olarak dizel-jeneratör setleri kullanılmaktadır. Güç ünitelerinin mekanik grubu olan dizel makine; sabit devirde ve makinenin tasarlandığı en verimli, en az yakıt tüketimi sunan, en az egzoz salınımı ile çalışan tasarımının optimum noktasında çalıştırılır, bu da sivil bahriyede dahil olmak üzere yakıt ekonomisi ve çevresel isterler dikkate alındığında mevcut tahrik sistemlerine göre elektrik tahrikli sistemleri daha çekici kılmaktadır.

İlerleyen teknoloji ile gemilerin tamamen elektrik tahrikli sisteme dönüştürülmesi sadece yakıt maliyetini düşürmekle kalmayıp tahrik sistemi bileşenlerinin boyut/ağırlık ve maliyetini de önemli derecede düşürmektedir. Su üstü harp gemilerindeki entegre güç sistemi literatürde tüm elektrikli gemi veya elektrikli tahrikli gemi topolojilerinin temelini oluşturmaktadır.

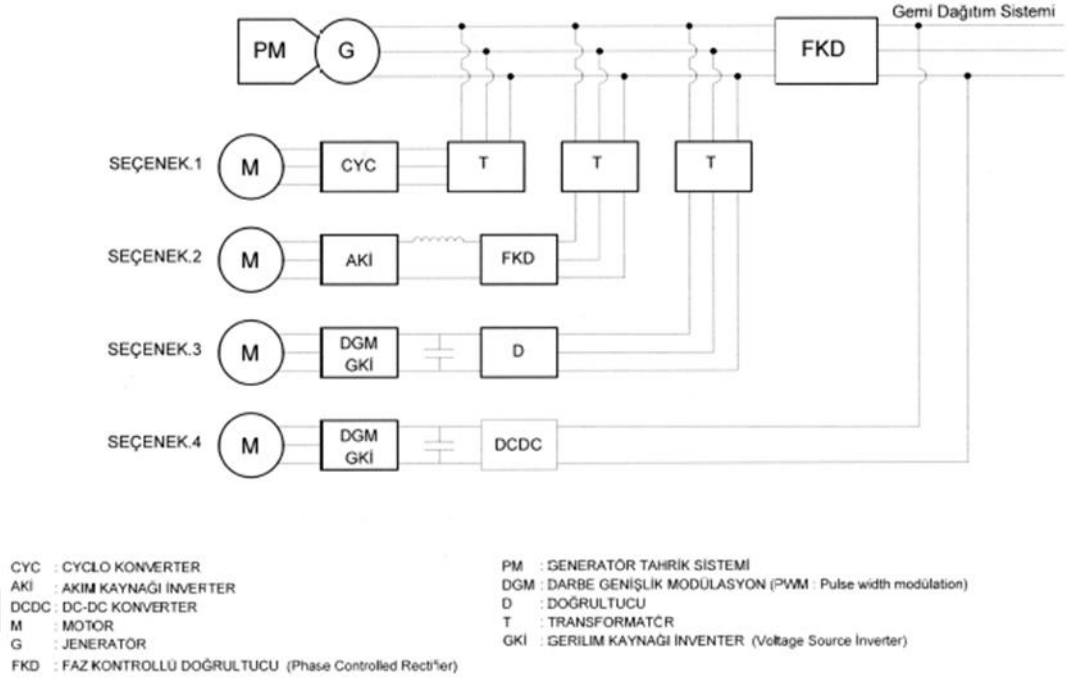
Halihazırda mevcut harp gemilerinde sabit veya kontrollü pitch hareketi yapabilen pervaneler kullanılmaktadır. Gemilerde pitch kontrolü; pervane şaftına monte edilmiş olan pervanenin kanat açılarının değiştirilmesi ile talep edilen sürat için gerekli torkun

sağlanması işleminin şaftın devir hızının ve yönünün değiştirilmeden yapılmasını sağlayan sistem olarak ifade edilmektedir.

Mevcut tasarımlar incelendiğinde geminin sürat kontrolünde sabit devirli makine kullanılmadığı durumlarda makinenin devrine kumanda etmek üzere yakıt giriş miktarını kontrol eden hız kontrol sistemlerinin kullanıldığı da görülmektedir. Ayrıca bazı gemilerde yardımcı sevk birimi (YSB) olarak adlandırılan elektrik tahrikli manevra pervaneleri de bulunmaktadır. YSB olarak; sabit tünel içerisine gemi omurgasına dik olacak şekilde karınaya monte edilmiş olan tipleri olduğu gibi gemi karinasındaki yuvasından aşağı indirilen ve gemi yatay ekseninde 360 derece dönüş yapma imkânı bulunan asansörlü tip yardımcı pervanelerde bulunmaktadır. Asansörlü tip yardımcı pervaneler kullanılmadıkları zaman gemi karinasında takıntı olmasın diye gemi içerisine yukarı alınırlar. YSB sistemleri geminin manevra kabiliyetine, düşük süratteki avara-aborda gibi manevralarına destek veren yardımcı tahrik sistemleridir.

Özellikle yeni nesil elektrik tahriki sistemi kullanan ve/veya YSB sistemlerine sahip gemilerde hız kontrolü, tahrik sistemine ait tüm ana ve yardımcı motorlar (dümen görevini üstlenen yardımcı motorlar vb.) için güç iletimi entegre güç sistemleri ile sağlanmaktadır. Daha öncede bahsedildiği üzere; Entegre güç tahrik sistemi yükleri ile aynı zamanda servis yükleri ve için de ortak güç kaynağı kullanmaktadır [75].

Elektrik tahrikli gemi dağıtım sistemi temel prensip şeması farklı seçeneklerle Şekil 2.22’de sunulmuştur.



Şekil 2.22. Elektrikli tahrikli gemi topolojisi seçenekleri [75]

Entegre güç sistemi (EGS) ile donatılmış elektrikli tahrikli gemilerin mekanik tahrikli gemilere göre bir takım avantajları bulunmaktadır [75].

- EGS; prime mover olarak adlandırılan pervane şaftını süren fosil yakıtlı tahrik sistemi motorlarını sayısını azaltmaktadır. Daha az sayıda birincil motorun olması bakım gereksinimlerini önemli derece azaltır.

Mekanik sistemlerde bulunan prime mover pervane şaftı ile aynı doğrultuda olacak şekilde konumlandırılması zorunluluğu bulunmamaktadır.

Doğru bir elektriksel bağlantı ile tahrik sistemi elektrik motorlarını besleyen birincil motorlar (elektrik tahrikli gemide dizel tahrikli güç ünitesi) EGS bulunan gemilerde daha yukarıdaki güvertelere yerleştirilerek hava besleme ve egzoz borusu ihtiyacı en aza indirir.

Herhangi birincil motor herhangi bir tahrik motoruna elektriksel bağlantı ile güç sağlayabilir, böylece savaş gemisinin zorlu koşullarda hayatta kalma kabiliyeti artar.

Daha kısa şaft kullanılması, gemi inşasındaki hassas şaft hattı (ing. shaft line) montajını rahatlatır ve ekipman karmaşıklığını azaltır.

Birincil motorlar EGS’de pervane ile mekanik bağlantılı olmadıklarından birincil motorların devrinin pervane hızına bağlı olma zorunluluğu bulunmaktadır.

Geniş bir aralıktadır değişken hız kontrolü, manevra kabiliyetini arttırır ve pervanenin özellikle tornistan (geminin geri yönde hareketini sağlayacak şekilde pervanenin ters dönmesi) geçişlerini kolaylaştırır.

Dişli kutularının olmaması geminin gürültülü çalışmasını engeller ve akustik iz açısından önemli fayda sağlar.

Tornistan manevra için geri yönde çalışan dişli/türbin bulundurma ihtiyacı ortadan kalkar ve pitch kontrolü CRP (ing. controllable-reversible-pitch) tipi pervane kullanabilme esnekliği ile hem maliyet etkin hem de kavitasyon kısıtları açısından önemli bir kabiliyet kazanılabilir.

Birincil motorların operasyonel olarak optimum koşullarda çalışması (en verimli noktada) sağlanabilmektedir. Ekipman, personel ve yakıt maliyetlerinin kayda değer bir şekilde azalmasına katkıda bulunulur. Ayrıca emisyon değerlerinde de azalma meydana gelmektedir.

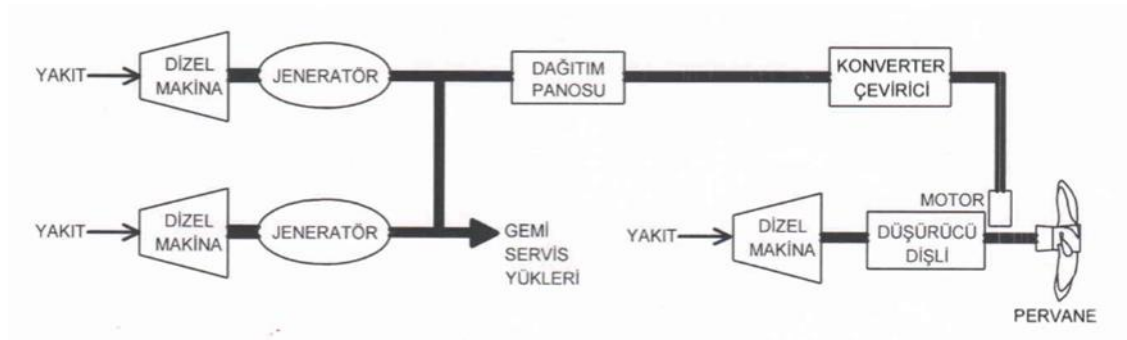
Özetle; gemilerin elektrikle tahrikinin (tüm elektrikli gemi) tasarımda sağladığı esneklik, verimlilik ve düşük işletme maliyetleri ile birlikte hassas hız kontrolü ve manevra kabiliyeti gibi önemli avantajları bulunmaktadır. Tüm elektrikli gemilerin suüstü harp gemilerinin görev yeteneklerini arttırması yanında özellikle de dizel-jeneratör setlerinden oluşan mekanik güç üniteleri yerine çok daha sessiz yakıt pili teknolojisi ve/veya yüksek kapasiteli batarya sistemleri ile entegre olabilecek gemi tasarımlarında akustik izin düşürölmesi sonucu sessiz görev yeteneğini de kazanabilecekleri bilinmelidir.

2.4. Hibrit Beslemeli Elektrik Gemi Güç Sistemi

Gemilerde talep edilen gücün üretilmesi için gerekli olan güç üretim ünitesi yardımcı makine olarak da adlandırılmakta olup jeneratör tahrik birimi ve jeneratörün mekanik olarak birbirine bağlanması ile oluşmaktadır.

Şekil 2.23'te servis jeneratörlerinin düşük süratte dağıtım panosu üzerinden sürücüler ve yardımcı motorlar vasıtası ile gemi sevk sistemine bağlantısı; yüksek süratler için ise ana tahrik sisteminin içten yanmalı makine ile düşürücü dişli üzerinden pervaneye bağlantısı görölmektedir. Bu sistem hem elektrik tahriki hem de mekanik tahriki barındırdığı için hibrit (karma) tahrik sistemi olarak adlandırılmış olup güç üretim

ünitesinin ana sevk ve servis sisteminde kullanılabilirliğine ilişkin örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 2.23. Hibrit Elektrik Tahrik Sistemi Güç Sistemi Yapısı [45]

Günümüzde dizel jeneratör setleri ile elektrik enerjisi elde edilmesi yerine farklı enerji depolama birimlerinin kullanılması gündemde yer almaktadır. Çevresel kaygılar ve fosil yakıt kısıtlamaları nedeni ile dizel jeneratör setlerinden birisinin veya bir gurubun yerine güneş enerji panellerinden güç elde etme veya batarya sistemleri ile entegre kullanılması, yakıt pili teknolojilerinden enerji elde edilmesi böylece çevreye daha duyarlı platformların üretilmesinin hedeflendiği görülmektedir.

Çevreye karşı duyarlı tutum, temiz enerji, yakıt ekonomisi vb. nedenlerle günümüzde kara, deniz, hava platformlarında kullanımı artan enerji depolama sistemlerinin gelecekte deniz platformlarında daha fazla kullanım alanı bulacağı değerlendirilmiştir [84, 85]. Enerji depolama ve temiz enerji üretim teknolojilerinin kullanım alanının sadece sivil deniz platformları ile sınırlı kalmayacağı ve özellikle askeri deniz platformlarının barış dönemi kullanımı başta olmak üzere farklı amaçlarla kullanımına yönelik çalışmaların yürütülebileceği değerlendirilmektedir [86].

Özellikle askeri deniz platformlar denildiğinde suüstü savaş gemileri ve denizaltılar ayrımında denizaltıların sualtında hareket icra etmek için batarya ve havadan bağımsız tahrik sistemi, enerji depolama çözümlerini başarı ile kullandıkları görülmektedir [87] [88]. Özellikle havadan bağımsız tahrik sistemi (HBT) olarak adlandırılan ve denizaltılarda kullanılan enerji depolama teknolojileri; temel olarak yakıt pili temelli gemide üretilen veya depolanan hidrojen ile oksijeni kullanarak elektrik enerjisi ve su üreten bir teknolojidir [89-91]. Ancak farklı HBT çözümlerinin de uygulama alanı bulunduğu bilinmelidir. Bunlar STIRLING makine, stim çevrimi kullanan MESMA, kapalı çevrim dizel teknolojileri olarak sıralanabilir [88]. Bunlara ilave olarak özellikle

yakıt pili teknolojisi temelli HBT sistemlerinin hidrojen ihtiyacının gemide üretilmesi için sıvı yakıt kullanan hidrojen üretici sistemleri (reformer) üzerine de çalışmalar bulunmaktadır [92, 93]. Bu teknolojilerin sadece denizaltı özelinde geliştirilmediği ve suüstü gemilerinde de uygulama alanı bulabileceği bilinmelidir.

Günümüzde deniz platformlarında uygulama alanları ile karşılaştığımız elektrikli tahrikli platformlar başta olmak üzere gelecekte enerji depolama ve elektrik üreten yenilikçi sistemlerin hibrit sistemler olarak birlikte kullanılabileceği uygulama alanlarının yaygınlaşacağı gözlemlenmektedir [94].



3. ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİNDE YENİDEN YAPILANDIRMA

Savaş gemisinin elektrik dağıtım sisteminde arıza sonrası karşılaşılan durumun analiz edilip, gemi güç sisteminde arızanın yayılmasının önüne geçilerek, sistemin tekrar devreye alınmasına veya enerji kesintisi yaşayan önemli yükleri beslemek için güç sisteminde yapılacak manevralar dağıtım sisteminin yeniden yapılandırılmasını sağlamaktadır. Bu bölüm içeriğinde elektrik sistemindeki yeniden yapılandırma süreci kapsamında literatür taraması ve hasar kontrol sistem/algoritması hakkında bilgi sunulacaktır.

3.1. Yeniden Yapılandırma/Restorasyon ile ilgili Literatür Araştırması

Su üstü harp gemilerinin çatışma sırasında yara alması halinde görevine devam etmesi, hayatta kalabilmesi için gerekli sistemleri çalıştırabilmesi, yaralı olduğu durumda kendini emniyete alabilmek için gerektiğinde harekât alanından uzaklaşabilmesi için yaşamsal sistemlerini faal tutması ve arıza durumunun mümkün olan en kısa sürede en az hasarla atlatılabilmesi gerekmektedir. Bunun için faal olup da izole edilmiş arızalı bölgede kaldığı için elektrik enerji beslemesi kesilmiş olan yükleri de en kısa zamanda enerjilendirmek ve dağıtım sistemi tasarım limitleri dikkate alınarak güç kaynaklarının yüklere dengeli bir yapı ile dağıtmak restorasyon ve yeniden yapılandırma faaliyetlerinin amacıdır.

Gemilerde yeniden yapılandırma/restorasyon süreci askeri gemilerde hasar kontrol sistemi ile gemi güç sisteminin entegre bir şekilde çalışması ile yürütülmektedir. Bu kapsamda yapılan literatür araştırmalarının farklı metotlar kullanarak yeniden yapılandırma süreçlerini irdeledikleri görülmüştür.

Uzman personelden gelen bilgilere ve bu doğrultuda önceden belirlenmiş kurallara dayanan insan muhakemesi ve müdahalesi bekleyen sistemler olan GGS’de bulanık mantık temelli kontrol sistemlerin dahil olması ile çalışmaların [23, 25] genişletildiği görülmektedir. Yeniden yapılandırma sürecinde oluşturulan çok amaçlı fonksiyonların bulanık mantık ile ele alındığı ve özellikle her bir durum fonksiyonun

ağırlığının belirlenme sürecinde bulanık mantığın kullanılması üzerine yoğunlaşan makaleler bulunmaktadır [95].

Uzman sistem yaklaşımı ile gemi elektrik sisteminde meydana gelen hasar/arızaların karmaşık yapısı içerisinde yürütülen restorasyon faaliyetleri için genetik algoritma temelli [26, 31, 96] veya parçacık sürüsü algoritması [28, 97] veya çok katmanlı uzman sistem [29] yaklaşımları üzerine çalışmalar yapıldığı görülmüştür.

Özellikle bazı ülke donanmalarının yeniden yapılandırma sürecinde hasar kontrol ve güç yönetim sisteminin otomatik faaliyet göstermesini hedefledikleri görülmüş olup farklı yöntemlerinde farklı optimizasyon metotlarını kullandıkları tecrübe edilmiştir [98].

Yeniden yapılandırma faaliyetlerinde merkezi kontrol yerine multi-agent metodunun daha yüksek oranda başarı ile kullanıldığı ve güç hatları bazında otomasyon önerildiği makalelere de araştırmalar sürecinde rastlanmıştır [99].

Entegre güç sisteminde gemi bünyesine dağıtılmış, ada yapısını da içeren güç üretim birimlerine sahip gemi güç sisteminde restorasyon çalışan ve yeni metod geliştirmeyi hedefleyen makaleler de tez sürecinde literatür tarama sürecinde incelenmiştir [100].

Restorasyon faaliyetinde anahtarlama işlemi sayısını en aza indirmeyi amaçlayan geliştirilmiş algoritmaların ise GGS'deki anahtarların durumu ve yüklerin önem derecesi ve yaşamsal öncelikleri kapsamında da çalışmaların arttığı yüklere ve kesicilere ağırlık faktörleri belirlenmeye çalışıldığı görülmüştür [28, 31, 101]. Hasar kontrol sistemi için yeni geliştirilen uzman sistemler ve yöntemler olasılık tabanlı otonom “kendi kendini iyileştirme” veya “arıza sonrası toparlanma” adı verilen algoritmaları içerisinde barındırmaktadır [33].

Dikkat çekici çalışmalardan birisi de savaş gemisinin isabet/hasar öncesi yara alabileceği/vurulabileceği bölgelerin olasılıklarını inceleyerek tahmin eden gemi güç sistemini hasara karşı hazırlamak üzere yeniden yapılandıran ve gemide yaygın arıza olmasının önüne geçmeyi hedefleyen restorasyon çalışmasıdır [102, 33]. Bu çalışma savaş gemisine gelen tehditin tipinin sensörler ile tespit edilmesi sonrası, gerekirse geminin yapacağı sakınma manevralarını da dikkate alarak tehdit olan füzenin gemiyi neresinden vurabileceğini öngörüp bu muhtemel hasara karşı gemi güç sistemini isabet öncesi hazırlamayı hedeflemektedir. Örnek olarak radar güdümlü bir füze geminin radar kesit alanı en yüksek olan bölgesini hedefleyecek, radyasyona karşı hassas pasif

bir füze ise geminin transmisyon yapan radar direkleri gibi bölgelerini daha yüksek olasılıkla vuracaktır. Burada radar güdümlü bir füzeye karşı geminin silah sistemlerini etkin kullanmak ve radar kesit alanını azaltmak maksadı ile geminin tehdidi karşıladığı kerteriz (açı) ve manevra sonrası o kerteriz yönüne gösterdiği radar kesit alanını muhtemel isabet ve yara bölgelerinin belirlenmesinde etkin olacaktır. Bir başka örnekte ise sinyal yayımına/radyasyona güdümlü füzelere karşı tedbir olarak geminin emisyon/yayım kontrolü yapılması gibi oluşan yeni koşullar ile birlikte yeniden yapılandırma süreci hareket ortamı ve geminin fiziksel özellikleri ile bir bütün olarak ele alınmaktadır [103].

Gemi güç sisteminin yeniden yapılandırma problemi farklı dağıtım sistemi altında (bölgesel, radyal, halka tipi), farklı arıza senaryoları altında (tek nokta arızası, çoklu arıza, yayılan arıza gibi), farklı metotlar kullanılarak (parçacık sürüşü, genetik, multi-agent, olasılık temelli, uzman yaklaşımı, Q-learning, markov karar verme algoritmaları gibi) incelenmiş ve araştırmacılar tarafından yöntemler hakkındaki literatür taraması özetleri sunulmuştur [104].

3.2. Savaş Geminde Hasar Kontrol ve Yeniden Yapılandırma

Gemi elektrik sistemleri karasal mikro grid elektrik sistem uygulamalarına benzemelerine rağmen, gemi elektrik sistemlerine ait arıza incelemeleri, yeniden yapılandırma/restorasyon süreçleri, kendilerine ait karakteristik farklılıkları barındırmaktadır. Özellikle birçok sistemi bünyesinde barındıran savaş gemilerinde gemi boyutları dikkate alındığında büyük güçlü generatörlerin sınırlı ve dar bir alanda sıkışık olarak bulunduğu hacim kritik tasarımlar ile karşılaşılmaktadır. Savaş gemisindeki yaşamsal yüklerin çoğu ana tahrik sistemi, silah ve sensör sistemleri gibi yüklerdir. Geminin vuruş gücünü oluşturan özellikle silah ve sensör gibi elektronik sistemlere ait geminin görevi, seyir emniyeti için hayati sayılan yükler enerji kalitesindeki sıkıntılara karşı hassastırlar.

Bir savaş gemisinde herhangi bir arıza durumunda geminin sevk ve tahrik sistemi ile savaş sisteminin faal durumda olması istenmektedir. Gemi elektrik sistemi gemiyi yüzer durumda tutmalı, acil durum altında dahi tehlikeli bir sahadan uzaklaşabilmesini sağlamalı, silah sistem ve sensörleri geminin vuruş gücü ve seyir emniyeti açısından faal tutulmalıdır. Bu görevin yerine getirilebilmesi için elektrik sisteminin bir parçası olan koruma sistemleri bir arıza durumundan etkilenmiş yükleri ayırt edip arızanın

daha da fazla yayılmasını engellemelidir. Eğer arızalı kısmın sistemden ayrılması sağlanamaz ve hasar/arıza izole edilemezse, diğer yükler, kablolar, termik-manyetik şalterler ve diğer güç kaynakları da arızadan etkilenecek arızanın yayılması durumu ile karşılaşılır, bu durumda daha yaygın dağıtım sistemi arızalarına sebebiyet verebilmektedir. Hasar altındaki gemi mümkün olan en kısa sürede elektrik dağıtım sistemini yeniden yapılanmayı (restorasyonu) sağlayacak kabiliyette olmalıdır.

Gemilerde personelin hasar kontrol kabiliyetlerini azaltmadan veya gemilerin görev kabiliyetlerini tehlikeye düşürmeden işletme maliyetlerinin azaltılmasına, personel sayısının azaltılmasına yönelik çalışmalar güncelliğini korumaktadır [78]. İşletme kalitesini arttırmaya yönelik çalışmaların yanı sıra modern gemilerin artan karmaşıklığı, bakım prosedürlerinin kolaylaştırılması, artan operasyonel isterlerin oluşturduğu karmaşıklık, hasar/yara altından savaş durumunda icra edilecek faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesi/yönetilmesi maksadıyla gemi personeline yardımcı olabilecek hasar kontrol sistemlerine, karar destek mekanizmalarına, gelişmiş akıllı fonksiyonlara ve yeni teknolojilere ihtiyaç duymaktadır.

Personel can emniyetini ve gemi hayati sistemlerini etkilememesi hızlı eylemler gerektirmektedir. Halihazırda savaş gemilerinde hasar kontrolü personele yüksek oranda bağımlı ve çoğunlukla manuel operasyonlarla gerçekleşmekte iken, yeni geliştirilen acil durum yönetim operasyonlarının otomasyonu için yeni nesil gemilerde hasar kontrol sistemleri başlığında toplanan karmaşık otomasyon mimarilerinin sistemlere entegrasyonu yapılmaktadır [21, 60].

Hasar kontrol sistemine yönelik karar destek mekanizmaları, gemiye ait bilgilerin toplanması ve işlenmesi esasına dayanan çeşitli hasar durumlarını tespit etme, analiz etme faaliyetlerini yerine getiren ve ekipman kontrollerini gerçekleştiren sistemdir.

Kontrol sistemi; arıza tanımlama, arıza yeri belirleme, koruma, arızanın izole edilmesi ve yeniden yapılandırma süreçlerini içermektedir.

Hasar kontrol sistemi ve karar destek mekanizmaları; geminin yara alması, yara nedeni ile bölme/bölmelerinin deniz suyu ile imla etmesi, yangın, yaşamsal ekipmanların kaybedilme tehdidi, KBRN kirlenmesi gibi nedenlerle oluşabilecek acil durum senaryolarında bulunan kötü koşulların geminin faal bölmelerine de yayılabileceğini göz önünde bulundurmakta ve gerekli hazırlıkları yapmaktadır [83].

Entegre güç sistemi; gemi tahrik sisteminin, mekanik, elektrik, yardımcı ve hasar kontrol sistemlerinin gerçek zamanlı izlenmesini sağlayan bir otomasyon sistemidir. İzlenen donanımlar şanzıman (dişli gurubu/ing. reduction gear), pervaneler, generatörler, ana tevzi panoları, yangın tulumbarları, ısıtma ve havalandırma/klima sistemleri, soğutulmuş su vb. sistemlerdir. Gemilerde hasar kontrol karar destek mekanizmasının geliştirilmesinde; gemi yapısal bilgileri (örneğin gemi yerleşimi, bölmelerin boyutları, sensör ve cihazları listesi, mühendislik verileri) [103], askeri-gemi kuralları (örneğin işletim ve güvenlik yönetimi prosedürleri, tasarım kriterleri gibi), onarım kuralları ve hasar kontrol operatörleri (yara savunma-yangın ekipleri vb.) tecrübeleri, bilgileri dikkate alınmalıdır. Şekil 3.1’de geminin hasar kontrolü için karar destek mekanizması modeli verilmektedir [17]. Şekil 3.1’de verilen karar destek mekanizmasında birbirinden bağımsız modüllerin bir arada çalışması için merkezi bir yazılım arayüzüne ihtiyaç duyulmaktadır. Örneğin merkezi yazılım olası hasar durumlarında gemi stabilite verilerini ve stabilite parametrelerini tekrar hesaplayabilmelidir ve gemi stabilitesini sağlamak için gerekli olan tahliye tulumbarlarını devreye alabilmeli ve yangın bölgelerinin elektriğini kesebilmelidir. Kritik olaylarda hasar kontrol personeline en uygun prosedürleri veya tavsiyeleri sunarak hasarın etkileri minimize edilebilmelidir. Karar destek mekanizmaları hasar kontrol konsolları aracılığı ile arayüzün çıktısı olarak bir dizi operatif işlemi sunar.

Hasar altında uygulanan genel kontrol stratejileri, hasardan etkilenen yükleri izole etmede ve aynı zamanda sağlıklı yükleri tekrar sisteme geri kazandırmak için elle yapılan insan müdahalesine büyük ölçüde bağımlıdır. Gemideki toplam faal gücün yeterli olup olmadığı, öncelik derecelerine dikkat edilerek yüklere enerji verilip verilemediği, gücün dağıtım sistemi kısıtları dikkate alınarak dengeli dağıtılıp dağıtılamadığı, hasarlı bölgedeki faal yaşamsal yükleri beslemek için yapılması gereken yeniden yapılandırma ve restorasyon faaliyetinin başlatılması gibi işlemleri hasar kontrol ve karar destek sistemi icra etmektedir. Karar destek sisteminin operatörü desteklemesi ve el ile yapılan işlemlerin otomasyon ile hızlı bir şekilde yapılması için gelişmiş izleme ve kontrol, otomatik arıza yeri belirleme, otomatik akıllı yeniden yapılandırma ve gemi güç sisteminin tekrar enerjilendirilebilmesi işlemlerinin yapılması gerekir [17, 105].

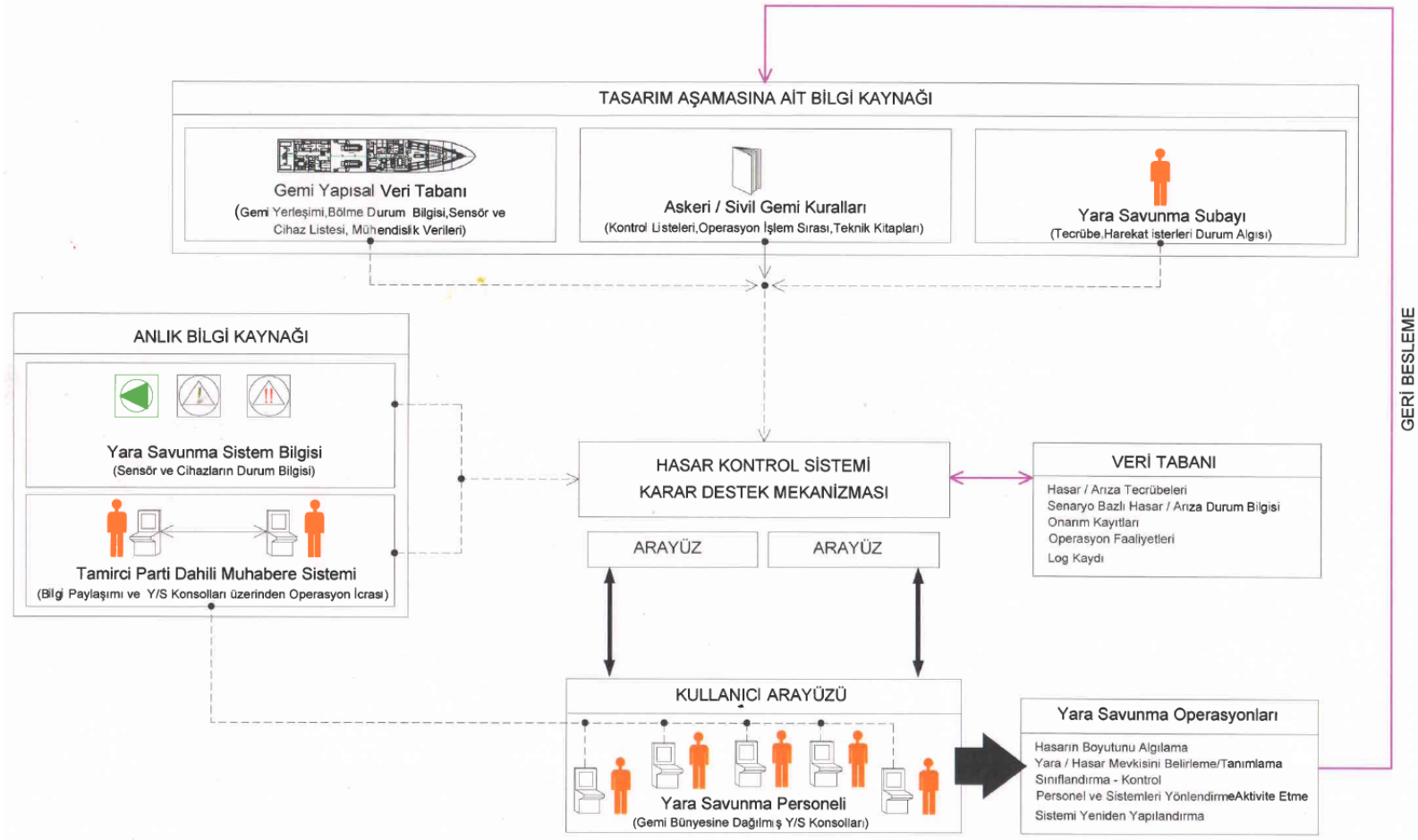
Yüklerin restorasyonu; gemi elektrik güç sisteminin yeniden yapılandırılması ve üretim-tüketim dengesinin en iyi şekilde yönetilmesi ile sağlanabilmektedir. Buna

rağmen sistem kısıtlamalarını ihlal etmeden tüm yükleri yeniden enerjilendirmek her zaman mümkün olmayabilir. Bu durumda, daha yüksek önceliğe sahip yükler önce devreye alınmaktadır. Sistem kısıtlamalarının aşılması durumunda yeniden yapılandırma prosedüründe daha az öncelikli yükler devreden çıkarılmakta (yük alma-atma operasyonu) veya yükleri devreye alırken daha seçici davranılmakta ve önem derecesi düşük yükler devreye alınamamaktadır.

Yeni nesil harp gemilerinde gelişen ihtiyaçlar ölçüsünde artan sistem sayısı ile ters orantılı olarak azalan personel sayısı elektrik güç yönetimini de kapsayan otomasyon içeren kontrol sistemlerine olan ihtiyacı daha da belirgin olarak ortaya çıkarmaktadır. Gemi elektrik güç sistemi ekipmanları için izleme, kontrol ve koruma fonksiyonlarına ait bilgiler Tablo 3.1’de verilmektedir [106].

Dağıtım sisteminin yeniden yapılandırılması, fiderlerin topolojik yapılarının ve bara transfer şalterlerinin ve kesicilerin konumlarının değiştirilerek enerjisiz kalan yüklerin yeniden enerjilendirilmesi ilkesine, yükün dengeli dağılımı için besleme hatlarının dengeli yüklenmesi ilkesine ve faal güç kaynaklarının özellikle yaşamsal sistemler için etkin aşırı yüklenmeden kaçınacak şekilde paylaştırılmasına dayanmaktadır. Yeniden yapılandırma da işletme kısıtlamalarını ihlal etmeden mümkün olan en fazla yükün yeniden enerjilendirilmesi, yük dengesinin sağlanması, kayıpların en aza indirilmesi de amaçlanmaktadır. Dağıtım sisteminin restorasyon faaliyetleri, işletme kısıtlamalarını ihlal etmeden dağıtım sistemini yeniden konfigüre ederek hata izolasyonu, yeniden yapılandırma ve yük atma süreçlerini kapsamaktadır [27]. Yüksek öncelikli yüklerin devreye alınması istenirken işletme kısıtlamalarına, kabloların akım taşıma kapasitelerine ve bara gerilim sınır değerlerine dikkat edilmelidir [105, 107].

Akıllı yeniden yapılandırma sistemi, tüm devre kesicilerin ve rölelerin uzaktan izlenmesi ve kontrolünü, coğrafi veri tabanını (geminin tasarım veri tabanında bulunan tüm cihaz ve sistemlerin gemideki pozisyonlarına dair konum bilgilerini içeren veri tabanı), doğru bir arıza yeri belirleme tekniğini ve yeniden yapılandırma ve geri yükleme işlemini gerçekleştirme tekniğini içerir [108].



Şekil 3.1. Geminin hasar kontrolü için karar destek mekanizması modeli [17]

Tablo 3.1. İzleme, kontrol ve kumanda fonksiyonlarına ait bilgiler [106]

No	EKİPMAN	İZLEME		KONTROL	KORUMA	
		Veri ulaşımı	Parametre		Cihaz	Cihaz Konumu
1	Generatör	Lokal-uzaktan	Akım-Gerilim-Faz açısı-Güç Frekans-Şalter Konumu	Lokal-uzaktan	Kesici	Generatör Ana Panosu
2	Ana Bara Transfer Şalteri	Lokal-uzaktan	Akım-Gerilim-Güç-Şalter Konumu	Lokal-uzaktan	Kesici	Generatör Ana Panosu
3	Yük Merkezi	Lokal-uzaktan	Akım-Gerilim	Lokal-uzaktan	Kesici	Generatör Ana Panosu
4	Ana Tevzi Panosu	Lokal	Akım-Gerilim	Lokal	Kesici-Sigorta	Yüklerin beslenebileceği merkezi nokta
5	Frekans Konvertörü	Lokal-uzaktan	Akım-Gerilim-Faz açısı-Güç Frekans-Sıcaklık	Lokal-uzaktan	Kesici	Frekans Konvertörü panosu
6	Bara Transfer Şalteri	Lokal-uzaktan	Akım	Lokal	Kesici	Frekans Konvertörü panosu
7	Yaşamsal Olmayan Yükler	Lokal	Akım	Lokal	Kesici-Sigorta	Generatör Ana Panosu, Dağıtım Panosu, Yük Merkezi, Frekans Konvertörü panosu
8	Yarı Yaşamsal Yükler	Lokal	Akım	Lokal-Otomatik	Kesici-Sigorta	Generatör ana panosu, Yük Merkezi, Dağıtım Panosu, Frekans Konvertörü panosu
9	Yaşamsal Yükler	Lokal	Akım	Lokal	Kesici-Sigorta	Generatör ana panosu, Yük Merkezi, Dağıtım Panosu, Frekans Konvertörü panosu

Gemi elektrik güç sisteminde yeniden yapılandırma süreçlerinde merkezi veya lokal yaklaşımlar kullanılabilir. Merkezi bir yeniden yapılandırma sürecinde, yeniden yapılandırma kararlarını vermek için bir veya daha fazla merkezi kontrol ünitesi bulunmaktadır. Merkezi kontrol sisteminde yeniden yapılandırma işleminde; gemi güç sistemine bağlı yük listesi, hâlihazırda yer alan ekipmanların listesi (kablolar, devre kesiciler, vb.) gibi sisteme ait ayrıntılı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Alt sistemlerden alınan bilgiler merkezi kontrol ünitesinde değerlendirilir ve buna göre ilgili dağıtım istasyonlarına komut gönderilir. Her bir istasyonun birbirleriyle de haberleşmesi gerekmektedir. Merkezi olmayan yeniden yapılandırma yaklaşımında, her istasyon/ekipman birbirinden bağımsız ve otomatik çalışmaktadır.

