

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DENİZ TAŞITLARINDA
HİBRİT SEVK SİSTEMİNİN
VERİMLİLİK ANALİZİ**

Murat BAYRAKTAR

Temmuz, 2021

İZMİR

DENİZ TAŞITLARINDA HİBRİT SEVK SİSTEMİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi

Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı,

Deniz Ulaştırma Sistemleri Mühendisliği Programı

Murat BAYRAKTAR

Temmuz, 2021

İZMİR

DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

MURAT BAYRAKTAR, tarafından **DR. ÖĞR. ÜYESİ MUSTAFA NURAN** yönetiminde hazırlanan “**DENİZ TAŞITLARINDA HİBRİT SEVK SİSTEMİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

.....
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURAN

Yönetici

.....
Dr. Öğr. Üyesi Güner ÖZMEN

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Prof. Dr. Aytunç EREK

Tez İzleme Komitesi Üyesi

.....
Doç. Dr. Görkem KÖKKÜLÜNK

Jüri Üyesi

.....
Doç. Dr. Alper KILIÇ

Jüri Üyesi

.....
Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Çalışmanın başlangıcından sonuna dek yol gösteren, yardımlarını esirgemeyen, daima yanımda olan değerli hocalarım Prof. Dr. A. Güldem CERİT'e ve Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURAN'a çok teşekkür ederim. Doktora sürecinde daima yardımcı olan çalışma arkadaşlarıma ve eşim Cansu ÇINAR BAYRAKTAR'a, teşekkür ederim. Son olarak değerli aileme; annem Sevilay BAYRAKTAR'a, babam Hüseyin BAYRAKTAR'a ve kardeşlerime içten teşekkürlerimi sunarım.

Murat BAYRAKTAR

DENİZ TAŞITLARINDA HİBRİT SEVK SİSTEMİNİN VERİMLİLİK ANALİZİ

ÖZ

Denizcilik sektöründe sürekli gelişen teknolojiler ve Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) enerji verimliliği düzenlemeleri göz önünde bulundurulduğunda, geleneksel sevk sistemlerinde iyileştirme sağlanması veya alternatif sevk sistemlerinin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün MARPOL Ek VI "Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları" gemilerden salınan azot oksit, kükürt oksit ve partikül madde sınırlamalarını belirlemektedir. Gemilerde farklı tip sevk sistemlerinin kullanılmasının amaçlarından bazıları yakıt tasarrufu sağlamak, çevreye yapılan zararlı gazların salımını en aza indirmek ve operasyon maliyetlerini azaltmaktır. Çalışmanın amacı, gemilerin operasyon verileri üzerine kurulacak hibrit sevk sisteminin (HSS) yakıt tüketimi açısından verimlilik analizi yapmak ve elde edilen çevresel ve maliyet kazanımlarını ifade etmektir. Geleneksel olarak kullanılan sevk sistemleri ile HSS'nin karşılaştırılması MATLAB GUI üzerinden geliştirilen ara yüz ile yapılmaktadır. Ara yüz, analizin gerçekleştirilmesi amacıyla dizel ana makine, elektrik motoru, batarya ve redresör gibi HSS ekipmanlarının seçimini içermektedir. Ara yüzde kullanılan ekipmanların teknik özellikleri ve operasyon verileri, hem nicel veri analizi hem de deneysel çalışmalardan elde edilmektedir. Elde edilen tüm veriler kullanılarak otuz iki farklı analiz gerçekleştirilmekte ve analiz bulguları ara yüz üzerinden kayıt edilmektedir. Bulgulara göre hangi operasyonun HSS için daha uygun olduğuna karar vermek için matematiksel optimizasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bulgulara göre HSS uygulaması en verimli lityum demir fosfat tipi bataryalar ile asenkron AC elektrik motorları kullanılarak elde edilmekte ve en yüksek verimlilik çıktısı %72,356 olarak hesaplanmaktadır. Çalışma, bu alanda benzer veya farklı gemi tiplerinde çalışma yapacak akademisyenler ve sektör paydaşları için kaynak oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dizel makineler, hibrit sevk sistemi, yakıt tüketimi, alternatif enerji kaynakları, enerji verimliliği

EFFICIENCY ANALYSIS OF HYBRID PROPULSION SYSTEM FOR MARINE VESSELS

ABSTRACT

Improvement in conventional propulsion systems or using alternative propulsion systems come to the fore considering the ever-evolving technologies in the maritime industry and IMO energy efficiency measures. IMO MARPOL Annex VI “Prevention of Air Pollution from Ships” determines the nitrogen oxide, sulphur oxide and particulate matter limits emit from marine vessels. Some of the objectives of using different types of propulsion systems on ships is fuel saving, minimizing the release of harmful gases to the environment and reducing operational costs. The aim of the study is analysing the efficiency of the hybrid propulsion system (HPS) in view of fuel consumption applied on marine vessels and highlighted the environmental and cost gains. Comparison of conventional propulsion systems and HPS is performed with the interface developed in MATLAB GUI. The interface includes the selection of HPS equipment such as diesel main engine, electric motor, battery and rectifier in order to perform the analysis. The technical characteristics of the equipment and operational data used are obtained from both quantitative data analysis and experimental studies. Thirty two different analyzes are performed using all the data obtained and findings are recorded over the interface. Mathematical optimization method is used to decide which operation is more suitable for HPS based on findings. According to the findings, the most efficient HPS application is achieved by using lithium-iron phosphate type batteries and asynchronous AC electric motors also the highest efficiency output is achieved as 72.356%. The study will create a resource for academics and industry stakeholders who will work on similar or different ship types in this field.

Keywords: Diesel engine, hybrid propulsion system, fuel consumption, alternative energy resources, energy efficiency

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
BÖLÜM BİR- GİRİŞ.....	1
1.1 Deniz Taşıtlarında Sevk Sistemleri.....	1
1.1.1 Dizel Makineler Sistemi	1
1.1.1.1 Dizel Makine Çevrimi.....	2
1.1.1.2 Dört Stroklu Dizel Makineler	3
1.1.1.3 İki Stroklu Dizel Makineler	4
1.1.1.4 Gemi Ana Makine Parametreleri	5
1.1.2 Elektrik Motorları	7
1.1.2.1 Doğru Akım Motoru	9
1.1.2.2 Alternatif Akım Motoru	11
1.1.3 Bataryalar.....	15
1.1.3.1 Kurşun-Asit Bataryalar	17
1.1.3.2 Lityum-İyon Bataryalar.....	18
1.1.3.3 Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar	19
1.1.3.4 Nikel-Metal Hidrid Batarya(Ni-MH).....	21

1.1.3.5 Nikel-Çinko Batarya	21
1.1.3.6 Sodyum Sülfür ve Sodyum / Nikel-Klorür Hücre Teknolojisi	22
1.1.3.7 Metal/Hava Bataryalar	23
1.1.3.8 Çinko Bromür Bataryalar	23
1.1.3.9 Bataryaların Karşılaştırılması.....	23
1.1.4 Hibrit Sevk Sistemi	27
1.4.1.1 PTO Modu.....	29
1.4.1.2 PTI Güçlendirici Modu	29
1.4.1.3 PTH Modları	30
1.4.1.4 Hibrit Mod (PTO/PTI)	30
1.4.1.5 Elektriksel çapraz bağlantı modu	30
1.2 Uluslararası Denizcilik Örgütü(IMO) Enerji Düzenlemeleri.....	31
1.2.1 Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme (MARPOL).....	32
1.2.2 Gemi Enerji Verimliliği Düzenlemeleri	34
1.2.2.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)	34
1.2.2.2 Gemi Enerjisi Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP).....	38
1.2.2.3 Enerji Verimliliği Operasyonel İndikatörü (EEOI).....	38
1.2.3 Salım Düzenlemeleri.....	39
1.2.3.1 NO _x Düzenlemeleri	39
1.2.3.2 SO _x Düzenlemeleri	45
1.2.4 Alternatif Yakıtların Geleceği	47
1.3 Kavramlar	49
1.3.1 Verimlilik.....	49
1.3.1.1 Termal Verimlilik.....	52
1.3.1.2 Mekanik Verimlilik.....	53

1.3.1.3 Toplam Verimlilik.....	54
1.3.1.4 Elektrik Verimi.....	55
1.3.1.5 Enerji Dönüşüm Verimliliği.....	55
1.3.2 Etkinlik.....	56
1.3.2.1 Ekonomik Etkinlik	56
1.3.2.2 Teknik Etkinlik	57
1.3.2.3 Tahsis Etkinliği	57
1.3.3 Etkililik	57

BÖLÜM İKİ- LİTERATÜR TARAMASI 58

2.1 Literatür Taraması: Web of Science (WOS)	58
2.2 Literatür Taraması: Web of Science (WOS) Çıktıları Değerlendirme	62
2.3 Literatür Taraması: Diğer Araştırmalar ve Değerlendirme	75

BÖLÜM ÜÇ- MATERYAL VE METOT 79

3.1 Amaç	79
3.2 Metodoloji	79
3.2.1. Araştırma Süreci	80
3.2.2. Araştırma Modeli	81
3.3 Kantitatif Araştırma: Deneysel Çalışmalar	83
3.2.1 Nicel Veri Analizi/Model Uyarlama.....	83
3.2.1.1 Nicel Veri Elde Edilen Gemilerin Temel Özellikleri.....	83
3.2.1.2 Operasyon Sırasında Elde Edilen Nicel Veriler.....	89
3.2.2 Deneysel Çalışma ve Sayısal İnceleme	99
3.2.2.1 Elektrik Motorları Deney Çalışmaları.....	99

3.2.2.2 Dizel Makine Deneysel Çalışmaları	107
3.2.2.3 Batarya Uygulamaları	112
3.2.2.3 Diğer Ekipmanlar	117
3.4 Modelleme	118
3.4.1 Dizel Makine Seçimi	118
3.4.2 Elektrik Motoru Seçimi	119
3.4.3 Batarya ve Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi.....	120
3.4.4. Hibrit Sevk Sistemi Oluşturma	120
3.4.5. Hibrit Sevk Sistemi Analizi ve Bulguları	121
BÖLÜM DÖRT- ANALİZ	124
BÖLÜM BEŞ- BULGULAR VE TARTIŞMA.....	128
BÖLÜM ALTI- SONUÇ VE ÖNERİLER.....	145
KAYNAKLAR	149

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Elektrik motoru tipleri	8
Şekil 1.2 Asenkron motordaki kayıplar	13
Şekil 1.3 Farklı batarya tiplerinin çektikleri güç ve deşarj olma süreleri	16
Şekil 1.4 Batarya tiplerine göre özgül güç ve işletim süreleri kıyaslama	24
Şekil 1.5 Batarya tiplerine göre sıcaklığın özgül enerji etkisi	24
Şekil 1.6 Batarya tiplerinin birim güç başına enerji yoğunluğu, verimliliği ve maliyeti	26
Şekil 1.7 Hibrit sevk sistemi modları	28
Şekil 1.8 EEDI doğrulama süreç diyagramı	37
Şekil 1.9 NO _x salımlarını azaltma yöntemleri	40
Şekil 1.10 Varolan ve gelecekte muhtemel olabilecek ECAs	46
Şekil 2.1 WOS ta örnek kategori görüntüleme	59
Şekil 2.2 Hibrit sevk sistemi ve farklı kullanım şekilleri	71
Şekil 2.3 Operasyon süresi boyunca elde edilen yük değerleri	78
Şekil 3.1 Araştırma süreci akış şeması	80
Şekil 3.2 Araştırma modeli	82
Şekil 3.3 Wärtsilä 26 serisi dizel makine	85
Şekil 3.4 WST modeli	86
Şekil 3.5 Yanmar 12AYM-WET serisi	87
Şekil 3.6 Yanmar 12AYM-WET serisi dizel makine katalog verileri	87
Şekil 3.7 Makine devri/ pervane güç eğrisine göre birim güç başına yakıt tüketim miktarı	88
Şekil 3.8 SRP dümen-pervane sistemi	88
Şekil 3.9 K12(a)(b) ve MK1(c)(d) hizmet gemilerinin operasyon süresince rotaları	90
Şekil 3.10 K12 römorkörünün operasyon süresince hızları	91
Şekil 3.11 MK1 römorkörünün operasyon süresince hızları	91
Şekil 3.12 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine yükü değişimi	92
Şekil 3.13 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine devri ve hız değişimi	93
Şekil 3.14 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine yükü değişimi_4 Aralık 2019	93

Şekil 3.15 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine devri değişimi ve hızı	94
Şekil 3.16 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 2 Aralık 2019_K12	95
Şekil 3.17 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 1 Aralık 2019_K12	96
Şekil 3.18 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 11 Kasım 2019_K12	97
Şekil 3.19 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 17 Kasım 2019_K11	97
Şekil 3.20 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 2 Aralık 2019_K 11	98
Şekil 3.21 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 19 Kasım 2019_K 11	98
Şekil 3.22 Asenkron motorlar ve EC freni.....	100
Şekil 3.23 Kaçak akım rölesi ve bağlantı modülü, AC ampermetre modülü, ayarlanabilir dc kaynak modülü, AC voltmetre modülü, üç fazlı sigorta modülü.....	101
Şekil 3.24 Asenkron motorların yük testi	102
Şekil 3.25 EC freni yüklemesine göre asenkron motor (daimi devre kapasitörlü) amper güç eğrisi	103
Şekil 3.26 EC freni yüklemesine göre asenkron motor (sincap kafesli) amper güç eğrisi	105
Şekil 3.27 Dizel makinenin devrine göre tork, güç ve yük değerleri.....	107
Şekil 3.28 KK 160 tipi doğru akım motorlu dinamometre	108
Şekil 3.29 Optimass 3400 C S01 model debimetre.....	109
Şekil 3.30 STK-50 s tipi yük hücresi	109
Şekil 3.31 Dizel makine yükleme testi.....	110
Şekil 3.32 Ana makine seçimi.....	118
Şekil 3.33 Elektrik motoru seçimi.....	119
Şekil 3.34 Batarya ve fotovoltaiik panellerin teknik özellikleri.....	120
Şekil 3.35 Hibrit sevk sistemleri deneysel çalışmalar.....	121
Şekil 3.36 Hibrit sevk sistemleri analizi	122
Şekil 3.37 Hibrit sevk sistemleri analiz bulguları	122
Şekil 3.38 Bulguların hibrit sevk sistemi için uygunluğu	123
Şekil 4.1 HSS analizin esasları	127

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1 Batarya tiplerine göre enerji yoğunluğu, verimliliği, maliyeti, çevrim ömrü ve çalışma sıcaklığı aralığı karşılaştırılması	25
Tablo 1.2 Farklı yakıt tiplerinin karbon içeriği ve karbon faktörü	36
Tablo 1.3 Gemi inşaa tarihi ve makine devir sayısına göre NO _x düzenlemeleri	40
Tablo 1.4 Bölgelere göre SO _x ve partikül madde limitleri	45
Tablo 1.5 Denizcilik sektöründe sıfır salım sağlayan teknolojiler	48
Tablo 1.6 Etkinlik, etkililik, kar, kalite ve büyüme kavramları	51
Tablo 2.1 Konu başlıklarında “Efficiency” “Vessel” “Marine” “Propulsion” ve “Hybrid” kelimelerini kullanan çalışmaların içeriği	58
Tablo 2.2 Çalışmalarda kullanılan metot türleri	59
Tablo 2.3 WOS taramasından elde edilen çalışmalar ve odaklanılan konu başlıkları	60
Tablo 2.4 Literatür taraması sonucunda elde edilen konu başlıkları ve tekrar sayıları	62
Tablo 2.5 Sevk ve batarya depolama sistemlerine göre bir ve iki römorkörlü operasyonlardaki yakıt tüketim miktarları ve kazanımları	66
Tablo 2.6 Optimizasyon stratejilerinden elde edilen yakıt kazanımların yüzdesel ifadesi	74
Tablo 2.7 WOS dışında yapılmış akademik çalışmalar ve içerikleri	75
Tablo 2.8 Römorkörlerdeki farklı tip sevk sistemlerine göre salım miktarları	76
Tablo 2.9 Operasyon modlarına göre yakıt tüketim ve salım kazanımları	77
Tablo 3.1 K11,K12 ve MK1 gemilerinin teknik özellikleri	84
Tablo 3.2 Wärtsilä 26 serisi makinenin ana değerleri	85
Tablo 3.3 Wärtsilä 6L26 model ana makinenin teknik özellikleri	85
Tablo 3.4 Yanmar 12AYM-WET serisi makinenin ana değerleri	87
Tablo 3.5 Verilerin elde edildiği zamanlardaki hava koşulları	89
Tablo 3.6 Birincil ve ikincil verilerin elde edildiği gemilerin operasyon tarihi, süresi ve hizmet türü	90
Tablo 3.7 Operasyon sırasında kayıt edilen diğer verilerin ana makine yüklerine göre değişimi	95
Tablo 3.8 Tek fazlı asenkron motor yük testi	103

Tablo 3.9 Sincap kafesli asenkron motor yük testi	104
Tablo 3.10 Asenkron motorların teknik özellikleri.....	106
Tablo 3.11 AN dizel makine teknik özellikleri (Anadolu Motor, 2020).	107
Tablo 3.12 Dinamometre teknik özellikleri	108
Tablo 3.13 STK 50 Yük hücresi teknik özellikleri	110
Tablo 3.14 Tek silindirli dizel makine test verileri.....	111
Tablo 3.15 31-PC2150 serisi kurşun asit bataryanın tüketim zamanına bağlı güç yoğunlukları	112
Tablo 3.16 PC-1500 serisi kurşun asit bataryanın tüketim zamanına bağlı güç yoğunlukları	113
Tablo 3.17 Yüksek kapasiteli bataryaların teknik ve boyutsal özellikleri	114
Tablo 3.18 Yüksek Kapasiteli bataryaların enerji, maliyet ve özgül enerji değerleri	115
Tablo 3.19 Düşük kapasiteli bataryaların teknik, boyutsal ve maliyet değerleri....	116
Tablo 5.1 Römorkör adı, romörkaj hizmetinin türü, operasyon tarihi ve süresi.....	128
Tablo 5.2 Hibrit sevk sistemi bulgularının konu başlıkları.....	129
Tablo 5.3 K11,K12 ve MK1üzerinde gerçekleştirilen 32 farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_1	130
Tablo 5.4 K11,K12 ve MK1üzerinde gerçekleştirilen 32 farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_2	131
Tablo 5.5 Parametrelerin ağırlıklı ortalamaları.....	139
Tablo 5.6 Operasyon kodlarına göre uygunluk değerleri	140
Tablo 5.7 Deneysel çalışmalar üzerinde 32 Farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_1	141
Tablo 5.8 Deneysel çalışmalar üzerinde 32 Farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_2.....	143

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Deniz Taşıtlarında Sevk Sistemleri

Deniz taşıtlarında sevk sistemleri bölümünü, dizel makineler, elektrik motorları, bataryalar ile hibrit sevk sistemleri oluşturmaktadır. Dizel makineler sistemi bölümünde, dizel makinelerin ortaya çıkışı, çalışma prensipleri ile güç hesaplama parametreleri ifade edilmektedir. Elektrik motorları bölümünde elektrik motoru tipleri, çalışma prensipleri ile güç hesaplama parametreleri belirtilmektedir. Bataryalar bölümünde, batarya tipleri, çalışma prensipleri, işletilme sıcaklık aralıkları, özgül enerjileri detaylı bir biçimde ifade edilmektedir. Son aşamada hibrit sevk sistemi oluşturmak için gerekli bağlantı şemaları ile farklı modlarda işletilme biçimleri belirtilmektedir.

1.1.1 Dizel Makineler Sistemi

Rudolf Diesel tarafından patenti ortaya çıkan dizel makinelerin, çalışma prensibi sabit basınçta sisteme ısı girişi ile beraber sağlanmaktadır (Woodyard, 2009). 1897 yılında Almanya'nın Augsburg şehrinde ürettiği ilk dizel makineyi, Rudolf Diesel piyasaya çıkarmaktadır (Kuiken, 2017). Günümüzdeki dizel makinelerde, bir piston yardımıyla içeriye alınan hava sıkıştırılmakta ve sisteme enjekte edilen yakıt ile ateşlemesi sağlamaktadır. Bu sayede ısı oluşumu gerçekleşmektedir (Woodyard, 2009). Benzinli motorların aksine, dizel makinelerde ek ateşleme sistemine veya bujilere ihtiyaç bulunmamaktadır (Calder, 2007).

Dizel makineler, dizel yakıt kullanan sıkıştırma ateşlemeli motorlardır (Xin, 2011). Dizel makineler diğer içten yanmalı makineler ile kıyaslandığında, kullanım alanı oldukça yaygındır (Reif, 2014). Dizel makineler hemen hemen tüm ulaşım türlerinde uygulama alanına sahiptirler (Zhao, 2009). Otomobillerde, deniz araçlarında, hafif ticari ve ağır yük taşıtlarında, demiryolu lokomotiflerinde, inşaat ve tarım makinelerinde kullanılmak üzere oldukça yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Reif,

2014). Dizel makinelerin kurulumlarında, istenilen güç, operasyonel emniyet, ürün maliyeti, güvenilirlik, çevreci ve kullanıcı dostu olması aranan özelliklerin başlıcalarını oluşturmaktadır (Reif, 2014).

Deniz taşıtlarında kullanılacak dizel makine tipi operasyon yapacak geminin türüne göre çeşitlilik göstermektedir. Sürat teknelerinde yüksek performanslı 400 ila 1500 devir/dakika hıza sahip makineler kullanılırken, büyük tonajlı gemilerde maksimum ekonomi için tasarlanmış iki stroklu dizel makineler kullanılmaktadır. Bu tip makineler birim bazda daha ucuz maliyet getiren ağır yakıtlarla sevk edilebilmektedir (Reif, 2014). Petrol kaynaklarının azalmasının ve birim maliyetinin yükselmesinin yanında dizel makinelerden elde edilen salım (CO_2 , CO , NO_x , SO_x ve PM) miktarlarını en aza indirmek için yenilenebilir ve alternatif yakıtların araştırma ve geliştirilmesinde önemli gelişmeler gerçekleştirilmektedir (Bari, 2013).

1.1.1.1 Dizel Makine Çevrimi

Dizel makineler dizel yakıt ile işletilen sıkıştırma ateşli makinelerdir (Xin, 2011). Dizel makinelerde çevrim dört aşamada gerçekleşmekte, birincil olarak sistemde bulunan hava sıkıştırılmaktadır. İkincil aşama yakıt enjeksiyonu ve yanma, bu aşamada yakıt içeride bulunan sıcak ve basınçlı havaya püskürtülmekte ve sabit basınçta yanma işlemi gerçekleştirilmektedir. Üçüncü aşama genişleme, bu aşamada yanma gerçekleşmesiyle beraber, piston aşağıya doğru hareket etmekte ve çevrim maksimum hacme ulaşmaktadır. Son olarak egzoz valfi açılmakta ve sabit hacimde basınç başlangıç seviyesine gelmektedir. Böylece egzoz aşaması tamamlanmaktadır (Nag, 2002). Dizel çevrimi kapalı bir çevrim olup piston silindir düzeneği içinde gerçekleşmektedir. Çevrimde sabit basınç altında ısı girişi olurken, sabit hacimde ısı çıkışı olmaktadır. İdeal dizel çevriminin ısı verimini giren ısı, çıkan ısı belirlemektedir.

$$Q_{giren} = q_{23} = w_{23} + (\Delta u)_{23} = P_2 (v_3 - v_2) + (u_3 - u_2) = h_3 - h_2 = C_p (T_3 - T_2) \quad (1.1)$$

$$Q_{çıkan} = -q_{41} = -w_{41} - (\Delta u)_{41} = 0 - (u_1 - u_4) = u_4 - u_1 = C_v (T_4 - T_1) \quad (1.2)$$

$$\eta_{th,diesel} = W_{net}/q_g = 1 - (q_c/q_g) = 1 - (T_1(T_4/T_1 - 1)) / (k T_2(T_3/T_2 - 1)) \quad (1.3)$$

Isı girişi q_{23} , ısı çıkışı q_{41} süreçlerinde meydana gelmektedir (Nag, 2002). İdeal dizel çevriminde yanma işleminin gerçekleştiği 2. ve 3. noktalar arasındaki hacimlerinin birbirine oranı kesme oranını vermektedir.

$$r_c(\text{kesme oranı}) = V_3 / V_2 = v_3 / v_2 \quad (1.4)$$

$$k = C_p / C_v \quad (1.5)$$

$$\eta_{th,diesel} = 1 - ((1/(r^{k-1}))(r_c^k - 1/(k(r_c - 1)))) \quad (1.6)$$

Kesme oranına bağlı olarak elde edilen ısı verim bağıntısı (1.6) da ifade edilmektedir. “r” sıkıştırma oranı, “k” ise özgül ısılar arasındaki oranı vermektedir. Aynı sıkıştırma oranında Otto çevrimi Dizel çevrime göre daha yüksek ısı verime sahiptir. Buna karşın sıkıştırma ateşlemeli makineler (CI) kıvılcım ateşlemeli makinelere göre daha yüksek sıkıştırma oranlarıyla çalışabilmesinden dolayı daha yüksek termal verimliliğe sahip olmaktadır (Willard, 2004).

$$\eta_{th,Otto} > \eta_{th,diesel} \quad (1.7)$$

Belirli sıkıştırma oranlarında, dizel makinelerin r_c değerlerine göre diğer makinelere göre verimlilik yönünden avantajları görülmekte ve yüksek sıkıştırma oranlarında işletilmektedir (Willard, 2004).

1.1.1.2 Dört Stroklu Dizel Makineler

4 stroklu dizel makinenin çalışma döngüsü incelendiğinde emme, sıkıştırma, güç ve egzoz stroku olmak üzere 4 aşamada gerçekleşmektedir (Reif, 2014). Dört stroklu dizel makinelerde emme stroğunda sisteme hava alınmaktadır. Sisteme giren hava, yüksek sıkıştırılma oranıyla beraber üzerine yakıt püskürtülmesiyle kendi kendine tutuşabilecek seviyeye ulaşmaktadır (Ganesan, 2012).

Valf zamanlama diyagramına göre piston çevrime üst ölü nokta (ÜÖN) dan başlamaktadır. Birincil olarak, içeriye hava girişi ile beraber piston aşağıya doğru hareket etmektedir. Sıkıştırma prosesinde hava giriş valfi kapanmakta ve içerideki

havayı sıkıştırmaktadır (Reif, 2014; Khajepour ve diğer., 2014). Makinenin tipine ve devrine bağlı olarak, ÜÖN ya gelmeden 10–20 ° önce enjektörlerden yakıt atomize bir biçimde sisteme giriş yapmaktadır. ÜÖN ya gelmeden 2–7° arasında yine makinenin tipine bağlı olarak yanma olayı başlamaktadır (Woodyard, 2009). Sıkıştırma oranı 6:1 ila 24:1 arasında değişmektedir. Süreç sonunda hava 900°C ve yakıt püskürtülmesi işlemiyle basınç 2000 bar seviyelerine kadar ulaşabilmektedir(Reif, 2014). Piston, yanmanın etkisiyle ÜÖN dan alt ölü nokta (AÖN) ya ilerlerken, 30-50°'lik bir süre boyunca yanma devam etmektedir. Piston hareketi, genellikle yanmaya yardımcı olmak için hava hareketine neden olmaktadır (Woodyard, 2009). Dört stroklu makineler yakıt yanma verimliliği yönünden önemli bir tasarıma sahip olmakta ve krank milinin dönmesi ile indüksiyon, yanma, güç ve egzoz strokları sırasıyla birbirini takip etmektedir (Alturki, 2017).

1.1.1.3 İki Stroklu Dizel Makineler

İki stroklu dizel makineler oldukça yüksek güç gerektiren deniz taşıtlarının sevinde kullanılmaktadır (Ganesan, 2012). Denizcilik sektöründe 1500 – 100000 kW güç aralıklarında ağır yakıtlarla sevk edilen iki stroklu düşük devirli ana makineler kullanılmaktadır (Kuiken, 2017).

İki zamanlı makinelerde, her bir çevrimde ÜÖN bölgesinde yanma olayı meydana gelmektedir (Baranescu ve Challen, 1999). İki stroklu dizel makinelerde krank mili 360° derece döndüğünde bir çevrim tamamlanmaktadır. Piston AÖN dan ÜÖN ya giderken hava girişi ve sıkıştırma olurken, piston ÜÖN dan AÖN ya gelirken güç ve egzoz oluşumu gerçekleşmektedir (Kuiken, 2017).

İki stroklu dizel makinelerde döngü belirli aşamalarda olmaktadır. İlk olarak piston AÖN da bulunmaktadır. Bu durumda egzoz ve hava girişi açık konumdadır. Sisteme hava girişiyle beraber piston AÖN dan ÜÖN ya doğru hareket ederken hava girişini kapatmaktadır. Daha sonra ÜÖN ya pistonun hareketi sırasında egzoz portu kapanmakta ve içindeki hava sıkıştırılmaktadır. Böylece küçük bir hacimde yüksek basınç ve sıcaklıkta hava elde edilmektedir (Kuiken, 2017). Piston yaklaşık olarak 10°

krank açısına yani ÜÖN ya gelmeden biraz önce yakıt püskürtülmeye başlanmaktadır. Yakıt, basınçlı havayla beraber tutuşmakta ve pistonu AÖN ya doğru itmektedir. Bu kısım güç stroku olarak tanımlanmaktadır. Piston hava giriş portuna yaklaşıncı egzoz çıkışı açılır ve yanma ürünleri bu porttan gönderilmektedir. Piston ilerlemesi ile beraber sisteme giren temiz hava kalan egzoz gazlarının dışarı atılmasını sağlamaktadır. Egzoz gazlarının atılmasından sonra egzoz portu kapanmakta ve çevrim kendini tekrarlamaktadır (Haider ve diğer., 2011).

Denizcilik sektörü açısından bakıldığında hem iki stroklu makineler hem de dört stroklu makineler yaygın olarak kullanılmaktadır. Okyanus ötesi işletilen deniz taşıtları için genellikle iki stroklu makineler kullanılmaktadır (Wankhede, 2016). İki stroklu makineler daha yüksek güç-ağırlık oranına sahiptir. Bu yönünden dolayı özellikle ticaret ve kargo gemileri için karlı bir seçenek haline gelmektedir (Alturki, 2017).

1.1.1.4 Gemi Ana Makine Parametreleri

Piston Stroğu (S), dizel çevrimine göre hareket eden piston AÖN dan ÜÖN' ya doğru hareket etmek etmektedir. Bu hareketi sırasında süpürdüğü düşey mesafe piston stroğu olarak ifade edilmektedir. 2 stroklu *cross-head* makinelerde 3200mm civarlarına kadar bu mesafe ulaşmaktadır. Makinenin ön görünüş kesitine bakıldığında krank pini krank saftı merkez alarak dairesel hareket yapmakta ve krank çemberi olarak ifade edilmektedir

Silindir Çapı(D) ve Strok Hacmi (V_s), silindir laynerinin yani silindir gömleğinin çapını ifade etmektedir. 2 stroklu *cross-head* makinelerde 1080mm civarlarına kadar bu mesafe ulaşmaktadır. 4 stroklu *trunk* pistonlu makinelerde S/D oranı 0,8 ila 1,5 iken. 2 stroklu *cross-head* makinelerde bu oran 2 ila 4 değişmektedir (Kuiken, 2017).

$$V_s = \pi /4 * D^2 * S \quad (1.8)$$

Strok hacmi pistonun AÖN ile ÜÖN arasındaki hacmi ifade etmektedir. Silindir çapına ve piston stroğuna bağlı formülü (1.8) de ifade edilmektedir. Ortalama piston hızı (C_p) ve krank kolu uzunluğu(L_c), piston hızını birim dakikadaki devir sayısı ile strok uzunluğu belirlemekte ve ortalama piston hızı metre ve saniye cinsinden ifade edilmektedir (Kuiken, 2017).

$$C_p=2*S*n \quad (1.9)$$

Hız fonksiyonuyla makine hakkında bilgi edinmek, krank dönme hızından daha uygun bir parametre olduğu belirtilmektedir (Ganesan, 2012). Ortalama piston hızı makinenin derecelendirilmesinde bir gösterge olarak kullanılmaktadır. Yüksek piston hızı düşük piston hızlarına göre daha fazla sürtünme ve aşınmaya sebep olacağı görüşü, modern dizel uygulamalarındaki gelişmiş yağlama teknikleriyle ortadan kalkmaktadır (Woodyard, 2009). 2 stroklu *cross-head* makinelerde piston hızı 6-8 m/sn iken, 4 stroklu makinelerde 8-12 m/sn değerlerindedir (Kuiken, 2017).

Piston pini ile krank pini merkez eksenleri arasındaki mesafe krank kolu uzunluğunu ifade etmektedir. Krank kolunun genellikle 3,5-4,5 katı bir uzunluğa sahiptir (Kuiken, 2017).

Ortalama efektif basınç, hesaplanan veya ölçülen çıktıya dayanan, bir içten yanmalı makinenin silindirlerindeki ortalama basınçtır. Herhangi bir makinenin katalog verlerinde belirtilen hız ve güç çıkış değerine göre, indike ve fren ortalama efektif basınç değerleri ifade edilmektedir (Ganesan, 2012).

Ana makine tork ve güç hesabı, tork krank safta uygulanan anlık bükme kuvvetidir (Dempsey, 2007) ve döndürme oluşturmaktadır. Oluşan dönme momentinin büyüklüğü makinenin torkunu ifade etmektedir. Pervaneden elde edilen tork değerleri makineleri karşılaştırmada ve pervane seçiminde çok değerli bir etmeni oluşturmaktadır (Calder, 1992).

Tork çıkışını belirlemek için, araştırmacılar makineyi dinamometreye monte etmekte ve makineyi durdurabilmek için gereken frenleme kuvvetini ölçmektedir (Dempsey ve Shelby, 2010). Ana makineden elde edilecek güç çıktısı piston çapı, strok uzunluğu, makine devrine, silindir sayına ortalama basınç değerleri hesaba katılarak yapılmaktadır (Kuiken, 2017). Makine üzerinden elde edilen güç makinenin torkuna ve devir/dakika cinsinden hızına bağlı elde edilmektedir. Makinenin devir/dakika cinsinden hızı artarsa elde edilen güç çıktısı artmaktadır (Reif, 2014; Kuiken, 2017).

$$\text{Tork} = \text{Güç} * \text{Hız}(\text{dev/dk}) \quad (1.10)$$

$$P_i = \pi / 4 * D^2 * S * (n/a) * Z * p_{im} \quad (1.11)$$

$$P_e = \pi / 4 * D^2 * S * (n/a) * Z * p_{em} \quad (1.12)$$

Ana makinelerin kıyaslaması genellikle beygir gücü değerleri üzerinden yapılmaktadır. Fakat beygir gücü değeri o makinenin belirli durumlarda uygulanabilirliği ve üretilen kullanabilir güç hakkında net bilgi vermede kesin bir veri değildir (Calder, 1992). Ana makinelerdeki güç ve yakıt tüketimin kapsamlı olarak ifade edilmesi için, tüm çevre şartları dikkate alınarak matematiksel model oluşturulmakta ve bu sayede daha yararlı sonuçlar elde edilebilmektedir (Kökkülünk, 2016).

Yük Faktörü, gemi yaşlandıkça ve gövdede oluşan kirlenme arttıkça gemide oluşan hidrodinamik direnç artmaktadır. Gemi kötü hava koşullarıyla karşılaştığında ana makine gücü talebini artmakta bir hava faktörü ve gemi hafif yüklendiğinde yük faktörünü azalmaktadır. Gemi operasyon süresi, gemi tipi, gemi hızı, tekne kirlenme faktörü, hava koşulları ve gemi su çekimi etkilemektedir (The International Council on Clean Transportation (ICCT), 2017).

1.1.2 Elektrik Motorları

Elektrik motorun tarihçesine bakıldığında Michael Faraday'ın elektromanyetik indüksiyonu ortaya çıkarması sonucu, ilk elektrik motor konusu gündeme gelmektedir. 1831 yılında Michael Faraday ve Joseph Henry elektrik motorları ile ilgili yapılan

Manyetik alanlar, motorlarda, jeneratörlerde ve transformatörlerde enerjinin bir formdan diğerine dönüşmesini sağlayan mekanizma olarak belirtilmektedir (Chapman, 2005). Kondüktörlerde daha büyük bir manyetik akı oluşturmak amacıyla yüksek manyetik geçirgenliğe sahip ferromanyetik malzemeler kullanılmaktadır. Bu duruma ek olarak sabit bir mıknatıs kullanarak da manyetik akı eldesi gerçekleştirilmektedir (Kim, 2017).

1.1.2.1 Doğru Akım Motoru

Doğru akım motorları elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren motorlar olarak tanımlanmaktadır (Chapman, 2005; Nam, 2018). Bir doğru akım motorunda, stator tarafından oluşturulan manyetik alana yerleştirilmiş akım taşıyan iletkenler üzerinde üretilen kuvvetle rotorun döndürülmesi sağlamaktadır. DC motorlarda stator manyetik alanı ve rotor manyetik alanı olmak üzere iki sabit manyetik alan bulunmaktadır. Stator manyetik alanı mıknatıslar ve alan sargısı tarafından üretilmektedir (Kim, 2017; Nam, 2018). Doğru akım motorlarında akımın, fırçalar ve komütatörler vasıtasıyla rotora beslenmesi gerekmektedir (Hughes ve Drury, 2019). Rotor manyetik alanı, rotorun iletkenlerinde akım tarafından üretilmekte ve rotorun dönmesine rağmen sabit bir manyetik alan oluşturmaktadır (Kim, 2017). Doğru akım motoru alan sargılarının konumunu belirleyen çıkıntılara ve kutuplara sahip bir sistemden oluşturmaktadır (Hughes ve Drury, 2019). Doğru akım motorlarında hız ve tork kontrolü oldukça basit bir biçimde gerçekleştirilmekte ve bu tip motorlarda hız voltajla, tork akımla doğru orantılı bir biçimde işletilmektedir (Kim, 2017; Nam, 2018). Doğru akım motorlarının hız kontrol aralığının geniş olması, tork kontrolünün kolay olması dolayısıyla ayarlanabilir hız sürücülerinde veya değişken tork kontrollerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Kim, 2017; Marino ve diğer., 2010). Manyetik alan ve rotor akımı tarafından akıları ve tork değerleri bağımsız olarak kontrol edilmektedir (Marino ve diğer., 2010).

Doğru akım motorlarının başlıca ekipmanlarını, Stator, Rotor, Fırçalar, Komütatörler, bobinler, mıknatıslar ve yataklar oluşturmaktadır (Kim, 2017). Fırçalar, komütasyon mekanizması olarak hizmet vermektedir. Komütatörlerde, genellikle

bakır kullanılmakta fakat yüksek sıcaklıkları karşılaması amacıyla içerisine az miktarda gümüş karıştırılarak imal edilmektedir. Endüvi bobini, mıknatıs teli olarak bilinen elektrik teli kullanılmakta ve bu telin çapı motorun özelliklerine göre seçilmektedir. Komütatörlere kaynak veya lehimleme gibi birleştirme işlemleriyle bağlanmaktadır (Servo, 2006).

DC motorlarda armatür sargısı ve alan sargısı olmak üzere iki ana bobin bulunmakta (Nam, 2018) ve güç kaynağına bağlandıklarında bobinler üzerinde akımlar oluşmaktadır. Elde edilen akımlarla birlikte kondüktörler üzerinde bir kuvvet oluşmakta buda rotoru döndürmektedir. Bobin iletkenlerinden geçen akımın bu yön değiştirmesi komütasyon olarak ifade edilmektedir (Elektrikport, 2019). DC motorlarda fırça ve komütatör aracılığıyla endüvi bobinde alternatif akım oluşturmaktadır (Han, 2018). Bu alternatif akımın frekansı daima bobinin açısal hızıyla aynı olmakta buda rotorun hızını göstermektedir (Kim, 2017). Açısal hız, açısal yer değiştirmenin zamana göre değişim oranı olarak tanımlanmaktadır (Chapman, 2005).

$$\omega = \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (1.13)$$

Doğru akım motorunun endüvi sarımı, ortalama torku artırmak ve tork dalgalanmasını azaltmak için birçok bobine sahiptir. Her bir bobin ve fırça yalıtılmış komütatörü aracılığıyla DC güç kaynağına bağlanmaktadır (Kim, 2017). Kollektörler ve fırçalar yardımıyla akım yön değiştirmesi sağlanmaktadır (Elektrikport, 2019).

Herhangi bir besleme gerilimi için doğru akım motoru tasarlamak mümkündür ancak birkaç nedenden ötürü, 6 V'den düşük veya 700 V'den çok daha yüksek nominal gerilimleri bulmak mümkün değildir (Hughes ve Drury, 2019).

Fırçaları ve komütatörleriyle ilişkili yıpranma nedeniyle, DC motorlar çok daha fazla bakım gerektirir ve yüksek hız, voltaj (Marino ve diğer., 2010) gerektiren operasyonlarda sınırlı kullanıma sahiptir (Kim, 2017). Genellikle karbondan

üretildikleri için fırçalar belirli bir zaman periyodunda aşınmakta ve bu aşınma süresi dikkate alınarak fırçanın servis ömrü belirlenmekte ve bu durum doğru akım motorunun operasyonun ömrünü etkilemektedir (Elektrikport, 2019). DC motorlar güç yoğunluğu, güvenilirlik ve verimlilik açısından AC motorlarla kıyaslandığında daha düşük değerlere sahiptir (Nam, 2018).

1.1.2.2 Alternatif Akım Motoru

Alternatif akım motoru, doğru akım motorunun aksine iki dönen manyetik alan arasındaki kuvveti kullanmakta ve elektromanyetik indüksiyon temelinde tork üretmektedir (Kim, 2017; Nam, 2018). Alternatif akım motorları senkron ve asenkron elektrik motorları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu iki tip motorda stator manyetik alanı benzerken, rotorun oluşturduğu manyetik alanda farklılaşma oluşmaktadır (Chapman, 2005; Kim, 2017).

Sabit mıknatıslı senkron AC motorlar ile asenkron AC motorların hız değişimlerine cevap verme süresine yapılan test çalışmasında asenkron AC motorların istenilen hıza daha erken sürede ulaşıldığına varılmaktadır (Kıyak ve Kaya, 2020). Buna karşın yüksek tork gerektiren uygulamalarda sabit mıknatıslı senkron AC motorların kullanımının ön plana geldiği test aşamasından elde edilmektedir (Kıyak ve Kaya, 2020).

Senkron motorlarda rotor üzerindeki sabit manyetik alan mıknatıslar tarafından veya alternatif güç kaynağından bağımsız doğru akım güç kaynağından desteklenen alan sargısı ile üretilmektedir. Bu motorlarda rotor manyetik alanı rotora göre sabit durmakta ve bu nedenle tork eldesi için rotor, statordaki dönen manyetik alan ile aynı hızda olması gerekmektedir. Bu hıza senkron denilmekte ve bu yüzden tip motorlar senkron motor olarak adlandırılmaktadır (Kim, 2017).

Asenkron motorun rotorundaki tork üreten akımlar, statordan elektromanyetik indüksiyonla aktarılmakta ve bu farklılık sebebiyle bu motor indüksiyon veya asenkron motor olarak ifade edilmektedir. Rotor manyetik alanı göreceli olarak rotor

ile aynı hızda dönmekte ve tork üretmektedir (Kim, 2017; Hughes ve Drury, 2019). Stator alanı ile rotor arasındaki hız kayması ile orantılı biçimde tork üretimi gerçekleşmektedir (Nam, 2018).

Tam olarak ifade edilmesi gerekirse rotorun dönen manyetik alan hızı, statorun dönen manyetik alanının hızı ile rotorun hızı arasındaki fark kadar dönmektedir. Rotor tahrikini elektromanyetik indüksiyonla sağlamak için, rotorun hızı her zaman senkron hızdan daha düşük olması gerekmektedir (Kim, 2017).

$$n_{sync} = \frac{120 * f_e}{P} \quad (1.14)$$

Senkron hız ile rotor hızı arasındaki fark kayma hızı olarak tanımlanmaktadır (Chapman, 2005).

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m \quad (1.15)$$

$$s = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} \quad (1.16)$$

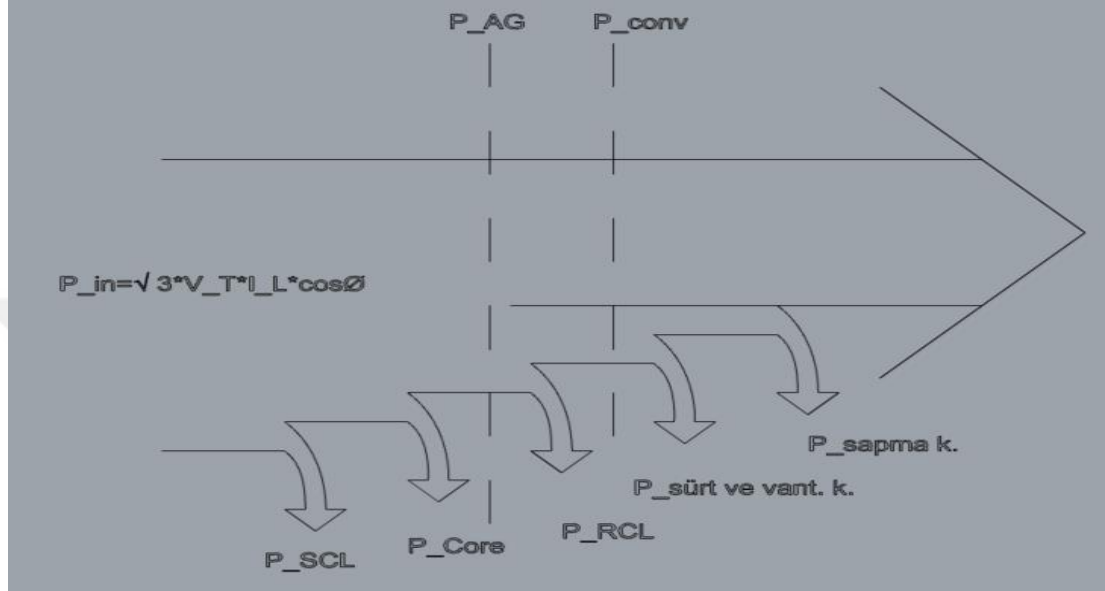
Elektrik motorunun kayma hızı “ n_{slip} ” değeri rotorun frekansı ve kutup sayısı ile bağıntılıdır (Chapman, 2005).

$$f_r = s * f_e \quad (1.17)$$

$$f_r = \frac{P}{120} * n_{slip} \quad (1.18)$$

İndüksiyon motorundaki hem stator hem de rotor belirgin olamamakla birlikte sistem dışarıdan pürüzsüz görülmektedir (Hughes ve Drury, 2019). Teknolojinin gelişmesiyle beraber makul maliyetlerle yüksek performans eldesi sağlayan alternatif akım motorları kullanmaya başlanmaktadır (Kim, 2017). Bakım tutum açısından değerlendirildiğinde, asenkron motorun kayan mekanik temasların olmaması doğru akım motorlarına göre önemli bir avantaj sağlamaktadır (Hughes ve Drury, 2019). İndüksiyon motorlarda rotora elektrik bağlantısı olmadan çalışabilmekte, fırçalar ve komütatöre ihtiyaç kalmamaktadır (Nam, 2018). Asenkron motorlarda elde edilen güç

aktarılrken çeşitli kayıplar meydana gelmektedir. Her bir aşamadaki kayıplar Şekil 1.2’de ifade edilmektedir (Chapman, 2005; Nam, 2018). İlk olarak giriş gücü “ P_{in} ” olarak ifade edilmektedir. Daha sonra çeşitli kayıplar hesaba katılarak “ P_{out} ” hesaplanmaktadır.



Şekil 1.2 Asenkron motordaki kayıplar (Chapman, 2005; Nam, 2018)

Stator bakır kayıpları, stator sargılarındaki kayıpları “ P_{SCL} ”, göbek kayıpları, statorda gecikmeden ve girdap akımlarından oluşan kayıplar “ P_{core} ”, belirtilen kayıplardan sonra rotora iletilen güç hava aralığı gücü “ P_{AG} ”, rotor bakır kayıpları “ P_{RCL} ”, rotordada çeşitli kayıplar hesaplandıktan sonra elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümden elde edilen güç “ P_{conv} ” olarak tanımlanmaktadır (Chapman, 2005; Nam, 2018).

$$P_{in} = \sqrt{3} * V_T * I_L * \cos\theta \quad (1.19)$$

$$P_{out} = \tau_{load} * \omega_m \quad (1.20)$$

Sürtünme, ventilasyon ve sapma kayıpları da hesaba katılınca çıkış gücünün eldesi sağlanmaktadır. Motorun dönüş hızıyla doğru orantılı olacak şekilde bu kayıpların miktarında artış meydana gelecektir. Çıkış gücü elde edilen tork değeri ve açısal hız ile formüle edilmektedir (Chapman, 2005). İndüksiyon motorları mekanik şok ve

titreşimlere karşı dayaklı yapıya sahip olmakla birlikte minimum bakım tutum ile işletilebilmektedir (Nam, 2018).

Asenkron motorlar rotor sargılı ve sincap kafesli olmak üzere iki farklı gruba ayrılmaktadır (Kim, 2017; Nam, 2018). Test laboratuvarındaki yapılan deneylerde sincap kafesli asenkron motorlar kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalara bakıldığında tüm AC motorların yaklaşık olarak %90'ı asenkron motor oluşturmakla birlikte; asenkron motorların %95'ini ise sincap kafesli asenkron motorlar oluşturmaktadır (Parekh, 2003; Demirbaş ve diğer., 2008; Nam, 2018). Sincap kafesli asenkron motorların basit yapısı, bakım tutum maliyetlerin düşük olması, yüksek verimliliği, ısınma durumuna karşı direnci, düşük bakır kayıpları önemli avantajlarını oluşturmalarına rağmen; start anında yüksek akım çekmesi, hız kontrolü eksiliği ve start anındaki düşük tork değeri dezavantajlarını oluşturmaktadır. Rotor sargılı asenkron motorların düşük akımda yüksek tork değeri eldesi, hız kontrolünün yapılabilmesi pozitif yönlerini oluştururken, düşük verimlilik çıktısı, karmaşık yapısı, aşırı ısınma durumu, yüksek bakır kayıpları, fırça ve dişli gibi yapıların oluşturduğu ek bakım tutum maliyetleri negatif yönlerini oluşturmaktadır (Demirbaş ve diğer., 2008; Nam, 2018, Electricalarticle, 2020).

Sincap kafesli asenkron motorlar, üç fazlı indüksiyon motorun çeşitlerinden biri olup, görünümünden kaynaklı sincap kafesli olarak tanımlanmaktadır. Çalışma prensibi incelendiğinde, ilk olarak alternatif akım stator sargılarını etkilemekte buda dönen manyetik alan oluşturmaktadır. Bu rotorda akım ve manyetik alan oluşturmaktadır. Manyetik alanlarda oluşan etkileşim sincap kafesli rotorda tork üretmektedir (Electrical4U, 2019).

Sincap kafesli asenkron motorların hızını ve torkunu ayarlamak oldukça kolay olmakla birlikte bu tip motorların güvenilir, kendi kendine startlanabilir ve daha düşük maliyetli olması birçok endüstride kullanılmasına imkân sağlamaktadır (Electrical4U, 2019; Parekh, 2003). Doğru akım motorlarına göre daha basit bir yapıya sahip olmakta, operasyonlarında aşırı yüklemelere izin vermekte ve aynı boyuttaki doğru akım motorlara göre daha yüksek tork değerleri elde edilmektedir (Marino ve diğer.,

2010). Yüksek verimlilik, düşük gürültü seviyesi, kurulum kolaylığı ve düşük bakım-tutum maliyeti sincap kafesli asenkron motorların çeşitli avantajlarından birisini oluşturmaktadır (Koncar, 2006). Asenkron motorların kontrolü doğru akım motorlarına kıyasla oldukça zor olmasına rağmen, fırça, komütatör ve sincap kafesli motorlarında rotor sargıları bulunmamaktadır (Marino ve diğer., 2010).

1.1.3 Bataryalar

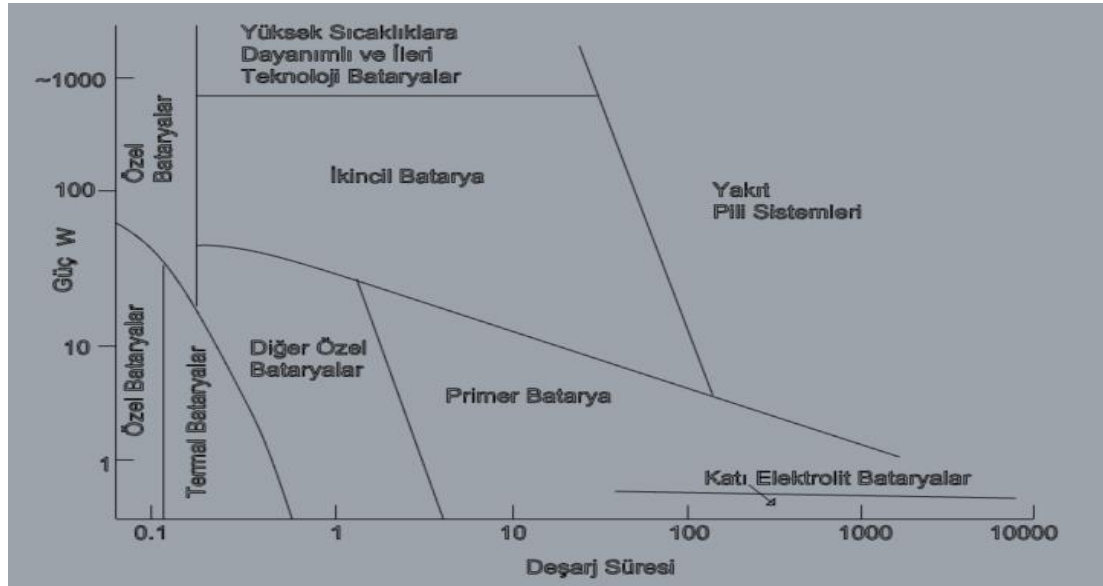
Elektrik enerjisi insanların günlük yaşamında önemli bir oynamakta ve bu enerji mekanik enerjisi dönüşümde, ısınmada ve aydınlatmada kullanılmaktadır. Bataryalarda kimyasal bileşikler enerji depolanmakta ve herhangi bir deşarj durumunda kimyasal tepkime meydana gelmekte, böylece bataryadan belirli voltajda elektrik akımı çekilerek enerji üretimi gerçekleştirilmektedir (Kiehne, 2003).

Bataryalar anot ve katot elektrotlar, seperatörler, elektrolit (Link ve diğer., 2015), negatif ve pozitif olmak üzere terminaller ile birlikte kasa “case” olmak üzere beş ana bileşenden oluşmaktadır. Batarya hücreleri paralel ve seri biçimde elektriksel olarak bağlanarak, elektronik tahrik sistemlerine güç sağlayan batarya takımını oluşturmaktadır (Dhameja, 2001). Batarya motora yada başka bir elektriksel yüke bağlandığında bataryada kimyasal reaksiyon gerçekleşmekte böylece katodundan anotuna doğru akım akmaktadır (Link ve diğer., 2015). Elektrik yüklü parçacıkların geçişine izin vererek iletkenlik sağlayan elektrolit; sıvı, jel veya katı halde olabilmektedir (Dhameja, 2001).

Batarya, aktif maddelerdeki kimyasal enerjiyi oksidasyon (yükseltgenme) ve redüksiyon (indirgeme) reaksiyonlarıyla doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır (David ve Thomas, 2001). Elektrolit yoluyla eksi yüklü iyonlar anot tarafına, artı yüklü iyonlar ise katot tarafına geçmektedir. Elektron veren yükseltgenme reaksiyonları anodik, elektron alan indirgenme reaksiyonları ise katodik reaksiyonları ifade etmektedir (Kiehne, 2003). Pozitif elektrotlar katot olarak ifade edilmektedir. Negatif elektrot anot olarak adlandırılmakta (Kiehne, 2003) ve iki elektrot bir tel ile bağlandığında bir akım akmaktadır (Crompton, 2000). Negatif elektrotlar oksitlenmiş

maddeyi, pozitif elektrotlar indirgenmiş oksitleyici maddeyi içermektedir. Bundan dolayı negatif elektrotlar elektronları serbest bırakırken, pozitif elektrotlar elektron almaktadır (Kiehne, 2003). Bataryalar elektronik cihazlarda, uzay araştırmalarında, denizcilik sektöründe, kara taşıtlarında olmak üzere birçok alanda işletilme olanağı sağlamaktadır (David ve Thomas, 2001). Hücrelerin voltajı ve direnci, hücrelerde kullanılan elementlerin kimyasal özelliklerine bağlı olduğundan dolayı, hücrelerin seçimi elektrikli taşıtların verimliliği açısından çok büyük önem oluşturmaktadır (Link ve diğer., 2015).

Batarya tipinin seçiminde, bataryanın elektrokimyasal sistemi, voltajı, çekilen akım miktarı, işletilme sıcaklık aralığı, operasyon ömrü, boyut, şekil, ağırlık gibi fiziksel gereksinimleri, raf ömrü, şarj verimliliği, titreşim, basınç, nem gibi çevresel koşullara dayanımı, emniyet ve güvenilirlik derecesi, bakım ve tedarik hizmetleri, satın alma ve işletim maliyetleri önem arz etmektedir. Bataryaların çok farklı tiplerinin ve boyutlarının bulunması, çok çeşitli alanlardaki uygulamalarda kullanımlarına olanak sağlamaktadır (David ve Thomas, 2001). Farklı batarya tiplerinin çektikleri güce ve deşarj olma süreleri Şekil 1.3’de ifade edilmektedir.



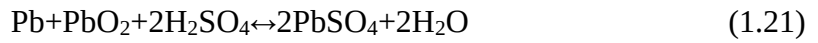
Şekil 1.3 Farklı batarya tiplerinin çektikleri güç ve deşarj olma süreleri (David ve Thomas, 2001)

Primer bataryalar düşük ve orta seviyede güç üretmekte kullanılan, maliyetleri ucuz, deşarj süreleri uzun, ağırlıkları az olan bataryalardır. Genellikle paketlenmiş bir

şekilde imal edilmekte aydınlatma cihazlarında, hesap makinelerinde, saatlerde vb. alanlarda uygulamalarına rastlanmaktadır. İkincil bataryalar genellikle şarj edilebilir bataryalar olarak adlandırılmakta ve enerji depolama araçları olarak kullanılmaktadır. talep edilen yüklemeye göre enerji iletimi sağlamaktadır. Hibrit ve elektrikli araçlarda bu tip bataryalar kullanılmaktadır. Primer bataryalara göre tercih edilmesinin sebebi şarj edilebilir olmasından dolayı maliyet tasarrufu gerektiren durumlarda ve yüksek güç taleplerinden dolayı ikincil bataryalar kullanılmaktadır. Özel bataryalar kısadeşarj süresine gerektiren uygulamalarda yer almaktadır. Bu tip bataryalar askeri amaçlı füze sistemlerinde kullanılmaktadır. Katı elektrolit bataryalar çok düşük akım çekmekte fakat yüksekdeşarj ve raf süresine sahip olan bataryalardır. Kalp pili bu tip bataryalara örnek gösterilmektedir (David ve Thomas, 2001).

1.1.3.1 Kurşun-Asit Bataryalar

Kurşun ve kurşun oksitin, kurşun sülfat oluşumuna dayanan Kurşun- asit bataryalar 1859 yılında Fransız kimyager Gaston Plante tarafından ortaya konulmaktadır. Elektrolit olarak sülfürik asit kullanılmaktadır. Kurşun-Asit bataryalarda meydana gelen kimyasal reaksiyon formülü (1.24) te ifade edilmektedir (Enos, 2015). Kurşun-asit bataryaların ortaya çıkması elektrikli taşıtlarının kullanımını ortaya çıkarmasına karşın, bir litre benzinin 100 litre Pb-asit batarya eşdeğeri bir kimyasal enerji içermesi, benzin ikmalinin kısa sürmesi ve tedarikinin kolayca yapılması 1920 yılında elektrikli taşıtların kullanılması fikrini ortadan kaldırmaktadır (Dhameja, 2001).



Kurşun-asit bataryalar, geniş bir sıcaklık aralığında çalışmakta ve sistem enerji üretirken zarar verici kimyasal reaksiyonlara sebep olmamaktadır. Bu tip bataryalar şarj vedeşarj edilmeye uygun biçimde imal edilmekte ve değişken sıcaklık aralıklarında oldukça güvenilir bir performans ortaya koymaktadır. Enerji yoğunluğu ve özgül yoğunluğu düşük olmasına rağmen çevreci olmaları ve düşük maliyetli olmaları bu tip bataryaları ön plana çıkarmaktadır (David ve Thomas, 2001).

