



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ASKERİ GEMİLERDE KULLANILAN ÜÇ
FARKLI ANA TAHRİK DİZEL
MOTORUNUN PERFORMANS
PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ**

HÜSEYİN HALİLOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

DANIŞMAN

Prof. Dr. Cenk SAYIN

İSTANBUL, 2021



MARMARA UNIVERSITY
INSTITUTE FOR GRADUATE STUDIES
IN PURE AND APPLIED SCIENCES



**INVESTIGATION OF PERFORMANCE
PARAMETERS FOR THREE DIFFERENT
MAIN PROPULSION DIESEL ENGINES
WHICH ARE GETTING USED IN NAVAL
SHIPS**

HÜSEYİN HALİLOĞLU

MASTER THESIS

Department of Mechanical Engineering

Thesis Supervisor

Prof. Dr. Cenk SAYIN

ISTANBUL, 2021

MARMARA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Hüseyin HALİLOĞLU'nun "Askeri Gemilerde Kullanılan Üç Farklı Ana Tahrik Dizel Motorunun Performans Parametrelerinin İncelenmesi" başlıklı tez çalışması, 23 Haziran 2021 tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Cenk SAYIN (Danışman)

Marmara Üniversitesi

Prof. Dr. Mustafa ATMACA (Üye)

Marmara Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sinan ERDOĞAN (Üye)

Sakarya Üniversitesi

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2021 tarih ve sayılı kararı ile Hüseyin HALİLOĞLU'nun Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Makine Mühendisliği (Türkçe) Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Bülent EKİCİ

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Denizcilikte gerek taşımacılık ve hizmet sektöründeki sivil gemilerde, gerekse askeri gemilerde dizel motorlar yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Gemilerin seyir esnasında karadan bağımsız olmaları nedeniyle operatif yetenekleri, kendi bünyelerindeki sistemlerin performans değerleri ile sınırlı olmaktadır. Bu nedenle, gemi dizel motorlarında gerçekleşecek asgari verim artışları dahi gemilerin performansını önemli ölçüde etkileyecektir.

Bu çalışmada, donanma gemilerinde aktif olarak kullanılan üç farklı tip ana tahrik dizel motorunda performans testleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara bağlı olarak, birbiri içerisinde karmaşık bir düzene sahip olan gemi dizel motoru parametrelerinin istenen koşullar için en verimli sonuca ulaşılacak şekilde optimize edilmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi, motor testlerinin icra edilmesi ve bununla birlikte her türlü mesleki gelişim konularında anlayış ve desteklerini esirgemeyen İstanbul Tersanesi Komutanı Tuğamiral Recep Erdiç YETKİN'e şükranlarımı arz ederim. Mühendis Albay Onur GÖKGÖZ, Bayram DURU ve Cüneyt AVCI başta olmak üzere tez çalışmamda bana yardımcı olan tüm İstanbul Tersanesi Komutanlığı personeline ve Tuzeks A.Ş. firması personeli Sami ÖZGÜR'e yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam boyunca değerli destek ve katkılarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Sinan ERDOĞAN'a ve lisansüstü eğitim sürecim boyunca fikir, yönlendirme ve katkılarıyla bana destek olan ve karşılaşılan akademik araştırma sorunlarına günün her saati geri dönüş sağlama anlayışı gösteren danışman hocam Prof. Dr. Cenk SAYIN'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma hayatım boyunca manevi desteği ve hoşgörüsü ile daima yanımda olan sevgili eşim Neşegül HALİLOĞLU'na teşekkür ederim.

Haziran, 2021

Hüseyin HALİLOĞLU

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
SEMBOLLER.....	vi
KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
TABLO LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın amacı.....	1
1.2. Literatür Özeti	2
2. GEMİ ANA TAHRİK SİSTEMİ	7
2.1. Gemi Ana Tahrik Sistemi Bileşenleri.....	7
2.2. Gemi Dizel Motorları Özellikleri ve Çalışma Prensipleri.....	12
2.3. Gemi Dizel Motoru Bünyesindeki Devrelere Genel Bakış.....	16
2.4. Gemi Ana Tahrik Sisteminin Toplam Güç Kapasitesinin Belirlenmesi.....	23
2.5. Gemi Ana Tahrik Kombine Sistem Türleri.....	25
2.5.1. CODAD ana tahrik sistemi kombinasyonu.....	27
2.5.2. COGAG ana tahrik sistemi kombinasyonu.....	28
2.5.3. CODOG ana tahrik sistemi kombinasyonu.....	29
2.5.4. CODAG ana tahrik sistemi kombinasyonu.....	29
2.5.5. CODELAG ana tahrik sistemi kombinasyonu.....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	32
3.1. Motor Test Türleri.....	32
3.2. Test İstasyonu Genel Yapısı.....	34
3.3. Hidrolik Dinamometreye Genel Bakış ve Test Dinamometresi Özellikleri.....	40
3.4. Motor Deviri Ölçüm Cihazı.....	46

3.5. Yakıt Debisi Ölçüm Cihazı.....	47
3.6. Egzoz Çıkış Sıcaklığı Ölçüm Cihazı.....	48
3.7. Testlerde Ölçülen Diğer Sıcaklık Değerleri Ölçüm Cihazı.....	49
3.8. Test Edilen Dizel Motorların Özellikleri.....	50
3.9. Test Yakıtı ve Özellikleri.....	53
3.10. Ölçülen Motor Performans Çıktıları ve Tanımları.....	54
3.10.1. Tork.....	54
3.10.2. Efektif güç.....	55
3.10.3. Termal verim.....	56
3.10.4. Özgül yakıt tüketimi.....	56
3.10.5. Özgül enerji tüketimi.....	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	57
4.1. Tork.....	57
4.2. Efektif Güç.....	59
4.3. Termal Verim.....	60
4.4. Özgül Yakıt Tüketimi.....	62
4.5. Özgül Enerji Tüketimi.....	64
4.6. Egzoz Sıcaklığı.....	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	66
KAYNAKLAR.....	70
EKLER.....	76
EK 1 – Deneysel Sonuçlar	76
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÖZET

ASKERİ GEMİLERDE KULLANILAN ÜÇ FARKLI ANA TAHRİK DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Denizcilikte taşımacılık ve hizmet sektöründe olduğu gibi askeri amaçlı gemilerde de ana tahrik motorlarının tamamına yakını dizel motorlardan oluşmaktadır. Araştırmada Milli Savunma Bakanlığı İstanbul Tersanesi Komutanlığı bünyesindeki motor test istasyonunda üç farklı tipteki gemi dizel motorunun performans parametreleri incelenmiştir. Tam yük şartlarında, sabit devirlerde testler gerçekleştirilmiştir. Testler yapılırken 500 d/d'den başlayarak 250 d/d aralıklarla devir artırılmış ve incelenen parametreler kayıt altına alınmıştır. Her motorun azami devirleri dikkate alınarak testler üçer kez tekrarlanmış ve elde edilen verilerin ortalamaları alınarak sonuçlar yorumlanmıştır. Test edilen motorlar Almanya merkezli MTU firması tarafından üretilmiş olan MTU 16V 595 TE90, MTU 16V 956 TB91 ve MTU 20V 1163 TB93 model motorlardır. Bu motorlar sırası ile 1.800; 1.575; 1.300 d/d azami devire, 4.320; 3.130; 7.400 kW azami güce, 11:1; 13:1; 9,75:1 sıkıştırma oranına, 16; 16; 20 adet silindir sayısına sahip olup motorların tamamı "V" tipi silindir düzenine, su soğutmalı soğutma sistemine ve direk enjeksiyon sistemine sahip motorlardır. Testlerde tork ve yakıt tüketimi değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerlere bağlı olarak, özgül enerji tüketimi, özgül yakıt tüketimi, efektif verim, efektif güç ve termal verim verileri hesaplanmıştır. Test yakıtı olarak NATO (Kuzey Atlantik Anlaşması Örgütü) standartlarını karşılayan F-76 motorin kullanılmıştır.