Gelişmiş hasar kontrol şeması akış şemasına ait prosedürler aşağıda verilmektedir: Şekil 3.2’de akış şeması sunulmuştur.

1. Adım: Arızanın meydana gelmesi
2. Adım: Arızanın tespit edilmesi
3. Adım: Arızanın izole edilmesi
4. Adım: Arızanın tanımlanması ve sınıflandırılması
5. Adım: Arıza lokasyonunun belirlenmesi
6. Adım: Devrede olan/olmayan yüklerin belirlenmesi
7. Adım: Devrede olan/olmayan hatların belirlenmesi
8. Adım: ABT ve MBT'lerin konumlarının belirlenmesi
9. Adım: Arızalı bölge ve noktanın altındaki yüklerin restorasyon ihtiyacı var mı?
10. Adım: Generatör/Generatörlerin gücü restorasyon için yeterli mi?
11. Adım: Ana tevzi panosunun gücü yeterli mi?
12. Adım: Dağıtım fiderlerin gücü yeterli mi?
13. Adım: Transformatör/Konverter/İnverterlerin gücü yeterli mi?
14. Adım: Alternatif besleme hattı faal mi?
15. Adım: Alternatif besleme kaynağına geçilir mi?
16. Adım: Yük/yükler arıza kuvveti ile beslenmesi mümkün mü?
17. Adım: Yük atma prosedürleri uygulanabilir mi?
18. Adım: Ne kadarlık yükün atılacağını tespit edilmesi
19. Adım: Yaşamsal yüklerin enerjilendirilmesi
20. Adım: Bu yük/yükler için restorasyon yapılamaz.
21. Adım: Bölgedeki diğer yükler yeniden enerjilendirilir.

- ```
graph TD;
 Basla([Başla]) --> A1[1.Adım];
 A1 --> A2[2.Adım];
 A2 --> A3[3.Adım];
 A3 --> A4[4.Adım];
 A4 --> A5[5.Adım];
 A5 --> A6[6.Adım];
 A6 --> A7[7.Adım];
 A7 --> A8[8.Adım];
 A8 --> D9{9.Adım};

 D9 -- HAYIR --> A22[22.Adım];
 D9 -- EVET --> D10{10.Adım};

 D10 -- HAYIR --> A15[15.Adım];
 D10 -- EVET --> D11{11.Adım};

 D11 -- HAYIR --> A14[14.Adım];
 D11 -- EVET --> D12{12.Adım};

 D12 -- EVET --> D13{13.Adım};
 D12 -- HAYIR --> A24[24.Adım];

 D13 -- EVET --> A21[21.Adım];
 D13 -- HAYIR --> A25[25.Adım];

 A24 --> A25;
 A25 -- EVET --> A21;
 A25 -- HAYIR --> D17_1{17.Adım};

 A15 --> D17_1;
 A14 --> D17_1;

 D17_1 -- HAYIR --> A16_1[16.Adım];
 D17_1 -- EVET --> A18_1[18.Adım];
 A16_1 --> A19_1[19.Adım];
 A18_1 --> A19_1;
 A19_1 --> D26_1{26.Adım};
 D26_1 -- EVET --> A27_1[27.Adım];
 D26_1 -- HAYIR --> A20_1[20.Adım];
 A27_1 --> SON([SON]);
 A20_1 --> SON;

 A22 --> A23[23.Adım];
 A23 --> D17_2{17.Adım};
 A23 --> A16_2[16.Adım];
 A23 --> A19_2[19.Adım];
 A23 --> A20_2[20.Adım];
 A23 --> A27_2[27.Adım];

 D17_2 -- HAYIR --> A16_2;
 D17_2 -- EVET --> A18_2[18.Adım];
 A16_2 --> A19_2;
 A18_2 --> A19_2;
 A19_2 --> D26_2{26.Adım};
 D26_2 -- EVET --> A27_2;
 D26_2 -- HAYIR --> A20_2;
 A27_2 --> SON;
 A20_2 --> SON;
```

66

#### **4. HARP GEMİSİ ELEKTRİK DAĞITIM SİSTEMİ YENİDEN YAPILANDIRILMASI İÇİN AMAÇLANAN YÖNTEM**

Tez kapsamında suüstü savaş gemisi elektrik dağıtım sisteminin yeniden yapılandırılması için geliştirilen yöntem, amaç fonksiyonları bu bölüm içeriğinde tanıtılmıştır. Özellikle gemi güç sistemlerinde operatör tecrübesinin de iyi bir yeniden yapılandırma sürecine dahil edilmesi önemli olup optimizasyon yöntemleri kullanılırken bu bilgi birikimi de yöntemlere dahil edilmeye çalışılmıştır [110]. Önerilen yöntem ile birlikte kullanacağımız optimizasyon metotlarının tanıtımı yapılmış ve yöntem içeriğinde kullanımına ilişkin bilgi paylaşılmıştır.

##### **4.1. Genetik Algoritmalar**

Genetik algoritmalar, doğal seleksiyon prensiplerine dayalı bir optimizasyon ve problem çözme yaklaşımıdır [110]. Bu algoritmalar, Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek, bir popülasyon içindeki bireylerin en iyi çözümünü bulmak amacıyla iterasyonlarla çalışır [96]. Genetik algoritmalar, birçok problem türü için etkili bir şekilde kullanılabilir. Çünkü problemi çözmek için kullanılan arama ve optimize etme sürecini takip eder.

Bir genetik algoritma süreci genellikle şu adımlardan oluşur [111]:

- 1- Başlangıç popülasyonu oluşturma: İlk olarak nesil bireyleri rastgele veya belirli bir stratejiye dayalı olarak oluşturulur.
- 2- Uygunluk değerlendirilmesi: Her birey, problem alanına uygun bir uygunluk (ing. fitness) fonksiyonu kullanılarak değerlendirilir. Bu fonksiyon, her bireyin ne kadar iyi bir çözüm sunduğunu ölçer.
- 3- Seçim: Uygunluk değerlerine dayalı olarak bireyler arasından seçim yapılır ve daha iyi uyumlu bireyler gelecek nesle aktarılır.
- 4- Çaprazlama (İng. Crossover): İki veya daha fazla bireyin genetik materyali birleştirilerek yeni bireyler oluşturulur. Bu, çeşitliliği artırır ve potansiyel olarak daha iyi çözümlerin bulunmasına yardımcı olur.

5- Mutasyon: Rastgele seçilen bireylerin genetik materyali belirli bir olasılıkla değiştirilir. Bu, yeni nesil fikirlerin ve varyasyonların sisteme dahil edilmesini sağlar.

6- Sonlandırma Koşulu: Belirli bir koşul gerçekleştirilene kadar adımlar tekrarlanır. Bu koşul, belirli bir uygunluk seviyesine ulaşma veya belirli bir iterasyon sayısına ulaşma gibi olabilir.

Genetik algoritmaların avantajları arasında büyük arama alanlarını etkili bir şekilde keşfetme yetenekleri, global optimumlara yakın sonuçlar elde etme potansiyeli ve farklı türde problemlere uyarlanabilme esnekliği bulunur [112]. Bununla birlikte başarılı bir şekilde uygulanmaları için uygun parametre ayarları, uygun genetik operatörlerinin seçimi ve uygunluk fonksiyonlarının belirlenmesi gibi konular üzerinde dikkatlice çalışılması gerekmektedir [96].

Yüklerin yeniden yapılandırma probleminin GA ile çözümü için aşağıdaki algoritma MATLAB arayüzü kullanılarak gerçekleştirilecektir. İlk olarak tanımlanan başlangıç fonksiyonuna senaryolara göre tanımlanmış olan jeneratör anahtar ve güç değerleri, MSB1 ve MSB2 ana dağıtım panolarının anahtarlarının durumları girilerek arıza durumu senaryolarının girişi yapılır. Ardından ana değişken olan yüklerin anahtar konumları girilir. Topluluktaki her birey yüklerin önünde bulunan anahtarı temsil eder dolayısıyla anahtar hareketi güç yönetimine olanak tanır. Tüm bireyler için GA’da veriler tekrardan düzenlenir ve uygun birey belirlenir. Amaç fonksiyonunda belirtilen güç dengesi fonksiyonu ile uygunluk fonksiyonu belirlenir. Genetik operatörler uygulanarak bir sonraki nesil seçilir. GA seçim operatörlerinden Elitizm yöntemi kullanılmıştır. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri de kullanılarak bir sonraki nesil oluşturulur.

GA sonlandırma kriteri default olarak belirlenmiş MATLAB’e bırakılmıştır.

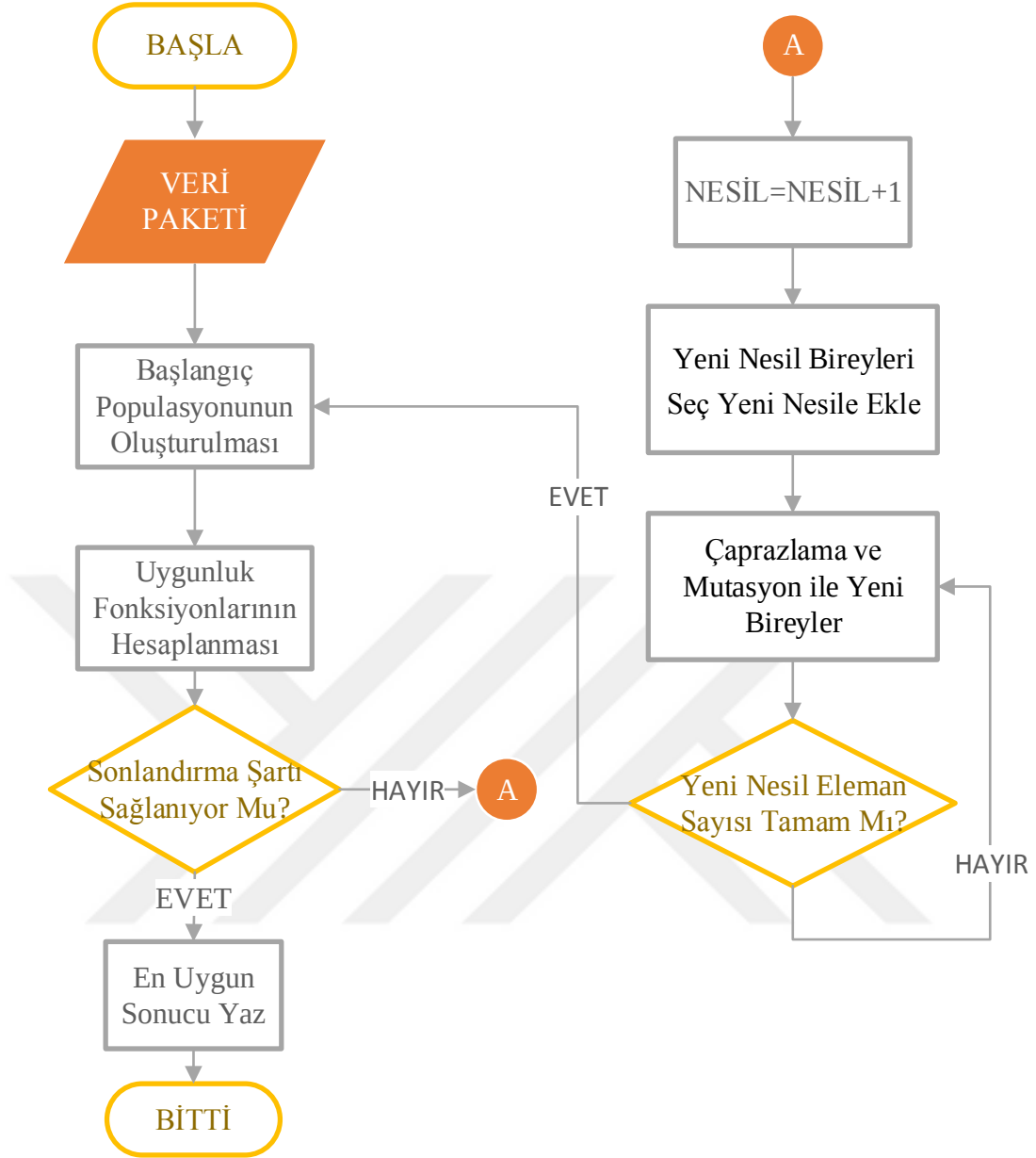
Popülasyon sayısı 300

Nesil sayısı 100

Her nesilde 50 adet birey

Elit miktarı 15 adet seçilmiş 285 adet üretilmiştir.

Genetik algoritma metodunun akış şeması Şekil 4.1’de sunulmuştur.



**Şekil 4.1.** Genetik algoritma akış şeması

#### 4.2. Patern Arama (Örüntü/Desen Arama Metodu)

Patern arama metodu (Örüntü/Desen Arama Metodu, Patern Search) matematiksel optimizasyon problemlerini çözmek için kullanılan bir iteratif yöntemdir. Bu yöntem, fonksiyon değerini minimize etmeyi veya maksimize etmeyi amaçlar [113].

İlk adım olarak, başlangıç noktası belirlenir; bu genellikle kullanıcının sağladığı bir tahmin veya problem bağlamında anlamlı bir başlangıç değeridir.

Desen, başlangıç noktası etrafında bir bölgede gerçekleştirilecek olan arama hareketlerini belirtir. Bu desen genellikle bir vektör olarak temsil edilir ve çeşitli

boyutlarda adımları içerir. Bu adımlar, çözümün belirli bir yönde güncellenmesini sağlar.

Her bir iterasyonda, mevcut çözüm noktasındaki fonksiyon değeri hesaplanır. Ardından, desen ve başlangıç noktası kullanılarak yeni bir çözüm noktası hesaplanır. Bu adımlar, iteratif bir sürecin temelini oluşturur.

Optimizasyon süreci belirli bir kritere ulaşana kadar devam eder. Bu kriter, fonksiyon değerinde belirli bir iyileşme, hata toleransının altına inme veya belirli bir iterasyon sayısına ulaşma gibi olabilir. Bu sayede, patern arama metodu, fonksiyonun sürekli ve diferansiyasyonu zor olan durumlar için uygundur.

Bu yöntem, özellikle diferansiyasyonu yapılamayan veya sürekli olmayan fonksiyonların optimize edilmesinde kullanılır. Ancak dezavantajı bazı durumlarda daha fazla iterasyon gerektirebilmesi ve gradient tabanlı yöntemlere kıyasla daha yavaş olabilesidir.

#### **4.3. 0-1 Tam sayılı Programlama,**

Eniyileme problemlerinde çözümün 0-1 tamsayı olması gereken durumlara, 0-1 (ikili) tamsayı programlama problemi denilmektedir. Elektrik güç sistemlerinde özellikle anahtarlama kararının üretileceği problemler, 0-1 (ikili) tam sayılı programlama problemi olarak ele alınabilmektedir. Elektrik güç iletim ve dağıtım sistemlerinde yük atma, üretim birimi anahtarlama, hat anahtarlayarak tekrar yapılandırma, yük yönetimi, en uygun aygıt konumlandırma gibi birçok alanda ikili tam sayılı programlama yöntemi uygulamalarına rastlanmaktadır [114]. İkili tam sayılı programlama, tüm değişkenlerin 0-1 tamsayı değerlerini alabildiği doğrusal modellerin çözümü ile ilgilidir. İkili tam sayılı programlamada doğrusal amaç fonksiyonu;

$$\text{maximize } z = \sum c_i x_i \quad (4.1)$$

Doğrusal kısıtlar;

$$Ax \leq b \quad (4.2)$$

Değişkenlerin 0-1 (ikili) sayı olma şartı;

$$x \in 0,1 \quad (4.3)$$

olarak ifade edilebilir. Tez çalışmasında Matlab optimizasyon paketi içinde yer alan çözücü kullanılarak eniyileme uygulaması gerçekleştirilmiştir.

#### 4.4. Önerilen Metot

Geminin görev esnasında hayatta kalmasını sağlamak için görev profiline dayalı dinamik öncelik modelini kullanan bir yeniden yapılandırma metodolojisi tez kapsamında önerilmiştir.

Metodolojinin ön işlem aşamasında görev, seyir süresi vb. durumlar dikkate alınarak yük öncelik tabloları hazırlanmaktadır. Yükler üç tipte sınıflandırılmaktadır; hayati olmayan, yarı hayati ve hayati yükler. Mevcut görev profiline bağlı olarak yük türlerinin önem sırası değiştirilebilir.

Bir ekipman/sistem arızası, bir yara veya bir saldırı nedeniyle anormal bir çalışma durumu meydana geldiğinde, öncelikle mevcut görev profilindeki maksimum yük gibi olası en kötü durum tahmin edilir ve yük öncelik tabloları kullanılarak yükler önem dereceleri dikkate alınarak sınıflandırılır. Hem üretim kapasitesi hem de aktarma kapasitesi hakkındaki mevcut bilgiler, yani jeneratörlerin sağlık koşulları, dağıtım sistemindeki kablolanmanın faal/devre dışı olduğu durumlar, hasar/arızanın yeri gibi teknik durum bilgileri sistem güç dengesi için çok önemlidir.

Yöntemde kontrol değişkeni anahtarlardır ve durumları ikili değişkenlerle temsil edilir. “1” anahtarın kapalı olduğu “0” ise anahtarın açık olduğunu anlamına gelir. Anahtar durum verileri; bağlı yükleri, bağlantısı kesilmiş yükleri, çalışmakta olan panoları ve paralel/ayrık çalışma vb. gibi jeneratörleri bağlamak için hangi topolojinin kullanıldığını gösterir. Bu veri seti görev profiline bağlıdır.

Optimizasyon problemi GGS’nin anormal bir durumla karşılaşması sonrasında görevi başarıyla tamamlamak için yüklere iletilen gücün maksimuma çıkarılması olarak formüle edilmiştir. Yöntem aynı zamanda güç dengesi, hatların mevcut limitleri ve jeneratör ve dağıtım panolarının transfer kapasiteleri vb. dahil olmak üzere bir dizi kısıtlamaya tabi olan toplam anahtarlama işlemi sayısının da en aza indirilmesini sağlar.

Denklem 4.4'te amaç yüklere iletilen gücün maksimuma çıkarılmasıdır.

$$\min \sum_{i=1}^{Nmsb} \sum_{j=1}^{NL} WL_{ij} * (1 - X_{ij}) \quad (4.4)$$

Denklem 4.4' deki Nmsb toplam ana dağıtım panosu sayısını (ana güç santrali, ana dağıtım tablosu), NL ise toplam yük sayısını temsil etmektedir. Denklem 4.4' deki  $WL_{ij}$ , i'nci ana pano tarafından beslenen j'nci yükün atılması/beslenememesi kaybı durumundaki ceza faktörünü temsil eder.  $WL_{ij}$ , hem mevcut görev hem de geminin fiili durumu dikkate alınarak, operatör tecrübesini de dahil ederek belirlenir.  $X_{ij}$ , yeniden yapılandırma sürecinde i'nci ana dağıtım panosuna bağlı, j'nci anahtarın (kesici, sigorta, ing. switch) anahtar durumudur. Eğer i'nci anahtar kapalı konumda (enerjilendirilmiş) ise  $X_{ij}$  1'dir. Öte yandan  $X_{ij}$ 'nin 0 olması j nolu anahtarın açık (devrede olmaması) konumda olduğunu gösterir.

Denklem 4.5'te amaç anahtarlama eylemini en aza indirmektir.

$$\min \sum_{i=1}^{Nmsb} \sum_{j=1}^{Nsw} Wsw_{ij} |X_{ij}^{initial} - X_{ij}| \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'teki Nmsb toplam ana dağıtım pano (santral) sayısıdır. Nsw anahtarların sayısıdır.  $Wsw_{ij}$ , i nolu ana dağıtım panosuna bağlı j nolu anahtar için anahtarlama eyleminin ceza faktörünü temsil eder.  $Wsw_{ij}$ , hem mevcut görev, hem de geminin gerçek durumu, dağıtım sistemi kısıtları dikkate alınarak belirlenmiştir.  $X_{ij}^{initial}$ ; i nolu santrale bağlı, j nolu anahtarın başlangıç anahtar durumunu temsil eder.  $X_{ij}$ , yeniden yapılandırma etkinliğinde i nolu santrale bağlı, j nolu anahtarın anahtar durumudur. Eğer j nolu anahtar kapalı konumda ise  $X_{ij}$  1, aksi takdirde 0'dır.

Denklem 4.6'de "radyallik kısıtı" tanımlanmıştır. Bir yük yalnızca bir panodan beslenebilir.

Özellikle hayati yüklerin bara transfer cihazları üzerinden iki ayrı besleme hattına iştirakli olmaları nedeni ile denklem 4.6'daki kısıtlama tanımına ihtiyaç duyulmuştur. Bu yükler arızanın yayılmasının da önüne geçmek amacı ile aynı anda iki hattan beslenmemeli, arıza durumunda enerji olan hatta geçecek şekilde anahtarlama yapılmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{Nmsb} X_{ij} \leq 1, \text{ where } j = 1, \dots, NL \quad (4.6)$$

Denklem 4.6’da Nmsb toplam ana dağıtım panosu sayısıdır.  $X_{ij}$ , işlem sırasında i’nci santrale bağlı j’inci anahtarın anahtar durumudur. NL toplam yük sayısıdır.  $X_{ij}$  1 ise anahtar kapalı konumda,  $X_{ij}$  0 ise anahtar açık konumdadır. Bir yükü beslemek için iki ana pano alternatifi varsa, j yükünün denklemi denklem 4.7’deki gibi tanımlanır.

$$X_{1j} + X_{2j} \leq 1, \text{ where } j = 1, \dots, NL \quad (4.7)$$

Denklem 4.7’de  $X_{1j}$  ifadesi 1 numaralı ana dağıtım panosu tarafından beslenen j’inci yük için anahtar durumunu temsil eder.  $X_{2j}$  ifadesi, 2 numaralı ana dağıtım panosu tarafından beslenen j’inci yük için anahtar durumunu temsil eder. GGS’ nin yedeklilik konsepti dikkate alınarak oluşturulan bu topoloji ile  $X_{1j}$  ve  $X_{2j}$ ’nin aynı anda aktif olmaması gerektiği ifade edilir.

Denklem 4.8’de “güç dengesini kısıtlama” Toplam ve kayıplar, toplam mevcut güç kaynağı/aktarım kapasitesinden az olmalıdır.

$$\sum_{i=1}^{NL} PL_i + \sum_{i=1}^{NL} Ploss_i \leq \sum_{i=1}^{NG} PG_i \quad (4.8)$$

Denklem 4.8’teki NL toplam yük sayısını temsil eder.  $PL_i$ , yükün güç değeridir.  $Ploss_i$ , i’nci yüke akan akımın neden olduğu kayıptır. NG toplam güç kaynağı (generatör sayısı ve/veya enerji depolama birimi) sayısıdır.  $PG_i$ , i’nci jeneratörün mevcut güç kapasitesini temsil eder.

Denklem 4.9, “terminal voltajı kısıtıdır.”

$$V^{\min} \leq V_j \leq V^{\max} \quad (4.9)$$

Denklem 4.9’da  $V_j$  ifadesi j’inci yükün terminal voltajını temsil eder. Tüm yük terminallerindeki gerilimler tolere edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.

Denklem 4.10 ile “akım kapasitesi kısıtlamaları” tanımlanmıştır. Kabloların, baraların vb. akım taşıma limitlerinin aşılması gerekir.

$$I_k \leq I_k^{\max} \quad (4.10)$$

Denklem 4.10’da  $I_k$ , k’inci kablo hattına ait akım değerini ifade eder.  $I_k^{\max}$  ifadesi ise, k’inci kablonun akım taşıma sınırıdır.

Denklem 4.11, “anahtar konfigürasyon matrisi”, “ikili X matrisi” olarak tanımlanır.

$$X = [X_{11}, X_{12}, X_{21}, X_{22}, \dots, X_{ij}]$$

$$X_{ij} = 1; \rightarrow \text{kapalı anahtar pozisyonu,} \quad (4.11)$$

$$X_{ij} = 0; \rightarrow \text{açık anahtar pozisyonu,}$$

Denklem 4.11’de,  $i=1,2,3 \dots$  NL tanımı; NL toplam yük sayısıdır ve  $i$  ise yük sayısını temsil eden bir sayıdır. “j” hayati ve yarı hayati bir yükün iki farklı bağlantı noktasını gösterir ve anahtarın (besleme hattının) MSB1 veya MSB2’ye iştirakli olduğunu gösterir. “j=1” anahtarın MSB1’e bağlı olduğunu ve “j=2” anahtarın MSB2 ye bağlı olduğunu temsil eder.

Radyal bir gemi dağıtım ağı için optimizasyon problemini çözmek amacıyla İkili Tam Sayı Programlamaya (BIP), pattern arama, genetik algoritma temelli optimizasyon teknikleri yöntem ile kullanılmışlardır.

Yüklerin hayati, yarı hayati ve hayati olmayan gibi önem derecesine göre öncelik göstermek için ağırlıklandırma faktörü kullanılır. Ağırlıklandırma faktörleri görev profiline dayanmaktadır. Çünkü yüklerin listesi görev intikal veya savaş durumu gibi görev türüne göre değişmektedir.

Bir görev kapsamında öncelik düzeyine göre bir yükün ceza faktörü hayati, yarı hayati, hayati olmayan ayırımına göre aşağıda listelenmiştir. Ceza değerlerinin ağırlıkları uzman bilgisi ve çoklu operasyonel kısıtlamalar altında simülasyon sonuçlarından elde edilen verilerle tanımlanır. Aşağıdaki ceza değerleri de her önem düzeyinde alt önem kriterlerinin bulunduğunu göstermektedir.

$WL_i$  ifadesi i’nci yükün ceza değeridir.

$$50 \leq WL_i \leq 100 \quad \text{Hayati yük için} \quad (4.12)$$

$$15 \leq WL_i < 50 \quad \text{Yarı hayati yük için} \quad (4.13)$$

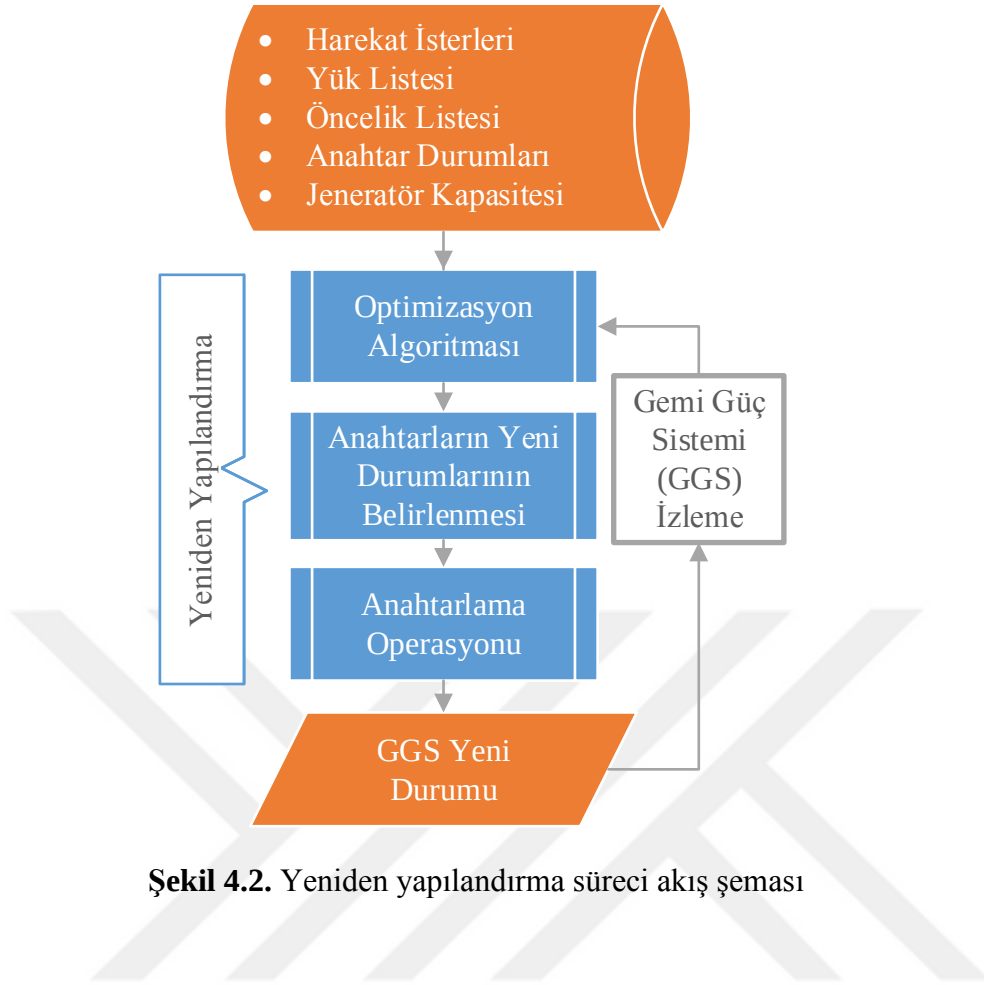
$$0 \leq WL_i < 15 \quad \text{Hayati olmayan yük için} \quad (4.14)$$

Önerilen yöntem için veri setleri gereklidir ve Şekil 4.2’de gösterildiği gibi restorasyon sürecinden önce hazırlanmalıdır. Veri setleri, yeniden yapılandırma algoritmasının girdisi olup, tüm görev profilini kapsayacak şekilde ve restorasyon yapılacak mevcut durum bilgisini kapsayacak şekilde tanımlanmıştır. Bir savaş gemisinin yara veya arıza altında gerçekleştirilecek gemi güç sisteminin önerilen yeniden yapılandırma sürecinde dinamik öncelik belirleyen yöntem için algoritmaya girdi oluşturan veri setleri en önemli faktördür. GGS’nin mevcut durumuna göre yöntem içeriğinden dinamik önceliklendirme değişimi önerilen yöntemin ana ilgi alanındadır. Önerilen yöntem için optimizasyon aracı olarak MATLAB programı kullanılmıştır.

Yeniden yapılandırma örnek vaka çalışmasında, test sistemi için yeniden yapılandırma ve restorasyon süreci öncesinde tanımlanan hasar kontrol faaliyet adımlarının icra edildiği kabul edilerek yüklerin ve anahtarların durumu düzenlenmiştir. Çalışmanın kapsamı arıza teşhisi, arıza sınıflandırma, koruma, izolasyon, arıza yerini belirleme süreçlerini kapsamamakta ancak tez çalışması arıza sonrası yeniden yapılandırma ve onarım aşamasına odaklanmaktadır.

Vaka çalışmalarında sunulan yöntemin amacı, her vaka durumunun durum fonksiyonlarına ilişkin GGS için optimum çözümü bulmaktır. Yöntem, optimum restorasyon çözümü olarak ilgili durum için yeni anahtar sırası listesi oluşturur. Önerilen yöntem görev odaklı bir yaklaşımdır ve test sisteminin kurulumu, özel görev türü için deneysel bir simülasyon sonucu olarak uygulanmıştır. Her görev tipinin elektrik yük analizine göre kendi başlangıç anahtarlama düzeni vardır ve önerilen yöntem ayrıca “anahtarlama eylemi cezasını” ve “yük kaybının ceza faktörlerini” de hesaba katmaktadır. Durumlar muharebe koşullarında jeneratör/jeneratörlerin kaybı ve ana dağıtım panosunun (santralin) kaybı, ana makine dairesinin kaybı gibi beklenen arızalar dikkate alınarak tanımlanmıştır.

Önerilen yöntem, anahtarlama en aza indirirken beslenen yükleri maksimuma çıkarmak için yeni bir anahtar listesi oluşturur. Beslenen yüklerin öncelik dereceleri en önemli kriterdir.



**Şekil 4.2.** Yeniden yapılandırma süreci akış şeması

## **5. ÖRNEK SİSTEM İNCELEMELERİ**

### **5.1. Giriş**

Tez kapsamında icra edilecek analizlerin gerçekleştirilebilmesi için savaş gemisi özelliklerini yansıtan bir test platformu oluşturulması ve önerilen metodun bu test platformu üzerinde simülasyon temelli analizlerinin yapılması ihtiyacı doğmuştur.

Test platformu belirlenirken halihazırda donanmada yaygın kullanılan dizel/gaz türbini sevk sistemine haiz platformlar baz alınmış olup, gemi elektrik dağıtım sisteminin sevk sistemi haricindeki ana/yardımcı sistemler ile sevk sistemi kontrol ekipmanları için kullanıldığı değerlendirilmiştir.

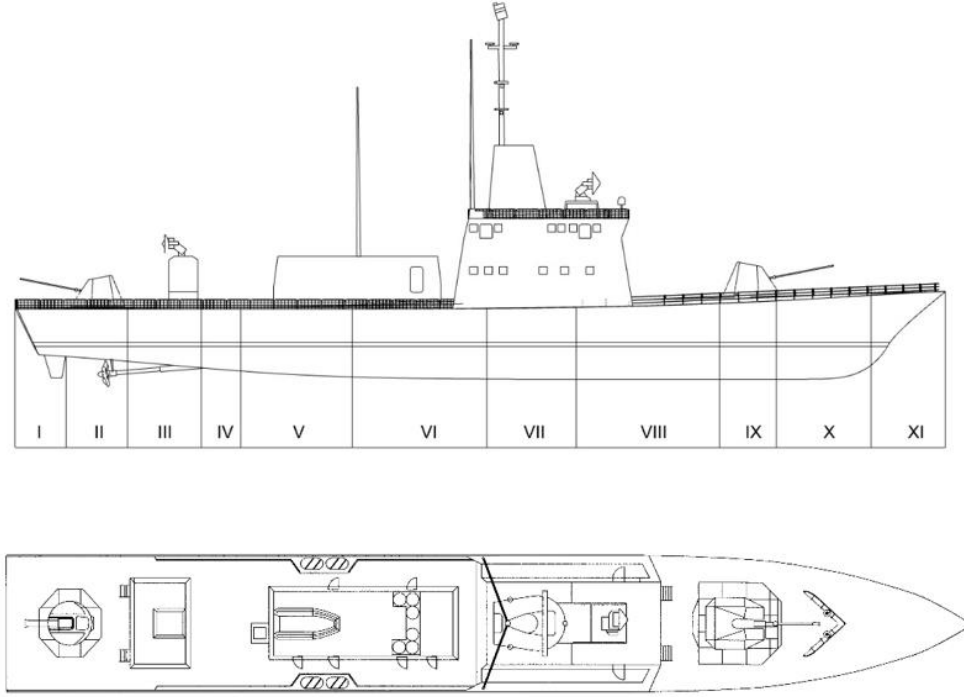
Test platformu olarak ele alınan savaş gemisi elektrik dağıtım sistemi tasarlanırken gemi inşa ve tasarım alanında elde ettiğim uzun süreli tecrübeden faydalanılmış ve gerçekçi bir yaklaşımla analiz yapılacak bir elektrik dağıtım sistemi kurgulanmıştır.

### **5.2. Simülasyona Esas Test Platformu Teknik Verileri**

Tez çalışması için oluşturulan elektrik dağıtım sistemi ile arıza sonrası yeniden yapılandırma ve restorasyon süreçleri kapsamında analizler yapılacağı için kurgulanan dağıtım sistemi ve yük olarak tanımlı sistem/alt sistemlerin kurgulanan gemideki yerleşim yerlerinin belirlenmesine ihtiyaç duyulmuştur. Her bir yükün gemi bünyesinde hangi su geçirmez bölmede olduğu ve savaş gemilerinin yedeklenebilirlik konseptine göre fonksiyonları hakkında da çalışma yapılmıştır. Test platformu oluşturma sürecinde kullanılan bilgi sadece elektrik mühendisliği alanında sınırlı kalmamış, gemi inşa alanındaki tecrübe ve bilgiye ihtiyaç duyulmuştur.