Kurşun-asit bataryalar depolama ve deşarj durumlarında -65 ila +65°C sıcaklıkları arasında, şarj durumunda ise -40 ila +65°C arasında çalışabilmektedir (Crompton, 2000). Kurşun-asit bataryalar, istekler doğrultusunda bir amper-saatten birkaç bin amper-saate kadar enerji sağlayan çeşitleri üretilmektedir. Batarya hücreleri geri dönüşüm sistemlerine uygun olmakta ve kolayca geri dönüşüm sağlanmakta (David ve Thomas, 2001), yaklaşık olarak %99'dan fazla kurşun bazlı bataryalar Avrupa ve Amerika'da toplanıp, geri dönüşüm sistemlerinde kullanılmaktadır (May ve diğer., 2018).

Kurşun-asit bataryaların zamana bağlı birincil deformasyon problemi elemanlarının anodik korozyonunu içermektedir. Pozitif plakalardaki aktif maddenin bozulması sonucu bataryada dökülme, tortulaşma ve yapışma kaybı gibi oluşumlar meydana gelmektedir. Zamana bağlı olarak batarya sisteminde kısa devre oluşumu buharlaşma veya gazlanmaya neden olmakta bu durum hücrelerde su kaybını meydana getirmektedir (Enos, 2015). Kurşun-asit bataryaların 30-40 Wh/kg arasında değişen sınırlı enerji yoğunluğu, çok küçük boyutlarda üretim imkânının zor olması, bazı çeşitlerinde korozyon meydana gelmesi, antimon ve arsenik içeren tiplerin bulunması bu bataryanın bazı dezavantajlarını oluşturmaktadır (Salkind ve diğer., 2002).

1.1.3.2 Lityum-İyon Bataryalar

Lityum oldukça hafif ve reaktif metal özelliğine sahip olmakla beraber (Kiehne, 2003) lityum-iyon bataryalar, pozitif ve negatif malzemeler olarak lityum bileşiklerini kullanan hücrelerden oluşmaktadır (David ve Thomas, 2001). Lityum iyon bataryaların 1991 yılında Sony şirketi tarafından ilk ticari uygulamaları üretilmekte ve bu sayede cep telefonları, bilgisayarlar ve kameralar için hafif, küçük ve oldukça fazla güç veren depolama sistemleri oluşturulmakta (Bresser ve diğer., 2015) ve yeniden şarj edilebilme özelliğine sahiptir (Kiehne, 2003).

Pozitif elektrot lityum kobalt oksit gibi katmanlı bir yapıya sahip metal oksitten oluşmakta veya lityum mangan oksit gibi yapıya sahip malzemeden oluşmaktadır. Negatif elektrot malzemesi ise akım toplayıcı bakır üzerindeki grafit karbondan

oluşmaktadır (David ve Thomas, 2001). Lityum-iyon batarya tiplerinde pozitif elektrot olarak LiCoO_2 , LiNiO_2 , LiMn_2O_4 ve LiFePO_4 kullanılmakta negatif elektrot tarafında grafit veya bakır kullanılmaktadır (Kiehne, 2003; Huang ve diğer., 2018).

Lityum-iyon bataryaların avantajlarına gelince kapalı hücrelerden oluşmasından dolayı bakım gerektirmemektedir. Hızlı şarj ve deşarj edilebilme özelliğine, uzun raf ve çevrim ömrüne sahiptirler. Geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilmektedir. Yüksek enerji verimliliğine, yoğunluğuna ve özgül enerji değerlerine sahiptirler (David ve Thomas, 2001). Otomotiv sektöründeki CO_2 salımlarını azaltmak amacıyla hibrit ve elektrikli araçlarda lityum-iyon batarya teknolojisinin kullanımı ön plana çıkmaktadır. Batarya teknolojisinden beklenen ana amaç yüksek sürüş mesafesi, düşük ağırlık artışı, yüksek çevrim ömrü ve işletilme sırasındaki güvenilirliği oluşturmaktadır (Perner ve Vetter, 2015). Günümüzde elektrikli araçlarının çoğu lityum-iyon bataryalar kullanılmaktadır (Cano ve diğer., 2018). Elektrikli araç üreticilerinden Toyota'nın bazı modellerinde Lityum-iyon bataryaların kullanımına rastlanmaktadır (Toyota, 2020). Lityum-iyon bataryaların dezavantajları incelenince orta seviyede yatırım maliyetine sahiptirler. Yüksek sıcaklıkta batarya kimyasal özelliğini kaybetmekte ve bozulmaktadır. Aşırı şarj edildiğinde, ezildiğinde kapasite kaybına ve termal kaçaklara neden olmaktadır (David ve Thomas, 2001). Elektrikli araçların ön plana gelmesiyle birlikte ciddi miktarlarda lityum iyon bataryalara ihtiyaç duyulmakta, fakat bu tip bataryalar zararlı lityum tuzları içeren organik elektrolitler gibi çeşitli ürünler içermektedir. Bu bağlamda çevre kirliliği artmasını ve ham madde kaynaklarının israfını engellemek amacıyla lityum iyon bataryalar üzerine geri dönüşüm sistemlerinin kurulması gerekmektedir (Huang ve diğer., 2018).

1.1.3.3 Nikel-Kadmiyum (Ni-Cd) Bataryalar

Nikel-kadmiyum bataryalar nikel oksit hidroksit ve kadmiyum arasındaki elektron alışverişi oluşan kimyasal tepkimeye yani redoks reaksiyonuna göre çalışmaktadır (Huang ve Du, 2015). Nikel-Kadmiyum bataryalarda iki farklı hücre tipi kullanılmakta bunların birinde kalın plakalı diğerinde sinterlenmiş ince plakalı hücreler olarak kullanılmaktadır (Crompton, 2000). İnce plakalı hücrelere sahip Nikel-kadmiyum

batarya tipleri düşük iç dirence ve yüksek yük kapasitesine sahip olmakta ve bu sayede birim hacim ve ağırlık başına çekilen güç miktarları yüksektir (Crompton, 2000).

Nikel-kadmiyum bataryalar mekanik aksam olarak oldukça sağlam yapıya sahip olmakla beraber, bu tip bataryaların ömrü oldukça fazla ve düşük sıcaklarda işletilmeye uygun bir sisteme sahip olmaktadır (Crompton, 2000). Nikel-Kadmiyum bataryalarda enerji eldesi için gerçekleşen kimyasal reaksiyon (1.22) de ifade edilmektedir (Huang ve Du, 2015).



Nikel-kadmiyum bataryalarda, elektrolit hücre reaksiyonlarında bulunmadığından ötürü, -60°C gibi çok düşük sıcaklıklarda yapılacak uygulamalar için uygun bir batarya sistemidir. Kadmiyum kimyasal yapısı nedeniyle, çeşitli çevresel etkileri meydana gelmektedir. Kadmiyum kullanılan bataryaların yakılması veya atık toplama alanlarına bırakılması sonucu toprağı, suyu ve havayı kirletmektedir. Bu yüzden bu tip bataryaların kullanımına çeşitli bölgelerde sınırlama veya yasak getirilmektedir. Çevresel kaygıları minimize etmek için üretilen bataryaların ömrünü tamamlayanların tüketiciden toplanılması gerekmekte ve buda ek maliyet oluşturmaktadır (Huang ve Du, 2015; Crompton, 2000; Assefi ve diğer., 2018). Bu tüm sebepler göz önünde bulundurulduğunda pazarda payı bulunan diğer batarya tiplerine göre rekabet oluşturması oldukça zor hale gelmektedir (Huang ve Du, 2015; Crompton, 2000).

Nikel-kadmiyum bataryalar, kimyasal yapısından kaynaklık oluşan çevresel kaygılarına karşın, yüksek performans değerleri, dayanıklılığı, düşük bakım maliyeti ve uzun çevrim ömrü açısından oldukça efektif bir yapıya sahip olmaktadır (Huang ve Du, 2015). Geri dönüşüm açısından değerlendirildiğinde bataryalardan farklı ürünler elde edilmekte; örneğin ortaya çıkan Fe ve Ni elementleri doğrudan çelik yapımında kullanılabilir (Hung ve diğer., 2018; Assefi ve diğer., 2018). Acil durum ve güvenlik hizmetleri, havacılık ve “*offshore*” açık deniz gibi alanlarda kullanılmaktadır (Huang ve Du, 2015).

1.1.3.4 Nikel-Metal Hidrid Batarya (Ni-MH)

Nikel-metal hidrid bataryalarda pozitif elektrot olarak nikel oksit hidroksit kullanılmakta ve deşarj durumunda nikel hidroksit olmaktadır. Negatif elektrotta hidrojen emici alaşım kullanılmakta ve deşarj durumunda metal hidrid metal alaşımına yükseltgenmektedir. Elektrolit tipi ise Ni-Cd ile benzerlik göstermekte ve elektrolit çözeltisi yaklaşık olarak %30 potasyum hidroksit içermektedir. (Huang ve Du, 2015).

Nikel-metal hidrid bataryaların yanıcı kimyasallar içermemesi, -30 °C ila 75°C arası sıcaklıklarda işletilebilmesi ve hücre yapısının karmaşık olmayışı bu tip bataryalarının kullanımını ön plana çıkarmaktadır (Huang ve Du, 2015). Nikel-metal hidrid bataryalar elektrikli araçlar için önemli bir noktaya gelmektedir (David ve Thomas, 2001). Otomobil şirketlerinin 20. Yüzyılın sonlarında ve 21. Yüzyılın başlarında ürettiği elektrikli otomobillerde bu tip bataryalar kullanılmaktadır (Huang ve Du, 2015). Toyota RAV4 *Flame* modelinde Ni-MH bataryalar kullanılmaktadır (Toyota, 2020).

Bataryaların çevrim ömrünü tamamlaması sonucu ortaya çıkan nikel, manganez, çinko, kobalt ve diğer elementler göz önünde bulundurulduğunda, bu bataryalar üzerine fiziksel, pirometalurjik ve hidrometalurjik geri dönüşüm süreçleri uygulanarak kazanım sağlanmaktadır (Innocenzi ve diğer., 2017). Nikel-metal hidrid bataryalar yüksek voltajlarda emniyetli bir biçimde işletilmekte, birim hacim başına yüksek güç ve enerji edilmekte, çok düşük bakım maliyetine ve mükemmel derecede termal özelliklere sahiptir (David ve Thomas, 2001).

1.1.3.5 Nikel-Çinko Batarya

Tarihsel olarak bakıldığında, Rusya'da Michaelowski tarafından patentlenen nikel-çinko bataryaların üretim başlangıcı 1901 yılına kadar gitmektedir. 1930 yılında İrlandalı bilim adamı Drumm tarafından bu tip bataryalar üzerinde geliştirilme yapılmaktadır. Bu tip bataryaların çevrim ömrü kısa olduğundan dolayı kullanım alanı azalmakta fakat 1970 yılında meydana gelen enerji krizi göz önüne alındığında

Nikel/Çinko bataryalar tekrar enerji talebini karşılamak amacıyla tekrar ortaya çıkmaktadır. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda çevrim ömründe iyileştirmeler sağlanmaktadır. Nikel-çinko bataryalar elektrot olarak çinko kullanılmaktadır. Nikel-çinko bataryalar litre başına 80 ila 120 Wh ve kilogram başına 50 ila 60 Wh enerji sağlamakta (Coates ve Charkey, 2002), gelecekte ortaya çıkması planlanan ürünlerde kilogram başına 60 ila 80kWh enerji sağlaması beklenmektedir (Kiehne, 2003).

Nikel-çinko bataryalar kurşun asit bataryalara göre kullanılan malzeme ve birim hücre başına elde edilen enerji açısından dezavantajlara sahip olmaktadır. Nikel-çinko bataryaların kullanımlarının artması için daha fazla işletim ömrüne sahip olması gerekmektedir (Kiehne, 2003). Yüksek hızda şarj edilebilme kapasitesi, çevreci bir enerji kaynağı oluşu, sistemde kullanılan hammaddelerin bolca bulunması ve bakım maliyetlerinin düşük olması bu batarya tipini ön plana çıkaran özellikleri oluşturmaktadır (Coates ve Charkey, 2002; Zhou ve diğer., 2020).

Elektrikli ve hibrit araçlar için enerji depolama sistemleri oldukça önem arz etmekte, bu tip bataryalarda enerji depolamak amacıyla güneş, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu bataryaların kullanım alanlarının artması için bakım tutum maliyetlerinin azaltılması birim başına çekilen güç miktarının ve çevrim ömrünün artırılması istenmektedir (Symons ve Butler, 2002; Zhou ve diğer., 2020).

1.1.3.6 Sodyum Sülfür ve Sodyum / Nikel-Klorür Hücre Teknolojisi

Sodyum sülfür bataryalar ile ilgili elektrikli araçlar üzerine çalışmalar yapılmış ve farklı şirketlerden elde edilen sonuçlara göre kilogram başına 117 ila 118 Wh/kg sağlayan sistemlere ulaşılmaktadır. Nikel-Klorür Hücre Teknolojisi yapılan elektrikli araç uygulamalarında 94 Wh/kg özgül yoğunluk sağlayan sistemler elde edilmektedir. Bu tip hücrelerde yeterli iyonik iletkenliği sağlamak amacıyla 270 ila 350°C de işletilmesi gerekmektedir (Braithwaite ve Auxer, 1995). Bunlara ek olarak sodyum metal halide tip bataryalar bulunmaktadır ve ZEBRA tipi batarya olarak adlandırılmaktadır. ZEBRA tipi bataryaların katodları için erimiş tuz ile birleştirilmiş

geçiş metal halidleri kullanılmaktadır. Bataryalar yüksek sıcaklıkta işletildiğinden dolayı, malzeme dayanımı, maliyet ve emniyet problemleri ortaya çıkmakta ve bunların minimize edilmesi gerekmektedir (Lu ve Yang, 2014).

1.1.3.7 Metal/Hava Bataryalar

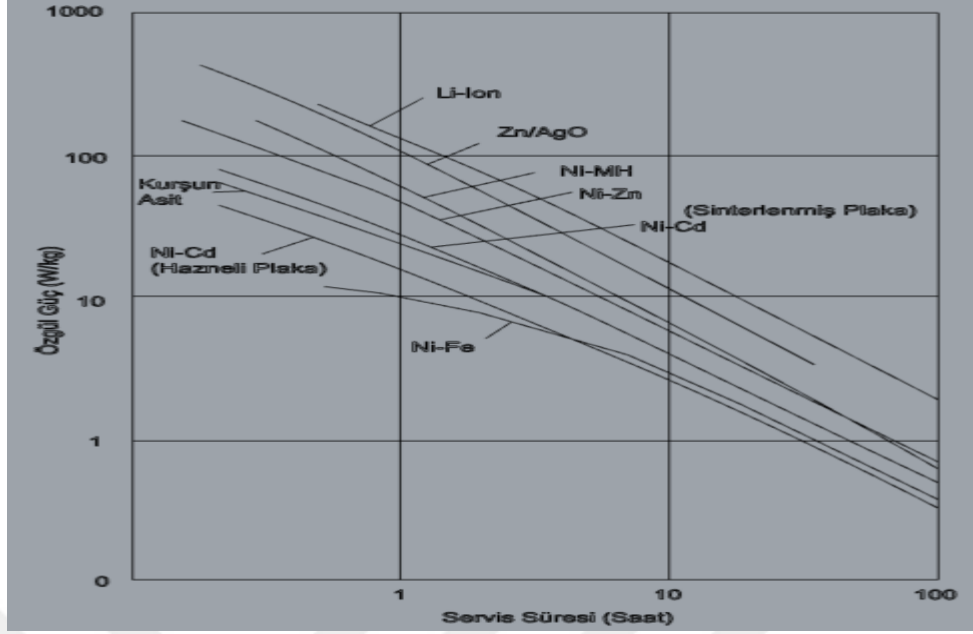
Reaktif bir metalin hava ile elektrokimyasal bağlanması sonucu çok yüksek özgül enerji ve enerji yoğunluğu elde edilmektedir. Metal anot olarak Li, Ca, Mg, Al, Zn ve Fe elementleri kullanılmakta ve bu sayede kilogram başına sırasıyla 13; 4,6; 6,8; 8,1; 1,3; 1,2 kWh/kg özgül enerji eldesi gerçekleşmektedir. Yüksek enerji yoğunluğu, çevreci olması, düşük maliyetlerde imal edilmesi ve uzun raf ömrü bu tip bataryaları ön plana çıkarmaktadır. Sınırlı güç çıkışı, çalışma sıcaklıkları aralıkları, elektrolitin kömürleşmesi ise dezavantajlarını oluşturmaktadır (Hamlen ve Atwater, 2002).

1.1.3.8 Çinko Bromür Bataryalar

Çinko bromür bataryalar, enerji verimliliği, hızlı şarj edilebilir olmaları, birçok uygulama için yeterli güç çıkışına sahip olması bu tip batarya tipini ön plana çıkarmakta, sıcaklık kontrolünün yardımcı sistemlerle sağlanması, yüksek kurulum maliyeti, yüksek emniyet gereksinimlerinin olması bu batarya tipinin olumsuz yanları oluşturmaktadır. Bu tip bataryanın 12 kW elektrik motorunu tahrik etmesi ile 100 km/h üstüne çıkabilen bir portatif elektrikli araç geliştirilmektedir (Butler ve diğer., 2001; Gao ve diğer., 2020).

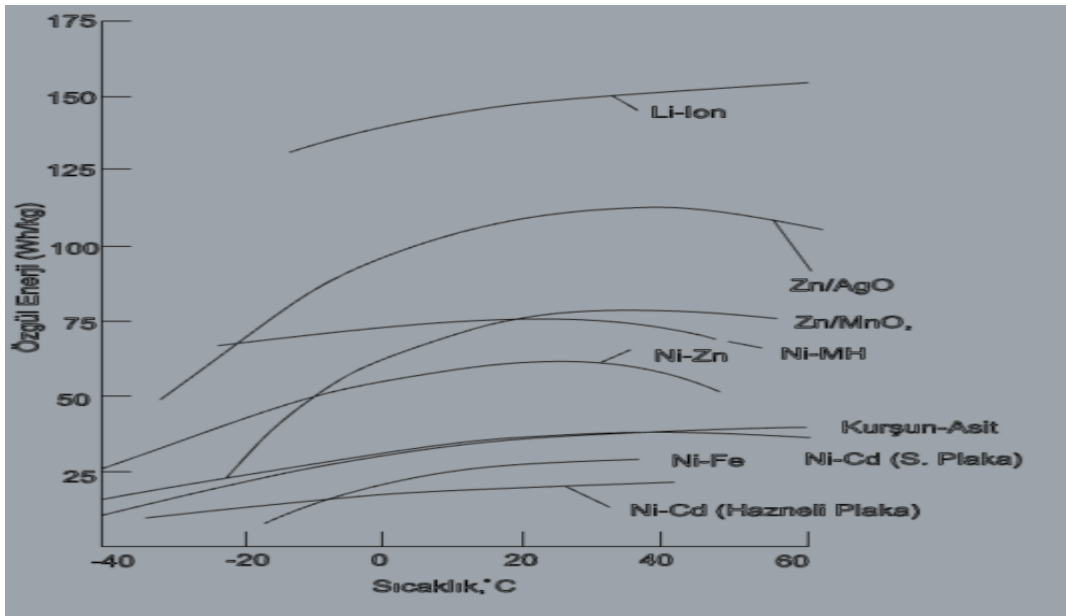
1.1.3.9 Bataryaların Karşılaştırılması

Batarya karşılaştırılması, çalışma sıcaklık aralığına, işletilme sürelerine, güç ve enerji yoğunluğuna, maliyetine göre yapılmaktadır. İşletilme süresi ve özgül güce göre ikincil bataryaların karşılaştırılması Şekil 1.4'de yapılmaktadır (David ve Thomas, 2001).



Şekil 1.4 Batarya tiplerine göre özgül güç ve işletim süreleri kıyaslama (David ve Thomas, 2001)

Batarya tiplerine göre özgül güç ve işletim süreleri kıyaslaması yapıldığında Lityum-iyon bataryalar en efektif olanı olarak görülmektedir. Lityum-iyon bataryaları sırasıyla Zn/AgO, Ni-MH, Ni_Zn, Ni-Cd, kurşun asit ve Ni-Fe tipi bataryalar takip etmektedir. Veriler elde edilirken bataryaların bulunduğu ortam sıcaklığı 20°C'dir (David ve Thomas, 2001). Ortam sıcaklığına göre bataryaların özgül güçleri ve çalışma sıcaklık aralıkları Şekil 1.5'de ifade edilmektedir.



Şekil 1.5 Batarya tiplerine göre sıcaklığın özgül enerji etkisi (David ve Thomas, 2001)

Belirtilen batarya tipleri üzerinde sıcaklık değişiminin özgül enerjilerine etkisi değerlendirildiğinde en yüksek özgül enerjiye lityum-iyon bataryanın sahip olmasına karşın çalışma sıcaklıkları diğer bataryalara kıyasla düşüktür. Kurşun asit bataryaların özgül enerji seviyesi ortalarda olmasına rağmen çalışma sıcaklık aralığı diğer bataryalara göre geniştir.

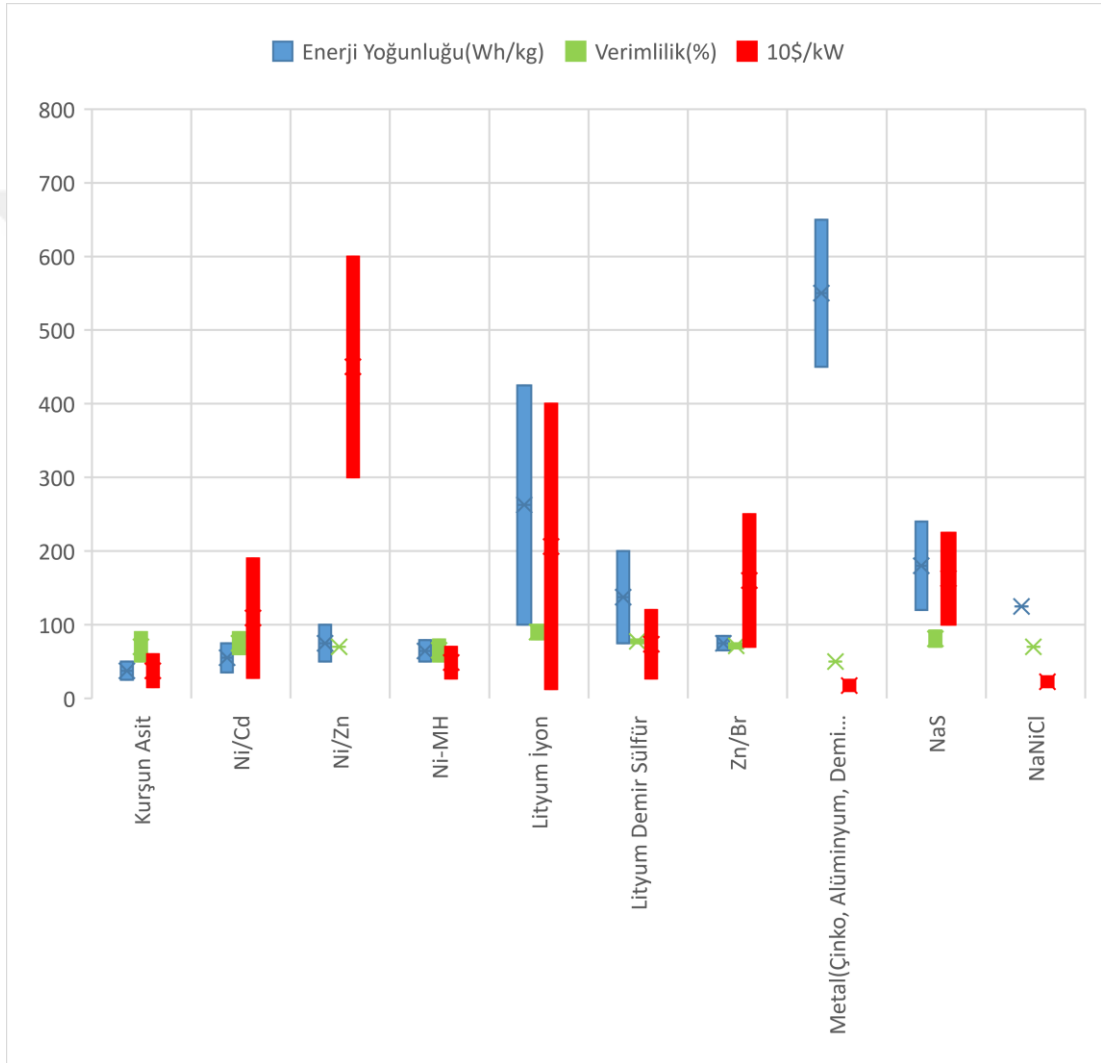
Ayrıca sıcaklık değişimine göre performans değerlendirilmesi yapıldığında, sıcaklıktan en az etkilenen batarya tipleri Ni-Cd, Kurşun Asit ve Ni-MH olan bataryalardır. Sıcaklıktan en fazla etkilenen batarya tipleri çinko bazlı bataryalardır (David ve Thomas, 2001). Bataryaların kilogram başına elde edilen özgül enerji, verimlilik ve birim güç başına maliyet değerleri Tablo 1.1’de ifade edilmektedir.

Tablo 1.1 Batarya tiplerine göre enerji yoğunluğu, verimliliği, maliyeti, çevrim ömrü ve çalışma sıcaklığı aralığı karşılaştırılması (Hasankhani ve diğer., 2014; Coates ve Charkey, 2002; David ve Thomas, 2001; Butler ve diğer., 2001; Marongiu ve diğer., 2010; Nikolaidis ve Poullikkas, 2018; Konur, 2016; Amazon, 2020; Stevens ve diğer., 1996; Lu ve diğer., 2011; Kazempour ve diğer., 2009)

Batarya Çeşitleri	Enerji Yoğunluğu (Wh/kg)	Verimlilik (%)	\$/kW	Çevrim Ömrü	Çalışma Sıcaklığı (°C)
Kurşun Asit	25-50	50-90	150-600	200-2000	-15/45
Ni/Cd	35-75	60-90	280-1900	1500-3000	-40/70
Ni/Zn	50-100	~70	~3000-6000	~500	-40/50
NiMH	50-79	50-80	270-700	1200-1800	-40/70
Lityum İyon	100-425	80-100	125-4000	3000-10000	-30/60
Lityum	75-200	75-80	270-1200	1600-5000	-30/60
Demir Sülfür					
Zn/Br	65-85	68-75	700-2500	2000-3500	0/40
Metal (Zn vb.) Hava	450-650	~50	100-250	100-300	-20/50
			(Zn/Hava)		
NaS	120-240	70-92	1000-2250	1500-5000	275-360
NaNiCl	125	70	150-300	1000	250-350

Tablo 1.1’de elde edilen değerlere göre kurşun asit bataryanın özgül enerji yoğunluğu 25 ila 50 Wh/kg, verimliliği %50 ila %90 ve birim güç başına maliyeti 150

ila 600 \$/kW arasında değişmektedir. Birim ağırlık başına en fazla enerji yoğunluğu Lityum, Soydum ve Metal/Hava bazlı bataryalardan elde edilmektedir. Bu tip bataryaların enerji verimlilikleri %50 ila %92 arasında batarya tipine göre değişmektedir. Çevrim ömrü açısından değerlendirildiğinde lityum bazlı bataryalar en yüksek değere sahipken -15 ila 45 °C çalışma sıcaklığı arasında kurşun asit bataryaların sağlam yapısı ön plana çıkmaktadır.



Şekil 1.6 Batarya tiplerinin birim güç başına enerji yoğunluğu, verimliliği ve maliyeti

Literatürde yapılan çalışmalardan ve şirketlerin ürün kataloglarından elde edilen verilerden oluşturulan Şekil 1.6'da maliyet açısından en fazla dezavantaja sahip olan batarya tipleri a Ni/Zn ile Lityum-İyon olmakta ve birim güç başına maliyetleri sırasıyla 3000-6000; 125-4000 \$/kW arasında değişmektedir. Zn/Br ve Ni/Cd tipi

bataryalar sırasıyla 700-2500; 280-1900 \$/kW maliyet oluşturmaktadır. En düşük maliyetleri ise Kurşun Asit, NiMH, Zn/Hava ve NaNiCl tipi bataryalar getirmektedir.

Çevresel ve elektriksel koşullar, batarya tasarımını ile bataryadan güç eldesini etkilemektedir. Tüm çalışma koşullarında optimum performans gösteren tek bir tip batarya bulunmamaktadır. Çalışma koşulları dikkate alınarak seçilen bataryadan maksimum fayda sağlanması gerekmektedir. Verimliliği artırmak amacıyla farklı elektrokimyasal sistem ve batarya tipi halen araştırılmaya, var olanların ise geliştirmesine devam edilmektedir (David ve Thomas, 2001).

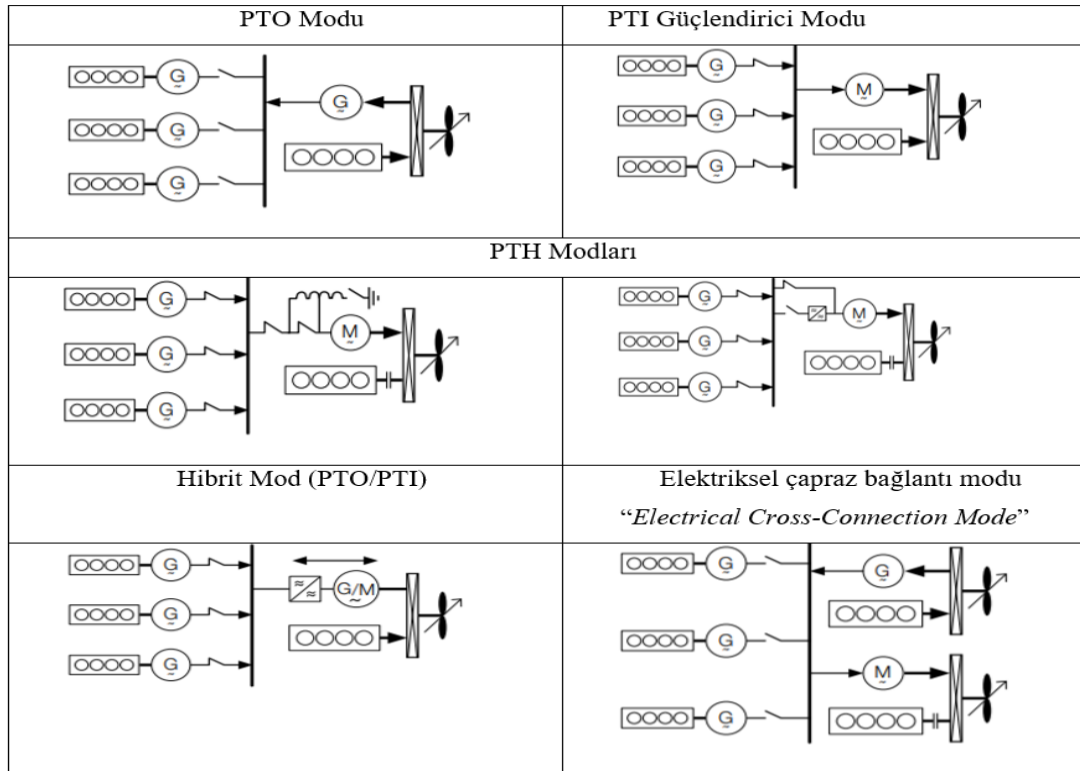
1.1.4 Hibrit Sevk Sistemi

Deniz taşıtlarında hibrit, sevk sisteminin ihtiyacı olan güç, mekanik ve elektriksel farklı güç kaynaklarının birleşimi ile karşılanmaktadır. Dizel makine ile elektrik motorun değişken güç taleplerini karşılamak amacıyla kombine bir şekilde çalışmasını hibrit sevk sistemi esas almaktadır. Bu sayede gemi optimum performansta çalışmaktadır (MAN, 2014; ABB, 2021).

Deniz taşıtları bir ürünü ya da yolcuları bir bölgeden başka bir bölgeye taşıması sırasında ana makinelerinde operasyonel durumdan, dalgalardan, akıntılardan, rüzgârdan ve diğer hava koşullarından kaynaklı değişik yük talepleri oluşmaktadır. Bu sistem sayesinde geminin operasyonu sırasında doğru miktarda güç ve tork pervanelere aktararak, verimli operasyonlar gerçekleştirilmektedir (MAN, 2014; Yaskawa Company, 2015; Wartsila, 2017b; Wartsila, 2018b).

Hibrit sevk sistemi kurulumu sırasında elektriksel gücün, ana makineden elde edilen mekanik güce oranının belirlenmesi önem arz etmektedir. Seçilen elektriksel güç aralığını operasyonların önemli bir parçasını oluşturması gerekmekte, aksi takdirde kurulum amaçlarını karşılamada başarısız olabilir. Bu yüzden hibrit sevk sistemlerinde elektrik/mechanik güç dengesi verimlilik çıktısının temelini oluşturmaktadır (ABB, 2021). Elektrik sevk sisteminde ise dizel yakıtla işletilen gemi ana makinesi yerine jeneratörler kullanılmakta bu sayede değişken güç talepleri

karşılanmaktadır. Hibrit sevk sistemi dizel makine ve elektrik motorun birlikte “*Combined Diesel-Electric and Diesel Engine(CODLAD)*” veya ayrı ayrı “*Combined Diesel-Electric or Diesel Engine(CODLOD)*” çalışması olarak incelemektedir. CODLAD sistemlerde, yüksek güç taleplerini karşılamada dizel makinenin yetersiz olması durumunda, istenilen güç elektrik motoruyla birlikte karşılanmaktadır. Düşük güç taleplerini karşılamada CODLAD sistemi kullanılarak deniz taşıtları elektrik motoru vasıtasıyla sevk edilmektedir (MAN, 2014). Deniz taşıtlarında hibrit sevk sistemleri farklı amaç doğrultusunda işletilme imkânına sahip ve römorkörlerde, feribotlarda, ticari ve destek gemilerinde yapılacak uygulamalarında avantaj sağlanacağı öngörülmektedir. Gemilerinde Hibrit sevk sistemi ile ilgili oluşturacak bütün kombinasyonlar Şekil 1.7’de ifade edilmektedir (MAN, 2014; Yaskawa Company, 2015; Wartsila 2017b; Wartsila2018b).



Şekil 1.7 Hibrit sevk sistemi modları (MAN, 2014).

Hibrit sevk sistemi modları Şekil 1.7’de PTO, PTI Güçlendirici Modu, PTH modları, PTO/PTI hibrit Modu ve son olarak elektriksel çapraz bağlantı modu olarak ifade edilmektedir.

1.4.1.1 PTO Modu

Enerji açısından verimli güç üretimine odaklanan “*Power Take Off (PTO)*” modu ana makinenin dişli kutusuyla aracılığıyla pervaneyi çevirmesiyle sevk sistemini sağlamasının yanında, gemide ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini jeneratörlerle birlikte sağlamakta ya da ana makine tüm geminin enerji ihtiyacını karşılayıp, enerji santrali olarak hizmet vermektedir. Bu sayede jeneratörler üzerindeki yük azalmakta ve verimlilik sağlanmaktadır.

Birim güç başına en düşük yakıt tüketimi ve salım değerlerine ulaşılan ana makine yükünde, örneğin “*Transit Sailing*” duraksız seyir tercih edilmektedir (MAN, 2014; Yaskawa Company, 2015; Xiao ve diğer., 2016; ABB, 2021). Gemilerde ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini üretmek için ek jeneratör çalıştırmak yerine bu modda işletilmesi daha verimli operasyon çıktıları sağlamaktadır (ABB, 2021).

1.4.1.2 PTI Güçlendirici Modu

İkincil olarak “*Boost Power Take In (PTI)*” modu olarak kullanılmaktadır. Bu mod adında anlaşılacağı üzere, geminin sevk sistemindeki yük güç taleplerini karşılamak için elektrik motoru ve ana makine kombine bir biçimde işletilmektedir. Jeneratörler hem elektrik motoru için enerji sağlamak hem de gemi üzerinde elektrik ihtiyacını sağlamaktadır. Bu tip sistemler operasyonunun küçük bir zaman diliminde yüksek güç talep eden gemiler özellikle liman römorkörleri için oldukça uygun olmaktadır (MAN, 2014; Xiao ve diğer., 2016; Dedes ve diğer., 2012; Kwasiemyj, 2013; Yaskawa Company, 2015; ABB, 2021).

Bu sayede büyük boyutlu makinelerinin kurulum maliyetinden, yakıt tüketimi açısından kazanımlar elde edilmektedir. Buna karşın iyi yapılmamış dizaynlarda elektrik motorunun sevki için daha büyük enerji depolama sistemi ihtiyacı doğmaktadır (MAN, 2014; Xiao ve diğer., 2016; Dedes ve diğer., 2012; Kwasiemyj, 2013; Yaskawa Company, 2015; ABB, 2021).

1.4.1.3 PTH Modları

“Power Take Home (PTH)” modunda ise gemi ana makinesi çalışmamakta olup sevk sistemi elektrik motorundan karşılanmaktadır (Xiao ve diğer., 2016; Dedes ve diğer., 2012; ABB, 2021). Düşük güç taleplerini karşılamada özellikle salım sınırı olan bölgelerde, limanlara giriş ve çıkışta bu mod sayesinde deniz taşıtı, bölgeye minimum seviyede SO_x, NO_x gaz salımı yapacak ve düşük gürültü oluşturacak şekilde işletilmektedir (Yaskawa Company, 2015; ABB, 2021). Operasyonlar düşük hızlarda veya yüksüz bir şekilde işletilirse, bu mod oldukça verimlilik sağlamaktadır (ABB, 2021).

1.4.1.4 Hibrit Mod (PTO/PTI)

Elektrik motoru, geminin elektrik sistemlerine enerji sağlayan alternatör olarak kullanılmasının yanı sıra sevk sisteminin işletilmesinde de kullanılmaktadır. Bu sistem sevk sisteminin esnek bir şekilde çalışmasına olanak sağlamaktadır. PTI modunda frekans dönüştürücü sayesinde pervane değişken hızlarda işletilebilmektedir. PTO modunda şebekeye elektrik enerjisi sağlamaktadır. Bu sayede hem pervane hemde motor üzerinde maksimum verimliliğe ulaşılmakta ve egzoz salımları minimize edilmektedir (MAN, 2014).

1.4.1.5 Elektriksel çapraz bağlantı modu “Electrical Cross-Connection Mode”

Çift pervaneli ve ana makineli elektriksel çapraz bağlantı modu “*Electrical cross-connection mode*” uygulamalarda bir makine PTO modunda geminin elektrik ihtiyacını karşılamasının yanı sıra diğer makineye PTH modu gibi sevk sisteminin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Bu sayede sevk sisteminde esneklik ve yüksek güçleri karşılama imkânı sunulmaktadır. Ek olarak PTO/PTH modunda elektrik enerjisi üreten jeneratörlerin kapasitesi elektrik motorunun güç oranı ile aynı aralıkta ise motorun çalışması için frekans konvertörü kullanılmaktadır. Bunun karşın jeneratör kapasitesi, motor gücünden çok daha yüksek olması durumunda otomatik transformatör ünitesi ile elektrik motoru çalıştırılmaktadır (MAN, 2014).

Paralel hibrit sevk sistemi şaft jeneratörü bulunan feribotlar için verimlilik kazanımı açısından önemli bir kazanım sağlamaktadır. Genellikle bu uygulamalarda 500 dev/dk hızı aşan ana makinelerdeki şaft jeneratörü baş iticilerin sevk sistemini sağlamaktadır. Bu tip gemilerde “*controllable pitch propeller*” piç kontrollü pervane (CPP) kullanılmaktadır. Seri hibrit sevk sisteminde, elektrik motoru ile ana makine aynı şaft hattına yerleştirilmektedir. Ekipmanların paralel olarak yerleştirilemeyeceği durumlarda tercih edilebilir ve genellikle tek pervaneli gemilerde görülmektedir (ABB, 2021).

Hibrit sevk sistemleri römorkörler açısından değerlendirildiğinde iyi bir enerji yönetim sistemiyle elde edilecek düşük yakıt tüketimi ve salım değerleri, ekstra güç çıkışı, operasyonel verimlilik ve çevre performansı açısından büyük avantajlar sağlayacaktır. Römorkörlere ek olarak bu sistem feribotlar, buz kırıcılar, balıkçı tekneleri ve yolcu gemileri gibi birçok gemi türüne kurulum olanağı sağlanabilmektedir (Yaskawa Company, 2015; Warstsila, 2017, 2018).

Batarya gibi enerji depolama sistemleri elektrik ve hibrit sevk sistemleri için frekans konvertörleriyle birlikte kullanılabilen ve enerji depolama sistemlerinde elde edilecek gelişmelerle birlikte operasyonların modlarında ve emniyetinde iyileştirmeler sağlanacaktır (ABB, 2021).

1.2 Uluslararası Denizcilik Örgütü(IMO) Enerji Düzenlemeleri

Deniz taşımacılığının emniyetinden, güvenliğinden, gemiler tarafından atmosferin ve deniz kirliliğinin önlenmesinden sorumlu bir kuruluştur. Deniz taşımacılığının emniyet, güvenlik ve çevresel performansı için küresel standart belirleyici otoritedir. Başlıca rolü, denizcilik sektörü adına evrensel olarak kabul edilecek ve adil bir şekilde uygulanacak, bir çerçeve oluşturmaktır. Denizcilik gerçekten uluslararası bir endüstridir, bu yüzden kurallar ve standartlar uluslararası düzeyde kararlaştırılmış, kabul edilmiş ve uygulanmışsa, ancak etkin biçimde çalışabilmektedir. Uluslararası deniz taşımacılığı en verimli ve uygun maliyetli taşımacılık yöntemi olmakla beraber, küresel ticaretin yüzde 80'inden fazlasını tüm dünyadaki topluluklara taşımaktadır. Bu

sayede küresel bazda düşük maliyetli ürün taşımayı, ticareti kolaylaştırmayı, milletler ve insanlar arasında refah oluşumuna yardımcı olmayı amaçlamaktadır (IMO, 2020b).

1.2.1 Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme (MARPOL)

Denizlerin Gemiler Tarafından Kirletilmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme (MARPOL 73/78), gemiler tarafından operasyonel veya kazara nedenlerden kaynaklanan deniz ortamının kirlenmesinin önlenmesini kapsayan uluslararası sözleşmedir. Bu sözleşme, gemilerde hem kaza sonucu hem de rutin işlemlerden kaynaklanan, kirlenmeyi önleme ve en aza indirmeyi amaçlayan düzenlemeleri içermektedir. MARPOL toplamda altı teknik eki içermektedir. Operasyonel konular üzerinde sıkı kontrole sahip özel alanlar bu eklerde belirtilmektedir (IMO, 2020a).

Ek I – Petrol Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları

Ek II - Dökme Halde Taşınan Zehirli Sıvı Maddelerden Kaynaklanan Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları

Ek III - Denizde Paketli Halde Taşınan Zararlı Maddelerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesi Kuralları

Ek IV- Gemilerden Kaynaklanan Pis Su Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları

Ek V – Gemilerden Kaynaklanan Çöp Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları

Ek VI – Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Kuralları (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB), 2019).

Gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin önlenmesi kuralları, gemi makinelerinden kaynaklı, sülfür oksit ve azot oksit salımlarına sınırlamalar koymakta ve ozon tabakasına zarar veren maddelerin kasıtlı salımlarını yasaklamaktadır (IMO, 2020e).

Gemi makine dizayn mühendisleri, atmosfer kirliliğinin insan sağlığı ve iklim değişikliği üzerindeki etkilerini göz önünde bulundurduğunda gemilerden kaynaklı salım miktarlarını indirmek amacıyla çalışmalar yapmaktadır (Woodyard, 2009).

Hava kirliliğini oluşmasının sebebini doğal ve insan kaynaklı olarak iki ana başlık altında toplanmaktadır. Volkanlar, yıldırımlar ve biyokütle yakılması doğal salım kaynaklarını oluştururken, insan kaynaklı salımları termik santraller, ulaşım, endüstriyel prosesler, evsel ve endüstriyel yakıt kullanımından kanyaklı ortaya çıkan SO₂, NO_x, CO, CO₂, HC, kurşun, partikül madde ve uçucu organik bileşikler (VOC) oluşturmaktadır (Kılıç, 2014).

Dizel makinelerden kaynaklanan salımlar, makinelerin yüksek termal verimleri sayesinde ısı motorları arasında en düşük etkiye sahip olanıdır. Oluşan hidrokarbonlar makinelerdeki yakıt ve yağlama yağının tam olarak yanmaması sonucu ve yakıtın buharlaşması sonucudur (Woodyard, 2009). Bazı grupları (Kılıç, 2014) kısmen kanserojen etkiye sahip olan hidrokarbonlar, duman oluşturmakta ve hoş olamayan bir kokuya sahiptir (Woodyard, 2009). Kalp-damar hastalıkları kaynaklı ölümlere sebebiyet vermektedir (Kılıç, 2014). Modern dizel makinelerde yanma olayı verimli gerçekleştiğinden dolayı hidrokarbon salımları oldukça düşüktür (Woodyard, 2009).

Karbon monoksit yanma olayında havanın yetersiz olması sonucu ve karbondioksitin ayrışmasından meydana gelmektedir. Yüksek konsantrasyonlarda son derece toksiktir (Woodyard, 2009). Karbon monoksite maruz kalan insanlarda baş ağrısı, yorgunluk ve halsizlik görülmekte ve buna ek olarak kalp hastası olanlarda göğüs ağrısına sebebiyet vermektedir (Kılıç, 2014). Deniz taşıtları ile kara taşıtları karşılaştırıldığında, deniz taşıtlarındaki dizel makinelerden ortaya çıkan NO_x ve SO_x salımları daha ciddi bir noktada iken, CO₂, CO ve HC salımları nispeten daha düşük bir etkiye sahiptir (Yang ve Wang, 2013). Biyodizel yakıtların kullanılmasıyla birlikte karbon monoksit salımından kazanımlar sağlamaktadır (Kaya ve Kökkülünk, 2020).

Gemi dizel makinelerinin egzoz gazı salımlarını azot, oksijen, karbondioksit, su buharı, karbon monoksit, sülfür, azot oksit, kısmen reaksiyona girmemiş hidrokarbonlar ve partikül maddeler oluşturmaktadır. Partikül maddeler (PM) eksik yanma, kısmen yanmamış yağlama yağı, yakıt ve yağlama yağından hidrokarbonların termal olarak ayrılması, yakıt ve yağlama yağındaki kül, sülfatlar ve sudan meydana gelmektedir (Woodyard, 2009).

Partikül kütlelerinin büyük bir kısmını kurum oluşturmakta ve bunun görünür kanıtı duman olarak karşımıza çıkmaktadır. Yanmamış karbon elementleri toksik olmamasına rağmen bazılarının kanserojen etkisi olabilmektedir (Woodyard, 2009). Partiküler maddeler çaplarına göre sınıflandırılmış olup 10 mikron altındakiler solunum ve kalp ile ilgili hastalıklara sebebiyet verirken 2,5 mikron altındakiler tarımsal alanlarda deformasyonlara ve besin zincirinde bozulmalara neden olmaktadır (Kılıç, 2014).

1.2.2 Gemi Enerji Verimliliği Düzenlemeleri

Artan gemi inşaa ve operasyonları göz önünde bulundurulduğunda, uluslararası deniz taşımacılığının sera gazı salımlarını azaltmak amacıyla, gemilerde enerji verimliliği standardı olarak iki zorunlu işleyiş MARPOL Ek VI da belirtilmektedir. Bunlardan birincisi yeni gemiler için Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ikincisi tüm gemiler için uygulanabilen Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) olarak belirtilmektedir (IMO, 2016, 2020f).

Geminin operasyonu aşamasında, genel olarak geminin enerji verimliliği performansını izlemek amacıyla Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (EEOI), IMO'nun düzenleyici bir unsuru olarak belirtilmektedir (IMO, 2020f).

1.2.2.1 Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI)

Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi, geminin enerji verimliliğini ifade ederken belirli bir seyir hattı boyunca ortaya çıkacak karbondioksit miktarının, taşınan yük miktarının ve mesafeye oranı olarak belirtilmektedir. Karbondioksit, tüm fosil yakıtların kaçınılmaz yanma ürünüdür (Woodyard, 2009). Küresel ısınma etkisi olan gazların %80' ini oluşturmaktadır (Kılıç, 2014).

Ortaya konulan indeksle beraber, gemilerde belli tasarım sınırları oluşturarak daha verimli gemilerin inşası amaçlanmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ve dizayn

aşamasında yapılan iyileştirmeler göz önünde bulundurulduğunda, EEDI seviyesi düşmekte ve daha fazla enerji kazanımı sağlanmaktadır.

$$EEDI = \text{CO}_2 \text{ Salım Miktarı} / \text{Taşıma İşi} \quad (1.23)$$

$$EEDI = (\text{Makine Gücü} \cdot \text{Özgül Yakıt Tüketimi}) / (\text{DWT} \cdot \text{Hız}) [\text{gCO}_2/\text{ton-mil}] \quad (1.24)$$

EEDI, karbondioksit salımı olarak topluma maliyetinin, taşıma işi olarak topluma yararına olan oranını temsil etmektedir. Yeni gemi tipleri, gemi büyüklükleri, alternatif sevk teknolojileri, alternatif yakıtlar ve gelecekteki yenilenebilir teknolojilerin çeşitliliğini hesaba katarak daha kapsamlı formül geliştirilmektedir.

$$EEDI = \left(\prod_{j=1}^n f_j \right) \left(\sum_{i=1}^{n_{ME}} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}^*) + \left(\left(\prod_{j=1}^n f_j \cdot \sum_{i=1}^{n_{PTI}} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{AE_{eff}(i)} \right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{n_{eff}} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}^* \right) / (f_i \cdot f_c \cdot \text{Kapasite} \cdot f_w \cdot V_{ref}) \quad (1.25)$$

EEDI için (1.31) de belirtilen denklemde kapasite, yaz yükleme hattındaki dedveyt (DWT) veya grostonajı (GRT); C_{FAE} , yardımcı makineler için kullanılan yakıtın karbon faktörünü; C_{FME} , ana makineler için kullanılan yakıtın karbon faktörünü; f_{eff} , yenilikçi teknolojilerin bulundurulması durumunda kullanılan düzeltme faktörünü; f_i , gemilerin kapasitesi etkileyen teknik / düzenleyici unsurlar için düzeltme faktörünü; f_c , DWT -kapasite ilişkisini etkileyen alternatif kargo tipli gemilerin için düzeltme faktörünü; f_j Özel tasarım özelliklerine sahip gemiler için düzeltme faktörünü; f_w , deniz koşullarına bağlı hız azaltma için düzeltme faktörünü; n_{eff} , yenilikçi teknolojilerin sayısını; n_{me} , ana makine sayısını; n_{PTI} , güç girişi sağlayan sistem sayısını; P_{ME} , ana makinenin %75 yükte sevk gücünü; P_{AE} , normal deniz şartlarında gemi yardımcılarının güç gereksinimi; $P_{AE_{eff}}$, yenilikçi elektrik enerjisi üretim teknolojilerinin kullanılması ile yardımcı makinelerdeki güç ihtiyacının azalması P_{eff} , geminin sevkine katkıda bulunan her bir yenilikçi teknoloji için kurulu gücün %75'ini; P_{PTI} , her bir güç girişi sistemi için kurulu gücün %75'ini; SFC_{AE} , yardımcı makineler için NO_x sertifikasyon değerlerine göre spesifik yakıt tüketimini; SFC_{ME} , NO_x sertifika değerlerine göre ana makineler için spesifik yakıt tüketimini; V_{REF} , yaz

yükleme hattında, ana makinenin %75 yükte sevk gücünde çalışmasıyla elde edilen gemi hızını ifade etmektedir (IMO, 2016).

Spesifik yakıt tüketimi (SFC), makineler için yakıt verimini g / kWh cinsinden belirtmektedir (IMO, 2016). Yakıt kütle akışı $\dot{m}$, performansla ilgili spesifik yakıt dağıtım oranını veya yakıt tüketimini sağlamaktadır. ISO standartlarında dizel yakıtın alt ısı değeri $H_u=42$ MJ/kg olarak alınmaktadır (Mollenhauer ve Tschöke, 2010). SFC değeri, makinenin NO_x teknik dosyasında kaydedilen sonuçlardan belirlenmektedir. Ana makine için SFC, genellikle %75 yükte ve yardımcı makineler için genellikle %50 yükte alınmaktadır (IMO, 2016).

$$b_e = \dot{m}_B / P_e \quad (1.26)$$

$$\eta_e = ((3600) / ((b_e / 1000) H_u)) \times 100 (\%) \quad (1.27)$$

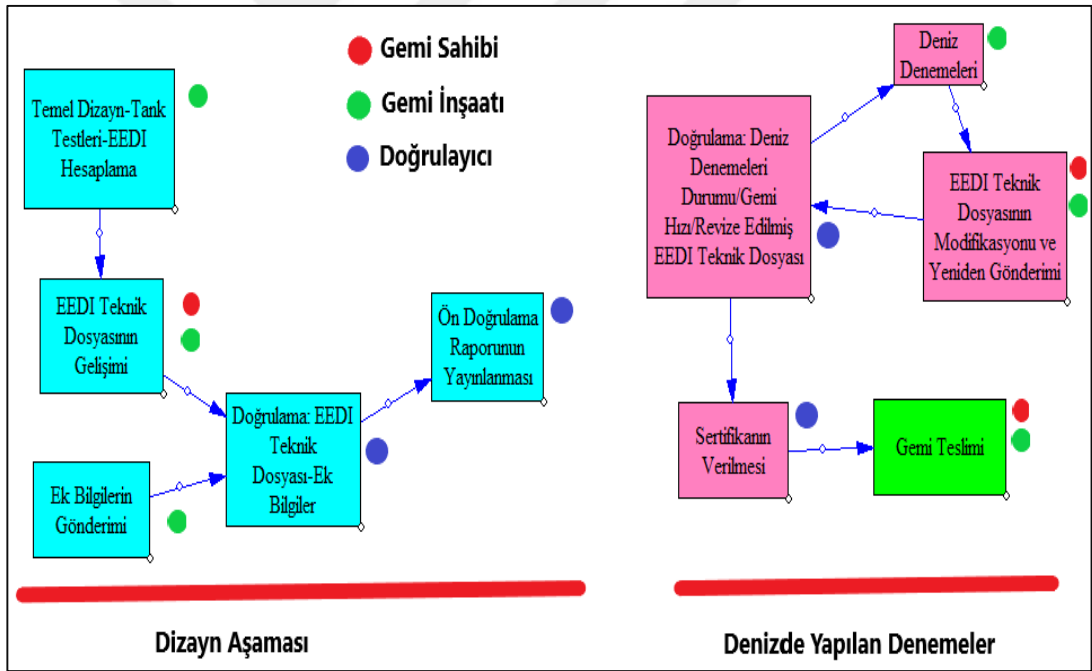
Oluşturulan (1.32) ve (1.33) deki denklemlerde b_e , makine spesifik yakıt tüketimini; $\dot{m}_B$, yakıt debisini; η_e , yakıt verimini ifade etmektedir (Soruşbay, 2020; Reif, 2014). Makinenin termal verimi yüzde 54'ün üzerine çıkarılmasıyla ve spesifik yakıt tüketimi 155 g / kWh seviyelerine gelebilmektedir (Woodyard, 2009). C_F (Karbon Faktörü), kullanılan yakıtın birim kütlesi başına üretilen CO₂ miktarını belirlemektedir (IMO, 2016). Farklı yakıt tiplerinin karbon içeriği ve karbon faktörü Tablo 1.2'de belirtilmektedir.

Tablo 1.2 Farklı yakıt tiplerinin karbon içeriği ve karbon faktörü

Yakıt Tipi	Referans	Karbon İçeriği	C_F
Dizel Yakıt	ISO 8217 Sınıfı	0.8744	3.206
LFO	ISO 8217 Sınıfı	0.8594	3.151
Ağır yakıtlar(HFO)	ISO 8217 Sınıfı	0.8493	3.114
Sıvılaştırılmış Petrol Yakıtı	Propan	0.8182	3
Sıvılaştırılmış Petrol Yakıtı	Bütan	0.8264	3.03
Sıvılaştırılmış Doğal Gaz		0.75	2.75
Metanol		0.375	1.375
Etanol		0.5217	1.913

Geminin kapasitesi yaz yükleme hattı su çekiminde DWT ağırlığı veya GRT olarak ifade edilmektedir. Deplasman tonajı, belirli bir su çekiminde gemi tarafından yer değiştirilen deniz suyunun ağırlığını ifade etmektedir (Vasudevan, 2010). Referans hızı, seyir denemeleri sırasında ölçülen ve doğrulanan, ana makine sevk gücüne, uygun yükleme yapılan DWT, rüzgâr ve dalgaları içermeyen sakin hava koşullarına ve derin su operasyonları koşullarına göre düzeltilen gemi hızıdır.

EEDI hesaplamada (1.25) deki parametreler kullanılarak tek bir operasyon için değerler elde edilmektedir. İlgili veri ve belgeleri kullanarak, EEDI doğrulaması bayrak devleti tarafından yapılmakta ve süreç Şekil 1.8’de belirtilmektedir (IMO, 2016).



Şekil 1.8 EEDI doğrulama süreci diyagramı

EEDI doğrulama sürecinin, geminin tasarım aşamasında ön doğrulama yapılırken, nihai doğrulama inşaattan sonra ve geminin denize açılma denemeleri bittikten sonra yapılır. İlgili gemi tasarım verileri, tank test verileri ve hız deneme verileri yetkili kuruluşlar tarafından incelenerek doğrulanacak ve gemi teslimi gerçekleştirilecektir (IMO, 2016).

1.2.2.2 Gemi Enerjisi Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP)

MARPOL Ek VI Yönetmeliği 22'ye göre, uluslararası faaliyet gösteren 400 GT'den büyük gemilerin 1 Ocak 2013'ten itibaren bir SEEMP'e sahip olması gerekmektedir. Mevcut gemiler, gemide SEEMP'in varlığı doğrulandığında Uluslararası Enerji Verimliliği (IEE) sertifikası alacaktır. SEEMP'in amacı, operasyon sırasında geminin enerji verimliliğini artırmak için bir mekanizma oluşturmaktır. Gemi Enerjisi Verimliliği Yönetim Paydaşlarını limanlar, tersaneler, gemi sahipleri, gemi karakteristikleri, kargo sahipleri, gemi işletmecileri oluşturmaktadır. Gemi Enerjisi Verimliliği Yönetim Planı için sürdürülebilirliği için bir uygulama sistemi kurulmalı ve sürekli kayıt tutulmalıdır (IMO, 2016).

1.2.2.3 Enerji Verimliliği Operasyonel İndikatörü (EEOI)

Enerji Verimliliği Operasyonel İndikatörü, operasyon süresi içinde gemi ve filo verimliliği performansını yönetmek için kullanılan bir izleme aracıdır. EEOI operasyonlarını takip edenler, geminin yakıt verimliliğini ölçebilmekte ve oluşabilecek değişikliklerinin sebeplerini belirlemeyi amaçlamaktadır. EEOI değerinde kazanım sağlamak amacıyla, atık ısı geri kazanım sistemleri, daha verimli ve daha yeni pervane tipleri, sık pervane temizliği, geliştirilmiş rota planlaması kullanılmaktadır. (DNV GL, 2020).

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j * C_{Fj}}{m_{cargo} * D} \quad Ortalama EEOI = \frac{\sum_i \sum_j FC_{ij} * C_{Fj}}{\sum_i m_{cargo} * D} \quad (1.28)$$

EEOI denkleminde j, yakıt tipini; i, seyir sayısını; FC_{ij} , kullanılan yakıt tipine ve seyir sayısına göre toplam yakıt tüketimi; C_{Fj} , CO₂ faktörü; m_{cargo} , taşınan yük veya yapılan işi (TEU, yolcu sayısı, GRT) ifade etmektedir.

1.2.3 Salım Düzenlemeleri

Uluslararası Denizcilik Örgütü çevresel farkındalığı göz önüne alarak, gemilerden kaynaklı oluşan SO_x ve NO_x salımlarını indirmeyi amaçlamaktadır.

1.2.3.1 NO_x Düzenlemeleri

Dizel makinelerden ortaya çıkan salımların başında NO_x ve kurumlar gelmektedir (Jafarmadar, 2013). Silindir içindeki yüksek yanma sıcaklıklarında azot ve oksijenden termal olarak üretilen azot oksitler, kanserojen etkiye ve asit yağmurları oluşturma eğilimine sahiptir. Asit yağmurları toprağın asitleşmesine sebep olmaktadır (Woodyard, 2009). Bunun yanında akciğerde ödem meydana getirmekte ve fonksiyonlarının azalmasına yol açmaktadır. Azot dioksit (NO₂) ve azot monoksit (NO) en bilinen NO_x salım türleridir (Kılıç, 2014). Azot oksitler güneş ışığını kullanarak yer seviyesinde ozon oluşturmaktadır. Bu durum kentlerde ve birçok kırsal alanda oluşan dumanın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. NO_x atmosferdeki su, oksijen ve oksidanlarla reaksiyona girerek asit yağmurlarını oluşturmalarının yanı sıra küresel ısınmaya neden olmaktadır (Woodyard, 2009).