Testler sonucunda performans açısından optimum değerler olan 48,9 kNm tork, 6.203 kW efektif güç, %40,9 termal verim, 8.792 kJ/kWh özgül enerji tüketimi ve 205 g/kWh özgül yakıt tüketimi verilerine MTU 20V 1163 TB93 model motor ile ulaşılmıştır. Birim kütle ve hacim başına ise en yüksek güç değeri MTU 16V 595 TE90 model motorda elde edilmiştir. MTU 16V 595 TE90 model motor hem soğutma devresinin deniz suyundan bağımsız çalışmasına hem de daha yüksek devirlerde çalışma şartlarına imkan vermektedir. Bu özellikler, MTU 16V 595 TE90 model motorun farklı spesifik niteliklere sahip gemilerde kullanılmasına imkân tanımaktadır.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF PERFORMANCE PARAMETERS FOR THREE DIFFERENT MAIN PROPULSION DIESEL ENGINES WHICH ARE GETTING USED IN NAVAL SHIPS

Most of main propulsion engines for naval ships consist of diesel engines as well as it does for the maritime transportation and service industry. In research, performance parameters for three different type of marine diesel engines has observed in engine test station within The Ministry of Defence İstanbul Naval Shipyard. Tests are performed under full load and constant cycle conditions. During the tests, cycle values are started from 500 rpm and increased with 250 rpm periods and observed parameters have been recorded. Tests have been repeated for three times with considering the maximum cycle values of all engines and avarage of acquired values have been interpreted for results. Tested engines are the Germany based MTU firm production MTU 16V 595 TE90, MTU 16V 956 TB 91 and MTU 20V 1163 TB 93 model engines. Those engines respectively have 1800; 1575; 1300 rpm max. cycle number, 4320; 3130; 7400 kW max. effective power, 11:1; 13:1; 9,75;1 compression ratio, 16; 16; 20 number of cylinder values, also all of three engines have “V” type cylinder arrangement, water cooled cooling system and direct injection system. Torque and fuel consumption values have measured at the tests. According to measured values; specific energy consumption, specific fuel consumption, effective efficiency, effective power and thermal efficiency datas are calculated. F-76 diesel fuel which fulfills NATO (North Atlantic Treaty Organization) standarts is used as test fuel.

As test results; 48.9 kNm torque, 6203 kW effective power, %40.9 thermal efficiency, 8792 kJ/kWh specific energy consumption and 180 g/kWh specific fuel consumption values are obtained with MTU 20V 1163 TB93 model engine. Maximum power for unit mass and unit volume values are obtained with MTU 16V 595 TE90 model engine. MTU 16V 595 TE90 model engine enables both cooling system which works independent from sea water and working conditions with further cycle numbers. Those characteristics enables MTU 16V 595 TE90 model engine to get used in ships which has specific qualifications.

SEMBOLLER/SYMBOLS

b_e	: Özgöl yakıt sarfıyatı (g/kWh)
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
F	: Kuvvet (N)
HC	: Hidrokarbon
H_u	: Alt ısı değeri (kJ/kg)
KOH	: Potasyum hidroksit
L	: Uzunluk (m)
$\dot{m}_y$	: Yakıtın kütleli debisi (g/s)
n	: Devir (d/d)
N_e	: Efektif güç (kW)
NO	: Azot monoksit
NO_x	: Azot oksit
T	: Tork (Nm)

KISALTMALAR/ABBREVIATIONS

AÖN	: Alt ölü nokta
HAD	: Hesaplanabilir akışkanlar dinamiği
CODAD	: Dizel motorların kombinasyonu
CODAG	: Dizel motor ve gaz türbini kombinasyonu
CODELAG	: Dizel elektrik motor ve gaz türbini kombinasyonu
CODOG	: Dizel motor ya da gaz türbininin kullanıldığı kombinasyon
COGAG	: Gaz türbinlerinin kombinasyonu
CPP	: Ayarlanabilir hatveli pervane
DDD	: Devir düşürücü dişli
HP	: Beygirgücü
ISO	: Uluslararası Standartlar Teşkilatı
NATO	: Kuzey Atlantik Antlaşması Örgütü
ÖET	: Özgül enerji tüketimi (kJ/kWh)
TV	: Termal verim (%)
ÜÖN	: Üst ölü nokta

ŞEKİL LİSTESİ

	SAYFA
Şekil 2.1. Gemi ana tahrik sistemi bileşenleri	8
Şekil 2.2. LM2500 gaz türbini görünümü ve boyutları	9
Şekil 2.3. Ayarlanabilir hatveli pervane	11
Şekil 2.4. Dört stroklu gemi dizel motorunda çalışma evreleri	12
Şekil 2.5. Dizel motorlarında yanma safhaları	13
Şekil 2.6. Dizel motor yanma odasında yanma başlangıcındaki yakıt demeti	14
Şekil 2.7. Dolaylı enjeksiyonlu bir dizel motorun türbülans odası kesiti	15
Şekil 2.8. Doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorun kesit görüntüsü	15
Şekil 2.9. Gemi dizel motoru genel görünüm	17
Şekil 2.10. Gemi dizel motoru devrelerinin genel görünümdeki kesiti	18
Şekil 2.11. MTU 16V 595 TE90 dizel motorun soğutma sistemi	19
Şekil 2.12. Gemi dizel motoru yakıt devresi	20
Şekil 2.13. Gemi dizel motoru yönetim otomasyon sistemi	21
Şekil 2.14. MTU 16V 595 TE90 dizel motorun start edilme prosedürü	22
Şekil 2.15. Gemi dizel motoru yüksek basınçlı egzoz turboşarjeri	23
Şekil 2.16. Gemi maketi ile çekme deneyi yapılması	24
Şekil 2.17. Fırkateyn ve destroyerlerde deplasman ağırlığı ve toplam ana tahrik sistemi güç ihtiyacına bağlı olarak ana tahrik sistemi kullanılabilirliği	26
Şekil 2.18. CODAD ana tahrik sistemi T ve U düzeni	27
Şekil 2.19. COGAG sistemi şematik diyagramı	28
Şekil 2.20. CODOG ana tahrik sistemi	29
Şekil 2.21. CODAG ana tahrik sistemi	30
Şekil 2.22. CODELAG ana tahrik sistemi	31

Şekil 2.23. Dizel-elektrik tahrik sistemi şeması	31
Şekil 3.1. Piston segmanının sıcak-soğuk dayanım testi sonrası görüntüsü	33
Şekil 3.2. Testlerin gerçekleştirildiği motor test istasyonu sahası	34
Şekil 3.3. Operatör odası kumanda konsolu	35
Şekil 3.4. Kumanda konsolu üzerindeki devir, tork ve yük göstergeleri	36
Şekil 3.5. Motor sıcaklık ve basınç değerleri gösterge ekranı	37
Şekil 3.6. Güç, devir ve alarm gösterge ekranı	38
Şekil 3.7. Kardan şaftı	39
Şekil 3.8. Motor ve dinamometre akuplasyonu	40
Şekil 3.9. Testte kullanılan hidrolik dinamometre dış görünümü	41
Şekil 3.10. Hidrolik dinamometrede yük hücresi ile kuvvet ölçümü şematik gösterimi	41
Şekil 3.11. Rotor	42
Şekil 3.12. Hidrolik dinamometre yük hücresi modülü	43
Şekil 3.13. Örnek bir yük hücresi şematik gösterimi	44
Şekil 3.14. TUD/S 7500 hidrolik dinamometresinin devire bağlı olarak efektif güç ve tork değişimi	46
Şekil 3.15. Motor devir sensörü	47
Şekil 3.16. Coriolis FCM2000 MC2 yakıt debisi ölçüm sensörü	47
Şekil 3.17. Nikelkrom-nikel termokupl	48
Şekil 3.18. PT100 direnç sıcaklık dedektör sensörü	49
Şekil 3.19. Test edilen gemi dizel motorları temel ölçüleri	52
Şekil 3.20. Piston hareketi ile krankşaftta tork oluşumu	55
Şekil 4.1. Motorlara ait tork-devir grafiği	58
Şekil 4.2. Motorların efektif güç-devir grafiği	59
Şekil 4.3. Motorların termal verim-devir grafiği	61