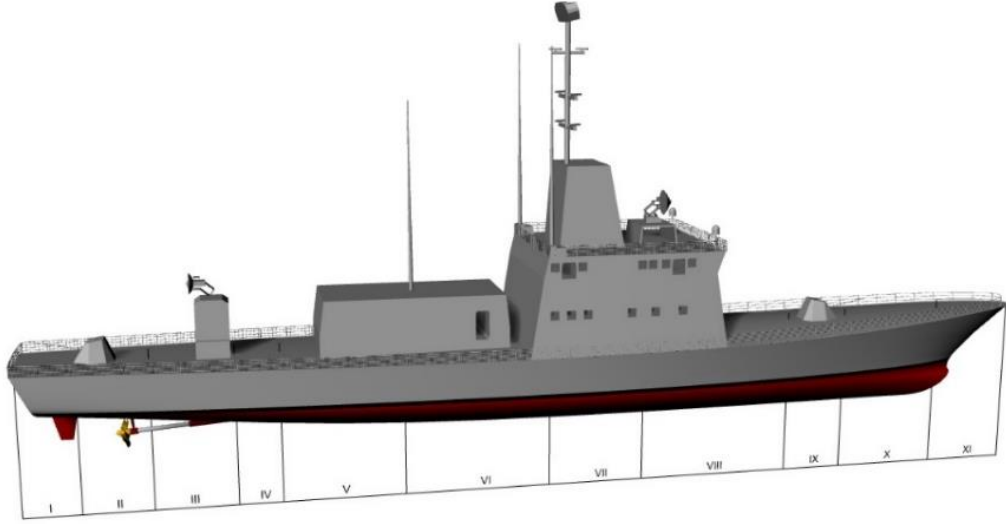
Test platformuna ait su geçirmez bölmeler Şekil 5.1’de sunulmuştur. Kurgulanan savaş gemisinde gerçekleştirilecek analizlerde kullanılmak üzere yüklere ait gemi üzerindeki yerleşim bilgisini de içerecek bir yerleşim modeli hazırlanmıştır. Bu kapsamda sistemde kullanılan tüm yükler, üretim ve dağıtım sistemlerine dair bilgiler 3 boyutlu olarak oluşturulmuş savaş gemisi modeli içeriğine dahil edilmiştir.

Böylece yüklerin bulundukları bölme ve gemide bulundukları koordinat bilgileri de tez çalışmasına dahil edilmiştir. Bu tip bir çalışma ile ileride yapılabilecek farklı analizler için de test platformu kurgusunun doğru oluşturulması amaçlanmıştır.



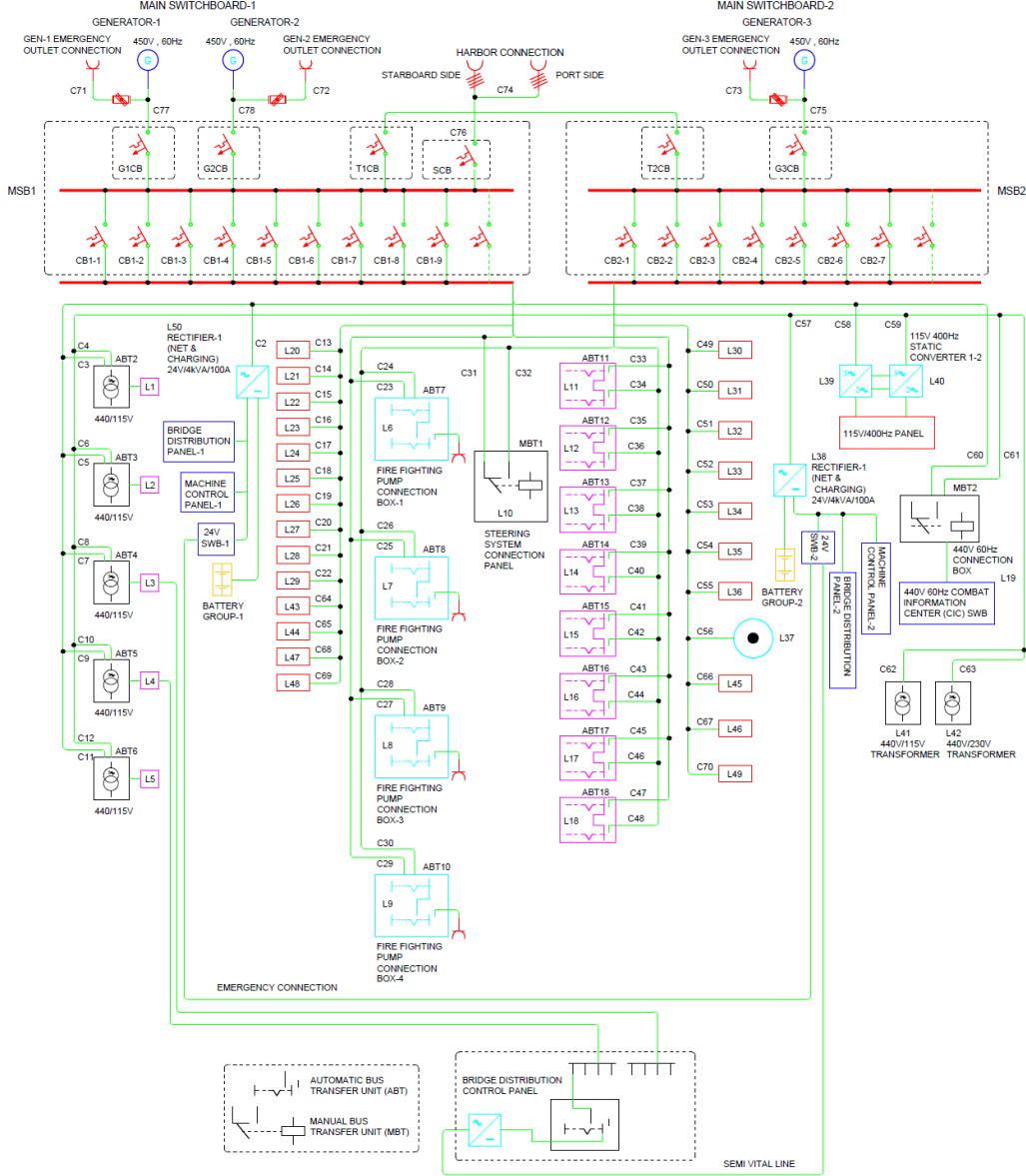
**Şekil 5.1.** Test platformu ve su geçirmez bölmelendirme

Özellikle savaş gemileri için 3 boyutlu model dikkate alınarak öngörülen tehdit tipi ve karşılaşılmaması muhtemel yara/isabet noktaları dikkate alınarak yüklerin hasar öncesi anahtarlanarak daha emniyetli görülen farklı hat ve kaynaklardan beslenmesinin sağlanması, böylece hasar anında oluşan kısa devre akımlarının azaltılması, gemi güç sisteminin isabet/yara kaynaklı arızalara önceden hazırlanması ileriki çalışmalara konu olabilir. Örnek olarak bir savaş gemisinde tasarım aşaması ve inşa sonrası geminin kendine ait radar kesit alanı bilgisi hesaplanmakta ve ölçülmektedir. Geminin karşılaştığı tehdidin radar güdümlü bir güdümlü mermi olduğu düşünülürse bu tip bir senaryoda geminin güdümlü mermiye karşı yaptığı sakınma manevrası sonucu tehlide göstereceği radar kesit alanına göre muhtemel isabet noktası pozisyonu hakkında geminin savaş hareket merkezinin bir kestirimi vardır. Bu örnek üzerinde savaş hareket merkezi ile entegre çalışabilen bir hasar kontrol algoritması geminin elektrik sistemini potansiyel hasar noktasına göre önceden hazırlayabilir. Test platformuna ait 3 boyutlu görünüm Şekil 5.2’de sunulmuştur.



**Şekil 5.2.** Test platformu su geçirmez bölmelendirme ve 3 boyutlu modeli

Kurgulanan simülasyon modeli elektrik dağıtım sistemi genel görünümü Şekil 5.3'te sunulmuştur. Model kurgusu oluşturulurken gemi elektrik sistemlerine ait gemi inşa ve dizayn bölümlerinden elde edilen tecrübe ve akademik literatürden yoğun olarak faydalanılmış ve gerçeğe yakın bir model oluşturulmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.3. Simülasyon modeline esas gemi elektrik güç dağıtım sistemi

### 5.2.1. Ana gerilim karakteristiği

450 V 60 Hz ana gerilim tipi olarak kullanılmakta olup, 450 V 60 Hz elektrik gücü geminin dizel-generatör setleri tarafından üretilmekte veya gemi limanda iken generatörünü çalıştırmadan sahil imkanları ile beslenebilmektedir [61, 115].

### 5.2.2. Dağıtım sistem topolojisi

Tez için kullanılacak platforma ait model elektrik dağıtım sistem radyal yapıda bir dağıtım sistemine sahiptir. Radyal dağıtım sisteminin konvansiyonel platformlarda yaygın olarak kullanılması dikkate alınmıştır. Özellikle savaş gemilerindeki radyal elektrik sistemlerinde daha çok klasik hasar kontrol algoritmaları kullanılması buna

karşılık akıllı algoritma uygulamalarının tespit edilmemesi motivasyon unsurları olarak sıralanabilir.

#### **5.2.2.1. Makine daireleri**

Gemide 2 adet makine dairesi bulunmakta olup her birisi su geçirmez kompartman/bölme olarak tasarlanmıştır. Bu iki makine dairesi ayrı su geçirmez bölmelerde yer almaktadır ve geminin baş tarafına yakın olan makine dairesi “Baş Makine Dairesi” ve kıç tarafa yakın olan makine dairesi ise “Kıç Makine Dairesi” olarak adlandırılmaktadır. Bahse konu makine dairelerinde geminin sevk sistemi için kullanılan ana makineler ve gemi elektrik dağıtım sistemi için kullanılan ana dağıtım panoları ve jeneratörler yer almaktadır. Ayrıca makine daireleri gemilerde güç dağıtım sistemi haricinde diğer mekanik yüklere de (örneğin yakıt separatörleri, kompresörler, tulumbalar vb.) ev sahipliği yapmaktadır.

#### **5.2.2.2. Generatör sistemi**

Gemide toplam 3 adet generatör bulunmakta olup generatörler birbirleri ile paralele girebilmektedirler. Her bir generatör kendisine akuple bir dizel makine tarafından sürülmektedir.

Her bir generatör 150kW gücünde ve 450 V 60 Hz ana gerilim karakteristiğini üretmektedir. Generatörler ana dağıtım panolarına (ana tevzi tablolarına) iştiraklenmişlerdir.

Generatör No.1 (G1) ve Generatör No.2 (G2) aynı ana dağıtım panosuna iştirakli olup gemide kıç makine dairesinde yer almaktadırlar. G1 ve G2’nin konumlandırılmasında geminin sancak ve iskele ayrımı dikkate alınmış ve birisi sancak diğer iskele olacak şekilde aynı makine dairesine konumlandırılmışlardır.

Generatör No.3 (G3) ise baş makine dairesinde konumlandırılmıştır.

Modelde generatörler G1, G2, G3 olarak ifade edilmektedir.

#### **5.2.2.3. Gemideki diğer gerilim karakteristikleri**

450V 60 Hz’den 115V 60 Hz’e transformatörler ve 115V 400 Hz gerilim karakteristiğine inverterler aracılığı ile dönüşüm sağlanmaktadır. Genel olarak 115 V 60 Hz gerilim seviyesi komuta kontrol sistemlerinde, 115V 400Hz gerilim seviyesi ise atış kontrol sistemleri, komuta kontrol, silah sistemlerinde kullanılmaktadır.

450 V 60 Hz'den transformatörler vasıtası ile 220V 60 Hz gerilim karakteristiği elde edilir ve TV/eğlence sistemi, mutfak sistemi gibi evsel cihazlar, moral cihazlarında kullanılmaktadır. Savaş gemilerinde 220V 60Hz gerilim seviyesini kullanan cihazlar genel olarak yaşamsal cihazlar değildir ve bu durum çalışmalarımızı gerçekleştireceğimiz test platformu için de geçerlidir.

450V 60Hz'den 24VDC gerilim karakteristiğine dönüşüm ise rektifayerler aracılığı ile sağlanmaktadır. 24VDC devresi de rektifayerler aracılığı ile akü gruplarının şarjı maksatlı ve 24 VDC acil durum yüklerinin yedek DC güç kaynağı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bazı sistemlerde 24 VDC devresi kontrol voltajı olarak da kullanılmaktadır. 24VDC gerilim seviyesinin görevine sistem özelinde örnekler verecek olursak; geminin seyir emniyeti için önemli olan seyir fenerleri sistemi ile dahili anons sistemini örnek sistemler olarak inceleyebiliriz. Gemideki rektifayerin (450V 60Hz'den 24VDC'ye, AC'den DC'ye doğrultan sistem) giriş gerilimini sağlayan ana güç kaynağının (450V 60 Hz) devreden çıkması durumunda generatörlerin dolayısı ile rektifayerlerin çalışmadığı durumlarda bile 24VDC'den beslenen yükler akü sistemleri ile yedeklenmektedir. Örnek olarak 24VDC ile beslenen seyir fenerleri kesintisiz olarak gece diğer gemileri görsel olarak bilgilendirerek emniyetli seyir sağlamalıdır veya herhangi bir arıza durumu/acil durumu çevredeki diğer gemilere görsel olarak bildirilmedir. Benzer bir durum anons sistemi için geçerli olup, acil durumlarda, hareket veya manevra gibi operasyonel anlarda gemi personelinin organize edilmesi ve bilgilendirilmesi gibi kritik görevleri üstlenmektedir ve bu nedenle 24VDC akü sistemleri ile de yedeklenmektedirler. Bu kritik sistemlerin 24VDC gerilimi de kaybetmeleri durumunda anons için el megafonu, ses takatli telefon (Sound Powered (S/P) telefon) ve gazlı seyir fenerleri de yedek olarak en kötü senaryo için savaş gemilerinin envanterlerinde kullanılmaktadır. Bu örnek özelinde savaş gemilerinde kritik yaşamsal sistemlerin en kötü senaryolar için bile yedeklenmesine yönelik tedbir alındığına da ayrıca dikkat edilmesi savaş gemilerinin tasarım ve donatım mantığını anlama açısından önemlidir.

Geminin ana gerilim karakteristiğinin kesintiye uğraması durumunda, bu sistemlere yedek güç kaynağı sağlanabilmesi için 24VDC akü grupları üzerinden bahse konu sistemleri besleyebilecek şekilde dağıtım sistemi tasarımı yapılmıştır.

#### **5.2.2.4. Ana dağıtım panoları**

Ana dağıtım panoları (ing. Main Switch Board (MSB)) 2 adet olup her biri farklı makine dairelerine savaş gemilerinin yedeklenebilirlik konsepti dikkate alınarak konumlandırılmışlardır. Kıç makine dairesine konumlandırılmış ana dağıtım panosu MSB1 olarak adlandırılırken, baş makine dairesine konumlandırılmış olan ise MSB2 olarak tanımlanmıştır.

Gemi dağıtım sistem tasarımında MSB1 ve MSB2'nin yüklerinin dengeli dağıtımı önemli olup, savaş gemilerinin tasarımında bu husus “elektrik yük ve denge analizleri” başlığı altında dokümanite edilmekte ve hesaplanmaktadır.

MSB1 ve MSB2'nin yük dağılımının dengeli olması; tasarım sonunda MSB1 ve MSB2'nin birbirlerini yedekleyebilecek kapasitede olmasını sağlamakta, başka bir ifade ile bir panonun daha güçlü ve büyük iken diğer panonun küçük ve daha az kapasiteli olmasının önüne geçilmesini de gerçekleştirmektedir.

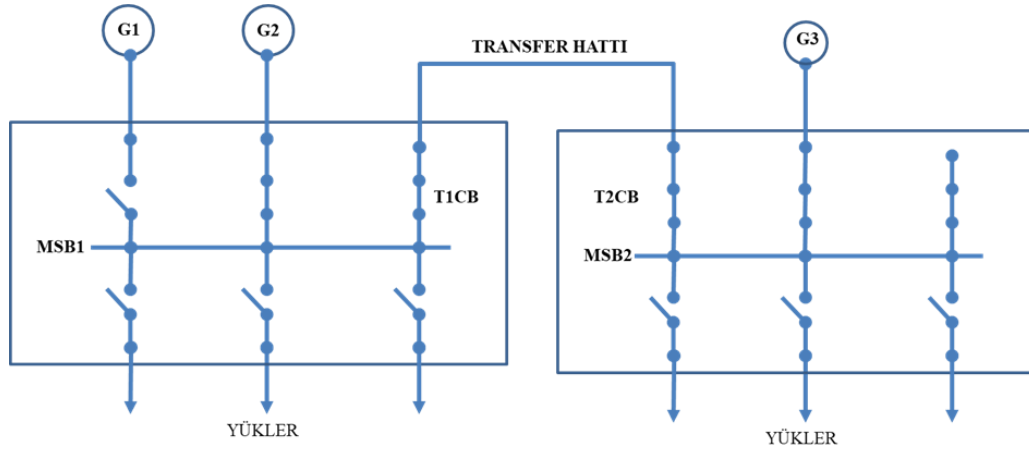
#### **5.2.2.5. Transfer şalteri**

Geminin yedeklenebilirlik konsepti gereği MSB-1 ve MSB-2 arasındaki işbirliği sağlaması için görev yapan şalterdir.

Modelde transfer şalteri “TCB” olarak ifade edilecektir.

Transfer hattının devrede olabilmesi için her iki ana dağıtım panosunda da bulunan transfer şalterlerinin ikisinin de devrede olması gerekecektir. Bu durum TCB devrede olarak anılabilir. Modelde şalter bazında numaralandırma ihtiyacı bulunduğundan MSB1 içerisindeki transfer şalteri T1CB ve MSB2 içerisindeki transfer şalteri ise T2CB olarak tanımlanmıştır. TCB şalterinin devrede olması demek TC1CB ve TC2CB şalterlerinin her ikisinin de devrede olması anlamına gelir.

Transfer şalterlerinin devrede olması MSB1 ve MSB2'yi birbirine bağlayacağı için dağıtım sistem yapısı ortak, transfer şalterlerinin devrede olmadığı/açık olduğu durum ise ayrık dağıtım sistemi yapısını ifade eder. Transfer şalterinin durumu Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 5.4.** Transfer şalterlerini gösteren prensip şeması

MSB1 ve MSB2 arasındaki transfer hattı aynı zamanda jeneratörlerin paralel bağlanmalarında veya tek bir jeneratörün iki ana dağıtım panosunu besleyebilmesini sağlamaktadır. Farklı makine dairelerinde bulunan jeneratörler paralel olarak çalıştırılıyorsa, bu jeneratörler Şekil 5.4'te görüldüğü gibi transfer hattı üzerinden bağlanır. Ayrıca böyle bir paralel çalışmada MSB1 ve MSB2'de transfer hattı üzerinden bağlanır. Arıza durumunda transfer hattı açık tutularak MSB1 ve MSB2 ayrılmış güç mimarisinde de yüklere hizmet verebilir ve güç sağlayabilir.

#### 5.2.2.6. Sahil bağlantısı

Geminin liman durumunda sahil kolaylıklarından faydalanabilmesini sağlar. “Ana Dağıtım Panolarının” sahil beslemesi 450 V 60Hz gerilim seviyesinde olup geminin ana gerilim karakteristiği ile uyumludur. Geminin limandaki konumu iskeleye bağlama pozisyonu değişiklik arz edeceğinden sahil bağlantı kutuları geminin sancak ve iskele tarafına konumlandırılmış olup liman durumunda tek birisi devrededir. Sahil bağlantısı MSB1 yakınında olup, MSB1 üzerindeki ana baraya bağlanmıştır. MSB2'deki yüklerin sahilden beslenebilmesi için transfer şalterinin kapalı (devrede, ing. on) pozisyonunda olması gerekir.

Modelde yer alan sahil bağlantısının şalteri “SCB” olarak tanımlanmıştır. Sahil bağlantısı K1ç Makine Dairesinde yer almaktadır.

#### 5.2.2.7. Paralel veya ayırık çalışma durumları

G1 ve G2 aynı ana tevzi panosuna MSB1'e bağlı olduğu için ikisi aynı anda devrede olduğunda paralel çalışırlar.

G1, G2, G3 aynı anda devrede iken transfer şalteri devrede ise MSB1 ve MSB2 birbirine bağlanmıştır ve üç generatör birbirleriyle paralel senkron çalışıyordur.

MSB1 ve MSB2 enerjili ve transfer şalteri kapalı/devrede iken MSB1 ve MSB2'ye bağlı olan generatörler paralel devrededir. (örneğin MSB1'e G2 bağlı ve MSB2'ye G3 bağlı TCB kapalı ise G2 ve G3 paralel çalışıyordur.)

Farklı durumlar için generatörlerin devrede olup olmadığını, MSB ana dağıtım panolarında enerji bulunup bulunmadığı, transfer şalterinin konumu ve dağıtım sisteminin yedeklenebilirliği kapsamında iki ana dağıtım panosunu tek bir bara sistemi olarak ortak veya iki ayrı MSB'nin dağıtım sistemini kendilerine ait hatlar üzerinden besledikleri ayrık yapıda olması durumuna ait bilgiler şalter durumları esas alınarak Tablo 5.1'de sunulmuştur.

**Tablo 5.1.** Modelde ana şalterlerin farklı çalışma durumlarındaki konumu

| Durum No | G1 | G2 | G3 | MSB1 | MSB2 | TCB | SCB | Dağıtım S. Yapısı |
|----------|----|----|----|------|------|-----|-----|-------------------|
| 1        | 1  | 1  | 1  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 2        | 1  | 1  | 1  | 1    | 1    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 3        | 1  | 1  | 0  | 1    | 0    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 4        | 1  | 1  | 0  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 5        | 1  | 0  | 1  | 1    | 1    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 6        | 1  | 0  | 1  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 7        | 0  | 1  | 1  | 1    | 1    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 8        | 0  | 1  | 1  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 9        | 1  | 0  | 0  | 1    | 0    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 10       | 1  | 0  | 0  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 11       | 0  | 1  | 0  | 1    | 0    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 12       | 0  | 1  | 0  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 13       | 0  | 0  | 1  | 0    | 1    | 0   | 0   | Ayrık             |
| 14       | 0  | 0  | 1  | 1    | 1    | 1   | 0   | Ortak             |
| 15       | 0  | 0  | 0  | 1    | 1    | 1   | 1   | Liman<br>Ortak    |
| 16       | 0  | 0  | 0  | 1    | 0    | 0   | 1   | Liman<br>Ayrık    |

“1” devrede, şalter kapalı, “on” ve “0” devrede değil, şalteri açık, “off”

#### **5.2.2.8. Kablolar**

Kablolar “C” (ing. cable) ifadesi ile tanımlanmıştır.

Arıza kuvvet kabloları dağıtım sistemi içerisinde donatılmış olarak bulunmadığı ve seyyar kablolar oldukları için ayrı bir numara verilmemiştir.

Gemilerde kablo ve cihazları numaralandırmak üzere çeşitli standartlar ve loyd kuralları bulunmasına karşılık kurgulanan model için daha basitleştirilmiş ifadeler kullanılmıştır.

#### **5.2.2.9. Bara transfer cihazları**

Güç dağıtım sisteminde iki tip bara transfer cihazı kullanılmaktadır. Bunlardan birisi otomatik bara transfer cihazı (ABT) ve diğer ise manuel bara transfer cihazı (MBT) olarak ifade edilir.

##### **MBT ve ABT cihazları**

MBT (ing. Manuel Bus Transfer equipment) el ile yüke gelen besleme hattında değişiklik yapılabilir. Normal devredeki besleme kaynağından el ile alternatif besleme kaynağına geçilir.

ABT (ing. Automatic Bus Transfer equipment) yüke gelen ana güç hattında kayıp olursa alternatif güç hattından beslenmeyi otomatik yapar.

Özellikle radyal dağıtım sistemi kullanan savaş gemilerinde akıllı bir karar destek ve restorasyon sistemi kullanılması yerine ABT’ler sadece devrede olan elektrik besleme hattında (ABT’nin normal besleme hattı) güç kaybı yaşanması durumunda ABT üzerinden beslenen cihaz/sistem/dağıtım panoları alternatif güç hattından beslemek üzere derhal anahtarlama faaliyetini gerçekleştirir. Bu işlem esnasında sadece normal hattaki gücün kesildiğinin anlaşılması yeterli olup, akıllı restorasyon algoritmalarında bulunan restorasyon öncesi arızanın yerinin analizi ve ana güç besleme hattının yeni yapıya yeterliliği, arızanın/kısa devrenin anahtarlama sonrası oluşan yeniden yapılandırma gemiye daha fazla yayılıp yayılmayacağı, yeniden yapılandırma sonrası devredeki generatör güçlerinin yeterli olup olmayacağı gibi hususların analizi gerçekleştirilmez. Akıllı hasar kontrol algoritması kullanmayan platformlarda ABT kendisine bağlı yükü besleyen kaynağın kesilmesi durumunda herhangi bir değerlendirme yapmadan sadece alternatif besleme hattına geçmektedir.

Klasik radyal sistemlerde ABT sistemleri otomatik olarak normal ve alternatif besleme hatlarındaki gücü sürekli kontrol eder. Devredeki normal hatta enerji kesintisinin tespiti durumunda başka hiçbir kontrole ihtiyaç duymadan alternatif besleme hattındaki enerji kaynağından beslenecek şekilde anahtarlama faaliyetini gerçekleştirir. Klasik radyal sistemler bu metot ile gemide yaygın bir arıza olması ve birçok ABT'nin faal enerji hattına geçerek dengeli yüklenme koşullarını bozması veya güç üreten generatörlerin birçoğunun kaybedilmesi gibi bir senaryo koşulunda oluşabilecek eksik güç üretimi nedeni ile güç üretim-tüketim dengesinin bozulması durumları ile karşılaşabilirler.

Güç üretim-tüketim dengesinin bozulduğu ve yaşamsal sistemlerin hepsinin beslenebilmesinin imkansız olduğu bir koşulda analiz ve karar verme algoritmalarının işletmeden yapılacak işlemler savaş durumunda faal kalmış generatörlerin de aşırı yükten devreden çıkmasına sebep olabilir ve tüm güç üretiminin kaybedilmesi sonucu ile gemideki mevcut hasar yayılabilir ve gemi kararabilir. Bu tip bir durum savaş durum koşullarında gemi için ölümcül sonuçlar doğurabilir.

Bu nedenle akıllı algoritmalar kullanılması ile savaş gemisinin hasar sonrası güç sisteminin restorasyonu, yeniden yapılandırılması için analize dayalı algoritma geliştirilerek optimum anahtarlama seçeneklerinin belirlenmesi ile ABT'lerin kontrol edilmesi bu tezin ana konusunu oluşturmaktadır.

Tez kapsamında geliştirilmesi hedeflenen yöntem için güç transfer cihazlarının tipi ABT/MBT olmaları önemli değildir.

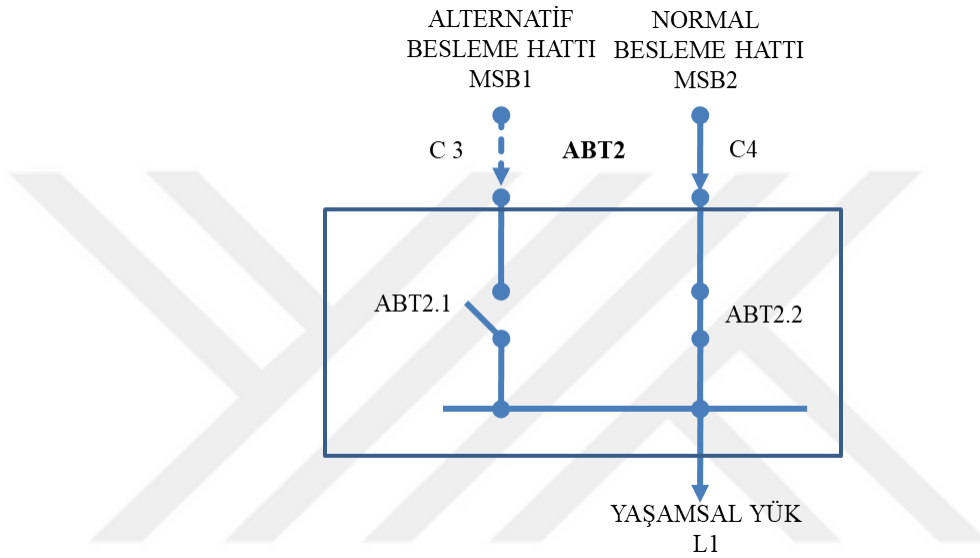
Klasik radyal sistemlerdeki ABT çalışma metodu olan enerji kesilince direkt diğer besleme hattına geçmek yerine restorasyon algoritmaları sonucu belirlenen en uygun restorasyon seçeneğinin uygulanması için ABT'lere komut verilmesi ve böylece akıllı algoritmalar kullanılarak güç sisteminde yeniden yapılandırma, restorasyon faaliyetlerinin gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu tez çalışmasında geliştirilmesi amaçlanan metot ile ABT/MBT operasyonlarında savaş gemisi elektrik güç sisteminde yeniden yapılandırma (restorasyon) faaliyeti kapsamında akıllı algoritma ve analiz sonuçlarına göre güç dağıtım sisteminde yeniden yapılandırma planlanmaktadır.

Akıllı bir restorasyon faaliyeti için ABT/MBT'lerin giriş şalterlerinin nereden beslendikleri önem kazanmaktadır. Model içeriğinde yüklerin bağlandığı bara sistemi

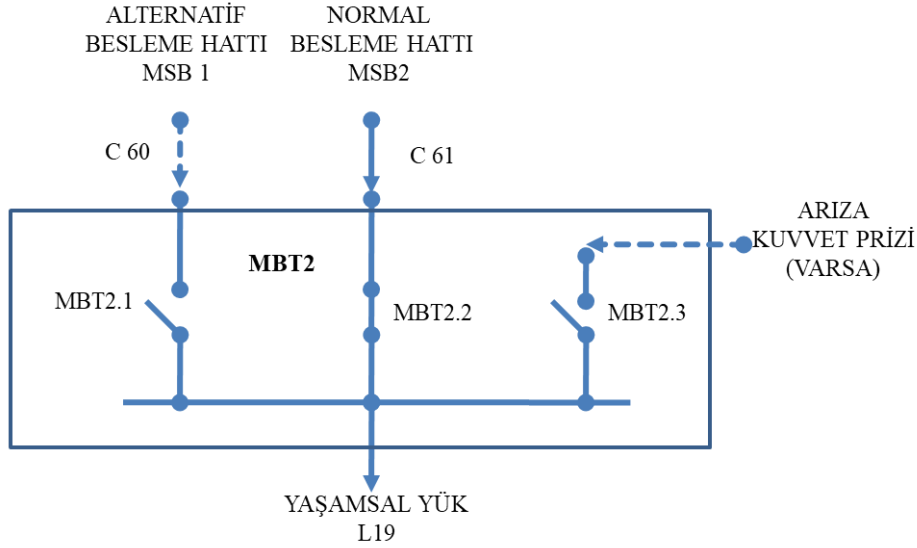
incelendiğinde ABT/MBT tüm transfer cihazlarının aynı algoritma ile kullanılması planlanmış, böylece her bir ABT/MBT için anahtar konumlarının iki ayrı giriş anahtarı olarak ifade edebileceği değerlendirilmiştir. MBT/ABT sistemlerine örnek olarak Şekil 5.5'te de arıza kuvvet priz bağlantısı olmayan otomatik bara transfer cihazı örneği sunulmuştur

ABT/MBT cihazlarında sadece tek bir bağlantı noktası aktif olur ve enerji iştiraki olan hat normal hat, diğerleri alternatif olarak tanımlanırlar.



**Şekil 5.5.** ABT/MBT yapısı örneği (arıza kuvvet prizi olmayan)

Yangın tulumbaraları gibi arıza kuvvet prizi bulunan yaşamsal yükler için MBT/ABT yapısı aşağıdaki gibi değişmektedir. Burada örnek olarak MBT.2.3 gibi üçüncü bir bağlantı noktası oluşmaktadır. Modelde kullanılan arıza kuvvet prizleri bulunan MBT yapısı ve numaralandırma Şekil 5.6'da sunulmuştur.



**Şekil 5.6.** Harici güç girişi için priz iştiraki bulunan ABT/MBT yapısı örneği

Şekil 5.6'daki örnek üzerinden kullanılan numaralandırma açıklanırsa;

MBT1 ifadesi modelde kullanılan 1 numaralı MBT olduğunu,

MBT2.1 ise 2 numaralı MBT'nin MSB1'den beslenen bağlantı noktasını temsil etmektedir.

Benzer şekilde MBT2.2 ifadesi ile 2 numaralı MBT'nin MSB2'den beslenen bağlantı noktası ifade edilir.

MBT2'de bulunan MBT2.3 bağlantı noktası ise arıza kuvvet prizi ile harici kablo vasıtası ile MBT'nin enerjilendirilebileceğini ifade etmektedir. Bu bağlantı noktası MSB1 ve MSB2 ana dağıtım panolarında bir arıza olması durumunda harici kablo vasıtası ile generatör çıkışındaki arıza kuvvet prizleri ile direkt iştiraki sağlar ve hayati yükler için kullanılır.

### **Arıza kuvvet prizleri**

“Arıza Kuvvet Prizleri” acil durum altında geminin dağıtım sisteminde oluşan hasar nedeni ile enerjisiz kalan bölmeye ve enerjisiz kalmış bir yaşamsal sisteme güç beslemesi sağlamak için kullanılmaktadır.

Hasar/yara sonrası gemideki mevcut donatılmış kablo yapısı ile istenen hedefe enerji verilemediği durumlar arıza kuvvet prizlerinin kullanılmasının gündeme geldiği durumlardır. Arıza Kuvvet Prizleri dağıtım sisteminin en büyük arıza koşulu değerlendirilerek ana dağıtım panolarını kullanmadan direkt jeneratörlerin çıkışından

güç alacak şekilde bağlantısı yapılmış prizlerdir. Arıza Kuvvet Prizleri dağıtım sisteminde hasar sonrası restorasyon, yeniden yapılandırma süreçlerinde kullanılmaktadırlar.

Bazı hallerde yara/yanına müdahale edilirken yara savunma timleri tarafından seyyar yangın tulumalarını, dalgıç tulumalarını da beslemek amacı ile kullanılırlar. Arıza kuvvet prizleri birbirlerine eklenerek uzatılabilen seyyar arıza kuvvet kabloların kullanılması ile enerjiyi gemi boyunca seyyar olarak taşıyabilmek için gemide çeşitli yerlere yerleştirilmiştir. Test platformunda her 3 generatörün kendisine ait 1 adet Arıza Kuvvet Prizi (toplam 3 adet) mevcuttur. Arıza kuvvet prizleri genel olarak generatör çıkışının üst güverteye taşındığı ve üst güvertede arıza kuvvet kablolarının iştiraklenebileceği prizlerdir.

Arıza kuvvet prizlerinin generatöre iştirakinde sigortalar/şalterler koruma elemanı olarak görev yapmaktadır. Koruma elemanlarının buradaki görevi; hasar/yara/yanın gibi hassas bir durumda kullanılacak bu prizlerin arıza yerinin tam belirlenmeden kullanılması durumunda Arıza Kuvvet Prizinin generatöre direkt bağlantısı bulunması nedeni ile izole edilememiş bir arızanın yayılarak gemideki faal generatör veya generatörleri devreden çıkarabileceği, bu durumda da geminin kararmasına sebep olabileceği gerçeğidir. Bahse konu sigortalı bağlantı yapısı ile hasar altında faal generatörü koruyarak hasarın yayılmasının önüne geçilmesi hedeflenmektedir.

Akıllı hasar kontrol algoritmaları da bu sebep doğrultusunda restorasyon ve yeniden yapılandırma süreçleri öncesinde ilk olarak arıza yerini bulmayı amaçlamaktadır. Arıza yeri ve tipi belirlenmeden, kestirilmeden yapılacak bir restorasyon faaliyeti de benzer sonuçlar doğurarak faal durumdaki generatör/generatörlerin çıkış şalterlerinin açmasına ve geminin kararmasına, hatta kısa devre akımı nedeni ile faal generatörlerin arızalanarak (kontrol sistem kartlarının yanması, sargıların yanması vs. sebeplerden ötürü) çalışamaz hale gelmesi sebep olabilir.