NO_x salım kontrollerine küresel yaklaşım IMO tarafından ele alındı ve MARPOL 73/78 de Ek VI (Gemilerden Hava Kirliliğinin Önlenmesine İlişkin Yönetmelik) olarak, 1997 yapılan diplomatik bir konferansta kabul edildi (Woodyard, 2009).

1 Ocak 2000 ve daha sonra inşa edilen, 130 kW dan fazla çıkış gücüne sahip olan deniz taşıtlarında NO_x düzenlemeleri geçerli olmaktadır. Gemi inşaat tarihini baz alarak makinenin devir/dakika açısından dönüş hızına göre Tablo 1.3’de belirtilen limitler belirlenmektedir (IMO, 2020c). Bir makinenin uygunluğunu göstermek için NO_x teknik koduna göre sertifikalandırılmış olmalı (Woodyard, 2009) ve ek kapsamındaki gemiler için Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası (IAPP)’ın düzenlenmesi zorunlu hale getirilmektedir (Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB), 2019).

Tablo 1.3 Gemi inşaa tarihi ve makine devir sayısına göre NO_x düzenlemeleri

Tier	Gemi İnşaa Tarihi	Toplam ağırlıklı salım limiti (g/kWh) n = devir sayısı (dev/dk)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 Ocak 2000	17,0	$45 \cdot n^{(-0,2)}$ [720 dev/dk – 12,1]	9,8
II	1 Ocak 2011	14,4	$44 \cdot n^{(-0,23)}$ [720 dev/dk – 9,7]	7,7
III	1 Ocak 2016	3,4	$9 \cdot n^{(-0,2)}$ [720 dev/dk – 2,4]	2,0

Tier III kontroller yalnızca belirtilen gemiler için NO_x salımlarını sınırlandırmak amacıyla *Emission Control Areas* (ECAs) yapılan operasyonlarda uygulanmaktadır. Bu alanların dışında *Tier* II kontrolleri uygulanmaktadır. Kuzey Amerika ve ABD Karayip Denizi ECA'sında faaliyet gösteren, 1 Ocak 2016 dan sonra inşaa edilmiş ve Baltık Denizi, Kuzey Denizi ECA'sında faaliyet gösteren, 1 Ocak 2021 den sonra inşaa edilmiş belirlenen seviyelerde ana makine güç çıkışına sahip olan gemilerde *Tier* III kontroller uygulanmaktadır (IMO, 2020c). NO_x oluşumu yanma sürecinde havadaki azot ile oksijenin yüksek sıcaklıkta reaksiyona girmesiyle oluşmaktadır (Chopra, 2017). Daha uzun yanma süresi göz önüne alındığında iki zamanlı düşük devirli makinelerde makinelerin NO_x salım miktarı orta ve yüksek devirli dört zamanlı makinelere göre daha yüksektir (Woodyard, 2009). NO_x salımını etkileyen ana faktörler yanma sürecindeki oksijen ve azot konsantrasyonları ile yerel sıcaklıklardır (Lamas ve Rodriguez, 2012). NO_x salım miktarını yanma sürecinde ulaşılan yüksek sıcaklıkların indirgenmesi veya egzoz gazındaki NO_x salımlarının sistemden uzaklaştırması ile sağlanmaktadır. NO_x salımlarını azaltma yöntemleri Şekil 1.9'da belirtilmektedir.



Şekil 1.9 NO_x salımlarını azaltma yöntemleri (Woodyard, 2009)

NO_x salımlarını azaltmak için birincil, ikincil indirgeme yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin birkaçı Şekil 1.9'da belirtilmektedir. Birincil yöntemlerde makine üzerinde optimize yaparak yanma sırasında oluşacak salımları en aza indirmektedir ve bu sayede %30 ila %60 oranında salımlardan kazanım sağlanmaktadır. Bu yöntemlere başlıca örnek olarak yanma sürecinde silindire doğrudan püskürtülmekte olan su, değiştirilmiş yakıt enjeksiyon tipleri ve NO_x salımı için optimize edilmiş yakıt püskürtme modeli, yanma havası arıtımı, makinenin sıkıştırma oranında yapılan değişiklikler verilebilmektedir. İkincil yöntemler de ise yanma sonucu oluşan egzoz gazındaki NO_x miktarının azaltılması hedeflenmektedir. Bu yöntemlere ek olarak farklı tip yakıtların kullanılmasıyla birlikte NO_x indirgenmesi sağlanabilmektedir (Woodyard, 2009).

Egzoz gazı devridaim (EGR) sistemi oluşan egzozun tekrar sistemde kullanılmasını esas almakta ve bu sayede NO_x salımlarını azaltmaktadır. Otomotiv alanında gerçekleştirilen uygulamalarında, başarıyla kullanılan bir yaklaşımdır (Woodyard, 2009). Dizel makine üzerinde kurulan EGR oranının artışı, NO_x salımlarını azaltmasına karşın özgül yakıt tüketiminde artışına neden olmaktadır (Kökkülünk, 2012). NO_x salımı üzerindeki etkisi kısmen yanma bölgesindeki oksijen konsantrasyonunun düşmesinden ve egzoz gazındaki su ve karbondioksit içeriğinden kaynaklanmaktadır. Su ve karbondioksitin yüksek molar ısı kapasiteleri, en yüksek yanma sıcaklığını düşürmekte ve bu da NO_x salımını engellemektedir (Woodyard, 2009). Dizel makinelerde EGR sistemi azot oksit salımlarında etkiliği olduğu halde, makine performansında belirgin bir bozulma meydana gelmektedir. Yanma kalitesinde meydana gelen bozulma ve eksik yanma göz önünde bulundurulduğunda EGR uygulaması yapılacak dizel makinede verim sağlamak için iyi bir optimizasyon çalışması gerekmektedir (Sindhu ve diğer., 2018). Buhar enjeksiyonu ile EGR sistemin birlikte uygulanmasıyla birlikte NO salımlarında kazanım sağlanırken özgül yakıt tüketiminde küçük artışlara neden olmaktadır. %1,2 özgül yakıt tüketimi artışı ve %45,3 NO salım indirgemesi ile birlikte en verimli sonuç 2000 dev/dk makine hızında, %20 buhar ile %10 EGR oranı uygulamasından elde edilmektedir (Kökkülünk ve diğer., 2014).

Farklı tip enjeksiyon sistemleri kullanılarak (Woodyard, 2009) örneğin, geleneksel tek yakıt enjeksiyonu, tek bir yanma olayı üzerinde iki enjeksiyona bölünerek bir sistem geliştirilmiştir. Bu yöntemle beraber küçük ve büyük miktarlarda yapılan ayırık yakıt püskürtme olayıyla birlikte azot oksit salımlarında ve kurum miktarında önemli azalmalar meydana gelmektedir. Egzoz gazı devridaimi sistemi ile kıyaslandığında salımlar bakımından ve makine performansı açısından daha üstün olduğu belirtilmektedir (Sindhu ve diğer., 2018).

Püskürtme gecikmesi yanma sürecinde yakıtın enjeksiyondan geç olarak püskürtülmesi ile daha düşük tepe sıcaklıklara ve basınçlara ulaşmasını sağlamaktadır. Yakıtın geç püskürtülmesi pik basınçtan önce yakılan yakıt miktarını azaltmaktadır (Lamas ve Rodriguez, 2012). Püskürtme sürecinin önceden başlamasıyla birlikte azot oksit salımında artım kurum oluşumunda azalma meydana gelmektedir (Sindhu ve diğer., 2018).

Yüksek skavenç basıncı ve sıkıştırma oranı ile sisteme büyük miktarda hava girmekte bu sayede düşük yanma sıcaklığı ve daha az miktarda NO_x salımı gerçekleşmektedir (Chopra, 2017). Silindirde oluşan maksimum sıcaklığı ve salımları azaltmak için skavenç havasının soğutması yöntemi bulunmaktadır (Lamas ve Rodriguez, 2012). Su-yakıt emülsiyonları, NO_x salımında kullanılan ana makinenin tipine de bağlı olarak; %1 oranında su, %1 oranında salımları azalmaktadır. Yakıtının gemideki tatlı su ile karıştırılarak yanma odasına enjekte edilmesi ile gerçekleştirilen yakıt suyu emülsiyonu (FWE) “*fuel water emulsion*” yöntemi; ağır yakıt kullanan makinelere %30 oranında su katılabilmekte buda %30 oranında salım kazanımı sağlamaktadır. Orta dereceli ilk yatırım maliyetleri, kompakt oluşumu ve yakıt tüketimine minimum etkisi bu yöntemin ana faydasını oluşturmaktadır (Woodyard, 2009).

Suyun direk olarak enjekte edilmesi “*direct water injection*” (DWI) yönteminde sisteme ilave edilen su buharlaşarak yanma sürecine kütle ekleyerek ve ısı alarak NO_x azaltmada etkili olmaktadır. Bu sistemde kullanılan nozul ana makinenin çalışmasını

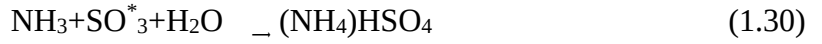
etkilemeyecek iki enjektör iğnesine sahip olmakta ve herhangi bir operasyon sürecinde suyun kullanılmadığı moda geçiş yapılabilir. Su enjeksiyonu yakıt enjeksiyonundan önce gerçekleşir ve yanma işleminin aksamaması için yakıt, silindire yakıt enjekte edilmeden hemen önce su enjeksiyonu durmaktadır (Woodyard, 2009). Bir miktar yakıt tüketim fazlalığıyla beraber %50-60 NO_x oranında salım indirgenmesi sağlanmaktadır. 200 - 400 bar arası su basıncı üretmek için yüksek basınçlı su pompası kullanılmakta ve su enjeksiyon zamanlaması elektronik olarak kontrol edilmektedir. Enjekte edilen su miktarı, su / yakıt oranı, enjeksiyon süresi ile kontrol edilmektedir (Wartsila, 2019a; Hellen, 2010).

Su enjeksiyonu sistemlerinden biride, yanma odasına su ve yakıtın aynı nozuldan kademeli olarak farklı ağızlıklardan ilavesi şeklinde yapılmaktadır. Bu yöntemlere ek olarak skavenç havasının nemlendirilmesi NO_x salımında %20 oranında azalım sağlamaktadır. Buna karşın skavenç havasındaki su oranı çiy noktasına göre sınırlandırılmakla beraber fazla su silindire zarar verebilmektedir (Nam, 2000). Miller çevrimi kullanımı da NO_x salımlarını azaltmada kullanılan birincil yöntemlerden birini oluşturmaktadır (Woodyard, 2009; Hellen, 2010). Sisteme su enjeksiyonunun yapılması maliyet açısından değerlendirildiğinde oldukça iyi bir seçenek olarak karşımıza çıkmaktadır (Yang ve diğer., 2012).

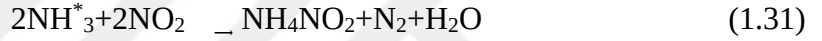
İkincil yöntemlerin başında seçici katalitik redüksiyon (SCR) gelmektedir. Seçici katalitik redüksiyon sistemi karasal elektrik santrallerinde geliştirilmiş olup gemiler içinde uygulanan bir salım azaltma yöntemidir ve NO_x'leri %90'a kadar indirgeyebilmektedir (Woodyard, 2009). SCR sistemiyle birlikte yaklaşık olarak IMO Tier I den %80 oranının da daha az salım sağlanması gerektiren Tier III düzenlemeleri karşılanmaktadır (Yanmar, 2020).

Bu SCR sisteminde egzoz gazı, 290°C ila 450°C arasındaki bir sıcaklıkta özel bir katalizör katmanından geçmeden önce yaklaşık %40'luk bir üre çözeltilisi formunda amonyakla karıştırılmakta ve daha sonra katalitik reaktörden geçirilmektedir. Bu sayede salımların indirgenmesi gerçekleştirilmektedir (Woodyard, 2009; Chopra, 2017).

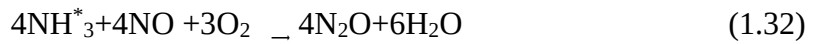
270 ° C'nin altındaki sıcaklıklarda, amonyak ve SO_x reaksiyona girer ve amonyum sülfat olarak depolanır (Woodyard, 2009). Bu durum katalizörün etkisizleşmesine ve sistemin tıkanmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda karşı basınca neden olmaktadır (Cattaneo, 2018).



Makinelerde yanma sonucu oluşan tepe sıcaklıkları bu sistem için oldukça önem teşkil etmektedir. Buna ek olarak 200°C'nin altındaki sıcaklıklarda da ürenin azot dioksit ile birleşerek amonyum nitrat oluşumu gerçekleşmektedir (Cattaneo, 2018).



Amonyum nitratın biriktirilmesi katalizör gözeneklerinin tıkanmasına neden olmaktadır (Cattaneo, 2018). Yüksek seçiciliğe rağmen, aşırı sıcaklıklarda, egzoz gazı sıcaklığına bağlı olarak katalizör bozunmaktadır (Woodyard, 2009; Cattaneo, 2018). Egzoz gazı sıcaklığının 400°C üstündeki durumlarda belirtilen kimyasal tepkimeler(üre oksidasyonu) meydana gelmektedir (Cattaneo, 2018).



Üre, sıcak egzoz gazı akışına enjeksiyon sırasında amonyak ve karbondioksit halinde ayrışır. Üre, NO_x'i zararsız gaz halindeki su ve azota indirgemektedir. Ek olarak kurum ve HC'nin egzozdaki kısımları, SCR işlem reaktöründe oksidasyon yoluyla da uzaklaştırılır (Woodyard, 2009). NO_x azaltmada kullanılan en etkili yöntemin SCR “*Selective Catalytic Reduction*” yöntemi olduğu belirtilmekte, buna karşın kurulum yapılacak bölgede geniş alan kaplaması ve işletim maliyetleri dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında egzoz gazının sistemde yeniden kullanılması, yanma odasına su püskürtülmesi de NO_x indirgenmesinde

kullanılan ucuz, karmaşık olmayan ve küçük alan gerektiren yöntemlerdir. Fakat bu sistemler hidrokarbonları ve karbon monoksit salımlarını artırmaktadır (Yang ve diğer., 2012; Lamas ve Rodriguez, 2012; Chopra, 2017).

1.2.3.2 SO_x Düzenlemeleri

Esas olarak yakıttaki sülfür bileşiğinin varlığı ve yanması nedeniyle oluşmaktadır (Wankhede, 2017). Salım olayı bir kez gerçekleştiğinde bile, atmosferde yüzlerce kilometre boyunca taşınabilmektedir. Taşınan kükürdün topraklarda birikmesi sonucu sülfat partiküllerinde artış meydana gelmekte buda topraktaki fosfor noksanlığına sebep olmakta (Woodyard, 2009) ve ek olarak bu partiküller amfizeme, bronşite ve kalp hastalıklarına yol açmaktadır (Kılıç, 2014). Bu durum Avrupa'nın birçok bölgesinde kaynak sularında asitleşmeye, ormandaki topraklarda kirlenmeye ve tarihi binaların deformasyonuna neden olmaktadır. Bunlarla beraber çeşitli sağlık sorunlarını da beraberinde getirmektedir (Woodyard, 2009).

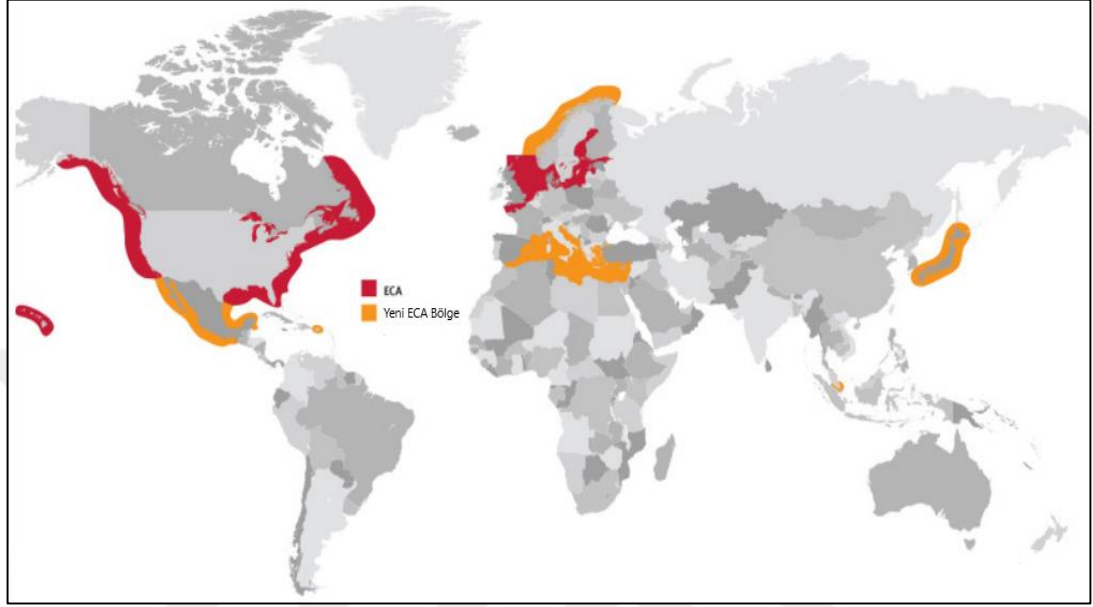
Denizcilik sektörü açısından bakıldığında SO_x ve partikül madde salım kontrolleri, ana makine ve tüm yardımcı makinelerde kullanılan yakıtlarda uygulanmaktadır. Salım kontrolleri ECAs içinde uygulanabilir olanlar ile bu alanlar dışında uygulanabilir olanlar olarak incelenmektedir. Salım limitleri yıllara ve bölgelere göre Tablo 1.4'de belirtilmektedir.

Tablo 1.4 Bölgelere göre SO_x ve partikül madde limitleri (IMO, 2020d)

ECA bölgesi dışında	ECA bölgesinde
1 Ocak 2012'den önceki %4,50 m/m	1 Temmuz 2010'dan önceki %1,50 m/m
1 Ocak 2012 ve sonrasında %3,50 m/m	1 Temmuz 2010 tarihinde ve sonrasında %1,00 m/m
1 Ocak 2020'de ve sonrasında %0,50 m/m	1 Ocak 2015'te ve sonrasında %0,10 m/m

ECAs Baltık Denizi bölgesi MARPOL Ek I de tanımlandığı gibi (sadece SO_x), Kuzey Denizi bölgesi MARPOL Ek V de tanımlandığı gibi (sadece SO_x), Kuzey Amerika bölgesi (1 Ağustos 2012'de yürürlüğe girdi) MARPOL Ek VI'nın Ek VII bölümünde tanımlandığı gibi (SO_x, NO_x ve PM) ve ABD Karayip Denizi bölgesi (1 Ocak 2014'te yürürlüğe girdi) MARPOL Ek VI'nın Ek VII bölümünde tanımlandığı

gibi (SO_x , NO_x ve PM) oluşturmaktadır. Var olan ECAs yanı sıra gelecekteki ECAs olarak lanse edilen bazı alanlar arasında Japonya, Norveç, Meksika ve Akdeniz bulunmaktadır ve Şekil 1.10’da belirtilmektedir (Liang, 2017).



Şekil 1.10 Varolan ve gelecekte muhtemel olabilecek ECAs (Liang, 2017)

ECA bölgesinde ve dışında çalışacak gemiler bu bölgelerdeki salım sınırlamalarını karşılamak amacıyla farklı yakıt tiplerini kullanmaktadır. Bu yüzden ECA bölgesine geldiğinde, bu bölgeye uyumlu yakıt kullanıldığını ispatlamak amacıyla kullanılan yakıtların kayıt altına alınması gerekmektedir. Bu kayıtlar Bayrak Devletinin öngörülen kayıt defterine ya da bu konuda herhangi bir özel şart bulunmaması durumunda, geminin Ek I Yağ Kayıt Defterinde kayıt yapılabilmektedir. Sonuç olarak SO_x düzenlemelerinin amacı atmosfere salınan sülfür miktarlarının bölgelere göre kontrolünü sağlamaktadır (IMO, 2020d).

Düşük kükürtlü yakıtlar, scrubber teknolojisi ve yakıt olarak sıvılaştırılmış doğalgazın kullanımı ECAs kükürt limitlerini karşılayabilmektedir (Greenship, 2019). Liman bölgelerinde düşük kükürt içeren yakıtların kullanılması ile çevreye minimum zararlı gaz salımı yapılarak sınırlamalar karşılanmaktadır (Kılıç, 2006). Kükürt ve partikül madde limitlerini azaltma kullanılan teknolojilerinden (Tran, 2017) biri olan Scrubber sistemi SO_x ’de %90 ila 99 oranında ve Partikül madde de %60 ila %85

oranında salımları azaltmayı hedeflemektedir. Bu tip sistemler maliyetlerini kısa sürede karşılamakta, aynı zamanda yeni inşa gemilerde ve var olan gemilerin sistemlerine entegre edilmektedir (Panasiuk ve Turkina, 2015). Buna karşın sistemin ek enerji ihtiyacı, kurulumundan kaynaklı kargo kapasitesi etkisi ve NO_x salımlarına etkisinin az olması sistemin negatif yönlerini oluşturmaktadır (Panasiuk ve Turkina, 2015). Egzoz gazı temizleyen sistemlerin “*Exhaust gas cleaning systems*” kükürt salımları hakkında yapılacak yeni düzenlemeler dikkate alındığında, ileriki aşamada uygulama alanlarının artması beklenmektedir (Yang ve diğer., 2012).

Doğalgazın atmosferik basınç altında yaklaşık olarak -161 °C ye kadar soğutulma işlemiyle sıvılaştırılmış doğalgaz elde edilmektedir. Renksiz, kokusuz, berrak, zehirli olmayan ve korozyona uğramayan yapısı sıvılaştırılmış doğalgazın en temel özelliklerini oluşturmaktadır. Çevresel etkenler göz önüne alındığında gemi makinelerinde LNG’nin yakıt olarak kullanılması karbondioksit (CO₂), sülfür oksit (SO_x), azot oksit (NO_x) ve partikül madde (PM) salımlarını sırasıyla %20, %100, %90, %99 oranlarında azaltmaktadır. Bu sayede ECA da ve küresel bazda NO_x ve SO_x düzenlemelerini karşılamaktadır (Bayraktar, 2021).

1.2.4 Alternatif Yakıtların Geleceği

Üretilen enerjinin karbondan arındırılması, sürdürülebilir bir yapıda olması gelecekteki alternatif yakıtların temellerini oluşturmaktadır. Denizcilik sektörü açısından bakıldığında sıvılaştırılmış doğalgaz (LNG), sıvılaştırılmış biyogaz (LBG), yenilenebilir enerjilerden ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan üretilen metanol ve hidrojen; hidrojenle işlem görmüş bitkisel yağ (HVO) gibi farklı yakıt tipleri denizcilik sektöründe karşımıza çıkmakta; çift yakıtlı işletilen ana makinelerde, “*fuelcell*” yakıt hücrelerinde kullanılmaktadır (LR (Lloyd's Register), 2014; Nationalgrideso, 2019; Hansson ve diğer., 2019).

Enerji verimliliği sağlayan gemi makine teknolojilerin ana amacı yakıt tüketiminde azalım sağlamak ve bununla birlikte var olan salım miktarlarını en aza indirmektedir. Bu yüzden sıfır salım yapan yakıtların ve hibrit sistemlerin kullanım alanı salım

sınırlaması olan bölgelerde yayınlamaktadır. Fosil yakıtların depolanması, taşınması ve enerji elde edilmesi sıfır salım sağlayan yakıtlardan daha az maliyet oluşturmamasından dolayı, yapılacak enerji verimliliği uygulamalarında bu parametre göz önünde bulundurulması gerekmektedir.. Yeni sistemlerin gemide kullanılması amacıyla gemide çalışan personel ek eğitim programlarına tabii tutulması gerekmektedir. Bu tip yakıtlar için tüm risk analizlerin yapılması gerekmektedir (LR, 2019; LR, 2018).

Yapılan çalışmalarda sıfır salım sağlamak amacıyla, elektrik, hibrit hidrojen, hidrojen yakıt pilleri, hidrojenli içten yanmalı makineler, amonyak yakıt pilleri, amonyaklı içten yanmalı makineler ve biyo yakıtlar gündeme gelmektedir. Bu sistemler ve bu sistemde kullanılacak olan başlıca ekipmanlar Tablo 1.5’de belirtilmektedir (LR, 2018).

Tablo 1.5 Denizcilik sektöründe sıfır salım sağlayan teknolojiler (LR, 2018)

Elektrikli Sevk Sistemi	Bataryalar ve Elektrik Motorları
Hibrit Hidrojen Sevk Sistemi	Hidrojen Depolama Tankı, Bataryalar, Yakıt Pilleri, Elektrik Motorları
Hidrojenli Yakıt Pilleri	Hidrojen Depolama Tankı, Yakıt Pilleri, Elektrik Motorları
Hidrojen + İçten Yanmalı Makineler	Hidrojen Depolama Tankı, Acil durumda kullanılacak HFO Tankı, Çift Yakıtlı İçten Yanmalı Makineler
Amonyaklı Yakıt Hücreleri	Amonyak Depolama Tankı, Dönüştürücü Sistem, Yakıt Pilleri, Elektrik Motorları
Amonyak + İçten Yanmalı Makineler	Amonyak Depolama Tankı, Acil durumda kullanılacak HFO Tankı, Çift Yakıtlı İçten Yanmalı Makineler
Biyoyakıtlar	Biyoyakıt Tankı, İçten Yanmalı Makineler

Hidrojen fosil yakıtlardan ve rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilmektedir. Sıfır salım miktarı sağlayan yenilebilir enerji kaynaklarından hidrojen üretimi oldukça yüksek maliyetlere neden olmaktadır (LR, 2018; Hansson ve diğer., 2019). Amonyak denizcilik sektörü için yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, yüksek maliyetleri beraberinde getirmektedir. Üretim tipine bağlı olarak orta seviye ve sıfıra yakın salım miktarları oluşturmaktadır (LR, 2018). Yakıt pilleri, hidrojen depolama tanklarındaki maliyetler düşürüldüğünde hem

ekonomik açıdan hem de operasyonel anlamda oldukça verimli bir sistem haline gelecektir (LR, 2018). Metanol de hidrojen gibi fosil yakıtlardan ve yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilebilmekte; emniyetli, çevreci, tedarik edilebilir ve uygun maliyetli oluşu bu yakıtın gemi makinelerinde kullanımını ön plana çıkarmaktadır (Hansson ve diğer., 2019; Zincir, 2019). Makinede farklı oranlarda dizel yakıtla karıştırılmış atık kızartma yağı biyodizeli ile dizel yakıt kıyaslandığında, aynı devir ve yükleme durumunda birim güç başına daha fazla yakıt tüketimi değerleri elde edilmektedir. Bunun en önemli sebebini biyodizelin düşük ısıl değere sahip olması oluşturmaktadır (Kaya ve Kökkülünk, 2020).

Sonuç olarak, geliştirilen her bir yeni tasarımın uygulanabilirliği temel olarak ekonomikliğine, verimliliğine, emniyetine, çevreci olma durumuna bağlı olmaktadır. Her konsept tasarım için maliyetler ve performans parametreleri, sermaye maliyeti, kullanım ömrü, %75 makine yükündeki ortalama yakıt tüketimi, DWT kayıplar ele alınarak hesaplanmaktadır (LR, 2014; Hansson ve diğer., 2019). Elektrik üretiminde kullanılan bataryalar ve yenilenebilir enerji sağlayan ekipmanlardaki yapılan teknolojik gelişmelerle birlikte maliyetler en aza indirgenebilmektedir (LR, 2018).

1.3 Kavramlar

1.3.1 Verimlilik

Verimlilik, bir işçinin, bir şirketin veya ülkenin ürettiği mal ile bunların üretilmesi için ne kadar zaman, iş ve para gerektiğini belirten oran olarak ifade edilmektedir (Oxfordlearnersdictionaries, 2019). Verimlilik çıktıların veya üretilenlerin, girdilere oranı olarak ifade edilmektedir (Fried ve diğer., 2008). En basit şekilde verimlilik, yalnızca bir girdi (x) ve yalnızca bir çıktı (y) olduğunda, doğal bir verimlilik ölçüsü, çıktının üretilen girdiye oranı olacaktır (Sickles ve Zelenyuk, 2019).

Verimlilik, genellikle, bir çıktının hacim ölçüsünün, girdi kullanımının hacim ölçüsüne oranı olarak tanımlanmaktadır. Genel görüşü kapsamıyor olsa da verimlilik ölçümünün amaçları kapsamına, teknoloji, etkinlik, maliyet tasarrufu ve üretim

süreçlerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi ve yaşam standartları girmektedir (Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD), 2001). Üretim biriminin verimliliği, girdiler ve çıktılar arasında karşılaştırma yapılarak tanımlanmaktadır. Verimlilik, girdiden elde edilebilen maksimum çıktıya oranlanma ile ya da çıktıyı elde etmek için minimum gerekli olan girdiye oranlama ile hesaplanmaktadır (Lovell, 1993). Verimlilik bireysel, grup ve organizasyon toplamı olarak üç aşamada incelenmektedir. Yapılan çalışmanın kayıtları kullanılarak, elde edilen ürünlerin veya hizmetlerin miktarı veya hacmi esas alınarak verimlilik ölçümü yapılmaktadır (Campbell ve diğer., 1974). Bir üreticinin verimliliği denildiğinde, çıktıların girdisine oranı kastedilmektedir. Üretici birkaç çıktı elde etmek için, birkaç girdi kullanması durumlarında paydaki çıktılar, paydadaki girdiler ekonomik açıdan hassas bir şekilde toplanmaktadır. Böylece verimlilik iki skaler büyüklük olarak kalmakta ve verimlilik değişimi, çıktılar /girdiler arasındaki fark belirlenmektedir (Fried ve diğer., 2008). Birçok girdinin tek veya birçok çıktı oluşturduğu durumlardaki, oranlama çok faktörlü verimlilik *Multi-Factor Productivity* (MFP) kavramını oluşturmaktadır (Sickles ve Zelenyuk, 2019).

Çok faktörlü veya toplam faktör verimliliği, kullanılan tüm girdilerin üzerinden elde edilen tüm çıktıların oranı olarak ifade edilmektedir. Daha geniş bir verimlilik ölçüsüne odaklanarak, üretilen tüm ürün ve hizmetlerin üretim kaynaklarını hesaba katarak toplam faktör verimliliği elde edilmektedir (Fried ve diğer., 2008).

Verimlilik “*üretim sürecine sokulan çeşitli faktörlerle (girdiler) bu sürecin sonunda elde edilen ürünler (çıktılar) arasındaki ilişkiyi ifade eden verimlilik, savurganlıktan uzak, kaynakları en iyi biçimde değerlendirerek üretmek*” olarak tanımlanmaktadır (Yükçü ve Atağan, 2009). Örgütün sağladığı temel ürün veya hizmetin miktarı verimlilik olarak ifade edilmektedir. Birey, grup ve tüm örgüt olarak üç seviyede ölçülebilmektedir (Karataş Çetin, 2012). Verimlilik kavramına benzer ve yakın anlama sahip terimler ve bunların sözlüklerde ve çeşitli akademik çalışmalardan elde edilen tanımları Tablo 1.6’da detaylı bir şekilde ifade edilmektedir.

Tablo 1.6 Etkinlik, etkililik, kar, kalite ve büyüme kavramları

Etkinlik	Etkinlik, zaman, enerji ve para kaybı olmadan iyi bir şey yapma kalitesi olarak tanımlanmaktadır (Cambridge Dictionary, 2019). Birim bazda gerçekleştirilen performansın, süreç boyunca oluşturduğu maliyete oranlanması ile etkinlik değeri elde edilmektedir (Karataş Çetin, 2012).
Etkililik	Etkililik, başarılı olma ve istenilen sonuçları üretme yeteneği olarak tanımlanmaktadır (Cambridge Dictionary, 2019). Arşiv performans kayıtlarının, tek başlarına veya birleştirilmiş biçimde kullanılması ile genel etkililik ölçülmektedir. Kuruluş hakkında uzman kişilerin yaptığı genel derecelendirme ve değerlendirmeler diğer etkililik ölçme tekniğidir (Campbell ve diğer., 1974).
Kâr	Satışlar gerçekleştirildikten sonra elde edilenden, süreç boyunca oluşan maliyetleri ve borçları çıkardığımızda elde kalan gelir kâr olarak ifade edilmektedir (Karataş Çetin, 2012). Ticarete veya işletmede, bir mal veya hizmet için yapılan üretim masraflarının, satım işlemleri gerçekleştikten sonra, kazanılan para olarak ifade edilmektedir (Cambridge Dictionary, 2019). Kâr, tüm masraf ve borçların karşılanmasıyla, satışlardan elde edilen gelir miktarı olarak ifade edilmektedir (Campbell ve diğer., 1974).
Kalite	Bir şeyin mükemmeliyet derecesini yani ne kadar iyi ya da kötü olduğunu belirtmektedir (Cambridge Dictionary, 2019). Örgüt tarafından ortaya konulan mal veya hizmetin kalitesi, mal veya hizmetin türüne göre farklı şekiller alabilmektedir (Karataş Çetin, 2012). Bir organizasyonun hizmet veya ürünlerinin kalitesi, mevcut hata kayıtlardan yararlanılarak ölçülmektedir (Campbell ve diğer., 1974).
Büyüme	Bir ekonominin veya işletmenin mal ve hizmet üretme kabiliyetindeki artış olarak ifade edilmektedir (Cambridge Dictionary, 2019). Toplam işgücü, tesis kapasitesi, varlıklar, satışlar, kar, pazar payı ve yenilik sayısı gibi değişkenlerdeki artış miktarı ile ifade edilmektedir (Karataş Çetin, 2012). İnsan gücü, tesis olanakları, sahip olunan varlıklar, satışlar, karlar, pazar payları ve yeniliklerdeki artışlar büyüme olarak tanımlanmaktadır. Büyüme kavramı ile organizasyon mevcut durumunun kendi geçmiş durumuyla karşılaştırılmasını yapabilmektedir (Campbell ve diğer., 1974).

Mühendislik açısından değerlendirildiğinde belli başlı verimlilik kavramlarını termal verimlilik, mekanik verimlilik, toplam verimlilik, elektrik verimi ve enerji dönüşüm verimliliği oluşturmaktadır. Her bir verimlilik kavramı gemi makinelerini referans alarak ifade edilmektedir.

1.3.1.1 Termal Verimlilik

Termal verimlilik, genel performans ölçütüdür. Mutlak anlamda, sağlanan toplam ısının yararlı işe oranı olarak ifade edilmektedir (Woodyard, 2009).

- İndike Termal verimi
- Fren Termal verimi (Pulkrabek, 2013).

İndike Termal Verimi, makineden elde edilen indike gücün, makineye giren toplam yakıtın verebileceği güç miktarına oranını ifade etmektedir (Ganesan, 2012; Ferguson ve Kirkpatrick, 2015).

$$\eta_{ith} = \frac{\dot{W}_i}{\dot{m}_f H_o} \quad (1.37)$$

Yakıtın yanması sonucu makinenin silindirlerinde elde edilen toplam güce indike beygir gücü (IHP) denilmektedir. Fren Termal Verimi, fren gücü ile makineye giren yakıtın verebileceği güç miktarı oranıdır. (Ganesan, 2012; Ferguson ve Kirkpatrick, 2015). 4 stroklu makinelerde termal verimlilik %25 ila %55 arasında iken 2 stroklu makinelerde %65 in biraz üzerinde bir değer almaktadır (Kuiken, 2017).

$$\eta_{bth} = \frac{\dot{W}_b}{\dot{m}_f H_o} \quad (1.38)$$

Fren beygir gücü, makine tarafından kullanılan yararlı iş olarak ifade edilmektedir. İndike güçten sürtünmeden kaynaklı güçleri çıkardığımızda elde edilen güç, fren beygir gücünü ifade etmektedir (Calder, 1992; Ferguson ve Kirkpatrick, 2015).

$$\dot{W}_b = \dot{W}_i - \dot{W}_f = 2\pi n Q_b \quad (1.39)$$

Fren beygir gücü makinenin kaplin çıkışından bir dinamometre yardımıyla ölçülmektedir. Elde edilen tork ve makine devri esas alınarak fren beygir gücü hesaplanmaktadır. (Carlton, 2018; Falzarano, 2018).

1.3.1.2 Mekanik Verimlilik

Mekanik verimlilik, motorun çalışma sınırları göz önünde bulundurularak termodinamik çevriminden üretilen işin ne kadarının gerçekte şaftta kullanılabileceğini ölçmektedir (Senft, 2007). Mekanik verim fren gücünün indike güce oranı olarak tanımlanmaktadır. Fren gücü ile indike güç arasındaki farkı sürtünmeden ve iletimden kaynaklı kayıplar oluşturmaktadır (Ganesan, 2012).

$$\eta_m = \dot{W}_b / \dot{W}_i \quad (1.40)$$

Gemi makinelerinde safta iletilen gücün indike güce oranı mekanik verimlilik olarak tanımlanmaktadır (Kuiken, 2017). Şaft beygir gücü “*Shaft Horsepower*” (SHP), tahrik saftı üzerinden aktarılan gerçek gücü ifade etmektedir. Bu güçteki kayıpları dişli kutusu, yataklardaki oluşan aktarım kayıpları oluşturmaktadır. Pervane üzerine aktarılacak olan güç ise iletilmiş güç “*Delivered Horsepower*” (DHP) olarak ifade edilmektedir (Calder, 1992; Kuiken, 2017). Pervaneye iletilen güç ile fren beygir gücü arasındaki oran “*Shaft Transmission Efficiency* (η_s)” olarak tanımlanmakta ve fren beygir gücü ile pervaneye iletilen güç arasındaki tüm kayıpları kapsamaktadır (Carlton, 2018; Falzarano, 2018).

$$\eta_s = \frac{\dot{W}_d}{\dot{W}_b} = \frac{2\pi n Q_d}{\dot{W}_b} \quad (1.41)$$

İndike güç çeşitli sürtünmelerden dolayı tam olarak saft gücü olarak kullanılamamaktadır (Kuiken, 2017). Makine devri arttıkça sürtünme ve güç iletim kayıpları artmaktadır. Bu bağlamda pistonlar ve piston segmanlarında, yataklarda, yağ ve soğutma sıvısı pompasında, valflerde, dişlilerde, yakıt enjeksiyon pompasında, giriş ve egzoz sistemlerinde hava ve gaz akışına karşı direnç (Calder, 1992) çeşitli kayıpları meydana getirmektedir (Reif, 2014). Bu kayıplar, sürtünme beygir gücünü oluşturmaktadır (Calder, 1992).

1.3.1.3 Toplam Verimlilik

Sistemin toplam verimliliği, giriş enerjisi (yakıt) ile sistemden elde edilen efektif güç arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir (Reif, 2014). Modern dizel makinelerde indike güç yaklaşık olarak %8 ila %10 arasında kayba uğrayarak makinenin şaftına iletilmektedir (Kuiken, 2017). Pervane İtme gücü “*Thrust Power*” belirli bir hızda ilerleyen pervanenin, istenilen itmeyi üretebilmesi için gerekli olan gücü ifade etmektedir. Pervane itme gücünün, iletilen güce oranı ise pervane verimini ifade etmektedir.

$$\dot{W}_t = T \cdot V_A \quad (1.42)$$

$$\eta_p = \dot{W}_t / \dot{W}_d \quad (1.43)$$

Geminin belirli bir hızda ilerlemesini ve sonucunda oluşan toplam direnci esas alarak efektif güç hesaplanmaktadır. Efektif gücün, pervane itme gücüne oranı tekne gövdesinin verimliliğini ifade etmektedir.

$$\dot{W}_e = V_S \cdot R_T \quad (1.44)$$

$$\eta_h = \dot{W}_e / \dot{W}_t \quad (1.45)$$

Toplam verim, sistemdeki her bir elemanda meydana gelen kayıpların ayrı ayrı göz önünde bulundurulmasıyla da hesaplanabilir (Kuiken, 2017). Bir geminin toplam verimliliği göz önüne alındığında yakıtın yanmasından teknenin efektif gücüne kadar olan aşamalar toplam verimliliği oluşturmaktadır (Carlton, 2018; Falzarano, 2018).

$$\eta_{\text{toplam}} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}_f H_o} = \frac{\dot{W}_e}{\dot{W}_t} * \frac{\dot{W}_t}{\dot{W}_d} * \frac{\dot{W}_d}{\dot{W}_b} * \frac{\dot{W}_b}{\dot{W}_i} * \frac{\dot{W}_i}{\dot{m}_f H_o} \quad (1.46)$$

Makineler bazen maksimum güç çıktılarında değerlendirilir fakat bu maksimum güç çıktısında uzun süreli işletilmesi ana makine de hasara neden olacağından dolayı, seçim genellikle sürekli olarak sağlanabilecek fren beygir gücü (BHP) cinsinden yapılmaktadır (Calder, 1992).

1.3.1.4 Elektrik Verimi

Elektrik verimi, yararlı güç çıktısının toplam güç girişine oranıdır ve genellikle yüzde olarak ifade edilmektedir. (U.S. Department of Energy, 2014). Yük faktörü hesaplanarak bir tesisteki elektriksel verimlilik ölçüsü bulunmaktadır. Yük Faktörü aylık enerji kullanımının(kWh) cinsinden, en yüksek enerji talebi(kW) ile tesisinin çalışma saatlerinin çarpılmasına oranı olarak ifade edilmektedir (Parasiliti ve Bertoldi, 2012).

Elektrik motorunun verimliliği, elektrik motorunun elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürme yeteneğinin ölçüsü olarak ifade edilmektedir. Elektrik kaynağından motora kW bazında elektrik gücü gelmekte ve bu enerji motorun şaftına beygir gücü olarak aktarılmaktadır. Bu dönüşüm sırasında çeşitli kayıplar meydana gelmekte bu da verimliliği etkilemektedir. Belirli bir mekanik enerji çıkışı için elektrik gücü tüketimini azaltmak için, motor kayıpları azaltılmalı ve elektrik motoru verimi artırılmalıdır (Emadi, 2014). Motorun verimi ve güç faktörü kapasitesine ve yüküne bağlıdır. Motorlar üzerinde enerji tasarrufu sağlamak için yapılan iyileştirmeler hem verimlilik hem de güç faktöründe önemli bir gelişme sunmaktadır (Parasiliti ve Bertoldi, 2012).

1.3.1.5 Enerji Dönüşüm Verimliliği

Enerji dönüşüm verimliliği, enerji sistemlerinin temel özelliklerinden birini oluşturmaktadır. Enerji dönüşüm verimliliği yararlı çıktının, giriş maliyetlerine oranı olarak ifade edilmektedir (Hacker ve Mitsushima, 2018). Proseslerin çoğunda, enerji sürekli olarak bir formdan diğerine evrilmekte ve bu durum enerji dönüşümü olarak adlandırılmaktadır. Bir dönüşüm cihazına veya bir prosese giren enerji diğer enerji formlarına dönüştürülürken, giren ve çıkan enerji miktarları eşit olmakta bu da enerjinin korunduğu anlamına gelmektedir (Demirel, 2012). Enerji miktar ve kalite olarak iki ana terime ayrılmakta, bunlarda sırasıyla elektrik gücü için akım ve gerilimi ifade etmektedir (Hacker ve Mitsushima, 2018).

1.3.2 Etkinlik

Etkinlik, zaman, enerji ve para kaybını en aza indirgeyip, iyi bir şey yapma kalitesi olarak tanımlanmaktadır (Oxfordlearnersdictionaries, 2019). Fiziksel anlamda etkinlik, bir makineye yakıt ve güç şeklinde verilen enerji miktarı ile bu enerjinin oluşturduğu toplam hareket miktarı arasındaki ilişki olarak tanımlanmaktadır. Ekonomik anlamda etkinlik, bir kişinin, şirketin veya fabrikanın, zaman, malzeme veya işçilik gibi kaynakları ziyan olmadan gerçekleştirmesi olarak tanımlanmaktadır. Teknik anlamda etkinlik, bir makine veya bir proses tarafından gerçekleştirilen faydalı işin, harcanan toplam enerjiye veya alınan ısıyla ilişkisini incelemektedir (Cambridge Dictionary, 2019).

Genel olarak, etkinlik bir firmanın kıt kaynaklarını, üretim hedeflerine ulaşmak için ne kadar iyi tahsis ettiği ile ilgilenmektedir. Etkinlik kavramı, gerçekleşen ve potansiyel seviyelerin ilişkilendirilmesi sonucu elde edilen bir kavramdır (Wu, 2008; Sickles ve Zelenyuk, 2019). Girdi ve çıktı miktarları arasındaki sınır azaldıkça etkinlik artmaktadır (Daraio ve Simar, 2007). Bir üreticinin etkinliği çıktının ve girdinin optimal değerleri ile gözlemlenen değerleri arasında karşılaştırma yaparak elde edilmektedir (Fried ve diğer., 2008). Etkinlik genellikle oran olarak düşünüldüğünde, bu oran birim performansın bir kısmının o performans için yapılan maliyetlerle karşılaştırılmasını yansıtmaktadır (Campbell ve diğer., 1974).

1.3.2.1 Ekonomik Etkinlik

Durumun optimal olması durumunda girdi çıktı arasındaki oran bire eşit olmaktadır. Optimal olmadığı değerlerde örneğin eksik istihdamın, üretim birimlerinin teknik yetersizliği ve ekonomik organizasyonun verimsizliği gibi durumlar göz önünde bulundurulduğunda elde edilen durum ekonomik etkinliği ifade etmektedir (Debreu, 1951). Bir geminin ekonomik etkinliği, genellikle kapasitesini arttırarak, ilk yatırım maliyetlerini, mürettebat sayısını ve yakıt miktarını azaltarak geliştirmektedir.

Bununla birlikte boyutsal sınırlamalar kapasiteyi sınırlamaktadır (Schneeklut ve Bertram, 1998).

1.3.2.2 Teknik Etkinlik

Teknik Etkinlik, bir firmanın girdileri ne kadar iyi bir çıktı setine dönüştürdüğüne bir ölçüsü olarak belirtilmektedir. Gerçekleşen çıktılar, potansiyel çıktılara oranı, bir firmanın teknik etkinlik seviyesini tanımlamaktadır (Wu, 2008). Teknik Etkinlik, çıktıyı artırmaya veya girdiyi koruyucu yönelimine sahip olması gerekmektedir (Fried ve diğer., 2008). Teknik Etkinlik, girdiyi koruma ve çıktıyı artırma yönelimlerinin değerlerini ifade etmektedir (Debreu, 1951; Farrell, 1957). Bir girdi-çıkı vektörü, herhangi bir çıktının artırılması veya herhangi bir girdinin azaltılması, yalnızca başka bir çıktının azaltılması veya başka bir girdinin artırılması ile mümkünse teknik olarak etkin olmaktadır (Koopmans, 1957).

1.3.2.3 Tahsis Etkinliği

Tahsis etkinliği, bir firmanın mevcut girdi ve çıktıları optimum oranlarda birleştirebilme yeteneğini ifade etmektedir. Teknik ve tahsis etkinlik daha sonra firmanın toplam ekonomik veya üretken teknikliğinin ölçüsünü belirtmek amacıyla birleştirilmektedir (Wu, 2008).

1.3.3 Etkililik

Örgüte ilişkin elde edilen performans kayıtları bir araya getirilerek veya örgüt hakkında bilgi bakımından uzman kişilerin değerlendirilmeleri göz önünde bulundurularak etkililik değeri elde edilmektedir (Karataş Çetin, 2012). Etkililik kavramı teknik ve ekonomik anlamda değerlendirilmekte ve ekonomik etkililik gerçekleşen kârın, beklenen kâra oranı olarak ifade edilmektedir. Üretim etkililiği ise gerçekleşen üretimin, beklenen üretime oranı olarak belirtilmektedir (Yükçü ve Atağan, 2009).

BÖLÜM İKİ

LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Literatür Taraması: Web of Science (WOS)

Bu bölümde deniz taşıtlarında hibrit sevk sisteminin verimlilik analizi (Efficiency Analysis of Hybrid Propulsion System for Marine Vessels) başlıklı tezdeki kelimeler “Web of Science (WOS)” da taranarak yapılan çalışmaların neyi hedeflediği ne gibi çıktılar elde ettiği ortaya konulmaktadır. WOS ta yapılan taramada “efficiency”, “vessel”, “marine”, “propulsion” ve “hybrid” kelimelerini konu başlıklarında “topic” kullanan çalışmalardan Tablo 2.1’deki veriler elde edilmektedir. Veriler elde edilirken zaman aralığı olarak 1975-2020 arası seçilmekte ve doküman türleri olarak makaleler “article”, incelemeler “review”, bölümler “chapter” ve bildiri çalışmaları “proceedings paper” incelemeye dâhil edilmektedir. Tablo 2.1’de her bir veri numaralandırılıp çalışmaların bulundukları Tablo 2.3’de rakamlarla ifade edilmektedir. Buna ek olarak akademik alanda literatür taraması sürdürülerek WOS da olmayan çalışmalarda ilgilendikleri konularla bu bölüme eklenmekte ve tüm bu konuları kapsayan sonuç kısmı oluşturulmaktadır. Çalışma 2 Mayıs 2020 tarihinde güncellenmektedir.

Tablo 2.1 Konu başlıklarında “Efficiency” “Vessel” “Marine” “Propulsion” ve “Hybrid” kelimelerini kullanan çalışmaların içeriği

[1]Maliyetleri Azaltmak	[10]Ana Makine ve Yardımcılarında İyileştirmeler Yapmak
[2]Yakıt Tüketimini Azaltmak	[11]Pervane ve Dümen Sisteminde İyileştirmeler Yapmak
[3]Römorkör vb. Hizmet Gemileri	[12]Enerji Verimliliği Önlemleri (EEDI), (SEEMP), (EEOI)
[4]CO ₂ Salımını Azaltmak	[13]Rüzgâr Enerjisi Kullanımı
[5]NO _x Salımı Azaltmak	[14]Elektrik Motoru Kullanımı
[6]SO _x Salımı Azaltmak	[15]Batarya Kullanımı
[7]Sera Gazları Salımlarını Azaltmak	[16]Alternatif Yakıt Kullanımı
[8] Denizcilik Yönünden Çevresel Kaygıları Dikkate Almak ve IMO Sınırlamalarına Uymak	[17] Gemi İnşasında ve Gövdesinde Yapılan İyileştirmeler
[9] Personellerin Eğitimi	[18] Güvenilirlik Sağlamak

Tarama sonucu elde edilen çalışmalarda kullanılan tüm metotlar Tablo 2.2’de belirtilmektedir. Her bir metot türü rakamlarla kısaltılmakta ve hangi metot türünün kullanıldığı Tablo 2.3’de kullanılmaktadır.

Tablo 2.2 Çalışmalarda kullanılan metot türleri

Deneyisel Çalışma[1]	Modelleme[2]	Kuramsal Çalışma[3]
Optimizasyon[4]	Nicel Veri Analizi/Model Uyarlama [5]	

İlk olarak WOS un tarama bölümünde konu başlıkları kısmına “efficiency”, “vessel” ve “marine” kelimeleri yazılmaktadır. Sonuçlara bakıldığında bu konu başlıkları ile ilgili 539 çalışma bulunmaktadır. WOS ta tarama yapıldıktan sonra, kategori kısımandan ilgili konu başlıkları Şekil 2.1’de görülmektedir. İlgili olmayan kategoriler istenirse elemine edilebilmektedir.

☐ ENGINEERING ELECTRICAL ELECTRONIC (14)	☐ INTERNATIONAL RELATIONS (3)
☐ ENERGY FUELS (7)	☐ MARINE FRESHWATER BIOLOGY (3)
☐ ENGINEERING MARINE (7)	☐ MATERIALS SCIENCE MULTIDISCIPLINARY (3)
☐ TRANSPORTATION SCIENCE TECHNOLOGY (6)	☐ COMPUTER SCIENCE ARTIFICIAL INTELLIGENCE (2)
☐ ENVIRONMENTAL SCIENCES (5)	☐ ECONOMICS (2)
☐ ENVIRONMENTAL STUDIES (5)	☐ ELECTROCHEMISTRY (2)

Şekil 2.1 WOS ta örnek kategori görüntüleme

Bu çalışmalar değerlendirilerek tez ile ilgili olanlar ve ilgili oldukları konular Tablo 2.3 de ifade edilmektedir. İkinci aşamada “efficiency” “vessel” ve “propulsion” kelimeler taranmakta olup, elde edilen 243 çalışmadan ilgili olanlar Tablo 2.3’e eklenmektedir.

Son aşamada “efficiency” “vessel” ve “hybrid” kelimeleri taranmakta ve 246 sonucun tez ile ilişkili olanları Tablo 2.3’e eklenmektedir. Üç taramada ortak ana kelimeler bulunduğundan dolayı aynı çalışmalar elemine edilmektedir.

Tablo 2.3 WOS taramasından elde edilen çalışmalar ve odaklanılan konu başlıkları

Çalışmalar / Konu Başlıkları	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]	[16]	[17]	[18]	Metodoloji ¹	Atf S.	WOS Atf S.
Hasan ve Karim (2019)				x				x				x					x		3,5		
Kumar ve diğer. (2019)	x	x	x				x							x	x				2,4,5	2	
Van Nguyen ve diğer. (2019)									x	x									1,2	1	
Andriiovych ve Victorovych (2019)	x				x			x		x						x			1	4	
Lipman ve Lidicker (2019)	x	x											x						3,4		
Ng ve diğer. (2019)		x	x	x			x	x								x			2,5	2	
Lana ve diğer. (2019)		x	x	x	x	x	x							x	x				2,4,5	3	
Litwin ve diğer. (2019)	x	x		x	x	x	x	x				x			x				1,2,5	2	1
Kunicka ve Litwin (2019)	x	x		x	x	x	x	x						x	x			x	1,2,5	1	1
Ma ve diğer. (2019)	x	x		x			x	x				x	x						4,5	2	1
Geertsma ve diğer. (2018)		x	x	x	x		x	x			x							x	2,5	8	3
Kamala ve diğer. (2018)		x	x	x	x	x	x							x				x	3,5	3	2
Nielsen ve diğer. (2018)		x			x		x	x		x		x							2,4,5	10	7
Imperato ve diğer. (2018)		x			x			x		x									2,5	4	2
Chi ve diğer. (2018)	x	x		x			x	x				x							2,5	7	4
Kumar ve diğer. (2018)	x	x	x				x			x				x	x			x	2,4,5		
Bui ve diğer. (2018)		x		x	x			x		x				x	x				2,5	3	
Zhu ve diğer. (2018)	x	x	x				x	x		x		x		x	x				1,2,4,5	10	6
Ma ve diğer. (2017)	x	x		x			x	x		x		x							4,5	3	2
Litwin ve diğer. (2017)	x	x					x				x			x	x			x	1,5	9	7
Geertsma ve diğer. (2017)		x					x				x								2,5	25	11
Yuan ve diğer. (2017)		x	x					x						x	x	x		x	4,5	4	

Tablo 2.3 devamı

Geertsma ve diğer. (2017)	x	x	x	x	x		x	x			x	x		x	x				3	170	84
Bennabi ve diğer. (2016)	x	x	x	x	x	x	x	x						x	x			x	3	12	
Soghomonian ve diğer. (2016)	x	x		x			x	x				x		x				x	3	3	
Hountalas ve diğer. (2016)	x	x		x			x			x									1,5		
Chai ve diğer. (2016)	x	x	x											x				x	4,5	4	
Zhao ve diğer. (2016)	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x							2,5	24	17
Dedes ve diğer. (2016)	x	x		x	x		x	x				x		x	x				3,4,5	16	9
Xiao ve diğer. (2016)		x	x				x							x	x			x	3,5	4	
Sciberras ve diğer. (2015)	x	x	x	x	x	x	x	x						x			x		3,5	14	7
Chi ve diğer. (2015)	x	x		x			x	x				x							2,5	5	
Zhao ve diğer. (2015)		x		x															2,5	14	
Zahedi ve diğer. (2014)		x	x				x							x	x			x	2,4,5	124	76
Galli ve diğer. (2014)	x	x					x												3,5	4	3
Bolvashenko ve diğer. (2014)	x	x					x			x	x		x	x	x				3,5	19	
Acomi ve Acomi (2014)	x	x		x	x	x	x	x				x					x		5	10	
Manea ve diğer. (2013)	x	x		x	x	x	x	x		x		x		x			x		3		
Motley ve diğer. (2012)	x	x					x				x								2,4,5	26	16
Dedes ve diğer. (2012)	x	x		x	x	x	x							x	x			x	3,4,5	106	58
Corbett ve diğer. (2008)	x	x		x		x	x										x		2,5	70	31
Krylov ve Pritchard (2007)											x								1,3	31	17
Lin (2002)		x		x	x	x	x	x		x									1,5	46	26
Hountalas ve Kouremenos (1999)	x	x										x							3,5	54	24
Toplam	28	40	14	25	18	12	33	24	1	13	8	15	3	20	16	6	2	12		859	415

¹ Metodoloji sütununda her bir çalışma için belirtilen rakamlar Tablo 2.3’de belirtilen yöntemleri referans olarak oluşturulmaktadır.

Elde edilen çalışmalardaki içerikler değerlendirildiğinde 44 çalışmaya ulaşılmakta ve bu çalışmaların odaklandıkları konular Tablo 2.3’de ifade edilmektedir. 1975-2020 yılları arasındaki çalışmaların incelenmesine rağmen ilgili makalelere 1999-2020 yılları arasında rastlanılmaktadır.

2.2 Literatür Taraması: Web of Science (WOS) Çıktıları Değerlendirme

Toplamda 44 çalışmaya 859 atıf yapılmakta ve bu atıfların 415 i WOS da yapılan çalışmaları kapsamaktadır. WOS’taki çalışmalarının ilgilendikleri konu başlıkları ve bu başlıklarla ilgili detaylı bilgiler Tablo 2.4’de ifade edilmektedir.

Tablo 2.4 Literatür taraması sonucunda elde edilen konu başlıkları ve tekrar sayıları

Konu Başlıkları	Tekrar Sayısı	Açıklama
Yakıt Tüketimini Azaltmak	40	Alternatif yakıtların ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı yanı sıra yapılan optimizasyon teknikleri ile yakıt tüketimini minimize etmeyi amaçlamaktadır.
Sera Gazları Salımını Azaltmak	33	Ana Makine ve yardımcılarında yanma sonucu oluşan CO ₂ , NO _x , SO _x ve PM gibi sera gazlarının oluşumlarını en aza çekmeyi amaçlamaktadır.
Maliyetleri Azaltmak	28	Geliştirilen yeni teknolojilerin ilk yatırım maliyetleri göz önünde bulundurularak, operasyonlardaki giderlerin en aza çekilmesi hedeflenmektedir.
CO ₂ Salımı Azalımı	25	Çalışmaların bazılarında salım kaynakların hepsine değil, CO ₂ salımında kazanım sağlamaya odaklanmaktadır.
Çevresel Kaygıları Dikkate Almak ve IMO Sınırlamalarına Uymak	24	Uluslararası Denizcilik Örgütü, zararlı gazlarının salımları sonucu meydana gelen küresel ısınmayı ve çevresel kirlilik oluşumunu en aza indirmeyi amaçlamaktadır.
Elektrik Motoru Kullanımı	20	Jeneratör veya yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin elektrik motorunun sevinde kullanılması ile birlikte yakıt tasarrufu ve salımlardan kazanç sağlanması amaçlanmaktadır.
Batarya Kullanımı	16	Gelişen teknolojilerle birlikte bataryaların üretilme maliyeti düşmekte, birim hacimde elde edilen güç miktarı artmakta, çalışma sıcaklığı aralıkları genişletilmektedir.
Enerji Verimliliği Önlemleri (EEDI) (SEEMP) (EEOI)	15	Gemilerin inşasında ve gerçekleştirilen operasyonlarda enerji kaybını en aza indirmek için Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından EEDI, SEEMP ve EEOI oluşturulmaktadır.
Römorkör vb. Hizmet Gemileri	14	Açık deniz platformlarına, limandaki manevralara, dalış operasyonlarına hizmet sağlayan gemiler üzerinde enerji verimliliği çalışmaları sürdürülmektedir.
Ana Makine ve Yardımcılarında Yapılan İyileştirmeler	13	Ana makinede yanma sonucu ortaya çıkan egzoz gazının sistemde tekrar kullanılması, egzoz gazının yıkanma sistemi, organik rankine çevriminin gemi makine sistemlerinde kullanılması gibi teknolojilerle enerji verimliliği sağlanması amaçlanmaktadır.