Şekil 4.4. Motorların özgül yakıt tüketimi-devir grafiği	63
Şekil 4.5. Motorların özgül enerji tüketimi-devir grafiği	64
Şekil 4.6. Motorların egzoz sıcaklığı-devir grafiği	65

TABLO LİSTESİ/LIST OF TABLES

	SAYFA
Tablo 2.1. Gaz türbini ve dizel motorların temel özelliklerinin karşılaştırılması	9
Tablo 3.1. TUD/S 7500 model hidrolik dinamometre teknik parametreleri	45
Tablo 3.2. Nikelkrom-nikel termokupl sıcaklık-indüklenme değer tablosu	48
Tablo 3.3. PT100 sensörü sıcaklık-direnç değer tablosu	50
Tablo 3.4. Test edilen dizel motorların özellikleri	50
Tablo 3.5. Motorların supap zamanlamalarının krankmili açısına göre karşılaştırılması	52
Tablo 3.6. Test edilen motorların ölçüleri	53
Tablo 3.7. F-76 motorin yakıtı özellikleri	53
Tablo 3.8. 2-D dizel yakıtları özellikleri	54

1. GİRİŞ

Tarihsel süreç içerisinde Antik Mısır medeniyetinden itibaren gemi taşımacılığı, ekonomi ve lojistik için önemli yere sahip olmuştur. Bu önemi farkedenden ülkeler kendi ticari filolarını ve denizdeki hak ve menfaatlerini korumak amacıyla askeri maksatlı gemilerini inşa etmişlerdir. Sanayi devrimine kadar gemilerde gerekli hareketi sağlayacak itme kuvvetini oluşturmak için rüzgar enerjisinin yelkenler vasıtası ile faydalı hale getirilmesi ya da kürek çekme yöntemi ile iş gücü kullanılması etkin yöntemler arasında olmaktadır. Sanayi devriminden sonra gemilere gerekli hareketi sağlamak üzere makineler kullanılmış ve böylece gemi ana tahrik sistemleri ortaya çıkmıştır.

2017 yılı verilerine göre dünya ekonomisindeki taşımacılık faaliyetlerinin %84'ü ticari gemiler vasıtası ile gerçekleştirilmektedir (Kaya, 2019). Bununla birlikte denizcilikte taşımacılık ve hizmet sektörlerinde ana tahrik motorlarının tamamına yakını dizel motorlardan oluşmaktadır (Özsoysal, 2008). Dizel motorların yoğun olarak kullanılmalarının başlıca nedenleri yüksek verim, güç yoğunluğu ve alternatif seçeneklere kıyasla sahip olduğu yüksek güvenilirlik olarak değerlendirilmektedir (Lamaris ve Hountalas, 2010). Donanma gemileri ana tahrik sistemleri de günümüzde çoğunlukla dizel motorlar, gaz türbinleri ve bunların çeşitli kombine sistem türleri ile kullanımından meydana gelmektedir. Bazı ana tahrik kombine sistemlerinde elektrik motorları da yer almaktadır. Gemilerde jeneratör olarak kullanılan dizel motorların da hesaba katılmasıyla birlikte gemi dizel motorlarının denizcilik ve dünya ekonomisi için önemi daha iyi anlaşılabacaktır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Gemi dizel motorları yüksek güç üreten karmaşık motorlar olmaları nedeni ile bu motorlarda çok sayıda çalışma parametresi mevcuttur. Bir örnek vermek gerekirse, motor gücü; motorun tork ve devir sayısı ile doğru orantılıdır. Aynı zamanda, motor gücü; toplam silindir hacmi ve ortalama efektif basıncın da fonksiyonudur. Ancak motor hacmini arttırarak ve devir sayısını yükselterek daha fazla güç üretilmesi durumunda yanma veriminin düşmesi ve hareketli parçalardaki atalet kuvvetinin artması gibi sorunlar karşımıza çıkmaktadır (Öztürk, 2019). Sonuç olarak, böyle kompleks bir

sistemin performans analizlerinin yapılabilmesi için çok sayıda ölçüm verisine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu çalışmada donanma gemilerinde aktif olarak kullanılmakta olan üç farklı tip ana tahrik dizel motorunun performans testleri gerçekleştirilmiştir. Farklı devir ve güç şartlarında elde edilen tork ve yakıt tüketimi değerlerine bağlı olarak, özgül enerji tüketimi (ÖET), özgül yakıt tüketimi, efektif güç ve termal verim (TV) parametreleri hesaplanmıştır. Motorların sahip olduğu TV değerlerinin daha detaylı olarak incelenmesi amacıyla termal kayıplar için önemli bir gösterge olan motorların devire bağlı egzoz çıkış sıcaklıkları da incelenmiştir. Elde edilen tüm parametre değerleri, bu değerlerin değişim oranları ve birbirleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Bu sayede üç farklı tip gemi ana tahrik dizel motorunun çalışma parametrelerinin detaylı incelemesinin yapıldığı, motor karakteristik özellikleri ve performans çıktıları hesaba katılarak kullanım amacına en uygun gemi dizel motorunun belirlenmesi için önerilerin sunulduğu, verilere dayalı bilimsel bir çalışmanın gerçekleştirilmesi ve literatüre kazandırılması amaçlanmıştır.

1.2. Literatür Özeti

Motorların performansını analiz etmek için birçok çalışma yapılmış ve çeşitli parametrelerdeki değişimlerin etkileri analiz edilmiştir. Dizel motorlara yönelik deneysel bazda çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Çavgun (2019) yapmış olduğu çalışmada tek silindirli, LPG ve dizel yakıt tüketen çift yakıtlı bir dizel motorunun farklı yakıt oranlarında ve farklı sıkıştırma oranlarında kullanılmasını deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada LPG'nin karışım oranı %0-40 arasında, test motorunun sıkıştırma oranı ise 15:1, 16:1, 17:1, 18:1 olarak seçilmiştir. Sonuç olarak karışım içerisindeki LPG oranı arttıkça tutuşma gecikmesi süresi uzamış ve buna bağlı olarak ortalama silindir basınç değerleri düşmüştür. En düşük emisyon değerleri 15:1 sıkıştırma oranında saf dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Sıkıştırma oranı arttıkça artan sıcaklık nedeni ile motorun ısındığı ve silindir içine giren hava yoğunluğunun azaldığı tespit edilmiştir.

Yılmaz (2019) araştırmasında yakıt püskürtmenin motor performansına etkisini gözlemlemek amacıyla 1,8 litrelik bir dizel motorun kontrol ünitesindeki parametrelerin değişimini incelemiştir. Test motoru 2.500 d/d sabit hız ve üç farklı püskürtme

basıncında (120, 130 ve 140 MPa) çalıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Test sonucunda püskürtme basıncının artması ile motordaki güç çıktısının azaldığı gözlemlenmiştir.

Şahin (2019), turboşarj sistemine sahip direk püskürtmeli bir motorda giriş havası sıcaklığı değişimlerinin motor performansına etkilerini incelemiştir. Ara soğutma sistemindeki düzeltmeler ile motor performansında istenen değerlerde kalınarak emisyon değerlerinin düşürülebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Milan ve ark. (2015) çalışmalarında tek silindirli ve dört stroklu bir dizel motorunda susam tohumu biyodizelini farklı oranlarda kullanarak farklı motor yükü ve enjeksiyon basıncı koşullarında performans parametrelerini incelemiştir. Sonuç olarak, en yüksek TV değerine; %10 biyodizel karışımı, 160 bar enjeksiyon basıncı ve 100 N yük koşullarında ulaşılmıştır.

Çerkezoğlu (2015), motor yağı sıcaklığının motor TV ve performansına olan etkisini incelemiştir. Bunun için motorun ilk çalışma anında yağ sıcaklığının düşük olması durumunda akış analizleri incelenmiş, sonuç olarak motor veriminde %0,51 oranında kısmi bir artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Vural (2014) da benzer bir motor tipinde seramik kaplama uygulamasının sonuçlarını daha fazla çalışma koşulunda daha ayrıntılı şekilde incelemiş ve aynı şekilde güç ve ısı veriminde artış, özgül yakıt tüketiminde azalma olduğunu gözlemlemiştir.