Generatörlere iştirakli Arıza Kuvvet Prizleri model içerisinde “G1.Emergency outlet connection” (G1’e ait arıza kuvvet prizi) örneğinde olduğu gibi ifade edilmektedir.

Yangın tulumaları denizden su alıp yangın alanına basan tulumalar olmaları yanında, deniz suyu ile imla etmiş bir bölmedeki deniz suyunun tahliyesinde yara savunma amaçlı olarak da kullanılmaktadırlar. Bu görevleri nedeni ile geminin yangın/hasar/yara altında duruş gücü açısından önemli yaşamsal yüklerdir. Bazı savaş

gemilerinde normal koşullar altında da yangın tulumlarının geminin soğutulmuş tatlı su sistemlerine (chilled water system) deniz suyunu sağlandıkları bilinmelidir. Burada belirtilen soğutulmuş tatlı su sistemleri geminin sıcak çevre şartlarında görev yapabilmesi veya cihaz/sistemlerin güvenli çalışacağı sıcaklık aralığında tam performans çalışabilmesi için kullanılmakta olup, Savaş Harekat Merkezinde (SHM) bulunan operatör konsolları, elektronik üniteler ve geminin merkezi iklimlendirme sistemleri gibi hareket açısından önemli sistemlerin çalışma sürekliliğini sağlamaktadır.

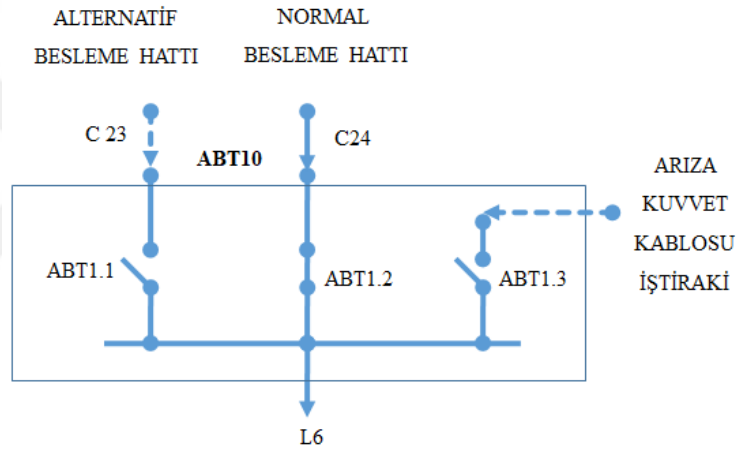
Bir acil durumda gemide kullanılan yangın tulumlarının haricen arıza kuvvet prizleri vasıtası ile çalıştırılma ihtiyacı oluşabileceği değerlendirilerek yangın tulumlarının dağıtım sistemi üzerinde normal-alternatif güç besleme hattına ilave olarak bir de arıza kuvvet kablosu için bağlantı prizi bulunmaktadır. Bu priz yapısı ile acil koşullar altında çalıştırılmasına ihtiyaç duyulan yangın tulumlarının geminin farklı bir bölümünde yer alan arıza kuvvet prizleri ve seyyar arıza kuvvet kabloları aracılığıyla güç bağlantısını sağlamada kullanılır. Başka bir ifade ile MSB-1 ve MSB-2'nin devre dışı kaldığı bir koşul altında yangın/yaraya müdahale amacı ile haricen faal generatör üzerinden yangın tulumlarını çalıştırmak amaçlanmaktadır. Model tek hat şemasında acil durumlarda kullanılan yangın tulumlarının bu acil durum bağlantısı “Yangın Tulum Prizi (ing.fire fighting pump connection)” olarak gösterilmektedir.

Yangın tulum prizi, yangın tulumunu besleyen ABT/MBT üzerinde normal-alternatif besleme hattına ilave olarak harici beslenme amacı ile üçüncü bir kaynak olarak konumlandırılmıştır.

Gemi tasarımına bağlı olarak yangın tulumlarının normal çalışma durumunda başka sistemlerin çalışması için deniz suyu sağlayan bir görevi olduğu tasarımlarda güç beslemesinin kesilmesinin ilgili sisteme sağlanan deniz suyunun kesilmesi anlamı çıkarılacağı için ilgili sistemde arıza oluşturma riski oluşacaktır. Bu nedenle güç kesintisinin süratle ve otomatik olarak giderilmesi için inceleme yapılan birkaç radyal dağıtım sisteminde deniz suyu tulumlarının ABT'ler üzerinden beslendikleri görülmüştür. Sistemlerin ihtiyaç duyduğu deniz suyu ihtiyacının bu görev için atanmış deniz suyu tulumları üzerinden sağlandığı tasarımlar örneğinde olduğu gibi normal çalışma koşullarında görevi olmayan yangın tulumlarının ise MBT üzerinden beslenmelerinin yeterli görüldüğü tespit edilmiştir.

Bu durum muvacehesinde modelde yer alan yangın tulumbalarının 4'ünde iklimlendirme sistemi için deniz suyu ihtiyacını karşılayabilecek yapıda olduğu ve yangın tulumbalarının birbirlerini ve görevlerini yedekleyebildikleri değerlendirilerek model tasarımında yangın tulumbalarının ABT üzerinden beslenmeleri sağlanmıştır.

Model özelinde yükün bağlı olduğu ABT'ye ait arıza kuvvet prizi iştirakinin bulunduğu şalter ABT içerisindeki 3 numaralı şalter olup arıza kuvvet prizi kullanan yükler için bu bağlantı ABT1.3 şeklinde tanımlanmıştır. ABT1.3 ifadesi 1 numaralı ABT'nin 3 numaralı şalter bağlantısında arıza kuvvet prizinin bağlı olacağı anlamını ve ABT1'in beslediği yükün haricen (MSB 1 ve/veya MSB2 üzerinden değil) seyyar arıza kuvvet kablosu ile beslenebilen yapıda olduğu anlamına gelmektedir. Bu örnek açıklama Şekil 5.7'de de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Yangın tulumbalarını besleyen ABT bağlantı yapısı

### 5.3. Görev Profilleri ve Elektrik Yük ve Denge Analiz Hesapları:

Model geminin su üstü savaş gemisi olduğu değerlendirildiğinde görev profillerini,

Savaş Durumu,

Karakol Seyri,

Barış Durumu İntikal Seyri,

Liman Durumu,

olarak 4 ana başlığa ayrıldığı görülmektedir.

Her bir görev profilinde devrede olan yükler değişmektedir. Bu yüklerin görev profilleri ile olan ilişkileri “Elektrik Yük ve Balans Analizleri” ile hesaplanmaktadır.

Model gemi için yüklerin devrede olup olmadıklarını, devrede iken çektikleri güç değerlerini gösteren “Elektrik Yük ve Denge (Balans) Analiz Listeleri” oluşturulmuştur.

Tez çalışmasının yürütülmesi için oluşturulan modelde yüklerin görev profilleri ile olan ilişkileri incelendiğinde hesaplamaların su üstü gemileri ile denizaltılar arasında farklı yaklaşımlarda yürütüldükleri de tespit edilmiş, kurguladığımız model için hangi yaklaşımın doğru olacağı konusunda da inceleme yapılmasının faydalı olacağı değerlendirilmiştir.

“Elektrik Denge Analizi”nde ana amaç generatör gibi güç kaynaklarının boyutlandırılmasına yönelik analizleri yapmak ve aynı zamanda elektrik yük dağılımını dağıtım panoları arasındaki paylaşımını dengeli gerçekleştirmektedir. “Elektrik Yük Analizi” ise geminin zorlayıcı şartlarda değil tasarımındaki ön görülen en iyi şartlar altında ulaşacağı en iyi performans değerlerinin tespiti için elektrik yük tüketiminin tespiti amacıyla yapılmaktadır. Bu iki hesaplama metodu bakış açıları itibari ile birbirinden farklılaşmaktadırlar Elektrik Denge Analizi boyutlandırma ve kötümsen senaryoları dikkate alırken, Elektrik Yük Analizi ise geminin görev yapacağı en iyi koşullar altında ulaşılabilceğini değerlendirdiği maksimum performansa yönelik yük analizini gerçekleştirmektedir. Bu kapsamda model platformumuzda yapılacak çalışma için Elektrik Denge Analizinin ön plana çıktığı görülmüştür.

Elektrik Denge Analizi tasarım hesapları içeriğinde yer alan yaşamsal ve yarı yaşamsal yüklerin ABT ve MBT gibi bara transfer cihazları üzerinden yedeklenebilir şekilde ana tevzi panolarından beslendiği değerlendirildiğinde, bu yüklerin başlangıç durumlarında hangi ana dağıtım panosundan (MSB1/ MSB2) beslendiklerinin belirlenmesi de çalışmada arıza öncesi durumun bilinmesi ve referans oluşması açısından önemli görülmüştür. Oluşturulan model bu hususlar dikkate alınarak kurgulanmıştır.

Su üstü savaş gemisi tasarımlarında Elektrik Denge Analizleri gerçekleştirilirken yüklerin görev profillerine göre devrede olup olmadıkları bilgisi yüke ait faktörün 1 veya 0 olarak tanımlanması ile ifade edilmektedir. Denklem 5.1’de gösterilmiştir.

$$Yükün\ görev\ profilene\ bağlı\ değeri = Yük\ nominal\ değeri \times f \quad (5.1)$$

$$Yük\ devrede \rightarrow f = 1; Yük\ devrede\ değil \rightarrow f = 0$$

Örnek olarak gemideki yüklerden ırgat yükünü incelediğimizde bahse konu sistemin; geminin limanda halat manevrası yapması veya alargada demirin atılıp alınması görevlerinde kullanıldığını açıklayabiliriz. Bu yük “liman durumu görev profilinde” kullanım alanı bulmakta ancak diğer görev profilleri olan savaş durumu, karakol seyri, barış durumu intikal seyri görev profillerinde devrede tutulmamakta ve yaşamsal bir yük olarak değerlendirilmektedir. Model savaş gemimizde L10 yükü olan baş ırgat paneli ırgat sistemini sürmek ile görevlidir. Örnek yük özelinde görev profili ve güç faktörü ilişkileri Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Su üstü savaş gemisi tasarımlarında yük faktörleri görev profillerine göre devrede olup olmamayı yansıtırken, yüklerin gemi güç sisteminde çalışmasında ortaya çıkan yüklenme koşulu (sistemler her zaman tam yükte çalışmamaktadır) ve eş zamanlılık etkisini göz ardı edebilmektedir. Bu durum hesaplamalarda her bir görev profilinde tüm yükler dahil edilerek toplam gücün belirlenmesi sonrasında askeri gemiler için oluşturulmuş standartlarda belirtilen görev profilleri için ayrı ayrı tanımlanmış yüklenme ve eş zamanlılık faktörleri kullanılarak (veya tasarımcının belirlediği faktörler) o görev profilindeki toplam güç ihtiyacının tespiti yapılmaktadır [61, 63, 116]. Burada yüklenme koşullarının hesaplamalara faktör içeriğinde dahil edilmesi ile yüklerin çalışma periyotları içerisinde her zaman nominal veya tam yükte çalışmadıkları yansıtılırken, eş zamanlılık kavramının faktör içeriğine dahil edilmesi ile tüm yüklerin aynı anda devrede olmayacağı gerçeği dikkate alınmaktadır. Bu durumda yüklerin güç değerlerinin alt alta toplanarak oluşturulacak bir yük ve denge analizi hesap metodu sonucu olarak geminin ihtiyaç duyduğu generatör ve güç kaynaklarının boyutlandırılmasında aşırılığa kaçılması (ing. over size) ile gereğinden çok fazla güç üretimi ve verimsiz bir sistem tasarımının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Hesaplamalarda aynı zamanda aksi bir durumun yetersiz düşük kapasiteli tasarımların gerçekleştirilmesinde de kaçınılmaktadır. Bu hesaplama ve yaklaşımlardaki doğruluk, kesinlik ile gerçek durum altında ulaşılan sonuçların uyumluluğu savaş gemisini tasarlayan tasarım ekiplerinin bilgi ve tecrübesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle yük faktörlerinin doğru belirlenmesi bir savaş gemisi tasarımında son derece önemlidir.

**Tablo 5.2.** Örnek yük için görev profili güç ve faktör ilişkisi

| Yük Adı   | Güç | Savaş Gemisi Görev Profilleri |                             |                               |                             |
|-----------|-----|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
|           | kW  | Savaş Durumu                  | Karakol Seyri               | Barış Durumu<br>İntikal Seyri | Liman Durumu                |
| L10       |     | Örnek hesaplama:              |                             |                               | Örnek hesaplama             |
| Baş ırgat | 2,8 | f=0                           | 0                           | 0                             | f=1                         |
| Paneli    |     | 2,8x0=0 kW                    |                             |                               | 2,8x1=2,8 kW                |
| L10       | 2,8 | 0                             | 0                           | 0                             | 2,8                         |
| Li        | ... | $P_{savaş} (Li)$              | $P_{karakol} (Li)$          | ...                           | ....                        |
| Toplam    |     | $P_{savaş}$                   | $P_{karakol}$               | $P_{barış}$                   | $P_{liman}$                 |
| Güç       |     | $= f_{savaş}$                 | $= f_{karakol}$             | $= f_{barış}$                 | $= f_{liman}$               |
| İhtiyacı  |     | $\times \sum_{i=0}^n GüçLi$   | $\times \sum_{i=0}^n GüçLi$ | $\times \sum_{i=0}^n GüçLi$   | $\times \sum_{i=0}^n GüçLi$ |

Klasik radyal dağıtım sistemi temelli olan analizlerde kullanacağımız test model gemisinde bu bilgiler dikkate alınıp değerlendirilerek tez çalışmasının yürütüleceği yük ve görev profili bilgileri oluşturulmuştur.

Model gemide kullanıldığı gibi mekanik tahrikli bir platform ve klasik radyal dağıtım sistemi kullanımı yerine elektrik tahrikli bir platform kullanılması durumunda gemi güç sistemi tasarımı ve boyutlandırılmasında kullanılacak veri yetersizliği nedeni ile yük faktörü atamalarının doğru yapılmaması sonucunda aşırı büyük boyutlandırma gibi neticeler ile karşılaşılabilceği değerlendirilmektedir. Bu kapsamda yük faktörlerinin tespitine yönelik çalışmaların gelecek nesil elektrik tahrikli su üstü savaş gemileri için de yoğunlaşması yönünde literatürde kıymetli değerlendirmeler yer almaktadır [46].

Bu yaklaşım elektrik tahrikli bir platform olan ve aynı zamanda hacim kritik bir tasarım felsefesi barındıran denizaltıların güç dağıtım sistemi tasarımında daha da önem kazanmaktadır. Denizaltı tasarımında yüklere ait eş zamanlılık ve her bir görev profilinde denizaltının güç tüketimindeki keskin hesaplama yöntemi bir optimizasyon konusudur. Burada denizaltı platformu, su üstü savaş gemisi platformlarında Elektrik Yük ve Denge Analiz hesaplama prensiplerinden ayrılmaktadır. Her bir sistemin

(yükün) tasarım bilgisi, belirli bir periyottaki çalışma süresi bilgisini ve yüke ait eş zamanlılık faktör bilgini içeren yük zaman faktörü, yükün güç tüketim bilgileri ile ilişkili yük faktörü bilgilerinin fonksiyonu olan yüke ait faktörler kullanılarak hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. Her bir görev profilinde yüke ait faktörler değişmekte ve su üstü gemilerinde kullanıldığı gibi her bir görev profili için genel eş zamanlılık faktörleri kullanılmamaktadır.

Su üstü savaş gemileri için yüklere ait faktörlerin tespitinin elektrik tahrikli yeni nesil platformlarda önemi denizaltılara benzer şekilde daha da ön plana çıktığı görülmüştür. Bu tecrübenin konvansiyonel denizaltı tasarımlarında elektrik tahrikli su üstü gemilerinden çok daha öncesinde kazanıldığı da bilinmelidir.

Denizaltılar ve elektrik tahrikli su üstü platformlarında gibi hassas elektrik yük ve denge analizi hesaplarında yüklere ait görev profili temelli güç değerleri genel olarak denklem 5.2 ile hesaplanmaktadır.

*Görev Profilindeki Yük Değeri*

$$\begin{aligned} &= (f_{\text{zaman}} \times f_{\text{yük}}) \times \text{yük değeri} \\ &= f \times \text{yük değeri} \end{aligned} \tag{5.2}$$

*f: 0 ile 1 arasında değer alır*

Model platform oluşturulurken her bir yüke ait detaylı sistem bilgisine sahip olamayacağımız ve bu durumda sistem kurgusunda doğruluktan uzak bir model olabileceği gerçeği ile tez çalışması için denizaltı platformu veya elektrik tahrikli bir platform model olarak incelenmemiştir.

Çalışma için su üstü savaş gemisi elektrik sistemi tasarım prensiplerine bağlı kalınarak model kurgusu gerçekleştirilmiştir.

### **5.3.1. Yükler**

Yükler için “L” notasyonu (ing. load) kullanılacak olup L1, L2 gibi sıralama ile ifade edilmektedir. Yüklere ait bilgiler ve yük numaraları Ek-A’da sunulmuştur.

Geminin görev profiline göre yüklerin önem derecesinin de değişmekte olduğu unutulmamalıdır. Yüklerin önem dereceleri model gemi kurgusunda da “yaşamsal, yarı yaşamsal ve yaşamsal olmayan yükler” olarak kategorize edilmektedir.

Yüklerin ait olduğu sistem bilgisi, başlangıç koşulunda hangi MSB'den beslendiği, güçlerini içeren tablo Ek A'da sunulmuştur.

Tez içeriğinde yer alan simülasyon senaryolarında kullanılacak görev profiline bağlı yük sınıflandırmaları Tablo 5.3'te sunulmuştur.

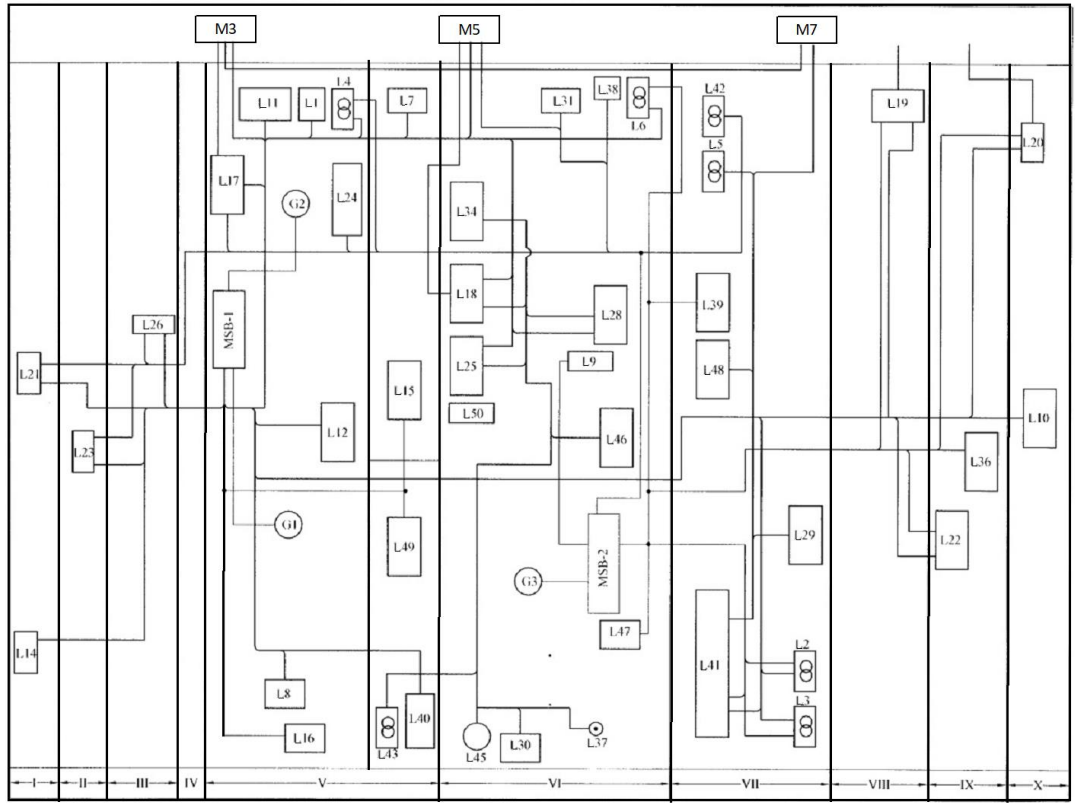
**Tablo 5.3.** Görev temelli yük önem dereceleri matrisi

| Görev Profili              | Yük tipi                     | Yük Numarası                                                                                            | Toplam Yük Sayısı |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Savaş                      | Yaşamsal Yük (V)             | L1, L2, L3, L4, L5, L6*, L7*, L8*, L9*, L10, L11, L12, L13, L14, L17, L18, L19, L25, L28, L34, L48, L49 | 22                |
|                            | Yarı-Yaşamsal Yük (SV)       | L15, L16, L38**, L39**, L40**, L43, L45, L50**                                                          | 8                 |
|                            | Yaşamsal Olmayan Yükler (NV) | L20, L21, L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44                                                        | 10                |
|                            | Devrede Olmayan Yükler       | L23, L24, L26, L27, L29, L30, L31, L41, L46, L47                                                        | 10                |
| Barış Durumu İhtikal Seyri |                              |                                                                                                         | 16                |
|                            | Yaşamsal Yük (V)             | L3, L4, L5, L6*, L7*, L8*, L9*, L10, L13, L18, L19, L25, L28, L34, L48, L49                             |                   |
|                            | Yarı-Yaşamsal Yük (SV)       | L1, L14, L15, L16, L17, L38**, L39**, L40**, L43, L45, L50**                                            | 13                |
|                            | Yaşamsal Olmayan Yükler (NV) | L2, L11, L12, L20, L21, L22, L32, L33, L35, L36, L37, , L42, L44                                        | 12                |
|                            | Devrede Olmayan Yükler       | L23, L24, L26, L27, L29, L30, L31, L41; L46, L47                                                        | 12                |

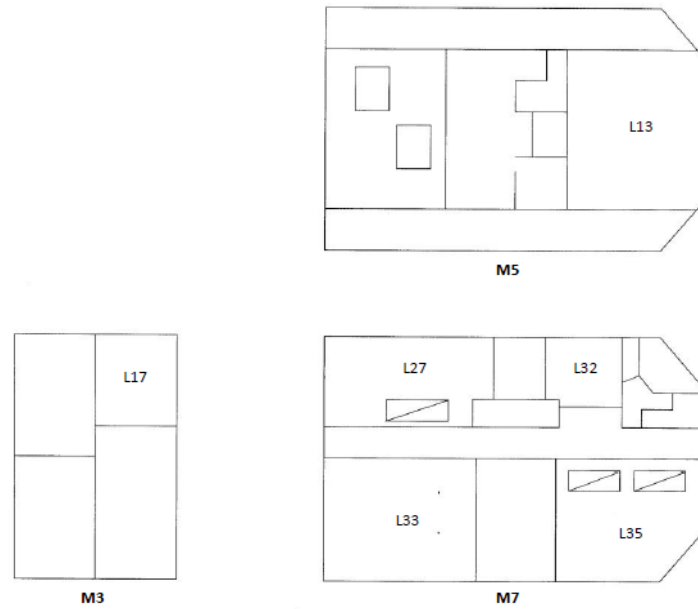
\* Hasar Kontrol ilave yükü. Yara/Yangın durumunda arıza sonrası hasar kontrol amaçlı devreye girecek yükler.

\*\* Farklı MBS'ler tek hat ile beslenen ancak birbirine yedek olan yarı-yaşamsal yükler L39 ile L40 ve L38 ile L50 dir.

Test platformunda yüklerin gemi üzerindeki yerleşim mevkilerini gösteren ve hangi bölmede bulunduklarını açıklayan yerleşim resmi Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Şekil 5.8 geminin ana güvertesi altındaki yük yerleşimi göstermekte olup Şekil 5.9 ise üst güvertede ve üst binalarda yer alan yüklerin gemi bünyesine dağılımını göstermektedir.



Şekil 5.8. Test Platformunda Bölmelerdeki Yüklerin Yerleşimi



Şekil 5.9. Test Platformunda Bölmelerdeki Yüklerin Yerleşimi

#### 5.4. Senaryolar

Test platformu verileri temel alınarak oluşturulan gemi güç dağıtım sisteminde simülasyon temelli analizler gerçekleştirilmiştir. Savaş gemisinin karşılaşılabileceği muhtemel arıza/hasar senaryoları oluşturularak tez kapsamında önerilen metodun sonuçları elde edilmiştir. Senaryolar oluşturulurken yüklerin devrede olup olmaması, güç durumu, yüklerin görev durumundaki önem derecesi, arıza öncesi başlangıç koşulları dikkate alınarak farklı görev durumları kullanılmıştır.

Her bir senaryo için hasar/yara/yangın öncesi üretim tüketim durumu Tablo 5.4'te sunulmuştur.

Tez kapsamında önerilen optimizasyon metotlarının kullanılmaması durumunda, klasik bir yaklaşım ile operatörün karşı karşıya kalacağı üretim ve tüketim dengesizliği Tablo 5.4'te klasik yaklaşım başlığı altında ele alınmıştır. Klasik yaklaşım ile devrede tutulması gereken yükler için toplam talep edilen güç miktarının toplam üretilen güçten fazla olması durumunda jeneratörlerin aşırı yüklenecek jeneratör şalterlerinin açacağı ve GGS'nin çökeceği görülmektedir.

Klasik yaklaşım da toplam talep edilen güç miktarı belirlenirken; ABT ve MBT üzerinden beslenen özellikle yaşamsal ve yarı yaşamsal yüklerin beslendikleri hatta/kaynakta oluşan bir arıza durumunda herhangi bir değerlendirme yapmadan otomatik olarak alternatif besleme hattına geçtiği değerlendirilerek hesaplanmıştır.

Tezde önerilen metodun motivasyonu sadece besleme kaynağının durumuna bakarak alternatif kaynağa geçiş yerine sistemin yeniden yapılandırma sürecinde amaç fonksiyonlarına göre değerlendirilmesi ve sonrasında devrede olması gereken yüklerin belirlenerek görevin ifasının sağlanmasını amaçlanmaktadır.

Optimizasyon probleminin önerilen metot ile çözümünü inceleyebilmek için birçok senaryo incelenmiştir. Tablo 5.4'te yer alanlar senaryolar tez içeriğinde analiz edilmektedir. Senaryolar belirlenirken farklı iki görev profili (savaş ve barış durumu intikal seyri) ele alınmıştır. Her bir senaryo belirlenirken güç-tüketim dengesinin bozulduğu, klasik yaklaşım ile operatörün yeniden yapılandırma sürecinde zorluk yaşayacağı, hatta operatör tecrübesi eksik ise gemi elektrik sisteminin çökeceği ve geminin kararacağı en istenmeyen durumlar seçilmiştir.

Geminin kararması durumunda jeneratör çıkış şalterlerinin dahi aşırı yük nedeni ile açabileceği, jeneratör çıkışlarından enerji elde edilemeyeceği ve yaralı/yangın durumu

altındaki geminin yara ve/veya yangın ile mücadele edemeyeceği, hatta bu durumun geminin kaybına sebep olacağı da dikkate alınmalıdır.

**Tablo 5.4.** Senaryo bazlı başlangıç koşulları, arıza durum tespiti özet tablo.

| SENARYO NO | Generatör Güç Üretimi |      |      | Ana Dağıtım Panosu Durumu |         | Klasik Yaklaşımdaki Durum      |                         |                                      |
|------------|-----------------------|------|------|---------------------------|---------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|
|            | G1                    | G2   | G3   | MSB1                      | MSB2    | Toplam Üretilabilir Güç Sınırı | Toplam Talep Edilen Güç | Gemi Durumu                          |
|            | (kW)                  | (kW) | (kW) |                           |         | (kW)                           | (kW)                    |                                      |
| 1          | 150                   | 150  | 0    | Aktif                     | Aktif   | 300                            | 353,76                  | Aşırı yük<br>Generatörler devre dışı |
| 2          | 150                   | 150  | 0    | Aktif                     | Arızalı | 300                            | 376,76                  | Aşırı yük<br>Generatörler devre dışı |
| 3          | 0                     | 0    | 150  | Arızalı                   | Aktif   | 150                            | 353,76                  | Aşırı yük<br>Generatörler devre dışı |
| 4          | 150                   | 0    | 150  | Aktif                     | Aktif   | 300                            | 327,14                  | Aşırı yük<br>Generatörler devre dışı |
| 5          | 0                     | 0    | 150  | Arızalı                   | Aktif   | 150                            | 327,14                  | Aşırı yük<br>Generatörler devre dışı |

#### 5.4.1. Senaryo-1: Baş makine dairesinde yangın (savaş görevi durumu)

Senaryo-1’de savaş görev profilinde bulunduğu ve hasarlı durumda olduğu, toplam 3 jeneratörden 2’sinin devrede olduğu ve her iki makine dairesinin de çalışır durumda olduğu varsayılmaktadır. Bu senaryoda iki barayı (MSB1 ve MSB2) tek baraya dönüştürmek için 2 jeneratör paralel bağlanır ve transfer hattı anahtarı kapatılır. Senaryo-1 için kaynak ve dağıtım sistemlerinin durumunu gösteren özet tablo Tablo 5.5’te sunulmuştur.

**Tablo 5.5.** Senaryo-1 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.

| SENARYO 1      | G1 | MSB1 | G2 | G3  | MSB2 | TRNS |
|----------------|----|------|----|-----|------|------|
| ANAHTAR KONUMU | ON | ON   | ON | OFF | ON   | ON   |

Senaryo 1 kapsamında arıza; G3 jeneratörünün arızalanması ve bunun gemide yangına neden olması, G3 jeneratörün bulunduğu bölmede (6 numaralı bölme) yangına müdahale edilmesi gerektiği olarak tanımlanabilir.

6 numaralı gemi inşa bölümünde hasar sonrası 3 adet yangın söndürme tulumbası yangına karşı devrede olup, bahse konu yangın söndürme tulumbalarına ait yükler hasar sonrası devreye alınması gereken ilave yük talebi olarak ele alınmaktadır.

Bu senaryoda 3 yangın tulumbasının devrede tutulma sebebi olarak yangın tulumbalarının aynı zamanda dalgıç tulumbası gibi bölmeden su tahliyesi amacı ile de kullanılabilmeleri olup geminin yangına su ile müdahale edeceği aynı zamanda bölmeden suyun tahliye etmesinin gerekeceği değerlendirilmiştir. L7, L8, L9 yangın tulumbalarının ilave yük olarak kullanılmasına karar verilmiştir, L6 yangın tulumbası ise yangın yaşanan bölmede olması, hasar almış olabileceği dikkate alınarak yedek tulumba olarak görevlendirilmiştir.

Senaryo-1 koşulları altında geminin beklenen savaş görev profiline devam edebilmesi için elektrik gücünün devamlılığını sağlaması, tahrik sistemini kullanması, sensörleri (muhabere, radar vb.) ile silahlar, atış kontrol sistemlerinin çalışır durumda tutması aynı zamanda da yangına müdahale etmesi olarak özetlenebilir.

#### **5.4.2. Senaryo 2: Baş makine dairesinde yara ve hasar (savaş görevi durumu)**

Senaryo-2 olarak savaş gemisinin baş makine dairesinden yara alması ve baş makine dairesinin su ile imla etmesi durumu kabul edilmiştir. Bu durumda baş makine dairesindeki jeneratör G3ve dağıtım panosu MSB2 hasarlı bölgede yer aldığından devre dışı kalmışlardır. K1ç makine dairesindeki 2 jeneratör (G1 ve G2) ve dağıtım panosu MSB1 devrededir.

Senaryo-2’de kısaca MSB2’den beslenen yükler artık devre dışı kalacak ve baş makine dairesinin su ile imla ediyor olması, geminin hasar kontrol timinin yarayı savunması, su girişini kapatıp, bölmenin suyunu tahliye etmesi gerekecektir. Yaraya müdahale esnasında da su seviyesini düşürmek maksatlı suyu tahliye etme işlemlerine devam etmeleri gerekecektir. Bu durumda 4 adet yangın tulumbası tahliye tulumbası olarak görev yapacaktır.

Senaryo-2 için kaynak ve dağıtım sistemlerinin durumunu gösteren özet tablo Tablo 5.6’da sunulmuştur.

**Tablo 5.6.** Senaryo-2 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.

| SENARYO 2      | G1 | MSB1 | G2 | G3  | MSB2 | TRNS |
|----------------|----|------|----|-----|------|------|
| ANAHTAR KONUMU | ON | ON   | ON | OFF | OFF  | OFF  |

#### 5.4.3. Senaryo 3: Kıç makine dairesinde hasar/yara (savaş görevi durumu)

Senaryo 3'te, kıç makine dairesinden geminin isabet aldığı ve yaralandığı varsayımı yapılmıştır. Bu durumda kıç makine dairesinde bulunan G1 ve G2 jeneratörlerinin ve dağıtım panosu MSB1'in geminin aldığı isabet ve/veya bölmeye giren deniz suyu nedeniyle kısa devre yaşadığı ve arızalı olduğu varsayılmaktadır.

Senaryo-3 için kaynak ve dağıtım sistemlerinin durumunu gösteren özet Tablo 5.7'de sunulmuştur.

**Tablo 5.7.** Senaryo-3 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.

| SENARYO 3      | G1  | MSB1 | G2  | G3 | MSB2 | TRNS |
|----------------|-----|------|-----|----|------|------|
| ANAHTAR KONUMU | OFF | OFF  | OFF | ON | ON   | OFF  |

Hasar sonrası yangın tulumbaları yaralı bölmede su tahliye işlemini gerçekleştirmek üzere çalışmaktadır. Yaralı bölgedeki elektrik arızasını izole etmek için MSB1 ve MSB2 arasındaki transfer hattı anahtarı açıktır.

Gemide bu senaryoda aktif olan tek jeneratör G3 ve aktif dağıtım panosu da MSB2'dir. G3 ve MSB2 hasar görmemiş olan baş makine dairesinde bulunmaktadır.

Arıza sonrası tüm hasar kontrol faaliyeti G3 ve MSB2 kullanılarak yapılacak olup, bu senaryo test platformuna ait GGS için en zorlu senaryodur.

Savaş durumu devam ettiği için geminin hasarı kontrol altına alması ve platformun seyre devam ederek, emniyetli bir sahaya çekilirken savaşa da karşılık vermesi, kendisini savunması beklenmektedir. Geminin seyir yüklerini, ana tahrik sistemini, silah, sensörlerini ve hareketin icrasına yönelik yükleri beslenmesi beklenmektedir.

#### 5.4.4. Senaryo 4: Kıç makine dairesinde arıza ve yangın (barış durumu intikal seyri profili)

Senaryo 4'te "Barış Durumu İntikal Seyri" görev profilinde yangın faraziyesi mevcuttur. Hasar kontrol ekibi yangına müdahale edecektir.

Senaryo 4'te, kıç makine dairesinde yangın olduğu ve G2'nin kullanılmadığı rapor edilmiştir. G1 ve G3 jeneratörlerinin ve dağıtım panosu MSB1 ve MSB2 faaldir. Transfer hattı devrededir.

Yangın tulumbaları barış durumu intikal seyrindeki devredeki yüklere ilave hasar kontrol sistem yükü olarak GGS'ye dahil edilecektir. Geminin yangın ile mücadele

ederken seyir sistemlerini devrede tutması ve ana tahrik sistemini kullanması önem kazanmaktadır.

Senaryo 4 toplam üretim ve hasar kontrolün ihtiyaç duyduğu ilave yük talebi Senaryo 1 ile aynıdır. Ancak Senaryo-4'te yangın mevkisi kıç makine dairesidir. Önerilen yöntem için farklı görev etkilerini göstermek amacıyla Senaryo-4 tanımlamıştır.

Senaryo-4 için kaynak ve dağıtım sistemlerinin durumunu gösteren özet tablo Tablo 5.8'de sunulmuştur.

**Tablo 5.8.** Senaryo-4 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.

| SENARYO 4      | G1 | MSB1 | G2  | G3 | MSB2 | TRNS |
|----------------|----|------|-----|----|------|------|
| ANAHTAR KONUMU | ON | ON   | OFF | ON | ON   | ON   |

#### **5.4.5. Senaryo 5: Kıç makine dairesinde arıza ve yangın (barış durumu intikal seyri profili)**

Senaryo 5 test platformu için zorlayıcı bir senaryo olup, Senaryo-3'e benzemektedir. Savaş Durumu Görev profilindeki Senaryo-3'ten farklı olarak Senaryo-5'te "Barış Durumu İntikal Seyri" görev profili kullanılmıştır.