Tablo 2.4 devamı

Güvenilirlik Sağlamak	12	Gemi sevk sisteminde yapılan iyileştirmelerin güvenilirlik açısından analizi yapılarak uygulanabilirliğini göstermek
Pervane ve Dümen Sisteminde İyileştirmeler Yapmak	8	Kullanılan yeni pervane tipleri veya var olan pervane üzerinde yapılan iyileştirmeler ile enerji kazanımı sağlanmaktadır.

Elde edilen çalışmalardaki içerikler değerlendirildiğinde 44 çalışmanın 40'ında yakıt tüketiminde kazanım sağlamayı hedeflemektedir. 33 çalışmada ise sera gazları salımlarının en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır. Bu durumlara ek olarak maliyet indirgeme uygulamaları, IMO sınırlamaları, elektrik motoru ve batarya kullanımı, ana ve yardımcı makinelerde yapılan iyileştirmeler, pervane ve dümen sisteminin verimliliğinin artırılması odak noktasına alınmaktadır.

Tüketilen toplam ticari enerjinin %25'lik kısmını ulaştırma sektörü oluşturduğundan dolayı, yeni nesil gemilerin yüksek enerji verimliliği ve güvenilirliğine sahip olması ile birlikte çevreye en az seviyede zarar vermesi gerekmekte ve istenilmektedir. IMO'nun sera gazları ve kirletici salımlarının sınırlamalarını karşılaması amacıyla Bennabi ve diğer. (2016) hibrit sevk sistemini önermekte ve yapılabilecek uygulamalar belirtilmektedir. IMO karbondioksit salımını kontrol altına almak amacıyla enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI) oluşturmaktadır. Hasan ve Karim (2019) EEDI formülünün iç su ve açık denizlerde işletilen gemilerde farklılık gösterileceğini ve bu gemiler için EEDI hesaplamada yeni parametrelerin kullanılması gerektiği belirtilmektedir. En yaygın taşıma yöntemlerinden biri olan deniz taşımacılığının sürdürülmesi için, gemilerde yapılacak olan enerji verimliliği çalışmaları ve karbon dioksit salımları indirgeme yöntemleri ekonomik ve çevresel açıdan kazanımlar sağlayacaktır. Gemilerin operasyonel verimliliğinin gerçek zamanlı izlenmesi için Chi ve diğer. (2018) otomatik tanımlama sistemi (AIS) verilerini kullanan bir çerçeve oluşturulmaktadır. Bu geliştirilen çerçeve ile yapılan taşıma işi miktarı, CO₂ salımları, yakıt tüketim miktarları bulguları elde edilmektedir. Enerji verimliliği önlemleri için oluşturulan EEOI hesaplamaları bu çerçeve kapsamında oluşturulan modelde hesaplanmaktadır. Singapur limanının ve boğazının güney batı trafiğini üzerinde gerçek zamanlı görüntüleme sistemi kullanılmasıyla Chi ve diğer. (2015) gemilerin verimliliğini hesaplanmaktadır. Geliştirilen yazılımda geminin tipi, taşıdığı yükü, su çekimi, GRT, net tonajı (NRT) ,

DWT vb. değerler kullanılmakta olup ve bu sayede gerçek zamanlı EEOI değeri hesaplanmaktadır. Farklı tip yakıtların EEOI üzerindeki etkisini araştırmayı amaçlayan Acomi ve Acomi (2014) EEOI ile ilgili enerji verimliliği iyileştirmelerini ele almaktadır. Sistemlerde kullandıkları yakıt tipleri HFO, MDO/MGO ve LFO olarak değiştirilmekte ve oluşan kazanımlar belirtilmektedir. Enerji depolama sistemlerinin ve alternatif enerji kaynaklarının birlikte kullanılması ile IMO'nun salım sınırlamalarını ve enerji verimliliğini düzenlemelerinin karşılanabileceğini gösteren Yuan ve diğer. (2017) hibrit sistemleri ön plana çıkartmaktadır. Dinamik yükleme koşulları altında tüm elektrikli hibrit gemilerde Model Öngörülü Kontrol (MPC) yöntemiyle maksimum yakıt tüketim ve sistem güvenilirliği kazanımı amaçlanmaktadır. Gemilerden kaynaklı deniz kirliliğini engellemek ve yeşil enerji kullanımını ön plana çıkarmak amacıyla yapılan uygulamaların doğuracağı yeni pazarları Manea ve diğer. (2013) hedef almaktadır. Gemi tiplerine göre NO_x, SO_x miktarları belirtilmekte ve bunları indirgenme yöntemleri gösterilmektedir. Salımlara ek olarak balast suyu arıtmada kullanılan yeni teknolojiler ifade edilmektedir.

Römorkörlerde enerji verimliliği saplamak amacıyla Kumar ve diğer. (2019) yakıt tüketimini en aza indirgenmeyi amaçlanmaktadır. Optimize edilmiş sistemle dizel mekanik sevk sistemine göre %29,86; sabit devirli dizel-elektrik sevk sistemine göre %2,9 yakıt tasarrufu sağladığı belirtilmektedir. Değişken devirli dizel-elektrik sevk sisteminde çift beslemeli indüksiyon jeneratörü kullanılmaktadır. Römorkörlerin işletilmesi sırasında oluşacak yükleme durumlarını 4 farklı aşamada “*loitering*” gezinme, bekleme, düşük ve yüksek güçte gemiyi itme/çekme olarak belirtmektedir. Bataryalar gezinme ve bekleme süreçlerinde ana makine %20 yükün altında römorkörün yük talebini karşılamak amacıyla oluşturulmaktadır. Yakıt kazanımı sağlayan optimize edilmiş sevk sistemiyle maliyetlerin ve sera gazı salımlarının azaltılması hedeflenmektedir. Çapa tutma çekici gemisinde “*anchor handling tug supply*” (AHTS) kullanılan hibrit elektrikli sevk sistemi üzerine tek değil de çok amaçlı optimizasyon teknikleri kullanarak, sera gazları salımı, yakıt tüketim miktarı ve yaşam çevrim maliyeti açısından optimum bir denge kurmayı Zhu ve diğer. (2018) amaçlamaktadır. Oluşturulan hibrit modelde istenilen güce göre elektrik motorların sevki jeneratörle veya batarya ile sağlanmakta, jeneratörden elde edilen güç

istenilenden fazla olması durumunda batarya şarjı sağlanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre çok amaçlı optimizasyon tekniği tek amaçlı optimizasyon tekniğine göre yakıt tüketiminde %1,03 artış meydana getirirken sera gazları salımında %7,34; yaşam çevrim maliyeti açısından %21,75 kazanım sağlamaktadır. Geleneksel sevk sistemiyle kıyaslandığında ise yakıt tüketim miktarı, sera gazları salımı ve yaşam çevrim maliyeti sırasıyla %14,99; %14,12; %12,11 daha azdır. Ro-Ro ve liman römorköründe yardımcı makinelerden jeneratörün sevk sistemine yardımcı olmasıyla salım ve yakıttan elde edilen kazanımları Sciberras ve diğer. (2015) incelemektedir. Elde edilen sonuçlara göre Ro-Ro gemisinde yapılan iyileştirmelerle yakıt tüketiminde, yakıt maliyetlerinde, CO₂, NO_x, SO_x salımlarında elde edilen kazanımlar yaklaşık olarak sırasıyla %46, %24, %46, %43 ve %94 civarındadır. Buna karşın transit ve bekleme modunda incelenen römorkörde elde edilen kazanımlar düşük seviyelerde kaldığı belirtilmektedir. Römorkörde en fazla kazanım bekleme modunda elde edilmekte ve yakıt tüketiminde, yakıt maliyetlerinde, CO₂, NO_x, SO_x salımlarında sırasıyla %1,85; %1,85; %1,77; %18,88 ve %4,71 kazanım sağlanmaktadır. Sera gazları salımında oluşan düşük kazanım römorkörlerde temiz yakıt kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Kısa mesafeli deniz taşımacılığı yapan yolcu gemisi ve açık deniz destek gemilerindeki “*offshore supply vessel*” verimliliği artırmak amacıyla Lana ve diğer. (2019) güç dağıtım sistemi tasarımı gerçekleştirmektedir. Bu sistemi oluşturmanın amacı yakıt tüketimini azaltmak, yüksek enerji verimliliği sağlamak ve zamanla maliyetleri azalan batarya enerji depolama sistemlerinden faydalanmaktır. Destek gemisi için operasyonları yedi farklı aşamada; yüksek hızda geçiş, ekonomik hızda geçiş, yüksek hızda ekonomik hızda geçiş, dinamik pozisyonda bekleme, uygun hava koşullarını bekleme, alanda ve rıhtımda bekleme olarak incelemektedir. Açık deniz destek gemisinde oluşturulan hibrit sistemde %16,3 ila %22 oranında yakıt tüketimden kazanım sağlanmaktadır. Yolcu gemisinde ise bu değer %0,32 ila %5,76 oranındadır. Platform destek gemilerinde “*platform supply vessel*” (PSV) üzerinde elektrikli sevk sistemi kullanılması ile yakıt tüketiminde ve sera gazları salımındaki kazanımlar Kamala ve diğer. (2018) tarafından belirtilmektedir. Küresel salım sınırlamalarına uyma durumu ve çevresel kaygılar göz önünde bulundurulduğunda elektrikli sistemlerin kullanımı önemli bir potansiyel haline gelmektedir. Römorkör üzerindeki enerji talebini

karşılama üzere Kumar ve diğer. (2018) yaptıkları optimizasyon çalışmasında geleneksel römorkörlere göre, 50 kWh batarya depolama sistemi kullanarak %21,4; gemi ile römorkör arasında güç transferi sağlamak için, modeli oluşturulan kablosuz endüktif güç transferi (WIPT) ile %25,5 oranında; yakıt tüketiminden kazanım elde edilmektedir. Ek olarak güç üretiminde çift beslemeli indüksiyon jeneratörü kullanarak %2,6 yakıt tüketiminden kazanım elde edilmektedir. Yapılan enerji yönetimi ile dizel elektrik römorkörlerde operasyon maliyetlerini ve sera gazları salımını en aza indirmektedir. Sevk sisteminde yapılan iyileştirmelerle elde edilen kazanımlar Tablo 2.5’de ifade edilmektedir.

Tablo 2.5 Sevk ve batarya depolama sistemlerine göre bir ve iki römorkörlü operasyonlardaki yakıt tüketim miktarları ve kazanımları

Sevk Sistemi	Yakıt T. (litre)		Yakıt Kazanımı (%)		WIPT (litre)		WIPT Yakıt Kazanımı (%)	
Dizel mekanik Sevk Sistemi	241,6	483,2	-	-	-	-	-	-
Dizel elektrik S. S. (Sabit Devirli)	214	428	11,4	11,4	-	-	-	-
Dizel elektrik S. S. (Sabit Devirli) ile 50kWh batarya depolama sistemi	189,8	379,6	21,4	21,4	179,7	364,4	25,5	24,4
Dizel elektrik S. S. (Değişken Devirli) ile 50 kWh B. D. S.	183,1	366,2	24,2	24,2	170	346,5	29,5	28,1
Dizel elektrik S. S. (Sabit Devirli) ile 100kWh B. D. S.	178	356	26,2	26,2	167,1	339,6	30,7	29,6
Dizel elektrik S. S. (Değişken Devirli) ile 100 kWh B. D. S.	172	344	28,8	28,8	162	329	32,8	31,7

Sevk sisteminde yapılan iyileştirmelerden sonra elde edilen verilere göre bir ve iki römorkörle gerçekleştirilen operasyonlardaki yakıt tüketim kazanımları sırasıyla %32,8 ile %31,7’dir (Kumar ve diğer., 2018).

Genetik algoritma (GA) metodunun dalış destek gemisinin “*dive support vessel*” (DSV) dizel elektrik sevk sisteminde kullanılan jeneratörler üzerinde gerçekleştirilmesiyle Chai ve diğer. (2016) yakıt tüketiminden kazanım sağlamayı amaçlamaktadır. DSV gemisinin operasyonları 4 farklı aşamada transit geçiş, dinamik pozisyon, manevra süreci, dalış süreci olarak incelenmekte ve operasyonlarda elde

edilen yakıt kazanımları sırasıyla 2,98; 2,96; 0; 31,18 kg/saat olarak hesaplanmaktadır. Bir sene sonunda toplam yakıt tüketiminden yaklaşık 127 ton kazanç sağlanmaktadır. Bu kazanıma ek olarak bu optimizasyon tekniğiyle sistem güvenilirliğinde de iyileştirmeler elde edilmektedir. Avrupa Birliği ve IMO salım sınırlamalarının denizcilik sektörünü etkilemesi göz önünde bulundurulduğunda Dedes ve diğer. (2016) dizel hibrit güç sistemlerinin düşük hızlı okyanus geçen gemilerdeki yakıt kazanımı ve sera gazlarının indirgemesini sağlayacağı belirtilmektedir. Hibrit güç sistemleri farklı operasyonlar için işletilmekte ve bataryaların verim kaybı dikkate alınarak gerçekleştirilen optimizasyonlarla uygulanabilirliği araştırılmaktadır.

10000 TEU taşıma kapasitesine sahip konteyner gemisinde kullanılan düşük devirli gemi dizel makinesinde “*waste heat recovery system*” atık ısı geri kazanım yöntemi (WHRS) kullanarak Ma ve diğer. (2017) EEDI açısından kazanımlarını göstermektedir. Kullanılan WHRS ile EEDI değeri referans hattının %20 aşağısına kadar gelebilmektedir. WHRS enerji verimliliğinin yanında sera gazları salımın azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Sisteme hiçbir iyileştirme yapılmadan 10000 TEU’luk konteyner gemisi EEDI değeri referans hattının %10 altında işletilebilmektedir. Diğer salım indirgeme yöntemlerine göre oldukça düşük maliyet getiren “*exhaust gas recirculation*” egzoz gazı devir daim sisteminin (EGR), düşük devirli gemi dizel makinelerindeki NO_x salım miktarını azaltmada kullanılan yöntemlerden birini oluşturduğunu Andriiovych ve Victorovych (2019) göstermektedir. Bu yöntem NO_x salımı ile ilgili IMO sınırlamalarını karşılamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre ana makinenin işletilme moduna ve EGR’nin derecesine göre NO_x salımlarını yüzde 37,9 ila 53,5 oranında azaltabilmektedir. LNG yakıtla sevk edilen PSV de “*organic rankine cycle*” organik rankin çevriminin (ORC) kurulumu ile Ng ve diğer. (2019) yakıt tüketiminde kazanım sağlamayı hedeflemektedir. Elde edilen sonuçlara göre bu sistem IMO sınırlamalarını karşılamakta ve karbon salımlarını azalmaktadır. Ana hedef olarak belirtilen yakıt tüketiminden %7 oranında kazanım sağlanmakta ve sistem geri dönüşü 2,7 yıl olarak belirtilmektedir. Bu durumun gemi sahipleri için oldukça cazip görüldüğü ifade edilmektedir. Uluslararası taşımacılığının, küresel sera gazları ve NO_x salımlarının sırasıyla %2,1 ve %13 ünü oluşturduğunu belirten Nielsen ve diğer. (2018) EGR sistemine sahip makinelerde

yakıt indeksi üzerine yapılan alımlarının kazanımları belirtilmektedir. Sistem üzerinde yakıt indeksi sınırlayıcıların uygulanması ile duman miktarında önemli miktarda azalma deneme seferlerinde elde edilmektedir. Geliştirilen model makineye zarar vermeden maksimum yakıt verimliliği sağlayarak ve NOx salımlarını minimize etmektedir.

Trol balıkçı teknelerinin Vietnam'daki teknik verimlilik seviyelerini ve bu seviye belirleyicilerinin analizi Van Nguyen ve diğ. (2019) yüz yüze yapılan görüşme ve anketlerle yapılmaktadır. Geminin üretim yılı, kaptan ve mürettebatın deneyimi, balıkçılık bölgesine uzaklığı, makine tipi ve bölgesel farklılıklar teknik verimliliği etkilemektedir. Hava kalitesi ve küresel ısınma endişeleri göz önünde bulundurulduğunda gemide bulunan elektrik enerji sistemleri üzerinde yapılacak iyileştirmelerle, denizcilik sektöründeki salım düzenlemeleri karşılanmakta ve verimlilik seviyelerinin yukarı çekileceğini Soghomonian ve diğ. (2016) belirtmektedir. Bu amaçla elektrik sistemleri için geliştirilmiş yazılımla, enerji tasarruf lambalarıyla ve elektrik motorları için kapasitör kullanmayla maksimum verimlilik elde edileceği belirtilmektedir. 215 araç, 2300 yolcu kapasitesine, 13860 kW güç üreten 4 zamanlı ana makineye sahip Ro-Ro yolcu gemisi (ROPAX) dan elde edilen seyir verilerin analizi ile yakıt tüketimi kazanımı ve enerji geri kazanım sistemlerin artırılmasını Galli ve diğ. (2014) amaçlamakta, özellikle trimin enerji verimliliği üzerinde etkisine yoğunlaşmaktadır. Analiz için kullanılan görüntüleme programı sayesinde geminin hızı, su çekimi “*draft*”, şaft gücü, egzoz gazları sıcaklıkları, yağ ve yakıt tankı seviyeleri gibi değerleri anlık ulaşılmaktadır. İki zamanlı gemi dizel motorlarında meydana gelen hatalar üzerine Hountalas ve Kouremenos (1999) yaptıkları çalışmada, silindir ve yakıt enjeksiyon sistemlerinin basınçlarını temel alarak hataların sebebi belirlenmekte ve buna göre hatalı sistemin onarımı gerçekleştirilmektedir. Bu sayede makine performansında iyileştirmeler elde edilmektedir.

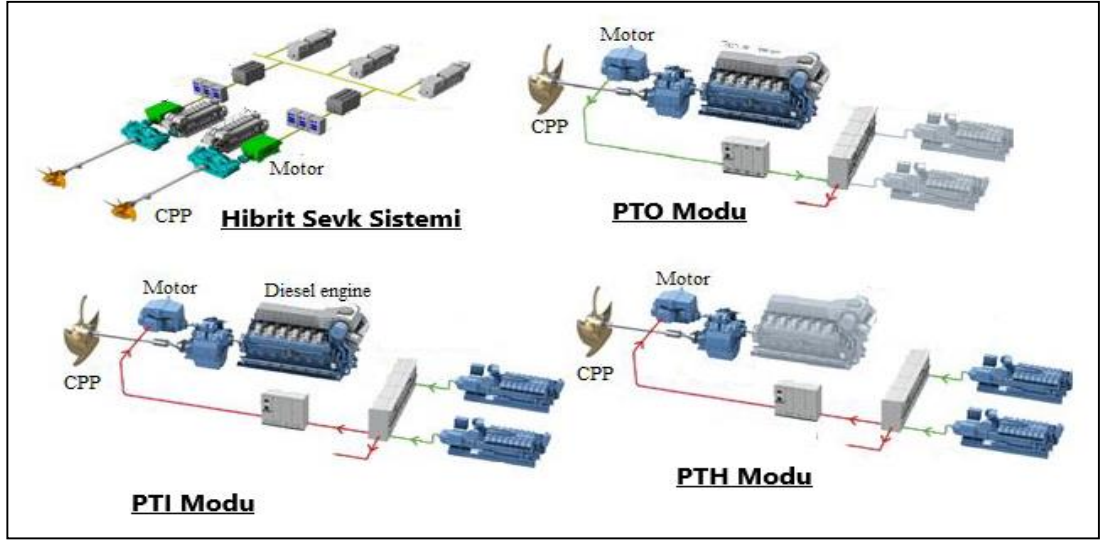
Dört zamanlı gemi makinelerinde salım azaltma yöntemlerine ve bu yöntemlerin birbirinden ayrılmış yakıt enjeksiyon sistemiyle kombine bir şekilde kullanılması sonucu elde edilen kazanımlarını Imperato ve diğ. (2018) göstermektedir. Elde

edilen sonuçlara göre EGR sistemi NO_x salımlarını %90 oranında azaltmasına karşın, yakıt tüketiminde %10 artış gözlenmektedir. Eğer ki EGR sistemi Miller çevrimi ile kombine edilirse ciddi yakıt tüketimi artışı olmadan NO_x salımları %50 indirgenebilmektedir. Erken pilot enjeksiyon modelinin kullanılması egzoz gazlarındaki karbon monoksit, toplam hidrokarbon ve kurum miktarında artış yaşanırken, NO_x salımlarda bir avantaj sağlanamamaktadır. IMO NO_x salımları ile ilgili *Tier III* sınırlamaları kombine Miller çevrimi ve EGR ile karşılanmaktadır. Enerji verimliliğini en üst düzeye çekmek için Miller çevriminin zamanlaması en iyi şekilde yapılmakta ve bu sisteme düşük oranlarda tutulmuş EGR sistemi eşlik ederek verimlilik sağlanmaktadır. Katalize edilmiş partikül filtresinin, PM ve zararlı gaz salımlarında indirgeme sağladığını Lin (2002) belirtmektedir. Sistemin kullanılmasıyla karbon monoksit konsantrasyonunda azalma meydana gelmektedir. Makinenin düşük tork değerlerinde azot oksit miktarı artmakta fakat makine devri artmasıyla konsantrasyonunda azalma meydana gelmektedir. Duman opaklığı oldukça düşük seviyelere çekilmekte hatta bazı devirlerde sıfıra ulaşmaktadır. Sistemle birlikte yakıt tüketiminde ve CO₂ konsantrasyonunda artış meydana gelmekte, çünkü hava-yakıt oranı, oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Rankine çevrimini temel alarak oluşturulan WHRS ile gemideki 4 zamanlı dizel yardımcı makinesindeki egzoz salımlarını düzenlenmesi ve toplam enerji verimliliği artırmasını Hountalas ve diğer. (2016) hedeflemektedir. Yöntemin kullanılması için oluşturulan termodinamik modelde buhar ve R245ca olmak üzere iki farklı akışkan kullanılmakta, bu sayede ticari gemilerde gemi yardımcı makinelerinde önemli miktarda yakıt kazanımı elde edildiği ifade edilmektedir. R245ca akışkanı kullanıldığında makine yükü %5,3 ve %6,1 iken maksimum yakıt tasarrufu sağlanırken buharla bu değer %4,9 ile %7,2 arasındadır. Gemi gövdesinde yapılan iyileştirmeler ile elde edilen kazanımları Krylov ve diğer. (2007) katamaran modeli üzerinde gerçekleştirilen çekme deneyiyle belirtmektedir. Gövde geliştirmede kullanılan ekipmanlar sevk sistemindeki verimliliği artırmaktadır. Pervaneler üzerinde yapılan iyileştirmelerle Motley ve diğer. (2012) yakıt tüketimini minimize etmeyi amaçlamaktadır, Aynı zamanda farklı pervane dizaynlarının kavitasyondan etkilenme hızlarını, sağlamlık limitlerinin karşılaştırılması yapılmaktadır. “Patrol Vessel” Karakol gemisinde kullanılmak üzere Geertsma ve diğer. (2017) tarafından modeli oluşturulan piç kontrol sisteminin

operasyon şartlarına göre %30'a kadar yakıt kazanımı sağlamaktadır. Bu sistemle geminin operasyonu sırasında oluşan zararlı gazların salım miktarı ve sevk sistemi gürültü miktarı azalmakta, manevra kabiliyeti artmaktadır. Alternatif yakıtın kullanılmasıyla Corbett ve Winebrake (2008) elde edilen salım miktarını hesaplamak deniz sistemleri toplam enerji ve çevresel analiz modelini kullanılmaktadır. Damıtılmış yakıtlar üretim aşamalarında fazladan CO₂ salımına neden olmasına rağmen, gemilerdeki operasyonlarda kullanımıyla kısmen sera gazları salımı azaltılmaktadır. Ek olarak damıtılmış yakıtların kullanımı ile SO_x miktarında %70 ila %85 arasında azalma sağlanmaktadır.

Rüzgar enerjisinin yolcu feribotlarında kullanılması ile yakıt tüketimindeki kazanıma odaklanan Lipman ve Lidicker, (2019) kanat yelkeni kullanılarak yedi “knots” deniz mili operasyon hızında %25 ila %40 oranında yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Gemilerde optimize edilmiş yelken kullanımının enerji verimliliği sağladığını göstermek amacıyla Ma ve diğer. (2019) hesaplamalı akışkanlar dinamiği kullanarak model geliştirmekte ve testini gerçekleştirmektedir. Geliştirilen model, var olan yelkenli sistemde %4 oranında, hiç yelkenli olmayan gemilerde ise %18,2 oranında EEDI yönünden kazanım sağlamaktadır. Yakıt tüketimi kazanımı açısından değerlendirildiğinde belirtilen 3 rotada yelkenli kullanımı ile sırasıyla %20; %18,75 ve %16,1 iken, optimize yelken ile bu kazanım seviyesi sırasıyla %21,16; %20,13 ve %17,6 seviyelerine ulaşmaktadır.

Hibrit sevk sistemini, çeşitlerini ve kullanılan güç sistemlerini Xiao ve diğer. (2016) belirtmektedir. İlk olarak “Power Take Off (PTO)” modu belirtilmekte ve bu süreçte ana makine bir dişli kutusuyla pervaneyi çevirmekte, ek olarak elektrik motoru geminin elektrik ihtiyacını karşılamada kullanılmaktadır. “Boost Power Take In (PTI)” modunda elektrik motoruyla ana makine kombine çalışarak yüksek güç taleplerini ve geminin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. “Power Take Home In (PTH)” modunda gemi ana makinesi çalışmamakta olup sevk sistemi elektrik motorundan karşılanmaktadır. Şekil 2.2’de bu sistemlerin gösterimi detaylı bir biçimde belirtilmektedir.



Şekil 2.2 Hibrit sevk sistemi ve farklı kullanım şekilleri (Xiao ve diğer., 2016)

Çalışmada yöntem olarak Kapsamlı Bulanık “Fuzzy” Değerlendirme Yöntemi ve gemi tipi olarak PSV kullanılmaktadır. PSV 79 metre tam boya, 17,6 metre genişliğe, 7,7 metre derinliğe 6000 HP gücünde ana makineye sahip, Amerikan Klas Kuruluşu (ABS) tasarımına uygun şekilde dizayn, inşa ve test edilmiş bir gemidir. Bu yöntemde uygulanabilirlik, güvenilirlik, sürdürülebilirlik, ekonomiklik, mobilite açısından bir değerlendirme yapılmakta ve sonucunda hibrit sevk sisteminin geleneksel sistemlere göre daha bilimsel ve daha verimli olduğu belirtilmektedir. “Small Inland” Küçük iç sularda gidiş geliş yapan yolcu feribotunda hibrit sevk sistemi kullanılmasıyla elde edilecek kazanımları Kunicka ve Litwin, (2019) göstermektedir. Yolcu feribotunun ölçeklendirme yapılarak modeli oluşturulmakta ve oluşturulan modele üzerinde çekme deneyi yapılmaktadır. Çekme deneyi ile feribot üzerine gelen dirençler hesaplanmakta ve belirtilen hızlarda güç tahmini yapılmaktadır. Hibrit sistemde kullanılan elektrik motorları lityum bataryalar tarafından sevk edilmekte ve bataryalar güneş panelleri üzerinden şarjı sağlanmaktadır. Çevresel farkındalığı sağlamak amacıyla salım miktarları var olan yolcu feribotundan alınmakta ve veri seti oluşturulmaktadır. Paralel hibrit sürücünün enerji verimliliği deneysel araştırmasını gerçekleştiren Litwin ve diğer. (2019), hibrit sevk sistemi ile dört kat enerji verimliliği sağlamakta, CO₂ salımları azalmakta ve gürültü salımları 100 kat indirgenmektedir. İç sularda işletilen konteyner gemisi üzerinde yapılan çalışmada düşük hız ve güçlerde (7 kW ve 7 km/h altında) elektrik motoru tarafından sevk edilmekte diğer zamanlarda içten yanmalı

makine tarafından sevk edilmektedir. Düşük hız ve güçlerde içten yanmalı motorda işletilirse enerji verimliliği %22 seviyesindeyken, elektrik modunda %85 seviyesinde olmaktadır. Elde edilen verilere göre yakıt tüketiminde, işletme maliyetinde, salım miktarlarında önemli seviyelerde kazanım sağlanmaktadır. Dizel yakıtla işletilen mekanik ve hibrit sevk sistemine sahip gemiler için adaptif piç kontrol sisteminin kazanımlarını göstermek amacıyla Geertsma ve diğer (2018) yaptıkları çalışmayla, yakıt tüketiminde ve CO₂ salımları konusunda %5 ila %15 arasında kazanım sağlanmakta ve manevra kabiliyetini artırmaktadır. 73 kW dizel ana makineye sahip 25 m uzunluğa sahip tarihi yolcu gemisinde deneysel incelemeler gerçekleştiren Litwin ve diğer. (2017) hibrit sevk sisteminin enerji verimliliğini incelemektedir. Gemi tarihi kanallar boyunca yürürlükte olana 6 km/h hız sınırı aşamaması ve açık denizlerde seyir hızının 12km/h olmasının gemi sahibi tarafından yeterli karşılanması göz önünde bulundurulduğunda, 4kW ve 15,1 kW itme gücünün sırasıyla yeterli olacağı belirtilmektedir. Enerji verimliliği hesaplamada paralel ve seri sevk sistemleri kullanılmaktadır. Seri sistem en çevreci sevk sistemi olurken yatırım maliyetleri oldukça yüksek seviyelere gelmektedir. En verimli seçenek olarak dizel elektrik tipinde paralel sevk sistemi olduğu belirtilmektedir. Geertsma ve diğer. tarafından (2017) yılında yapılan ve toplamda 170, WOS da 84 atıf alan çalışmada eğer gemi en yüksek hızının %40'ının altında önemli bir süre seyir yaparsa hibrit sevk sistemi ekonomik olarak faydalı hale geldiğini belirtmektedir. Gelişmiş kontrol stratejilerine sahip hibrit sistemlerin, yakıt tüketimini ve salımları %10-35'e kadar azaltabileceği, bakım kolaylığı, manevra kabiliyeti ve konforu sağlayacağı ek olarak gürültüyü azaltacağı sonucuna varılmaktadır. Çalışmada akıllı gemiler üzerine odaklanılmakta ve farklı tip sevk sistemleri sırasıyla mekanik, elektrik, hibrit sevk sisteminin verimliliği incelenmektedir. Dedes ve diğer. (2012) batarya ve dizel makinelerin kombine çalıştığı bir sevk sistemi belirtilmektedir. Amaç yeniden tasarlanan bir sevk sistemiyle beraber, yakıt tüketim ve bununla birlikte salım miktarlarını azaltmaktır. Bir kuruluşun dökme yük gemisi filosunun operasyon verileri kullanılmaktadır. Beş gemi tipinin, 31 ayrı seferde çeşitli yüklerde ve balast koşullarındaki gerçek makine verileri kullanılarak model oluşturulmaktadır. Modelde hibrit sevk sisteminin “*Power Take Off (PTO)*”, “*Boost Power Take In (PTI)*” ve sadece bataryaların yardımıyla çalıştırılan elektrik motorunun kullanılması “*Power Take Home In (PTH)*” olarak 3

farklı aşamada gerçekleştirilmektedir. Ana makine yüküne ve diğer enerji gereksinimleri hesaba katılarak depolama sisteminin boyutlandırması yapılmaktadır. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde depolama sistemine, gemi durumuna ve gemi tipine bağlı olarak, CO₂'de 4,1 milyon tona, SO_x'de 0,07 milyon tona, NO_x'de 0,32 milyon tona kadar tasarruf elde edilebileceği belirtilmektedir. Bu durum sonucunda salımlar olarak dökme yük sektöründe ve dünya filosunda sırasıyla %14 ve %1,8 azalma sağlanabileceğini belirtmektedir.

Verimli enerji yönetim sistemini (EMS) doğru akım hibrit elektrikli deniz taşıtları üzerinde kullanarak, geleneksel deniz taşıtlarına göre yakıt tüketiminde ve salımlarda kazanım sağlamayı Bui ve diğer. (2018) hedeflemektedir. Geminin operasyonlarındaki yük talebi 5 farklı mod olarak incelemekte ve modlara göre uygun model MATLAB/Simulink kısmında hazırlanmaktadır. Makinenin optimum güçte işletilmesi hedefiyle gerçekleştirilen senaryolarla yakıt tüketimi ve zararlı gazların salımında önemli miktarda indirgenme sağlanmaktadır. 23000 DWT konteyner gemisinin operasyon sırasındaki hidrodinamik hareketlerini temel alarak, MATLAB/Simulink te oluşturulan modelle yakıt tüketimi ve sera gazları salımlarının değerlendirilmesi Zhao ve diğer. tarafından (2016), Delft Üniversitesinin gemi hidromekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmektedir. Konteyner gemisinin ağır deniz koşullarında maruz kaldığı dalgalar sonucu oluşan itme kaybını en aza indirmek amacıyla güç yönetim sistemi stratejisi kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre gemi hız düşüm modülü ile yakıttan tasarruf sağlanmakta, %40 kadar itmeden kazanım elde edilmekte ve zararlı gazların salımı indirgenmektedir. 14280 kW güç üreten ana makineye sahip konteyner gemisinde, farklı operasyon durumlarında oluşan yakıt tüketim değeri, pervaneye aktarılan güç miktarı ve geminin hızını elde etmek Zhao ve diğer. (2015) MATLAB/Simulink yazılımında oluşturdukları model ile simülasyonlar gerçekleştirmektedir. Simülasyon değerleri ile uygulama sonuçları ve literatürdeki veriler karşılaştırılmaktadır. Oluşan hata payları göz önünde bulundurularak modelin kalibre işlemi yapılmaktadır. Farklı yükleme durumlarındaki yakıt tüketimini minimize etmek amacıyla, dizel makineleri, jeneratörleri ve bataryaları MATLAB/Simulink yazılımında oluşturulan optimizasyon algoritması ile “*offshore supply vessel*” açık deniz destek gemisi (OSV) üzerinde simülasyonu

gerçekleştirilmektedir. OSV gemisinde operasyon liman, düşük/yüksek dinamik pozisyon, çapa tutma ve transit destek/çekme modları olarak incelenmektedir. Zahedi ve diğer. (2014) tarafından ulaşılan simülasyon sonuçlarına göre batarya depolama sistemine sahip olmayan DC güç sistemi, geleneksel AC güç sistemine göre dikkate değer bir yakıt kazanımı sağlamaktadır. Ek olarak DC güç sistemlerinde optimize edilmiş enerji depolamasının kullanılmasıyla bu kazanım iki kat artabilmektedir. Elde edilen değerlere göre enerji depolama sistemine sahip DC güç sistemi, geleneksel AC sisteme göre %15,3; enerji depolama sisteme sahip olmayana DC güç sistemine göre %7,3 kazanım sağlamakta ve operasyon modlarına göre kazanımları Tablo 2.6’da ifade edilmektedir.

Tablo 2.6 Optimizasyon stratejilerinden elde edilen yakıt kazanımların yüzdesel ifadesi (Zahedi ve diğer., 2014)

Farklı Operasyonlarda Enerji Depolamaya Sahip DC Sisteminin Yakıt Kazanımı (%)	Algoritma/Simulasyon Sonuçları	
	Enerji Depolamaya Sahip olmayan DC Sistem	Geleneksel AC sistem
Düşük Dinamik Pozisyon “ <i>Low DP</i> ”	15,7/12,2	26,1/23,0
Yüksek Dinamik Pozisyon “ <i>High DP</i> ”	4,5/3,2	10,8/9,6
Demir Manevrası “ <i>Anchor Handling</i> ”	5,4/4,7	12,2/11,6
Liman “ <i>Harbour</i> ”	27,2/14,0	41,9/31,3
Çeki Gücü “ <i>Bollard Pull</i> ”	1,4/0,5	5,5/4,7
Transit Destek “ <i>Transit Supply</i> ”	0,2/0,2	3,7/3,7
Transit Çekme “ <i>Transit Towing</i> ”	15,3/15,0	25,4/25,1
Ağırlıklı Ortalama	8,5/7,3	16,3/15,3

Farklı operasyon modlarında algoritma ve simülasyon sonuçlarından elde edilen yakıt kazanımları Tablo 2.6’da ifade edilmektedir. Ağırlıklı ortalamada algoritma ve simülasyon sonuçları arasında yaklaşık olarak %1’lik fark oluşmaktadır (Zahedi ve diğer., 2014). Elektrik sevk sisteminin farklı tip deniz taşıtlarında uygulanabilirliğini, avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmekte olan Bolvashenkov ve diğer. (2014) mekanik ve hibrit sevk sistemiyle karşılaştırması yapılmaktadır. Gelişen teknolojilerle elektrikli sevk sistemlerinin dezavantajlarının ortadan kaldırılabilceği ve ekonomik açıdan geleneksel sevk sistemine sahip gemilerle kıyaslanabileceği ek olarak buz kırıcı

gemiler, feribotlar, tanker ve dökme gemiler için oldukça elverişli olabileceği belirtilmektedir.

2.3 Literatür Taraması: Diğer Araştırmalar ve Değerlendirme

WOS taki yayınlara ek olarak, sürdürülen akademik taramada deniz taşıtlarında hibrit sevk sisteminin verimliliği ile ilgili Tablo 2.7’deki çalışmalar elde edilmektedir. Çalışmaların hangi tip gemilere hangi metotlar ile uygulandığı detaylı bir şekilde Tablo 2.7’de ifade edilmektedir.

Tablo 2.7 WOS dışında yapılmış akademik çalışmalar ve içerikleri

Yazar	Jayaram ve diğer., (2010)	Kifune ve Nishio (2015)	Shiraishi ve diğer., (2013)	Völker (2015)
Çalışma adı	Evaluating emission benefits of a hybrid tug boat	A Study of Fuel Consumption Model Using Tugboat’s Propulsion System	Development Of A Hybrid Tugboat Propulsion System	Hybrid propulsion concepts on ships.
Gemi tipi	Römorkör	Römorkör	Römorkör	Römorkör Feribot
Sevk Sistemi	Geleneksel Hibrit Sevk Sistemi	Hibrit Sevk Sistemi	Geleneksel Hibrit Sevk Sistemi	Hibrit Sevk Sistemi
Metot	Veri kayıt sistemi Salım test programı	Yakıt tüketim Simülasyonu	Yakıt tüketim ve Salım Hesaplama Simülasyonu	Maliyet Analizi Yakıt Tüketim Hesaplama
Salımlar	-	NO _x ,PM,CO,CO ₂	-	NO _x ,CO ₂
Atıf Sayısı	10	8	3	20

Jayaram ve diğer. (2010) hava kalitesi ve küresel ısınma konularını göz önünde bulundurarak, salım miktarını azaltmayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda hibrit sevk sistemini incelenmektedir. Hibrit teknolojinin salım faydalarını hesaplamanın oldukça zor olduğu ve bunu gerçekleştirmek için Los Angeles ve Long Beach limanlarında faaliyet gösteren iki adet römorkörün incelemesi yapılmaktadır. Geleneksel römorkör dört dizel makine ile çalıştırılırken, hibrit römorkör dört dizel makine ve 126 kurşun asitli batarya “*lead acid battery*” ile işletilmektedir. Bu bataryalar iki diziye ayrılmakta ve her bir dizi tamamen şarj olduğunda 170.1kW-saat enerji depolamaktadır. Yapılan çalışma 3 aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk olarak her iki römorkör için 1 ay süre zarfı boyunca veri kayıt sistemi oluşturulmaktadır. Römorkör hareketleri kıyıda güç tedariki “*shore power*”, rıhtımda bekleme “*dock*”, transit geçiş,

gemi desteği “*ship assist*” ve barç itme “*barge move*” olarak incelenmektedir. İkincil aşamada salımlar azot oksit, karbon monoksit, partikül madde ve karbondioksit ISO 8178 protokollerine dayanılarak ölçülmektedir. Son aşamada operasyonlar ve salım değerleri birleştirilerek analiz yapılmaktadır. Tablo 2.8’de belirtilen geleneksel ve hibrit sevk sistemine sahip römorkörlerin salım değerleri ifade edilmektedir.

Tablo 2.8 Römorkörlerdeki farklı tip sevk sistemlerine göre salım miktarları (Jayaram ve diğer, 2010)

	Salım Miktarları (gr/saat)		
	Geleneksel Sevk Sistemi	Bataryasız Hibrit Sevk Sistemi	Hibrit Sevk Sistemi
PM _{2,5}	44,1	13,2	12,1
NO _x	30,9	16,8	15,3
CO ₂	20,8	16,8	15,3

Elde edilen verilere göre geleneksel römorkördeki ana ve yardımcı makineler için ortalama yük sırasıyla %16 ve %12 iken, hibrit römorkörde bu değer %12 ve %34 olarak elde edilmektedir. Bu değerler her iki römorkördeki makinelerin ortalama çalışma yükü standart verilerin oldukça altındadır. Hibrit teknolojinin kullanılmasıyla elde edilen salım azalimleri PM_{2,5} için %73 iken, NO_x de önemli derecede indirgenme sağlanmaktadır.

Kifune ve Nishio (2015) hibrit sevk sistemin iyileştirici etkisini netleştirmek için, yakıt tüketimi hesabı simülasyonu oluşturulmaktadır. Oluşturulan simülasyon belirli tasarım koşullarda uygulanarak yakıt tüketim değerleri belirlenmektedir. Sistem simülasyon yapılırken, ana girdiler olarak ana makine ve dizel jeneratörlerin termal verimliliği, alternatörün, motor jeneratörün elektriksel verimliliği ve şanzımanın mekanik verimliliği kullanılmaktadır. Bekleme modunda ve servis dışı modda, yakıt tüketim miktarları hibrit sisteminin geleneksel sevk sisteminden daha az olduğu belirtilmektedir.

Özellikle toplam talep edilen güç %20'nin altında olduğunda, hibrit sevk sistemi yakıt tüketiminin önemli ölçüde artmasını engellemektedir. Buna karşın, yüksek güç taleplerinde hibrit sevk sisteminin yakıt tüketim değerleri artmaktadır. Servis modunda istenen güç yüksek olduğunda, hibrit sisteminin yakıt tüketim değeri artmaktadır. Sonuç olarak, hibrit sistemin römorkör sevk sistemi için etkili olduğu belirtilmektedir.

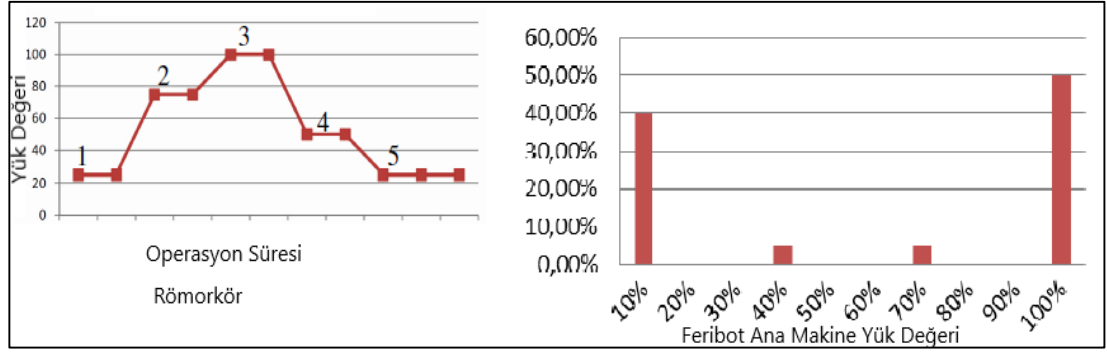
Shiraishi ve diğer. (2013) tarafından çevresel salım düzenlemelerin uygulanması ve bu düzenlemelerin sürekli iyileştirilmesi göz önüne alındığında, gemilerden kaynaklı salımları azaltmanın son yıllarda çok önemli bir konu haline geldiğini belirtmektedir. Römorkörlerin, çalışma süresinin yaklaşık %75'i boyunca ana makine %20'den daha az yükte çalıştığı belirtilmektedir. Geleneksel römorkör sevk sistemine kıyasla hibrit sistem, bir makine, bir elektrik motoru / jeneratör ve bir dizi yüksek performanslı lityum iyon akü içeren bir sevk sistemi sistemini içermektedir. Elde edilen kazanımlar Tablo 2.9'da ifade edilmektedir.

Tablo 2.9 Operasyon modlarına göre yakıt tüketim ve salım kazanımları

Yakıt Tüketim /CO ₂ /NO _x Karşılaştırması		
Operasyon Modları	Geleneksel Sevk Sistemi	Hibrit Sevk Sistemi
Transit Mod_1	%35/%35/%37	%13/%13/%11
İtme/Çekme Modu	%59/%59/%57	%60/%60/%57
Transit Mod_2	%6/%6/%6	%2/%2/%1
Toplam	%100/%100/%100	%75/%75/%75

Japonya'nın ilk hibrit römorkörü "Tsubasa" tamamlandığı ve Mart 2013 de hizmete girdiği belirtilmektedir. Gerçek navigasyon verilerine dayanan simülasyon sonuçlarına göre, yakıt tüketiminde azalma aşağı yukarı %30 seviyelerinde olduğu belirtilmektedir. Hibrit sevk sistemi birden fazla güç kaynağına sahiptir. İstenilen güce göre yapılan optimizasyona göre, motor / jeneratör, yüksek verimli lityum iyon batarya, ana makine ve yardımcı dizel jeneratör kombine bir biçimde çalışmaktadır. Elde edilen simülasyon verileri; yakıt tüketiminde, CO₂ ve NO_x salımlarında %20 azalma hedefine ulaşılabilirliğini gösterilmektedir. Bu sayede hibrit sevk sisteminin bu tip bir gemilerde kullanımın çevresel açıdan fayda sağladığı doğrulanmaktadır.

Völker (2015) farklı tip gemiler için hibrit sevk sisteminin uygulanabilirliği incelenmektedir. Bu sistemin kesinlikle enerji tasarrufu sağladığı ve büyük kazanımları olduğu belirtilmektedir. Bu sistem römorkör ve feribotlar için incelemektedir. Bu tip gemilerin operasyon süresince ortalama yük değerleri Şekil 2.3'de belirtilmektedir.



Şekil 2.3 Operasyon süresi boyunca elde edilen yük değerleri (Völker, 2015)

Hibrit sevk sistemi, feribotun ana makinesinin optimum yükte sürekli çalışması durumunda uygun bir sistem olmazken, buna karşın römorkörlerde meydana gelen değişken ve düşük makine yükleri bu sistemin uygulanabilirliğinin yüksek olduğu belirtilmektedir. Maliyet açısından bakıldığında ancak kullanım ömrü boyunca bu maliyetler karşılanmakta, bataryalar kamu şebekesinden şarj edilirse tasarruf sağlanabilmektedir.

Yapılan literatür taraması tez başlığı referans olarak yapılmakta ve elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde çalışmalar yakıt tüketimini azaltmaya, IMO salım sınırlamalarını karşılamaya, maliyetleri azaltmaya, ana makine ve yardımcılarında iyileştirmeler yaparak deniz taşıtlarında verimlilik sağlamayı amaçlamaktadır. Bundan dolayı sürdürülen tez çalışmasında belirtilen konu başlıkları çerçevesinde ilerlemektedir.

BÖLÜM ÜÇ

MATERYAL VE METOT

3.1 Amaç

Deniz taşıtlarında uygulanacak hibrit sevk sisteminin enerji verimliliği açısından kazanımlarını gösterilmesi amaçlanmaktadır. Kuramsal çalışmalar temelinde detaylı bir literatür taraması yapılarak hibrit sevk sisteminin tüm bileşenlerini belirlenmekte ve bu bileşenler üzerine yapılacak uygulamalar için araştırma süreci ve modeli oluşturmaktır. Araştırma süreci ve modeli genel olarak temel amaçları, kuramsal çalışmada incelenenleri, kantitatif araştırma: deneysel çalışmalarda elde edilen verileri, kurulan modelin detaylarını, analiz yöntemlerini, bulgularını ve bulgular üzerine yapılan değerlendirmeleri içermektedir.

Modellemede kuramsal ve kantitatif araştırma: deneysel çalışmalardan elde edilen deneyimler temelinde dizel makine, elektrik motoru, batarya seçimi yapılarak hibrit sevk sistemi analizi için uygun yazılım geliştirilmektedir. Oluşturulan modelde yapılan analizler sonucu operasyon süresi, ana makine ve elektrik motoru güç çıktısı, batarya kapasitesi, kullanılan yakıtın yoğunluğu, toplam ve düşük yüklerdeki yakıt tüketimi, elektrik motorunu ağırlığı, hacmi, verimliliği ile birlikte işletilmesi için gerekli enerjiyi sağlayacak olan batarya tipi, enerjisi, sayısı, ağırlığı ve hacmi hesaplanmaktadır. Elde edilen analiz bulguları üzerine matematiksel optimizasyon yapılarak yeni kazanımlar elde edilmektedir. Tüm süreçlerde elde edilen bilgiler esas alınarak sonuç ve öneriler bölümü oluşturulmaktadır.

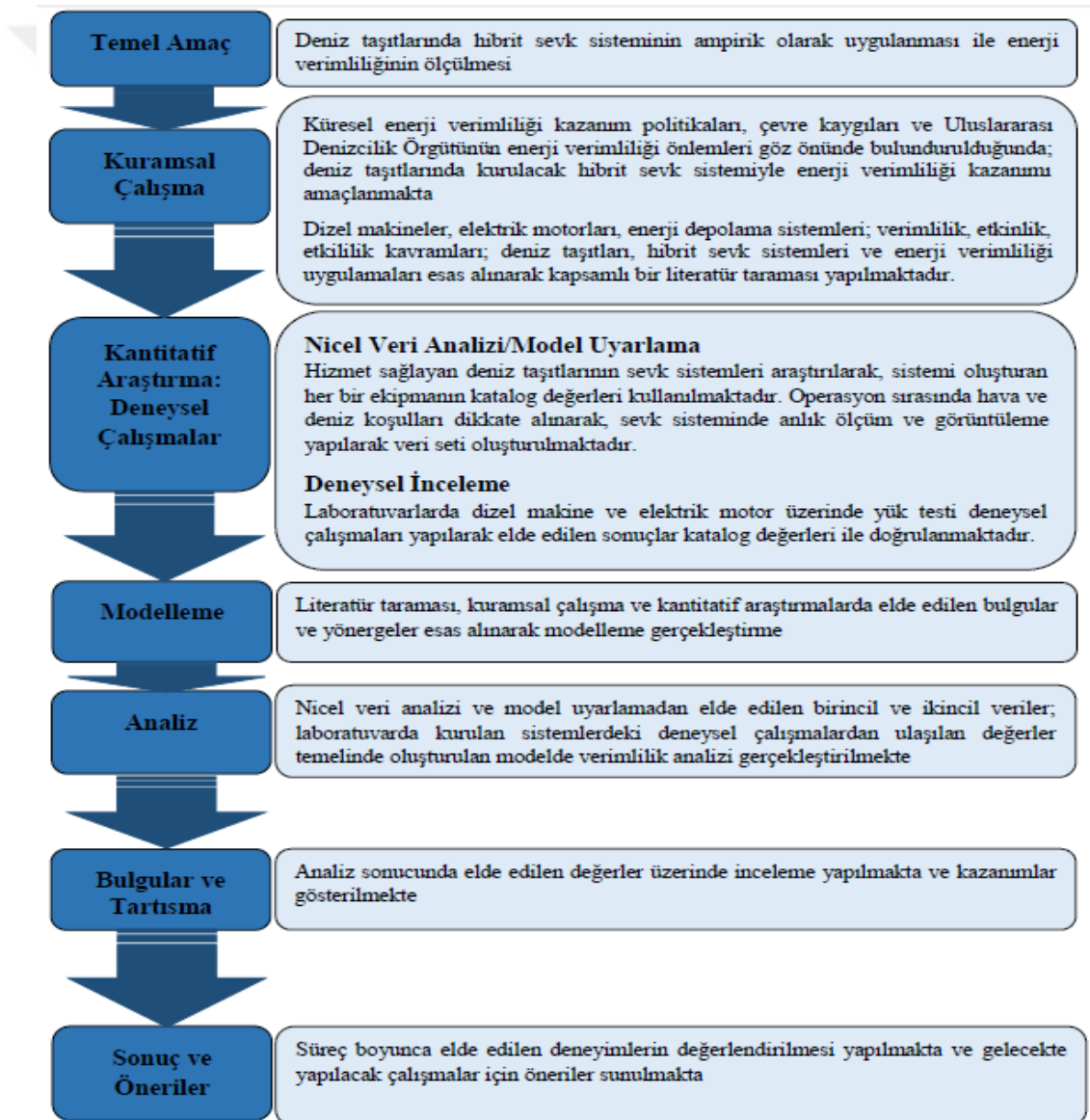
3.2 Metodoloji

Çalışma boyunca elde edilen bilgi birikimi doğrultusunda hibrit sevk sistemi için matematiksel model oluşturulmaktadır. Matematiksel modelde ana makine gücünü, elektrik motorunun gücünü ve bataryanın enerjisini etkilen bütün parametreler kullanılmaktadır. Elde edilen bütün veriler matematiksel modelde uygun bölümlere konularak her bir operasyon için toplam yakıt tüketimi, düşük yüklerdeki yakıt

tüketimi, kullanılacak elektrik motorun gücü, batarya tipi ve sayısı gibi çıktılar hesaplanmaktadır. Ek olarak analiz sonuçlarına TOPSİS yöntemi uygulanarak operasyonların hibrit sevk sistemine uygunluğu kıyaslaması yapılmaktadır.

3.2.1 Araştırma Süreci

Araştırma süreci, temel amaç, kuramsal çalışma, kantitatif araştırma, modelleme, analiz, bulgular ve tartışma, sonuç ve öneriler olarak yedi ana başlık altında incelenmekte ve her süreç de incelenen bölümler Şekil 3.1’de ifade edilmektedir.

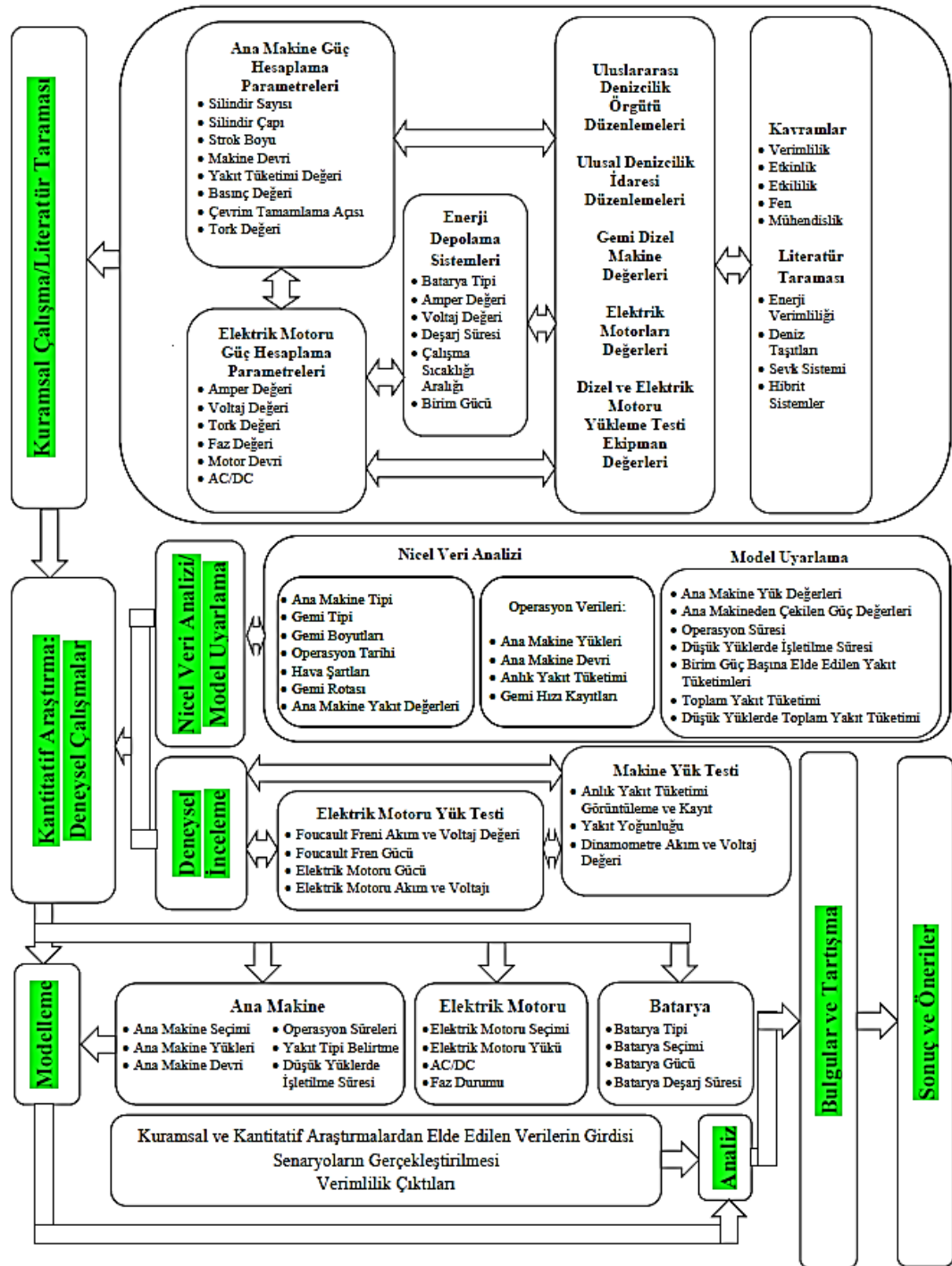


Şekil 3.1 Araştırma süreci akış şeması

Birincil olarak temel amacı, deniz taşıtlarından elde edilen operasyonlar verileri, hibrit sevk sistemi modelinde analiz edilerek, operasyonların enerji verimliliğinin ölçümü gerçekleştirilmektedir. Kuramsal çalışmalar bölümünde denizcilik alanında enerji verimliliği çalışmaları araştırılmakta ve kurulacak hibrit sevk sistemiyle elde edilecek kazanımlar ifade edilmektedir. Detaylı literatür taraması yapılarak hibrit sevk sistemine etki edecek tüm değişkenler kurulacak modelde uygun bölümlere yerleştirilmektedir. Kantitatif araştırma: Deneysel çalışmalar bölümü nicel veri analizi/model uyarlama ve deneysel inceleme olarak iki aşamada incelenmekte olup, nicel veri analizi model uyarlama bölümünde geminin operasyonundan kurulacak model için tüm gerekli veriler edinilmektedir. Deneysel inceleme aşamasında dizel makine ve elektrik motoru üzerinde yük testi yapılarak elde edilen veriler modelin alt yapısında kullanılmaktadır. Modelleme aşamasında süreç boyunca elde edilen tüm birikimler esas alınarak modelleme gerçekleştirilmektedir. Analiz bölümde hibrit sevk sistemi operasyonları gerçekleştirilmektedir. Bulgular ve tartışma bölümünde analiz sonuçları değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonuçları ve ilerki aşamada yapılacak çalışmalar için sonuç ve öneriler bölümü oluşturulmaktadır.

3.2.2 Araştırma Modeli

Araştırma modeli, araştırma süreci boyunca elde edilen tüm bilgiler alt başlıkları ile ifade edilmektedir. Ana makine ve elektrik motoru güç hesaplama parametreleri, enerji depolama sistemleri, IMO ve ulusal denizcilik idaresi düzenlemeleri, gemi dizel makineleri, elektrik motorları katalog değerleri, yükleme testi ekipmanları, verimlilik kavramları, enerji verimliliği, deniz taşıtları, hibrit sistemlerin incelenmesi yapılmaktadır. Tüm parametreler alt başlıkları ile birlikte Şekil 3.2’de belirtilmektedir.



Şekil 3.2 Araştırma modeli

Araştırma modelinde nicel veri analizi/model uyarlama kısmı örnek olarak ele alındığında, operasyon verilerinin elde edildiği gemilerin tipi, boyutları, ana makineleri gibi parametrelerin incelenmesi yapılmaktadır. Deneysel incelemelerde kısmında debimetre, dinamometre gibi yükleme testi ekipmanları incelenmektedir.

Modellemede ana makinenin yük değerleri, yakıt tüketimi; elektrik motorunun amper ve voltaj değerleri; enerji depolama sistemlerinin kapasite, çalışma sıcaklıkları arakları kullanılmakta ve analiz bunların temelinde gerçekleştirilmektedir. Analiz sonuçları değerlendirilerek bulgular ve tartışma, sonuç ve öneriler kısmı oluşturulmaktadır.

3.3 Kantitatif Araştırma: Deneysel Çalışmalar

Kantitatif Araştırma iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birincil olarak deniz taşıtlarından operasyon sırasında anlık ölçüm ve görüntüleme yapılarak; hız, ana makine yükleri ve devirleri gibi değerler alınarak veri seti oluşturulmaktadır. Bu veri setine makinenin performans kayıtlarından elde edilen katalog değerleri de eklenmekte ve böylece nicel veri analizi/model uyarlama gerçekleştirilmektedir. İkincil aşamada deneysel incelemeler gerçekleştirilmektedir. Dizel makine ve elektrik motoru laboratuvarlarında yük testi yapılarak makine yükü, yakıt tüketimi, makine devri, elektrik motoru gücü, çekilen amper değerleri anlık olarak görüntülenmekte ve kayıt edilmektedir. Kayıt verileri katalog değerleri ile doğrulanmakta ve oluşturulan matematiksel modelde kullanılmaktadır.