Wang ve ark. (2013) çalışmalarında ağır yük dizel motorlarının TV'lerinin deniz seviyesinden farklı yüksekliklerdeki (0 m, 1.600 m, 3.300 m, 4.500 m) değişimlerini incelemiştir. İrtifa yükseldikçe TV'nin özellikle düşük devir ve düşük yük şartlarında azaldığını gözlemlemiştir. Gemilerde kullanılan dizel motorlar için söz konusu irtifa kriteri belirgin bir etken olmamaktadır. Ancak, bu motorların gemiden çıkartılıp kara tipi olarak kullanılması durumunda irtifa kriterinin motor performansını etkilediğini vurgulamışlardır.

Orak (2011) yapmış olduğu çalışmada, motorun yanma prosesindeki maksimum sıcaklığın düşürülerek azot monoksit (NO) emisyonunun azaltılmasını hedeflemiştir. Bu amaçla, tek silindirli bir dizel motorda yakıt enjeksiyon evresinde su-yakıt karışımı püskürtülmesi durumundaki performans kriterlerini incelemiştir. Deneyler sonucunda NO miktarında azalma ile birlikte, TV'de düşüş ve tamamlanmamış yanma prosesi

nedeni ile karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyon seviyelerinde artış gözlemlenmiştir.

Gürbüz (2011) TV'nin değişimini incelemek için tek silindirli bir dizel motorda yanma odası elemanlarının termal bariyer ile kaplanmasının etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, güç ve ısı veriminde artış, özgül yakıt tüketiminde ise azalma gözlemlenmiştir.

Kaya (2010) çalışmasında, tek silindirli ve 200 bar standart püskürtme basıncı değerine sahip olan bir dizel motorunda yakıt olarak biyodizel-dizel karışımları kullanılmış, motor 2.200 d/d sabit devir ve dört farklı yük şartlarında (5, 10, 15, 20 Nm) test edilmiştir. Deneylerde dört farklı püskürtme basıncı (180, 200, 220, 240 bar) tercih edilmiştir. Püskürtme basıncı ve karışımındaki biyodizel oranının artmasıyla ters orantılı olarak performans (termik verim, özgül yakıt tüketimi ve efektif güç vb.) değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

Dizel motorlarda yapılan teorik çalışmaları örneklendirecek olursak; Khan (2019) çalışmasında 2,0 litre silindir hacmine sahip turboşarjlı dizel motorun Cruise-MoBEO ile sayısal modellemesi gerçekleştirilmiş ve ardından modellemedeki revizyon ile aynı motorun değişken sıkıştırma oranlarına sahip olması durumu yine nümerik olarak hesaplanmıştır. Çeşitli durumlar için ideal sıkıştırma oranlarının bulunmasının ardından kısmi yük bölgelerinde değişken sıkıştırma oranına sahip motorun daha verimli performans parametreleri ürettiği gözlemlenmiştir.

Altuğ (2019) araştırmasında ağır yük V-12 dizel motorunun konsept tasarımını GT-Suite ve AnsysFluent programlarını kullanarak gerçekleştirmiştir. Söz konusu konsept tasarım, askeri tanklarda kullanım amaçlıdır. Bu çalışmanın başlangıç noktasını maksimum devir ve minimum yakıt tüketim kriterleri oluşturmuş emisyon verileri ise dikkate alınmamıştır. Tasarlanan motorun performans çıktısı olarak maksimum torkun elde edildiği devir ve söz konusu çalışma şartlarındaki yakıt tüketim değeri hesaba katılmıştır.

Ece (2019) çalışmasında tek silindirli dizel motorun silindir kafasına ilave bir enjektör yerleştirilmiştir. İlave enjektör ile yanma odasına, püskürtülen yakıt oranıyla doğru orantılı olarak su püskürtülmesi gerçekleştirilmiştir. Farklı yüzdelerde püskürtme yapılması ile birlikte eş zamanlı olarak motor farklı devirlerde ve farklı güçlerde

çalıştırılmıştır. Elde edilen verilere göre en optimal koşullarda motor gücü %3,9 oranında artmış, özgül yakıt sarfıyatı ise %4,15 oranında azalmıştır.

Elrakb (2019), 16 silindirli ağır hizmet tipi dizel motorunda yakıt püskürtme türüne bağlı olarak performans çıktılarının analitik çözümlenmesi üzerine çalışmıştır. ANSYS Forte yöntemi kullanılan bu nümerik çalışmada, yakıtın ön yanma odasına püskürtülmesiyle maksimum türbülans oluşumunun sağlandığı kanaatine varılmıştır.

Alcan (2019) yapmış olduğu çalışmada ağır yük dizel motorlarının tork ve yanma emisyonlarını hesaplamak amacıyla dinamik bir model tasarlamıştır.

Pakale ve Patel (2015)'in araştırması, gün geçtikçe teknolojisi gelişen ve kullanımı yoğunlaşan turboşarjer sistemleri hakkında bir derleme çalışması olup kullanılan bu sistemler sayesinde motorun güç çıkışının arttığı ve emisyon değerlerinin azaldığı belirtilmiştir.

Gemi dizel motorlarında sınırlı sayıda deneysel çalışmaya rastlanmaktadır. Parlak ve Kökkülünk (2016) araştırmalarında gemi yardımcı makinesi olarak kullanılan 4 stroklu ve 6 silindirli bir gemi dizel motorunun seyir esnasındaki silindir içi basınç değerleri ile basınç-hacim ve basınç-krank açısı diyagramlarını oluşturmuşlardır. Ardından söz konusu diyagramlar baz alınarak performans değerlendirilmesinde bulunulmuş ve operatif anlamda durum analizi ve tavsiyeler sunulmuştur.

Varbanets ve Karianskiy (2012) çalışmalarında iki stroklu ve dört stroklu gemi dizel motorlarının performans verilerini kaydedip görselleştirerek motorların performans verileri ile supap zamanlamaları arasında bağlantı kurmuşlardır ve ardından performans verilerinin motorların simülasyonlarının oluşturulmasında kullanılmasının faydalı olacağını belirtmişlerdir.

Gorka ve ark. (2019) araştırmalarında yakıt olarak atık otomotiv yağlama yağlarından üretilen alternatif dizel yakıtının kullanıldığı bir gemi dizel motorunu hidrolik dinamometre ile performans testine tabi tutmuşlardır. Test esnasında yanma sürecinin sonlanması periyodunda gecikme yaşanmış olup standart dizel yakıtı göre daha az NO_x ve CO₂ ve daha yüksek CO emisyonları gözlemlenmiştir. Geri kalan tüm çalışma koşullarının alternatif yakıtın dizel motorda geminin seyiri esnasında kullanılması için uygun olduğu belirtilmiştir.

Gemi dizel motorları için farklı zaman dilimlerinde teorik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Arslan (2017) tarafından yapılan çalışmada tam ve kısmi yüklerde değişken sıkıştırma oranlı tek silindirli bir dizel motorun performans ve yakıt çıktıları GT-Power programı ile simüle edilerek incelenmiştir. Motorun sıkıştırma oranının değişken olması nedeni ile kısmi yüklerde %16 güç artışı ve %14 yakıt tasarrufu sağlandığı tespit edilmiştir. Tam yüklerde ise söz konusu çıktılarda tam tersi bir durum olmaktadır.

Ekin (2016) ise çalışmasında bir gemi dizel motorunun matematiksel modellemesini yapmış ve ardından bu modelde motorun yakıt enjeksiyonu kapsamındaki çalışma parametrelerini değiştirerek farklı durumlar için performans parametrelerinin değerlendirilmesini amaçlamıştır.

Murphy ve ark. (2015) araştırmalarında, gemi dizel motorlarının çalışma esnasındaki farklı operasyonel durumlarının zamana bağlı olarak termodinamik modelleri yapılmış ve emisyon bazlı performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Gemi dizel motorlarında zamana bağlı termodinamik modellemenin diğer modelleme türlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği ve uygulanmasının faydalı olduğu sonucu ortaya koyulmuştur.