Senaryo-5'te, barış durumu intikal seyrindeki test platformumuzun kıç makine dairesinde yangın başladığı ve kıç makine dairesinde bulunan G1 ve G2 jeneratörleri ile dağıtım panosu MSB1'in yangına müdahale ve hasar nedeni ile kullanılamadığı varsayılmaktadır.

Görev profillerinin değişmesi ile arıza/hasar öncesi sistem başlangıç koşullarında değişiklik olmakta ve görev tipine göre yüklerin önem dereceleri ve devrede olup olmama durumu değişmektedir. Senaryo-5 ile farklı görev tiplerinde benzer senaryolarda önerilen yöntemin analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Bu senaryoda 3 yangın tulumbası yangına müdahale için ilave hasar kontrol yükü olarak devreye alınması varsayılmıştır. Kıç makine dairesinde yangına müdahale, soğutma işlemleri yapılırken aynı zamanda aynı bölmeden su tahliye işlemleri de gerçekleştirilmektedir.

Senaryo-5 için kaynak ve dağıtım sistemlerinin durumunu gösteren özet Tablo 5.9'da sunulmuştur.

**Tablo 5.9.** Senaryo-5 kaynak ve dağıtım sistemi durum özeti.

| SENARYO 5      | G1  | MSB1 | G2  | G3 | MSB2 | TRNS |
|----------------|-----|------|-----|----|------|------|
| ANAHTAR KONUMU | OFF | OFF  | OFF | ON | ON   | OFF  |

### 5.5. Analiz Sonuçları

Test platformunda 3 farklı optimizasyon metodunun sonuçları senaryo temelli elde edilmiştir. Uygulanan optimizasyon metotları aşağıda sıralanmaktadır.

Genetik algoritma (GA),

Patern Arama (ing. Patern Search: PS),

0-1 tamsayı programlama (ing. Binary integer programming: BİP)

Önerilen yöntem ile 3 farklı optimizasyon yaklaşımı kullanılarak her bir senaryoda incelemeler yapılmıştır. Bahse konu incelemeler Tablo 5.10’da toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 5.10’da senaryo bazlı her bir optimizasyon yaklaşımı için yeniden yapılandırma sürecindeki anahtarlama sayısı, toplam atılan yük miktarı, toplam beslenen yük miktarı, programın cevap süresi, sistemdeki kayıp miktarları, gemi güç sisteminin devrede olup olmadığı (geminin kararlıp kararmadığı) bilgisi karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Her bir senaryonun sonucu olarak gemideki yükleri devrede tutma/devreden çıkarma anahtarlama fonksiyonları ve işlemlerinin analizi senaryo bazlı ayrı ayrı incelenmiştir

Senaryo bazlı incelemede yüklerin sınıflandırılması yaşamsal, yarı yaşamsal, yaşamsal olmayan yükler olarak gruplanmıştır. Bu gruplarda atılan yüklerin listesi, toplam atılan yük adedi ve atılan yüklerin toplam gücüne yer verilmiştir.

.

**Tablo 5.10.** Önerilen metodun farklı optimizasyon metodları ile karşılaştırılması.

| SENARYO   | YÖNTEM | ANAHTARLAMA SAYISI | TOPLAM ATILAN YÜK (kW) | TOPLAM TRANSFER EDİLEN YÜK (kW) | PROGRAM SÜRESİ (s) | TOPLAM BESLENEN YÜK (kW) | Kayıp (W) | SONUÇ                 |
|-----------|--------|--------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|
| SENARYO-1 | BİP    | 8                  | 55.68                  | Yok                             | 0,7530             | 298.08                   | 314,2021  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | PS     | 19                 | 55,8                   | 99,28                           | 10,16              | 297,96                   | 361,1574  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | GA     | 22                 | 55.68                  | 127,8                           | 53.6725            | 298.08                   | 330,5664  | Güç Dengesi Sağlandı. |
| SENARYO-2 | BİP    | 20                 | 86,76                  | 115,6                           | 0.30163            | 290                      | 346,7043  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | PS     | 21                 | 80,88                  | 120,28                          | 8,6113             | 295,88                   | 345,681   | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | GA     | 21                 | 148,48                 | 62,28                           | 130,5795           | 228,28                   | 229,7961  | Güç Dengesi Sağlandı. |
| SENARYO-3 | BİP    | 32                 | 204,48                 | 76                              | 0,3112             | 149.28                   | 184.2783  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | PS     | 34                 | 203,76                 | 81,4                            | 4,7286             | 150                      | 194,2     | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | GA     | 31                 | 205,68                 | 67,6                            | 103.5962           | 148,08                   | 162.8459  | Güç Dengesi Sağlandı. |

**Tablo 5.10. (Devamı)** Önerilen metodun farklı optimizasyon metotları ile senaryo temelli analizi.

| SENARYO   | YÖNTEM | ANAHTARLAMA SAYISI | TOPLAM ATILAN YÜK (kW) | TOPLAM TRANSFER EDİLEN YÜK (kW) | PROGRAM SÜRESİ (s) | TOPLAM BESLENEN YÜK (kW) | Kayıp (W) | SONUÇ                 |
|-----------|--------|--------------------|------------------------|---------------------------------|--------------------|--------------------------|-----------|-----------------------|
| SENARYO-4 | BİP    | 1                  | 12                     | 0                               | 1.5932             | 295.14                   | 400.8182  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | PS     | 11                 | 58                     | 51,8                            | 9,2787             | 249,14                   | 312,7392  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | GA     | 21                 | 77,86                  | 54,8                            | 113.6481           | 226.88                   | 235.2494  | Güç Dengesi Sağlandı. |
| SENARYO-5 | BİP    | 30                 | 159,06                 | 77,8                            | 0.433747           | 149,54                   | 196.22    | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | PS     | 33                 | 159,06                 | 91                              | 8,3788             | 148,08                   | 214,1697  | Güç Dengesi Sağlandı. |
|           | GA     | 28                 | 164                    | 68,6                            | 152.6543           | 143,14                   | 166.9469  | Güç Dengesi Sağlandı. |

### **5.5.1. Senaryo-1:Savaş görevi durumu (yangına müdahale durumu)**

Gemi savaş durumu görev profilinde Senaryo-1 koşulları altında hayatta kalmalı, faaliyetine ve harekate devam etmelidir. Bu durumda tahrik sistemi yükleri, sensörler, silahlar dahil atış kontrol sistemlerinin çalışır durumda olması beklenmektedir. Tablo 5.11 senaryo öncesi başlangıç durumunu özetlemektedir. Tablo 5.3'te tanımlı hasar kontrol yükleri arıza sonrası ilave talep olarak görülmektedir.

Tablo 5.11'de Senaryo 1'de klasik yaklaşım ile cevap verildiğinden güç-yük dengesizliği nedeni ile devredeki G1 ve G2 jeneratörlerinin aşırı yükten devre dışı kaldığı, geminin bu durumda jeneratör şalterlerinin aşırı yük sonucu açması ile karararak enerjisiz kalacağı görülmektedir. Bu durum savaş görev profilindeki bir savaş gemisi için felaket ile sonuçlanabilir, yara/hasar ile mücadele etmesi ve aynı zamanda hareketi sürdürmesi gerekirken enerjisiz kalarak gemi düşmana kolay bir hedef teşkil edebilir.

Senaryo 1 kapsamında önerilen yeniden yapılandırma metodu ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.10'da toplam anahtarlama sayısı, toplam atılan yük (kW) miktarı, programın cevap verme süresi, toplam beslenen yük (kW) miktarı karşılaştırması yapılan 3 optimizasyon metodu için sunulmuştur. Senaryo 1 kapsamında klasik yaklaşım ile enerjisiz kalan platformda önerilen metot ile güç dengesi ve platformun emniyeti sağlanmıştır. Önerilen metot ile uygulanan optimizasyon yöntemi değişmiş olsa da sonuç Tablo 5.4'te sunulan klasik yaklaşım ile karşılaştırıldığında Senaryo-1 için başarılıdır, platformda toplam bir kararma yaşanmamış, gücün devamlılığı sağlanmıştır.

Sistemin gemi elektrik sistemi olması dikkate alındığında tesis hatları ile karşılaştırıldığında kablo mesafelerinin gemilerde kısa olması nedeni ile kayıpların çok az olduğu ve ihmal edilebilir seviyede olduğu da söylenebilir.

Tablo 5.10'da Senaryo1 kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

En hızlı yöntemin BİP olduğu, en az anahtarlamanın BİP ile sunulduğu görülmektedir. Sistem cevap süresi açısından en yavaş yöntem GA'dır. GA ve PS'yi kendi aralarında karşılaştırdığımızda PS daha hızlı cevap vermiştir.

Burada BİP yönteminin daha lineer bir yaklaşım sergilemesi nedeni ile daha hızlı cevap verdiği, GA ve PS’unda en iyi sonuçları elde etmek için beslenen yüklerin toplam gücünün maksimize edilmesine çalışılırken Senaryo 1’den daha fazla anahtarlama yaptığı tespit edilmektedir.

En fazla anahtarlama (22 adet) yapan ise GA olmasına karşın PS yaklaşımı da benzer anahtarlar (19 adet) sunmaktadır.

Beslenebilen yüklerin toplam gücü (kW) açısından en fazla güç beslemesi farklı anahtarlama sonuçlarını sunmalarına karşın BİP ve GA ile ulaşılmıştır (298,08 kW). PS’nında (297,96 kW) ile genel olarak BİP ve GA’ya benzeri sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 5.11’de Senaryo 1 için sonuçlar sunulmuştur. Tablo 5.11’de yüklerin sınıflandırılması yaşamsal, yarı yaşamsal, yaşamsal olmayan yükler olarak gruplanmıştır. Bu gruplarda atılan yüklerin listesi, toplam atılan yük adedi ve atılan yüklerin toplam gücü yer almaktadır.

Tablo 5.11’de BİP ve GA’nın hiç yaşamsal yük atmadığı ancak PS optimizasyon metodunun ise arızalı L49 (Ana Makine Bağlantı Panosu-2) yükünü devreden çıkardığı gözlemlenmiştir. PS’nin bu kapsamdaki cevabı ana makine bağlantı panosunu devreden çıkarması nedeni ile makine kontrolünün makine başından el ile yapılması gerekecektir.

Tablo 5.11’de yarı yaşamsal yüklere bakıldığında BİP ve GA’nın yük atmadığı ancak PS’nin L45 (buz odası), L50 (şebeke doğrultucu-1) yüklerini attığı gözlemlenmektedir. L50 yükünün yedeği olarak görev yapan L38 yükünün (şebeke doğrultucu-2) devrede tutulması nedeni ile herhangi bir zafiyet yaratmayacağı, ancak arızaya müdahalenin uzaması durumunda L45 buz odası yükünün kaybının buz odasında depolanan besinler kapsamında görev süresini etkileyeceği dikkate alınmalıdır.

Tablo 5.11’de toplam atılan yük miktarlıları 3 optimizasyon yöntemi için de birbirine çok yakındır. PS yönteminde yaşamsal ve yarı yaşamsal yüklerden devreden çıkarılanların olması nedeni ile yaşamsal olmayan yükleri daha az atmıştır.

**Tablo 5.11.** Senaryo-1 atılan yük sonuçları.

| Senaryo-1 Atılan Yük Tablosu   |             |                                        |                                             |                         |
|--------------------------------|-------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|
| Optimizasyon Metodu            |             | BİP                                    | GA                                          | PS                      |
| Yaşamsal Atılan Yükler         | Yük Listesi | Yok                                    | Yok                                         | L49                     |
|                                | Toplam adet | 0                                      | 0                                           | 1                       |
|                                | Toplam (kW) | 0                                      | 0                                           | 2,4                     |
| Yarı Yaşamsal Atılan Yükler    | Yük Listesi | Yok                                    | Yok                                         | L45, L50                |
|                                | Toplam adet | 0                                      | 0                                           | 2                       |
|                                | Toplam (kW) | 0                                      | 0                                           | 7,2                     |
| Yaşamsal Olmayan Atılan Yükler | Yük Listesi | L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 | L20, L21, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 | L32, L33, L37, L42, L44 |
|                                | Toplam adet | 8                                      | 9                                           | 5                       |
|                                | Toplam (kW) | 55,68                                  | 55,68                                       | 46,2                    |
| Toplam Atılan Yük (kW)         |             | 55,68                                  | 55,68                                       | 55,8                    |

Tablo 5.12’de ise BİP yöntemi yük transferine ihtiyaç duymamış ancak GA ve PS yöntemleri yaşamsal yüklerde yükün beslendiği barayı MSB1 ve MSB2 arasında transfer etmişlerdir. Senaryo-1’de MSB1 ve MSB2 ana dağıtım panolarının ikisinin de devrede olduğu, panolarda herhangi bir arıza olmadığı dikkate alındığında bahse konu yük transferleri gerekli değildir.

GA yöntem gereği rastgele anahtar konumları üreterek bu anahtar konumlarından en düşük ceza puanı kriterlerine dikkat ederek arka arkaya sağlıklı olanları sonraki nesilleri aktarmaktadır. Algoritmadaki amaç fonksiyonları en fazla gücü gemi güç sistemine sağlamak ve atılan yük toplam gücünü minimize etmek, özellikle yaşamsal ve yarı yaşamsal yükleri devrede tutabilmek için ceza puanını en aza indirecek şekilde işlem yapmaktadır. Rastsallığın getirdiği bu durum PS için de geçerlidir.

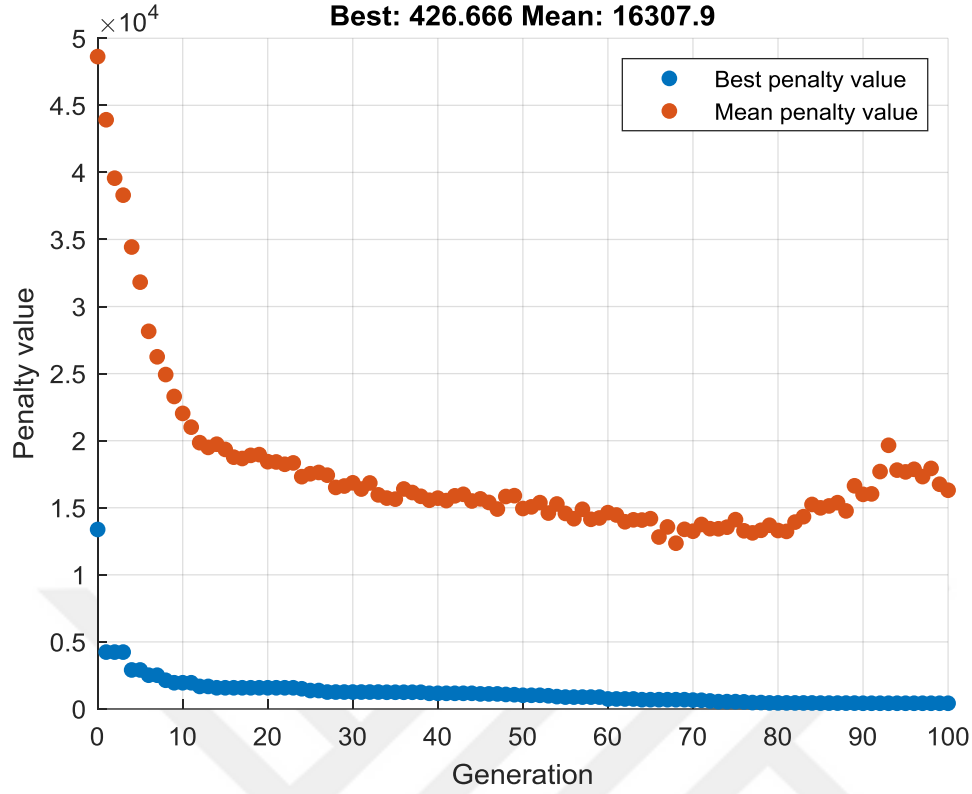
GA ve PS’nin neden BİP’ten farklı olarak yük transfer ettikleri değerlendirildiğinde yöntemlerin rastsal anahtar konumları üreterek ilerlemeleri nedeni ile restorasyon

sonrası oluşan yeni anahtarlama setlerinden kaynaklanmaktadır. Oluşan anahtarlama setleri amaçlanan metotta tanımlanan kriterlere uyuyor ise ve elde edilen ceza puanları yüksek değilse optimizasyon metodu bu anahtar grubunu gereksiz transfer olup olmadığına bakmadan sunabilmektedir. Metot içeriğinden anahtar sayısının minimum tutmak için anahtar sayısının minimize eden amaç fonksiyonunun ağırlığı diğer amaç fonksiyonlarına göre arttırılabilir ancak atılan yük miktarının minimize edilmesi ve yük önem derecesine göre hareket edilmesinin yöntemimizde ön plana çıkması dikkate alınarak anahtar sayısının minimize edilmesine yönelik amaç fonksiyonunun ağırlığı bu çalışmada arttırılmamıştır. Bu durum gemi emniyeti açısından herhangi bir tehlike yaratmamıştır.

**Tablo 5.12.** Senaryo-1 transfer edilen yük sonuçları.

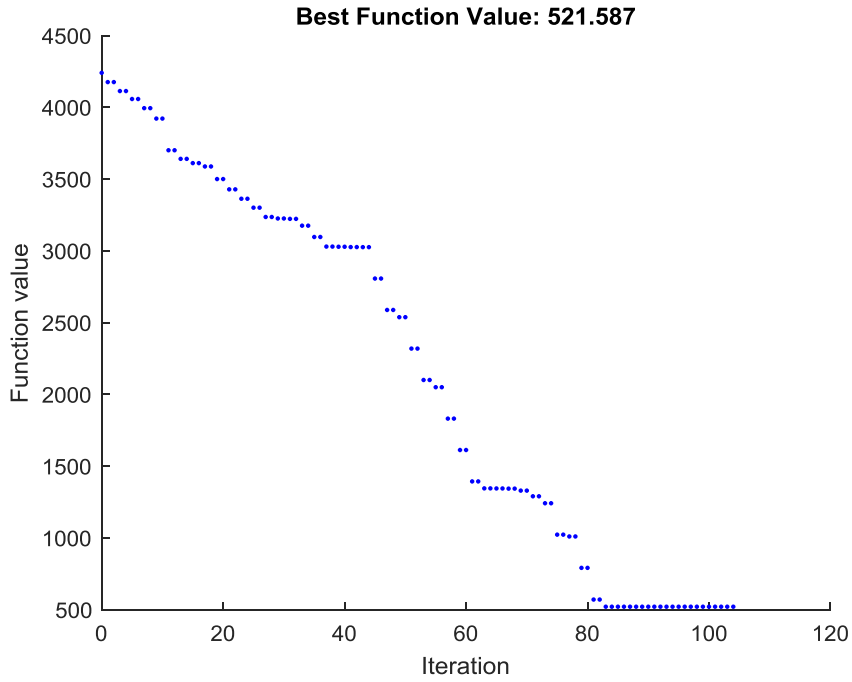
| Senaryo-1 Transfer Hareketi Yapan Yükler |             |     |                                           |                                             |
|------------------------------------------|-------------|-----|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Optimizasyon Metodu                      |             | BİP | GA                                        | PS                                          |
| Yaşamsal Transfer Edilen Yükler          | Yük Listesi | Yok | L1, L2, L4, L5, L7, L8, L9, L10, L11, L18 | L2, L4, L5, L7, L9, L12, L13, L19, L34, L40 |
|                                          | Toplam adet | -   | 10                                        | 10                                          |
|                                          | Toplam (kW) | -   | 124,2                                     | 72,34                                       |
| Yarı Yaşamsal Transfer Edilen Yükler     | Yük Listesi | Yok | L38, L43, L50                             | L38                                         |
|                                          | Toplam adet | -   | 3                                         | 1                                           |
|                                          | Toplam (kW) | -   | 3,6                                       | 2,4                                         |
| Toplam Transfer Edilen Yük (kW)          |             | 0   | 127,8                                     | 74,74                                       |

Senaryo-1 için GA uygulanan yöntemin en iyi ve ortalama ceza değerlerinin nesillere göre değişiminin gösterildiği grafik Tablo 5.10’da sunulmuştur.



**Şekil 5.10.** Senaryo-1 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.

Senaryo1 için PS uygulanan yöntemin iterasyon sonucu Tablo 5.11’de sunulmuştur.



**Şekil 5.11.** Senaryo-1 PS iterasyon grafiği.

Senaryo-1’de aynı koşullar altında GA ve PS’ye göre BİP hızlı, az anahtarla yapan ve en doğru yaklaşım ile yükleri atan ve transfer eden metot olarak belirlenebilir.

### **5.5.2. Senaryo 2: Savaş görevi durumu (hasarlı gemi)**

Bu senaryoda gemi savaş durumu görev profilinde faaliyetlerine ve harekate devam etmelidir. Bu durumda tahrik sistemi yükleri, sensörler, silahlar dahil atış kontrol sistemlerinin çalışır durumda olması beklenmektedir. Tablo 5.4 senaryo öncesi başlangıç durumunu ve özetlemektedir. Tablo 5.3’te tanımlı hasar kontrol yükleri arıza sonrası ilave talep olarak görülmektedir.

Tablo 5.4’te Senaryo 2’de klasik yaklaşım ile MSB2’den beslenen tüm ABT/MBT’lerin MSB2’nin devre dışı kalması ile gücün bulunduğu MSB1’e sistemdeki üretim-tüketim dengesine dikkate almadan geçiş sağlayacağı bilinmelidir. Klasik yaklaşım üretim-tüketim dengesine dikkat etmediğinden devredeki G1 ve G2 jeneratörlerinin aşırı yükleyerek devre dışı kalmasına, jeneratör şalterlerinin açması ile geminin kararması ve enerjisiz kalmasına sebep olacaktır. Klasik yaklaşım sonucu bir savaş gemisi için en istenmeyen durumdur.

Senaryo 2 kapsamında önerilen yeniden yapılandırma metodu ile elde edilen sonuçlar Tablo 5.10’da sunulmuştur. Senaryo 2 kapsamında klasik yaklaşım ile enerjisiz kalan platformda önerilen metot ile güç dengesi ve platformun emniyeti sağlanmıştır.

Klasik yaklaşım ile karşılaştırıldığında önerilen yöntem Senaryo-2 için başarılıdır. Platformda bütünsel bir kararma/çökme (bütünsel elektrik kesintisi ) yaşanmamış, gücün devamlılığı sağlanmıştır.

Tablo 5.10’da Senaryo2 için en hızlı yöntemin BİP olduğu ve en yavaş yöntemin ise GA olduğu görülmüştür. Sistemdeki kayıp açısından en fazla kaybın BİP cevabında olduğu görülmektedir. En az anahtarlama BİP (20 anahtarlama) sağladığı ve GA ile PS’nin ise benzer anahtarlama sayısı ile (21 anahtarlama) cevap verdiği tespit edilmiştir Beslenebilen yüklerin toplam gücü (295,88 kW) açısından en fazla güç PS tarafından verilmekte aynı zamanda PS en az yük (80,88 kW) atan metot olarak da ön plana çıkmaktadır. BİP (86,7 kW) ve PS (80,88 kW) atılan yük açısından ve transfer edilen yük açısından (BİP:115,6 kW ile PS:120,28 kW) yakın değerler elde ederken; GA ise daha fazla yük atmakta (GA: 182,08 kW) ancak transfer edilen yük miktarını (GA: 62,28 kW) ise az tutmaktadır. Senaryo-2’de GA diğer iki metoda göre daha fazla yük atmış ancak daha az yük transfer ederek sonuca ulaşmıştır.

Senaryo 2’de dağıtım panosu MSB2’nin arızalı olması ile MSB2’den beslenen ve transfer edilebilir yükler MSB1’e transfer edilmiştir. Farklı optimizasyon teknikleri ile önerilen yöntem kullanılarak elde edilen Senaryo 2 sonuçları Tablo 5.13’te sunulmuştur.

Tablo 5.13’te elde edilen sonuçlar incelendiğinde PS metodunun yaşamsal yük atmadığı, BİP ve GA’nın ise yaşamsal yüklerin attıkları görülmektedir. Yaşamsal yüklerden BİP ile L34 (devre dışı olan G3’e ait dizel tablosu) ve L49 (normalde MSB2’den beslenen ancak bu senaryoda MSB2 devre dışı kaldığı için beslenemeyecek olan ana makine bağlantı panosu-2) atılmıştır. GA ile L7 ve L9 (yangın tulumbarı) atılarak yangın tulumbarı olarak aynı görevi yapan L8 ve L9’un kullanılmasına yönlendirmiş olup gemide herhangi bir fonksiyon kaybı yoktur.

Yarı yaşamsal yükler kapsamında;

BİP ile L16 (havalandırma iklimlendirme sistemi-4) yükü atılmış ancak L14,L15,L17 iklimlendirme sistem panoları devrede tutularak fonksiyon kaybı engellenmeye çalışılmıştır. BİP ilave olarak L38 (şebeke doğrultucu-2) atılmış ancak L38 ile yedekli çalışan L50 (şebeke doğrultucu-1) yükü devrede tutularak fonksiyon kaybı engellenmiştir.

GA ise yarı yaşamsal yüklerden L15, L16 iklimlendirme sistem panoları devreden çıkarmış L14, L16 iklimlendirme panolarını korumuştur. GA için L40 (115V 400 Hz Statik Konverter-2) yükü devreden çıkarılmış bu yükü yedeklenebilirlik konseptinde çalışan L39 (115V 400 Hz Statik Konverter-1) yükü devrede tutulmuştur. ve L45 (buz odası) yükü atılmıştır bu durumda arıza süresinin uzun sürmesi durumunda geminin iase sorunu yaşayabileceği bu nedenle ilk aşamada algoritma tarafından devre dışı bırakılmış olsa dahi operatörün bu yükü devreye almaya çalışmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir. PS ise yarı yaşamsal yüklerden L16 yükünü BİP ile benzer bir yaklaşım ile devreden çıkarmıştır. Ayrıca PS yine BİP ile benzer bir yaklaşım ile L38 (Şebeke Doğrultucu-2) yükünü devreden çıkarmış,

PS yöntemi MSB2’den beslenen L49 (Ana Makine Bağlantı Panosu-2) yükünü devre dışı bırakarak BİP ve PS’nin yapmadığı ana makine yükünü de devreden çıkarmıştır. L49 yükü incelendiğinde MSB2’den beslenmesi ve yara nedeni ile MSB2’nin devrede dışı kaldığı değerlendirdiğinden yaklaşımın yanlış olmadığı kıymetlendirilmiştir.

**Tablo 5.13.** Senaryo-2 atılan yük sonuçları.

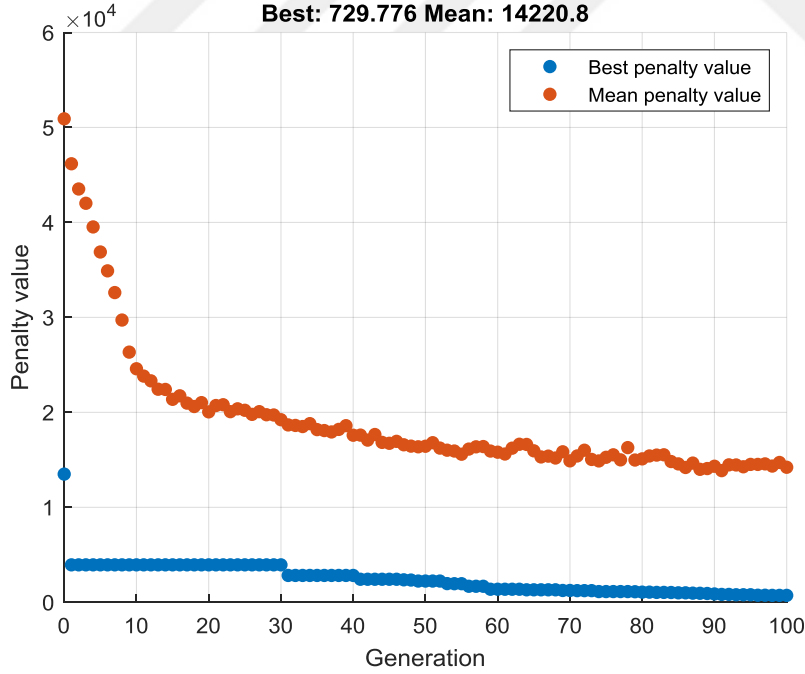
| Senaryo-2 Atılan Yükler |             |                                        |                                             |                                   |
|-------------------------|-------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------|
| Optimizasyon Metodu     |             | BİP                                    | GA                                          | PS                                |
| Yaşamsal                | Yük Listesi | L34, L49                               | L7, L9                                      | Yok                               |
|                         | Toplam adet | 2                                      | 2                                           | 0                                 |
|                         | Toplam (kW) | 4,68                                   | 46                                          | 0                                 |
| Yarı Yaşamsal           | Yük Listesi | L16, L38                               | L15, L16, L40, L45                          | L16, L38, L49                     |
|                         | Toplam Adet | 2                                      | 4                                           | 2                                 |
|                         | Toplam (kW) | 26,4                                   | 51,6                                        | 28,8                              |
| Yaşamsal Olmayan        | Yük Listesi | L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 | L20, L21, L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42 | L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 |
|                         | Toplam Adet | 7                                      | 6                                           | 7                                 |
|                         | Toplam kW   | 55,68                                  | 50,88                                       | 52,08                             |
| Toplam Atılan Yük (kW)  |             | 86,76                                  | 148,48                                      | 80,88                             |

Senaryo-2 için MSB2'nin kaybı nedeni ile çift kaynaktan beslenebilen yaşamsal ve yarı yaşamsal yüklerden MSB1'e transfer edilen yükler Tablo 14'te sunulmuştur.

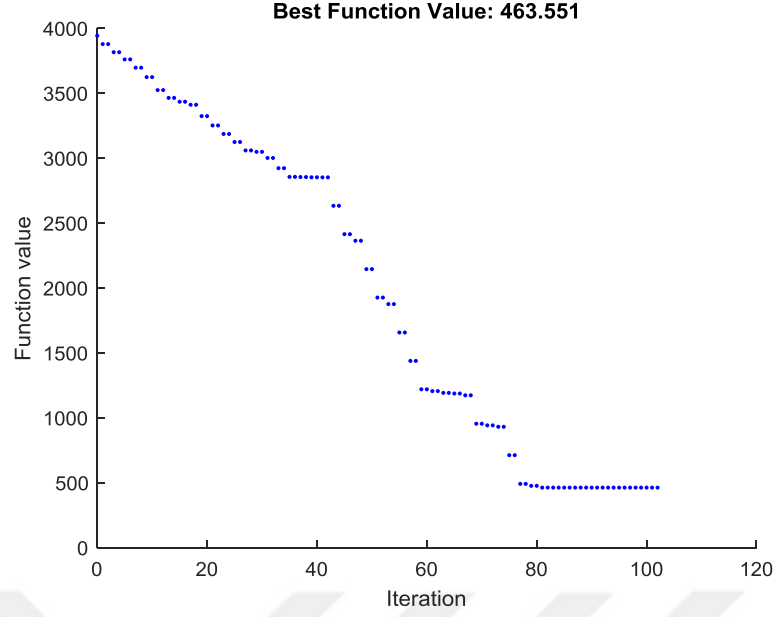
**Tablo 5.14.** Senaryo-2 transfer edilen yük sonuçları.

| Senaryo-2 Transfer Hareketi Yapan Yükler |             |                                   |                                     |                                   |
|------------------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Optimizasyon Metodu                      |             | BİP                               | GA                                  | PS                                |
| Yaşamsal Transfer Edilen Yükler          | Yük Listesi | L2, L4, L5, L7, L9, L12, L13, L19 | L2, L4, L5, L12, L13, L19, L34, L49 | L2, L4, L5, L7, L9, L12, L13, L19 |
|                                          | Adet        | 8                                 | 8                                   | 8                                 |
|                                          | kW          | 103,6                             | 59,88                               | 103,6                             |
| Yarı Yaşamsal Transfer Edilen Yükler     | Yük Listesi | L40                               | L38                                 | L34,L40,L50                       |
|                                          | Adet        | 1                                 | 1                                   | 4                                 |
|                                          | kW          | 12                                | 2,4                                 | 16,68                             |
| Toplam Transfer Edilen Yük (kW)          | Toplam (kW) | 115,6                             | 62,28                               | 122,68                            |

Senaryo-2 için GA uygulanan yöntemin en iyi ve ortalama ceza değerlerinin nesillere göre değişiminin gösterildiği grafik Şekil 5.12’de sunulmuştur.

**Şekil 5.12.** Senaryo-2 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.

Şekil 5.13’te PS yönteminin en iyi fonksiyon değerinin iterasyonlara göre değişimini gösteren grafik gösterilmiştir.



**Şekil 5.13.** PS Senaryo-2 iterasyon grafiği.

### 5.5.3. Senaryo 3: Savaş görevi durumu (hasarlı gemi)

Gemi savaş durumu görev profilinde Senaryo-3 koşulları altında hayatta kalmalı ve harekate devam etmelidir. Bu durumda tahrik sistemi yükleri, sensörler, silahlar dahil atış kontrol sistemlerinin çalışır durumda olması aynı zamanda yara/yangına müdahale etmesi beklenmektedir.

Besleyecek tek bir jeneratör (G3 aktif) kaldığı için aşırı yükleme durumu meydana gelir. MSB1'in kaybı, yöntemi hayati yükleri MSB1'den MSB2'ye aktarmaya zorlar. Tek jeneratöre kalınmış ve GGS için çok zor bir senaryodur. Bu senaryoda ağırlığı düşük olan bazı hayati ve yarı hayati yüklerin güç sistemi tarafından atılmasına karar verilmesi beklenmektedir. Yöntem aynı zamanda minimum anahtarlama sayısı ile maksimum aktif yüke sahip dengeli bir sistem yakalamaya çalışır.

Tablo 5.10 incelendiğinde 3 yöntemin de benzer anahtarlama sayısı sunduğu görülmüştür. Toplam atılan yük miktarı da 3 yöntem için de benzerdir (203 ile 205 kW arasında değişmektedir). En fazla yük besleyebilen yöntem PS olup sonrasında BİP ve GA sıralanmaktadır. En hızlı yöntem BİP, en yavaş yöntem GA'dır. Kayıpları en az indiren metot GA olup sonrasında BİP ve PS sıralanmaktadır.

Kıç makine dairesinin yara alındığı bir durumda hasar kontrol kapsamında gemi için en önemli yük su tahliyesini sağlayan yangın tulumbalarının devrede tutulabilmesidir. 3 yöntemde yangın tulumbaları olan L6, L7, L8, L9 yüklerini başarılı bir şekilde

devrede tutmuştur. Tek jeneratöre kalınmış olması nedeni ile yangın tulumbaraları ile silah ve sevk sistemlerinden asgari tutabilecekleri yük gruplarını tutabilmek için 3 yöntemde yaşamsal ve yarı yaşamsal yüklerden ceza puanı daha az olanları temel olarak devreden çıkarmışlardır. Ayrıca bu tip bir durumda tüm yaşamsal olmayan yüklerin de devreden çıkarılması beklenir ve 3 yöntemde tüm yaşamsal olmayan yükleri (59,28kW) başarılı bir şekilde devreden çıkarmıştır.