3.2.1 Nicel Veri Analizi/Model Uyarlama

Bu bölümde Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'ne (KEGM) bağlı İstanbul Boğazında römorkaj hizmeti veren gemilerin teknik özellikleri incelenmekte ve operasyon sırasında elde edilen veriler ifade edilmektedir.

3.2.1.1 Nicel Veri Elde Edilen Gemilerin Temel Özellikleri

Nicel veri analizi ve model uyarlama için gerekli girdiler operasyondaki gemilerden birincil ve ikincil veriler olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Birincil olarak veriler KEGM ye bağlı İstanbul Boğazında römorkaj hizmeti veren gemilerin operasyonlarından anlık olarak elde edilmektedir.

Veriler Kurtarma 11 (K11), Kurtarma 12 (K12) ve Mehmetçik (MK1) römorkörlerinin operasyonlarından elde edilmektedir. Oluşturulacak olan hibrit sevk sistemi modelinde elde edilen veriler kullanılmaktadır. Römorkörlerin teknik özellikleri detaylı bir biçimde Tablo 3.1’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.1 K11, K12 ve MK1 gemilerinin teknik özellikleri (Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM), 2021)

Gemi İsmi	K 11-12	MK1
		
Yapım yeri ve Yılı	Karadeniz Ereğli 2018	Türkiye 2017
Klas Kuruluşu	Türk Loydu	Türk Loydu
Tam boy	32m	26 m
Kütük Genişlik	11,8 m	9,5 m
Kütük derinlik	5,55 m	4,65 m
Tekne Draftı	4,25 m	- m
Gross / Net Tonnage	546/164	272
Hız	13 knt	12 knt
Günlük Dizel Harcama	25,84m ³	9,57 m ³
Dizel tank kapasitesi	127 m ³	32,269 m ³
Yangın Tulumbası	FIFI-1 3000 m ³ /h	-
Sığası	-	500 mil
Çeki Gücü	75,4 ton	30 ton
Ana Makina	WARTSILA 6L26 2 x 2100 kW-1000 rpm	YANMAR 12 AYM-WET 2 x 1140 kW
Jeneratör	SCANIA DI09 074 M 2 x 269 kW	AKSA D7A-BTA 2 x 120 kW
Pervaneler	2 x Wartsila WST-CP 2800 mm	2 x Schottel SRP 1012

Römorkörlerin, yapım yeri, yılı, klas kuruluşu, tam boyu, genişliği, draftı, GRT, servis hızı, ortalama günlük dizel harcama, dizel tank kapasitesi, çeki gücü, ana makine, jeneratör ve pervane tipleri Tablo 3.1’de detaylı bir şekilde ifade edilmektedir. Örneğin MK1 römorkörü 1140Kw güç üreten iki tane ana makineye sahiptir.

K11, K12 römorkörlerinde ana makine olarak Şekil 3.3’de belirtilen “*Wärtsilä 6L26*” modeli kullanılmakta ve bu makine 2100 kW güç üretmektedir. Wärtsilä’nın 26 serisi direkt yakıt enjeksiyonlu, 4 stroklu, tersinmez, turboşarjlı ve ara soğutmalı bir dizel makinedir. Ana makine ISO 15550: 2002 (E) 'ye göre çevre koşullarında test

edilmektedir. Test ortamının basıncı 1 Bar, hava sıcaklığı 25 °C, bağıl nem %30 ve şarj havası soğutma suyu sıcaklığı 25 °C'dir (Wartsila, 2018a).



Şekil 3.3 Wärtsilä 26 serisi dizel makine (Wartsila, 2019b)

Makine düşük yükte kullanılacak operasyonlar için belirli limitler belirlemektedir. Makine %20 yükün altında maksimum 100 saat sürekli çalışabilmektedir. Belirtilen düşük yükte işletildikten sonra makine belirli süre minimum %70 yükte işletilmesi gerekmektedir. Makine %20 yükün üzerinde işletilecekse herhangi bir çalışma sınırı bulunmamaktadır. Wärtsilä'nın 26 serisi makinesinin ana değerleri Tablo 3.2'de ifade edilmektedir (Wartsila, 2018a).

Tablo 3.2 Wärtsilä 26 serisi makinenin ana değerleri

Silindir Çapı	260 mm	Makine devri	900, 1000 devir/dakika
Strok Boyu	320 mm	Ortalama Piston Hızı	9.6, 10.7 m/s
Piston Hacmi	17,0 l/silindir	Valf Sayısı	2 emme valfi ve 2 egzoz valfi

Wärtsilä 26 serisindeki ana makine silindir başına 17 litre piston hacmine sahip olmakta ve 900, 1000 devir/dakika makine devrine sahiptir. Verilerin elde edildiği römorkörde Wärtsilä 6L26 ana makinesi kullanılmakta ve bu makinenin teknik özellikleri Tablo 3.3'de ifade edilmektedir (Wartsila, 2018a).

Tablo 3.3 Wärtsilä 6L26 model ana makinenin teknik özellikleri

Model	Wärtsilä 6L26	Yakıt Tüketimi (%100) Yükte	194.4 g/kWh
Silindir Başına Çıkış Gücü	340	Yakıt Tüketimi (%85) Yükte	191.5 g/kWh
Salım Sınırlaması	IMO Tier II	Yakıt Tüketimi (%75) Yükte	193.4 g/kWh
Ortalama Efektif Basınç	2,4 MPa	Yakıt Tüketimi (%50) Yükte	201.3 g/kWh
Yağ Tüketimi %100 yükte	0,5 g/kWh	Toplam Güç	2040 kW

Teknik özellikleri Tablo 3.3'de ifade edilen ana makine 6 silindirli olup silindir başına 340 kW güç üretmektedir. Ortalama efektif basınç 2,4 MPa olup toplamda 2040 kW güç üretmektedir. Ana makinenin %100,%85, %75, %50 yükleme durumuna göre

sırasıyla 194,4; 191,5; 193,4; 201,3 g/kWh yakıt harcamı yapmaktadır (Wartsila, 2018a).

Hizmet gemisinde Wärtsilä firmasının, “*Steerable Thruster*” yönlendirilebilir iticisi (WST) kullanılmaktadır. Bu sistem römorkörlerin ve OSV lerin operasyon taleplerini karşılamak amacıyla üretilmektedir. Bu sistem 700 ila 3200 kW aralığında güç çeken modellere sahip olup, farklı güç çıktıları için yüksek verimlilikte işletilme imkânı vermektedir. Bu sistem firmalar ve işletmeler için maliyetleri düşürmekte, kolay ve hızlı kurulumu sayesinde tersanelerde zaman ve maliyet açısından kazanım sunmaktadır. WST Şekil 3.4’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.4 WST modeli (Wartsila, 2017a)

Optimum hidrodinamik verimlilik ile bu itici 360 ° dönüş sağlamakta ve her yönde maksimum itki oluşturmaktadır. 750 ila 1800 dev/dakika hıza sahip yüksek devirli makinelerle uyum sağlayabilmektedir. Sistem sağlamlık, güvenilirlik, çevre performansı, kurulum esnekliği, kullanıcı dostu kontroller ve bakım-tutum açısından kazanımlar sunmaktadır. K11-12 römorkörlerinde Wartsila WST-CP 2800 mm modeli kullanılmaktadır (Wartsila, 2017a).

MK1 hizmet gemisinde ana makine olarak Yanmar Şirketinin 12AYM-WET serisi dizel makine kullanılmakta ve bu makine 1840 devir/dakikada 1140 kW güç üretmektedir. Ana makinenin kesiti Şekil 3.5’de ifade edilmektedir (Yanmar, 2016).



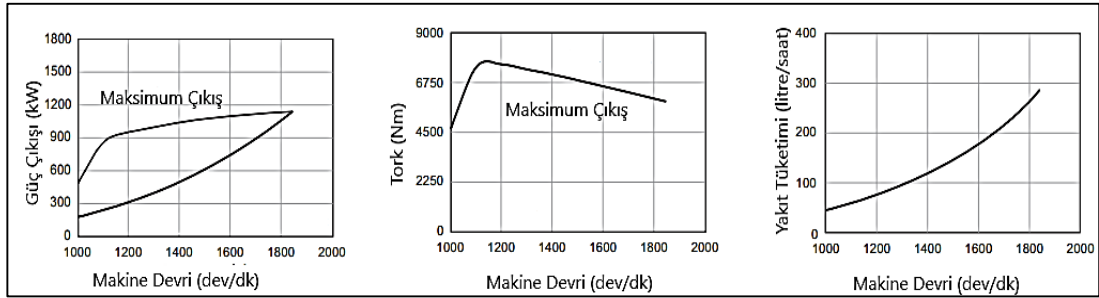
Şekil 3.5 Yanmar 12AYM-WET serisi (Yanmar, 2016)

Bu seri ana makine su soğutmalı, V tipi 12 silindirli, direkt yakıt enjeksiyonlu bir dizel makinedir. 12AYM-WET serisi dizel makinenin ana değerleri Tablo 3.4’de ifade edilmektedir (Yanmar, 2016).

Tablo 3.4 Yanmar 12AYM-WET serisi makinenin ana değerleri

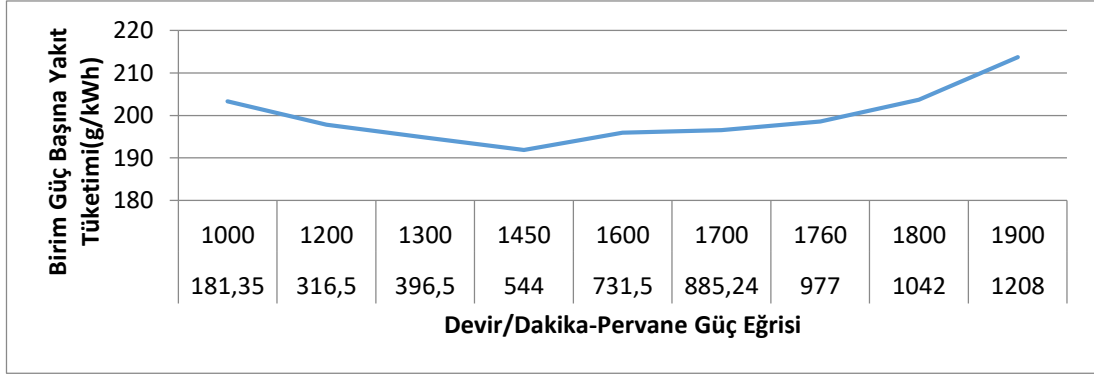
Silindir Çapı	155 mm	Makine devri	1840 devir/dakika
Strok Boyu	180 mm	Çevresel	IMO Tier II
Hacmi	40,76 litre	Ağırlık	4870 kg

Ana makine, basıncı 100 kPa, hava sıcaklığı 25 °C ve bağıl nem %30 olan bir ortamda test edilmektedir. Testlerde Özgül ağırlığı 0.835 g / cm³, alt ısı değeri 42700 kJ / kg [10200kcal / kg], Setan numarası 45 olan bir dizel yakıt kullanılmaktadır. Ana makineye ait katalog verileri Şekil 3.6’da ifade edilmektedir (Yanmar, 2013).



Şekil 3.6 Yanmar 12AYM-WET serisi dizel makine katalog verileri (Yanmar, 2013).

Ana makinenin devrine göre çekilen güç miktarı, torku ve yakıt tüketimi verileri Şekil 3.6’dan elde edilmektedir. Katalog verileri elde edilirken kullanılan dizel yakıtın değerleri göz önünde bulundurulduğunda çekilen güce ve makine devrine göre birim güç başına düşen yakıt tüketim değerleri “g/kWh” cinsinden Şekil 3.7’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.7 Makine devri/ pervane güç eğrisine göre birim güç başına yakıt tüketim miktarı

Devir başına pervaneden çekilen güce elde edilen yakıt tüketimi incelendiğinde elde edilen değerler 191-213 g/kWh arasında değişmekte ve birim başına en verimli tüketim 1450 dev/dk da 731 kW güç çekildiğinde elde edilmektedir. Bu da 1140kW'lık ana makinin %65'lik yükleme durumunu ifade etmektedir.

MK1 römorkörün dümen ve pervane sistemi olarak Schottel grubunun SRP(Schottel Rudder Propeller) 1012 modeli kullanılmaktadır (Schottel, 2019a). Bu pervane-dümen sistemi Schottel grubunun eski "SRP 500" modelinin güncellenmesi sonucu ortaya konulmaktadır. Var olan şaft hattına yeni itici ünite yerleştirilerek "SRP 1012" modeli oluşturulmaktadır (Schottel, 2019b). SRP dümen pervane sistemi 6190 kW kadar itme gücü sağlamakta ve bu sistem çok çeşitli gemilerde kullanılmaktadır. Bu sistem Şekil 3.8'de ifade edilmektedir (Schottel, 2019a).



Şekil 3.8 SRP dümen-pervane sistemi (Schottel, 2013)

SRP sisteminin ana özelliği azimut dümeni ve itme gücü kombinasyonlarından oluşturmaktadır. Bu sistemde dümene gerek olmamakla birlikte, optimal makine gücü ile 360 ° manevra yapabilecek kapasiteye sahiptir. Yüksek manevra kabiliyeti, bakım

kolaylığı, yüksek güvenilirlik, kavitasyona ve titreşime karşı dayanım, sabit veya kontrol edilebilir piçli pervane, işletilmesinin ekonomikliğı bu tip pervaneleri ön plana çıkarmaktadır (Schottel, 2013).

3.2.1.2 Operasyon Sırasında Elde Edilen Nicel Veriler

İstanbul boğazı ve çevresinde hizmet veren römorkörlerden veriler alındığındaki sıcaklık, nem, rüzgâr, rüzgar yönü ve görüş alanları günün belli zaman aralıklarındaki değerleri Tablo 3.5’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.5 Verilerin elde edildiğı zamanlardaki hava koşulları (The Weather Channel, 2019)

Veri Başlıkları	2 ARALIK 2019				3 ARALIK 2019				4 ARALIK 2019			
Zaman	Sabah	Öğleden Sonra	Akşam	Gece	Sabah	Öğleden Sonra	Akşam	Gece	Sabah	Öğleden Sonra	Akşam	Gece
Sıcaklık	11°C	12°C	7°C	9°C	13°C	12°C	8°C	6°C	8°C	9°C	7°C	6°C
Yağış (%)	0	0	0	5	23	59	65	60	52	25	40	25
Nem (%)	75	53	78	76	70	76	90	88	74	63	68	71
Bulutluluk (%)	13	29	31	26	59	92	100	100	99	94	69	91
Çiy Noktası(°C)	3	2	4	6	6	6	7	5	3	1	2	2
Görüş Alanı	10	11	11	10	10	6	5	5	6	9	10	10
Rüzgâr (km/sa)	10	6	6	10	9	15	18	20	20	20	15	13
Rüzgâr Yönü	D	GGD	GB	GB	D	K	KKD	KKD	KD	KKD	KD	DKD
Kuvvetli Rüzgârlar (km/sa)	19	10	11	13	17	20	26	28	30	30	20	17

İlk gün veriler toplanırken ortalama sıcaklık değeri 10 °C dolaylarında iken, rüzgâr yönü güney ve doğu arasında değişmektedir. İkinci ve üçüncü günün ilk güne göre daha yağışlı ve görüş alanının daha kısa olduğu Tablo 3.5’de açıkça görülmektedir.

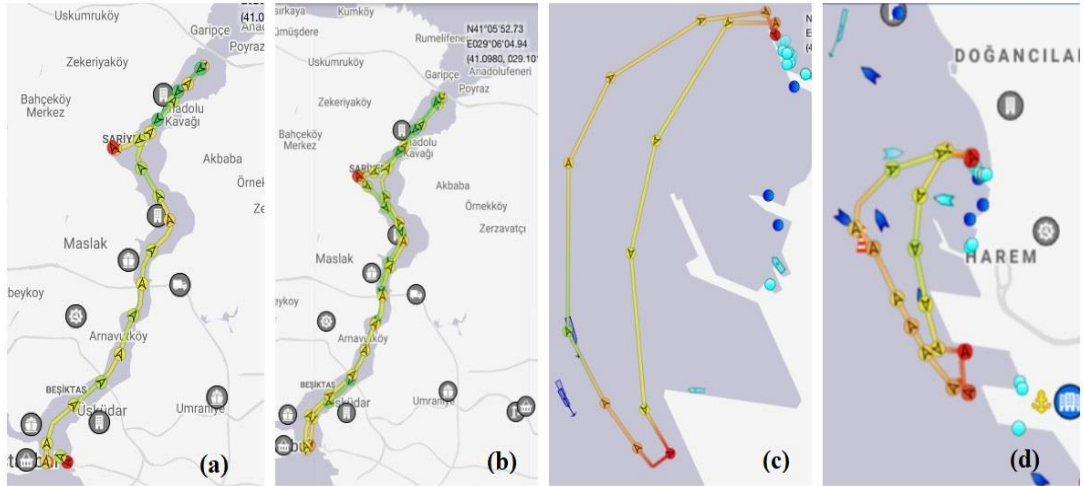
Uygulamalarda kullanılacak veriler birincil ve ikincil olmak üzere iki farklı biçimde elde edilmektedir. Birincil olarak MK1 ve K12 römorkörlerinin operasyonları sırasında anlık olarak ana makinesinden elde edilmektedir. İkincil veriler K11-12 adlı hizmet gemilerinin geçmişe dönük operasyonları sırasında elde edilmektedir. Verilerin

elde edildiği gemiler, operasyon tarihleri, yapılan römorkaj hizmetinin türü Tablo 3.6’da ifade edilmektedir.

Tablo 3.6 Birincil ve ikincil verilerin elde edildiği gemilerin operasyon tarihi, süresi ve hizmet türü

Veri Türü	Gemi Adı	Operasyon Tarihi	Operasyon Süresi	Römorkaj hizmetinin türü
I. Veri	K12	2 Aralık 2019	12:20-15:45	Boğaz Geçiş
I. Veri	MK1	3 Aralık 2019	16:29-17:02	Gemi Yanaştırma/Kaldırma
I. Veri	MK1	4 Aralık 2019	15:58-16:10	Gemi Yanaştırma/Kaldırma
II. Veri	K12	1 Aralık 2019	16:12-18:32	Boğaz Geçiş
II. Veri	K12	11 Kasım 2019	06:30-13:45	Gemi Yanaştırma/Kaldırma
II. Veri	K11	2 Aralık 2019	10:45-17:12	Boğaz Geçiş ve Gemi Yanaştırma/Kaldırma
II. Veri	K11	19 Kasım 2019	06:30-17:27	Boğaz Geçiş ve Gemi Yanaştırma/Kaldırma
II. Veri	K11	17 Kasım 2019	12:40-13:30	Gemi Yanaştırma/Kaldırma

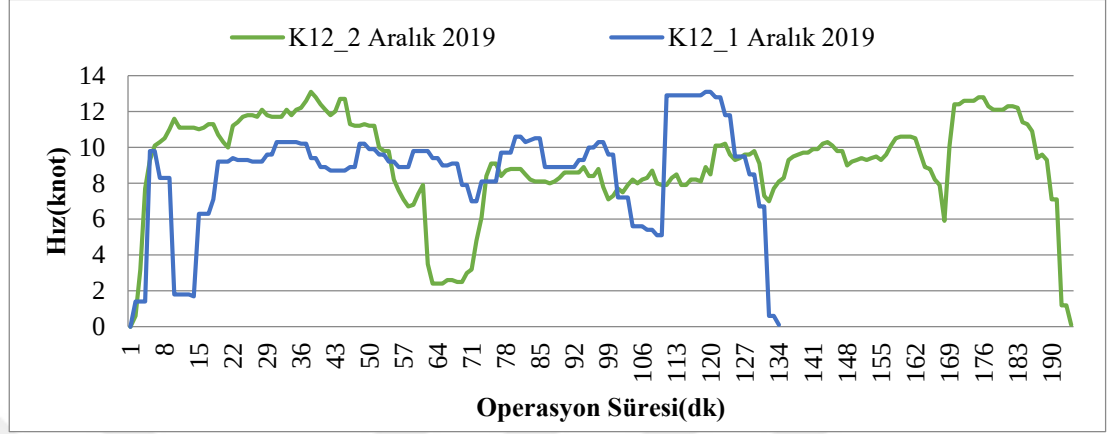
Operasyon süresince römorkörlerin izlediği rotalar gemileri anlık konumlarını görüntüleyebilen “*MarineTraffic*” uygulamasından elde edilmekte ve Şekil 3.9’da ifade edilmektedir.



Şekil 3.9 K12(a)(b) ve MK1(c)(d) hizmet gemilerinin operasyon süresince rotaları (MarineTraffic, 2019)

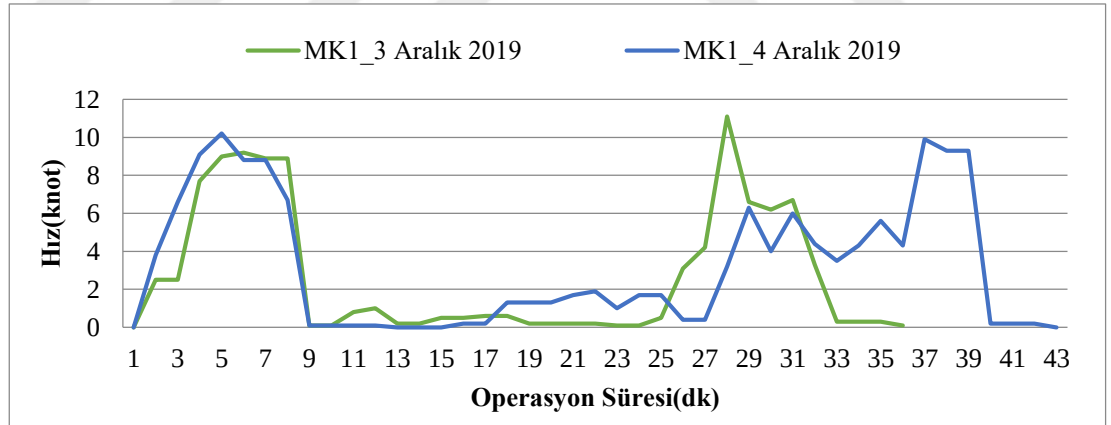
Şekil 3.9 (a) ve (b) K12 römorkör sırasıyla 1 ve 2 Aralık 2019 da bir gemiye boğaz geçişinde hizmet etmesiyle oluşturulmaktadır. Şekil 3.9 (c) ve (d) ise MK1 adlı römorkörün 3 ve 4 Aralık 2019 gemi yanaştırma/kaldırma operasyonlarından

oluşturulmaktadır. Şekil 3.9’da belirtilen rotalardaki K12 römorkörünün operasyon süresince hız değerleri Şekil 3.10’da ifade edilmektedir.



Şekil 3.10 K12 römorkörünün operasyon süresince hızları

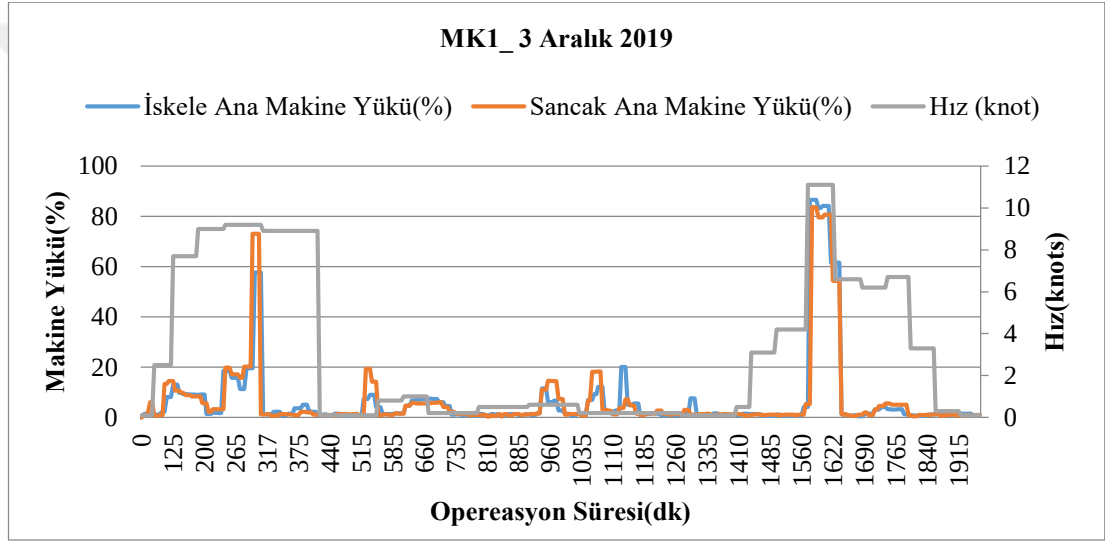
Veriler “*MarineTraffic*” den elde edilmekte ve yazar tarafından hızların doğruluğunun kontrolü sağlanmaktadır. Benzer uygulama MK1 römorkörü için yapılmakta ve elde edilen bilgiler Şekil 3.11’de belirtilmektedir.



Şekil 3.11 MK1 römorkörünün operasyon süresince hızları

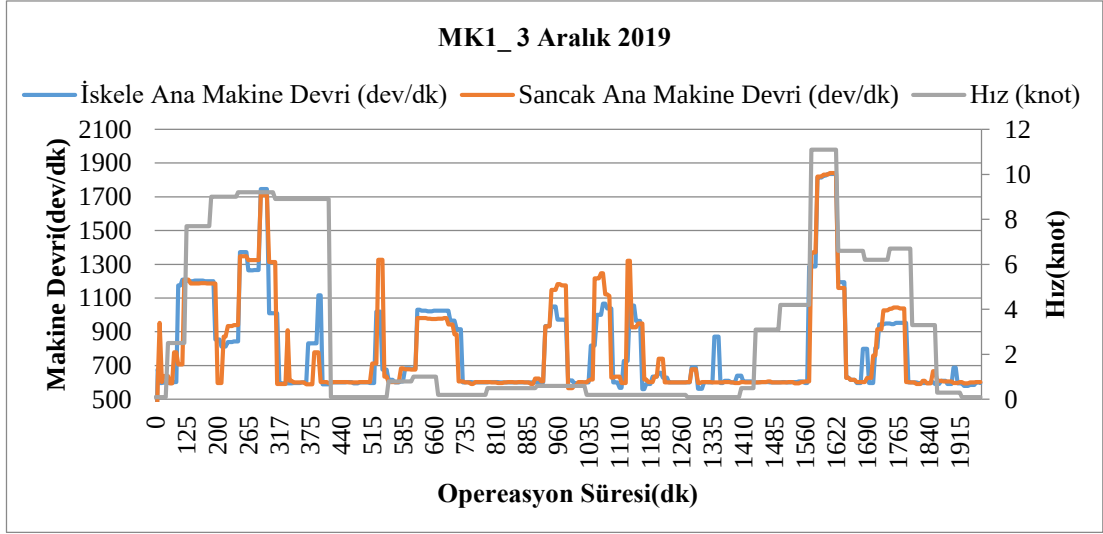
MK1 römorkörüne ait 3 ve 4 Aralık 2019 da gerçekleşen operasyonlar boyunca dakika bazında hız değerleri *knot* cinsinden Şekil 3.11’de belirtilmektedir.

Birincil verilerden MK1 hizmet gemisine ait operasyon verileri anlık olarak kayıt edilmekte; modelleme ve analiz de yapılacak farklı uygulamalar için değerler elde edilmektedir. İlk olarak 3 Aralık 2019 tarihinde yapılan gemi kaldırma hizmeti için saniye cinsinden zamana bağlı makine yük değerleri ile römorkörün hızı elde edilmekte ve Şekil 3.12’de belirtilmektedir.



Şekil 3.12 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine yükü değişimi

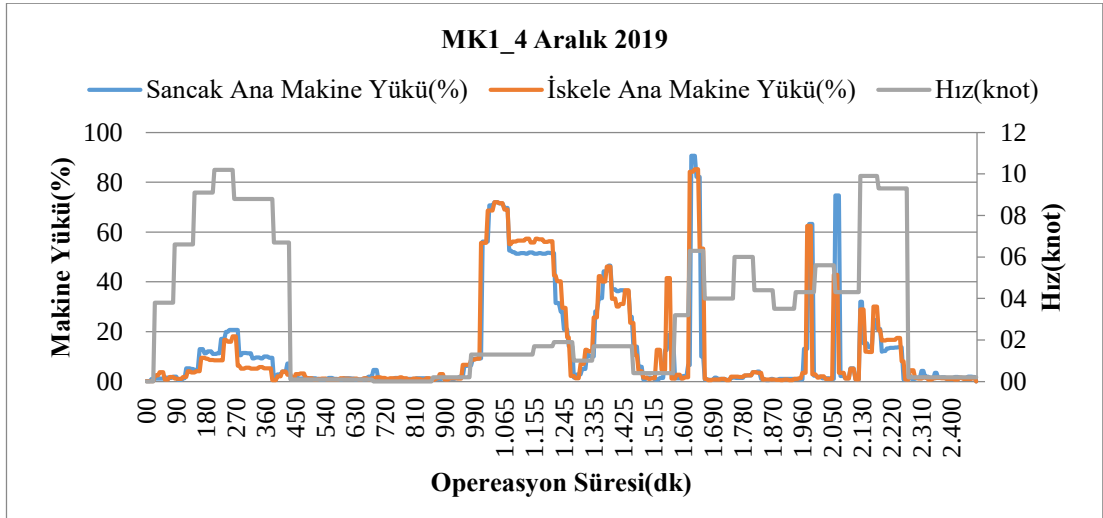
Harem Tahlisiye Bot İstasyonundan harekete geçen römorkör Haydarpaşa Limanından kalkacak bir gemiye kalkış hizmeti sağlamaktadır. Haydarpaşa Limanına römorkör 9 dakika ulaşmakta ve kalkış yapacak olan gemiye 15 dakika hizmet etmektedir. Haydarpaşa Limanından Harem Tahlisiye Bot İstasyonuna seyir süresi 8 dakika sürmektedir. Toplam operasyon süresi yaklaşık olarak 32,75 dakika sürmektedir. Operasyon süresi ana makine yük değerleri düşük seviyelerde iken sadece itme ve çekme durumlarında %60'ın üstüne çıkmakta ve bu durum Şekil 3.12’de detaylı bir biçimde görülmektedir. Görüntüleme sırasında elde edilen sancak ve iskeledeki ana makine devirleri Şekil 3.13’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.13 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine devri ve hız değişimi

Operasyon süresi boyunca makine devri 500 ila 1500 dev/dk arasında değişirken, sadece yüksek yüklerde 1500 dev/dk yı geçmektedir. Belirtilen hizmet gemisinde işletim süresi boyunca yakıt tanklarında toplamda 60 lt yakıt harcamı meydana gelmektedir.

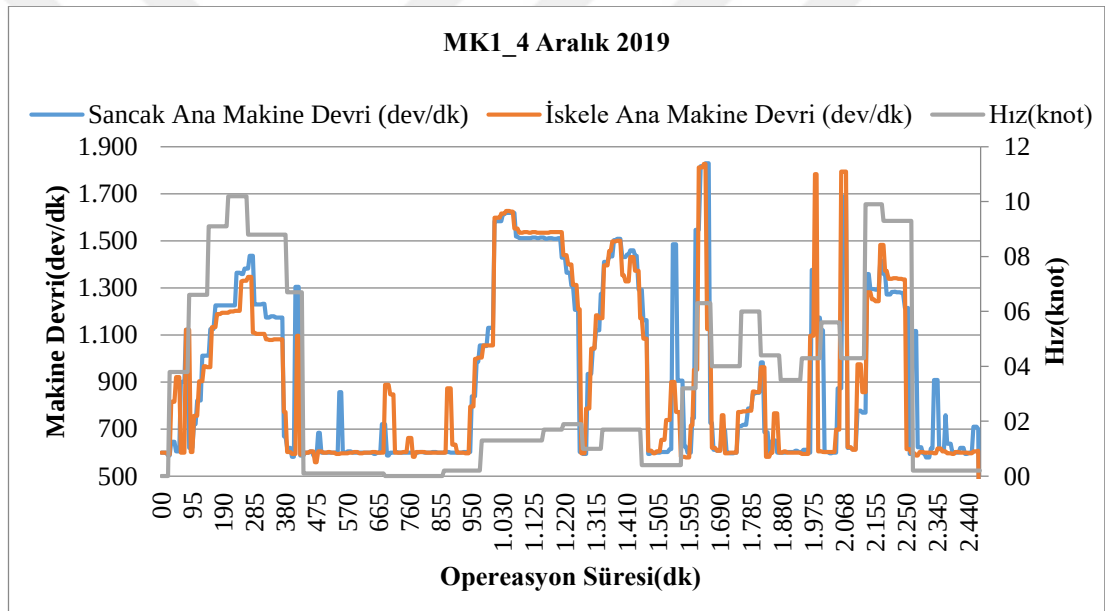
MK1 römorkörünün 4 Aralık 2019 tarihinde yapılan operasyondaki iskele ve sancak ana makinelerindeki yük değerleri ve bu süreçteki hızları Şekil 3.14’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.14 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine yükü değişimi_4 Aralık 2019

Gerçekleştirilen bu operasyonda “UNI PHOENIX” adlı konteyner gemisinin limandan kalkışına hizmet etmektedir. Harem Tahlisiye Bot İstasyonundan harekete geçen römorkör yaklaşık olarak 17 dakikada seyir yaptıktan sonra kalkışına hizmet vereceği geminin bulunduğu Haydarpaşa Limanına gelmektedir.

Geminin kalkışına hizmet sağlanması ve geminin limandan ayrılması yaklaşık olarak 13 dakika sürmekte ve kalan 11 dakikada römorkör tekrar Harem Tahlisiye Bot İstasyona geri dönmektedir. Operasyon süresi yaklaşık olarak 41,25 dakika sürmektedir. Operasyon süreci boyunca makine devri devir/dakika cinsinden Şekil 3.15’de ifade edilmekte ve ikincil ekseninde hız verileri paylaşılmaktadır.



Şekil 3.15 MK1 römorkörünün operasyon süresince makine devri değişimi ve hızı

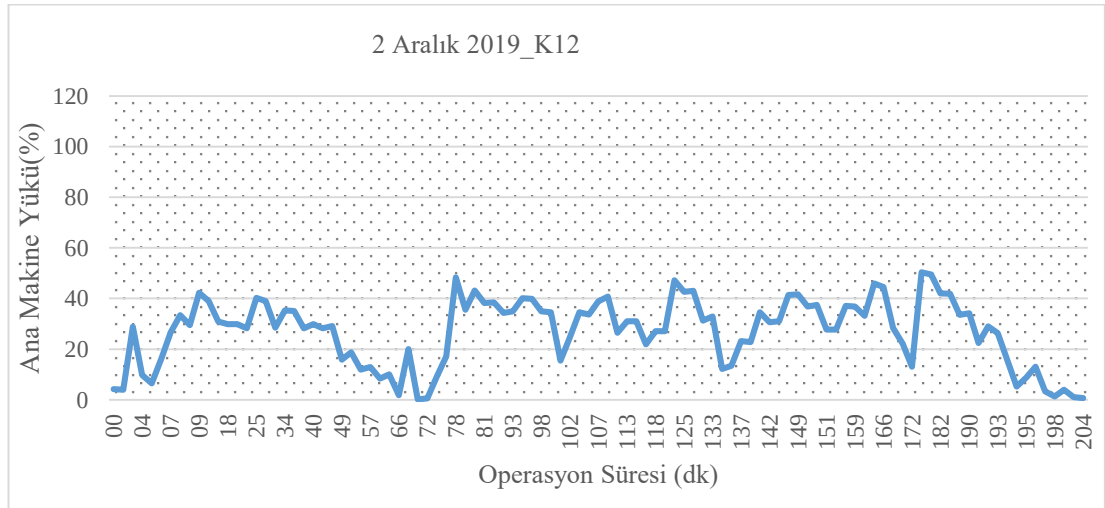
Ölçümler sırasında sancak ve iskeledeki ana makine devir ve yük değerleri birbiriyle eş bir biçimde gitmektedir. Makine devri 500 dev/dk ile 1500 dev/dk arasında değişmekte yüksek güç çekilen noktalarda 1500dev/dk yı geçmektedir. MK1 römorkörünün gerçekleştirmiş olduğu bu hizmette iskele ve sancak ana makinelerinde toplamda 120 litre yakıt harcamı meydana gelmektedir. Farklı zaman aralıklarında ve farklı yük durumlarında elde edilen diğer veriler Tablo 3.7’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.7 Operasyon sırasında kayıt edilen diğer verilerin ana makine yüklerine göre değişimi

Veriler	Değerler (İskele/Sancak)			Değerler (İskele/Sancak)		
	3 Aralık 2019			4 Aralık 2019		
Operasyon Süresi(sn)	210	305	1080	150	1220	1635
Yağ Basıncı	3,2-3,3	4,7-4,7	4,2-4,3	4,6-4,6	4,5-4,3	4,7-4,8
Tatlı Su Basıncı(bar)	0,6-0,6	1,2-1,6	1-1,3	0,5-0,2	1,3-1,5	1,7-1,7
Yağ Sıcaklığı(°C)	73,8-74,8	77-77,5	79,8-80,2	53,5-51,6	82,6-82,2	83,1-82,2
Tatlı Su Sıcaklığı(°C)	74-78	78-80	77-80	54-56	78-80	76-78
Türbin Çıkış Sıcaklığı(°C)	22-25	25,3-24,5	20,5-21,8	20,8-22,7	33,5-25	23,1-23,5
Deniz Suyu Basıncı (bar)	0,7-0,6	1,3-1,3	1,1-1	0,8-0,7	1,5-1,2	1,8-1,5
Makine Devri(dev/dk)	813,3-597	1009,8-1312,7	1038,7-1122,3	963,7-1125,2	1439,6-1428,1	1812-1817,8
Makine Yüğü(%)	1,3-2,1	57,6-73,1	12,2-18,3	4,2-4,7	42,6-31,5	85,2-90,6
Yakıt Basıncı(bar)	4,8-5,2	6-6,7	5,1-6,1	5,3-5,5	5,6-6,5	6,2-6,6
Egzoz Değerleri(°C)	240-260	290-324	211-273	163-211	362-395	216-280

Tablo 3.7’deki verilere bakıldığında anlık olarak ana makinelerin yağ, yakıt, tatlı su, deniz suyu basınçları ve sıcaklıkları görüntülenmektedir. Bu verilere ilave olarak türbin çıkış sıcaklığı ve egzoz değerleri elde edilmektedir.

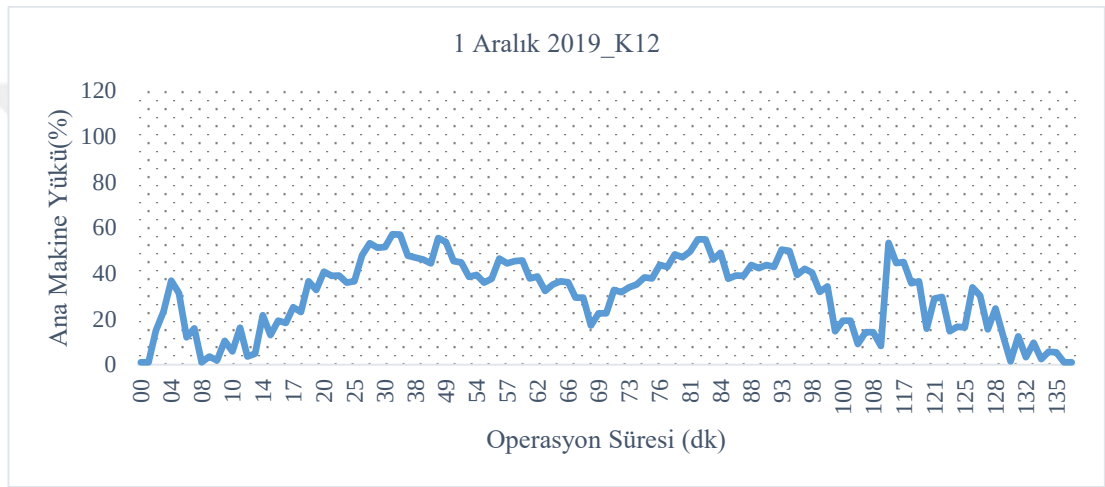
K12 römorkörünün 2 Aralık 2019 da gerçekleştirdiği operasyon süresi boyunca elde edilen makine yükleri Şekil 3.16’da belirtilmektedir.



Şekil 3.16 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 2 Aralık 2019_K12

Şekil 3.16’da belirtilen operasyonda İstanbul boğazından geçiş yapan bir gemiye, çatma, çatışma gibi herhangi bir olumsuz durum oluşmaması için geçiş boyunca eşlik edilmektedir ve operasyon süresince elde edilen ana makine yükleri tanımlamaktadır.

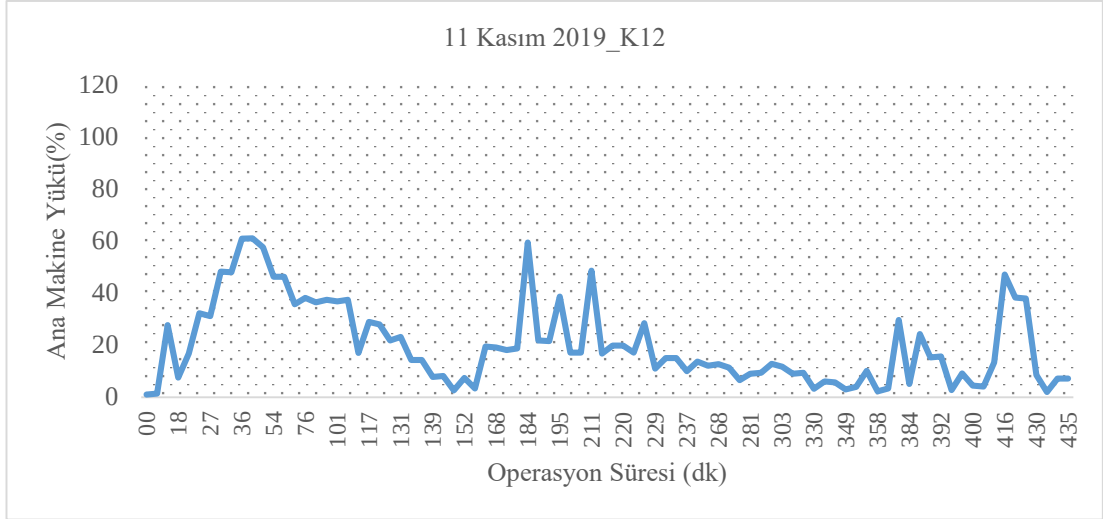
İkincil olarak K11 ve 12’ye ait hizmet gemilerinden geçmişe dönük operasyonlardaki ana makineden elde edilen değerler belirtilmektedir. 1 Aralık 2019 da boğazdan geçiş sağlayan gemiye hizmet gemisi tarafından refakat edilmekte ve bu operasyon sırasındaki ana makine yükünün değeri dakika bazında Şekil 3.17’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.17 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 1 Aralık 2019_K12

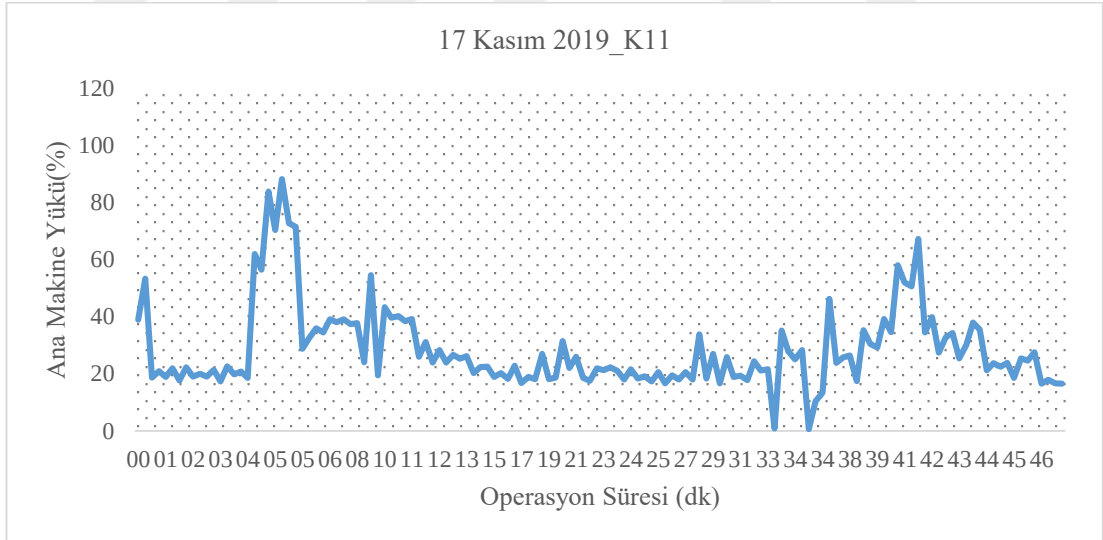
K12 hizmet gemisi operasyon süresince genellikle %30 ila %60 arasında makine yüküne sahip olmakta ve ana makine 600-900 dev/dk hızında işletilmektedir. Şekil 3.9’da operasyonun rotası belirtilmektedir. Operasyon yaklaşık olarak 140 dakika sürmektedir.

K12 hizmet gemisi 11 Kasım 2019 tarihinde İstanbul Büyük Havalimanı (IGA) olduğu bölgeye hizmet veren gemiye yanaştırma operasyonunda destek sağlamaktadır. Bu operasyon sürecindeki elde edilen değerler Şekil 3.18’de ifade edilmektedir.



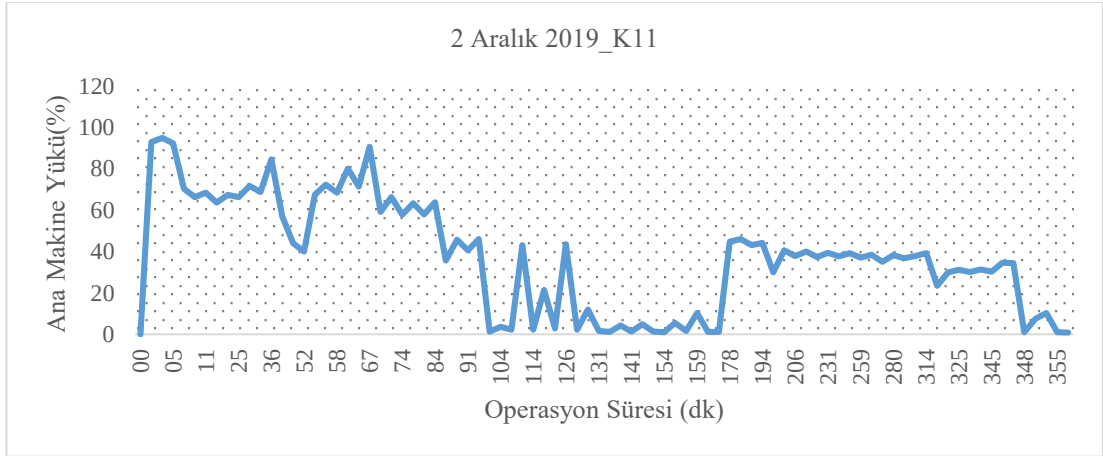
Şekil 3.18 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 11 Kasım 2019_K12

Bu operasyonda yanaştırma işlemi yapılmakta ve ortalama operasyon süresi 435 dakika sürmektedir. K11 adlı römorkörün 17 Kasım 2019 tarihinde gerçekleştirilen gemi yanaştırma/kaldırma operasyonda ana makine yükü ve operasyon süreleri Şekil 3.19’da ifade edilmektedir.



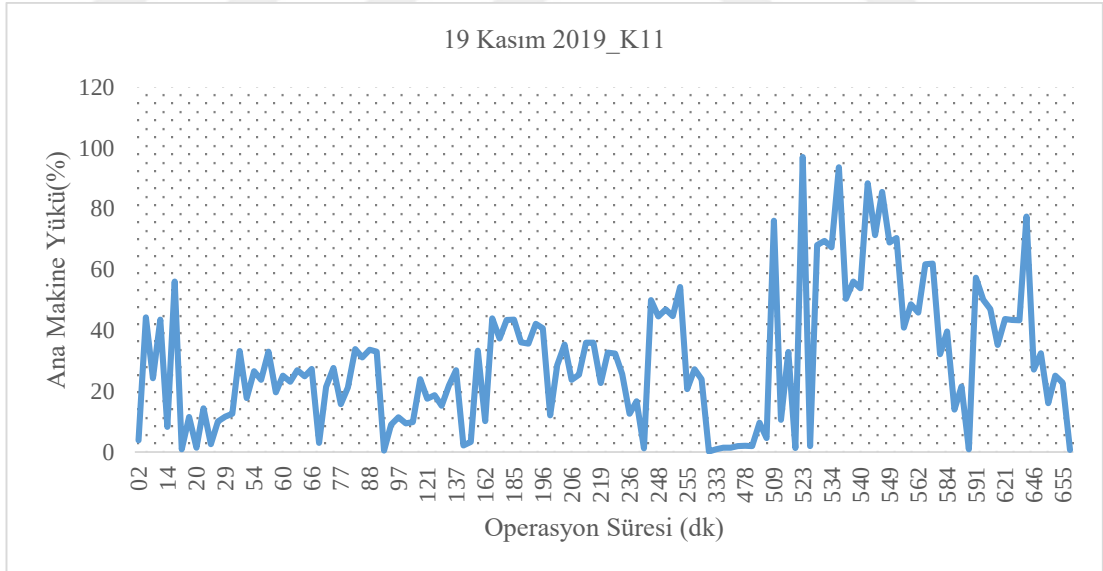
Şekil 3.19 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 17 Kasım 2019_K11

Veriler K11 Römorkörün yanaştırma/kaldırma operasyonundan elde edilmektedir. Operasyon süresi 50 dakika sürmektedir. K11 Römorkörün 2 Aralık 2019 tarihinde gerçekleştirilen boğaz geçişi ve gemi yanaştırma/kaldırma operasyondaki ana makine yükü değerleri Şekil 3.20’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.20 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 2 Aralık 2019_K 11

Gerçekleştirilen operasyonda römorkör operasyonunu yaklaşık olarak 387 dakika tamamlamaktadır. K11 Römorkörün 19 Kasım 2019 tarihinde gerçekleştirilen boğaz geçişi ve gemi yanaştırma/kaldırma operasyondaki ana makine yükü değerleri Şekil 3.21’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.21 Operasyon sırasındaki ana makine yükü 19 Kasım 2019_K 11

Gerçekleştirilen operasyonda römorkör yaklaşık olarak 657 dakika hizmet vermektedir. Veri toplama süresince ikisi tüm boyutsal ve teknik özellikleri aynı olan üç römorkörden toplamda sekiz operasyona ait değerler elde edilmektedir. Belirtilen

operasyonların üçünde veriler anlık olarak gemi üzerinden alınmakta, diğer beş operasyonun verileri römorkörlere ait kayıt sisteminden elde edilmektedir. Elde edilen verilerde ana makine yükü, operasyon süresi, gemi hızı, çekilen güç ve anlık yakıt tüketim miktarları esas alınarak grafikler oluşturulmaktadır. Bu değerler oluşturulan modelde analiz işlemi sırasında kullanılmaktadır. Analiz çıktıları, bulgular ve sonuçlar kısmında detaylı bir şekilde incelenmektedir.

3.2.2 Deneyisel Çalışma ve Sayısal İnceleme

İkincil olarak gerçekleştirilecek modelde kullanılacak elektrik motorlarının ve dizel makinenin yük testi sırasıyla Dokuz Eylül Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Gemi makineleri İşletme Mühendisliği elektrik motorları ve Protek laboratuvarında laboratuvarında gerçekleştirilmektedir. Deneyisel çalışma, elektrik motoru ve dizel makine laboratuvarlarında gerçekleştirilmekte ve değerler anlık olarak kayıt edilmektedir.

3.2.2.1 Elektrik Motorları Deney Çalışmaları

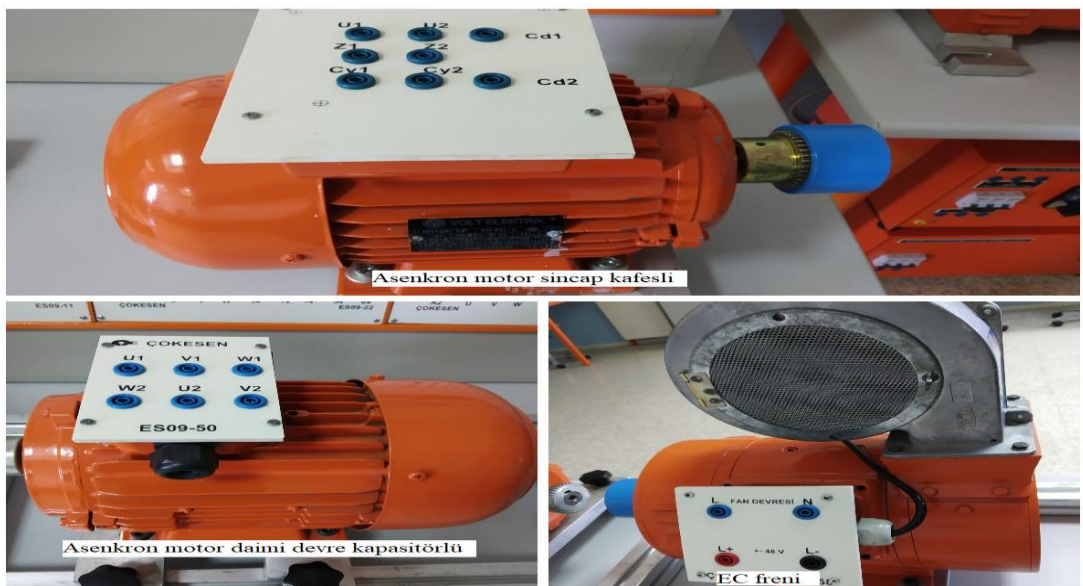
Elektrik motorları deney seti yükleme durumunda güç, amper ve voltaj değerlerini elde etmek için kurulmaktadır. Kurulan deney setinde çalışmalar yapılırken emniyet faktörleri göz önünde bulundurulmakta ve bundan dolayı acil durdurma butonu, çıkışlar için sigorta koruması ve motor bağlantılarını yapmak özel bağlantı kabloları kullanılmaktadır.

Deney setinde kullanılan ekipmanların listesini;

- 3 Fazlı Asenkron Motor Sincap Kafesli
- Tek Fazlı Asenkron Motor Daimi Devre Kapasitörlü
- “Foucault Current Brake (EC)” Yükleme yapmak için elektrik motoru fren sistemi
- Kaçak Akım Rölesi
- Ayarlanabilir DC Kaynak Modülü
- 3 Fazlı Sigorta Modülü

- AC Voltmetre Modülü
- AC Ampermetre Modülü
- Bağlantı Kızağı
- Bağlantı kabloları oluşturmaktadır.

İlk olarak 4 kutuplu tek fazlı Daimi Devre Kapasitörlü Asenkron Motorda yük testi işlemi yapabilmek amacıyla sistem kurulmaktadır. Motor bağlantı kızağında fren sistemi “*Foucault Brake*” ile aynı raya gelecek şekilde bağlanmaktadır. Benzer biçimde 4 kutuplu Sincap Kafesli Asenkron Motor da sisteme entegre edilmekte ve yükleme testleri için bağlantı kurulmaktadır. Bağlantı Kızağı sayesinde motor ve fren sistemi aynı eksende ve aynı mil yüksekliğinde birlerine akuple olabilmekte bu sayede titreşimler indirgenerek verimli ölçümler yapılabilmektedir. Her iki motorunda klemens kutularındaki tüm girişler ve çıkışların uçlarında bağlantı kabloları ile uyumlu soketler bulunmaktadır. Böylece bağlantı kablolarıyla birlikte istenilen sistem kurulabilmektedir. Elektrik motorunun yük testlerini gerçekleştirmek için kullanılan sistem manyetik alan içinde hareket eden bir metalin frenlenmesi sağlamaktadır. Motorların güç ölçümünde kullanılmakta ve mil yüksekliği frenleme yapılacak motorla aynı seviyede olacak biçimde sisteme bağlantısı yapılmaktadır. 4000 devir/dk hıza 20 Nm torka sahip elektrik motorunu frenleyebilmektedir. Sistemde kullanılan motorların ve fren sisteminin kızağa bağlanması Şekil 3.22’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.22 Asenkron motorlar ve EC freni (Kişisel arşiv, 2021)

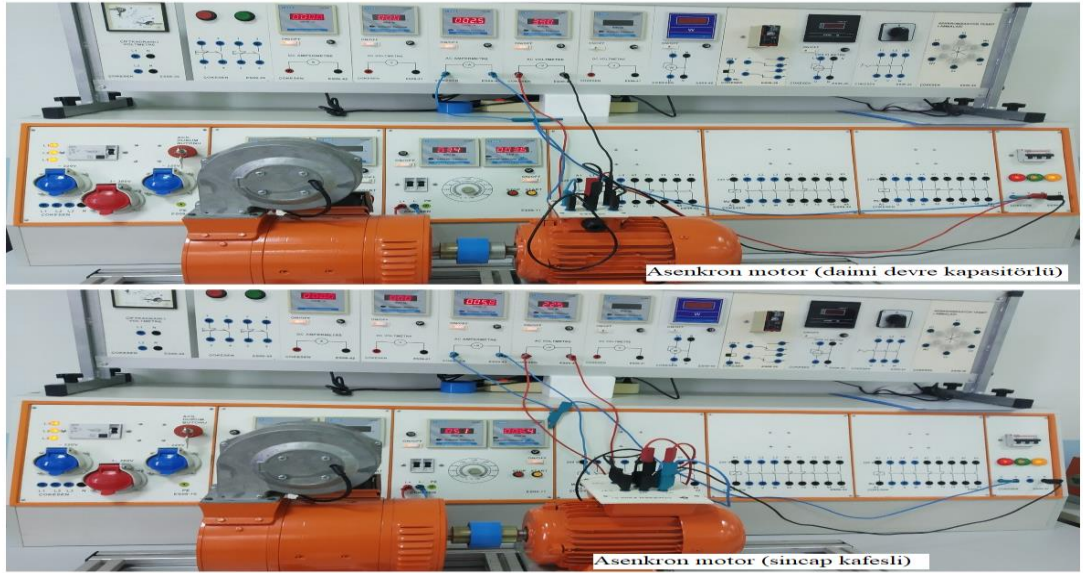
Sistemde oluşabilecek bir hatayı engellemek için kaçak akım rölesi bulunmakta ve oluşacak herhangi bir elektrik kaçağı durumunda devreyi keserek, sistemi koruma altına almaktadır. Bu sayede büyük hasarlara yol açabilecek tehlikeler engellenebilmektedir. Ayarlanabilir DC kaynak modülü ile birlikte frenleme sistemi kontrol edilmekte bu sayede sistemde kullanılan elektrik motoru istenilen seviyelere kadar yüklenebilmektedir. DC Kaynak Modülü üzerinde fren sisteminin çektiği amper ve voltaj değerini gösteren iki ekran bulunmaktadır ve ekrandaki veriler kullanılarak fren gücü hesaplanmaktadır. Elde edilen fren gücü ile motorunun test sırasında çektiği güç arasında verimlilik hesabı yapılabilmektedir.

Test için kullanılan iki farklı elektrik motorunun yükleme sırasında voltaj değerlerini ölçmede AC Voltmetre Modülü kullanılmaktadır. Kullanılan bu modül, 0-500V AC gerilim aralıklarını ölçmekte ve bunları dijital olarak görüntülemektedir. Elektrik motorlarından yük testi sırasında çekilen amper değerlerini ölçmede AC ampermetre modülü kullanılmaktadır. Bu modül, 0-30 A AC akım aralıklarını ölçmekte ve bunları dijital olarak görüntülemektedir (Çok Eksen Elektronik, 2013). Sistemde kullanılan kaçak akım rölesi ve bağlantı modülü; ayarlanabilir DC kaynak modülü, üç fazlı sigorta modülü, AC voltmetre modülü, AC ampermetre modülü Şekil 3.23’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.23 Kaçak akım rölesi ve bağlantı modülü, AC ampermetre modülü, ayarlanabilir dc kaynak modülü, AC voltmetre modülü, üç fazlı sigorta modülü (Kişisel arşiv, 2021)

Test aşamasında Asenkron Motorlar ile Fren sisteminin mil yüksekliği ve bağlantısı aynı hızda olacak biçimde bağlantı kızıağına montajı yapılmaktadır. Fren gücünü ayarlamak amacıyla kullanılan ayarlanabilir DC kaynak modülü ile istenilen değere kadar fren yaptırılabilir. DC kaynak modülünün içinde bulunan ampermetre ve voltaj göstergeleri ile çekilen akım ve voltaj değerleri her bir yükleme durumu için kayıt edilmektedir. Asenkron motorlarda çekilen amperi ve voltajı ölçmek amacıyla AC voltmetre ve ampermetre modülü eklenmektedir. 3 fazlı olan elektrik motorunda kablolama işlemi 3 fazlı sigorta modülü üzerinden yapılarak sistem kurulmaktadır. Kurulan ölçüm sistemleri Şekil 3.24’de belirtilmektedir.