Baldi ve ark. (2015) çalışmalarında, dört stroklu bir ağır yük gemi dizel motorunun MATLAB/Simulink ile yanma modelini oluşturmuş ve bu makinenin devire bağlı olarak çeşitli operatif durumlarda yakıt tüketimlerini incelemişlerdir.

Cong (2015) çalışmasında iki stroklu ve üç adet turboşarjer aşırı doldurma ünitesine sahip bir gemi dizel motorunun MATLAB ortamında matematik modellemesini yapmıştır. Ardından, model ve performans değerleri karşılaştırılmıştır. Farklı yük aralıklarında motorun ısı kayıp değerleri hesaplanmıştır. Isıl kayıpların motor tam yükte iken hem en düşük değere hem de simülasyon ile hesaplanan sonuca en yakın değere sahip olduğu görülmüştür.

Chen ve ark. (2014) araştırmasında, iki stroklu, düşük devirli ve yüksek güce sahip bir gemi dizel motorunun akış analizleri incelenmiştir. Test motorunun soğutma sistemindeki revizyonlar ile güç verilerinde artma, yakıt tüketimi ve azot oksit (NO_x) emisyonunda ise azalma sağlanmıştır.

Smith (2012) yapmış olduğu araştırmasında gemi motorlarının performansı hakkında verileri değerlendirmiş ve ana tahrik sistemi seçimi, alternatif yakıtlar ve yenilenebilir

sistem entegrasyonları sayesinde gemilerin toplam enerji tüketiminin daha verimli hale gelebileceği sonucuna ulaşmıştır.

Tekgöz (2007) yüksek devirli bir gemi dizel motorunun çalışma şartlarındaki ikinci kanun analizini simüle etmiştir. Bu çalışmada, entropi oluşumu ile doğru ya da ters orantılı olan motor çalışma parametrelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

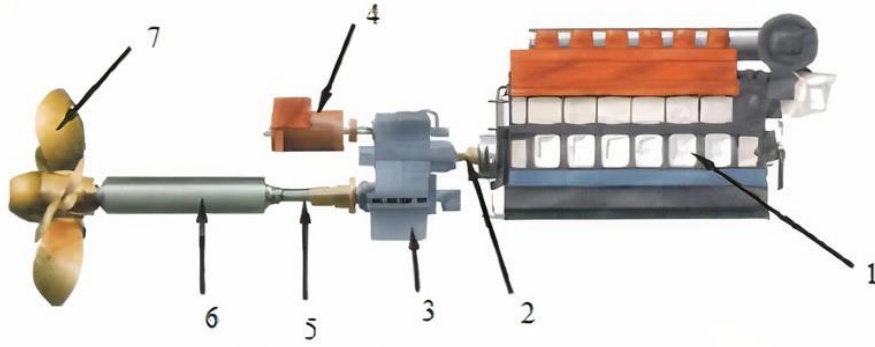
Literatürdeki araştırmalarda görüldüğü gibi güncel dizel motorlar ve gemi dizel motorların performansı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Gemi dizel motorlarına yük testi uygulanarak performans analizinin yapıldığı akademik çalışmalara nadiren rastlanmakta olup bu durumun temel nedeninin yüksek maliyet giderleri olduğu düşünülmektedir.

Bu tez çalışmasında, üç farklı tip ana tahrik gemi motorunun performans testleri uzun süren hazırlıklar sonucunda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bu üç farklı gemi dizel motorunun performans parametrelerinin karşılaştırılması sayesinde motorların çalışma parametrelerinin optimizasyonunun yapıldığı görülmektedir. Böylece, gemi çalışma parametrelerine (güç, devir vb.) bağlı olarak motor seçiminde bir öngörü oluşturulması amaçlanmıştır.

2. GEMİ ANA TAHRİK SİSTEMLERİ

2.1. Gemi Ana Tahrik Sistemi Bileşenleri

Gemi ana tahrik sisteminin görevi gemiyi hareket ettirmek için gerekli itme kuvvetini sağlamaktır. Bunun için gereken gücü üreten ana tahrik motoru ya da motorları, ana tahrik motorunun üretmiş olduğu gücü pervaneye ileten bölümler ve iletilen güç sayesinde geminin hareketini sağlayan bir pervanenin sistemde bulunması gereklidir. Şekil 2.1’de ana tahrik sistemi bileşenleri görülmektedir.



1-Ana makine

2-Makine şaftı

3-Devir düşürücü dişli

4-Şaft jeneratörü

5-Stern tüp

6-Şaft

7- Pervane

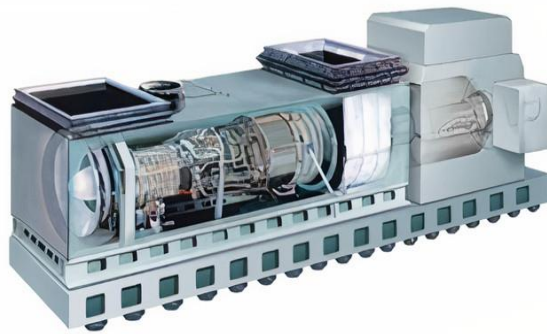
Şekil 2.1. Gemi ana tahrik sistemi bileşenleri (Dokkum, 2003)

Gemi ana tahrik makinası çoğunlukla dizel motor, gaz türbini ve bunların kendi içerisindeki kombinasyonlarından oluşmaktadır. Gaz türbinlerinin savaş gemilerinde kullanımı 2. Dünya Savaşı döneminde artmıştır. Bunun sebebi, birim güç başına düşen ağırlık ve hacim değerleri, arıza oluşma sıklığı, bakım tutum ve operatif kolaylık açısından kullanışlı olmasıdır. Bununla birlikte, yakıt maliyetlerinin yüksek olması, gaz türbinlerinin ticari gemilerde kullanılmasının önüne geçmiştir (Kalender, 2019). Gemi gaz türbini motorları havacılıkta kullanılan jet motorlarının revize edilmesiyle geliştirilmiştir. Örneğin, dünya üzerinde 33 farklı ülkenin donanmasında kullanılan GE Aviation firmasının LM2500 model gaz türbini motoru (Şekil 2.2) CF6-6 model uçak motorlarının belirli özelliklerinin değiştirilmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Günümüzde de gaz türbini bazı donanma gemilerinde kullanılmakla beraber ana tahrik sistemlerinde kullanılan dizel motor sayısı çok daha fazla olmaktadır. Tablo 2.1’de gaz türbini ve dizel motorların temel özelliklerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Tablo 2.1. Gaz türbini ve dizel motorların temel özelliklerinin karşılaştırılması

Gaz Türbini Motoru	Dizel Motor
İlk alım maliyeti yüksektir.	İlk alım maliyeti düşüktür.
Bakım maliyeti düşüktür.	Bakım maliyeti yüksektir.
Yüksek hızlarda yakıt tüketimi daha uygundur.	Düşük ve orta hızlarda yakıt tüketimi daha uygundur.
Operatör personel sayısı daha azdır.	Operatör personel sayısı daha fazladır.
Birim güç başına düşen ağırlık ve hacim değerleri daha azdır.	Birim güç başına düşen ağırlık ve hacim değerleri daha fazladır.
Egzoz ısının yüksek olmasından kaynaklı olarak bıraktığı kızılötesi iz fazladır.	Titreşim değerlerinden dolayı suda bıraktığı akustik iz fazladır.

Gemi ana tahrik sistemlerinde motor ve pervane arasındaki güç aktarımı üç şekilde gerçekleşmektedir. Bunlar; ana makinenin direk şaft vasıtasıyla pervaneye bağlı olduğu doğrudan tahrik, pervane devri ve makine devrinin farklı olduğu devir düşürücü dişli (DDD) ile tahrik ve pervane ile ana makine arasında dolaylı bağlantının olduğu ve pervanenin elektrikli motor ile döndürüldüğü elektrikli tahrik yöntemleridir (Akkoca, 2017).