**Tablo 5.15.** Senaryo-3 atılan yük sonuçları.

|                        |               | Senaryo-3 Atılan Yükler                          |                                                  |                                                  |
|------------------------|---------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| Optimizasyon Metodu    |               | BİP                                              | GA                                               | PS                                               |
| Yaşamsal               | Atılan yükler | L1, L14, L17, L19, L48, L49                      | L1, L5, L11, L14, L17, L48                       | L14, L17, L18, L19, L25, L28, L45                |
|                        | Toplam adet   | 6                                                | 6                                                | 7                                                |
|                        | Toplam kW     | 76,8                                             | 79,2                                             | 72,6                                             |
| Yarı Yaşamsal          | Atılan yükler | L15, L16, L38, L39, L40, L45, L50                | L15, L16, L38, L39, L40, L43, L45                | L15, L16, L34, L38, L39, L40, L43, L48, L49, L50 |
|                        | Toplam adet   | 7                                                | 7                                                | 10                                               |
|                        | Toplam kW     | 68,4                                             | 67,2                                             | 71,88                                            |
| Yaşamsal Olmayan       | Atılan yükler | L20, L21, L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 | L20, L21, L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 | L20, L21, L22, L32, L35, L36, L37, L42, L44      |
|                        | Toplam adet   | 10                                               | 10                                               | 9                                                |
|                        | Toplam kW     | 59,28                                            | 59,28                                            | 59,28                                            |
| Toplam Atılan Yük (kW) |               | 204.48                                           | 205.68                                           | 203,76                                           |

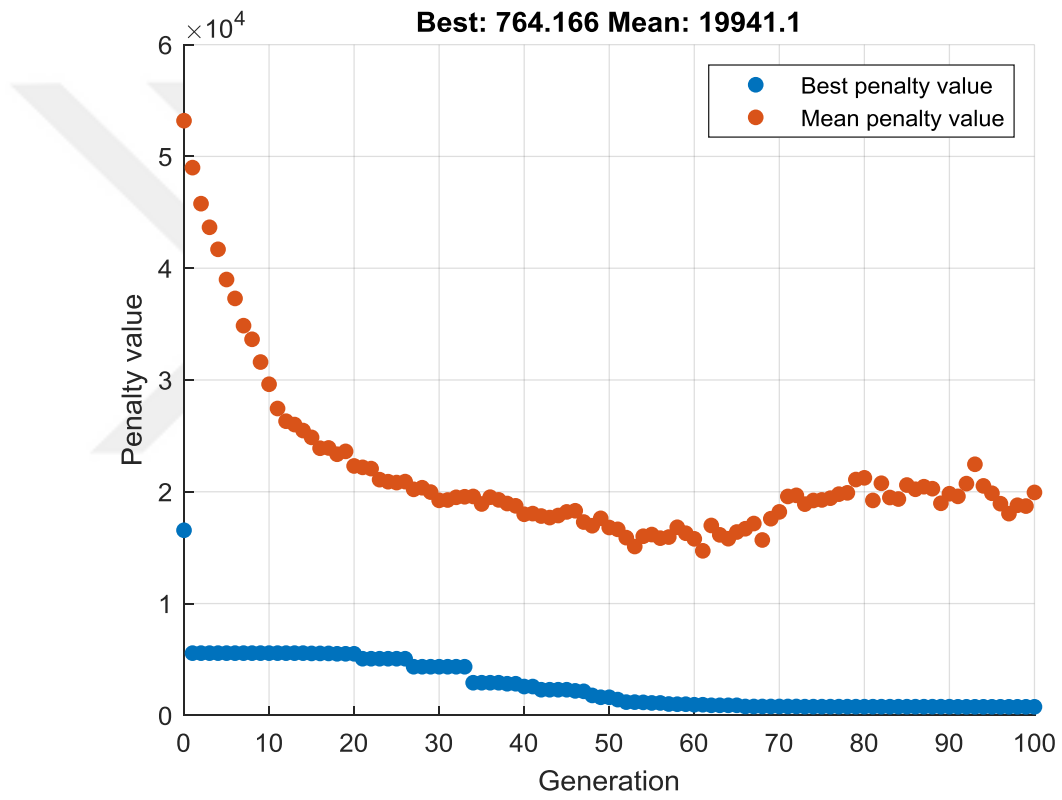
BİP, GA, PS'nin transfer ettikleri yüklerde farklılıklar bulunsa da temel olarak 3 yöntemde devre dışı kalan MSB1'den beslenen yükleri MSB2'ye transfer etmişlerdir. Transfer edilen yüklerin listesi Tablo 5.16'da sunulmuştur.

**Tablo 5.16.** Senaryo-3 transfer edilen yük sonuçları.

| Senaryo-3 Transfer Harekatı Yapan Yükler |     |    |    |
|------------------------------------------|-----|----|----|
| Optimizasyon Metodu                      | BİP | GA | PS |

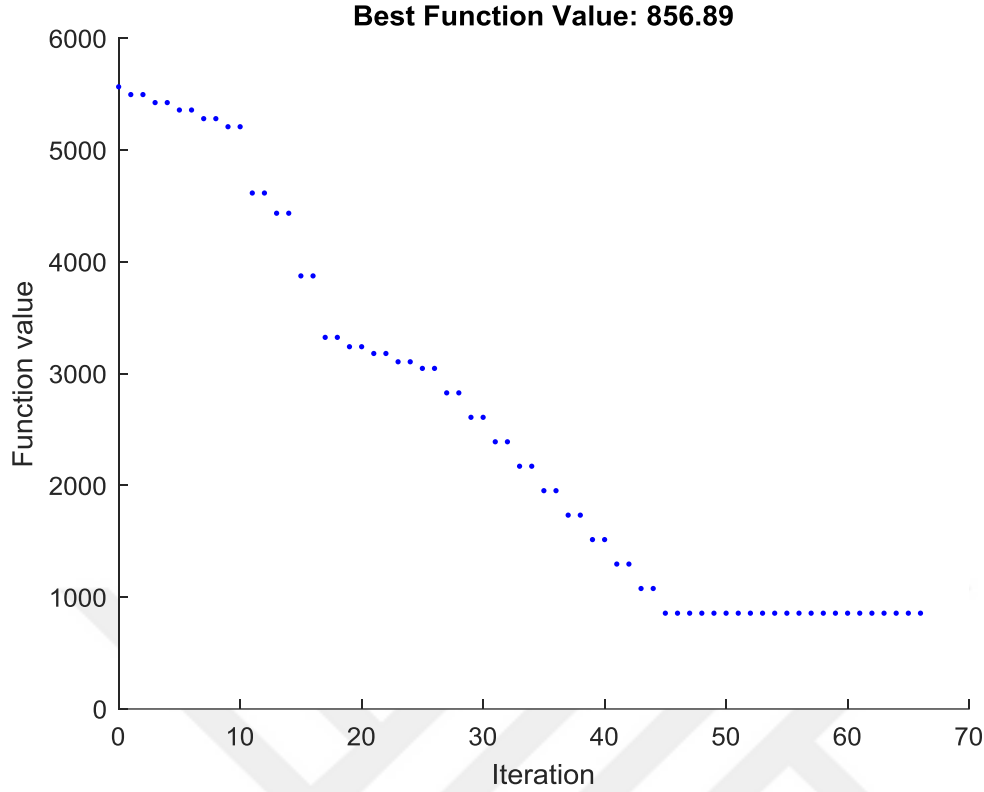
| Yaşamsal Transfer Edilen Yükler      | Yük Listesi | L3, L6, L8, L10, L11, L18, L25 | L3,L6, L8, L9, L10, L18, L28 | L1, L3, L6, L8, L10, L11 |
|--------------------------------------|-------------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------|
|                                      | Adet        | 7                              | 7                            | 6                        |
|                                      | kW          | 74,8                           | 65,2                         | 81,4                     |
| Yarı Yaşamsal Transfer Edilen Yükler | Yük Listesi | L43                            | L50                          | Yok                      |
|                                      | Adet        | 1                              | 1                            | 0                        |
|                                      | kW          | 1,2                            | 2,4                          | 0                        |
| Toplam Transfer Edilen Yük (kW)      |             | 76                             | 67,6                         | 81,4                     |

Senaryo 3 için GA en iyi ve ortalama ceza puanları grafiği Şekil 5.14'tedir.



Şekil 5.14. Senaryo-3 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.

Senaryo-3 için PS uygulanan yöntemin iterasyon sonucu Şekil 5.15'te sunulmuştur.



**Şekil 5.15.** Senaryo-3 PS iterasyon grafiği.

#### 5.5.4. Senaryo 4: Barış durumu intikal seyri görevi profili

Gemi barış durumunda intikal seyri icra etmektedir. Senaryo 4 ile devredeki yükler ve Senaryo 1, 2 ve 3'te tanımlı yük profili ve güç değerlerinden farklılık içermektedir. Sonuçlar elde edilirken kullanılan başlangıç değerleri ve matrisler buna göre ayarlanmıştır. Senaryo 4'te bu etkinin de değerlendirilmesi amacı ile tanımlanmıştır.

Senaryo-4 koşullarında geminin seyir yük ve sensörlerini kullanması, tahrik sistemini aktif tutması beklenmektedir. Ayrıca bu senaryo içinde kış makine dairesinde oluşan yangın nedeni ile G2 jeneratörü kaybedilmiştir. Tablo 5.4 senaryo öncesi başlangıç durumunu özetlemektedir. Ayrıca yangına müdahale maksadı ile Tablo 5.3'te tanımlı yereli sayıda yangın tulumbasının ilave hasar kontrol yükü olarak devrede tutulması gerekmektedir.

Tablo 5.4'te Senaryo 4'te klasik yaklaşım ile cevap verildiğinden güç-yük dengesizliği nedeni ile devredeki G1 ve G3 jeneratörlerinin aşırı yükten devre dışı kaldığı, geminin karararak enerjisiz kalacağı görülmektedir. Bu durumda klasik yaklaşım ile yangına müdahalede zafiyet oluşturabilir, gemi emniyeti tehlikeye düşebilir.

Senaryo 4 kapsamında Tablo 5.10’da PS, GA, BİP için toplu olarak özetlenen sonuçlar incelendiğinde anahtarlama sayısı olarak BİP (1 anahtarlama) en az, sıra ile PS ( 11 adet) ve GA (21 adet) olarak görülmektedir. BİP diğer metotlara göre en az anahtarlama yaparak en fazla yükü beslemeyi (295,14 kW) başarmıştır aynı zamanda en az yük atan (12 kW) optimizasyon yöntemi olmuştur. En hızlı yöntem BP, sonra PS olup bu senaryoda GA diğer iki yönteme göre optimum sonuca ulaşmada oldukça yavaş kalmıştır.

GA, PS, BİP üç yöntemde vital yük atmamıştır, ayrıca BİP ve PS yarı yaşamsal yük de atmamıştır. GA yöntemi yarı yaşamsal yük kategorisindeki L14 (Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi Panosu-2) ve L16 (Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi Panosu-4) yüklerini devreden çıkarmış olup sistemde L13, L15 yükleri de benzer amaçla kullanılan yükler olarak dikkat çekmekte ve herhangi bir fonksiyon kaybı yaşanmayacağı değerlendirilmektedir.

**Tablo 5.17.** Senaryo-4 atılan yük sonuçları.

|                                |               | Senaryo-4 Atılan Yükler |                                             |                             |
|--------------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------|
| Optimizasyon Metodu            |               | BİP                     | GA                                          | PS                          |
| Yaşamsal Atılan Yükler         | Atılan yükler | Yok                     | Yok                                         | Yok                         |
|                                | Toplam adet   | -                       | -                                           | -                           |
|                                | Toplam kW     | -                       | -                                           | -                           |
| Yarı Yaşamsal Atılan Yükler    | Atılan yükler | Yok                     | L14, L16                                    | Yok                         |
|                                | Toplam adet   | -                       | 2                                           | -                           |
|                                | Toplam kW     | -                       | 23                                          | -                           |
| Yaşamsal Olmayan Atılan Yükler | Atılan yükler | L12                     | L11, L12, L20, L22, L32, L33, L35, L36, L42 | L2, L11, L12, L33, L37, L42 |
|                                | Toplam adet   | 1                       | 9                                           | 6                           |
|                                | Toplam kW     | 12                      | 54,86                                       | 58                          |
| Toplam Atılan Yük (kW)         |               | 12                      | 77,86                                       | 58                          |

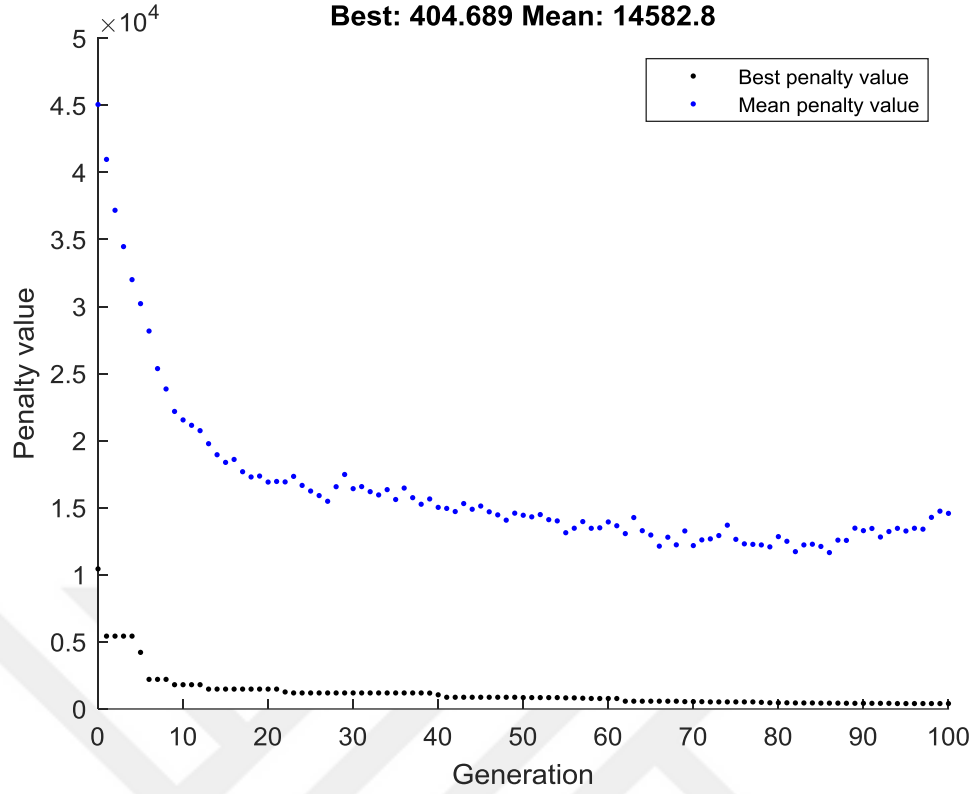
BİP her iki MSB1 ve MSB2 ana dağıtım panolarının devrede olması nedeni ile en doğru bir yaklaşım ile yük transferine ihtiyaç duymamıştır. Ancak PS ve GA yöntemleri optimizasyon yöntemi içinde barındırdıkları rastsal oluşturdukları anahtarlama setlerini kullanarak iki ana dağıtım panosunun devrede olduğu için fonksiyonel anlamda yanlış olmayan ama operatör açısından gereksiz görülebilecek yük transferi yapmışlardır. Bu yük transferleri GA ve PS’ye ait anahtarlama sayısını

da arttırmaktadır. Anahtarlama sayısının azaltılması için ilgili amaç fonksiyonun ağırlığı artırılabilir ancak en önemli ağırlığı en yüksek konu restorasyon sürecinin doğru yapılması ve en fazla yükün beslenmesi olarak ele alınmıştır.

**Tablo 5.18.** Senaryo-4 transfer edilen yük sonuçları.

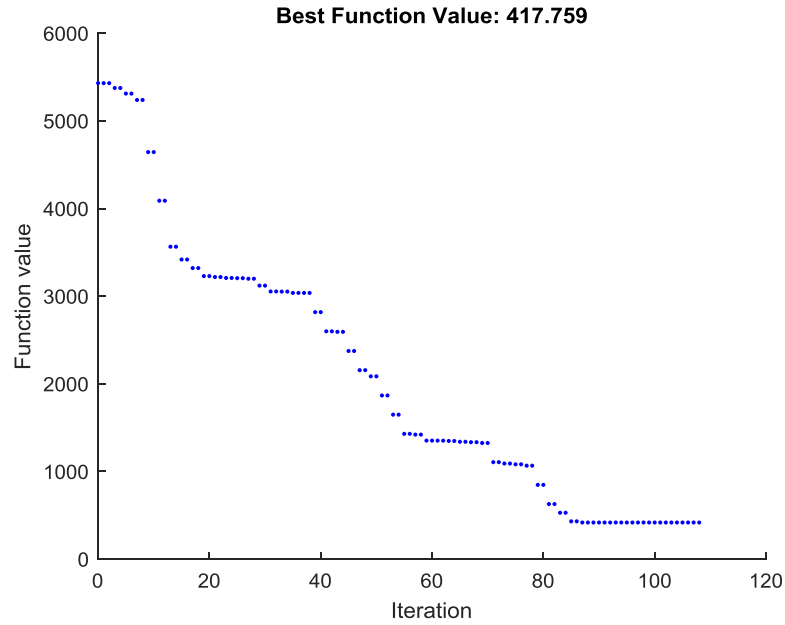
| Senaryo-4 Transfer Hareketi Yapan Yükler |             |     |                           |                      |
|------------------------------------------|-------------|-----|---------------------------|----------------------|
| Optimizasyon Metodu                      |             | BİP | GA                        | PS                   |
| Yaşamsal Transfer Edilen Yükler          | Yük Listesi | Yok | L3, L5, L7, L13, L18, L19 | L4, L5, L7, L13, L19 |
|                                          | Adet        | -   | 6                         | 5                    |
|                                          | kW          | -   | 54,8                      | 51,8                 |
| Yarı Yaşamsal Transfer Edilen Yükler     | Yük Listesi | Yok | Yok                       | Yok                  |
|                                          | Adet        | -   | -                         | -                    |
|                                          | kW          | -   | -                         | -                    |
| Toplam Transfer Edilen Yük (kW)          |             | 0   | 54,8                      | 51,8                 |

Senaryo 4 için GA en iyi ve ortalama ceza puanları grafiği Şekil 5.16'da sunulmuştur.



**Şekil 5.16.** Genetik algoritma Senaryo-4 sonucu.

Senaryo-4 için GA uygulanan yöntemin iterasyon sonucu Şekil 5.17’de sunulmuştur.



**Şekil 5.17.** Senaryo-4 PS iterasyon grafiği.

### 5.5.5. Senaryo 5: Barış durumu intikal seyri

İntikal seyri icra edilmektedir. Senaryo 5'te de Senaryo 4'teki gibi barış durumu intikal seyri ile yük başlangıç koşulları aynıdır. Tablo 5.4 senaryo öncesi başlangıç durumunu özetlemektedir. Senaryo-5 koşullarında geminin seyir yük ve sensörlerini kullanması, tahrik sistemini aktif tutması beklenmektedir.

Senaryo 5'te kış makine dairesinde yangın nedeni ile G1 ve G2 jeneratörleri kaybedilmiş olup yangına müdahale/hasar nedeni ile MSB1 panosu kullanılamamaktadır. Senaryo gereği yangına müdahale maksadı ile Tablo 5.3'te tanımlı yeterli sayıda yangın tulumbasının ilave hasar kontrol yükü olarak devrede tutulması gerekmektedir.

Tablo 5.4'te Senaryo 5'te klasik yaklaşım ile cevap verildiğinden güç-yük dengesizliği nedeni ile devrede kalan tek jeneratör olan G3 jeneratörü de aşırı yükten devre dışı kalarak, geminin kararması ile karşılaşılacaktır. Bu durum yangın ile mücadelede zafiyet oluşabilir, gemi emniyeti tehlikeye düşebilir.

Senaryo-5 tek jeneratör kaldığı için Senaryo-3 gibi zorlayıcı bir senaryodur. Senaryo-5'in Senaryo-3'ten farkı görev durumunun barış-savaş durumu olarak değişmesi nedeni ile başlangıç koşulları başka bir deyiş ile optimizasyona girdi sağlayan başlangıç yük matrislerinde farklılıklar bulunmaktadır. Görev farklılıkları nedeni ile ceza puanları da farklı tanımlanmaktadır. Her iki senaryo da kış bölmede yangın/yara maksatlı yangın tulumbalarını ilave yük olarak kullanmalıdır. Ayrıca Senaryo 5'te MSB1 devre dışı kaldığı için buradan beslenen yaşamsal ve/veya yarı yaşamsal yüklerin MSB2'ye transferi gerekmektedir. Ancak tüm gücün tek bir jeneratörle karşılanamaması nedeni ile yaşamsal ve yarı yaşamsal yüklerden de yük atmak gerekecektir. En önemli yük yangına müdahale eden yangın tulumbalarıdır.

Tablo 5.10 incelendiğinde en az anahtarlamanın GA (28 Adet) ve BP, PS'nin ise yakın anahtarlama sayısı ile cevap verdikleri görülmektedir. En hızlı yöntem BİP, sonra PS ve en son GA'dır. GA'nın cevap süresi (152,654338 s) PS ve BİP ile birlikte kıyaslandığında (BİP: 0,433s ve PS: 8,37 s) oldukça yavaştır. BİP ve PS aynı yük miktarını atmışlardır (159,06 kW) ve bu senaryoda en az yük atan yöntemlerdir. Toplam beslenen yük miktarı üç yöntem içinde benzerdir (yaklaşık 143-149 kW aralığında).

Üç yöntem içinde Senaryo 5 için en önemli yük olan yangın tulumbalarını (L6, L7, L8, L9 yüklerinin) atılmamış olması gemi emniyeti açısından kritik önemdedir. Tablo 5.19 genel değerlendirilmesi yapıldığında yangın tulumbalarının doğru bir metot ile devrede tutukları gözlemlenmiştir.

**Tablo 5.19.** Senaryo 5 atılan yük sonuçları.

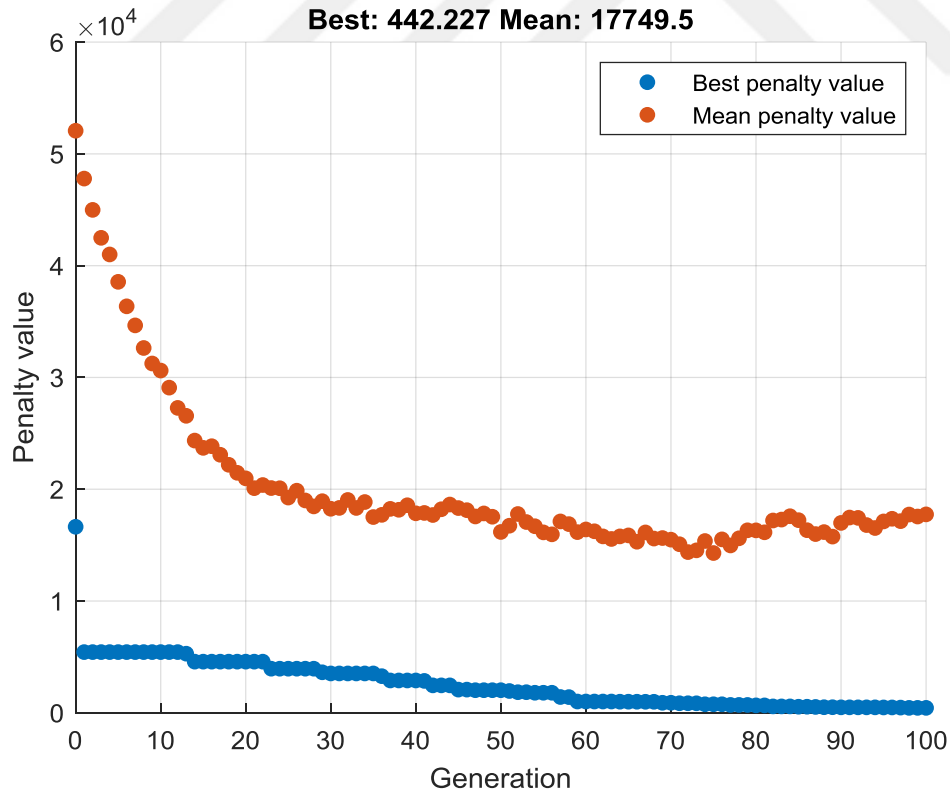
| Optimizasyon Metodu            |               | Senaryo-5 Atılan Yükler                                    |                                                            |                                                           |
|--------------------------------|---------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|                                |               | BİP                                                        | GA                                                         | PS                                                        |
| Yaşamsal Atılan Yükler         | Atılan yükler | L1, L2, L25, L28                                           | L25, L28                                                   | L19, L48, L49                                             |
|                                | Toplam adet   | 4                                                          | 2                                                          | 3                                                         |
|                                | Toplam kW     | 26,2                                                       | 4,8                                                        | 16,8                                                      |
| Yarı Yaşamsal Atılan Yükler    | Atılan yükler | L14, L16, L17, L39                                         | L14, L15, L16, L17, L39, L40, L43 L45                      | L17, L38, L39, L43, L44, L45, L50                         |
|                                | Toplam adet   | 4                                                          | 7                                                          | 7                                                         |
|                                | Toplam kW     | 59                                                         | 85,4                                                       | 56,4                                                      |
| Yaşamsal Olmayan Atılan Yükler | Atılan yükler | L11, L12, L20, L21, L22, L32, L33, L35, L36, L37, L42, L44 | L11, L12, L20, L21, L22, L32, L33, L37, L42, L44, L48, L50 | L2, L11, L12, L20, L22, L32, L33, L35, L36, L37, L40, L42 |
|                                | Toplam adet   | 10                                                         | 12                                                         | 12                                                        |
|                                | Toplam kW     | 74,66                                                      | 73,8                                                       | 85,86                                                     |
| Toplam Atılan Yük (kW)         |               | 159,06                                                     | 164                                                        | 159,06                                                    |

Transfer edilen yükler Tablo 5.20’de incelendiğinde Senaryo-5 için en önemli olan özellikle başlangıç koşullarından kullanılamayan MSB1’den beslenen yangın tulumbaları (L6, L8) MSB2 faal ana dağıtım panosundan beslenecek şekilde transfer edilmiştir. Devre dışı kalmış MSB1’den beslenen yüklerin MSB2’ye doğru bir yaklaşım ile transfer edildikleri gözlemlenmiştir.

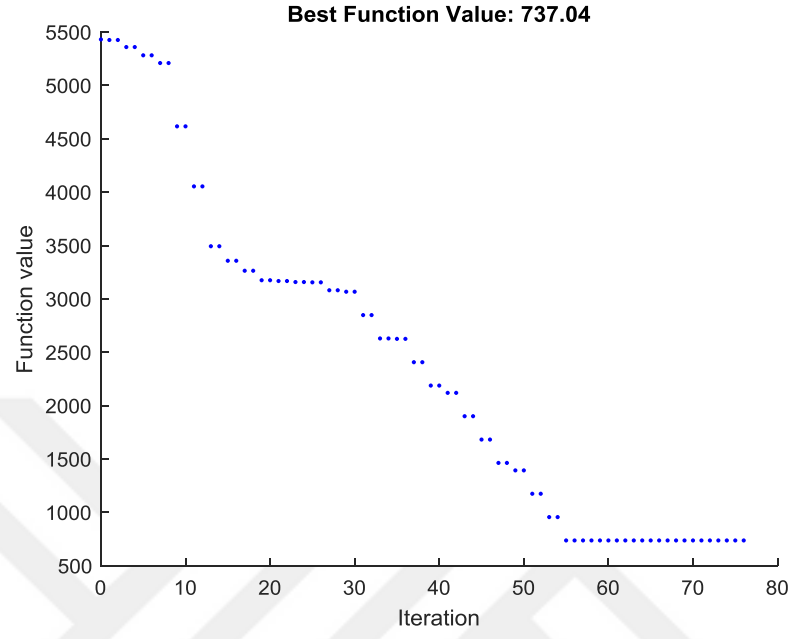
**Tablo 5.20.** Senaryo-5 transfer edilen yük sonuçları.

| Senaryo-5 Transfer Hareketi Yapan Yükler |             |                           |                      |                          |
|------------------------------------------|-------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|
| Optimizasyon Metodu                      |             | BİP                       | GA                   | PS                       |
| Yaşamsal Transfer Edilen Yükler          | Yük Listesi | L3, L6, L8, L10, L18, L48 | L3, L6, L8, L10, L18 | L3,L6,L8,L10,L18,L25,L28 |
|                                          | Toplam Adet | 6                         | 5                    | 7                        |
|                                          | Toplam kW   | 61                        | 58,6                 | 63,4                     |
| Yarı Yaşamsal Transfer Edilen Yükler     | Yük Listesi | L15, L43, L45, L50        | L1                   | L1,L14,L15,L21           |
|                                          | Toplam Adet | 4                         | 1                    | 4                        |
|                                          | Toplam kW   | 16,8                      | 10                   | 27,6                     |
| Toplam Transfer Edilen Yük (kW)          |             | 77,8                      | 68,6                 | 91                       |

Senaryo-5 için GA en iyi ve ortalama ceza puanları grafiği Şekil 5.18'dedir.

**Şekil 5.18.** Senaryo-5 GA en iyi ve ortalama ceza değerleri grafiği.

Senaryo 5 için PS uygulanan yöntemin iterasyon sonucu Şekil 5.19’da sunulmuştur.



Şekil 5.19. Senaryo-5 PS iterasyon grafiği.



## **6. HİBRİT BESLEMELİ GEMİ GÜÇ SİSTEMİNDE YENİDEN YAPILANDIRMA UYGULAMASI**

### **6.1. Giriş**

Kyoto Protokolü'nün yürürlüğe girmesi ile birlikte çevreye gemi kökenli sera gazı salınımının yarattığı olumsuz etkilerin de azaltılması için araştırmalar başlamıştır. IMO Deniz Çevresini Koruma Komitesi, gemiler kaynaklı sera gazı emisyonu ile ilgili olarak, karbon yoğunluğunun 2030'a kadar %40, 2050'ye kadar ise %80'den fazla azaltılmasını hedeflemektedir. Bu hedeflere ulaşmak için fosil yakıtların yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması etkili yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir [117]. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı alternatif gemi elektrik enerji üretim sistemlerinin geliştirilmesinde güneş enerjisi kullanımı generatör kullanımının azaltılması açısından olumludur.

Literatürde hibrid gemi mikro-şebekelerine ilişkin çalışmalara rastlanmaktadır. Othman ve arkadaşları, hibrid gemi mikro-şebekelerinde enerji yönetimi için çeşitli yöntemleri ele almaktadır [118]. Entegre güç sisteminde gemi görevine dayalı olarak üretimin planlanması koordine edilmelidir. Gemi elektrik dağıtımında, AC ve DC baralarını içeren hibrit yapıda gemi güç sistemleri araştırılmaktadır [119, 120]. Güneş enerjili hibrit sisteme sahip gemilerde güneş ışınımının değişiminin PV sistemlerden enerji üretimi üzerinde etkisi büyüktür. Bu nedenle gemi görev seyrine bağlı olarak güneş ışınımı tahminlemesi doğru şekilde yapılmalıdır [121]. Güneş fotovoltaiik (PV) sistem uygulamalarında diğer önemli görev ise PV dizilerinden minimum kayıpla maksimum güç elde etmektir. Maksimum güç noktası izleme (MPPT), tüm çevre koşullarında PV sistemlerden güç çekişini maksimuma çıkarmak için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir ve kullanılan algoritmalar hızlı ve verimli olmalıdır [122].

Zorlu deniz şartları (tuzluluk, nem, rüzgar vb.) nedeni ile deniz platformlarında pratik sahada uygulama alanı bulmasının güç olduğu ilk aşamada değerlendirilen güneş enerjili hibrit deniz sistemlerine yönelik teknik çözümünün Hindistan donanmasında bir savaş gemisinde esnek yapıdaki, deniz şartlarına uyumlu, paslanmazlık özelliği

olan güneş panelleri ile uygulama alanı bulduğu [123], feribot gibi teknelerde de sivil deniz platformlarında farklı teknik çözümlerin kullanıldığı görülmüştür [85].

Tez çalışmasında, ticari gemiler öncelikli olarak uygulama şansı olduğu değerlendirilen emisyon azaltıcı hibrit beslemeli sistemlerin askeri gemi modelimizdeki uygulaması ele alınmıştır. Bu yaklaşım ile savaş gemilerinin PV hibrit modeli nasıl kullanabileceği araştırılmış ayrıca tez çalışmasında sivil denizcilik için de inceleme alanı yaratılması hedeflenmiştir [124, 125].

Bu tez çalışmasında model olarak ele alınan geminin bir savaş gemisi olduğu ele PV kullanım konseptinin iki ana kısma ayrılabilceği değerlendirilmiştir. İlk olarak barış döneminde yakıt tüketimini düşürmek, karbon salınımını azaltmak maksadı ile güneş paneli (PV: Photovoltaic System) kullanabileceği kıymetlendirilmiştir. Diğer kullanım ihtiyacı olarak karakol ve hücumbot tipi savaş gemilerinin saklanma, demir, şamandıra, dinlenme mevkilerinde dizel jeneratör çalıştırmadan sadece erken ihbar sensörlerini devrede tutarak, otel yüklerini sağlayacak şekilde PV ve/veya batarya ile beslenebileceği değerlendirilmiştir. Savaş gemisinin düşman sularına yakın icra edeceği bu tip saklanmayı da içeren görevlerde ana makinanın devrede olmadığı bir durumda elektrik enerjisi için dizel jeneratörün çalıştırılmadan hibrit beslemeli sistemler ile dizel kaynaklı akustik izi yok ederek şamandıra, demir yeri gibi bekleme yerlerinde gizliliğin arttırılabileceği yönünde konsept kullanım kurgusu yapılmıştır.

Bu amaçla incelemelerde kullanılan gemide PV panel yerleştirme potansiyeli belirlenmiştir. Daha sonra hibrit PV ve Dizel Generatör Sistemli güç besleme sisteminin olması durumu için güneş ışıını değişimi temelli yük besleme analizi gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında gemi elektrik dağıtım sisteminin tekrar yapılandırılması için geliştirilen BIP e dayalı yöntemin hibrit güç beslemeli durum için uygulaması gerçekleştirilmiştir.

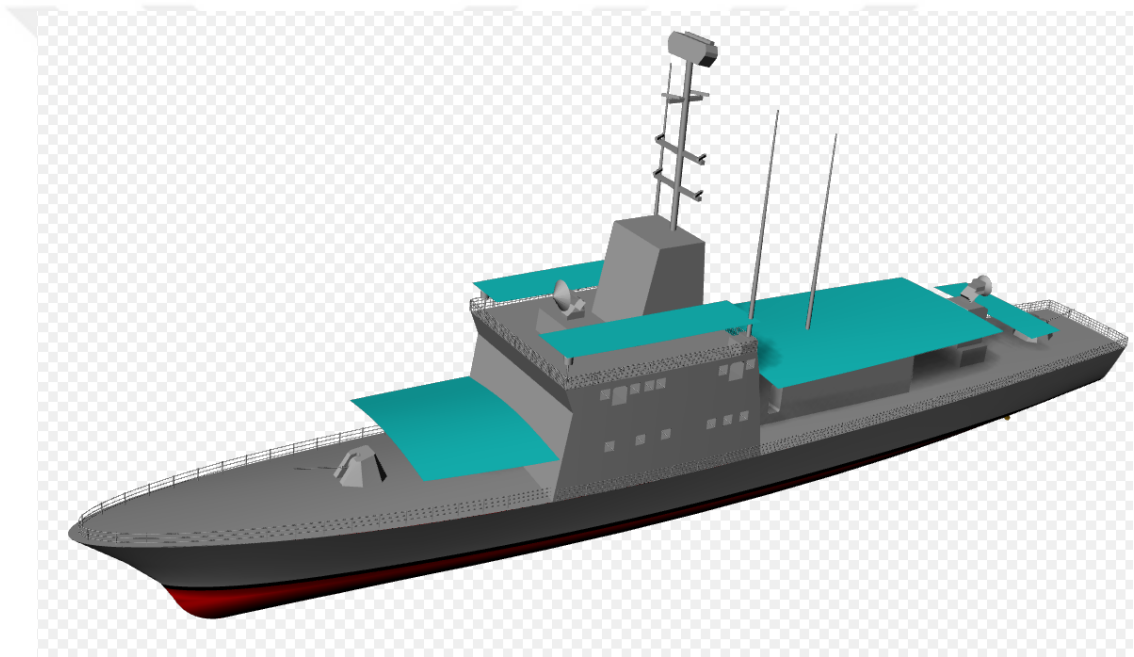
## **6.2. Gemide PV Panel Yerleştirme Potansiyelinin Belirlenmesi**

Örnek sistem olarak incelenen savaş gemisi platformunda PV panellerinin hangi bölgelere yerleşebileceği belirlenmiştir. Ayrıca kullanılacak güneş panellerinin şeffaf yapıda esnek olabileceği bu durumda hem savaş gemisinin görünür izine olumsuz etkisi olmayacağı, kullanılmayacağı durumlarda da sabit tiplerinin toplanıp gemi/sahilde depolanabileceği, esnek yapıda kullanılmaları durumunda da toplanabilecekleri değerlendirilmiştir.