Şekil 3.24 Asenkron motorların yük testi (Kişisel arşiv, 2021)

İki sistem kurulduktan sonra, elektrik motorları belirli seviyelerde yüklenilerek amper ve voltaj değerleri görüntülenmektedir. Görüntülenen değerler kayıt edildikten sonra fren sisteminden çekilen güçler (3.1), (3.2) ve (3.3) deki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Tek Fazlı Asenkron Motor Gücü} = \text{Amper} * \text{Voltaj} * \text{Motor Verimi} \quad (3.1)$$

$$\text{Üç Fazlı Asenkron Motor Gücü} = \sqrt{3} * \text{Amper} * \text{Voltaj} * \text{Motor Verimi} \quad (3.2)$$

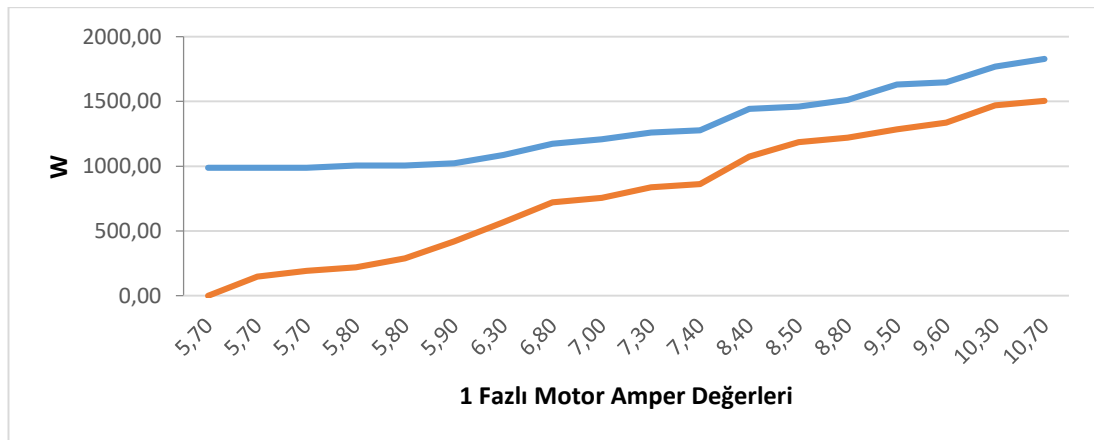
$$\text{Fren Gücü} = \text{Amper} * \text{Voltaj} * \text{Verim} \quad (3.3)$$

Tek fazlı asenkron motor ile yapılan yük testinde 18 farklı durum için sonuçlar elde edilmektedir. Hesaplanan fren ve elektrik motorundaki güç değerleri Tablo 3.8’de belirtilmektedir. Ayrıca EC freni ile motorun güç karşılaştırması yapılmaktadır.

Tablo 3.8 Tek fazlı asenkron motor yük testi

Test	I Fazlı Motor			EC Freni			Fark gücü (P _{in} -P _f) (W)
	V _{in} (Volt)	I _{in} (Amper)	P _{in} (W)	V _f (Volt)	I _f (Amper)	P _f (W)	
1	225,00	5,70	987,53	0,00	0,00	0,00	987,53
2	225,00	5,70	987,53	36,00	4,10	147,60	839,93
3	225,00	5,70	987,53	40,00	4,80	192,00	795,53
4	225,00	5,80	1004,85	43,00	5,10	219,30	785,55
5	225,00	5,80	1004,85	48,00	6,00	288,00	716,85
6	225,00	5,90	1022,18	56,00	7,50	420,00	602,18
7	224,00	6,30	1086,62	63,00	9,00	567,00	519,62
8	224,00	6,80	1172,86	70,00	10,30	721,00	451,86
9	224,00	7,00	1207,36	72,00	10,50	756,00	451,36
10	224,00	7,30	1259,10	74,00	11,30	836,20	422,90
11	224,00	7,40	1276,35	75,00	11,50	862,50	413,85
12	223,00	8,40	1442,36	82,00	13,10	1074,20	368,16
13	223,00	8,50	1459,54	84,00	14,10	1184,40	275,14
14	223,00	8,80	1511,05	86,00	14,20	1221,20	289,85
15	223,00	9,50	1631,25	88,00	14,60	1284,80	346,45
16	223,00	9,60	1648,42	89,00	15,00	1335,00	313,42
17	223,00	10,30	1768,61	93,00	15,80	1469,40	299,21
18	222,00	10,70	1829,06	94,00	16,00	1504,00	325,06

Bağlantı şemasında da belirtildiği gibi ayarlanabilir DC kaynak modülü ile yükleme yapıldığında yedinci adım ve sonrasında tek fazlı asenkron motor üzerinde frenle etkisini göstermektedir. Fren ve tek fazlı motor güç ilişkisi Şekil 3.25’de belirtilmektedir.



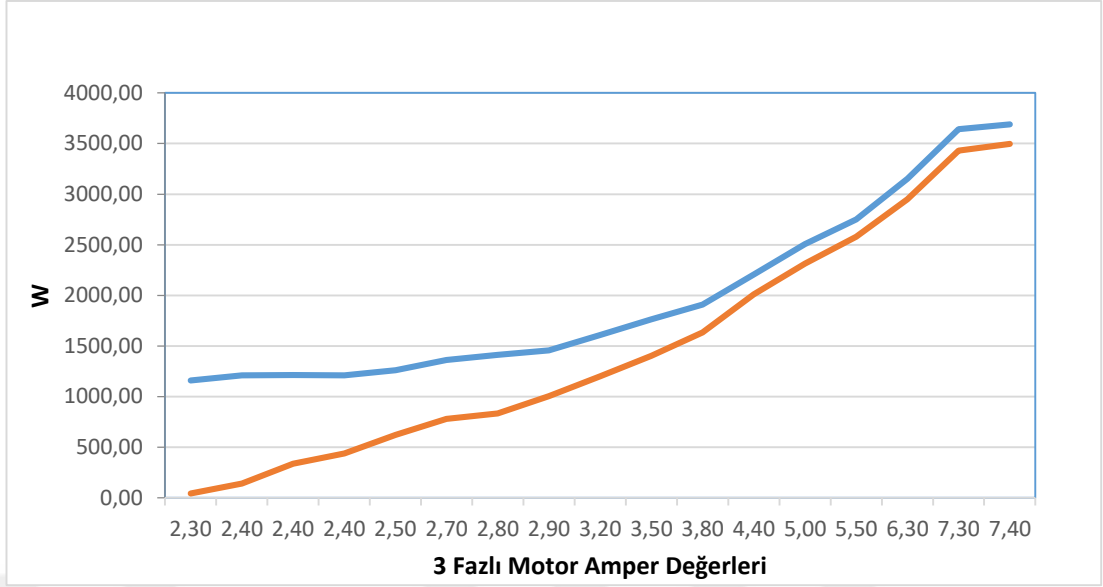
Şekil 3.25 EC freni yüklemesine göre asenkron motor (daimi devre kapasitörlü) amper güç eğrisi

Şekil 3.25 incelendiğinde yedinci adımdan sonra motor gücü eğrisi ile fren gücü eğrisi birbirine paralel olarak hareket ettiği görülmektedir. Benzer çalışma üç fazlı asenkron motor içinde uygulanmakta ve 17 farklı yükleme durumu için, elektrik motorundaki voltaj, amper ve güç değerleri elde edilmektedir. Kayıt altına alınan V_{in} , I_{in} , P_{in} , V_f , I_f , P_f , $P_{in}-P_f$ değerleri Tablo 3.9’da ifade edilmektedir.

Tablo 3.9 Sincap kafesli asenkron motor yük testi

3 Fazlı Motor (ES09-50)				EC Freni (ES09-58)			
Tes t	V_{in} (Volt)	I_{in} (Amper)	P_{in} (W)	V_f (Volt)	I_f (Amper)	P_f (W)	Fark gücü ($P_{in}-P_f$) (W)
1	388,00	2,30	1159,23	23,00	1,90	43,70	1115,53
2	388,00	2,40	1209,63	37,00	3,80	140,60	1069,03
3	389,00	2,40	1212,75	52,00	6,50	338,00	874,75
4	388,00	2,40	1209,63	57,00	7,70	438,90	770,73
5	388,00	2,50	1260,03	66,00	9,40	620,40	639,63
6	388,00	2,70	1360,83	73,00	10,70	781,10	579,73
7	388,00	2,80	1411,23	75,00	11,10	832,50	578,73
8	387,00	2,90	1457,87	81,00	12,40	1004,40	453,47
9	387,00	3,20	1608,68	87,00	13,80	1200,60	408,08
10	388,00	3,50	1764,04	93,00	15,10	1404,30	359,74
11	387,00	3,80	1910,31	99,00	16,50	1633,50	276,81
12	386,00	4,40	2206,22	108,00	18,60	2008,80	197,42
13	386,00	5,00	2507,07	114,00	20,30	2314,20	192,87
14	385,00	5,50	2750,63	120,00	21,50	2580,00	170,63
15	385,00	6,30	3150,72	126,00	23,40	2948,40	202,32
16	384,00	7,30	3641,36	134,00	25,60	3430,40	210,96
17	384,00	7,40	3691,24	136,00	25,70	3495,20	196,04

Tablo 3.9’den elde edilen veriler değerlendirildiğinde sekizinci adım ve sonrasında 3 fazlı Asenkron Motor üzerinde frenle yapıldığı görülmektedir. Fren ve tek fazlı motor güç ilişkisi Şekil 3.26’da belirtilmektedir.



Şekil 3.26 EC freni yüklemesine göre asenkron motor (sincap kafesli) amper güç eğrisi

Şekil 3.26'daki grafik incelendiğinde sekizinci adımdan sonra motor gücü eğrisi ile fren gücü eğrisinin eğimleri benzer biçimde ilerlemektedir. Tek fazlı asenkron motordan on iki ve üç fazlı asenkron motordan on test verisi MATLAB programında kurulacak hibrit sevk sistemi modelinde kullanılacaktır. Böylece model üzerinde verimlilik hesaplama çalışmaları yapılacaktır.

Nicel veri analizi/ model uyarlama bölümünde verilerin elde edildiği romörkörlerin hibrit sevk sistemine olan uyumluluğunu incelemek amacıyla modelde kullanılacak 12 adet elektrik motorunun teknik verileri katalog verilerinden elde edilmektedir. Tablo 3.10'da her bir motor için kod atanmakta ve böylece model üzerinden seçimi rahatça yapılabilmektedir.

Her bir motorun çıkış gücü kW, anma hızı dev/dk, anma akımı, anma moment Nm cinsinden ifade edilmektedir. Güç faktörü, verimlilik ve elektrik motoru ağırlık ve hacmi kg ve litre cinsinden ek olarak Tablo 3.10'a eklenmektedir.

Tablo 3.10 Asenkron motorların teknik özellikleri

Motor No	Motor Kodu	Çıkış Gücü(kW)	Anma Hızı(dev/dk)	Anma Akımı(A)	Anma Momenti (Nm)	Güç Faktörü (Cos ϕ)	² Verim	Ağırlık(kg)	Hacim (l)
1	M1	500(1)	1490	890	3204,7	0,88	0,951	1850	867,6
2	M2	500(2)	1490	860	3204,7	0,88	0,956	2474	1507,2
3	M3	400(1)	1490	690	2563,8	0,87	0,961	1720	867,6
4	M4	400(2)	1490	710	2563,8	0,83	0,951	1639	867,6
5	M5	315(1)	1490	540	2019	0,88	0,96	1438	802,3
6	M6	315(2)	1490	560	2019	0,85	0,951	1400	802,3
7	M7	250(1)	1490	430	1602,3	0,87	0,96	1400	802,3
8	M8	250(2)	1485	445	1607,7	0,85	0,951	1378	802,3
9	M9	250(3)	1490	435	1602,3	0,86	0,958	1200	516,3
10	M10	250(4)	1485	425	1607,1	0,89	0,951	1070	516,3
11	M11	200(1)	1490	350	1281,9	0,86	0,958	1100	516,3
12	M12	200(2)	1485	350	1286,2	0,87	0,954	1015	478,7

Gemilerin ana makine güç değerleri temel alınarak oluşturulan Tablo 3.10’da 200 – 500 kW aralığında 12 farklı 3 fazlı 400 V (Δ) 50 Hz asenkron motorlar bulunmaktadır. Operasyon türü olarak “S1” yani sürekli işletilme özelliğine sahip, koruma sınıfı olarak toza ve su serpintilerine karşı dirençli olan “IP55” sınıfındadırlar. Motorlar yapı biçimi ayaklı ve flanşlı tipleri tanımlayan “B35” türünde imal edilmektedir. Motorların kutup sayıları 4 adettir. Verimlilik açısından motorlar %95,1 ila %96,1 arasında değişen yüksek verimli (IE2) ve premium verimli (IE3) elektrik motorları sınıfında yer almaktadır.

Gemide oluşturacağı ağırlıklar açısından değerlendirildiğinde 1070 ile 2474 kg arasında ek ağırlık oluşturacağı; hacim açısından ise 478 ile 867 litre ek hacim oluşturacağı Tablo 3.10’dan elde edilmektedir. Elde edilen değerler MATLAB da oluşturulacak olan modelleme de alt yapı olarak kullanılacaktır.

²Asenkron elektrik motorların %75 yüklenmesi sonucunda elde edilen verimlilik değerleri kullanılmaktadır.

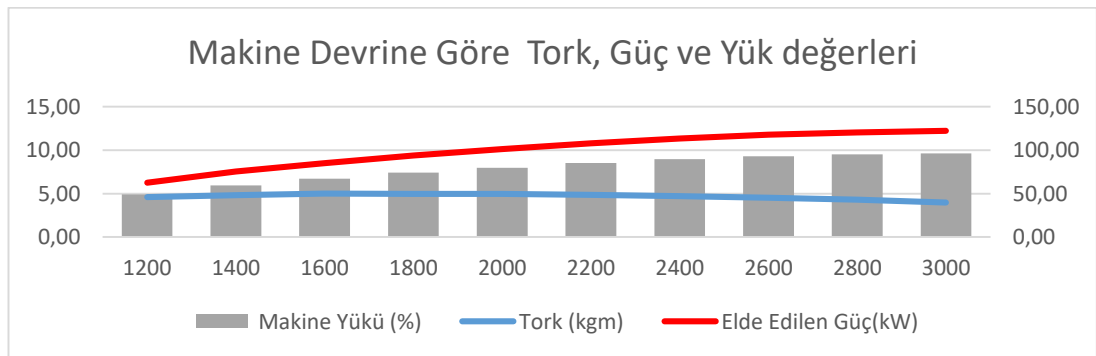
3.2.2.2 Dizel Makine Deneysel Çalışmaları

Dizel makine deneysel çalışmaları, tek silindirli dizel makine, dinamometre, debimetre, kontrol ünitesi ve yük hücresinin teknik özellikleri ile elde edilen ölçüm sonuçlarını içermektedir. Ana amaç tek silindirli dizel makine üzerinde yüklemeler yapılarak yakıt tüketimi değerlerinin görüntülenmesidir. Bu bağlamda Anadolu Motora ait “Antor 4LD 820 (AN)” kodlu dizel makine kullanılmaktadır. Dizel makinenin yüklü bir biçimde çalışmasını sağlamak amacıyla dinamometre kullanılmaktadır. Gelen yakıtın debisini ölçmek amacıyla debimetre kullanılmakta bu sayede toplam yakıt tüketimi hesaplanmaktadır. Tek silindirli makinenin katalog verileri Tablo 3.11’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.11 AN dizel makine teknik özellikleri (Anadolu Motor, 2020)

Dizel Makine Tipi	4LD 820
Silindir Sayısı	1 adet
Silindir Hacmi	817 (cm ³)
Silindir Çapı	102 (mm)
Strok	100 (mm)
Sıkıştırma Oranı	17:1
Motor Devri	3000 (rpm)
Motor Gücü	17 HP (~12,68 kW)
Maksimum Tork	5 kgm @1600 rpm
Yakıt Depo Kapasitesi	7,2 (lt)
Özgül Yakıt Sarfıyatı	~190 g/HPh (254,7 g/kWh)
Yağ Tüketimi	30 gram/saat
Kater Yağ Kapasitesi	2,6 lt
Kuru(boş) Ağırlık	100 kg

Tek silindirli dizel makinenin katalog verileri kullanılarak, makine devrine göre tork, çekilen güç ve makine yükü değerleri Şekil 3.27’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.27 Dizel makinenin devrine göre tork, güç ve yük değerleri

Katalog değerlerinin kullanılarak oluşturulduğu Şekil 3.27’de elde edilen değerlerin benzerleri deneysel çalışmalarda elde edilmekte ve bu sayede doğrulama gerçekleştirilmektedir.

Tek silindirli dizel makinede yükleme testini sağlamak için KEMSAN firmasının “KK160” tip ürünü kullanılmaktadır. Bu sayede makine anma değerlerinde ve üzerinde yük testi yapılarak, komütasyonun en iyi noktasının tespit edilmesini sağlanmaktadır. Dinamometrenin teknik özellikleri Tablo 3.12’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.12 Dinamometre teknik özellikleri

Tip		No		Ağırlık	
KK 160		02122016		165 kg	
Doğru Akım Motoru		Endüvi		Manyetik Alan	
kW	Devir/dk	V	A	V	A
22	3000	300	55	200	3

Tablo 3.12’de belirtilen dinamometre 165 kilogram ağırlığında 22 kW güç çekmekte ve 3000 devir/dk hıza ulaşmaktadır. Endüvi değeri 300 volt ve 55 ampere Alan değeri ise 200 volt ve 3 amper değerine sahiptir. Dizel makinenin ilk hareketi ve sonrasında dizel makinenin yüklenmesi için dinamometre kullanılmaktadır. Laboratuvar çalışmasında kullanılan dinamometre Şekil 3.28’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.28 KK 160 tipi doğru akım motorlu dinamometre (Kişisel arşiv, 2021)

Yüklenen makineye ait değerler Şekil 3.28’de belirtilen dinamometre ye bağlı bir sürücü tarafından görüntülenmekte ve görüntülenen değerler kullanılarak fren beygir gücü hesaplanmaktadır. Dizel makinede yakıt tüketimini ölçmek amacıyla debimetre kullanılmaktadır. Debimetre Krohne firmasına ait “Optimass 3400 C S01” modelidir ve Şekil 3.29’da ifade edilmektedir.



Şekil 3.29 Optimass 3400 C S01 model debimetre (Kişisel arşiv, 2021)

Şekil 3.29’da belirtilen debimetre gaz ve sıvı akışkanların debisini hesaplamakta; sıvı ölçümlerinde $\pm 0,1$ hassasiyette ve geniş sıcaklık aralıklarında çalışmaktadır (Krohne, 2016). Dizel makiden elde edilen torku hesaplamak için Tuna Tartı ve Elektronik Sistemler firmasının “STK-50” modeli S tipi yük hücresi kullanılmaktadır. Yük hücresi Şekil 3.30’da ifade edilmektedir.



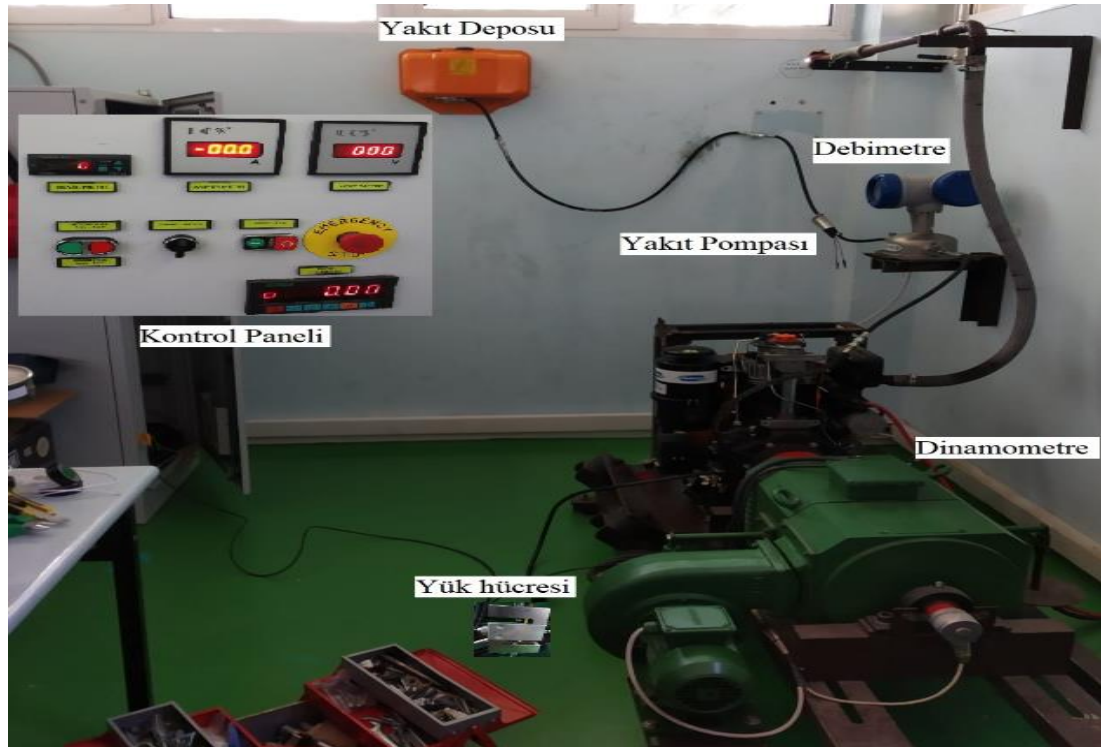
Şekil 3.30 STK-50 s tipi yük hücresi (Tuna Tartı ve Elektronik Sistemler, 2020a; Kişisel arşiv, 2021)

Yük hücresinin ağırlık kapasitesi, üretiminde kullanılan malzeme, çalışma sıcaklığı aralığı gibi teknik özellikleri Tablo 3.13’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.13 STK 50 Yük hücresi teknik özellikleri (Tuna Tartı ve Elektronik Sistemler, 2020a)

Kapasite	50 kg
Özellikler	IP68 endüstriyel koruma özelliklerine sahip
Hassasiyet sınıfı	OIML R 60 standartlarına göre C1C3 olmalıdır.
Minimum doğrulama aralığı	$E_{max}/V_{min} = 10000$
Toplam hata	$\pm 0,15$
Yük Hücresi malzemesi	Nikel ile kaplanmış paslanmaz çelik
İzolasyon direnci	$< 5000 \text{ M}\Omega$
Çalışma sıcaklığı aralığı	$-30...+70 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Maksimum ve tavsiye edilen uyarma gerilimi	15/10 V

Nikel ile kaplanmış paslanmaz çelik bir malzemeye sahip olan STK S tipi yük hücresi, -30 ila $+70 \text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklar arasında zorlu çevre şartlarında çalışabilecek biçimde üretilmektedir (Tuna Tartı ve Elektronik Sistemler, 2020b). Yük testi yapılmadan önce gerekli emniyet tedbirleri alınmakta ve sonrasında sistemin bağlantıları gerçekleştirilmektedir. Bağlantıları yapılmış sistem Şekil 3.31’de ifade edilmektedir.



Şekil 3.31 Dizel makine yükleme testi (Kişisel arşiv, 2021)

Birincil olarak sistemin güç bağlantısı aktif edilmekte, sonrasında yakıt pompası ve debimetre çalıştırılmaktadır. Yakıt pompası ve debimetrenin çalıştığı gözlemlendiğinde kontrol panelinden elektrik motoru tahrik edilmekte ve böylece dizel makinenin ilk hareketi sağlanmaktadır. Makine çalıştıktan sonra kontrol panelinden dinamometreye geçilmekte ve makine üzerinde yüklemeler yapılmaktadır. Yükleme sırasında elde edilen değerler ile makinenin fren beygir gücü hesaplanmaktadır. Aynı zamanda debimetre üzerinden anlık yakıt tüketimi değeri görüntülenmektedir. Fren beygir gücü ve anlık yakıt tüketimi değeri kullanılarak birim güç başına elde edilen saatlik yakıt tüketimi gram cinsinden belirtilmektedir. Oluşturulan veri seti Tablo 3.14’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.14 Tek silindirli dizel makine test verileri

Test No	Tork (kgm)	Devir/Dk	Voltaj	Akım	Yük (%)	Yakıt Tüketimi	
						(g/h)	(g/kwh)
1	7,18	776	80	5,7	4,986	0,429273	0,680058805
2	7,24	789	82	5,7	5,111	0,415981	0,642928272
3	13,24	645	63	11,1	7,646	0,453183	0,468153009
4	13,52	646	65	11	7,818	0,436682	0,441201506
5	14,26	1549	160	11,3	19,769	0,93	0,371588496
6	18,90	1579	207	11,8	26,708	1,166646	0,345036056
7	21,67	1668	172	17,2	32,348	1,188285	0,290162616
8	45,75	1039	92	42,3	42,552	1,501708	0,27876294
9	39,79	1265	123	33,5	45,055	1,552	0,272094357
10	44,31	1160	106	39,7	46,013	1,565909	0,268811525
11	28	1875	191	22,5	46,990	1,514365	0,254561321
12	35,18	1730	173	28,8	54,479	1,704288	0,247105341
13	40,13	1769	173	33,6	63,559	1,955219	0,242989645
14	46,49	1652	158	39,8	68,759	2,132659	0,244996002
15	41,58	2121	213	33,9	78,953	2,45	0,24511197
16	47,86	2006	200	39,3	85,943	2,79005	0,256429023
17	41,7	2679	269	34	100,000	3,477	0,274632058

Tablo 3.14 incelendiğinde dinamometrenin dizel makineyi frenlemesi ile elde edilen voltaj, akım, tork, devir ve yakıt tüketimi değerleri görülmektedir. Bu değerler kullanılarak kW cinsinden dizel makinenin fren beygir gücü hesaplanmakta ve makinenin teknik verileri de göz önüne alınarak makine yükü değeri belirlenmektedir. Debimetrede anlık olarak görüntülenen saatlik yakıt tüketimi, yakıtında özgül ağırlığı hesaba katılarak gram cinsinden hesaplanmaktadır. Son aşamada ise “g/kWh” cinsinden birim güç başına yakıt tüketim değerleri belirtilmektedir. Dizel makine %27 yükün altında iken birim güç başına yakıt tüketimi oldukça fazla olduğu

görülmektedir. Örnek olarak makine %5,111 yükte iken birim güç başına yakıt tüketimi 0,642928272 g/kWh olarak elde edilmektedir. Buna karşın daha yüksek yüklerde bu seviye 0,24 ila 0,30 seviyelerine inmekte ve birim güç başına en düşük yakıt tüketimi değeri 13 nolu testten 0,242989645 olarak elde edilmektedir. Tüm yüklerde elde edilen değerler kurulacak modelde veriseti olarak kullanılmak ve analizler gerçekleştirilmektedir.

3.2.2.3 Batarya Uygulamaları

Hibrit sevk sistemlerinde batarya uygulamaları elektrik motorunun ana makinenin yüksek güç gereksinimlerini karşılamada gerekli olan enerji ihtiyacını karşılamada, düşük güçlerde elektrik motoru vasıtasıyla sevk sistemini sağlamada veya gemide kullanılan elektrikli cihazların enerji taleplerini karşılamada kullanılabilmektedir.

Sisteme entegre olacak bataryalardan biri olan Kurşun-Asit bataryanın deniz taşıtlarında, arazi araçlarında ve kurulu güç sistemleri gibi alanlarda uygulamaları bulunmaktadır. Kurşun asit teknolojiye sahip bataryanın sağlam yapısı, montaj kolaylığı ve titreşim direnci uygulamada kullanımını ön plana çıkarmaktadır. Ara yüzde kullanılacak kurşun asit bataryaların amper, “watt(W)”, kapasite değerleri zamana bağlı performans değerleri ifade edilmektedir. İlk olarak “31-PC2150” seri bataryanın 12V modül başına 77 ° F deki performans verisi değerleri Tablo 3.15’de belirtilmektedir (Odyssey, 2014).

Tablo 3.15 31-PC2150 serisi kurşun asit bataryanın tüketim zamanına bağlı güç yoğunlukları

Enerji ve Güç Yoğunlukları								
Zaman	W	Amper(A)	Kapasite(Ah)	Enerji (Wh)	W/litre	Wh/litre	W/kg	Wh/kg
2 dk	7025	678,5	22,4	231,8	515,3	17,0	199,0	6,6
5 dk	4740	438,5	36,4	393,4	347,7	28,9	134,3	11,1
10 dk	3176	285,9	47,7	530,4	233,0	38,9	90,0	15,0
15 dk	2428	215,5	53,9	607,0	178,1	44,5	68,8	17,2
20 dk	1980	174,1	58,0	659,2	145,2	48,4	56,1	18,7
30 dk	1460	127,0	63,5	730,0	107,1	53,5	41,4	20,7
45 dk	1059	91,2	68,4	793,9	77,6	58,2	30,0	22,5
1 saat	835	71,5	71,5	835,2	61,3	61,3	23,7	23,7

2 saat	461	39,0	78,0	922,2	33,8	67,7	13,1	26,1
3 saat	322	27,1	81,4	966,8	23,6	70,9	9,1	27,4
4 saat	249	20,9	83,8	996,8	18,3	73,1	7,1	28,2
5 saat	204	17,1	85,6	1020,0	15,0	74,8	5,8	28,9
8 saat	134	11,2	89,7	1070,4	9,8	78,5	3,8	30,3
10 saat	110	9,2	91,9	1095,9	8,0	80,4	3,1	31,0
20 saat	60	5,0	100,3	1191,9	4,4	87,4	1,7	33,8

Bu seriye ait bataryanın istenilen amper ve güce göre ne kadar zaman etkili kullanılacağı Tablo 3.15’de ifade edilmektedir. Kullanım süresi uzun tutulmak istenildiğinde çekilen amper ve güç değerleri azalmaktadır. İstenilen güç ve amper göre ne kadar süre işletilebileceği tablodan kolaylıkla anlaşılabilmektedir. Enerji ve güç yoğunluklarının 25°C ortamdaki birim litre ve kilogram başına değerleri Tablo 3.15’de ifade edilmektedir. Deşarj süresi uzadıkça litre ve kilogram başına çekilen “wh” değerlerinin arttığı, buna karşın deşarj süresi kısaldıkça birim başına çekilen “wh” değerlerinin azaldığı, “w” değerlerinin arttığı Tablo 3.15’den görülmektedir. İkincil olarak “PC-1500” serisi bataryanın 12V modül başına 77 ° F deki performans verisi değerleri Tablo 3.16’da ifade edilmektedir (Odyssey, 2014).

Tablo 3.16 PC-1500 serisi kurşun asit bataryanın tüketim zamanına bağlı güç yoğunlukları

Enerji ve Güç Yoğunlukları								
Zaman	W	Amper(A)	Kapasite(Ah)	Enerji (Wh)	W/litre	Wh/litre	W/kg	Wh/kg
2 dk	5228	494,8	16,3	172,5	538,1	17,8	209,9	6,9
5 dk	3337	304,4	25,3	277,0	343,5	28,5	134,0	11,1
10 dk	2175	193,6	32,3	363,3	223,9	37,4	87,4	14,6
15 dk	1644	144,5	36,1	411,0	169,2	42,3	66,0	16,5
20 dk	1332	116,1	38,7	443,7	137,2	45,7	53,5	17,8
30 dk	977	84,2	42,1	488,4	100,5	50,3	39,2	19,6
45 dk	706	60,3	45,2	529,3	72,6	54,5	28,3	21,3
1 saat	556	47,3	47,3	556,2	57,3	57,3	22,3	22,3
2 saat	307	25,9	51,7	615,0	31,7	63,3	12,3	24,7
3 saat	215	18,1	54,2	646,5	22,2	66,5	8,7	26,0
4 saat	167	14,0	56,0	668,4	17,2	68,8	6,7	26,8
5 saat	137	11,5	57,4	685,4	14,1	70,6	5,5	27,5
8 saat	90	7,6	60,6	723,1	9,3	74,4	3,6	29,0
10 saat	74	6,2	62,3	742,5	7,6	76,4	3,0	29,8
20 saat	41	3,3	65,0	814,0	4,2	83,8	1,6	32,7

31-PC2150 serisi batarya ile PC-1500 serisi kıyaslandığında, 31-PC2150 serisinden aynı güç taleplerinde zaman bakımından daha fazla yararlanılacağı Tablo 3.15 ve Tablo 3.16’da anlaşılmaktadır. Fakat birim başına çekilen güç ve enerji değerler benzerlik göstermektedir (Odyssey, 2014). 31-PC2150 ve PC-1500 kuşun asit bataryalarına ait teknik özellikler Tablo 3.15 ve Tablo 3.16’dan elde edilmekte (Odyssey, 2014) ve kurşun asit bataryalara ek olarak diğer batarya tiplerinde teknik ve boyutsal özellikleri Tablo 3.17’de ifade edilmektedir

Tablo 3.17 Yüksek kapasiteli bataryaların teknik ve boyutsal özellikleri (Banshee, 2021; Expertpower, 2021; Firstpower, 2021; Odyssey, 2021; Orbus, 2021; Outdo, 2021a; Outdo, 2021b; Powerbrick, 2021; Trojan, 2021; Varta, 2021; Victron Energy, 2021a; Victron Energy, 2021b; Victron Energy, 2021c; Victron Energy, 2021d; Sonnenschein, 2021)

Batarya Kodu	Batarya Tipi	Kapasite (Ah)	Boyutlar (b*g*d) mm	Hacim (litre)	Ağırlık (kg)
No B1	LifePO4	200	460*173*240	19,0992	23
No B2	LifePO4	100	330,2*172,72*213,36	12,1683782	10,25119
No B3	LifePO4	100	331*173*220	12,59786	11,3
No B4	LifePO4	60	223*150*178	5,9541	7
No B5	Ku-As	50	229*137,92*210,1	6,635731168	18,2
No B6	Ku-As	47,3	275,59*171,7*198,6	9,39751428	22,5
No B7	Ku-As	71,5	330,2*172,7*239	13,6291041	35,3
No B8	Ku-As	41,4	240*178*201	8,58672	20,5
No B9	Lityum İyon Fosfat	160	237*321*152	11,563704	20
No B10	Lityum İyon Fosfat	300	347*425*274	40,40815	51
No B11	Lityum İyon Fosfat	50	199*188*147	5,499564	7
No B12	Lityum İyon Fosfat	100	260*168*212	9,26016	11,5
No B13	LifePO4	100	329,946*172,97*220	12,55357	10,97693
No B14	Lityum-Demir-Fosfat	92	259*168*216	9,398592	12,3
No B15	EFB	240	518*276*242	34,59826	59,77
No B16	Kuru_AGM	260	521*269*239,5	33,56569	77,9
No B17	Jel Akü	1248	212*235*690	34,3758	80

Her bir bataryaya kod tanımlanmakta ve böylece model üzerinden seçimi daha kolay bir biçimde gerçekleştirilmektedir. Her bir bataryanın tipi, kapasiteleri, boyutları, hacimleri ve ağırlıkları Tablo 3.17’de belirtilmektedir. Örneğin, B9 kodlu batarya lityum iyon fosfat tipi, 160 amper-saat kapasitede, yaklaşık 11,56 litre hacime ve 20 kilogram ağırlığa sahip bir enerji depolama sistemidir. Kapasite değerleri göz önünde bulundurularak kapladıkları hacim ve ağırlık açısından değerlendirildiğinde lityum bazlı bataryaların üstünlükleri açıkça görülmektedir. Bataryaların özgül enerji, maliyet ve çevrim ömürleri Tablo 3.18’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.18 Yüksek Kapasiteli bataryaların enerji, maliyet ve özgül enerji değerleri (Banshee, 2021; Expertpower, 2021; Firstpower, 2021; Odyssey, 2021; Orbus, 2021; Outdo, 2021a; Outdo, 2021b; Powerbrick, 2021; Trojan, 2021; Varta, 2021; Victron Energy, 2021; Sonnenschein, 2021)

Batarya Kodu	Enerji (Wh)	Wh/l	Özgül Enerji (Wh/kg)	³ Maliyet (\$/kWh)	Çevrim Ömrü
B1	2560	134,037	111,3043	272,0865	%100 DOD 1600, %50 DOD 2600,%30 DOD 3800
B2	1280	105,1907	124,8636	617,1797	2500~7000
B3	1280	101,6046	113,2743	316,1987	%100 DOD 1600, %50 DOD 2400,%30 DOD 3800
B4	768	128,9867	109,7143	591,5179	%90 DOD 2000
B5	642	96,74895	35,27473	208,7072	%100 DOD 200, %50 DOD 600,%30 DOD 1050
B6	607,332	64,62688	26,99253	487,3776	%80 DOD 400
B7	918,06	67,36026	26,00737	435,6905	%80 DOD 400
B8	531,576	61,90676	25,93054	489,0928	%80 DOD 400
B9	2048	177,1059	102,4	1078,125	%80 DOD 2500, %70 DOD 3000,%50 DOD 5000
B10	3840	95,03033	75,29412	983,8281	%80 DOD 2500, %70 DOD 3000,%50 DOD 5000
B11	640	116,3729	91,42857	1273,375	%80 DOD 2500, %70 DOD 3000,%50 DOD 5000
B12	1280	138,2266	111,3043	1131,102	%100 DOD 3000, %80 DOD 4500
B13	1280	101,963	116,6082	717,3828	%100 DOD 1200
B14	1177,6	125,2954	95,73984	1197,107	%80 DOD 5000
B15	2880	83,24119	48,18471	122,94	Geleneksel akü 2 katı (~550)
B16	3120	92,95207	40,05135	381,978	%50 DOD 800
B17	2496	72,60922	31,2	388,7929	3000+

Özgül enerji açısından Lityum bazlı bataryaların yüksek değere sahip olduğu Tablo 3.18’de açıkça görülmektedir. Deşarj derinliğine (DOD) “*Depth of Discharge*” göre çevrim ömrü lityum bazlı bataryaların oldukça fazla olduğu görülmektedir. Buna karşın sağlam yapısı, yüksek sıcaklık aralıklarında çalışma durumu ve ucuz maliyet oluşturması ise kurşun asit bazlı bataryaları ön plana çıkarmaktadır.

³Maliyet değerleri tüm batarya grupları için Dolar “\$” olarak ifade edilmekte ve arasındaki oran Türk Lirası “₺” ile 0.1429 ; Euro “€” ile arasındaki oran 1.22; Sterlin “£” ile 1.4 olarak alınmaktadır. Tablo 3.19’da ise düşük kapasiteli bataryaların teknik özellikleri belirtilmektedir.

Tablo 3.19 Düşük kapasiteli bataryaların teknik, boyutsal ve maliyet değerleri (Power-xtra, 2021; Orion, 2021; TNL, 2021a; Arts Energy, 2021; TNL, 2021b; Accucell, 2021; Gens Ace, 2021; Inspired Energy, 2021; Samsung, 2021; Panasonic, 2021a; Sony, 2021; Panasonic, 2021b; Ckadm, 2021; Panasonic, 2021c; Ansmann, 2021a; Ansmann, 2021b; Ansmann, 2021c; Panasonic, 2021d; Duracell, 2021; Varta, 2021c)

Batarya No	Batarya Tipi	Kapasite (Ah)	Voltaj Değeri	⁴ Maliyet (\$)	Enerji (Wh)	Ağırlık (kg)	Hacim (l)	\$/kWh	Wh/kg	Wh/l
K1	Ni-Cd	4,5	1,2	35,7	5,4	0,12	0,0489	944	45	110
K2	Ni-Cd	2,2	1,2	14,0	2,64	0,047	0,0165	758	56	160
K3	Ni-Cd	2,4	1,2	10,5	2,88	0,048	0,0179	520	60	161
K4	Ni-Cd	1,8	1,2	28,5	2,16	0,049	0,0179	1886	44	121
K5	Ni-MH	2,2	1,2	23,0	2,64	0,029	0,0285	1245	91	93
K6	Ni-MH	1,5	1,2	7,5	1,8	0,023	0,0082	593	78	220
K7	Ni-MH	5	7,2	412,0	36	0,424	0,1756	1635	85	205
K8	Li-ion	5	3,7	91,0	18,5	0,069	0,0251	703	268	737
K9	Li-ion	6,8	14,4	8488	97,92	0,23	0,1463	12384	426	669
K10	Li-ion	2,9	3,6	47,5	10,44	0,045	0,0177	650	232	590
K11	Li-ion	3,4	3,7	36,0	12,58	0,046	0,0170	409	273	740
K12	Li-ion	32	12,6	359,0	403,2	1,8	0,5935	127	224	679
K13	Li-ion	3,1	3,7	102,1	11,47	0,049	0,0204	1271	236	562
K14	Li-ion	2,6	3,7	74,9	9,62	0,057	0,0170	1112	169	566
K15	Zn/Air	0,16	1,4	9,2	0,224	0,058	0,0001	5846	4	2787
K16	Zn/Air	0,075	1,4	4,8	0,105	0,028	0,0001	6576	4	1779
K17	Ni/Zn	0,56	1,6	20,1	0,9	0,011	0,0042	3194	82	213
K18	Ni/Zn	1,56	1,6	57,0	2,5	0,025	0,0082	3257	100	304
K19	Ni/Zn	0,56	1,6	39,3	0,9	0,014	0,0039	6230	64	229
K20	Zn/MnO ₂	0,85	1,5	7,5	1,275	0,01	0,0034	840	128	373

Tablo 3.19’da düşük kapasiteli bataryaların tipleri, kapasite ve voltaj değerleri, maliyetleri, enerji çıktıları, ağırlıkları, kapladıkları hacim miktarları, birim güç başına maliyetleri, birim hacim başına enerjileri ile özgül enerji değerleri ifade edilmektedir. Özgül enerji açısından değerlendirildiğinde en yüksek değere lityum bazlı bataryaların sahip olduğu görülmektedir.

⁴Maliyet değerleri tüm batarya grupları için Dolar “\$” olarak ifade edilmekte ve arasındaki oran Türk Lirası “₺” ile 0.1429 ; Euro “€” ile arasındaki oran 1.22; Sterlin “£” ile 1.4 olarak alınmaktadır

Birim enerji başına maliyet değerleri kıyaslandığında batarya tiplerinin farklı modellerin maliyet çıktılarının değişkenlik gösterdiği görülmektedir. İncelenen batarya türlerinde buna karşın en düşük maliyet değerleri “Li-ion” bataryalarda elde edilirken en yüksek maliyet değerleri “Ni/Zn” tipi bataryalarda karşımıza çıkmaktadır. Özgül enerji ve birim hacim başına enerji değerleri açısından “Li-ion” bataryanın üstünlükleri belirtilmektedir.

3.2.2.3 Diğer Ekipmanlar

Hibrit sevk sistemi modelinde enerjide depolama sistemlerinin operasyon sonunda kullanılan enerjilerini tekrar geri kazanması amacıyla kara tesisinden beslenen redresör veya “Maximum Power Point Tracking” Maksimum güç noktası takipçisi (MPPT) yardımıyla güneş panelleri kullanılmaktadır. Modellemede yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin fotovoltaik paneller aracılığıyla enerji üretimi de incelenmekte ve kullanılan paneller Tablo 3.20’de ifade edilmektedir.

Tablo 3.20 Fotovoltaik güneş paneli teknik özellikleri(Lexron, 2021; Gesper, 2021;Atakale, 2021)

	Lexron_10 (P1)	Gesper_80 (P2)	Atakale_165 (P3)	Lexron_190 (P4)
Çıkış Gücü (W)	10	80	165	190
Açık Devre Voltajı Voc(V)	21,8	21,76	22,94	22,80
Kısa Devre Akımı Isc(A)	0,67	5,12	8,87	10,30
Peak Voltajı Vmp(V)	18	17,80	19,34	18,6
Peak Akımı Imp(A)	0,56	4,48	8,34	9,95
Boyut (mm)	300*300*20	780*675*28	1494*679*35	1480*670*
Ağırlık (kg)	1,4	8	12	11,9

Güç çıkışları 10 ila 190 W arasında değişen 4 farklı fotovoltaik güneş panelleri Tablo 3.20’de belirtilmekte güç yoğunluğu “W/kg” açısından değerlendirildiğinde 15,97 W/kg ile P4 kodlu panelden elde edilmektedir. Tüm panellerin teknik özellikleri geliştirilen arayüzde veri seti olarak kullanılmaktadır. Redresörler birçok enerji dağıtım merkezlerinde, güç sistemlerinde, elektrikli otomobillerde ve deniz taşıtlarında kullanılmaktadır (Baliga, 2009; GPS Endüstriyel, 2021). Redresörler - 20°C ila 50°C arasında işletilebilmektedir (GPS Endüstriyel, 2021). Toz olmayan kuru alanlarda işletilebilen IP20 koruma sınıfında ve %85’i aşan yüksek verimliliklerde

işletebilen bir yapıya sahiptirler (Enel, 2021; Setec Power, 2021; Hamzi ve diğer, 2020). Modellemede enerji depolama sistemlerin şarj aşamasında kullanılmaktadır.

3.4 Modelleme

Detaylı literatür taraması, araştırma süreci ve modeli temelinde; kantitatif araştırma ve deneysel çalışmalar sürecinde elde edilen tüm kazanımlar, bu aşamada MATLAB GUI de oluşturulan modele aktarılmaktadır. Modelde dizel makine, elektrik motoru, enerji depolama sistemleri seçimi bölümü oluşturulmaktadır. Süreç boyunca elde edilen ampirik formüller ve bilgi birikimleri ile birlikte hibrit sevk sisteminin tüm bileşenleri modele aktarılmaktadır. Modelde farklı senaryolar oluşturularak analiz gerçekleştirmekte ve elde edilen bulgular görüntülenmektedir.

3.4.1 Dizel Makine Seçimi

Dizel makine güç çıktısını hesaplamak için gerekli olan tüm parametreler ara yüze eklenmektedir. Silindir çapı, strok boyu, makine devri, indike basınç, silindir sayısı, iki veya dört zamanlı olma durumunu esas alınarak makine gücü hesabı yapılmaktadır. Analizin daha kolay gerçekleştirebilmesi amacıyla kantitatif araştırma: deneysel çalışmalar bölümündeki 3 farklı dizel makinenin teknik verileri modelin veri tabanına eklenmektedir. Ana makine seçim bölümü Şekil 3.32’de belirtilmektedir.

Ana Makine Verileri		Operasyon Türü_1			Operasyon Türü_2			Operasyon Türü_3		
Silindir Çapı[mm]		Ana Makine Yükleme [%]			Ana Makine Yükleme [%]			Ana Makine Yükleme [%]		
Strok[mm]										
Makine Devri[dev/dk]										
İndike Ort. Basınc[bar]										
4 Zamanlı										
Silindir Sayısı		Ana Makineden Çekilen Güç [kW]			Ana Makineden Çekilen Güç [kW]			Ana Makineden Çekilen Güç [kW]		
Ana Makine Gücü[kW]										
Makine Gücü Hesapla		Çekilen Güçleri Hesapla								
Yakıtın Yoğunluğu [kg/m³]	883	Birim Zamanda Yakıt Tüketimi [g/kWh]			Birim Zamanda Yakıt Tüketimi [g/kWh]			Birim Zamanda Yakıt Tüketimi [g/kWh]		
Ana Makine Sayısı	2	205			205			205		
Toplam Yakıt Tüketimi [litre]		Operasyon Süresi [dk]			Operasyon Süresi [dk]			Operasyon Süresi [dk]		
%20 Yük Altı Yakıt Tüketimi [litre]		60			30			45		
Maksimum Verimlilik										
Hesapla										

Şekil 3.32 Ana makine seçimi

Ana makinenin üç farklı yükleme durumunda, belirtilen sürelerde birim güç başına yakıt tüketim değeri esas alınarak işletilmesi ile toplam yakıt tüketimi hesabı yapılmaktadır. Ayrıca toplam yakıt tüketimini litre cinsinden hesaplanması için kullanılan yakıtın yoğunluğunu seçme bölümü eklenmekte ve seçim yaparken örnek teşkil etmesi için “MDO”, “HFO”, “ULSFO” gibi birkaç yakıtın yoğunluğu veri tabanına yüklenmektedir. Elde edilen ara yüzün doğruluğunu kanıtlamak amacıyla kantitatif araştırma ve deneysel çalışmalar sürecinde verilerin elde edildiği dizel makineler kaynak olarak eklenmektedir. Makine gücü hesaplama butonu kullanılarak elde edilen güç çıktıları ile kaynakların doğruluğu ispatlanmaktadır.

3.4.2 Elektrik Motoru Seçimi

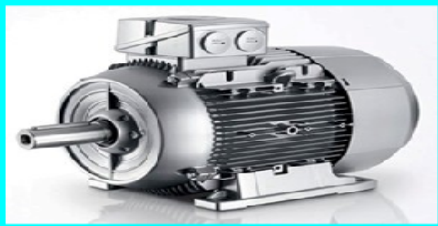
Arayüzün ikincil sekmesinde elektrik motoru seçim kısmı eklenmektedir. Elektrik motoru faz durumu, motor verimi, voltaj değeri, amper değeri, moment değeri ve motor devri göz önünde bulundurularak motor gücü hesaplanmaktadır. Elektrik motoru seçim bölümü Şekil 3.33’de belirtilmektedir.

Elektrik Motoru, Batarya ve Panel Seçimi	
Elektrik Motoru	3 Faz 1.73205
Motor Verimi(%)	0.951
V _{in}	400
I _{in}	890
Moment[Nm]	3204.7
Hız[dev/dk]	1490
Güç Faktörü (Cos φ)	0.88
Motor Ağırlık	1850
Motor Hacim	868
Giriş Gücü [A, V] [W]	542617
Çıkış Gücü [Moment Devir/dk] [W]	500063
İletim Verimliliği(%)	0.921577

Elektrik Motoru Seçimi

A_500(1) Güç [kW]

500



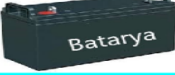
Şekil 3.33 Elektrik motoru seçimi

Ara yüzün doğruluğunu kontrol etmek amacıyla deneysel çalışmalarda kullanılan elektrik motorları ile piyasada var olan elektrik motorları değerleri ara yüze eklenmekte ve güç çıktıları karşılaştırılmaktadır. Her bir elektrik motorunun ağırlık ve

hacim girdisi yapılmakta ve bu sayede HSS analizi verimlilik çıktısı etkisi kolayca hesaplanmaktadır.

3.4.3 Batarya ve Yenilenebilir Enerji Kaynağı Seçimi

Elektrik motorların işletilmesi durumunda tüketilecek enerji ve tamamen deşarj olma süreleri göz önünde bulundurularak batarya seçimi yapılmaktadır. Analizde kullanılan her bir bataryanın tüm teknik özellikleri ara yüze eklenmekte ve Şekil 3.34’de belirtilmektedir.

Batarya Seç 31-PC2150_Op...		Kullanım Süresi[dk] 2	Bataryalar (Ah Değeri Büyük) B1		Bataryalar (Ah Değeri Düşük) Özel Batarya	
	Watt[W]	7025	Batarya Tipi LifePO4		Kapasite(Ah) 200	
	Amper[A]	678.5	Boyut(l) 19.0992		Ağırlık(kg) 0.023	
	Kapasite(Ah)	22.4	Enerji 2560		O. S. Katsayı [0-1] 1	
	Enerji[Wh]	231.8	Ortam Sıcaklığı [°C] 25			
	W/litre	515.3				
	Wh/litre	17				
W/kg	199					
Wh/kg	6.6					

Panel Seçimi Özel Panel		Max. Voltaj 1	Panel Genişliği [mm] 1	
Kurulum Bölgesi İzmir		Max. Akım 1	Panel Uzunluğu[mm] 1	
Güneşlenme Süresi [Saat] 1		Verimlilik(%) 1	Radyasyon Miktarı[kWh/m²] 1	
Panel Verimliliği(%) 1		Panel Sayısı 1	Panelden Çekilen Güç I. Yöntem[V.A] 1	

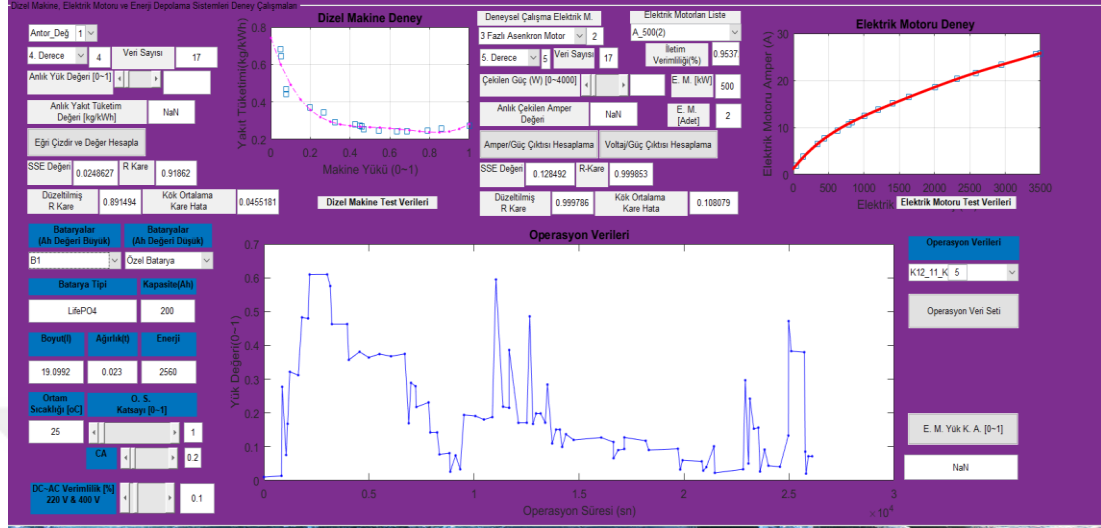
Şekil 3.34 Batarya ve fotovoltaik panellerin teknik özellikleri

Bataryaya ait kullanım süresi, güç, amper, kapasite, enerji ile birim litre ve kilogram başına güç değerleri, boyutları, ağırlıkları ve batarya tipleri veri tabanına eklenmektedir. Ayrıca bataryaların şarj edilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanımı sağlamak amacıyla güneş panelleri bölümü eklenmekte ve panellerden çekilen güç, verimlilik gibi değerler veri tabanına eklenmektedir.

3.4.4. Hibrit Sevk Sistemi Oluşturma

Oluşturulan ara yüzün deneysel çalışmaları kısmında dizel makine, elektrik motoru, enerji depolama sistemleri ve diğer sistemler üzerinde yapılan testlerden elde edilen değerler veri tabanında kullanılmaktadır. Bu bölümde ana makinelerin ve elektrik motorların yükleme durumuna yakıt tüketim eğrisini çizdirebilen alan

oluşturulmaktadır. Eğri istenilen derecede çizilmekte ve deney sonuçları ile karşılaştırılması amacıyla R Kare değerleri hesaplanmaktadır.



Şekil 3.35 Hibrit sevk sistemleri deneysel çalışmaları

Deney çalışmalarından elde edilen verilere göre çizilen yük/yakıt tüketim eğrileri ile nicel veri analizi aşamasında elde edilen operasyon değerleri kullanılarak toplam yakıt tüketimi, düşük yüklerde harcanan yakıt miktarı, elektrik motorundan ve bataryalardan çekilen güç değerlerinin hesaplanmasına olanak sağlamaktadır. “Operasyon verileri” kısmından 8 farklı operasyonun verilerine ulaşılmakta ve grafik olarak çizdirebilmektedir. Kullanılan elektrik motorun karşılayabileceği maksimum yük seviyesi “E. M. Yük K. A.” Kısmından elde edilmektedir. Batarya gruplarında farklı tiplerde ve kapasitelerde 17 çeşit batarya seçimine olanak sağlayan “Bataryalar” bölümü bulunmaktadır. Düşük ve yüksek kapasiteli bataryalar olarak iki farklı kısımdan seçim yapılabilme imkânı sunmaktadır. Bataryaların DOD değerleri, ortam sıcaklığındaki verim katsayıları, ortalama şarj olma süreleri gibi değerler üzerinde kullanıcı tarafından seçim yapılmasına imkan sağlanmaktadır.

3.4.5. Hibrit Sevk Sistemi Analizi ve Bulguları

Ara yüzün bulgular kısmında analiz yapılmadan önce HSS için gerekli olan tüm sistemlerin seçimlerin yapılmış olup olmadığı kontrol edilmekte, eğer eksik bir

parametre varsa gerekli bölümden girdilerin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Sistemi oluşturan tüm girdiler Şekil 3.36’da belirtilmektedir.

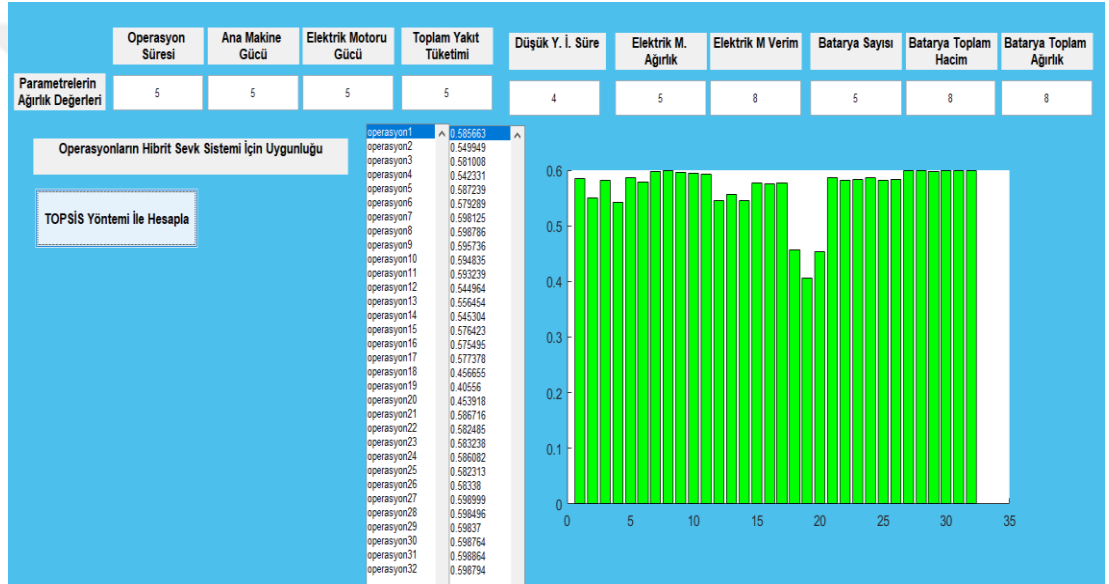
Şekil 3.36 Hibrit sevk sistemleri analizi

Tüm girdiler seçildikten sonra “Operasyon sonuçları Hesaplama” sekmesinden maksimum verimlilik çıktısı hesaplanmaktadır. Sistemi oluşturan tüm ekipmanların oluşturacağı hacim ve ağırlık durumu hesaba katıldığında sınırlandırılmış verimliliği hesaplamak için “İzin Verilen Ağırlığa ve Hacme Göre Sonuçları Hesapla” butonu eklenmektedir. Ağırlık ve hacimden hangisi verimliliği daha fazla etkiliyorsa ona göre hesaplama yapılmaktadır. Her bir analiz bulgusu Şekil 3.37’de belirtilmektedir.



Şekil 3.37 Hibrit sevk sistemleri analiz bulguları

Analiz sonucu elde edilen her bir bulgu “Değer Girişi” butonundan ilgili dosyaya kayıt işlemi sağlanmaktadır. Eğer ki herhangi bir analiz yapmadan önceki analiz sonuçlarına ulaşmak istenilirse “Geçmiş Analiz S.” Butonu kullanılmaktadır. Geçmiş sonuçları silmek için “Sıfırlama”; belirli aralıkları silmek için “Aralık silme” butonu kullanılmaktadır. Her bir bulgu kayıt edildikten sonra sonuçların daha rahat görülebilmesi amacıyla grafik şeklinde gösterilmesi sağlanmaktadır. Çeşitli parametreler belirli ağırlık değerlerinde esas alınarak hangi bulgunun HSS için daha iyi olabileceği ara yüzü Şekil 3.38’de gösterilmektedir.



Şekil 3.38 Bulguların hibrit sevk sistemi için uygunluğu

Uygunluk değeri hesaplanırken analiz bölümünde belirtilecek olan TOPSİS yöntemi denklemleri kullanılmakta ve her bir bulgunun uygunluk değeri Şekil 3.38’de ifade edildiği gibi bar olarak görüntülenmektedir. Bu sayede hangi analiz bulgusunun HSS sistemine uygulanabilirliği daha verimli olduğu kolayca anlaşılabilmektedir.