Şekil 2.2. LM2500 Gaz türbini görünümü (Göktürk, 2016)

Düşük devirli dizel motorların bulunduğu sistemler haricindeki ana tahrik sistemlerinde ana makineden sonra DDD sistemi bulunmaktadır. DDD sistemi, güç/hacim ve

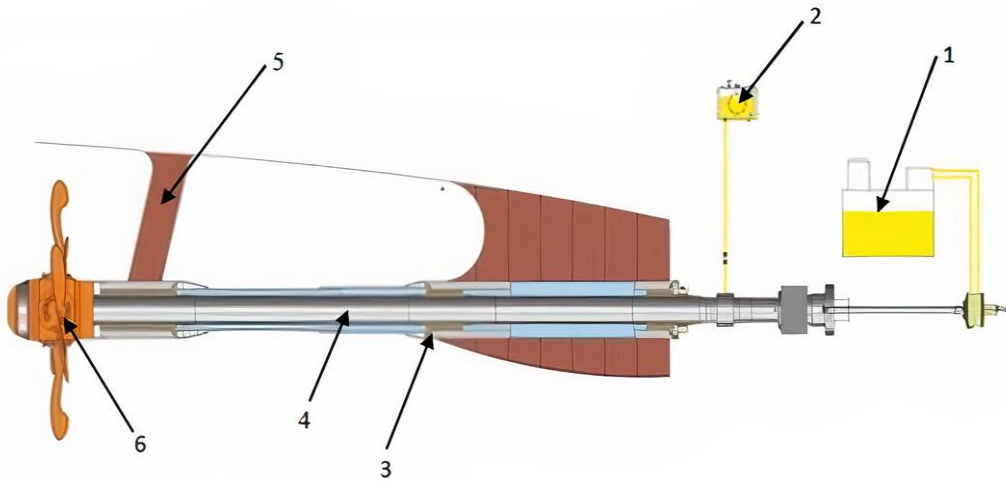
güç/kütle oranı yüksek olan, orta ya da yüksek devirli bir makine ile düşük devirli ve hacimsel olarak büyük bir itici sevk sistemi olan pervanenin birlikte çalışmasını sağlamaktadır (Göktürk, 2016). Makine şaftı ile DDD bağlantıları kaplinler ile yapılmaktadır. Kaplinler güç iletimi esnasında herhangi bir parçada oluşabilecek titreşimsel dalgalanma ya da hareket düzenindeki bozunumları bağlı olduğu diğer parçaya iletmez ve sağladığı bu sönümleme sayesinde potansiyel mekanik arızaların önüne geçilmektedir (Vatandaş, 2017).

Stern tüp, pervane şaftının gemi gövdesinde temas ettiği son bölümdür. Deniz suyu ile geminin iç bölmesi arasında sızdırmazlık sağlanması ve pervane şaftının tolerans dahilindeki doğrultuda konumlandırılması önem arz etmektedir. Sterntüpten sonra pervane şaftı mevcuttur. Gemi motoru ile pervane arasındaki şaft mesafesinin uygun koşullar altında en kısa değere sahip olması ve yatak sayısının en az olması motordan çıkan gücün pervaneye ulaşırken uğradığı kaybı azaltmaktadır (Yapıcı, 2019).

Ana tahrik sisteminde şaftların görevi de pervanelere güç aktarımı sağlamaktır. Pervane, 1800'lü yılların ortalarından günümüze kadarki dönemde sevk sistemi elemanları içerisinde tercih edilme yüzdesi en yüksek olan bileşendir. Pervanelerin dönmesinin etkisiyle oluşan itme kuvveti geminin hareketini sağlamaktadır (Baykuş, 2019). Pervanenin çalışması; bir vidanın yumuşak bir oduna girerken ilerlemesi gibidir, pervaneler de her dönüşünde belirli bir mesafe kat eder ve bu mesafeye hatve denir (Manav, 2004). Pervane türleri; sabit hatveli pervaneler, kanal içine yerleştirilmiş pervaneler, istikamet açılı pervaneler, karşılıklı dönen pervaneler, üst üste binen pervaneler, ardışık pervaneler ve ayarlanabilir hatveli pervaneler olarak gruplandırılmaktadır. Pervanelere ilave olarak; su jetleri, sikloidal itici sistemleri, yan çarkı, magnehidrodinamik itici sistemleri ve süperiletken motorlar gemilerde itici sevk sistemi olarak kullanılmaktadır (Carlton, 2007). Hatve mesafesi, pervane bıçaklarının açılarının hidrolik sistemle değiştirilmesi sayesinde ayarlanabilen pervanelere ayarlanabilir hatveli pervane (CPP: Controllable Pitch Propeller) denmektedir.

Ayarlanabilir hatveli pervane (CPP) sistemlerinin faydaları şu şekildedir; gemi seyirlerinde belirli durumlarda pervaneler fazladan dirençle karşılaşmaktadır, pervaneye etkileyen yükün motorun dönme hızına etki etmemesi ve motorun parça ömrünün kısalması için CPP sistemi kullanılabilir (Tanışman, 1995). Ayrıca, gaz türbini ve

dizel motorlarının birlikte kullanıldığı kombine ana tahrik sistemlerinde geminin pervanelerine aktarılan güçler arasında fark olabilmekte ve bu farka rağmen pervanelerin aynı itme kuvvetini uygulayıp geminin doğru istikamette gitmesi için pervanelerden birinin hatvesi değiştirilebilmektedir. İlave olarak, ayarlanabilir hatveli pervane sistemleri manevralar için de avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte ayarlanabilir hatveli pervanelerin karmaşık bir hidrolik sisteme sahip olmalarından dolayı dezavantajlı durumlar da söz konusu olmaktadır. Ayarlanabilir hatveli pervane sistemlerinin olumsuz tarafı olası bir yağ kaçağı durumunda oluşabilecek çevresel zarar ve sistemin parça sayısının fazla olmasına bağlı olarak bakım onarım masraflarının yüksek olmasıdır. Ayarlanabilir hatveli pervanelere, İngilizce karşılığının söylenme şeklinden yola çıkılarak piç kontrollü pervaneler de denmektedir. Denizcilikte İngilizce okunuşun doğrudan yazılması ile literatüre girmiş bir çok tabir bulunmaktadır. Piç kontrollü pervane ve acil durum anlamına gelen “’emergensi” tabirleri bunlardan bazılarıdır. Şekil 2.3’de ayarlanabilir hatveli pervane sistemi görülmektedir. 2 numaralı yardımcı hidrolik yağ tankı yüksekte konumlandırılmıştır. Böylece, sistem çalışırken 1 no.’lu ana hidrolik yağ devresinin yeterli basıncı sağlayamaması durumunda, 2 no.’lu tanktaki yağın potansiyel enerjisinden faydalanılarak çalışma basıncı sağlanabilmektedir.



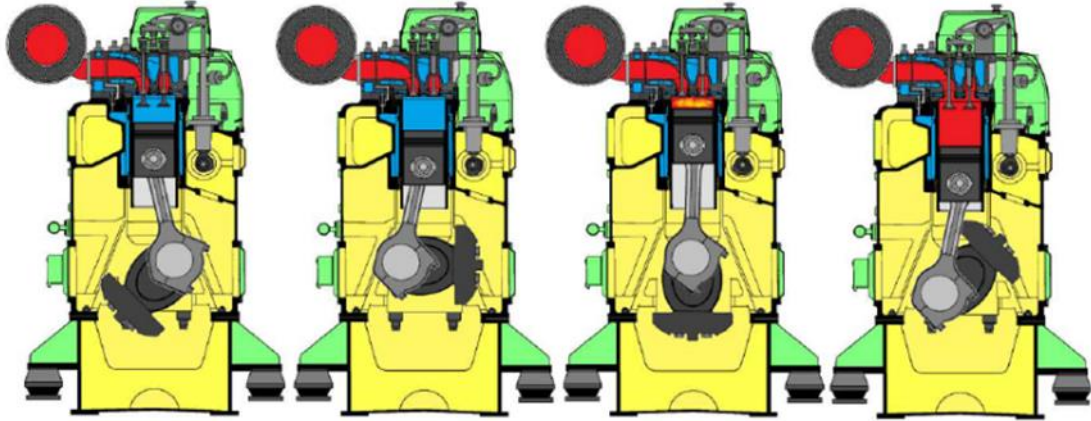
1. ve 2. Hidrolik yağ tankı 3.Stern tüp 4. Şaft 5. Braket 6. Pervane