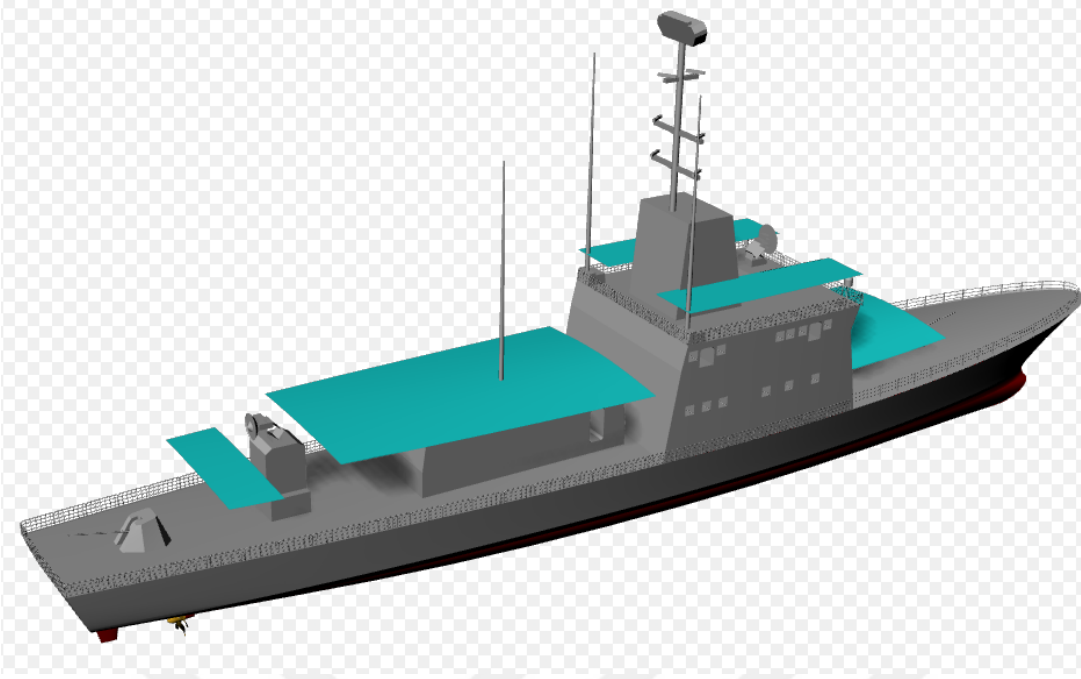
Bu çalışmada özellikle barış dönemi güverte üzerine gerilen kurulup/toplanabilen güneş tentelerinin mevkilerinin PV paneller için kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Panellerin özellikle barış dönemi görevlerde kullanım alanı bulması değerlendirilse bile panel mevkileri belirlenirken acil bir duruma karşı model gemide baş ve kı atış sektörlerine engel teşkil etmemesi, özellikle radar gibi sensörlere aparız vermemesi ve gemi içi personel trafik hattına mani olmayacak şekilde yerleştirilmesi dikkate alınmıştır. Geminin 3 boyutlu çizimi üzerinde güneş paneli konulabilecek uygun alanlar belirlenmiştir.

Model gemi üzerinde PV panelleri için uygun alanlar şekil 6.1 ve şekil 6.2’de sunulmuştur.

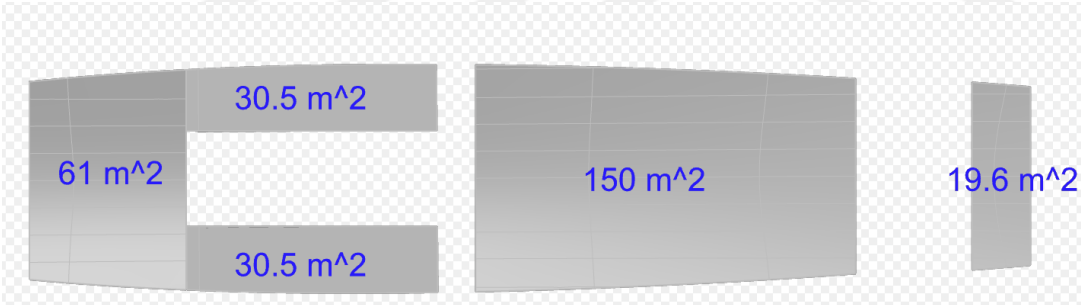


**şekil 6.1.** Modelde kullanılan PV panel yerleşim yerleri (iskele baş omuzluktan bakış)



**Şekil 6.2.** Modelde kullanılan PV panel yerleşim yerleri (sancak kış omuzluktan bakış)

Model üzerindeki güneş paneli için uygun mevkilerin alanına ( $m^2$ ) ait hesaplama sonucu Şekil 6.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 6.3.** Modelde kullanılan PV panel alanları ( $m^2$ ) (üstten bakış)

Gemi güvertesinde uygun mevkilerdeki güneş paneli yüzey alanlarına ne kadar güneş paneli konulabileceği yönünde yapılan çalışma yapılmış olup 156x105 cm boyutlarındaki Sunpower SPR-305-WHT-D (305W) güneş paneli teknik verileri referans alınmıştır. Gemideki uygun alanlara göre belirlenen panel miktarları Tablo 6.1'de gösterilmiştir.

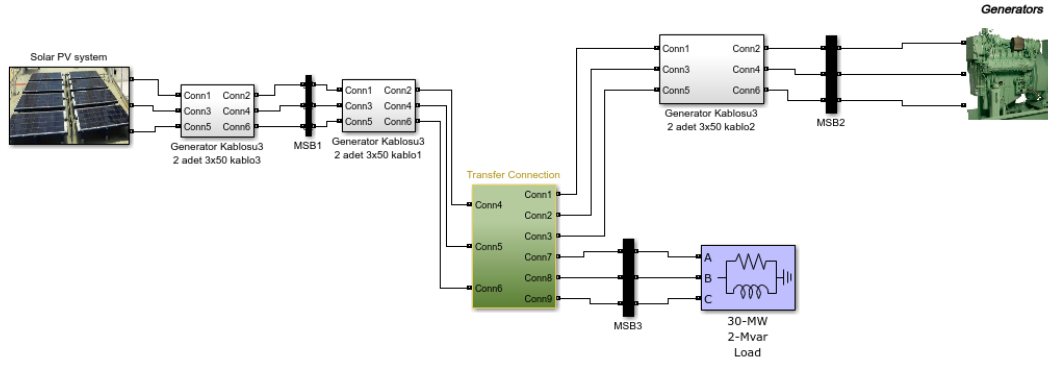
**Tablo 6.1.** Model gemide kullanılan panel miktarı.

| Gemideki uygun alan (m <sup>2</sup> ) | Uygun alana ait boy (m) | Uygun alana ait en (m) | Panel Miktarı (Adet) |
|---------------------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|
| 19,6                                  | 2,5                     | 7,84                   | 10                   |
| 150                                   | 16,33                   | 9,185548               | 80                   |
| 30,5                                  | 10,75                   | 2,837209               | 12                   |
| 30,5                                  | 10,75                   | 2,837209               | 12                   |
| 61                                    | 6,724                   | 9,071981               | 32                   |

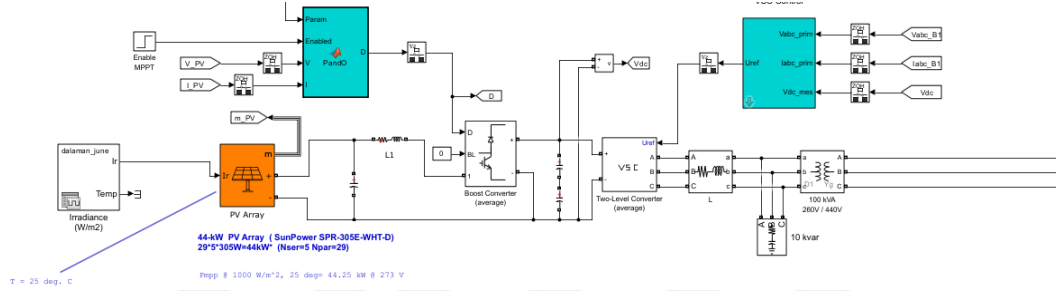
Toplam 146 Adet Sunpower SPR-305-WHT-D (305W) panel kullanılmış olup en fazla 44,53kW kurulu güneş enerji paneli gücü hesaplanmıştır.

### 6.3. PV ve Dizel Generatör Sistemli Geminin Işınım Değişimi Temelli Analizi

Göz önüne alınan gemide PV panel yerleştirme potansiyelinin belirlendikten sonra, PV ve Dizel Generatör Sistemli hibrit güç besleme sistemli gemi elektrik sistemi için benzetim çalışmaları yapılmıştır. Matlab simulink ortamında gerçekleştirilen hibrit beslemeli gemi simulasyon modeli Şekil 6.4'te gösterilmiştir. 2 adet 200 kW gücünde Generatorler ve PV dizilerinin paralel çalıştığı hibrit beslemeli modelde 44 kW gücünde PV dizisi olduğu varsayılmıştır. Matlab-simulink de gelen PV-dizi ortalama modeli temel alınarak oluşturulan model de DC-DC dönüştürücü yer almaktadır. Modelde toplam 44 kW gücünde 305W lık SunPower SPR-305E-WHT-D paneller ile 5 seri 29 paralel yapıda bir PV-dizisi olduğu kabul edilmiştir. Bu PV modelleme yaklaşımında, DA-DA ve VSC dönüştürücüler, anahtarlama frekansının bir çevrimi boyunca ortalaması alınan AA gerilimi üreten eşdeğer gerilim kaynakları ile gösterilmiştir.



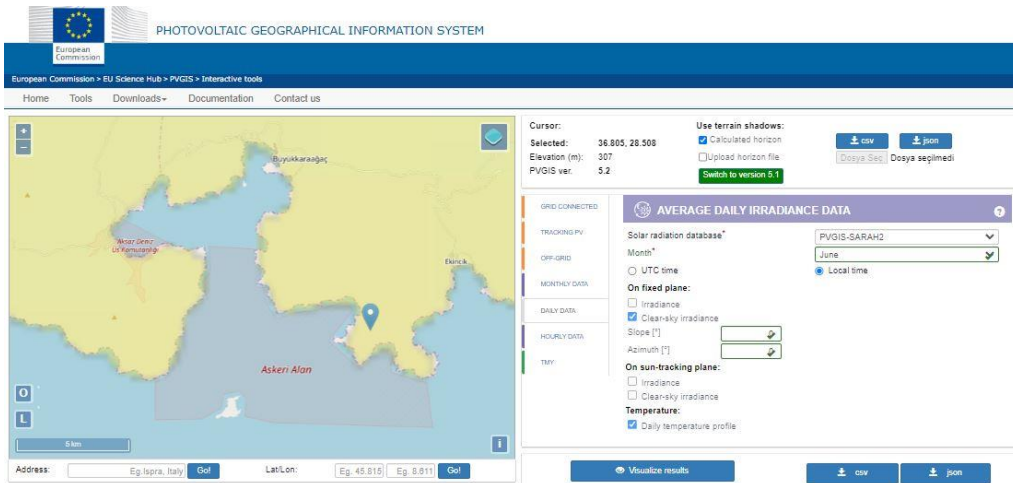
(a)



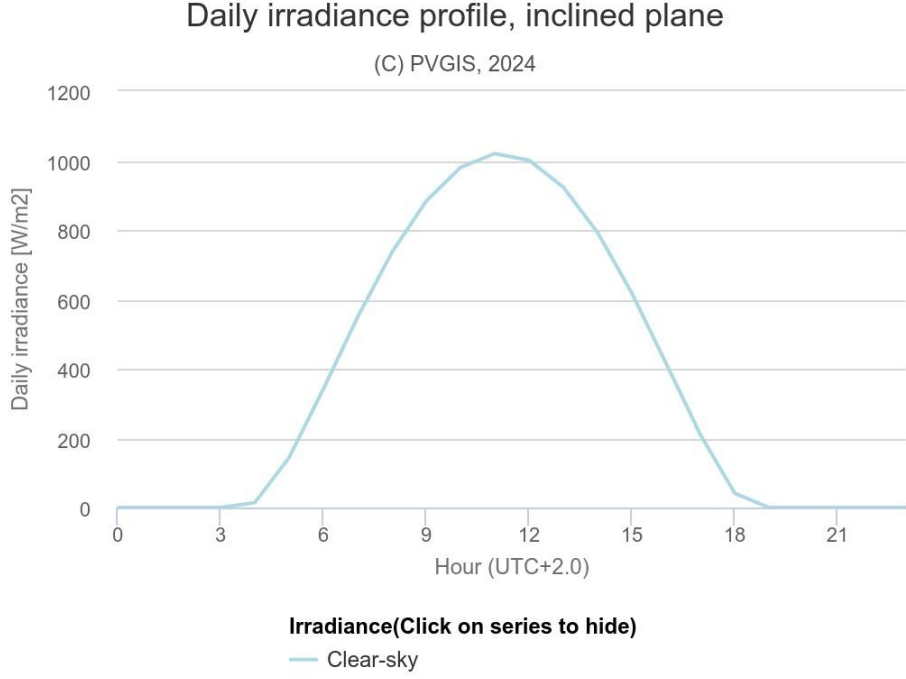
(b)

**Şekil 6.4.** Hibrit beslemeli gemi simülasyon modeli a) hibrit besleme b) PV-dizi modeli.

Güneş ışınımı değişimi temelli yük besleme analizi gerçekleştirmek için Dalaman için seçilmiştir. Tez çalışmasında gemi elektrik dağıtım sisteminin tekrar yapılandırılması için geliştirilen BIP e dayalı yöntemin hibrit güç beslemeli durum için uygulaması gerçekleştirilmiştir. Avrupa PV coğrafi bilgi sistemi (Photovoltaic Geographical Information System - PVGIS) web sitesindeki araç kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 6.5).

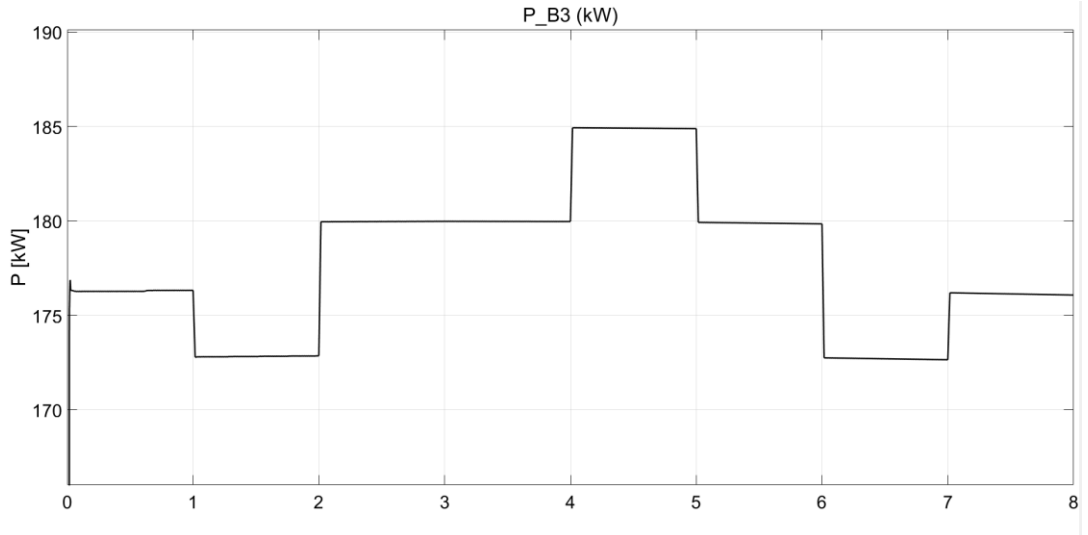


**Şekil 6.5.** Avrupa PV coğrafi bilgi sistemi.



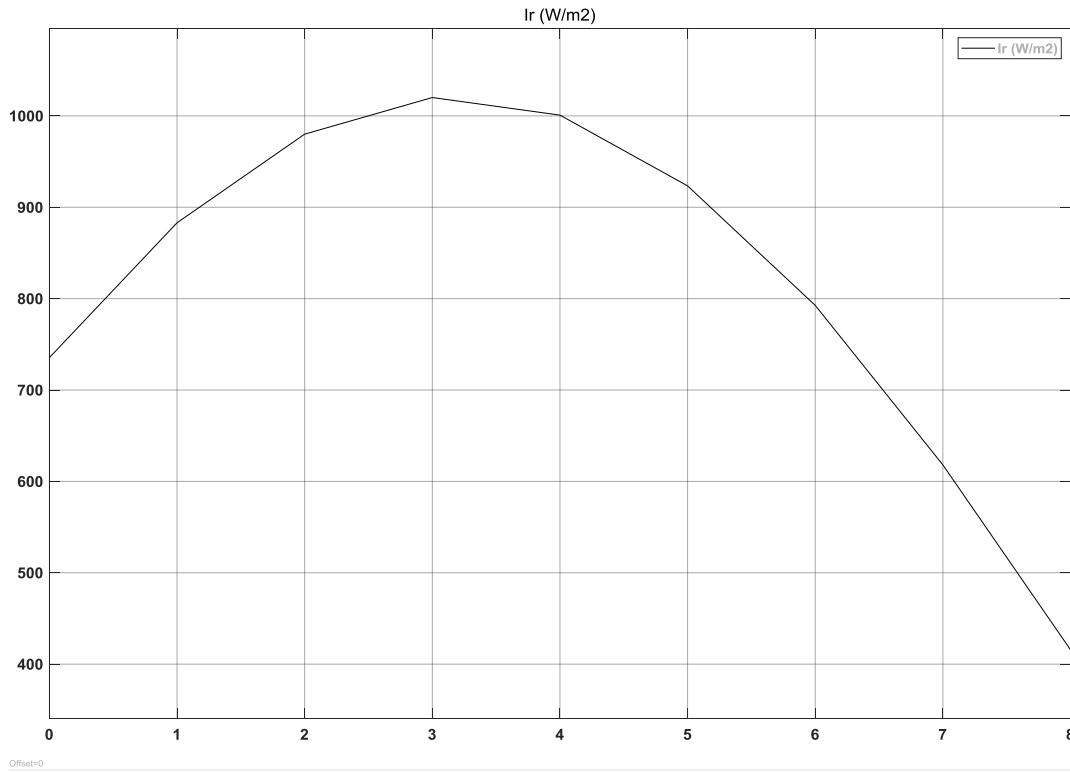
**Şekil 6.6.** Dalaman Haziran ayı ortalama günlük ışınlım değerleri değişimi.

PVGIS websitesi aracı ile Dalaman için Haziran ayı ortalama günlük ışınlım değerleri elde edilmiştir (Şekil 6.6). Yük değişim etkisini görmek amacıyla sabah 8:00 ile 16:00 saatleri arasında normal yük koşullarına ilişkin yüklenme senaryosu oluşturulmuştur (Şekil 6.7).

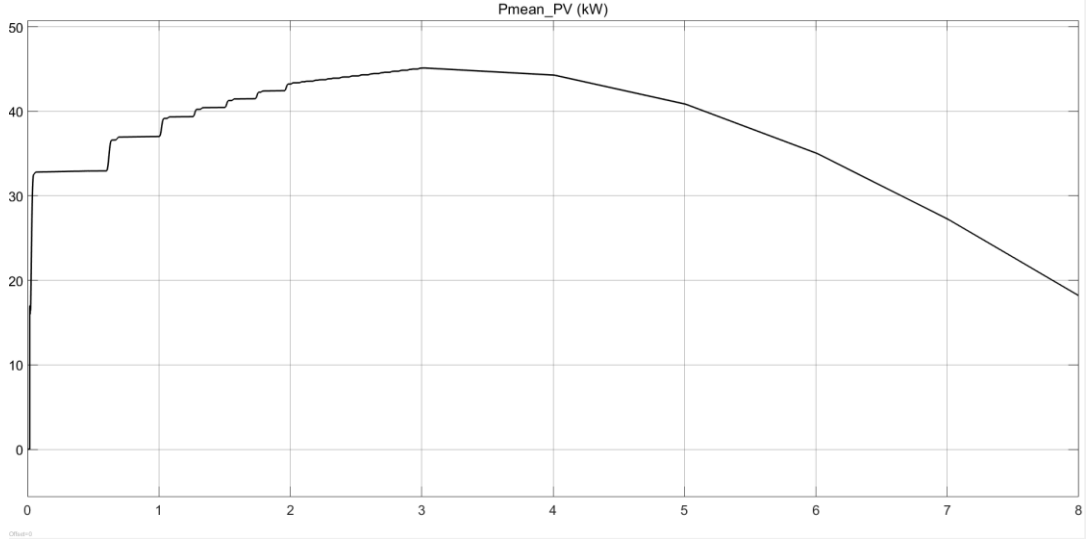


**Şekil 6.7.** Gemi için sentetik olarak oluşturulan saat 08:00 ile 16:00 arasında barış durumu seyir görevi toplam elektriksel talep değişim senaryosu

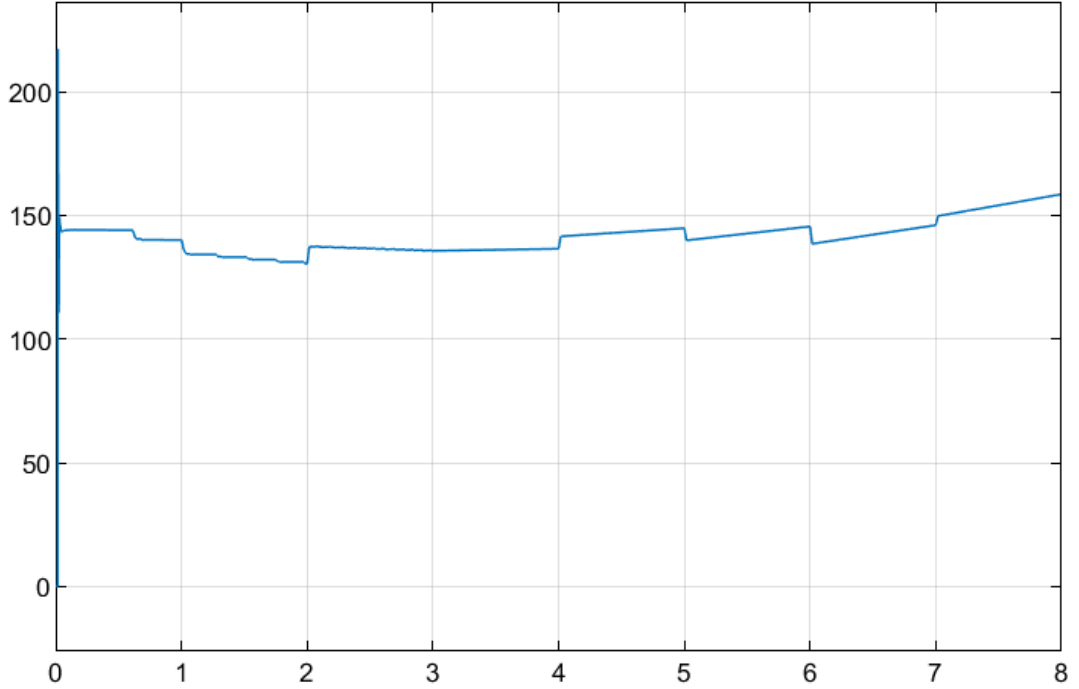
Simülasyon sonucu ısıtım, generatör bağlantı barası, PV bağlantı barası ve yüklerin bağlantı baraları güç değişimleri elde edilmiştir. Şekil 6.7’de yük barası güç talebi değişimi verilmiştir. Göz önüne alınan seyir senaryosu süresince ısıtım değişimi Şekil 6.8’de, PV sistem tarafından üretilen aktif güç değişimi ise Şekil 6.9’da verilmiştir. Seyir süresince generatör tarafından sisteme verilen aktif güç değişimi ise Şekil 6.10’da gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere ısıtıma bağlı olarak üretilen PV kaynaklı enerji, generatörlerin aktif güç üretimlerini azaltmaktadır. Seyir süresi 08:00-16:00 arası 8 saatli zaman dilimi içinde ortalama PV üretimi yaklaşık 37 kW olmuştur. Bu süre içinde fosil yakıt yerine yaklaşık 296 kWh elektrik enerjisi yenilenebilir kaynak güneş enerjisinden sağlanmıştır.



**Şekil 6.8.** Seyir senaryosu süresince ısıtım değişimi



**Şekil 6.9.** PV sistem tarafından üretilen aktif güç değişimi



**Şekil 6.10.** Seyir süresince generatör tarafından sisteme verilen aktif güç değişimi

#### 6.4. Hibrit Beslemeli Gemi İçin Tekrar Yapılandırma Algoritma Uygulaması

Yüklerin enerjilendirilmesinde hangi yüklerin yüklenip yüklenemeyeceğine karar verilmesi amacıyla tez çalışması kapsamında geliştirilen görev profiline dayalı yeniden yapılandırma metodolojisinin, hibrit beslemeli gemi durumu için uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla gemide yer alan 3 adet 150kW gücünde generatör

yerine 2 adet 200kW gücünde generatör (Generatör 1 ve 2) ve 44 kW PV üretim olması (generatör 3 yerine) durumu göz önüne alınmıştır. Değiştirilmiş modelde generatörler G1, G2, PV-G3 olarak ifade edilmektedir. İkili tamsayı programlama yöntemi ile senaryo 4 görev profili temel alınarak 2 farklı durum için analizler gerçekleştirilmiştir.

Durum 1: senaryo 4 görev profili, tüm generatörler devrede

Durum 2: senaryo 4 görev profili, Generatör 1 devre dışı

Analiz sonuçları tablolar halinde verilmiştir (Tablo 6.2 ve

Tablo 6.3). Analiz sonuçlarına göre, geliştirilen tekrar yapılandırma metodolojisinin, hibrit beslemeli gemiler için de kullanılabileceği, PV generatör kullanılması durumunda 3 generatör yerine 2 generatör ve PV sistemi ile beslemenin sağlanabileceği, 3. Generatör yerine batarya kullanılması ile performansın daha da ileriye götürülerek, fosil yakıtlar temelli emisyon azaltılabileceği görülmüştür.

**Tablo 6.2.** Durum-1 sonuçları.

|                                |             |          |
|--------------------------------|-------------|----------|
|                                | Yük Listesi | Yok      |
| Yaşamsal Atılan Yükler         | Toplam adet | 0        |
|                                | Yük Listesi | Yok      |
| Yarı Yaşamsal Atılan Yükler    | Toplam adet | 0        |
|                                | Yük Listesi | Yok      |
| Yaşamsal Olmayan Atılan Yükler | Toplam adet | 0        |
| Toplam atılan yük              | kW          | 0        |
| Toplam beslenen yük            | kW          | 353.76   |
| PG1 üretim                     | kW          | 200.00   |
| PG2 üretim                     | kW          | 110.195  |
| PG3-PV üretim                  | kW          | 44.00    |
| Toplam Kayıp                   | kW          | 0.434977 |

**Tablo 6.3.** Durum-2 sonuçları.

|                                   |             |                                         |
|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------------|
| Yaşamsal Atılan<br>Yükler         | Yük Listesi | L17                                     |
|                                   | Toplam adet | 1                                       |
| Yarı Yaşamsal Atılan<br>Yükler    | Yük Listesi | L16                                     |
|                                   | Toplam adet | 1                                       |
| Yaşamsal Olmayan<br>Atılan Yükler | Yük Listesi | L20,L21,L22,L32,L33,<br>L35,L36,L37,L42 |
|                                   | Toplam adet | 9                                       |
| Toplam atılan yük [kW]            |             | 110.88                                  |
| Toplam beslenen yük [kW]          |             | 242.880000                              |
| PG1 üretim [kW]                   |             | 0.0                                     |
| PG2 üretim [kW]                   |             | 199.200787                              |
| PG3-PV üretim [kW]                |             | 44.00                                   |
| Toplam Kayıp [kW]                 |             | 0.320787                                |



## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, örnek bir savaş gemisinin gemi güç sisteminde akıllı yöntemler ile hasar, arıza sonrası yeniden yapılandırılmasına yönelik yöntem geliştirilmiş ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Çalışmada radyal yapıdaki gemi güç dağıtım sistemi ele alınmıştır. Geminin görev tipine göre dinamik olarak değişen yük önem derecesi, öncelikleri kullanılmış ve operatör tecrübesi yönteme dahil edilmiştir. Gemi güç dağıtım sisteminde simülasyon temelli analizler gerçekleştirilmiştir.

Dağıtım sisteminde özellikle çoklu hattan beslenen yaşamsal yüklerin beslendikleri güç hattında bir kayıp yaşanması durumunda; klasik bir yaklaşım ile akıllı yeniden yapılandırma yöntemi kullanmadan, muhakeme yapmadan bara transfer cihazları ile yüklerin enerji olan hatta geçirilmesi özellikle üretim ve tüketim dengesi bozulmuş bir gemide felaket ile sonuçlanabilir. Bu tip durumlarda gemi güç sistemi komple devre dışı kalabilmektedir.

Önerilen akıllı yeniden yapılandırma yöntemi gemi güç sistemi için oluşturulan zorlu senaryolarda denenmiş ve tez çalışmasında elde edilen sonuçlar gemide komple bir elektrik kesintisinin önüne geçildiğini, başarılı bir şekilde sistemin faal tutulduğunu göstermiştir.

Önerilen yeniden yapılandırma yöntemi; genetik algoritma, patern arama, 0-1 tamsayı programlama yöntemleri ile birlikte kullanılmış, üç farklı optimizasyon metodunun sonuçları tez çalışmasında karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tezde önerilen yöntem, üç optimizasyon tekniği ile de tutarlı sonuçlar vermiştir.

Özellikle lineer denklem kümelerinin kullanıldığı amaç fonksiyonları için yeterli görünen 0-1 tamsayı programlama yöntemi tez çalışmasında önerilen algoritma ile diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha hızlı sonuçlar sunmuştur.

Genetik algoritma, patern araması gibi evrimsel algoritmaların kullanılmadan önce parametrelerinin hesaplanması/ayarlanması çözümün başarısına etki etmektedir.

Bu optimizasyon metotlarının rastsallık içeren metotlar olmaları nedeni ile karmaşık problemlere uyumları, kompleks yapıdaki denklemlerle çalışabilme yeteneği en güçlü yanlarıdır. Ancak lineer denklem kümeleri ile ifade edilen amaç fonksiyonları için bu tez çalışmasında çözüm sürelerinin 0-1 tam sayı programlama metoduna göre daha uzun sürdüğü görülmüştür.

Yöntem içeriğinde dinamik olarak değişen yük öncelik listelerine, operatörün bilgisi ve sezgisel kurallar yük bazında tanımlanan ceza puanları ile yönteme dahil edilmiştir.

Tez çalışmasında, geliştirilen yöntem ile üç farklı optimizasyon yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış olup, akıllı yeniden yapılandırma yöntemlerinin klasik ve sistem durumuna dair derin muhakeme yapamayan, operatör bilgisini içeriğine dahil edemeyen klasik yeniden yapılandırma metotlarına göre radyal bir dağıtım sisteminde çok başarılı oldukları görülmüştür.

Ayrıca güneş enerji paneli kullanılan benzer bir test platformu ile tez kapsamında önerilen yeniden yapılandırma yöntemi denenmiş ve enerji depolama birimleri, yenilikçi enerji kaynakları ile yöntemin uyumlu çalıştığı simülasyon ile görülmüştür.

İleriki çalışmalarda yöntemin farklı simülasyon teknikleri ile de incelemesinin yapılması planlanmaktadır. Ayrıca savaş gemilerinin iz yöntemi (termal, akustik) ve barış durumunda yakıt ekonomisi için enerji depolama birimleri kullanması yönünde yeniden yapılandırma süreçleri üzerinde geliştirilen yöntem ile incelemelere devam edilecektir. Özellikle son dönemde artan yapay zeka girişimleri yakından takip edilmektedir. Hızla gelişen hareket ortamındaki değişikliklerin en verimli şekilde değerlendirilerek çözüm geliştirilmesi maksadıyla güç sistemlerinin yeniden yapılandırılmasında yakın gelecekte yapay zekanın çok sık olarak kullanılacağı değerlendirilmektedir.

Radyal dağıtım sistemi kullanan klasik hasar kontrol sistemlerinin akıllı yeniden yapılandırma yöntemleri ile revize edilmelerinin savaş gemisinin güç sisteminin etkinliğini arttıracak sonucuna varılmıştır. Ayrıca enerji depolama birimlerinin gemide dağıtılmış bir şekilde konumlandırılmış olmalarının da yeniden yapılandırma sürecine olumlu destek vereceği görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] “Hamidiye Kruvazörü Hatıra Defteri,” *Hamidiye Kruvazörü*, 1924.
- [2] Türk Deniz Kuvvetleri Stratejisi Dergisi, “Deniz Kuvvetleri Stratejisi,” *Türk Deniz Kuvvetleri Strat. Derg.*, (ISBN978-975-409-716-0), Deniz Basımevi Md. lüğü Matbaa Sertifika No29173..
- [3] İ. E. Afacan, F. G. Bağrıyanık, and M. Bağrıyanık, “Harp Gemileri Elektrik Dağıtım Sistemleri Üzerine Bir İnceleme,” *ELECO–2004*, pp. 94–98, 2004.
- [4] M. Yasar, A. Beytin, G. Bajpai, and H. G. Kwatny, “Integrated electric power system supervision for reconfiguration and damage mitigation,” *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2009*, pp. 345–352, 2009, doi: 10.1109/ESTS.2009.4906535.
- [5] N. Doerry, “Naval Power Systems Integrated Power Systems for the Continuity of the Electrical Power Supply,” *IEEE Electr. Mag. June 2015*, vol. 3, no. 2, pp. 12–21, 2015.
- [6] Y. Ma, D. Oslebo, A. Maqsood, and K. Corzine, “Pulsed-Power load Monitoring for an All-Electric Ship,” *IEEE Electr. Mag. March 2021*, vol. 9, pp. 25–35, 2021.
- [7] M. Farhadi and O. Mohammed, “Energy Storage Technologies for High-Power Applications,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 52, no. 3, pp. 1953–1962, 2016, doi: 10.1109/TIA.2015.2511096.
- [8] A. Oudalov, R. Cherkaoui, S. Member, and A. Beguin, “Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application,” no. 1, pp. 621–625, 2007.
- [9] Y. Kim, Y. Wang, N. Chang, and M. Pedram, *Computer-aided design and optimization of hybrid energy storage systems*, vol. 7, no. 4. Hanover,USA, 2013. doi: 10.1561/10000000035.
- [10] A. Khaligh and Z. Li, “Battery, ultracapacitor, fuel cell, and hybrid energy storage systems for electric, hybrid electric, fuel cell, and plug-in hybrid electric vehicles: State of the art,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 6, pp. 2806–2814, 2010, doi: 10.1109/TVT.2010.2047877.
- [11] P. F. Ribeiro *et al.*, “Energy Storage Systems for Advanced Power Applications,” *Proc. IEEE*, vol. 89, no. 12, pp. 1744–1756, 2001, doi: 10.1109/5.975900.
- [12] NAVSEA, *Design Practices and Criteria Manual-Electrical Systems for Surface Ships, Chapter 300, T9300-AF-PRO-020*. 1992.
- [13] C. N. H. Doerry and D. H. Clayton, “Shipboard Electrical Power Quality of Service,” *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2005*, pp. 274–279, 2005.

- [14] K. L. Butler, N. D. R. Sarma, and V. R. Prasad, "Network reconfiguration for service restoration in shipboard power distribution systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 16, no. 4, pp. 653–, 2001, doi: 10.1109/mper.2001.4311142.
- [15] O. Wasynczuk, E. A. Walters, and H. J. Hegner, "Simulation of a zonal electric distribution system for shipboard applications," *Proc. Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf.*, vol. 1, pp. 268–273, 1997, doi: 10.1109/iecec.1997.659197.
- [16] C. N. Tidd, "Hardware Model of a Shipboard Zonal Electrical Distribution System (ZEDS): Alternating Current/Direct Current (AC/DC)," Massachusetts Institute of Technology, 2010.
- [17] F. Calabrese, A. Corallo, A. Margherita, and A. A. Zizzari, "A knowledge-based decision support system for shipboard damage control," *Expert Syst. Appl.*, vol. 39, no. 9, pp. 8204–8211, 2012, doi: 10.1016/j.eswa.2012.01.146.
- [18] E. Zivi, "Design of Robust Shipboard Power Automation Systems," *Annu. Rev. Control*, vol. 29, no. 2, pp. 261–272, 2005, doi: 10.1016/j.arcontrol.2005.08.004.
- [19] T. Amba, K. L. Butler-Purry, and M. Falahi, "Genetic algorithm based damage control for shipboard power systems," *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2009*, pp. 242–252, 2009, doi: 10.1109/ESTS.2009.4906522.
- [20] S. Peters, E. O. Bratt, B. Clark, H. Pon-barry, and K. Schultz, "Intelligent Systems for Training Damage Control Assistants," *Interservice/Industry Training, Simulation, Educ. Conf. 2004*, no. 1908, pp. 1–11, 2004.
- [21] C. E. Runnerstrom and U. S. N. Ret, "Human Systems Integration and Shipboard Damage Control," *Nav. Eng. J.*, vol. 115, no. 4, pp. 71–80, 2003, doi: <https://doi.org/10.1111/j.1559-3584.2003.tb00244.x>.
- [22] L. Sabatucci, M. Cossentino, G. De Simone, and S. Lopes, "Self-reconfiguration of shipboard power systems," *Proc. - 2018 IEEE 3rd Int. Work. Found. Appl. Self\* Syst. FAS\*W 2018*, pp. 124–129, 2018, doi: 10.1109/FAS-W.2018.00036.
- [23] F. J. Pires, "SINGRAR — A fuzzy distributed expert system to assist command and control activities in naval environment," *ELSEVIER Eur. J. Oper. Res.*, vol. 145, pp. 343–362, 2003.
- [24] M. Huang, "Distribution system service restoration using the artificial neural network approach and pattern recognition method," *IEE Proceedings-Generation, Transm. Distrib.*, vol. 142, no. 3, pp. 0–5, 1995.
- [25] Y. Jiang, J. Jiang, and Y. Zhang, "A novel fuzzy multiobjective model using adaptive genetic algorithm based on cloud theory for service restoration of shipboard power systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 2, pp. 612–620, 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2011.2179951.
- [26] K. R. Padamati, N. N. Schulz, and A. K. Srivastava, "Application of genetic algorithm for reconfiguration of shipboard power system," *2007 39th North Am. Power Symp. NAPS*, vol. 00, pp. 159–163, 2007, doi: 10.1109/NAPS.2007.4402304.
- [27] T. Amba, "Genetic Algorithm-Based Damage Control for Shipboard Power Systems," Texas A&M University, 2009.