BÖLÜM DÖRT

ANALİZ

Bu bölümde kantitatif araştırma: deneysel çalışmalar ve sayısal incelemeler sonucu oluşturulan modele operasyon sürecinden elde edilen veriler girilerek analiz gerçekleştirilmektedir.

Analiz gerçekleştirilirken oluşturulan modelde “Ana Makine” bölümünden operasyon sırasında verilerin elde edildiği römorkörün ana makine değerleri girilmektedir. Birim başına ve toplam yakıt tüketimini litre cinsinden hesaplamak adına “yakıt yoğunluğu” butonundan uygun yakıt seçilmekte, eğer kullanılan yakıt tipi seçenekler arasında yoksa yakıtın yoğunluğu kg/m^3 cinsinden manuel olarak girilmektedir.

Ana makine değerleri girildikten sonra “Makine Gücü Hesapla” butonundan güç hesaplanması gerçekleştirilmektedir. Düşük yüklerde çekilen güçleri karşılamak adına “Elektrik Motoru” bölümünden elektrik motoru seçimi yapılmaktadır. Ana makinenin yük değerine göre birim güç başına elde edilen yakıt tüketimi değerlerini elde etmek için “Deneysel Bulgular” bölümünden makinenin yük yakıt tüketim eğrisi oluşturulmaktadır. İlk olarak bölümde makine tipi seçilmekte daha sonra istenilen derecede eğri oluşturulmaktadır. Eğri oluşturulurken deneysel incelemelerde makine üzerinden elde edilen veriler kullanılmakta ve istatistiksel yöntemlerle birlikte eğri çizimi tamamlanmaktadır.

$$SSE = \sum_{i=1}^n (w_i (y_i - f_i)^2) \quad (4.1)$$

Her bir verinin ağırlık değeri w_i olarak ifade edilmekte, yapılan incelemede herbir değer aynı ağırlığa sahip olduğundan dolayı w_i değeri bir olarak alınmaktadır. Deneysel incelemede makine yük değerlerini y_i ifade etmektedir. Yük testi sonucu birim güç başına elde edilen yakıt tüketimi değerlerini ise f_i ifade etmektedir.

$$R \text{ Kare} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (w_i (y_i - f_i)^2)}{\sum_{i=1}^n (w_i (y_i - y_{ort})^2)} = 1 - SSE/SST \quad (4.2)$$

R Kare değeri hesaplanırken, SSE ye ek olarak y_{ort} değeri hesaplanmakta ve bu değer deney sonucu elde edilen makine yük değerlerinin ortalamasını ifade etmektedir.

$$Düzeltilmiş R Kare = 1 - \frac{SSE(n-1)}{SST(n-m)} \quad (4.3)$$

Düzeltilmiş R Kare de n, m değerleri kullanılmakta ve bu değerler sırasıyla toplam yük testi verisini ve eğrinin derecesini belirtmektedir.

$$Kök Ortalama Kare Hata = s = MSE^{1/2} = SSE/v \quad (4.4)$$

Kök Ortalama Kare Hata değeri hesaplanırken v değeri kullanılmakta, bu değer toplam yük testi verisi ile eğrinin derecesi arasındaki farkı ifade etmektedir. Eğrinin güvenilirliğinin SSE değeri, R Kare, Düzeltilmiş R Kare, Kök Ortalama Kare Hata değerleri göz önünde bulundurularak saptanmaktadır. Benzer biçimde deneysel incelemelerin yapıldığı elektrik motorunda da amper güç eğrisi oluşturulmakta ve eğrilerin doğrulukları incelenmektedir.

Gemi üzerinden elde edilen veri setini kullanmak için “Deneysel Bulgular” bölümünde “Operasyon Veri Seti” kısmı kullanılmaktadır. Birincil ve ikincil elde edilen tüm veriler bu kısımda belirtilmektedir. Analiz yapılacak operasyon değerleri seçildikten sonra elektrik motoru ve tahrikinde kullanılacak batarya tipi “bataryalar” kısmından seçilmektedir. Batarya seçimi yapıldığında kullanılacak bataryanın Kapasite(ah) ve Enerji vb. teknik değerleri veri tabanından çekilmektedir.

Tüm seçimlerin yapıldığını görüntülemek adına “Bulgular” bölümünden, Ana makine gücü, ana makine sayısı, yakıt yoğunluğu, elektrik motoru gücü, sayısı, ağırlığı, hacmi, verimliliği; batarya tipi, kapasitesi, inverter verimliliği, redresör sayısı ve yenilenebilir enerji kullanımı için gerekli olan ekipmanların değerleri görüntülenmektedir. Görüntüleme olmayan kısımlardaki veriler içi ilgili sekmesinden seçimi tekrar yapılmaktadır.

HSS için tüm değerler hazır olduğunda “Operasyon Sonuçları Hesapla” butonu kullanılarak oluşturulan matematiksel model ışığında “toplam işletilme süresi (sn)”, “düşük yüklerde işletilme süresi (sn)”, “toplam yakıt tüketimi (litre ve kilogram)”, “düşük yüklerdeki yakıt tüketimi (litre ve kilogram)”, “batarya sayısı”, “batarya doluluk oranı”, “batarya hacmi ve batarya ağırlığı”, “şarj süresi”, “panel alanı ve sayısı” hesaplanmaktadır. Bu işlem farklı tip batarya, elektrik motoru ve yenilebilir enerji kaynakları kullanılarak tüm operasyonlar için tek tek yapılmakta ve elde edilen değerler “Analiz” bölümünün “Değer Girişi” butonu yardımıyla veri tabanına kayıt edilmektedir. Her bir aşamada kayıt edilen veriler “Analiz” bölümünde oluşturulan bir tablo yardımıyla görüntülenmekte ve tablodaki her bir sütunun operasyonlara göre değişimini ifade eden grafikler oluşturmaktadır.

Optimizasyon aşamasında “*Technique for order preference by similarity to ideal solution* (TOPSİS)” kullanılarak hangi operasyonun oluşturulacak hibrit sevk sistemi için uygunluğu ifade edilmektedir. Analiz aşamasında elde edilen, “Operasyon Süresi”, “Ana Makine Gücü”, “Elektrik Motoru Gücü”, “Toplam Yakıt Tüketimi”, “Düşük Yüklerde İşletilme Süresi”, “Elektrik Motoru Ağırlığı”, “Elektrik Motoru Verimi”, “Batarya Sayısı”, “Batarya Toplam Hacmi” ve “Batarya Toplam Ağırlığı” değerlerinin hibrit sevk sistemine etkisini incelemek amacıyla ağırlık değerleri girilmektedir. TOPSİS yönteminde kullanılan matematiksel formüller temelinde hesaplama yapılmaktadır (Arifoğlu, 2016; Özçalıcı, 2017). Hesaplama da öncelikli olarak veri girişi sonucu oluşan matrisin normalizasyonu yapılmaktadır.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (4.5)$$

Modelde parametrelerin ağırlık değerleri belirtilmekte ve bu değerlerin normalize edilmiş matris ile çarpımı gerçekleştirilmektedir.

$$v_{ij} = \bar{x}_{ij} * w_j \quad (4.6)$$

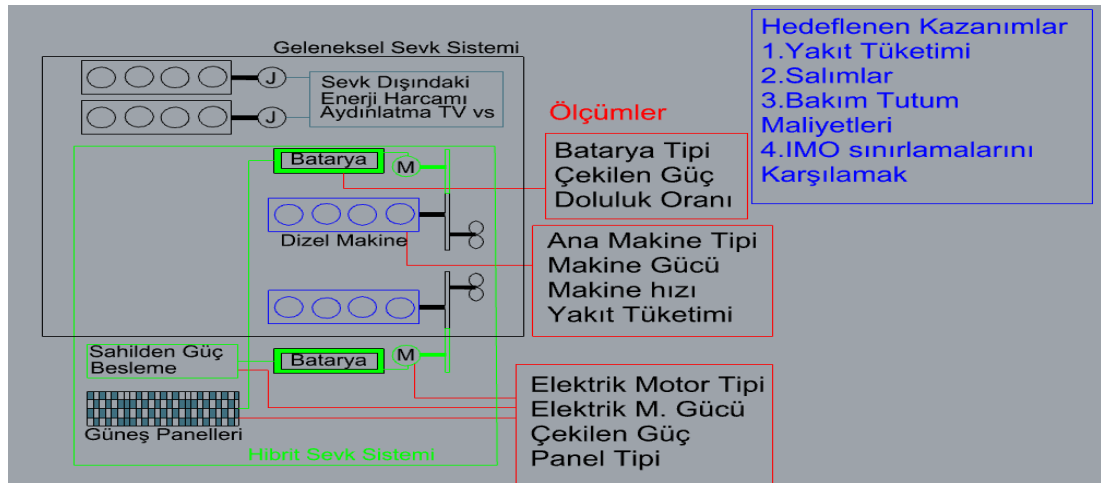
Ağırlıklı değerlerin normalize edilmiş matris ile çarpımı elde edilen matris göz önünde bulundurularak bu matrisdeki her bir parametre için en iyi ve en kötü değerler referans alınarak v^+, v^- oluşturulmaktadır. Operasyonların en iyi ve en kötü durumlara karşı yakınlarını öğrenmek amaçlı matrisler üzerinde S_i^+, S_i^- değerlerini hesaplatan matematiksel işlemler uygulanmaktadır.

$$S_i^+ = [\sum_{j=i}^n (v_{ij} - v_j^+)^2]^{0.5} \quad S_i^- = [\sum_{j=i}^n (v_{ij} - v_j^-)^2]^{0.5} \quad (4.7)$$

Her bir operasyon için elde edilen s_i^+, s_i^- değerleri kullanılarak operasyonların gerçekleştirilecek hibrit sevk sistemine uygunluğu değeri elde edilmektedir.

$$P_i = \frac{s_i^-}{s_i^+ + s_i^-} \quad (4.8)$$

Her bir operasyonun derecesi “Operasyonların HSS İçin Uygunluğu” kısmında ifade edilmektedir. Analiz ve optimizasyon kısmında elde edilen çıktılar bulgular ve tartışma kısmında değerlendirilerek hibrit sevk sisteminin derinlemesine incelemesi yapılacaktır. Hibrit sevk sistemi analizi özetle Şekil 4.1’de belirtilmektedir.



Şekil 4.1 HSS analizin esasları

HSS için oluşturulan Şekil 4.1’deki parametreler esas alınarak analiz gerçekleştirilmekte ve elde edilen sonuçlar bulgular ve tartışma bölümünde derinlemesine incelenmektedir.

BÖLÜM BEŞ

BULGULAR VE TARTIŞMA

Materyal ve metot bölümünde oluşturulan modelleme üzerinde KEGM ne bağlı İstanbul Boğazında römorkaj hizmeti veren gemilerden elde edilen veriler kullanılarak analiz gerçekleştirilmektedir. Analiz sonuçları geliştirilen model yardımıyla her bir aşamada kayıt edilmekte ve böylece bulgular kısmı oluşturulmaktadır.

K11, K12 ve MK1 römorkörlerin teknik özellikleri ve operasyon değerleri kullanılmaktadır. Analiz bulgularını birincil olarak operasyon süresi, gemilerin ana makine gücü çıktıları, elektrik motoru gücü, kullanılan batarya kapasiteleri ve tipleri, kullanılan yakıtın yoğunluğu, düşük yüklerde işletilme süresi, toplam yakıt ve düşük yüklerdeki yakıt tüketimleri kilogram ve litre cinsinden, elektrik motorları ağırlıkları ve iletim verimlilikleri, operasyon boyunca gerekli olacak batarya sayısı, batarya hacmi, batarya ağırlıkları ve batarya doluluk oranları, redresör sayısı, şarj süresi gibi çıktılar oluşturmaktadır. Römorkörlerin operasyon sonucu oluşacak toplam verimlilik çıktıları ile ağırlık ve hacim sınırlaması yapılarak elde edilmiş olan sınırlı verimlilik çıktıları oluşturmaktadır. 3 farklı römorkörden 8 operasyon verileri kullanılmaktadır. Elde edilen verimlilik çıktıları farklı tip elektrik motorları ve bataryaları bu operasyonda değerlendirilerek 32 durum için verimlilik çıktıları elde edilmektedir. 8 operasyonun hangi tarihlerde ve hangi amaçla yapıldıkları Tablo 5.1’de ifade edilmektedir.

Tablo 5.1 Römorkör adı, römorkaj hizmetinin türü, operasyon tarihi ve süresi

Gemi Adı	Operasyon Tarihi	Römorkaj hizmetinin türü	Operasyon Süresi(dk)
Kurtarma 12 (K_12)	2.Ara.19	Boğaz Geç.	204,5
Kurtarma 12 (K_12)	1.Ara.19	Boğaz Geç.	140
Kurtarma 12 (K_12)	11.Kas.19	Yanaştırma/Kaldırma	435
Mehmetçik (MK_1)	3.Ara.19	Gemi Yanaştırma/Kaldırma	32,75
Mehmetçik (MK_1)	4.Ara.19	Gemi Yanaştırma/Kaldırma	41,25
Kurtarma 11 (K_11)	2.Ara.19	Boğaz Geç. ve Gemi Yanaştırma/Kaldırma	387
Kurtarma 11 (K_11)	19.Kas.19	Boğaz Geç. ve Gemi Yanaştırma/Kaldırma	657,1
Kurtarma 11 (K_11)	17.Kas.19	Gemi Yanaştırma/Kaldırma	50

Tablo 5.1 değerlendirildiğinde farklı zaman dilimlerinde römorkörlerin “Boğaz Geçişi”, “Gemi Yanaştırma/ Kaldırma” ile hem “Boğaz Geçişi” hem de “Gemi Yanaştırma/Kaldırma” operasyonlardan verilerin elde edildiği görülmektedir. Operasyon süresi en yüksek 657,1 dakikayla K_11 römorkörün 19 Kasım 2019 tarihindeki operasyondan elde edilmektedir. En düşük operasyon süresi ise 32,75 dakika ile MK_1 römorkörün 3 Aralık 2019’daki operasyonundan ulaşılmaktadır.

32 farklı operasyon kodu kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen bulguların başlıkları Tablo 5.2’de kısaltmalar ile ifade edilmekte ve tanımlanan kısaltmalar Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de kullanılmaktadır.

Tablo 5.2 Hibrit sevk sistemi bulgularının konu başlıkları

Operasyon Süresi	[OS]	Düşük Yüklerde Yakıt Tüketimi	[DYTY]	Optimize Batarya Sayısı	[OPBS]
Düşük Yüklerde İşletilme Süresi	[DYIS]	Elektrik Motoru Ağırlık	[EMA]	Optimize Batarya Hacmi	[OPBH]
Makine Gücü	[MG]	Elektrik Motoru Verim	[EMV]	Optimize Batarya Ağırlık	[OPBA]
Elektrik Motoru Gücü	[EMG]	Opt. Batarya Sayısı	[OBS]	Optimize Batarya Kalan	[OPBK]
Batarya Kapasite	[BK]	Opt. Batarya Hacim	[OBH]	Toplam Verimlilik	[TV]
Toplam Yakıt Tüketimi	[TYT]	Opt. Batarya Ağırlık	[OBA]	Sınırlı Verimlilik	[SV]
Yakıt Yoğunluğu	[YY]	Redresör Sayısı	[RS]	Şarj Süresi	[SS]
Panel Gücü	[PG]	Panel Sayısı	[PS]	Panel Alanı	[PA]

Geliştirilen model yardımıyla gerçekleştirilen analiz bulguları Tablo 5.3 ve Tablo 5.4’de tüm detaylarıyla birlikte belirtilmektedir.

Tablo 5.3 K11,K12 ve MK1üzerinde gerçekleştirilen 32 farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_1

Op. Kodu	Op.No.	[OS]	[MG]	[EMG]	[BK]	[YY]	[TYT]	[DYIS]	[DYYT]	[RS]	[PA]
K11_17K_B11_A500(1)	1	3001,93	2038,77	500	50	882	257,413	1492,17	101,369	50	725
K11_19K_B1_A500(2)	2	39425,6	2038,77	500	200	882	2555,32	22567,2	526,101	50	2881
K11_2A_B2_A315(2)	3	23220,2	2038,77	315	100	882	2147,68	5974,73	86,9701	50	388
K12_11K_B14_A315(1)	4	26100	2038,77	315	92	882	1706,4	13985,4	567,614	50	2990
K12_1A_B12_A500(1)	5	8400	2038,77	500	100	882	779,223	2528,04	113,269	50	708
K12_2A_B13_A500(2)	6	12267,3	2038,77	500	100	882	1008,83	3575,31	151,877	50	937
M_4A_B2_A200(1)	7	2475	1139,97	200	100	882	64,7205	1952	22,8584	44	95
M_3A_B10_A200(2)	8	1965	1139,97	200	300	882	29,19	1852	19,2284	12	75
K11_17K_B16_A400(2)	9	3001,93	2038,77	400	260	882	257,413	899,293	58,2732	50	397
K11_17K_B7_A400(2)	10	3001,93	2038,77	400	71,5	882	257,413	899,293	58,2732	50	397
K11_17K_B10_A400(2)	11	3001,93	2038,77	400	300	882	257,413	899,293	58,2732	50	397
K11_19K_B13_A400(1)	12	39425,6	2038,77	400	100	882	2555,32	21239,6	428,573	50	2132
K11_19K_B12_A400(1)	13	39425,6	2038,77	400	100	882	2555,32	21239,6	428,573	50	2132
K11_19K_B4_A400(1)	14	39425,6	2038,77	400	60	882	2555,32	21239,6	428,573	50	2132
K11_2A_B11_A500(2)	15	23220,2	2038,77	500	50	882	2147,68	6304,24	110,816	50	568
K11_2A_B8_A500(2)	16	23220,2	2038,77	500	41,4	882	2147,68	6304,24	110,816	50	568
K11_2A_B3_A500(2)	17	23220,2	2038,77	500	100	882	2147,68	6304,24	110,816	50	568
K12_11K_B16_A500(1)	18	26100	2038,77	500	260	882	1706,4	18892,4	902,049	50	5370
K12_11K_B7_A500(1)	19	26100	2038,77	500	71,5	882	1706,4	18892,4	902,049	50	5370
K12_11K_B2_A500(1)	20	26100	2038,77	500	100	882	1706,4	18892,4	902,049	50	5370
K12_1A_B14_A500(2)	21	8400	2038,77	500	92	882	779,223	2528,04	113,269	50	708
K12_1A_B8_A500(2)	22	8400	2038,77	500	41,4	882	779,223	2528,04	113,269	50	708
K12_1A_B11_A500(2)	23	8400	2038,77	500	50	882	779,223	2528,04	113,269	50	708
K12_2A_B17_A500(1)	24	12267,3	2038,77	500	1248	882	1008,83	3575,31	151,877	50	937
K12_2A_B7_A500(1)	25	12267,3	2038,77	500	71,5	882	1008,83	3575,31	151,877	50	937
K12_2A_B10_A500(1)	26	12267,3	2038,77	500	300	882	1008,83	3575,31	151,877	50	937
M_4A_B16_A250(2)	27	2475	1139,97	250	260	882	64,7205	1987	24,3725	20	104
M_4A_B6_A250(2)	28	2475	1139,97	250	47,3	882	64,7205	1987	24,3725	50	104
M_4A_B1_A250(2)	29	2475	1139,97	250	200	882	64,7205	1987	24,3725	24	104
M_3A_B15_A250(1)	30	1965	1139,97	250	240	882	29,19	1895	21,1209	18	87
M_3A_B5_A250(1)	31	1965	1139,97	250	50	882	29,19	1895	21,1209	50	87
M_3A_B9_A250(1)	32	1965	1139,97	250	160	882	29,19	1895	21,1209	26	87

Tablo 5.4 K11,K12 ve MK1üzlerinde gerçekleştirilen 32 farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_2

Op. No.	[EMA]	[EMV]	[OBS]	[OBH]	[OBA]	[OPBS]	[OPBH]	[OPBA]	[OPBK]	[SS]	[TV]	[SV]
1	1850	0,921577	668	3673,71	4,676	1610	8854,29	11,27	58,582	53,44	39,3799	21,3919
2	2474	0,953725	664	12681,9	15,272	742	14171,6	17,066	10,6188	53,199	20,5885	4,63292
3	1400	0,955314	180	2190,31	1,84522	216	2628,37	2,21426	17,4537	14,4	4,04949	3,96648
4	1438	0,956922	1498	14079,1	18,4254	1544	14511,4	18,9912	3,09057	119,84	33,2638	7,10518
5	1850	0,921577	326	3018,81	3,749	464	4296,71	5,336	29,8103	26,08	14,5361	8,87894
6	2474	0,953725	432	5423,16	4,74202	436	5473,37	4,78593	1,11435	34,56	15,0548	7,06906
7	1100	0,95919	44	535,41	0,451053	80	973,472	0,820096	45,8014	4	35,3186	30,1976
8	1015	0,948153	12	484,897	0,612	24	969,794	1,224	52,1343	4	65,8732	56,515
9	1639	0,979861	76	2550,99	5,9204	300	10069,7	23,37	75,0199	6,08	22,638	11,1979
10	1639	0,979861	256	3489,05	9,0368	1020	13901,7	36,006	75,0311	20,48	22,638	8,36416
11	1639	0,979861	62	2505,3	3,162	244	9859,58	12,444	75,0455	4,96	22,638	15,9942
12	1720	0,961906	982	12327,6	10,7793	1008	12654	11,0647	2,62482	78,5602	16,7718	5,36677
13	1720	0,961906	982	9093,48	11,293	1008	9334,24	11,592	2,62482	78,5602	16,7718	5,17964
14	1720	0,961906	1636	9740,91	11,452	1668	9931,44	11,676	1,92428	130,88	16,7718	5,12434
15	2474	0,953725	524	2881,77	3,668	600	3299,74	4,2	12,8971	41,92	5,1598	2,72482
16	2474	0,953725	630	5409,63	12,915	720	6182,44	14,76	12,6092	50,4703	5,1598	1,31429
17	2474	0,953725	262	3300,65	2,9606	300	3779,37	3,39	12,8971	20,96	5,1598	2,96855
18	1850	0,921577	1016	34102,8	79,1464	1164	39070,5	90,6756	12,8516	81,2801	52,8627	2,90327
19	1850	0,921577	3448	46993,1	121,714	3948	53807,7	139,364	12,6789	275,84	52,8627	1,91785
20	1850	0,921577	2474	30104,6	25,3615	2832	34460,9	29,0314	12,69	197,92	52,8627	7,57658
21	2474	0,953725	356	3345,9	4,3788	506	4755,69	6,2238	30,0394	28,3478	14,5361	7,09131
22	2474	0,953725	786	6749,16	16,113	1118	9599,95	22,919	29,8554	62,7989	14,5361	3,14037
23	2474	0,953725	652	3585,71	4,564	928	5103,59	6,496	29,8103	52,16	14,5361	6,95324
24	1850	0,921577	222	7631,43	17,76	224	7700,18	17,92	1,29546	17,76	15,0548	3,19195
25	1850	0,921577	602	8204,72	21,2506	606	8259,23	21,3918	0,805851	48,16	15,0548	2,7454
26	1850	0,921577	144	5818,77	7,344	146	5899,58	7,446	1,56588	11,514	15,0548	6,2024
27	1378	0,954076	20	671,314	1,558	36	1208,37	2,8044	45,725	4	37,6581	19,7864
28	1378	0,954076	102	958,546	2,295	182	1710,35	4,095	44,8482	8,21956	37,6581	16,8993
29	1378	0,954076	24	458,381	0,552	44	840,365	1,012	45,8791	4	37,6581	25,8036
30	1400	0,964657	18	622,769	1,07586	34	1176,34	2,03218	47,8542	4	72,3566	42,3153
31	1400	0,964657	80	530,858	1,456	152	1008,63	2,7664	47,6747	6,45981	72,3566	38,5358
32	1400	0,964657	26	300,656	0,52	48	555,058	0,96	48,0579	4	72,3566	49,4001

Bulguların değerlendirilmesi için her bir senaryo için operasyon kodu üretilmektedir. Operasyon kodu “K11_2A_B8_A500(2)” olan bir bulgu K11 römorkörün 2 Aralık 2019 yılında B8 kodlu kurşun-asit bataryası ve A500(2) kodlu elektrik motoru kullanılması esas alınarak analiz edilmekte ve bulgular ortaya çıkarılmaktadır. Tüm analizlerde yakıt olarak MDO kullanılmakta ve yoğunluğu Tablo 5.3’de belirtilmektedir. Panel tipi olarak sadece “P1” tipi panel kullanılmakta ve sadece gerekli olan alan hesaplanmaktadır. Verimlilik hesabı yapılırken geminin GRT ve deplasman hacmi temel alınmakta ve %1’lik aşımaya izin verilmektedir.

Analiz bulguları incelendiğinde üç farklı römorkör için 2038,77 ve 1139,97 kW güç çıktısına sahip ana makine kullanıldığı görülmektedir. Bu makinelerin düşük yüklerdeki çalışması sonucu oluşacak birim güç başına yüksek yakıt tüketim değerlerini karşılamak amacıyla güçleri 200 kW ila 500kW olan elektrik motorları kullanılmaktadır. Elektrik motorlarının ağırlıkları 1015 ila 2474 kg arasında güç çıktılarına göre değişmektedir. Verimliliği %90 üzerinde bir değere sahip olan elektrik motorları seçilmekte ve böylece enerji kaybının minimize edilmesi amaçlanmaktadır. Düşük yüklerdeki gücü karşılamak amacıyla kullanılan elektrik motorlarının enerji tedariki bataryalar üzerinden sağlanmaktadır. Kapasiteleri en az 40 Ah olan 5 farklı türdeki 17 batarya üzerinde analiz gerçekleştirilmektedir.

K11 römorkörü 17 Kasım 2019 tarihinde gerçekleştirilen operasyonu üzerinde, kodları “K11_17K_B11_A500(1)” , “K11_17K_B16_A400(2)”, “K11_17K_B7_A400(2)” ve “K11_17K_B10_A400(2)” olan 4 farklı hibrit sevk sistemi uygulaması gerçekleştirilmektedir. Ağırlık ve hacim sınırlandırılması olmadan yapılan sonuçlara göre sırasıyla toplamda %39,3799 ve %22,638 oranında yakıt tüketimi açısından verim sağlanmaktadır.

K11 römorkörün deplasman tonajı ve toplam hacmi dikkate alınarak yaklaşık olarak %1 ağırlık ve hacim artışı sınır olacak biçimde analiz edildiğinde sırasıyla verimlilik çıktıları %21,3919; %11,1979; %8,36416 ve %15,9942’dir. En yüksek verimlilik yaklaşık %21 ile Lityum iyon fosfat tipi batarya ve 500 kW çıkışlı elektrik motorundan çıkan analizden elde edilmektedir. En düşük verimlilik çıktısı yaklaşık

%8 ile Kurşun-Asit tipi batarya ve 400 kW çıkışlı elektrik motorundan elde edilmektedir.

K11 römorkörü 19 Kasım 2019 tarihinde gerçekleştirilen operasyonu üzerinde, kodları “K11_19K_B1_A500(2)” , “K11_19K_B13_A400(1)”, “K11_19K_B12_A400(1)” ve “K11_19K_B4_A400(1)” olan 4 farklı hibrit sevk sistemi uygulaması gerçekleştirilmektedir. Römorkör üzerinde oluşan herhangi bir ağırlık ve hacim artışının dikkate alınmaması durumunda sırasıyla toplamda yakıt tüketimi açısından %20,5885 ve %16,7718 verimlilik artışı yaşanmaktadır.

K11 römorkörün %1’lik ağırlık ve hacmine denk gelen 5,46 ton ağırlık ve 5327 litre hacim artışına izin verilerek yapılan analiz sonucunda elde edilen verimlilik çıktıları sırasıyla %4,63292; %5,36677; %5,17964 ve %5,12434’dır. En yüksek verimlilik çıktısı B13 kodlu LifePO4 batarya ve 400 kW güç çıkışı olan asenkron motor ile elde edilirken en düşük verimlilik çıktısı B1 kodlu LifePO4 bataryalı analizden elde edilmektedir.

K11 römorkörü 2 Aralık 2019 tarihinde gerçekleştirilen operasyonu üzerinde, kodları “K11_2A_B2_A315(2)”, “K11_2A_B11_A500(2)”, “K11_2A_B8_A500(2)” ve “K11_2A_B3_A500(2)” olan 4 farklı hibrit sevk sistemi uygulaması gerçekleştirilmektedir. Ağırlık ve hacim sınırlandırması olmadan yapılan analiz sonuçlarına göre toplamda sırasıyla yakıt tüketimi açısından %4,04949 ve %5,1598 verimlilik çıktısı sağlanmaktadır. K11 römorköründe hacim ve ağırlık sınırlandırması yapılarak elde edilen verimlilik çıktıları sırasıyla %3,96648; %2,72482; %1,31429 ve 2,96855’dir. En yüksek verimlilik çıktısı B2 kodlu LifePO4 batarya ve 315 kW güç çıkışı olan asenkron motor ile elde edilirken en düşük verimlilik çıktısı B8 kodlu Kurşun asit bataryalı analizden elde edilmektedir.

K11 römorkörünün 3 farklı zamanda gerçekleştirdiği operasyonlar kendi arasında kıyaslandığında en yüksek verimlilik çıktısına “K11_17K_B11_A500(1)” kodlu operasyondan elde edildiği görülmektedir. Bu operasyonda diğerlerinde olduğu gibi “Boğaz Geç. ve Gemi Yanaştırma/Kaldırma” aksine sadece “Gemi

Yanaştırma/Kaldırma” yapılmaktadır. Boğaz geçişi sırasında makine optimum yüklerde çalıştığından dolayı uygulanacak HSS modelinin verimliliğe artışı oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. K11 römorkörünün 2 Aralık 2019 da gerçekleşen operasyonu yaklaşık olarak 387 dakika sürmekte ve elektrik motorunun gücüne bağlı olarak bu sürenin 99,57 ve 105,07 dakikasında düşük yüklerde işletilmektedir. Oransal açıdan bakıldığında toplam sürenin yaklaşık %26-27’lik kısmını oluşturmaktadır. Benzer biçimde K11 römorkörünün 19 Kasım 2019 da gerçekleşen operasyonu yaklaşık olarak 657 dakika sürmekte ve bu sürenin 376,12 ve 353,99 dakikasında düşük yüklerde işletilmektedir. Oransal açıdan bakıldığında toplam sürenin yaklaşık %57-54’lik kısmını oluşturmaktadır. En yüksek verimlilik çıktısının elde edildiği 17 Kasım 2019 da gerçekleştirilen operasyon yaklaşık 50 dakika sürmekte ve bu sürenin 24,87 ve 14,98 dakikasında gemi ana makineleri düşük yüklerde işletilmektedir. Bu durum oransal olarak yaklaşık operasyon süresinin %50-30’una karşılık gelmektedir.

K11 römorköründe hibrit sevk sistemi için kodları “K11_17K_B11_A500(1)”, “K11_17K_B16_A400(2)”, “K11_17K_B7_A400(2)”, “K11_17K_B10_A400(2)”, “K11_19K_B1_A500(2)”, “K11_19K_B13_A400(1)”, “K11_19K_B12_A400(1)”, “K11_19K_B4_A400(1)”, “K11_2A_B2_A315(2)”, “K11_2A_B11_A500(2)”, “K11_2A_B8_A500(2)”, “K11_2A_B3_A500(2)” olan toplamda 12 adet analiz gerçekleştirilmekte bu analiz bulgularına göre kullanılması gereken batarya sayıları sırasıyla 668, 76, 256, 62, 664, 982, 982, 1636, 180, 524, 630 ve 262’dir. Operasyonlarda enerji yoksunluğu yaşamamak amacıyla saatlik optimizasyon çalışması yapıldığında kullanılması gereken batarya sayısı ve operasyon sonunda oluşacak batarya doluluk oranları sırasıyla 1610 (%58,6), 300 (%75,02), 1020 (%75,03), 244 (%75,05), 742 (%10,6), 1008 (%2,6), 1008 (%2,6), 1668 (%1,9), 216 (%17,5), 600 (%12,9), 720 (%12,6) ve 300 (%12,9)’dir. Toplam yakıt tüketimi açısından değerlendirildiğinde operasyon tarihlerine göre sırasıyla 257,413; 2555,32; 2147,68 olarak hesaplanmaktadır.

K12 römorkörü 11 Kasım 2019 tarihinde gerçekleştirilen operasyonu üzerinde, kodları “K12_11K_B14_A315(1)”, “K12_11K_B16_A500(1)”, “K12_11K_B7_A500(1)” ve “K12_11K_B2_A500(1)” olan 4 farklı hibrit sevk

sistemi uygulaması gerçekleştirilmektedir. Bataryaların, elektrik motorlarının ve diğer ekipmanların ağırlıkları ile oluşturdıkları hacimler üzerinde herhangi bir sınırlandırma yapmadan gerçekleştirilen analiz bulgularına göre toplamda yakıt tüketiminden %33,2638 ve %52,8627 oranında verimlilik sağlanmaktadır. K11 römorkörü ile aynı teknik özelliklere sahip olan K12 römorköründe de benzer ağırlık ve hacim sınırlaması yapıldığında elde edilen verimlilik çıktıları operasyon kodlarına göre sırasıyla %7,10518; %2,90327; %1,91785 ve %7,57658'dir. Ağırlık ve hacim sınırlandırılmasına göre en yüksek verimlilik çıktısına "K12_11K_B2_A500(1)" kodlu operasyonda ulaşılmakta ve bu analizde LifePO4 tipi batarya ile 500 kW çıkışlı asenkron elektrik motoru kullanılmaktadır. En düşük verimlilik çıktısı B7 kodlu Kurşun asit bataryalı analizden elde edilmektedir.

K12 römorkörünün 1 Aralık 2019 tarihinde gerçekleştirilen operasyonu üzerinde, kodları "K12_1A_B12_A500(1)", "K12_1A_B14_A500(2)", "K12_1A_B8_A500(2)" ve "K12_1A_B11_A500(2)" olan 4 farklı hibrit sevk sistemi uygulaması gerçekleştirilmektedir. Herhangi bir sınırlandırma yapılmaksızın elde edilen bulgulara göre K12 römorköründe yakıt tüketimi açısından %14,5361 oranında verimlilik sağlanmaktadır. 5,46 ton ağırlık ve 5327 litre hacim sınırlaması yapılarak elde edilen verimlilik çıktıları operasyon kodlarına göre sırasıyla %8,87894; %7,09131; %3,14037 ve %6,95324 dir. En yüksek verimlilik çıktısına B12 kodlu Lityum iyon fosfat Tipi batarya ve M1 kodlu 500 kW güç üreten elektrik motoru kullanılarak yapılan analizden elde edilmektedir. En düşük verimlilik çıktısı B8 kodlu Kurşun asit bataryalı analizden elde edilmektedir.

K12 römorkörünün 2 Aralık 2019 tarihinde gerçekleştirilen operasyonu üzerinde, kodları "K12_2A_B13_A500(2)", "K12_2A_B17_A500(1)", "K12_2A_B7_A500(1)" ve "K12_2A_B10_A500(1)" olan 4 farklı hibrit sevk sistemi uygulaması gerçekleştirilmektedir. Ağırlık ve hacim sınırlandırması olmadan yapılan analiz sonuçlarına göre toplamda yakıt tüketimi açısından %15,0548 verimlilik çıktısı elde edilmektedir. K12 römorköründe hacim ve ağırlık sınırlandırması yapılarak elde edilen verimlilik çıktıları operasyon kodlarına göre sırasıyla %7,06906; %3,19195; %2,7454 ve %6,2024 dir. En yüksek verimlilik çıktısına B13 kodlu 100Ah kapasiteye

sahip LifePO4 Tipi batarya ve M2 kodlu 500 kW güç üreten elektrik motoru kullanılarak elde edilmektedir. En düşük verimlilik çıktısı B7 kodlu Kurşun asit bataryalı analizden elde edilmektedir.

K12 römorkörünün 3 farklı zamanda gerçekleştirdiği operasyonlar kendi aralarında kıyaslandığında ağırlık ve hacim sınırlaması olmaksızın en yüksek verimlilik çıktısı değeri 11 Kasım 2019 yılında 500kW elektrik motorların kullanıldığı yanaştırma/kaldırma operasyonundan elde edilmektedir. Bu operasyon 435 dakika sürmekte ve yaklaşık olarak 315 dakikasında ana makine düşük yüklerde işletilmektedir. Ağırlık ve hacim sınırlaması göz önünde bulundurulduğunda en yüksek verimlilik değeri ile 1 Aralık 2019 da 140 dakika süren ve operasyon kodu “K12_1A_B12_A500(1)” olana aittir. Bu operasyonda yaklaşık olarak 42 dakika ana makine düşük yüklerde işletilmektedir.

K12 römorköründe hibrit sevk sistemi için kodları “K12_11K_B14_A315(1)”, “K12_11K_B16_A500(1)”, “K12_11K_B7_A500(1)”, “K12_11K_B2_A500(1)”, “K12_1A_B12_A500(1)”, “K12_1A_B14_A500(2)”, “K12_1A_B8_A500(2)”, “K12_1A_B11_A500(2)”, “K12_2A_B13_A500(2)”, “K12_2A_B17_A500(1)”, “K12_2A_B7_A500(1)”, “K12_2A_B10_A500(1)” olan toplamda 12 adet analiz gerçekleştirilmekte bu analiz bulgularına göre kullanılması gereken batarya sayıları sırasıyla 1498, 1016, 3448, 2474, 326, 356, 786, 652, 432, 222, 602 ve 144 dir. Operasyonlarda enerji yoksunluğu yaşamamak amacıyla saatlik optimizasyon çalışması yapıldığında kullanılması gereken batarya sayısı ve operasyon sonunda oluşacak batarya doluluk oranları sırasıyla 1544 (%3,09), 1164 (%12,85), 3948 (%12,67), 2832 (%12,69), 464 (%29,81), 506 (%30,04), 1118(%29,86), 928 (%29,81), 436 (%1,11), 224 (%1,30), 606 (%0,81) ve 146 (%1,57)’dir. Toplam yakıt tüketimi açısından değerlendirildiğinde operasyon tarihlerine göre sırasıyla 1706,4; 779,223; 1008,83 olarak hesaplanmaktadır.

MK1 römorköründen iki ayrı zamanda elde edilen veriler kullanılarak yapılan analiz bulgularına göre, ağırlık ve hacim sınırlaması olmadan en yüksek verimlilik çıktısı 3 Aralık 2019 tarihindeki operasyonundan %65,8732 ve %72,3566 elde

edilmiştir. Operasyon kodları “M_3A_B10_ A200(2)”, “M_3A_B15_ A250(1)”, “M_3A_B5_ A250(1)” ve “M_3A_B9_ A250(1)” MK_1 olan römorkörün deplasman tonajı dikkate alınarak %1 ağırlık ve hacim artışı sınırında yapılan analiz bulguları incelendiğinde en yüksek verimlilik çıktısına %56,515 ile B10 kodlu 300 Ah kapasiteli lityum iyon fosfat batarya ve M12 kodlu 200 kW güç çıkışı sağlayan elektrik motoruyla elde edilmektedir. Diğer kodlara göre verimlilik çıktıları sırasıyla %42,3153; %38,5358 ve %49,4001’dir.

Operasyon kodları “M_4A_B2_ A200(1)”, “M_4A_B16_ A250(2)”, “M_4A_B6_ A250(2)” ve “M_4A_B1_ A250(2)” olan MK_1 römorkörünün analiz bulgularına göre yakıt tüketimi açısından sırasıyla %35,3186 ve %37,6581 oranında verimlilik sağlamaktadır. Römorkörün %1’lik deplasman tonajına denk gelen 2,72 ton ağırlık ve 2654 litre hacim artışı sınırlama konularak yapılan analiz bulgularına göre verimlilik çıktıları sırasıyla %30,1976; %19,7864; %16,8993 ve %25,8036’dır. En yüksek verimlilik çıktısı B2 tipli LifePO4 batarya ve M11 kodlu 200 kW çıkışı olan elektrik motoru ile sağlanmaktadır.

MK1 römorkörünün iki operasyonu üzerinde kodları “M_3A_B10_ A200(2)”, “M_3A_B15_ A250(1)”, “M_3A_B5_ A250(1)”, “M_3A_B9_ A250(1)”, “M_4A_B2_ A200(1)”, “M_4A_B16_ A250(2)”, “M_4A_B6_ A250(2)”, “M_4A_B1_ A250(2)” olan 8 farklı analiz gerçekleştirilmektedir. Elde edilen bulgulara göre gerekli toplam batarya sayısı sırasıyla 12, 18, 80, 26, 44, 20, 102 ve 24 tür. Operasyonlarda enerji yoksunluğu yaşamamak amacıyla saatlik optimizasyon çalışması yapıldığında kullanılması gereken batarya sayısı ve operasyon sonunda oluşacak batarya doluluk oranları sırasıyla 24 (%52,13), 34 (%47,85), 152 (%47,68), 48 (%48,06), 80 (%45,80), 36 (%45,73), 182(%44,85) ve 44 (%45,88) tür.

K_11 römorkörünün 17 Kasım, 19 Kasım, 2 Aralık; K_12 römorkörünün 11 Kasım, 1 Aralık, 2 Aralık; M_1 römorkörünün 3 ve 4 Aralık 2019 tarihlerinde toplamda 8 operasyon gerçekleştirilmektedir. Bu operasyonlar üzerinde gerçekleştirilen analiz bulguları toplam yakıt tüketimi ve düşük yüklerdeki yakıt tüketimi açısından kıyaslandığında en fazla yakıt tüketimini K_11 römorkörünün 19

Kasım 2019 yılında gerçekleşen ve yaklaşık olarak 10,95 saat süren operasyonda 2555,32 litre olarak elde edilmektedir. Ana makinenin operasyon sırasında düşük yüklerde çalışma süresi açısından değerlendirildiğinde 6,26 saat süreyle yine K_11 römorkörünün “K11_19K_B1_A500(2)” operasyonda ulaşılmaktadır.

Kara tesisinden bataryaların redresörler yardımlarıyla şarj edildiği durum incelendiğinde en az redresör (12 adet) ile en kısa sürede şarj (4 saat) “M_3A_B10_A200(2)” operasyonunun analizi sonucunda elde edilmektedir. Buna karşın “K12_11K_B7_A500(1)” operasyonunun analizi sonucu bataryaların yeniden şarj edilebilmesi için 50 redresörün 3448 adet kurşun asit bataryayı 276 saat boyunca şarj etmesi gerekmektedir. Bataryaların şarj işlemi güneş enerjisini kullanan fotovoltaiik paneller aracılığıyla yapıldığında en düşük panel alanına ihtiyaç “MK1” operasyonlarından 75 ila 87 m² elde edilmesine karşın en yüksek panel alına “K12” operasyonlarından 708 ila 5370 m² elde edilmektedir.

Toplam yakıt tüketiminin düşük yüklerde yakıt harcamı oranına bakıldığında ise en yüksek yüzdeye M_1 römorkörünün 3 Aralık 2019 tarihinde gerçekleştirdiği “Gemi Yanaştırma/Kaldırma” operasyonundan elde edilmektedir.

Bu operasyonda römorkör Harem Tahlisiye Bot İstasyonundan harekete geçmekte ve Haydarpaşa Limanından kalkacak bir gemiye kalkış hizmeti sağlanmaktadır. Operasyonda kalkış yapacak olan gemiye römorkör tarafından yapılan hizmet oldukça kısa süreli ve makine yük değeri oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Tüm operasyon kodları değerlendirildiğinde en düşük verimlilik çıktısı boğaz geçişi ve gemi yanaştırma/kaldırma operasyonun olduğu “K11_2A_B8_A500(2)” kodundan elde edilmektedir.

Her bir analiz bulgusu, model üzerinden kayıt edildikten sonra TOPSİS yöntemiyle hangi operasyonun hibrit sevk sistemi için daha uygun olduğu değerlendirilmektedir. Elde edilen analiz bulgularından 10 parametre esas alınmakta ve uygulanacak yöntemdeki ağırlıkları Tablo 5.5’de ifade edilmektedir.

Tablo 5.5 Parametrelerin ağırlıklı ortalamaları

No	Etkenler	Ağırlık Değeri ⁵			Olumlu/Olumsuz Etkisi
		W ₁	W ₂	W ₃	
1	Operasyon Süresi E.	0,1	0,0625	0,125	Operasyon süresinin uzun olması kurulacak HSS için ek enerji ihtiyacı doğuracaktır.
2	Ana Makine Gücü E.	0,1	0,0625	0,125	Ana makine güç çıktısının yüksek olması HSS için daha güçlü elektrik motoru ve enerji ihtiyacı doğuracaktır.
3	Elektrik Motor Gücü E.	0,1	0,0625	0,125	Elektrik motoru gücünün artması yüksek maliyet, ağırlık ve hacim artışı oluşturacaktır.
4	Toplam Yakıt Tüketimi E.	0,1	0,0625	0,125	Operasyon süresinin uzaması, ana makinenin birim güç başına yakıt tüketimi değerinin yüksek olması gibi nedenler toplam yakıt tüketimini etkilemekte ve bu durum kurulacak HSS sistemini olumsuz etkilemektedir.
5	Düşük Yüklerde İşletilme Süresi	0,1	0,0625	0,2083	Düşük Yüklerde makinenin işletilme süresi kurulacak HSS'nin verimlilik çıktısını oransal olarak olumlu yönde etkileyecektir.
6	Elektrik Motoru Ağırlığı E.	0,1	0,1875	0,0417	Elektrik Motoru Ağırlığının artışı deplasman tonajının artmasına neden olmakta ve kurulacak HSS'nin verimlilik çıktısını olumsuz yönde etkileyecektir.
7	Elektrik M. Verim E.	0,1	0,0625	0,125	Daha verimli Elektrik Motoru kullanımı HSS'nin verimlilik çıktısını olumlu yönde etkileyecektir.
8	Batarya Sayısı E.	0,1	0,0625	0,0417	Minimum batarya sayısı HSS kurulum karmaşıklığını minimize edecektir.
9	Batarya Hacmi E.	0,1	0,1875	0,0417	Bataryaların kapladıkları hacim arttıkça artışı HSS'nin verimlilik çıktısını olumsuz yönde etkileyecektir.
10	Batarya Ağırlık E.	0,1	0,1875	0,0417	Bataryaların toplam ağırlıkları arttıkça artışı HSS'nin verimlilik çıktısını olumsuz yönde etkileyecektir.

Her bir parametrenin olumlu ya da olumsuz etki oluşturacağı nedenleriyle birlikte Tablo 5.5’de belirtilmektedir. Birincil olarak her bir parametrenin ağırlık değeri “0,1” alınarak işlem yapılmaktadır. İkincil olarak ağırlık ve hacmi etkileyen parametrelerin ağırlıkları “0,1875” diğer parametrelerin üç katı etkiye sahip olması durumu göz önüne alınarak analiz yapılmaktadır. Son olarak düşük yüklerde işletilmesinin ağırlık değeri “0,2083” ; operasyon süresi, ana makine gücü, elektrik motoru gücü, toplam yakıt tüketimi, elektrik motor veriminin ağırlık değeri “0,125” ; ağırlık ve hacim oluşturacak parametrelerin ağırlıkları minimize edilip “0,0417” alınmakta ve analiz yapılmaktadır. Operasyonların uygunluk değeri, Tablo 5.6’da ifade edilmektedir.

⁵ Oluşturulan modelde kullanıcının yapacağı diğer analizler için ağırlık değerlerini düzenlemeye imkân sağlamaktadır.

Tablo 5.6 Operasyon kodlarına göre uygunluk değerleri

Op.No.	Op. Kodu	Uygunluk Değerleri		
		W1	W2	W3
1	K11_17K_B11_A500(1)	0,6042	0,796	0,3819
2	K11_19K_B1_A500(2)	0,5637	0,7183	0,4605
3	K11_2A_B2_A315(2)	0,597	0,7975	0,3366
4	K12_11K_B14_A315(1)	0,5488	0,703	0,4075
5	K12_1A_B12_A500(1)	0,6074	0,7999	0,3661
6	K12_2A_B13_A500(2)	0,5977	0,788	0,3547
7	M_4A_B2_A200(1)	0,6255	0,8103	0,4034
8	M_3A_B10_A200(2)	0,6263	0,8105	0,405
9	K11_17K_B16_A400(2)	0,619	0,803	0,388
10	K11_17K_B7_A400(2)	0,6166	0,7985	0,3887
11	K11_17K_B10_A400(2)	0,6167	0,8028	0,3855
12	K11_19K_B13_A400(1)	0,555	0,7242	0,4425
13	K11_19K_B12_A400(1)	0,5671	0,7506	0,4463
14	K11_19K_B4_A400(1)	0,5475	0,7397	0,4421
15	K11_2A_B11_A500(2)	0,5883	0,7932	0,3307
16	K11_2A_B8_A500(2)	0,5849	0,7781	0,3338
17	K11_2A_B3_A500(2)	0,5916	0,7925	0,3324
18	K12_11K_B16_A500(1)	0,4693	0,3475	0,5901
19	K12_11K_B7_A500(1)	0,3798	0,1894	0,6226
20	K12_11K_B2_A500(1)	0,442	0,5193	0,4469
21	K12_1A_B14_A500(2)	0,6066	0,7986	0,366
22	K12_1A_B8_A500(2)	0,5969	0,7725	0,3705
23	K12_1A_B11_A500(2)	0,6004	0,7961	0,3632
24	K12_2A_B17_A500(1)	0,6054	0,7672	0,3688
25	K12_2A_B7_A500(1)	0,5975	0,7567	0,3693
26	K12_2A_B10_A500(1)	0,6041	0,7865	0,3595
27	M_4A_B16_A250(2)	0,6264	0,8106	0,4033
28	M_4A_B6_A250(2)	0,6254	0,8102	0,4031
29	M_4A_B1_A250(2)	0,6257	0,8105	0,4025
30	M_3A_B15_A250(1)	0,6262	0,8104	0,4041
31	M_3A_B5_A250(1)	0,6259	0,8107	0,4041
32	M_3A_B9_A250(1)	0,6262	0,8107	0,4038

Operasyon kodlarına göre HSS uygunluk değerleri model üzerinden analiz yapılarak elde edilmektedir. Birincil olarak tüm ağırlık değerlerinin aynı olarak alındığı analiz incelendiğinde en yüksek değerlere MK_1 römorkörün operasyon verilerin elde edildiği görülmektedir. En yüksek değer ise 0,6264 ile “M_4A_B16_A250(2)” operasyon kodundan elde edilmektedir. En düşük değer “0,3798” ile K_12 römorkörünün “K12_11K_B7_A500(1)” operasyon kodlu bulguların analizi sonucunda ulaşılmaktadır.

Ağırlık ve hacim parametrelerin ağırlık değerlerin etkisinin yüksek olduğu ikinci analiz incelendiğinde en yüksek değerlere 0,8107 ile MK_1 römorkörün “M_3A_B5_A250(1)” ve “M_3A_B9_A250(1)” operasyon kodlarında ulaşıldığı görülmektedir.

İkincil analiz sonuçlarında da en düşük değer K_12 römorkörün 71,5 Ah kapasiteli Kurşun asit bataryalı operasyonundan elde edilmektedir.

Üçüncül analizde ağırlık ve hacim sınırlaması minimize edilip, düşük yüklerde operasyon süresi ve harcanan toplam yakıt miktarı odak noktasına alındığında en yüksek değeri **0.6226** ile K_12 römorkörün “K12_11K_B7_A500(1)” operasyon üzerinden elde edilmektedir. Operasyon boyunca toplam yakıt tüketimi 1706,4 litre ve bu tüketimin 902,049 litresini düşük yüklerde işletilmesinden kaynaklanmaktadır. K_11 römorkörünün “K11_2A_B11_A500(2)” operasyonu analiz bulgularına göre toplamda düşük yüklerde 110,816 litre yakıt harcamasına karşın bu miktar 6304,24 litre olan toplam yakıt tüketiminin %5’lik kısmını oluşturmakta ve 0,3307 ile en düşük uygunluk değerine sahiptir.

Dizel makine ve elektrik motoru üzerinde yapılan deneysel çalışmalar ile kantitatif araştırma sürecinde elde edilen veriler kullanılarak gerçekleştirilen analizde ortaya çıkan bulgular Tablo 5.2’deki kısaltmalar kullanılarak Tablo 5.7’de belirtilmektedir.

32 farklı analiz belirli operasyon kodlarını referans alarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen analiz bulguları sırasıyla “operasyon süresi”, “elektrik motoru gücü”, “batarya kapasitesi”, “toplam yakıt tüketimi”, “düşük yüklerde işletilme süresi”, “düşük yüklerde toplam yakıt tüketimi”, “elektrik motoru maksimum verimliliği”, “optimum batarya sayısı”, “batarya hacmi”, “batarya ağırlığı”, “panelden çekilen maksimum güç”, “panel sayısı”, “panel alanı” ve “toplam verimlilik çıktısı” olarak Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de detaylı bir şekilde ifade edilmektedir.

Tablo 5.7 Deneysel çalışmalar üzerinde 32 Farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_1

Op. Kodu	Op. No.	[OS]	[EMG]	[BK]	[TYT]	[DYIS]	[DYTY]	[EMV]
AN_3A_B1_ES51_P1	1	1965	1,829	200	0,18586	1837	0,118642	0,830822
AN_3A_B12_ES50_P4	2	1965	3,6912	100	0,18586	1895	0,134481	0,94689
AN_11K_B10_ES51_P2	3	26100	1,829	300	6,97258	13436,4	2,18219	0,830822
AN_11K_B3_ES50_P3	4	26100	3,6912	100	6,97258	19352,4	3,84068	0,94689

Tablo 5.7 devamı

AN_2(K12)A_ B4_ES51_P4	5	1226 7,3	1,829	60	4,1228 3	2486,78	0,318489	0,830822
AN_2(K12)A_ B10_ES50_P2	6	1226 7,3	3,6912	300	4,1228 3	4666,03	0,985736	0,94689
AN_19K_ B9_ES51_P3	7	3942 5,6	1,829	160	10,444 6	20178,4	1,47299	0,830822
AN_19K_ B1_ES50_P4	8	3942 5,6	3,6912	200	10,444 6	24537,1	2,79801	0,94689
AN_4A_ B11_ES51_P1	9	2475	1,829	50	0,4120 91	1867	0,123399	0,830822
AN_4A_ B9_ES50_P4	10	2475	3,6912	160	0,4120 91	2032	0,169823	0,94689
AN_17K_ B14_ES51_P2	11	3001, 93	1,829	92	1,0517 5	38,1648	0,006445 43	0,830822
AN_17K_ B3_ES50_P3	12	3001, 93	3,6912	100	1,0517 5	2012,29	0,584801	0,94689
AN_1A_ B2_ES51_P1	13	8400	1,829	100	3,1854	1700,68	0,234635	0,830822
AN_1A_ B14_ES50_P4	14	8400	3,6912	92	3,1854	2642,95	0,500227	0,94689
AN_2(K11)A_ _B13_ES51_P2	15	2322 0,2	1,829	100	8,7793 8	5974,73	0,355316	0,830822
AN_2(K11)A_ _B12_ES50_P1	16	2322 0,2	3,6912	100	8,7793 8	6304,24	0,452701	0,94689
AN_3A_B7_ES 50_P3	17	1965	3,6912	71,5	0,1858 6	1895	0,134481	0,94689
AN_11K_ B15_ES50_P4	18	2610 0	3,6912	240	6,9725 8	19352,4	3,84068	0,94689
AN_2(K12)A_ B17_ES50_P1	19	1226 7,3	3,6912	1248	4,1228 3	4666,03	0,985736	0,94689
AN_19K_ B16_ES50_P3	20	3942 5,6	3,6912	260	10,444 6	24537,1	2,79801	0,94689
AN_4A_ B6_ES50_P2	21	2475	3,6912	47,3	0,4120 91	2032	0,169823	0,94689
AN_17K_ B8_ES50_P4	22	3001, 93	3,6912	41,4	1,0517 5	2012,29	0,584801	0,94689
AN_1A_ B5_ES50_P3	23	8400	3,6912	50	3,1854	2642,95	0,500227	0,94689
AN_2(K11)A_ _B10_ES50_P4	24	2322 0,2	3,6912	300	8,7793 8	6304,24	0,452701	0,94689
AN_3A_B7_ES 51_P3	25	1965	1,829	71,5	0,1858 6	1837	0,118642	0,830822
AN_11K_ B15_ES51_P4	26	2610 0	1,829	240	6,9725 8	13436,4	2,18219	0,830822
AN_2(K12)A_ B17_ES51_P1	27	1226 7,3	1,829	1248	4,1228 3	2486,78	0,318489	0,830822
AN_19K_ B16_ES51_P3	28	3942 5,6	1,829	260	10,444 6	20178,4	1,47299	0,830822
AN_4A_ B6_ES51_P2	29	2475	1,829	47,3	0,4120 91	1867	0,123399	0,830822
AN_17K_ B8_ES51_P4	30	3001, 93	1,829	41,4	1,0517 5	38,1648	0,006445 43	0,830822
AN_1A_ B5_ES51_P3	31	8400	1,829	50	6,3708	1700,68	0,469271	0,830822
AN_2(K11)A_ _B10_ES51_P4	32	2322 0,2	1,829	300	17,558 8	5974,73	0,710631	0,830822

Bulguların değerlendirilmesi için her bir senaryo için operasyon kodu üretilmektedir. Operasyon kodu “AN_2(K11)A _B13_ES51_ P2” dizel makine üzerinde 2 Aralık 2019 yılındaki operasyon değerleri esas alınarak, B13 kodlu batarya ES 51 kodlu elektrik motoru ve P2 kodlu panelleri kullanılarak yapılan HSS uygulamasını göstermektedir. Tüm analizlerde yakıt olarak MDO kullanılmakta ve yoğunluğu 882 kg/m³ olarak alınmaktadır.

Tablo 5.8 Deneysel çalışmalar üzerinde 32 Farklı operasyon için hibrit sevk sistemi bulguları_2

Op. No.	[OBS]	[OBH]	[OBA]	[PG]	[PS]	[PA]	[TV]
1	1	19,0992	0,023	10	5	1	63,8341
2	1	9,26016	0,0115	190	1	1	72,3561
3	2	80,8162	0,102	80	13	7	31,2967
4	9	113,381	0,1017	165	13	14	55,0826
5	1	5,9541	0,007	190	1	1	7,72501
6	1	40,4081	0,051	80	8	5	23,9092
7	2	23,1274	0,04	165	4	5	14,1029
8	4	76,3968	0,092	190	8	8	26,7891
9	1	5,49956	0,007	10	5	1	29,9446
10	1	11,5637	0,02	190	1	1	41,2101
11	1	9,39859	0,0123	80	1	1	0,612829
12	2	25,1958	0,0226	165	3	4	55,6027
13	1	12,1684	0,0102512	10	11	1	7,36595
14	2	18,7972	0,0246	190	2	2	15,7037
15	1	12,5536	0,0109769	80	2	2	4,04717
16	1	9,26016	0,0115	10	20	2	5,15641
17	1	13,6291	0,0353	165	1	2	72,3561
18	4	138,393	0,23908	190	11	11	55,0826
19	2	68,7516	0,16	10	59	6	23,9092
20	3	100,697	0,2337	165	10	11	26,7891
21	1	9,39751	0,0225	80	1	1	41,2101
22	4	34,3469	0,082	190	3	3	55,6027
23	3	19,9072	0,0546	165	2	3	15,7037
24	1	40,4081	0,051	190	2	2	5,15641
25	1	13,6291	0,0353	165	1	2	63,8341
26	2	69,1966	0,11954	190	6	6	31,2967
27	1	34,3758	0,08	10	15	2	7,72501
28	1	33,5657	0,0779	165	4	5	14,1029
29	1	9,39751	0,0225	80	1	1	29,9446
30	1	8,58672	0,0205	190	1	1	0,612829
31	2	13,2715	0,0364	165	2	3	7,36597
32	2	80,8162	0,102	190	2	2	4,04715

En yüksek verimlilik çıktısı “AN_3A_B12_ES50_ P4” ve “AN_3A_B7_ES50_ P3” operasyon kodlarından %72,3561 ile elde edilmektedir. Sistemi oluşturan diğer parametrelerden batarya hacmi ve ağırlığı; panel alanı ve sayısı açısından

değerlendirildiğinde en uygun operasyon değeri “AN_3A_B12_ES50_P4” den elde edilmektedir. Bu operasyonda B12 kodlu 100 Ah kapasiteye sahip lityum iyon batarya, ES50 kodlu 3,6912 kW güç sağlayan elektrik motoru ve 190 W maksimum güç çıkışı sağlayan güneş panelleri kullanılmaktadır. İkincil en yüksek verimlilik çıktısını %63,8341 ile “AN_3A_B1_ES51_P1” ve “AN_3A_B7_ES51_P3” operasyon kodları oluşturmaktadır.