Şekil 2.3. Ayarlanabilir hatveli pervane

2.2. Gemi Dizel Motorları Özellikleri ve Çalışma Prensibi

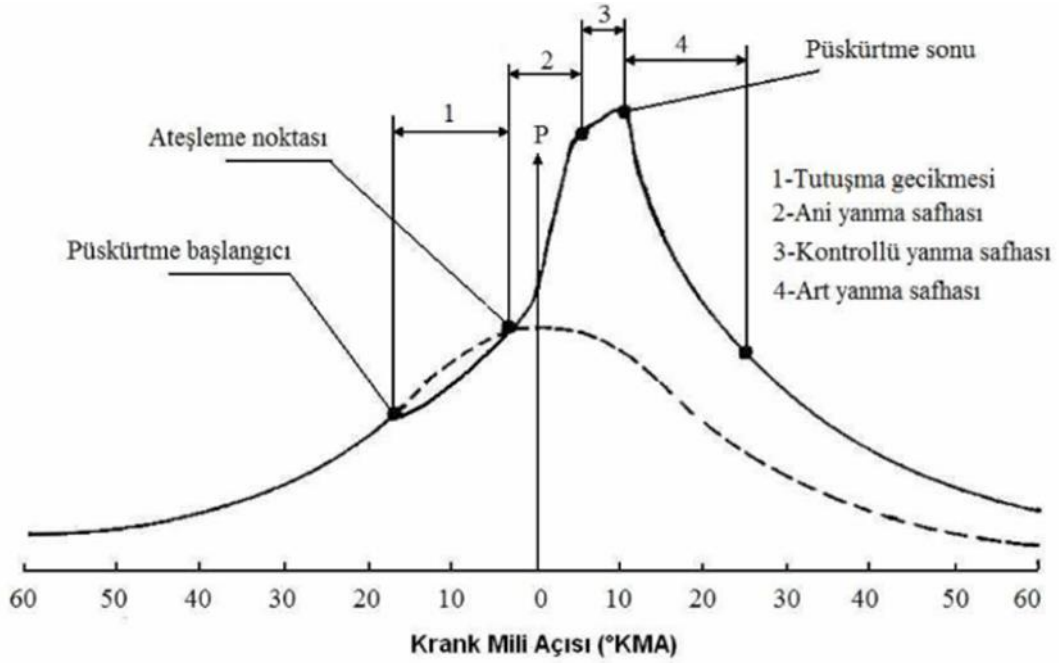
Dizel motorlar buhar makinelerinin yerini almış ve son yüz yıllık dönemde modern medeniyetin gelişmesi için kullanılmıştır. Yüksek yakıt tüketim verimi ve geniş uygulama yelpazesinde yüksek tork değerleri sağlaması, dizel motor kullanımını cazip hale getiren etmenlerdendir. Ayrıca, dizel motorda farklı özellikteki bir çok yakıt türü kullanılabilir. Bununla birlikte, NO_x emisyonu, partikül emisyonu ve gürültü gibi nedenlerden dolayı dizel motorların kalabalık şehirlerde kullanımının azaltılması hedeflenmiş ve bu konuda son yirmi beş yılda çok başarılı gelişmeler elde edilmiştir (Lakshminarayanan ve Agarwal, 2020).

Rudolph Diesel tarafından icat edilip 1892 yılında patenti alınan dizel motorları önce kara araçları, sonra gemi ve ardından lokomotiflerde kullanılmıştır. Günümüzde dizel motorlar gemilerde ana makine olarak ve jeneratörleri tahrik ederek elektrik üretilmesini sağlayan yardımcı makineler olarak kullanılmaktadır. Gemi özelliklerine bağlı olarak ana makine seçim kriterleri farklı öneme sahip olmakla birlikte, dizel motorları gemiler için kullanışlı bulunmakta ve tercih edilmektedir (Karaca, 2015).



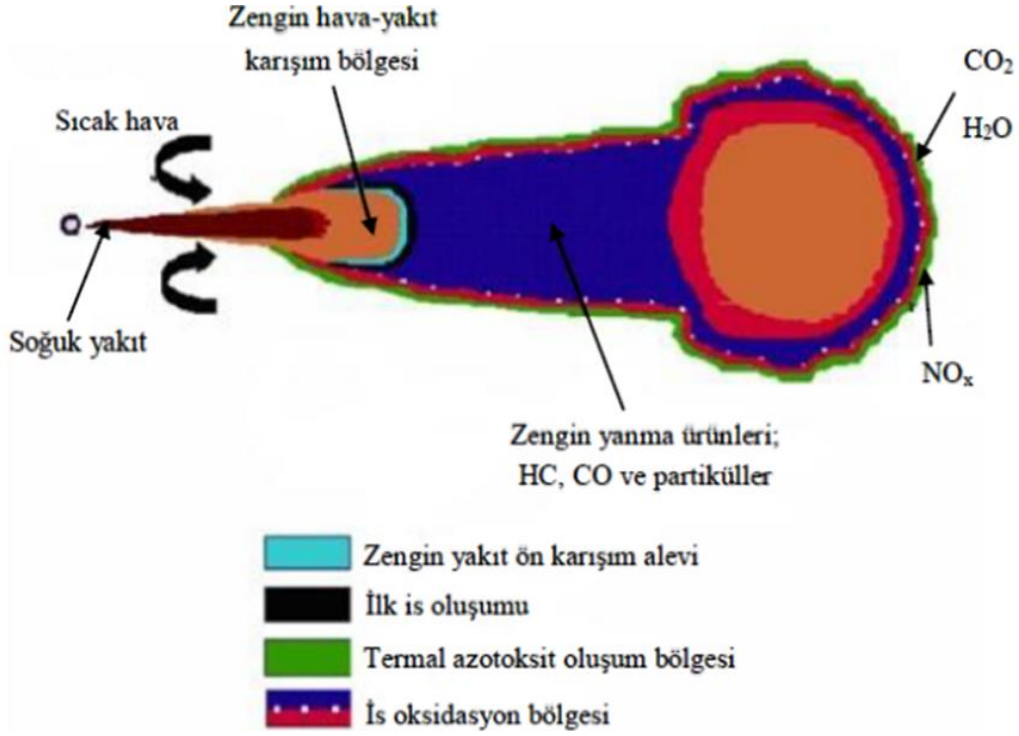
Şekil 2.4. Dört stroklu gemi dizel motorunda çalışma evreleri (Yapıcı, 2016)

Dizel motorlarının çalışma evreleri sırasıyla; emme, sıkıştırma, yanma ve egzoz şeklindedir. Bu evreler soldan sağa sıralı olarak şekil 2.4.'te gösterilmiştir. Dizel motorların teorik TV'si %40-50 aralığındadır. Ancak, operatif (gerçek çalışma şartlarında) anlamda yüksek hızlarda bu evrelerin tamamlanamaması, emme ve egzoz evresinde motordaki güç kaybı ve sürtünme etkisi ve soğutma suyuna olan ısı transferi gibi nedenlerden dolayı verim kaybı yaşanmaktadır (Sürmen ve ark., 2004).