- [28] N. Kumar, A. K. Srivastava, and N. N. Schultz, "Shipboard Power System Restoration Using Binary Particle Swarm Optimization," in *2007 39th North American Power Symposium (NAPS 2007)*, 2007, pp. 164–169.
- [29] J. A. Momoh, Y. Xia, K. C. Alfred, and S. Member, "Dynamic Reconfiguration for Shipboard Power System Using Multi-agent System," *2008 IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet. Energy 21st Century*, pp. 1–4, 2008.
- [30] K. Huang, "Shipboard Power System Reconfiguration Using Multi Agent System," Florida State University College of Engineering, 2007.
- [31] J. Inagaki, J. Nakajima, and M. Haseyama, "A multiobjective service restoration method for power distribution systems," in *2006 IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, IEEE, 2006, pp. 1784–1787. doi: 10.1109/ISCAS.2006.1692952.
- [32] K. Manjunath and M. R. Mohan, "A New Hybrid Multi-Objective Quick Service Restoration technique for Electric Power Distribution Systems," *Elsevier Electr. Power Energy Syst.*, vol. 29, pp. 51–64, 2007, doi: 10.1016/j.ijepes.2005.12.012.
- [33] S. K. Srivastava and K. L. Butler-Purry, "Probability-based predictive self-healing reconfiguration for shipboard power systems," *IET Gener. Transm. Distrib.*, vol. 1, no. 3, pp. 405–413, 2007, doi: 10.1049/iet-gtd:20060168.
- [34] M. E. Baran, S. Member, N. Mahajan, and S. Member, "System Reconfiguration on Shipboard DC Zonal Electrical System," *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2005*, pp. 86–92, 2005.
- [35] R. Cuzner and A. Jeutter, "DC zonal electrical system fault isolation and reconfiguration," in *2009 IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, IEEE, Apr. 2009, pp. 227–234. doi: 10.1109/ESTS.2009.4906520.
- [36] L. Ouyang, Y. Li, Y. Tan, J. Xiao, and Y. Cao, "Reconfiguration Optimization of DC Zonal Distribution Network of Shipboard Power System," *IEEE Transp. Electrification Conf. Expo, Asia-Pacific*, pp. 444–448, 2016.
- [37] C. Neuwirth *et al.*, "Tree-Based Reconfiguration Algorithm for Zonal Shipboard Power Systems," *2019 IEEE Electr. Sh. Technol. Symp.*, pp. 249–256, 2019.
- [38] J. A. Momoh, S. S. Kaddah, and W. Salawu, "Security assessment of DC zonal naval-ship power system," *LESCOPE 2001 - 2001 Large Eng. Syst. Conf. Power Eng. Powering Beyond 2001, Conf. Proc.*, pp. 206–212, 2001, doi: 10.1109/LESCPE.2001.941652.
- [39] M. Babaei, R. Jafari-Marandi, S. Abdelwahed, and J. Kluss, "A novel approach for real-time implementation of MVDC shipboard power system reconfiguration," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 100, no. January, pp. 240–252, 2018, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.01.037.
- [40] O. L. Koon, L. C. Kong, and T. C. Wee, "Introduction to Submarine Design," *DSTA HORIZONS*, pp. 49–59, 2019.
- [41] S. Chakraborty, "Introduction to Submarine Design," Naval Architecture-Marine insight. [Online]. Available: <https://www.marineinsight.com/naval-architecture/introduction-to-submarine-design/>

- [42] D. Scholz, B. Bühnemann, and C. Meyer, "Electrical platform equipment technology for submarines from the sub-suppliers point of view," *Nav. Forces Int. Forum Marit. Power Conf. Proc. SUBCON 2007*, pp. 153–158, 2007.
- [43] B. Andreas, "Integration of lithium ion batteries," *Nav. Forces Int. Forum Marit. Power Conf. Proc. SUBCON 2007*, vol. 28, no. Special Issue 2007, pp. 110–112, 2007.
- [44] E. Skjong, R. Volden, E. Rodskar, M. Molinas, T. A. Johansen, and J. Cunningham, "Past, present, and future challenges of the marine vessel's electrical power system," *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 2, no. 4, pp. 522–537, 2016, doi: 10.1109/TTE.2016.2552720.
- [45] T. J. McCoy, "Electric Ships Past, Present, and Future [Technology Leaders]," *IEEE Electrification Mag.*, vol. 3, no. 2, pp. 4–11, Jun. 2015, doi: 10.1109/MELE.2015.2414291.
- [46] M. Roa, "ABS rules for integrated power systems (IPS)," *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2009*, vol. 1, pp. 1–17, 2009, doi: 10.1109/ESTS.2009.4906487.
- [47] S.-Y. Kim, S. Choe, S. Ko, and S.-K. Sul, "A Naval Integrated Power System with a Battery Energy Storage System," *IEEE Electrification Mag. June 2015*, vol. 3, no. 2, pp. 22–33, 2015.
- [48] M. J. Roa, "Application of classification rules to hybrid marine electrical propulsion plants," *Rec. Conf. Pap. - Annu. Pet. Chem. Ind. Conf.*, vol. 2016-March, pp. 1–7, 2016, doi: 10.1109/PCICON.2015.7435118.
- [49] E. K. Dedes, D. A. Hudson, and S. R. Turnock, "Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping," *Energy Policy*, vol. 40, no. 1, pp. 204–218, 2012, doi: 10.1016/j.enpol.2011.09.046.
- [50] N. Doerry, "Naval Power Systems," *IEEE Electrification Mag.*, vol. 3, no. 2, pp. 12–21, 2015.
- [51] G. Sulligoi, A. Vicenzutti, and R. Menis, "All-electric ship design: From electrical propulsion to integrated electrical and electronic power systems," *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 2, no. 4, pp. 507–521, 2016, doi: 10.1109/TTE.2016.2598078.
- [52] S. Yang, M. Chagas, J. Ordóñez, and J. Vargas, "Multiphysics model of a notional all-electric ship railgun — Model development and application," *2017 IEEE Electr. Sh. Technol. Symp.*, pp. 285–291, 2017, doi: 10.1109/ESTS.2017.8069295.
- [53] B. Jan, F. Hansen, and F. Wendt, "History and State of the Art in Commercial Electric Ship Propulsion , Integrated Power Systems , and Future Trends," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 12, pp. 1–14, 2015.
- [54] G. Sulligoi, A. Vicenzutti, and R. Menis, "All-electric ship design: From electrical propulsion to integrated electrical and electronic power systems," *IEEE Trans. Transp. Electrification*, vol. 2, no. 4, pp. 507–521, 2016, doi: 10.1109/TTE.2016.2598078.
- [55] D. G. M. Watson, *Practical Ship Design*, vol. 1. Elsevier Ocean Engineering Book Series, 1998. doi: 10.1016/S1571-9952(98)80003-2.

- [56] M. A. Ballard, "Impacts of Electric Propulsion Systems on Submarine Design," Massachusetts Institute of Technology, 1989. [Online]. Available: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a213542.pdf>
- [57] A. Vicenzutti, G. Trincas, V. Bucci, G. Sulligoi, and G. Lipardi, "Early-Stage design methodology for a multirole electric propelled surface combatant ship," *2019 IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2019*, pp. 97–105, 2019, doi: 10.1109/ESTS.2019.8847793.
- [58] B. Yıldız, "Ticari Bir Gemide Kısa Devre Akımı Hesapları," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2015.
- [59] Türk Loydu, "Rules For The Classification of Naval Ships Part E Chapter 105-Electric," in *Rules For The Classification of Naval Ships*, Türk Loydu, Ed., İstanbul: Türk Loydu, 2016.
- [60] E. Systems and P. Schemes, "Shipboard Systems Deploy Automated Protection," *IEEE Comput. Appl. Power*, vol. 11, no. 2, pp. 31–36, 1998.
- [61] M. M. Islam, *Handbook to IEEE Standard 45: A Guide to Electrical Installations on Shipboard*. New York: Standards Information Network IEEE Press, 2004.
- [62] M. M. Islam, *Shipboard Power Systems Design and Verification Fundamentals*. IEEE PRESS WILEY, 2018. doi: 10.1002/9781119084136.
- [63] İ. E. Afacan, "Harp Gemisi Elektrik Dağıtım Sisteminde Arıza Yerin Belirlenmesinde Bulanık Karar Verme Yönteminin Uygulanması," İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), 2005.
- [64] İ. E. Afacan, F. G. Bağrıyanık, and M. Bağrıyanık, "Fuzzy Decision Based Fault Location in Shipboard Power Distribution Systems," *ELECO`2005 4TH Int. Conf. Electr. Electron. Eng. Pap.*, 2005.
- [65] A. T. Adediran, "A Study Of Power Electronic Building Block (Pebb )- Based Integrated Shipboard Power Systems During Reconfiguration," Texas A&M University, 2003.
- [66] Wikipedia, "USS Stark incident," *Wikipedia The Free Encyclopedia*. 2024. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/USS\\_Stark\\_incident#Incident](https://en.wikipedia.org/wiki/USS_Stark_incident#Incident)
- [67] J. G. Gómez-gualdrón, G. S. Member, M. Vélez-reyes, S. Member, L. J. Collazo, and S. Member, "Self-Reconfigurable Electric Power Distribution System using Multi-Agent Systems," *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2007*, pp. 180–187, 2007.
- [68] H. Zhang, K. L. Butler, and N. D. R. Sarma, "Simulation of Ungrounded Shipboard Power Systems in PSpice," *1998 Midwest Symp. Circuits Syst. (Cat. No. 98CB36268)*, pp. 1–5, 1998.
- [69] D. T. Hall, *Practical Marine Electrical Knowledge*, Second Edi. LONDON, UK: WITHERBY, 1999.
- [70] H. Y. Liu and L. H. Mu, "Integrated protection on shipboard integrated power system," *APAP 2011 - Proc. 2011 Int. Conf. Adv. Power Syst. Autom. Prot.*, vol. 1, pp. 252–255, 2011, doi: 10.1109/APAP.2011.6180524.

- [71] C. R. PETRY and J. W. RUMBURG, "Zonal Electrical Distribution Systems: An Affordable Architecture for the Future," *Nav. Eng. J.*, vol. 105, no. 3, pp. 45–51, 1993, doi: 10.1111/j.1559-3584.1993.tb02723.x.
- [72] N. Doerry, "Zonal ship design," *Nav. Eng. J.*, vol. 118, no. 1, pp. 39–53, 2006, doi: 10.1111/j.1559-3584.2006.tb00407.x.
- [73] J. G. Ciezki and R. W. Ashton, "Technology overview for a proposed navy surface combatant DC zonal electric distribution system," *Nav. Eng. J.*, vol. 111, no. 3, pp. 59–69, 1999, doi: 10.1111/j.1559-3584.1999.tb01962.x.
- [74] E. Tironi, M. Corti, and G. Ubezio, "Zonal Electrical Distribution Systems in Large Ships : Topology and Control," *2015 AEIT Int. Annu. Conf.*, pp. 1–6, 2015.
- [75] J. G. Ciezki and R. W. Ashton, "Selection and Stability Issues Associated with a Navy Shipboard DC Zonal Electric Distribution System," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 15, no. 2, pp. 665–669, 2000.
- [76] M. E. SHIFFLER, "Development of a Zonal Architecture Fire Main System for Combatant Ships," *Nav. Eng. J.*, vol. 105, no. 3, pp. 31–44, 1993, doi: 10.1111/j.1559-3584.1993.tb02722.x.
- [77] C. N. Doerry, "Zonal Ship Design (presentation)," ASNE Reconfiguration and Survivability Symposium 2005 (RS 2005). [Online]. Available: [http://www.doerry.org/norbert/papers/050125\\_Zonal\\_Ship\\_Design\\_final\\_presentation.pdf](http://www.doerry.org/norbert/papers/050125_Zonal_Ship_Design_final_presentation.pdf)
- [78] L. Cosby and Y. Lamontagne, "Critical assessment of damage control system technologies, Contract Report," 2006.
- [79] I. V. Butler-Purry, K. L.; Sarma, N. D. R.; Hicks, "Service restoration in naval shipboard power systems," *IEE Proceedings-Generation, Transm. Distrib.*, vol. 151, no. 1, pp. 95–102, 2004.
- [80] J. Chalfant, C. Chrysostomidis, M. Angle, J. S. Chalfant, C. Chrysostomidis, and M. G. Angle, "Study of Parallel AC and DC Electrical Distribution in the All-Electric Ship," *Proc. 2010 Conf. Gd. Challenges Model. Simulation.*, pp. 319–326, 2010.
- [81] L. Hanyu and M. Longhua, "Construction of Integrated Smart Power System for Future Ship," *2010 Int. Conf. Power Syst. Technol.*, pp. 1–6, 2010, doi: 10.1109/POWERCON.2010.5666659.
- [82] L. Mancarella, F. Calabrese, A. A. Zizzari, and A. Corallo, *Integration of CAD tools in damage management system*, vol. 9, no. PART 1. IFAC, 2012. doi: 10.3182/20120919-3-IT-2046.00021.
- [83] J. M. Valera and C. G. Soares, "A virtual environment for decision support in ship damage control," *IEEE Comput. Graph. Appl.*, vol. 27, no. 4, pp. 58–69, 2007, doi: 10.1109/MCG.2007.74.
- [84] S.-Y. Kim, S. Choe, S. Ko, and S.-K. Sul, "A Naval Integrated Power System with a Battery Energy Storage System Fuel efficiency, reliability, and quality of power," *IEEE Electr. Mag. June 2015*, vol. 3, no. 2, pp. 22–33, 2015.

- [85] C. Ghenai, I. Al-Ani, F. Khalifeh, T. Alamaari, and A. K. Hamid, "Design of Solar PV/Fuel Cell/Diesel Generator Energy System for Dubai Ferry," in *2019 Advances in Science and Engineering Technology International Conferences (ASET)*, IEEE, Mar. 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICASET.2019.8714292.
- [86] M. Gaber, S. H. El-Banna, M. Eldabah, and M. S. Hamad, "Model and Control of Naval Ship Power System by the Concept of All-Electric Ships Based on Renewable Energy," *2019 21st Int. Middle East Power Syst. Conf. MEPCON 2019 - Proc.*, no. December, pp. 1235–1240, 2019, doi: 10.1109/MEPCON47431.2019.9007914.
- [87] P. Hedin and P. Hauschildt, "Future Submarine Technology," *Eur. Secur. Def. 1/2009*, vol. 1, pp. 57–60, 2009.
- [88] T. Lus, "Submarine hybrid propulsion systems," *J. KONES. Combust. Engines*, vol. 8, no. 1, pp. 265–270, 2001.
- [89] A. E. Hammerschmidt, "Fuel Cell Propulsion of Submarines," *Adv. Nav. Propuls. Symp.*, vol. 120, pp. 1–7, 2006.
- [90] A. Zubair, "Alternative propulsion for nuclear submarines," University College London, 2009.
- [91] T. J. Leo, J. A. Durango, and E. Navarro, "Exergy analysis of PEM fuel cells for marine applications," *Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 1164–1171, 2010, doi: 10.1016/j.energy.2009.06.010.
- [92] D. R. Palo, R. A. Dagle, and J. D. Holladay, "Methanol steam reforming for hydrogen production," *Chem. Rev.*, vol. 107, no. 10, pp. 3992–4021, 2007, doi: 10.1021/cr050198b.
- [93] S. Krummrich and J. Llabr, "Methanol reformer - The next milestone for fuel cell powered submarines," *Int. J. Hydrog. Energy* 40 ( 2015), vol. 40, no. 15, pp. 5482–5486, 2015, doi: 10.1016/j.ijhydene.2015.01.179.
- [94] D. Alexander, "Hybrid Electric Drive for Naval Combatants," *Proc. IEEE*, vol. 103, no. 12, pp. 2267–2275, 2015, doi: 10.1109/JPROC.2015.2453395.
- [95] H. Jing, Z. Xiaofeng, and C. Yan, "Multiobjective optimal service restoration for shipboard power system," *Proc. - 2009 IEEE Int. Conf. Intell. Comput. Intell. Syst. ICIS 2009*, vol. 1, pp. 644–650, 2009, doi: 10.1109/ICICISYS.2009.5357675.
- [96] K. R. Padamati, "Reconfiguration of Shipboard Power Systems Using A Genetic Algorithm," Mississippi State University, 2007. [Online]. Available: <https://ir.library.msstate.edu/bitstream/handle/11668/17032/etd-10312007-164134.pdf?sequence=1>
- [97] W. Xue and Y. Fu, "A two-step method for reconfiguration of shipboard power system," *2011 IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2011*, pp. 167–172, 2011, doi: 10.1109/ESTS.2011.5770861.
- [98] T. Amba, K. L. Butler-Purry, and M. Falahi, "Genetic algorithm based damage control for shipboard power systems," *IEEE Electr. Sh. Technol. Symp. ESTS 2009*, pp. 242–252, 2009, doi: 10.1109/ESTS.2009.4906522.

- [99] C. L. Su, C. K. Lan, T. C. Chou, and C. J. Chen, "Performance Evaluation of Multiagent Systems for Navy Shipboard Power System Restoration," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 4, pp. 2769–2779, 2015, doi: 10.1109/TIA.2015.2394375.
- [100] S. Khushalani, J. Solanki, and N. Schulz, "Optimized restoration of combined ac / dc shipboard power systems including distributed generation and islanding techniques," vol. 78, pp. 1528–1530, 2008, doi: 10.1016/j.epsr.2008.01.019.
- [101] K. L. Butler and N. D. R. Sarma, "General reconfiguration methodology for AC radial shipboard power systems," *2000 IEEE Power Eng. Soc. Conf. Proc.*, vol. 2, no. c, pp. 1226–1230, 2000, doi: 10.1109/PESW.2000.850121.
- [102] S. K. Srivastava and K. L. Butler-Purpy, "A pre-hit probabilistic reconfiguration methodology for shipboard power systems," *2005 IEEE Electr. Sh. Technol. Symp.*, vol. 2005, pp. 99–103, 2005, doi: 10.1109/ESTS.2005.1524660.
- [103] K. L. Butler-purpy and N. D. R. Sarma, "Geographical Information Systems for Automation of Shipboard Power Systems," *Nav. Eng. J.*, 2006.
- [104] L. Agnello, M. Cossentino, G. De Simone, and L. Sabatucci, "Shipboard power systems reconfiguration: A compared analysis of state-of-the-art approaches," *RINA, R. Inst. Nav. Archit. - Smart Sh. Technol.* 2017, no. January, pp. 24–25, 2017, [Online]. Available: <http://www.pa.icar.cnr.it/cossentino/paper/smart-ships2017.pdf>
- [105] S. K. Srivastava, K. L. Butler-Purpy, and N. D. . Sarma, "Shipboard Power Restored for Active Duty," *IEEE Comput. Appl. Power*, vol. 15, no. 3, pp. 16–23, 2002.
- [106] K. L. Butler and M. Ehsani, "Flexible Ship Electric Power System Design," pp. 2–16, [Online]. Available: <https://docplayer.net/14510939-Flexible-ship-electric-power-system-design.html>
- [107] K. Davey *et al.*, "Reconfiguration in shipboard power systems," *Proc. Am. Control Conf.*, pp. 4750–4755, 2007, doi: 10.1109/ACC.2007.4282807.
- [108] S. Srivastava, K. L. Butler-Burpy, and Abstract., "Expert-system method for automatic reconfiguration for restoration of shipboard power systems," *IEE Proceedings-Generation, Transm. Distrib.*, vol. 153, no. 3, pp. 253–260, 2006, doi: 10.1049/ip-gtd:20045185.
- [109] C. L. Su, C. K. Lan, T. C. Chou, and C. J. Chen, "Design of a multi-agent system for shipboard power systems restoration," *Conf. Rec. - Ind. Commer. Power Syst. Tech. Conf.*, pp. 1–12, 2014, doi: 10.1109/ICPS.2014.6839164.
- [110] R. A. Sarker, H. A. Abbass, and C. Newton, *Heuristics and Optimization for Knowledge Discovery*. University of New South Wales, Australia: Idea Group Publishing, 2002. doi: 10.4018/978-1-930708-26-6.ch012.
- [111] E. Aygen, "Elektrik Enerji Sistemlerinde Genetik Algoritma Kullanarak Optimizasyona Yeni Bir Yaklaşım," İstanbul Teknik Üniversitesi, 2001.
- [112] Ç. Gürel, "Reconstruction of Binary Electrical Conductivity Distributions Using Genetic Algorithms," İstanbul Technical University, 2010.

- [113] M. Wetter and J. Wright, "Comparison of a Generalized Pattern Search and a Genetic Algorithm Optimization Method," *Eighth Int. IBPSA Conf. Eindhoven, 2003*, pp. 1401–1408, 2003.
- [114] J. A. Momoh, *Electric Power System Applications of Optimization (1st ed.)*. CRC Press, 2005. doi: 10.1201/9781420056266.
- [115] Naval Sea System Command, "Electric Power Distribution Systems," in *Naval Ships' Technical Manual Chapter 320 Electric Power Distribution Systems*, NAVSEA Systems Command, Ed., NAVSEA Systems Command, 1998, pp. 1–53.
- [116] J. V. Amy Jr, "Considerations in The Design of Naval Electric Power Systems," *IEEE Power Eng. Soc. Summer Meet.*, vol. 1, pp. 331–335, 2002, doi: 10.1109/PESS.2002.1043244.
- [117] S. Şenol, "Gemi Kökenli Emisyonlara Dayalı Alternatif Sevk Sistemleri," *İTÜ GİDB - Gemi İnşaatı ve Deniz Bilim. Dergi (18)*., 2020.
- [118] M. Othman, A. Anvari-Moghaddam, and J. M. Guerrero, "Hybrid shipboard microgrids: System architectures and energy management aspects," in *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, IEEE, Oct. 2017, pp. 6801–6806. doi: 10.1109/IECON.2017.8217188.
- [119] F. D. Kanellos, G. J. Tsekouras, and J. Prousalidis, "Onboard DC grid employing smart grid technology: challenges, state of the art and future prospects," *IET Electr. Syst. Transp.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–11, Mar. 2015, doi: 10.1049/iet-est.2013.0056.
- [120] J. F. Hansen, J. O. Lindtjom, T. A. Myklebust, and K. Vanska, "Onboard DC Grid," *ABB Review*, pp. 1–6, 2012. [Online]. Available: [https://library.e.abb.com/public/b4f3f099e9d21360c1257a8a003beac2/ABB\\_Generations\\_20\\_Onboard\\_DC\\_grid.pdf](https://library.e.abb.com/public/b4f3f099e9d21360c1257a8a003beac2/ABB_Generations_20_Onboard_DC_grid.pdf)
- [121] S. Wen, C. Zhang, H. Lan, Y. Xu, Y. Tang, and Y. Huang, "A Hybrid Ensemble Model for Interval Prediction of Solar Power Output in Ship Onboard Power Systems," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 12, no. 1, pp. 14–24, Jan. 2021, doi: 10.1109/TSTE.2019.2963270.
- [122] S. Sarikaya *et al.*, "An Innovative Adaptive An Innovative Adaptive Perturb And Observe Maximum Power Point Tracking Method For Photovoltaic Systems Using Illuminance Level As Perturbation Signal," *Light Eng.*, vol. 30, no. 4, pp. 78–86, 2022, doi: 10.33383/2021-124.
- [123] S. Nambudiri, "In a first for Indian warships, solar power lights up INS Sarvekshak," *TNN*. [Online]. Available: <https://energy.economictimes.indiatimes.com/news/renewable/in-a-first-for-indian-warships-solar-power-lights-up-ins-sarvekshak/57105488>
- [124] R. Yang, Y. Yuan, R. Ying, B. Shen, and T. Long, "A novel energy management strategy for a ship's hybrid solar energy generation system using a particle swarm optimization algorithm," *Energies*, vol. 13, no. 3, 2020, doi: 10.3390/en13061380.
- [125] M. Paulson, "Marine photovoltaics: A review of research and developments, challenges and future trends," *Int. J. Sci. Technol. Res.*, vol. 8, no. 9, pp. 1479–1488, 2019.



## **EKLER**

### **EK A. Yük Bilgileri Tablosu**



Tablo A.1. Yük Bilgileri

| YK NO | YK<br>TANIMI                         | BESLENDİĞİ<br>ŐEBKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|---------------------------------------|---------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L1     | 115V 60 Hz A/K<br>Trafosu-1           | ABT2                | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 1                 | 10                              | 2                 |
| L2     | 115V 60 Hz A/K<br>Trafosu-2           | ABT3                | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 1                 | 10                              | 3                 |
| L3     | 115V 60 Hz Trafo-1                    | ABT4                | 13                          | 1     | 13                      | 7,8          | 1                 | 6                               | 1                 |
| L4     | 115V 60 Hz Trafo-2                    | ABT5                | 13                          | 1     | 13                      | 7,8          | 1                 | 6                               | 1                 |
| L5     | 115V 60 Hz Trafo-3                    | ABT6                | 8                           | 1     | 8                       | 4,8          | 1                 | 4,8                             | 1                 |
| L6*    | Yangın Tulumbası<br>Bağlantı Kutusu-1 | ABT7                | 23                          | 1     | 23                      | 23           | 1*                | 23                              | 1*                |

Tablo A.2. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                         | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L7*    | Yangın Tulumbası<br>Bağlantı Kutusu-2 | ABT8                 | 23                          | 1     | 23                      | 23           | 1*                | 23                              | 1*                |
| L8*    | Yangın Tulumbası<br>Bağlantı Kutusu-3 | ABT9                 | 23                          | 1     | 23                      | 23           | 1*                | 23                              | 1*                |
| L9*    | Yangın Tulumbası<br>Bağlantı Kutusu-4 | ABT10                | 23                          | 1     | 23                      | 23           | 1*                | 0 #                             | 1*                |
| L10    | Dümen Sistemi<br>Bağlantı Panosu      | MBT1                 | 6                           | 1     | 6                       | 3,6          | 1                 | 3,6                             | 1                 |
| L11    | Silah Sistemi Panosu-<br>1            | ABT11                | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 1                 | 12                              | 3                 |
| L12    | Silah Sistemi Panosu-<br>2            | ABT12                | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 1                 | 12                              | 3                 |

Tablo A.3. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                                  | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L13    | Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi Panosu-1 | ABT13                | 15                          | 1     | 15                      | 9            | 1                 | 6                               | 1                 |
| L14    | Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi Panosu-2 | ABT14                | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 1                 | 8                               | 2                 |
| L15    | Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi Panosu-3 | ABT15                | 18                          | 1     | 18                      | 10,8         | 2                 | 7,2                             | 2                 |
| L16    | Havalandırma ve İklimlendirme Sistemi Panosu-4 | ABT16                | 40                          | 1     | 40                      | 24           | 2                 | 15                              | 2                 |
| L17    | İklimlendirme Sistemi Soğutma Panosu           | ABT17                | 60                          | 1     | 60                      | 36           | 1                 | 24                              | 2                 |

Tablo A.4. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                                      | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L18    | Radar/Sensör/Cayro<br>Sistemi Bağlantı<br>Panosu   | ABT18                | 5                           | 1     | 5                       | 3            | 1                 | 3                               | 1                 |
| L19    | 440V/60Hz SHM<br>Dağıtım Panosu                    | MBT2                 | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 1                 | 12                              | 1                 |
| L20    | Tekne Korozyon<br>Sistemi                          | MSB1                 | 2                           | 1     | 2                       | 1,2          | 3                 | 1,2                             | 3                 |
| L21    | Yakıt Seperatör<br>Bağlantı Panosu                 | MSB1                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 3                 | 2,4                             | 3                 |
| L22    | Elektrikli Isıtıcı<br>(hiter) Bağlantı<br>Panosu-1 | MSB1                 | 6                           | 1     | 6                       | 3,6          | 3                 | 3,6                             | 3                 |
| L23    | Baş Irgat Bağlantı<br>Panosu                       | MSB1                 | 4                           | 1     | 4                       | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |

Tablo A.5. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                        | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|--------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L24    | Dizel Ön Isıtma<br>Bağlantı Panosu-1 | MSB1                 | 11                          | 2     | 22                      | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L25    | Yardımcı Makine<br>Bağlantı Panosu-1 | MSB1                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 1                 | 2,4                             | 1                 |
| L26    | Vasıta Matoforası<br>Bağlantı Panosu | MSB1                 | 2                           | 1     | 2                       | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L27    | Kıç Irgat Bağlantı<br>Panosu         | MSB1                 | 3                           | 1     | 3                       | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L28    | Yardımcı Makine<br>Bağlantı Panosu-2 | MSB1                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 1                 | 2,4                             | 1                 |
| L29    | Dizel Ön Isıtma<br>Bağlantı Panosu-2 | MSB1                 | 11                          | 2     | 22                      | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |

Tablo A.6. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                                      | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|----------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L30    | Dizel Ön Isıtma<br>Ünitesi-3 Bağlantı<br>Panosu    | MSB2                 | 10                          | 1     | 10                      | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L31    | Dizel Ön Isıtma<br>Ünitesi-4 Bağlantı<br>Panosu    | MSB2                 | 10                          | 1     | 10                      | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L32    | Mutfak Panosu-1                                    | MSB2                 | 9                           | 1     | 9                       | 9            | 3                 | 5,4                             | 3                 |
| L33    | Mutfak Panosu-2                                    | MSB2                 | 10                          | 1     | 10                      | 10,8         | 3                 | 6                               | 3                 |
| L34    | Yardımcı Dizel<br>Makine Bağlantı<br>Panosu-3      | MSB2                 | 3,8                         | 1     | 3,8                     | 2,28         | 2                 | 2,28                            | 1                 |
| L35    | Elektrikli Isıtıcı<br>(Hiter) Bağlantı<br>Panosu-2 | MSB2                 | 6                           | 1     | 6                       | 3,6          | 3                 | 3                               | 3                 |

Tablo A.7. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                   | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L36    | Atık Su ve Vakum Sistemi Paneli | MSB2                 | 3,8                         | 1     | 3,8                     | 2,28         | 3                 | 2,66                            | 3                 |
| L37    | Sıcak Su Kazanı                 | MSB2                 | 15                          | 1     | 15                      | 9            | 3                 | 9                               | 3                 |
| L38    | Şebeke Doğrultucu-2             | MSB2                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 2                 | 2,4                             | 2                 |
| L39    | 115V 400 Hz Statik Konverter-1  | MSB1                 | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 2                 | 12                              | 2                 |
| L40    | 115V 400 Hz Statik Konverter-2  | MSB2                 | 20                          | 1     | 20                      | 12           | 2                 | 12                              | 3                 |
| L41    | 440V/115V Trafo                 | MSB2                 | 0,8                         | 1     | 0,8                     | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L42    | 440V/230V Trafo                 | MSB2                 | 15                          | 1     | 15                      | 9            | 3                 | 9                               | 3                 |
| L43    | Yakıt Pompası                   | MSB1                 | 2                           | 2     | 4                       | 1,2          | 2                 | 2,4                             | 2                 |

Tablo A.8. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI                                    | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|--------------------------------------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L44    | Hava Kompresörü                                  | MSB1                 | 7                           | 2     | 14                      | 8,4          | 3                 | 8,4                             | 2                 |
| L45    | Buz Odası                                        | MSB2                 | 8                           | 1     | 8                       | 4,8          | 2                 | 4,8                             | 2                 |
| L46    | Ana ve Yrd. Makine<br>Deniz Suyu Ön<br>Isıtıcısı | MSB2                 | 20                          | 4     | 80                      | 0 #          | 3                 | 0 #                             | 3                 |
| L47    | 115V 400 Hz Statik<br>Konverter-3                | MSB1                 | 20                          | 1     | 20                      | 0 #          | 2                 | 20                              | 2                 |
| L48    | Ana Makine Bağlantı<br>Panosu-1                  | MSB1                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 2                 | 2,4                             | 1                 |
| L49    | Ana Makine Bağlantı<br>Panosu-2                  | MSB2                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 2                 | 2,4                             | 1                 |

Tablo A.9. (Devamı) Yük Bilgileri

| YÜK NO | YÜK<br>TANIMI       | BESLENDİĞİ<br>ŞEBEKE | NOMİNAL<br>BİRİM GÜCÜ<br>KW | ADEDİ | NOMİNAL<br>TOPLAM<br>KW | SAVAŞ DURUMU | ÖNEM<br>DERECESİ* | BARIŞ DURUMU<br>(İNTİKAL) SEYRİ | ÖNEM<br>DERECESİ* |
|--------|---------------------|----------------------|-----------------------------|-------|-------------------------|--------------|-------------------|---------------------------------|-------------------|
| L50    | Şebeke Doğrultucu-1 | MSB1                 | 4                           | 1     | 4                       | 2,4          | 2                 | 2,4                             | 2                 |

(\*) Bu yükler hasar kontrol maksatlı devreye alındıkları takdirde hayati yüklerdir. Normal koşullar altında devrede değildirler.

(#) 0 kW görülen yükler bu görev profilinde kullanılmayan veya yedek olarak hazırda bekletilen devrede olmasına rağmen aktif olmayan yüklerdir.

## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : İzzet Emre AFACAN

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2000, Deniz Harp Okulu, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği ABD, Elektrik Mühendisliği Programı
- **Yüksek lisans** : 2007, Beykent Üniversitesi, Sosyal Bilimleri Enstitüsü, Yönetim ve Organizasyon

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **2000-2002:** Deniz Kuvvetleri K.lığı muhtelif suüstü savaş gemilerinde bölüm amirliği görevi,
- **2002-2005:** Deniz Kuvvetleri K.lığı nam ve hesabına İstanbul Teknik Üniversitesinde yüksek lisans eğitimi,
- **2005-2013:** Gölcük Tersanesi K.lığında İşletme Müdürlüğü Gemi İnşa Başmühendisliği Elektrik Şube Müdürü görevi ile farklı suüstü ve denizaltı platformlarını kapsayacak şekilde gemi inşa, modernizasyon görevleri icra edilmiştir.
- **2009** yılı içinde Kore Cumhuriyeti Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering tersanesinde inceleme ve “Gemi Tasarım Eğitimi”,
- **2011** yılı içinde University College London (UCL) Department of Mechanical Engineering’de icra edilen “Submarine Design Course” kursuna katılım sağlanmıştır.
- **2013-2019:** yılları arasında Gölcük Tersanesi K.lığında Plan Keşif ve Dizayn Müdürlüğü Dizayn Başmühendisliği Elektrik Şube Müdürü ve Mühendislik Destek Şube Müdürü Vekili olarak gemi inşa, modernizasyon, onarım faaliyetlerine yönelik görevler ifa edilmiştir.
- **2014** yılı içinde Yeni Tip Denizaltı Projesi Dizayn Faaliyetine Türk Deniz Kuvvetleri elektrik mühendisi uzman personeli olarak katılım sağlanmıştır.

- **2019-2022:** Gölcük Tersanesi K.lığında Milli Denizaltı (MİLDEN) Dizayn Proje Ofisi Müdürlüğünde Platform Sistemleri Başmühendisliği Elektrik Şube Müdürü olarak MİLDEN projesine atanan ilk personel arasında yer almış ve Şube Müdürlüğü bünyesindeki faaliyetleri kooordine etmiştir.
- **2022-2022:** Gölcük Tersanesi K.lığında Milli Denizaltı (MİLDEN) Dizayn Proje Ofisi Müdürlüğünde Platform Sistemleri Dizayn Başmühendisi olarak görev yapmış,
- **2022-Günümüz:** Gölcük Tersanesi K.lığında Milli Denizaltı (MİLDEN) Dizayn Proje Ofisi Müdürü görevine devam etmektedir.

#### **TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:**

- S. Sarıkaya *et al.*, “An Innovative Adaptive An Innovative Adaptive Perturb And Observe Maximum Power Point Tracking Method For Photovoltaic Systems Using Illuminance Level As Perturbation Signal,” *Light Eng.*, vol. 30, no. 4, pp. 78–86, 2022, doi: 10.33383/2021-124.