En düşük verimlilik çıktısı “AN_17K_B14_ES51_P2” ve “AN_17K_B8_ES51_P4” operasyon kodlarından %0,612829 olarak elde edilmektedir. ES 51 kodlu elektrik motorunun 1,829 kW lık güç çıkışı dizel makinenin maksimum %14’lik yük durumunu karşıladığından ve 17 Kasım 2019 da elde edilen yük eğrilerin genellikle bu değerin üstünde olması nedeniyle verimlilik çıktısı oldukça düşük seviyelerde kalmaktadır. Kurulacak sistem bir birer adet batarya ve güneş paneli ile işletilebilmekte fakat kazanımları nerdeyse yok denecek kadar az olmaktadır. En düşük verimlilik çıktılarında birinide %4,04717 ile “AN_2(K11)A_B13_ES51_P2” ve “AN_2(K11)A_B10_ES51_P4” operasyon kodları oluşturmaktadır.

Sistemin kurulması için ihtiyaç duyulacak donanımların adet bazında en fazla “AN_11K_B3_ES50_P3” operasyon kodunda ulaşılmaktadır. Ana makinenin genellikle düşük yüklerde işletildiği 435 dakika süren operasyon ve kullanılan 3,6912 kW elektrik motoruyla dizel makinenin %29’luk yükleri karşılaması toplamda %55,0826 oranında verimlilik sağlamaktadır. Kullanılması gereken batarya, panel sayısı, panel alanı sırasıyla 9, 13 ve 14 tür. Seçilen panellerin güç çıktılarının farklı olmasına karşın kapladıkları alan açısından bakıldığında benzer sonuçlar elde edilmektedir.

BÖLÜM ALTI

SONUÇ VE ÖNERİLER

Uluslararası Denizcilik Örgütünün deniz taşıtlarının sevk sistemindeki verimliliği artırmayı ve gemilerden kaynaklı salım miktarlarını azaltmayı amaçlaması göz önünde bulundurularak hibrit sevk sistemlerinin deniz taşıtlarında kullanılabilirliğini bu çalışmada incelenmektedir.

HSS tüm ekipmanları çalışma prensipleri, teknik özellikleri araştırılmakta ve deniz taşıtlarında verimlilik kazanımının tam olarak ifade edilmesi amacıyla verimlilik kavramı derinlemesine incelemekte ve hedef aldığı noktalar belirlenmektedir. Ayrıca verimlilik, etkinlik ve etkililik arasındaki kullanım ve hedef farkları belirtilmektedir.

Bu inceleme temelinde deniz taşıtlarında verimlilik kazanımları üzerine detaylı literatür taraması yapılmakta ve oluşturulacak hibrit sevk sisteminin modeli kurulmaktadır. Literatür taramasında tez başlığı ve içeriğiyle ilgili 44 çalışma incelenmektedir. Bu çalışmaların verimlilik hedefleri göz önünde bulundurularak tez çalışmasında kurulacak modelin altyapısı oluşturulmaktadır. Modeli kurulan HSS üzerinde analizler gerçekleştirilip hedeflenen bulgular elde edilmekte ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Dizel makinelerin enerji üretimi sırasında atmosfere salınan zararlı gazlarının minimize edilmesi amaçlı çeşitli NO_x ve SO_x düşürücü yöntemler kullanılmaktadır. Bu sayede IMO sınırlamalarını ve enerji verimliliği düzenlemeleri karşılanmaktadır. Bu çalışma, dizel makinelerin düşük yükte işletilmesi sonucu oluşan yüksek yakıt tüketimi, salım miktarı ve bakım tutum maliyetleri dezavantajını ortadan kaldırmak amaçlı sevk sistemine akuple, enerji depolama sistemleri tarafından tahrik edilen elektrik motorlarının kullanılmakta ve böylece özellikle yakıt tüketiminden önemli bir miktarda kazanım sağladığı bulgular aşamasından çıkarılmaktadır.

Elektrik motoru seçimi yapılırken ana makinenin sahip olduğu devir aralıklarını ve düşük yüklerde çekilen güçleri karşılayan, toza ve su serpintilerine karşı dirençli olan, ayaklı ve flanşlı yapıya sahip, %95 üzerinde iletim verimliliğe sahip ve sürekli operasyonları karşılan asenkron elektrik motoru modelleri seçilmektedir.

Enerji depolama sistemleri açısından bakıldığında Lityum iyon fosfat tipi olanların yüksek kapasiteye, çevrim ömrüne, birim başına verdiği enerji miktarı açısından düşük ağırlığa ve hacime sahip olduğu görülmektedir. Buna karşın Lityum iyon fosfat tipi bataryalar düşük sıcaklıklarda nerdeyse kapasitesinin yarısı kadar enerji sağlayabilmekte, birim enerji başına maliyetleri diğer batarya tiplerine göre daha fazladır. Kurulum yapıldığı bölgede gaz sıkışması oluşumunu engellemek amacıyla iyi bir havalandırma sistemi kurulumu gerekmektedir.

Enerji depolama sistemleri geri dönüşümü açısından incelendiğinde kurşun asit ve Ni- MH bataryaların enerji üretimi sırasında zararlı kimyasallar ortaya çıkarmaması çevreci yönlerini ön plana çıkarırken, Ni-Cd tipi bataryaların düzenli bir biçimde geri dönüşüme sokulmadığında toprağı, suyu ve havayı kirlettiği sonucuna varılmaktadır. Lityum bataryaların çevrim ömrünü tamamladığında doğaya zarar vermemesi adına geri dönüşüm sistemlerine iletilmesi gerekmektedir. Enerji depolama sistemleri çok fazla tehlikeli kimyasal madde içeren bataryalar, çevrim ömrünü tamamladığı zaman uygun biçimde geri dönüşüm sistemlerine sokulmazlarsa, çevre kirliliğine neden olmaktadır.

Römorkörden elde edilen bulgular değerlendirildiğinde, gerçekleştirilen römorkaj hizmetinin hibrit sevk sistemi kurulumunda elde edilecek verimlilik çıktısını önemli ölçüde etkilemektedir. Gemi yanaştırma/kaldırma hizmetlerin verildiği operasyonlarda elde edilen verimlilik çıktıların daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu hizmetlerde operasyon süresinin kısa olması ve itme/çekme haricinde genel olarak ana makinelerin düşük yükte işletilmesi yüksek verimlilik çıktısı sağlamaktadır. Bu duruma MK1 römorkörün 3 ve 4 Aralık tarihlerinde gerçekleştirdiği Gemi yanaştırma/kaldırma hizmetlerinden sırasıyla elde edilen %72,356 ve %37,65851 verimlilik çıktısıdır.

Operasyon verilerin elde edildiği tarihlerdeki hava koşulları göz önünde bulundurulduğunda katalog verilerinin kullanılarak ara yüzde elde edilen yakıt tüketimi değerleri ile anlık kayıt sırasında elde edilen veriler arasında belirli bir miktar fark oluşmaktadır. Bu farkı operasyon sırasındaki hava sıcaklığı, akıntı hızı ile rüzgar hızı ve şiddeti etkilemektedir.

Düşük yüklerde işletme süresi verimlilik çıktısını olumlu yönde etkilemesine karşın, operasyon sürelerin uzaması enerji depolama sistemleri sayısını etkilemekte ve gemide ağırlık ve hacim artışına sınırsız izin verilemeyeceği düşünüldüğünde elde edilecek verimlilik oranlarını etkilemektedir. En önemli örneği “K12_11K_B7_A500(1)” operasyonun analizi sonucunda elde edilmektedir. Herhangi bir ağırlık sınırlaması olmadan analiz gerçekleştirildiğinde verimlilik çıktısı %52,8627 iken, ağırlık ve hacim sınırlaması yapıldığında bu oran %1,91785 kadar gerilemektedir. %1 olarak kabul edilen ağırlık ve hacim sınırlaması daha üst seviyelere çekilerek verimlilik artırılabilen, fakat bu durum batarya sayısını ve beraberinde maliyetleri artırmaktadır.

Bulgular belirli bir bölgede işletilen römorkörlerin sevk sistemlerinden elde edilen verilerin analizinden elde edilmektedir. Benzer uygulama belirli bir bölgede hizmet veren feribotlar gibi farklı gemi tiplerinde de uygulanabilir. Bu sayede hibrit sevk sisteminin deniz taşıtlarında kullanım ağı genişletilir.

Römorkörler üzerinde gerçekleştirilen analizler bulgularında bataryalar için enerji birincil olarak kara tesisinden redresör yardımıyla römorkörlerin operasyona gitmediği durumlarda sağlanmaktadır. Laboratuvar üzerinde gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen bulgularda, yenilebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, panellerden üzerinden enerji depolama sistemlerine enerji aktarımı sağlamaktadır. Benzer güneş panelleri uygulamaları römorkörlerin operasyonlarında kullanıldığında gerekli olacak güneş panelleri alanları MK1 ve K11(12) için sırasıyla 75 ila 104, 388 ila 5370 metrekare arasında değişmekte ve değişim sırasıyla 834 ila 1156; 4312 ila 59667 kg arasında ağırlık artışına neden olmaktadır. Bu durum römorkör üzerinde

uygulanabilirliğini azaltmaktadır. İlerleyen çalışmalarda hizmet verilen bölgede yenilenebilir enerji kaynaklarının güneş, rüzgar, dalga gibi tümünden yüksek verimlilikte enerji üretimi sağlayan bir kara tesisi kurulumu gerçekleştirilebilir. Bu sayede elde edilecek verimlilik çıktısı daha üst seviyelere çıkarılabilir.

Enerji depolama sistemleri üzerinde iyileştirmeler yapılarak çevrim ömrü, çalışma sıcaklıkları aralığı, birim ağırlık ve hacim başına enerjisi artırılabilir; teknolojik gelişmelerle üretim maliyetleri daha düşük seviyelere çekilebilmektedir. Elektrik motorlarının değişken devirlere daha yüksek verimlilikte karşılayabilen modelleri geliştirilebilir. Enerji depolama sistemleri gibi birim güç başına ağırlık ve hacim çıktıları teknolojik gelişimlerle birlikte indirgenebilir. Enerji depolama sistemlerin çok küçük boyutlara indirgenmesi durumunda yalnızca belirli bir bölgede hizmet veren deniz taşıtlarında değil daha geniş bölgelere uygulanabilirliği sağlanabilmektedir.

Hibrit sevk sisteminin deniz taşıtlarındaki verimlilik kazanımları üzerine gerçekleştirilen bu çalışma, bu alanda çalışma yapacak akademisyenler, sektör paydaşları için önemli bir kaynak oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

- ABB. (2021). *Energy efficiency handbook toward zero emission ship operations*. 7 Mart 2021, https://library.e.abb.com/public/899aad46751049198c35ce2420096d1a/PUBLIC_VERSION_ABB_Energy_Efficiency_Handbook_Toward_Zero-Emission_Shipping_2021.pdf.
- Accucell. (2021). *2200mAh ile AccuCell HHR2200 Mignon AA hücreli Ni-MH pil flattop*. 26 Şubat 2021, https://akkushop-turkiye.com/tr/2200mah-ile-accucell-hhr2200-mignon-aa-huecreli-ni-mh-pil-flattop/?gclid=Cj0KCQiA7NKBBhDBARIsAHbXCB6hQ1KalwVMN4vca32FKpIc8CZtE7iCLgzEnXOTNxQbNU75wDD-rqoaAm-BEALw_wcB.
- Acomi, N. ve Acomi, O. C. (2014). The influence of different types of marine fuel over the energy efficiency operational index. *Energy Procedia*, 59, 243-248.
- Alturki, W. (2017). Four-stroke and two-stroke marine engines comparison and application. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 7(4), 49-56.
- Amazon. (2020). *4 pack NiZn AA size 2500mWh 1.6V rechargeable battery*. 7 Şubat 2021, <https://www.amazon.com/Pack-2500mWh-Rechargeable-Battery-Cameras/dp/B00W1DASO2>.
- Anadolu Motor. (2020). *4LD 820*. 20 Şubat 2020, <https://www.anadolumotor.com/tr/urunler/antor-4-ld-820>.
- Andriiovych Kuropyatnyk, O. ve Victorovych Sagin, S. (2019). Exhaust gas recirculation as a major technique designed to reduce nox emissions from marine diesel engines. *NAŠE MORE: znanstveno-stručni časopis za more i pomorstvo*, 66(1), 1-9.

Ansmann. (2021a). *Ansmann nikel çinko LR03 AAA NiZn pil 4 sette 1.6 volt 900mWh*. 24 Şubat 2021, <https://akkushop-turkiye.com/tr/ansmann-nikel-cinko-lr03-aaa-nizn-pil-4-sette-16-volt-900mwh/>.

Ansmann. (2021b). *Ansmann 1x4 NiZn Micro AAA 900mAh 1321-0001*. 24 Şubat 2021, https://www.techinn.com/en/ansmann-1x4-nizn-micro-aaa-900mah-1321-0001/137796176/p?utm_source=google_products&utm_medium=merchant&id_product=11783897&country=tr.

Ansmann. (2021c). *Ansmann Mignon LR06 AA NiZn pil 4'lü sette 1.6 volt 2500mWh*. 24 Şubat 2021, <https://akkushop-turkiye.com/tr/ansmann-mignon-lr06-aa-nizn-pil-4-lue-sette-16-volt-2500mwh/>.

Arifoğlu, U. (2016). *Matlab 9.1 Simulink ve mühendislik uygulamaları*. İstanbul: Alfa Yayınları.

Arts Energy. (2021). *VRE SC 1.2V 1800Mah Ni-Cd Pil*. 21 Şubat 2021, https://www.direnc.net/vre-sc-12v-1800mah-ni-cd-pil?language=tr&h=a7731035&gclid=Cj0KCQiA1KiBBhCcARIsAPWqoSoZOdn44JoDv8vhTvLFDESfBYQYDMqPQJwnDv8RyJRPLKtnvd8yX-4aAjN5EALw_wcB.

Assefi, M., Maroufi, S., Mayyas, M., ve Sahajwalla, V. (2018). Recycling of Ni-Cd batteries by selective isolation and hydrothermal synthesis of porous NiO nanocuboid. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4671-4675.

Atakale. (2021). *Polikristal güneş paneli 165 Watt*. 2 Ocak 2021, <https://www.hepsiburada.com/atakale-polikristal-gunes-paneli-165-w-pm-HB00000PWSNY>.

Baliga, B. J. (2009). *Advanced power rectifier concepts*. London: Springer Science &

Business Media.

Banshee. (2021). *Banshee LiFeP04 deep cycle battery 100Ah 12V with built-in BMS*. 21 Şubat 2021, https://www.amazon.com/Banshee-LiFeP04-Cycle-Battery-Built/dp/B07YLC1FXC/ref=sr_1_13?dchild=1&keywords=12v+100ah+battery&qid=1613076774&sr=8-13.

Baranescu, R. ve Challen, B. J. (1999). *Diesel engine reference book*. United States: Butterworth-Heinemann Limited.

Bari, S. (2013). *Diesel engine: combustion, emissions and condition monitoring*. Rijeka: Intech.

Bayraktar, M. (2021). *Gemilerde LNG yakıtı kullanımının avantajları ve dezavantajları*. 10 Mart 2021, https://drive.google.com/file/d/1nODhIXXG5G8e-kNB18Krum2QPboa_Q7o/view.

Bennabi, N., Charpentier, J. F., Menana, H., Billard, J. Y., ve Genet, P. (2016). *Hybrid propulsion systems for small ships: Context and challenges*. XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM) (1. Baskı) içinde (2948-2954). Lausanne: IEEE.

Bolvashenkov, I., Herzog, H. G., Rubinraut, A., ve Romanovski, V. (2014). Possible ways to improve the efficiency and competitiveness of modern ships with electric propulsion systems. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC)* (1. Baskı) içinde (1-9). Coimbra: IEEE.

Braithwaite, J. W. ve Auxer, W. L. (1995). *Sodium beta batteries*. UK: McGraw-Hill

Bresser, D., Paillard, E., ve Passerini, S. (2015). Lithium-ion batteries (LIBs) for medium-and large-scale energy storage: Current cell materials and components. *Advances in batteries for medium and large-scale energy storage* (1. Baskı) içinde

(125-211). Sawston: Woodhead Publishing.

Bui, T. M., Dinh, T. Q., Marco, J., ve Watts, C. (2018). An energy management strategy for DC hybrid electric propulsion system of marine vessels. *5th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT)* (1.Baskı) içinde (80-85). Thessaloniki: IEEE.

Butler, P. C., Eidler, P. A., Grimes, P. G., Klassen, S. E., ve Miles, R. C. (2001). Zinc/bromine batteries. *Handbook of Batteries* (1. Baskı) içinde (37.1-37.16). UK: McGraw-Hill.

Calder, N. (1992). *Marine diesel engines: maintenance, troubleshooting, and repair*. Maine: International Marine Publishing Co.

Calder, N. (2007). *Marine diesel engine care and repair*. Maine: International Marine Publishing Co.

Cambridge Dictionary. (2019). *Effectiveness, efficiency, growth, profit, quality*. 26 Ağustos 2019, <https://dictionary.cambridge.org/en/>.

Campbell, J. P., Bownas, D. A., Peterson, N. G., ve Dunnette, M. D. (1974). *The measurement of organizational effectiveness: A review of relevant research and opinion*. San Diego: Navy Personnel Research and Development Center.

Cano, Z. P., Banham, D., Ye, S., Hintennach, A., Lu, J., Fowler, M., ve Chen, Z. (2018). Batteries and fuel cells for emerging electric vehicle markets. *Nature Energy*, 3(4), 279-289.

Carlton, J. (2018). *Marine propellers and propulsion*. UK: Butterworth-Heinemann.

Cattaneo, F. (2018). *Selective catalytic reduction for marine applications: dynamic modelling and system integration*. Yüksek Lisans Tezi, Delft University of

Technology, Delft.

Chai, M., Reddy, B. D., Sobrayen, L., Panda, S. K., Die, W., ve Xiaoqing, C. (2016). Improvement in efficiency and reliability for diesel-electric propulsion based marine vessels using genetic algorithm. *IEEE Transportation Electrification Conference and Expo, Asia-Pacific (ITEC Asia-Pacific)* (1.Baskı) içinde (180-184). Busan: IEEE.

Chapman, J. S. (2005). *Electric machinery fundamentals*. UK: Tata McGraw-Hill Education.

Chi, H., Pedrielli, G., Kister, T., Ng, S. H., ve Bressan, S. (2015). An AIS-based framework for real time monitoring of vessels efficiency. In *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (1.Baskı) içinde (1218-1222). Singapore: IEEE.

Chi, H., Pedrielli, G., Ng, S. H., Kister, T., ve Bressan, S. (2018). A framework for real-time monitoring of energy efficiency of marine vessels. *Energy*, 145, 246-260.

Chopra, K. (2017). *10 technologies/methods for controlling NOx and SOx emissions from ships*. 25 Eylül 2019, <https://www.marineinsight.com/tech/10-technologiesmethods-for-controlling-nox-sox-emissions-from-ships/>.

Ckadk. (2021). *18650 pil paketi yüksek kalite süper şarj edilebilir taşınabilir lityum iyon pil DC 12V 32000mAh pil paketi*. 23 Şubat 2021, https://tr.aliexpress.com/i/1005001281648374.html?s=p&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_0,searchweb201603_0,ppcSwitch_0&algo_pvid=6e996fc2-d19b-4aed-ba86-2aca5ffef6e9&algo_expid=6e996fc2-d19b-4aed-ba86-2aca5ffef6e9-39.

Coates, D. ve Charkey, A. (2002). Nickel-zinc batteries. *Handbook of Batteries* (6. Baskı) içinde (1-37). London: McGraw-Hill.

- Corbett, J. J., ve Winebrake, J. J. (2008). Emissions tradeoffs among alternative marine fuels: total fuel cycle analysis of residual oil, marine gas oil, and marine diesel oil. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 58(4), 538-542.
- Crompton, T. P. (2000). *Battery reference book*. New York: Elsevier.
- Çok Eksen Elektronik. (2013). *Elektrik makinaları deney setleri*. 20 Mart 2021, http://www.cokesen.com/resimler/1468397348_Dokuman1.pdf.
- David, L. ve Thomas, B. R. (2001). *Handbook of batteries*. London: McGraw-Hill.
- Debreu, G. (1951). The coefficient of resource utilization. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 19 (3), 273-292.
- Dedes, Eleftherios K., Dominic A. Hudson, ve Stephen R. Turnock. (2016). Investigation of diesel hybrid systems for fuel oil reduction in slow speed ocean going ships. *Energy*, 114, 444-456.
- Dedes, Eleftherios K., Dominic A. Hudson, ve Stephen R. Turnock. (2012). Assessing the potential of hybrid energy technology to reduce exhaust emissions from global shipping. *Energy Policy*, 40, 204-218.
- Demirbaş, Ş., Irmak, E., Bayhan, S., ve Çolak, İ. (2008). Mikrodenetleyici ile rotoru sargılı asenkron motor rotor direncinin değiştirilerek tork ve hız kontrolü. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(4).
- Demirel, Y. (2012). *Energy: production, conversion, storage, conservation, and coupling*. London: Springer Science and Business Media.
- Dempsey, P. K. (2007). *Troubleshooting and repair of diesel engines*. London: McGraw-Hill Professional.

- Dempsey, P. K. ve Shelby, R. (2010). *Two-stroke engine repair and maintenance*. London: McGraw-Hill.
- Dhameja, S. (2001). *Electric vehicle battery systems*. UK: Elsevier.
- DNV GL (2020). *Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)*. 24 May 2020, <https://www.dnvgl.com/maritime/energy-efficiency/eedi-and-eeoi.html>.
- Duracell. (2021). *Duracell işletme cihazı pili DA 312 AC Zn / air 1.4Volt 160mAh*. 23 Şubat 2021, <https://akkushop-turkiye.com/tr/duracell-isitme-cihazı-pili-da-312-ac-zn/air-14volt-160mah/>.
- Electrical4U. (2019). *Squirrel cage induction motor: working principle and applications*. 26 Kasım 2019, <https://www.electrical4u.com/squirrel-cage-induction-motor/>.
- Electricalarticle. (2020). *Difference between squirrel cage and phase wound induction motor*. 20 Haziran 2020, <http://electricalarticle.com/difference-between-squirrel-cage-and-phase-wound-induction-motor/>.
- Elektrikport. (2019). *Doğru akım elektrik makinelerinde komütasyon ve endüvi reaksiyonu nedir?*. 25 Kasım 2019, <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/dogru-akim-elektrik-makinelerinde-komutasyon-ve-enduvi-reaksiyonu-nedir/>.
- Emadi, A. (2004). *Energy-efficient electric motors, revised and expanded*. Chicago: Illinois Institute of Technology.
- Enel. (2021). *Redresör 24-48-110-220V 10-110A 1 Faz*. 1 Mart 2021, <https://enel.com.tr/urun/redresor-24-48-110-220v-10-100a-1-faz/>.

- Enos, D. G. (2015). Lead-acid batteries for medium-and large-scale energy storage. *Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage* (1. Baskı) içinde (57-71). Sawston: Woodhead Publishing.
- Expertpower. (2021). *Expertpower 12V 100Ah lithium LiFePO4 deep cycle rechargeable battery*. 20 Şubat 2021, <https://www.amazon.com/ExpertPower-Rechargeable-2500-7000-lifetime-Applications/dp/B07X4Z8FML>.
- Falzarano, J. (2018). *Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power*. New York: Cambridge University Press.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General)*, 120(3), 253-281.
- Firstpower. (2021). *FirstPower LFP1250 12V 55Ah sealed lead acid battery*. 19 Şubat 2021, <https://www.amazon.com/FirstPower-LFP1250-Sealed-Lead-Acid/dp/B00CLX7QNS>.
- Fried, H. O., Lovell, C. K., Schmidt, S. S., ve Schmidt, S. S. (2008). *The measurement of productive efficiency and productivity growth*. Newyork: Oxford University Press.
- Galli, A. M., Gualeni, P., Stranieri, G., Qualich, S., ve Cusano, G. (2014). Monitoring and analysis of the performance data of a RO-PAX ship in the perspective of energy efficiency. *Polish Maritime Research*, 21(4), 18-26.
- Ganesan, V. (2012). *Internal combustion engines*. New Delhi: McGraw Hill Publishing Company
- Gao, L., Li, Z., Zou, Y., Yin, S., Peng, P., Shao, Y., ve diğer. (2020). A high-performance aqueous zinc-bromine static battery. *Iscience*, 23(8), 101348.

- Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., Loonstijn, M. A., ve Hopman, J. J. (2017). Pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion: Modelling, validation and performance quantification. *Applied Energy*, 206, 1609-1631.
- Geertsma, R. D., Negenborn, R. R., Visser, K., ve Hopman, J. J. (2017). Design and control of hybrid power and propulsion systems for smart ships: A review of developments. *Applied Energy*, 194, 30-54.
- Geertsma, R. D., Visser, K., ve Negenborn, R. R. (2018). Adaptive pitch control for ships with diesel mechanical and hybrid propulsion. *Applied Energy*, 228, 2490-2509.
- Gens Ace. (2021). 5000mAh 7.2V NiMH. 26 Şubat 2021, <https://www.pilottr.com/urun/gensace-5000mah-nimh-batarya.html>.
- Gesper. (2021). 80 Watt polikristal güneş paneli. 2 Ocak 2021 <https://www.hepsiburada.com/gesper-80-watt-polikristal-gunes-paneli-pm-HB00000BPGWO>
- GPS Endüstriyel. (2021). Rectifier/Redresör. 3 Mart 2021, <https://gpsendustriyel.com.tr/uploads/20872redresor.pdf>.
- Greenship. (2019). *ECA retrofit study*. 22 Mart 2019, <https://greenship.org/major-studies/eca-retrofit-study/>.
- Hacker, V. ve Mitsushima, S. (2018). *Fuel cells and hydrogen: from fundamentals to applied research*. London: Elsevier.
- Haider, S., Meyer, K. E., ve Schramm, J. (2011). *Two stroke diesel engines for large ship propulsion*. Doktora Tezi, Technical University of Denmark, Lyngby.

- Hamlen, R. P. ve Atwater, T. B. (2002). *Metal/air batteries handbook of batteries* (3. Baskı) içinde (1-54). New York: McGraw-Hill
- Hamzi, I., El Bakkali, M., Aghoutane, M., ve Touhami, N. A. (2020). Conversion efficiency study of the bridge rectifier at 2.4 GHz. *Procedia Manufacturing*, 46, 771-776.
- Hansson, J., Månsson, S., Brynolf, S., ve Grahn, M. (2019). Alternative marine fuels: Prospects based on multi-criteria decision analysis involving Swedish stakeholders. *Biomass and Bioenergy*, 126, 159-173.
- Hasan, S. R., ve Karim, M. M. (2019). Revised energy efficiency design index parameters for inland cargo ships of Bangladesh. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 234(1), 89-99
- Hasankhani, A., Vahidi, B., ve Riahy, G. H. (2014). Replacing diesel generator with wind turbine and li-ion battery in virtual power plant. *Science International*, 26(2).
- Hellen, G. (2010). *Wärtsilä product development to comply with IMO Tier III (NOx)*. 24 Kasım 2020, [https://portal.helcom.fi/Archive/archive2/CG%20NECA%201-2010_Presentation3_W%C3%A4rtsil%C3%A4%20Product%20Development%20to%20comply%20with%20IMO%20Tier%20III%20\(NOx\).pdf](https://portal.helcom.fi/Archive/archive2/CG%20NECA%201-2010_Presentation3_W%C3%A4rtsil%C3%A4%20Product%20Development%20to%20comply%20with%20IMO%20Tier%20III%20(NOx).pdf).
- Hountalas, D. T., Mavropoulos, G. C., Katsanos, C., Daniolos, S., Dolaptzis, I., ve Mastorakis, N. (2016). Potential for efficiency improvement of four-stroke marine diesel gensets by utilisation of exhaust gas energy. *International Journal of Global Warming*, 10(1-3), 133-157.
- Hountalas, D. T. ve Kouremenos, A. D. (1999). Development and application of a

- fully automatic troubleshooting method for large marine diesel engines. *Applied Thermal Engineering*, 19(3), 299-324.
- Huang, B., Pan, Z., Su, X., ve An, L. (2018). Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives. *Journal of Power Sources*, 399, 274-286.
- Huang, Z. ve Du, G. (2015). Nickel-based batteries for medium-and large-scale energy storage. *Advances in Batteries for Medium and Large-Scale Energy Storage* (1. Baskı) içinde (73-90). Sawston: Woodhead Publishing.
- Hughes, A. ve Drury, B. (2019). *Electric motors and drives: Fundamentals, types and applications*. Newnes: Elsevier.
- Hung, Y. Y., Yin, L. T., Wang, J. W., Wang, C. T., Tsai, C. H., ve Kuo, Y. M. (2018). Recycling of spent nickel–cadmium battery using a thermal separation process. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(2), 645-654.
- IMO (Uluslararası Denizcilik Örgütü). (2016). *Ship energy efficiency regulations and related guidelines International Maritime Organisation*. 24 Mart 2021, <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/M2%20Energy%20Efficiency%20Regulations%20-%20IMO%20TTT%20course%20presentation%20final1.pdf>.
- IMO. (2020a). *International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL)*. 25 Nisan 2020, [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx).
- IMO. (2020b). *Introduction to IMO*. 21 Haziran 2020, <http://www.imo.org/en/About/Pages/Default.aspx>.
- IMO. (2020c). *Nitrogen Oxides (NOx) – Regulation 13*. 22 Temmuz 2020

[https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-\(NOx\)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Nitrogen-oxides-(NOx)-%E2%80%93-Regulation-13.aspx).

IMO. (2020d). *Sulphur oxides (SO_x) and Particulate Matter (PM)*. 24 Temmuz 2020, [https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-\(SO_x\)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx](https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Sulphur-oxides-(SOx)-%E2%80%93-Regulation-14.aspx).

IMO. (2020e). *Prevention of Air Pollution from Ships*. 9 Eylül 2020, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx>.

IMO. (2020f). *Energy Efficiency Measures*. 5 Ekim 2020, <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>.

Imperato, M., Kaario, O., Larmi, M., ve Sarjovaara, T. (2018). Emission reduction methods and split fuel injection in a marine four-stroke engine. *Journal of Marine Science and Technology*, 23(1), 94-103.

Innocenzi, V., Ippolito, N. M., De Michelis, I., Prisciandaro, M., Medici, F., ve Vegliò, F. (2017). A review of the processes and lab-scale techniques for the treatment of spent rechargeable NiMH batteries. *Journal of Power Sources*, 362, 202-218.

Inspired Energy. (2021). *Inspired Energy NH2054HD34 - 14.4V 6.8A Lithium ion batarya*. 23 Şubat 2021 <https://birikimpilleri.net/dizayn-batarya-grubu/li-ion-batarya/14-4-volt/prd-inspired-energy-nh2054hd34-14-4v-6-8a-lihtium-ion-pil>.

Jafarmadar, S. (2013). The effect of split injection on the combustion and emissions in di and idi diesel engines. *Diesel Engine: Combustion, Emissions and Condition Monitoring*, 1, 1-32.

Kamala, S., Chauhan, P. J., Panda, S. K., Wilson, G., Liu, X., and Gupta, A. K. (2017).

Methodology to qualify marine electrical propulsion system architectures for platform supply vessels. *IET Electrical Systems in Transportation*, 8(2), 152-165.

Karataş Çetin, Ç. K. (2012). *Limanlarda örgütsel değişim ve değer zinciri sistemlerinde etkililik analizi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.

Kaya, C. ve Kökkülünk, G. (2020). Biodiesel as alternative additive fuel for diesel engines: An experimental and theoretical investigation on emissions and performance characteristics. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-23.

Kazempour, S. J., ve Moghaddam, M. P. (2009). Economic viability of NaS battery plant in a competitive electricity market. *International conference on clean electrical power* (1. Baskı) içinde (453-459). Capri: IEEE.

Khajepour, A., Fallah, M. S., ve Goodarzi, A. (2014). *Electric and hybrid vehicles: technologies, modeling and control-A mechatronic approach*. UK: John Wiley&Sons.

Kiehne, H. A. (2003). *Battery technology handbook*. London: CRC Press.

Kılıç, A. (2006). *Gemilerden kaynaklanan egzoz yayımları ve dağılım modellemesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kılıç, A. (2014). *Marmara Bölgesi'ndeki deniz ve hava taşımacılığında kaynaklanan emisyon envanterinin oluşturulması ve hava kirliliğinin modellenmesi*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM). (2021). *Deniz vasıtalarımız*. 30 Mayıs 2021, <https://kiyiemniyeti.gov.tr/Data/1/Files/Document/Documents/2a/Og/9F/w5/DEN%C4%B0Z%20VASITALARIMIZ%202021-2.pdf>.

Kim, S. H. (2017). *Electric motor control: Dc, AC, and BLDC motors*. New York: Elsevier.

Kıyak, İ. ve Kaya, K. Y. (2020). Elektrikli taşıtlarda kullanılan indüksiyon/sabit mıknatıslı motor sürücülerinin simülasyonu ve motor dinamiklerinin analizi. *International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences*, 32(2), 152-157.

Koncar. (2006). *Totally enclosed three phase low voltage squirrel cage induction motors*. 27 Mayıs 2020, <http://www.koncar-gim.hr/documents/Catalogue+LV+Squirrel+Cage+Motors.pdf>.

Konur, O. (2016). *Güneş enerjili teknelerde enerji verimliliğini artırma teknikleri*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Kökkülünk, G. (2012). *Su buharı enjeksiyonlu bir dizel motorunda egzoz gazları geri dolaşımının (EGR) performans ve emisyonlara etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Kökkülünk, G., Parlak, A., Ayhan, V., Cesur, I., Gonca, G., ve Boru, B. (2014). Theoretical and experimental investigation of steam injected diesel engine with EGR. *Energy*, 74, 331-339.

Kökkülünk, G. (2016). *İki stroklu gemi dizel motorlarında performans izleme ve değerlendirme uygulaması*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Krohne. (2016). *OPTIMASS 3400 technical datasheet*. 20 Şubat 2020, <https://www.instrumart.com/assets/OPTIMASS-3400-datasheet.pdf>.

Krylov, V. V. ve Pritchard, G. V. (2007). Experimental confirmation of the propulsion of marine vessels employing guided flexural waves in attached elastic fins. *Journal of Fluids and Structures*, 23(2), 297-307.

Kuiken, K. (2017). *Diesel engines: for ship propulsion and power plants: from 0 to 100,000 kW*. Onnen: Target Global Energy Training.

Kumar, B. A., Chandrasekar, M., Chelliah, T. R., ve Ramesh, U. S. (2018). Coordinated control of electric tugboats considering inductive power transfer for better fuel efficiency. *IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)* (1. Baskı) içinde (1-6). Chennai: IEEE.

Kumar, B. A., Selvaraj, R., Chelliah, T. R., ve Ramesh, U. S. (2019). Improved fuel-use efficiency in diesel-electric tugboats with an asynchronous power generating unit. *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 5(2), 565-578.

Kunicka, M. ve Litwin, W. (2019). Energy efficient small inland passenger shuttle ferry with hybrid propulsion-concept design, calculations and model tests. *Polish Maritime Research*, 26(2), 85-92.

Kwasieckyj, B. (2013). *Hybrid propulsion systems: Efficiency analysis and design methodology of hybrid propulsion systems*. Yüksek Lisans Tezi, Delft University of Technology, Delft.

Lamas, M. I., ve Rodríguez, C. G. (2012). Emissions from marine engines and NO_x reduction methods. *Journal of Maritime Research*, 9(1), 77-81.

Lana, A., Pinomaa, A., Peltoniemi, P., Lahtinen, J., Lindh, T., Montonen, J. H., ve diğer. (2019). Methodology of power distribution system design for hybrid short sea shipping. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 66(12), 9591-9600.

Lexron. (2021). 10 Watt polikristal solar panel. 2 Ocak 2021, <https://www.newshinenergy.com/lexron-10-watt-polikristal-solar-panel>

Liang, H. L. (2017). *What you need to know: The 2020 IMO fuel sulphur regulation*.

22 Mart 2020, http://www.seatrade-maritime.com/images/PDFs/SOMWME-whitepaper_Sulphur-p2.pdf.

Lin, C. Y. (2002). Reduction of particulate matter and gaseous emission from marine diesel engines using a catalyzed particulate filter. *Ocean Engineering*, 29(11), 1327-1341.

Link, A. N., O'Connor, A. C., ve Scott, T. J. (2015). *Battery technology for electric vehicles: Public science and private innovation*. London: Routledge.

Lipman, T. E. ve Lidicker, J. (2019). Wind-assist marine demonstration for ferries: prospects for saving diesel fuel with wind power. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 22(1), 68-83.

Litwin, W., Leśniewski, W., Piątek, D., ve Niklas, K. (2019). experimental research on the energy efficiency of a parallel hybrid drive for an inland ship. *Energies*, 12(9), 1675.

Litwin, W., Leśniewski, W., ve Kowalski, J. (2017). Energy efficient and environmentally friendly hybrid conversion of inland passenger vessel. *Polish Maritime Research*, 24(4), 77-84.

LR (Lloyd's Register). (2014). *Global marine fuel trends 2030*. 25 Temmuz 2019, <https://www.lr.org/en/insights/global-marine-trends-2030/global-marine-fuel-trends-2030/>.

LR. (2018). *Zero-emission vessels 2030. How do we get there?* 29 Temmuz 2019, <https://www.lr.org/en/insights/articles/zev-report-article/>.

LR. (2019). *LR and UMAS release new 'Zero-emission vessels transition pathways' study*. 29 Temmuz 2019, <https://www.lr.org/en/latest-news/lr-and-umas-release-new-zero-emission-vessels-transition-pathways-study/>.

Lu, N., Weimar, M. R., Makarov, Y. V., ve Loutan, C. (2011). An evaluation of the NaS battery storage potential for providing regulation service in California. *IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition* (1. Baskı) içinde (1-9). Phoenix: IEEE.

Lu, X. ve Yang, Z. (2014). *Advances in batteries for medium and large-scale energy storage*. Cambridge: Woodhead Publishing

Ma, Y., Bi, H., Hu, M., Zheng, Y., ve Gan, L. (2019). Hard sail optimization and energy efficiency enhancement for sail-assisted vessel. *Ocean Engineering*, 173, 687-699.

Ma, Z., Chen, H., ve Zhang, Y. (2017). Impact of waste heat recovery systems on energy efficiency improvement of a heavy-duty diesel engine. *Archives of Thermodynamics*, 38(3), 63-75.

MAN. (2014). *Hybrid propulsion flexibility and maximum efficiency optimally combined*. 22 Mart 2020, <https://marine.man.eu/docs/defaultsource/shopwaredocumentsarchive/hybridpropulsion.pdf?sfvrsn=4>.

Manea, E., Chitu, M. G., Zagan, S., ve Bormambet, M. (2013, November). Study on the imo quality requirements regarding marine pollution from ships. *International Conference on Management and Industrial Engineering* (6. Baskı) içinde (512-519). Bucharest: Niculescu Publishing House.

MarineTraffic. (2019). *Ship tracking*. 5 Aralık 2019, <https://www.marinetraffic.com/tr/>.

Marino, R., Tomei, P., ve Verrelli, C. M. (2010). *Induction motor control design*. UK: Springer Science and Business Media.

- Marongiu, A., Damiano, A., ve Heuer, M. (2010). Experimental analysis of lithium iron phosphate battery performances. *IEEE International Symposium on Industrial Electronics* (1. Baskı) içinde (3420-3424). Bari: IEEE.
- May, G. J., Davidson, A., ve Monahov, B. (2018). Lead batteries for utility energy storage: A review. *Journal of energy storage*, 15, 145-157.
- Mollenhauer, K. ve Tschöke, H. (2010). *Handbook of diesel engines*. UK: Springer Science and Business Media.
- Motley, M. R., Nelson, M., ve Young, Y. L. (2012). Integrated probabilistic design of marine propulsors to minimize lifetime fuel consumption. *Ocean Engineering*, 45, 1-8.
- Nag, P. K. (2002). *Basic and applied thermodynamics*. UK: Tata McGraw Hill Publishing.
- Nam, D. (2000). *How to reduce emission of nitrogen oxides [NOx] from marine diesel engines in relation to Annex VI of MARPOL 73/78*. 16 Mart 2021, https://commons.wmu.se/cgi/viewcontent.cgi?article=1297&context=all_dissertations.
- Nam, K. H. (2018). *AC motor control and electrical vehicle applications*. UK: CRC press.
- Nationalgrideso. (2019). *Future energy scenarios*. 15 Mart 2021, <https://www.nationalgrideso.com/sites/eso/files/documents/fes-2019.pdf>.
- Ng, C., Tam, I. C., ve Wu, D. (2019). System modelling of organic rankine cycle for waste energy recovery system in marine applications. *Energy Procedia*, 158, 1955-1961.

Nielsen, K. V., Blanke, M., Eriksson, L., ve Vejlggaard-Laursen, M. (2018). Marine diesel engine control to meet emission requirements and maintain maneuverability. *Control Engineering Practice*, 76, 12-21.

Nikolaidis, P., ve Poullikkas, A. (2018). Cost metrics of electrical energy storage technologies in potential power system operations. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 25, 43-59.

Odyssey. (2014). *Battery technical manual*. 22 Şubat 2021, <https://www.odysseybatteries.com/docs/us-ody-tm.pdf>

Orbus. (2021). *Orbus lityum iyon LiFePO4 akü 60 amper*. 20 Şubat 2021, <https://www.ekonomiksolar.com/orbus-lityum-iyon-ak%c3%bc-60-amper.html>.

Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD). (2001). *Measuring productivity-OECD manual: Measurement of aggregate and industry-level productivity growth*. 26 Ağustos 2019, <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264194519-en.pdf?expires=1591107880&id=id&accname=ocid53022151&checksum=68ECFAD04601CF431D21E6ACD09B0378>.

Orion. (2021a). *Orion 1.2V Ni-Cd SC 2200mAh şarj edilebilir pil – HD*. 24 Şubat 2021, <https://urun.n11.com/sarj-edilebilen-pil/orion-12v-ni-cd-sc-2200mah-sarj-edilebilir-pil-hd-P417205169>.

Outdo. (2021a). *Outdo 12V 200 amper lityum akü*. 21 Şubat 2021, <https://www.enerjipazar.com/lityum-iyon-pil-aku/outdo-12v-200-amper-lityum-aku/?sl=tr>.

Outdo. (2021b). *Outdo 12V 100 amper lityum akü*. 23 Şubat 2021, <https://www.enerjipazar.com/lityum-iyon-pil-aku/outdo-12v-100-amper-lityum-aku/?sl=tr>.

Oxfordlearnersdictionaries. (2019). *Efficiency, productivity*. 26 Ağustos 2019, <https://www.oxfordlearnersdictionaries.com/definition/english/>.

Özçalıcı, M. (2017). *Matlab ile çok kriterli karar verme teknikleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Özsoysal, O. A. (2008). *Gemi arıza ve nedenleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Panasiuk, I. ve Turkina, L. (2015). The evaluation of investments efficiency of SOx scrubber installation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 87-96.

Panasonic. (2021a). *3.6V 2900mAh NCR18650PF li-ion pil*. 25 Şubat 2021, https://www.direnc.net/36v-2900mah-ncr18650pf-li-ion-pil?language=tr&h=51452639&gclid=CjwKCAiAmrOBbHA0EiwArn3mfO7lWjM7FR2g4c78tRewa1xaVvvBvOpOgZ-c3dKPQxqY6KNSp6mskRoC2-AQAvD_BwE.

Panasonic. (2021b). *Panasonic NCR20650A 3.7V 3100 mAh li-ion pil*. 24 Şubat 2021, https://www.robolinkmarket.com/panasonic-ncr20650a-3100-mah-lithium-pil-30a?gclid=CjwKCAiAmrOBbHA0EiwArn3mfMKgVE6cySj0_5pyZiCiZeId6tPv0aXNYfbdiLyFXTzvWfDW_zNlkBoC1fgQA_vD_BwE.

Panasonic. (2021c). *3.6V 2900mAh NCR18650PF li-ion pil*. 24 Şubat 2021, <https://www.direnc.net/36v-2900mah-ncr18650pf-li-ion-pil>.

Panasonic. (2021d). *Panasonic zinc air 1,4V ışıltme cihazı pili 6'lı paket*. 24 Şubat 2021, <https://www.hepsiburada.com/panasonic-zinc-air-1-4v-ısıtme-cihazı-pili-6-li-paket-p-OFISPR-230-10-6LB?gclid=CjwKCAiAyc2BBhAaEiwA44-wW7nHEWJRAcNTy2oS3T8FvXkcfxN8uImywfnl4AdGBsBiw65UjDt3yRoCy>

5MQAvD_BwE&isFashion=true&magaza=Yusuf%20Toptan&wt_gl=cpc.6803.s
hop.nelk.ofis-k%C4%B1rtasiye-ssc.

Parasiliti, F. ve Bertoldi, P. (2012). *Energy efficiency in motor driven systems*. Berlin: Springer Science and Business Media.

Parekh, R. (2003). *AC induction motor fundamentals*. 26 Kasım 2019, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/appnotes/00887a.pdf>.

Perner, A. ve Vetter, J. (2015). Lithium-ion batteries for hybrid electric vehicles and battery electric vehicles. *In Advances in battery technologies for electric vehicles* (1. Baskı) içinde (173-190). Sawston: Woodhead Publishing.

Powerbrick. (2021). *12V battery pack lithium iron-phosphate (LiFePO4) 100Ah*. 20 Şubat 2021, https://www.powertechsystems.eu/wp-content/uploads/specs/PowerBrick_PRO+_12V_100Ah_Lithium-Ion_battery.pdf.

Power-xtra. (2021). *Power-Xtra 1.2V Ni-Cd D size 4500 mah şarjlı (flat) pil*. 22 Şubat 2021, <https://www.power-xtra.com/tr/urun/ni-cd/power-xtra-12v-ni-cd-d-size-4500-mah-sarjli-flat-pil/419>.

Pulkrabek, W. W. (2013). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. Englewood: Prentice-Hall

Reif, K. (2014). *Diesel engine management*. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Salkind, A. J., Cannone, A. G., ve Trumbure, F. A. (2002). Lead acid batteries. *Handbook of Batteries*, (3. Baskı) içinde (14-23). New York: McGraw-Hill Companies.

Samsung. (2021). *Samsung INR21700 50E 5000mAh*. 22 Şubat 2021, <https://akkushop-turkiye.com/tr/samsung-inr21700-50e-5000mah-maks.-15a-36->

37-volt-

2125x708mm/?gclid=Cj0KCQiA7NKBBhDBARIsAHbXCB6Z81MJXtdgLLCcv
qAxKGD37OgMfQW6gC7IBnEgJ0bs08ZbfkUxu0oaAiB6EALw_wcB.

Schneekluth, H. ve Bertram, V. (1998). *Ship design for efficiency and economy*.
Oxford: Butterworth-Heinemann.

Schottel. (2013). *Schottel rudderpropeller the superior propulsion system*. 27 Aralık
2019, https://www.Schottel.de/fileadmin/data/pdf/eng/SRP_EN_0913_web.pdf.

Schottel. (2019a). *SRP rudderpropeller*. 26 Aralık 2019,
<https://www.Schottel.de/marine-propulsion/srp-rudderpropeller>.

Schottel. (2019b). *Our propulsion upgrades*. 29 Aralık 2019,
<https://www.Schottel.de/service/modernization/propulsion-upgrades>.

Sciberras, E. A., Zahawi, B., Atkinson, D. J., ve Juandó, A. (2015). Electric auxiliary
propulsion for improved fuel efficiency and reduced emissions. *Proceedings of the
Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the
Maritime Environment*, 229(1), 36-44.

Senft, J. R. (2007). *Mechanical efficiency of heat engines*. Cambridge: Cambridge
University Press.

Servo. (2006). *DC motors* 25 Kasım 2019, <http://www.e-jpc.com/pdf/dcmotors601-0241.pdf>.

Setec Power. (2021). *Rectifier battery charger*. 6 Mart 2021, <http://www.setec-power.com/rectifier-battery-charger/>.

Sickles, R. C. ve Zelenyuk, V. (2019). *Measurement of productivity and efficiency*.
Cambridge: Cambridge University Press.

- Sindhu, R., Rao, G. A. P., ve Murthy, K. M. (2018). Effective reduction of NO_x emissions from diesel engine using split injections. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3), 1379-1392.
- Soghomonian, Z., Prousalidis, J. M., Kanellos, F., Dallas, S. E., Spathis, D., Kourmpelis, T., ve Tsekouras, G. (2016). The role of efficiency of electric machinery on green shipping. *XXII International Conference on Electrical Machines (ICEM)* (1. Baskı) içinde (2968-2974). Lausanne: IEEE.
- Sonnenschein. (2021). 602/1250 2 Volt 1248 amper jel akü. 1 Mart 2021, <https://www.basaku.com.tr/sonnenschein-a602-1250-2-volt-1248-amper-jel-aku-fiyati/>.
- Sony. (2021). SONY VTC5 18650 3.7V 2600mAh li-ion şarjlı pil. 25 Şubat 2021, https://www.hepsiburada.com/sony-vtc5-18650-3-7v-2600mah-li-ion-sarjli-pil-30a-discharger-p-HBV000002J3AU?magaza=3B%20TEDAR%C4%B0K&wt_gl=cpc.6803.shop.n elk.ofis-k%C4%B1rtasiye-ssc&isFashion=true&gclid=CjwKCAiAmrOBBhA0EiwArn3mfOQcAFfA4Dc2S MSVAXO7yuOqA5N2DgW8cFIGvRkdup3fPn4WLQan0BoCc38QAvD_BwE.
- Soruşbay, C. (2020). *Internal combustion engines engine characteristics*. 26 Nisan 2020, <https://web.itu.edu.tr/~sorusbay/ME422/LN11.pdf>.
- Stevens, J. W. ve Corey, G. P. (1996). A study of lead-acid battery efficiency near top-of-charge and the impact on PV system design. *Conference Record of the Twenty Fifth IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (1. Baskı) içinde (1485-1488). Washington: IEEE.
- Symons, P. C. ve Butler, P. C. (2002). *Advanced batteries for electric vehicles and emerging applications-introduction*. New York: McGraw-Hill.

The International Council on Clean Transportation (ICCT). (2017). *Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015*. 26 Nisan 2020, https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/Global-shipping-GHG-emissions-2013-2015_ICCT-Report_17102017_vF.pdf.

The Weather Channel. (2019). *Hava durumu*. 5 Aralık 2019, <https://weather.com/tr-TR/>.

TNL. (2021a). *TNL 2400mAH SC NiCD şarjlı süpürge matkap pili*. 28 Şubat 2021, <https://urun.n11.com/ozel-pil/tnl-2400mah-sc-nicd-sarjli-supurge-matkap-pili-P440560698>.

TNL. (2021b). *TNL 1500mah 1.2v Ni-MH başlıksız şarjlı kalem pil AA*. 22 Şubat 2021, https://urun.n11.com/sarj-edilebilen-pil/tnl-1500mah-12v-ni-mh-basliksiz-sarjli-kalem-pil-aa-P459755484?gclsrc=aw.ds&&gclid=Cj0KCQiA1KiBBhCcARIsAPWqoSr_jOffg9Qaz1kB7M6xFVjne-PIV0hlhDsZKXyJqMlMhXE8Fm4YIsaAkiXEALw_wcB

Toyota. (2020). *RAV4 Teknik ve donanım özellikleri*. Kasım 2020, https://turkiye.toyota.com.tr/modelbrosur/RAV4/RAV4_TEKNIK_DONANIM.pdf.

Tran, T. A. (2017). Research of the scrubber systems to clean marine diesel engine exhaust gases on ships. *Journal of Marine Science: Research and Development*, 7(6), 243.

Trojan. (2021). *Trojan trillium 12.8V 92AH lityum akü - demir fosfat*. 20 Şubat 2021, https://www.hepsiburada.com/trojan-trillium-12-8v-92ah-lityum-aku-demir-fosfat-5-000-dongulu-p-HBV00000TWDRF?magaza=KampKaravanMarket&wt_gl=cpc.6817.shop.nelk.o-to-aksesuar-urunleri

ssc&isFashion=true&gclid=Cj0KCQiA962BBhCzARIsAIpWEL0VuxTUDNBBP
v9ZniT2fFNJaPPnkJrpRaoaijZq5hseu00xSmpdbfEaAkl-EALw_wcB.

Tuna Tartı ve Elektronik Sistemler. (2020a). *STK/STSS*. 20 Şubat 2020,
<https://www.tunasistem.com.tr/image/catalog/pdfler/STK-50kg-100kg-200kg-300kg-500kg-1t.pdf>.

Tuna Tartı ve Elektronik Sistemler. (2020b). *STK 50-100-200-500-1000 kg*. 20 Şubat 2020, <https://www.tunasistem.com.tr/yuk-hucreleri-loadcell/s-tipi-loadcell/stk-50-100-200-500-1000-kg>.

U.S. Department of Energy. (2014). *Determining electric motor load and efficiency*.
27 Ağustos 2019,
<https://www.energy.gov/sites/prod/files/2014/04/f15/10097517.pdf>.

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (UDHB). (2019). *1978 Protokolü ile Değişik, 1973 Tarihli Denizlerin Gemiler Tarafından Kirlenmesinin Önlenmesine Ait Uluslararası Sözleşme (MARPOL 73/78)* 22 Temmuz 2019,
<http://imo.udhb.gov.tr/TR/19Marpol.aspx>.

Van Nguyen, Q., Pascoe, S., ve Coglan, L. (2019). Implications of regional economic conditions on the distribution of technical efficiency: Examples from coastal trawl vessels in Vietnam. *Marine Policy*, 102, 51-60.

Varta. (2021a). *Promotive EFB*. 20 Şubat 2021, <https://www.tr.varta-automotive.com/tr-tr/urunler/varta-promotive-efb/740-500-120>.

Varta. (2021b). *Professional deep cycle AGM*. 20 Şubat 2021, <https://www.tr.varta-automotive.com/tr-tr/urunler/varta-professional-deep-cycle-agm/830-260-120>.

Varta. (2021c). *Varta LR1 1.5V alkalin pil 4001*. 25 Şubat 2021,
<https://www.nalburdayim.com/varta-lr1-1.5v-alkalin-pil-4001>.

- Vasudevan, A. (2010). *Tonnage measurement of ships: historical evolution, current issues and proposals for the way forward*. Yüksek Lisans Tezi, World Maritime University, Malmö, Sweden.
- Victron Energy. (2021). *12,8 ve 25,6 volt lityum iyon fosfat smart aküler*. 20 Şubat 2021, <https://www.victronenergy.com.tr/upload/documents/Datasheet-12,8-&-25,6-Volt-lithium-iron-phosphate-batteries-Smart-TR.pdf>.
- Victron Energy. (2021b). *Victron Energy LiFePO4 battery 12.8V 160Ah smart*. 20 Şubat 2021, <https://www.batterymegastore.co.uk/product/victron-energy-lifepo4-battery-128v-160ah-smart/>.
- Victron Energy. (2021c). *Victron Energy LiFePO4 battery 12,8V/300Ah smart*. 20 Şubat 2021, <https://www.intellitecmv.com/products/lifepo4-battery-12-8v-300ah-smart>.
- Victron Energy. (2021d). *Victron LiFePO battery 12.8V/50Ah smart*. 20 Şubat 2021, <https://www.europe-solarstore.com/victron-lifepo-battery-12-8v-50ah-smart.html>.
- Wankhede, A. (2016). *Why 2-stroke engines are used more commonly than 4-stroke on ships?* 7 Aralık 2019, <https://www.marineinsight.com/main-engine/why-2-stroke-engines-are-used-more-commonly-than-4-stroke-on-ships/>.
- Wankhede, A. (2017). *What is sulphur oxides or SOx air pollution from Ships?* 20 Ekim 2019, <https://www.marineinsight.com/maritime-law/what-is-sulphur-oxides-or-sox-air-pollution-from-ships/>.
- Warstsila. (2018b). *Wartsila HY: establishing a new benchmark in maritime efficiency and sustainability*. 11 Aralık 2020, <https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/hybrid/wartsila-hy-2018.pdf>.

Wartsila. (2017a). *The Wärtsilä steerable thruster (WST)*. 24 Aralık 2019, <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/gears-propulsors/thrusters/brochure-o-p-thruster-wst.pdf>.

Wartsila. (2017b). *Wartsila HY: The first integrated hybrid power module in the marine industry*. 11 Aralık 2020, <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/product-files/hybrid/brochure-o-ea-hy.pdf>.

Wartsila. (2018a). *Wartsila 26 product guide*. 24 Aralık 2019, https://www.wartsila.com/docs/default-source/product-files/engines/ms-engine/product-guide-o-e-w26.pdf?utm_source=engines&utm_medium=dieselengines&utm_term=w26&utm_content=productguide&utm_campaign=msleadscoring.

Wartsila. (2019a). *Direct water injection (DWI)*. 4 Nisan 2020, [https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/direct-water-injection-\(dwi\)](https://www.wartsila.com/encyclopedia/term/direct-water-injection-(dwi)).

Wartsila. (2019b). *Wartsila 26*. 19 Aralık 2019, <https://www.wartsila.com/marine/build/engines-and-generating-sets/diesel-engines/wartsila-26>.

Willard, W. P. (2004). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine*. New Jersey. Hal, 229.

Woodyard, D. (2009). *Pounder's marine diesel engines and gas turbines*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Wu, Y. (2008). *Productivity, efficiency and economic growth in China*. Hampshire: Palgrave Macmillan

Xiao, N., Zhou, R., ve Lin, X. (2016). Type selection and design of hybrid propulsion system of ship. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 157(1),

012034.

Xin, Q. (2011). *Diesel engine system design*. UK: Elsevier.

Yang, J. ve Wang, Q. (2013). Hardware-in-Loop simulation technology of high-pressure common-rail electronic control system for low-speed marine diesel engine. *Diesel Engine-Combustion, Emissions and Condition Monitoring*, 278, 231-266.

Yang, Z. L., Zhang, D., Caglayan, O., Jenkinson, I. D., Bonsall, S., Wang, J., ... ve Yan, X. P. (2012). Selection of techniques for reducing shipping NO_x and SO_x emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 17(6), 478-486.

Yanmar. (2013). *12AYM-WET Series*. 25 Aralık 2019, <http://wodawiatrimy.home.pl/data/documents/Yanmar-12AYM-WET=20datasheet.pdf>.

Yanmar. (2016). *2AYM-WET*. 25 Aralık 2019, <https://www.yanmarmarine.eu/theme/yanmarportal/uploadedFiles/Marine/productDownloads/Commercial-datasheet/6148-Datasheet-12AYM-WET.pdf>.

Yanmar. (2020). *Marine diesel engine products guide*. 11 Aralık 2020, https://www.yanmar.com/media/news/2020/08/14010639/marine_diesel_engine_en.pdf.

Yaskawa Company. (2015). *Operational modes in marine shaft generator applications*. 20 Mart 2020, http://theswitch.com/wp-content/uploads/2015/03/Technical_point_OperationMode_09062015.pdf.

Yuan, L. C. W., Tjahjowidodo, T., Lee, G. S. G., ve Chan, R. (2017, July). Optimizing fuel savings and power system reliability for all-electric hybrid vessels using model

- predictive control. *IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)* (1.Baskı) içinde (1532-1537). Munich: IEEE.
- Yükçü, S. ve Atağan, G. (2009). Etkinlik, etkililik ve verimlilik kavramlarının yarattığı karışıklık. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 23(4), 1-13.
- Zahedi, B., Norum, L. E., ve Ludvigsen, K. B. (2014). Optimized efficiency of all-electric ships by dc hybrid power systems. *Journal of Power Sources*, 255, 341-354.
- Zhao, F., Yang, W., Tan, W. W., Chou, S. K., ve Yu, W. (2015). An overall ship propulsion model for fuel efficiency study. *Energy Procedia*, 75, 813-818.
- Zhao, F., Yang, W., Tan, W. W., Yu, W., Yang, J., ve Chou, S. K. (2016). Power management of vessel propulsion system for thrust efficiency and emissions mitigation. *Applied energy*, 161, 124-132.
- Zhao, H. (2009). *Advanced direct injection combustion engine technologies and development: diesel engines*. UK: Elsevier.
- Zhou, W., Zhu, D., He, J., Li, J., Chen, H., Chen, Y., ve diğer. (2020). A scalable top-down strategy toward practical metrics of Ni–Zn aqueous batteries with total energy densities of 165 W h kg⁻¹ and 506 W h L⁻¹. *Energy & Environmental Science*, 13(11), 4157-4167.
- Zhu, J., Chen, L., Wang, B., and Xia, L. (2018). Optimal design of a hybrid electric propulsive system for an anchor handling tug supply vessel. *Applied Energy*, 226, 423-436.
- Zincir, B. (2019). *An alternative fuel assessment model for ships and experiments on the effect of methanol on diesel engines*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik

Üniversitesi, İstanbul.