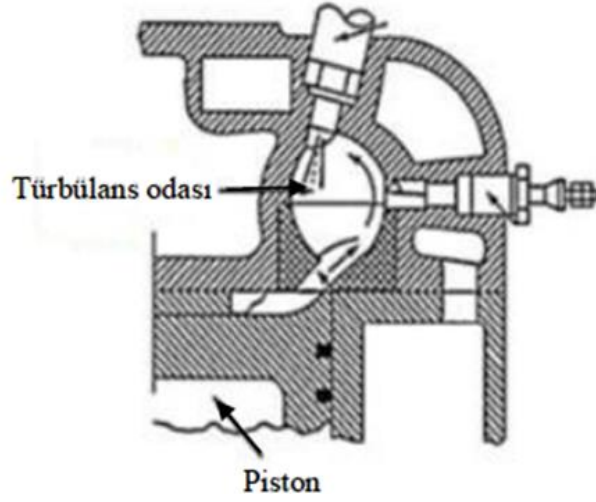
Şekil 2.5. Dizel motorlarında yanma safhaları

Yanma evresi için gereken üç etken oksijen, sıcaklık ve yakıttır. Dizel motorlar sıkıştırma ateşlemeli motorlardır, yanma için ihtiyaç duyulan hava silindir içerisinde sıkıştırılır. Sıkıştırma etkisiyle artan hava sıcaklığının, dizel yakıtının yanması için uygun değerlere ulaşmasının ardından yakıtın silindir içerisine enjeksiyonu gerçekleştirilir (Kenanoğlu, 2016). Şekil 2.5’de dizel motorlarında yanma safhaları (Keskin, 2005) görülmektedir. Dizel motorlarda yanma süreci dört basamaktan oluşmaktadır. Bu basamaklar sırasıyla tutuşma gecikmesi, ani (kontROLSÜZ) yanma, kontrollü yanma ve art yanma basamaklarıdır. Silindir içerisine püskürtülen yakıt damlaları, temas yüzeyi sınırlarından itibaren buharlaşmaya başlar ve bu aşamada yanma olmaz. Belirli bir oranda buharlaşma gerçekleştikten sonra yaklaşık 750 Kelvin sıcaklıkta yakıtın yanma süreci başlar (Kaya, 2019). Şekil 2.6’de gösterilen; sıcak hava 950 K, soğuk yakıt 350 K, zengin yanma ürünleri olan HC, CO ve partiküller 1.600 K ve NO_x ise 2.700 K sıcaklığa sahip olup söz konusu değerler yaklaşık olarak ifade edilmiştir.

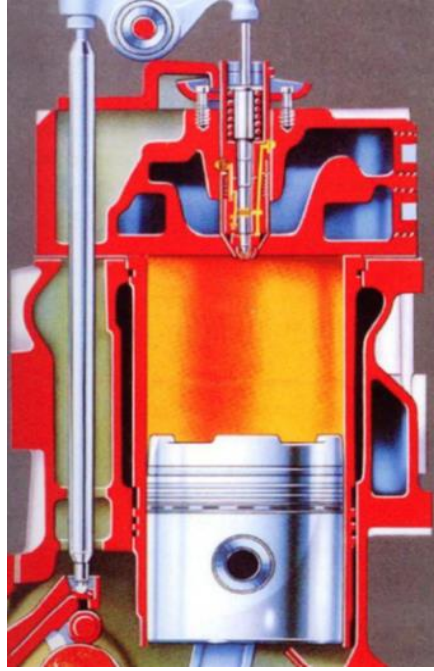


Şekil 2.6. Dizel motor yanma odasında yanma başlangıcındaki yakıt demeti (Atay, 2009)

Dizel motorların sınıflandırılması temel olarak enjeksiyon sistemi tipine göre; dolaylı enjeksiyonlu dizel motorlar (Şekil 2.7) ve doğrudan enjeksiyonlu dizel motorlar (Şekil 2.8) şeklindedir. Direk yakıt enjeksiyon metodu, dolaylı yakıt enjeksiyonuna kıyasla daha düşük özgül yakıt tüketimine neden olmaktadır. Dolaylı enjeksiyon metodunda ön çemberde 400 bar'lık bir basınç yeterli olmaktadır, bununla birlikte direk enjeksiyon sisteminde 1.200 – 2.000 barlık basınçlara ihtiyaç olmaktadır. Yanma başlangıcındaki bu yüksek basınç motorun gürültüsünün artmasına neden olmaktadır (Merker ve ark., 2006).



Şekil 2.7. Dolaylı enjeksiyonlu bir dizel motorun türbülans odası kesiti (Ece, 2019)



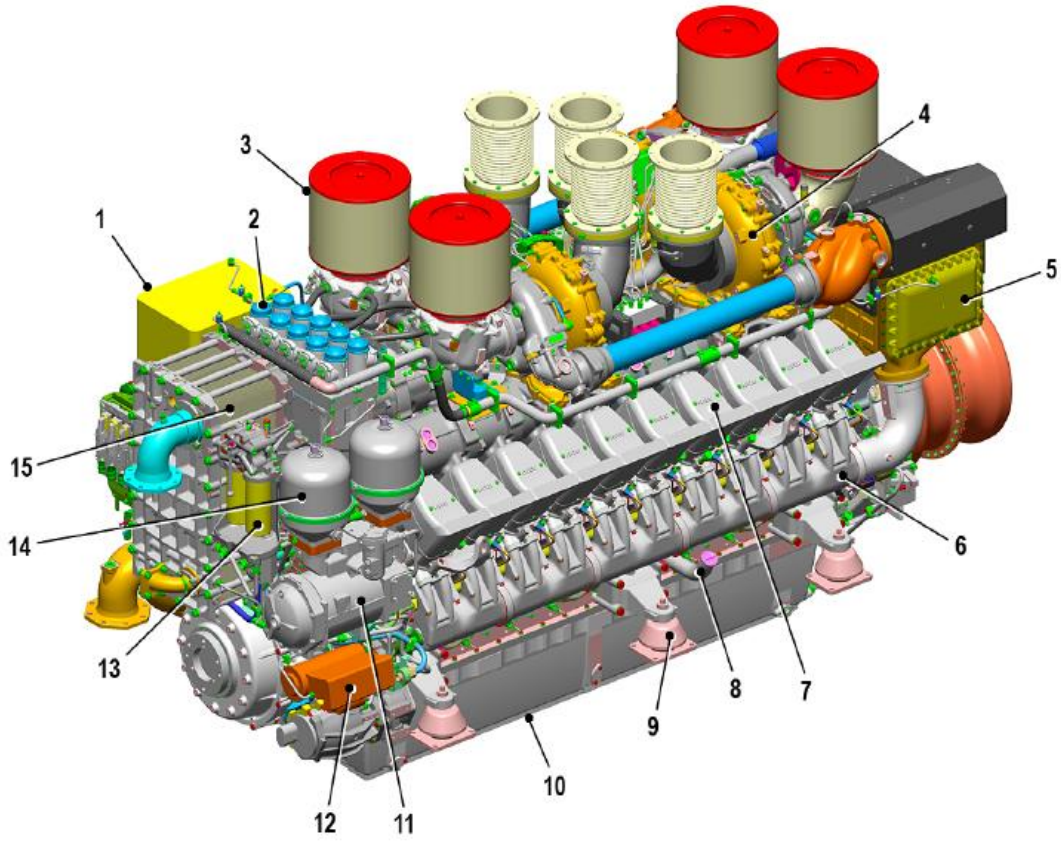
Şekil 2.8. Doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motorun kesit görüntüsü

Strok sayılarına göre ise iki stroklu ve dört stroklu dizel motorlar olarak sınıflama yapılabilir (Challen ve Baranescu, 1999). Çalışma evrelerini krank şaftın tek dönüşünde tamamlayan dizel motorlara iki stroklu dizel motorlar, krank şaftın iki dönüşünde tamamlayan dizel motorlara ise dört stroklu dizel motorlar denmektedir (Taylor, 1996). Dizel motorlar hızlarına göre; en yüksek hızı 600 d/d olan dizel motorlar düşük hızlı, 600-1.200 d/d olan dizel motorlar orta hızlı, 1.200 d/d ve üzeri olan dizel motorlar

yüksek hızlı olarak gruplandırılmaktadırlar (Yapıcı, 2019). İki stroklu ve düşük hızda çalışan dizel makineler uzun süreli operatif etkinliklerinden dolayı güvenilirlikleriyle ön plana çıkmaktadırlar. Bununla birlikte dizel makineler; silindir dizilişlerine, piston türlerine, güç etkisine, yakıt püskürtme yöntemine, yakıt tutuşturma yöntemlerine ve iş çevrimlerine göre sınıflandırılmaktadırlar (Küçükşahin, 2011). Gemilerde iki stroklu dizel motorlar genellikle yüksek miktarda yük taşıyan ve daha stabil hızda seyir yapan kuru yük gemilerinde tercih edilmektedir. Ana tahrik sistemi için çoğunlukla dört stroklu, orta ya da yüksek hızlı olan dizel motorlar tercih edilmektedir.

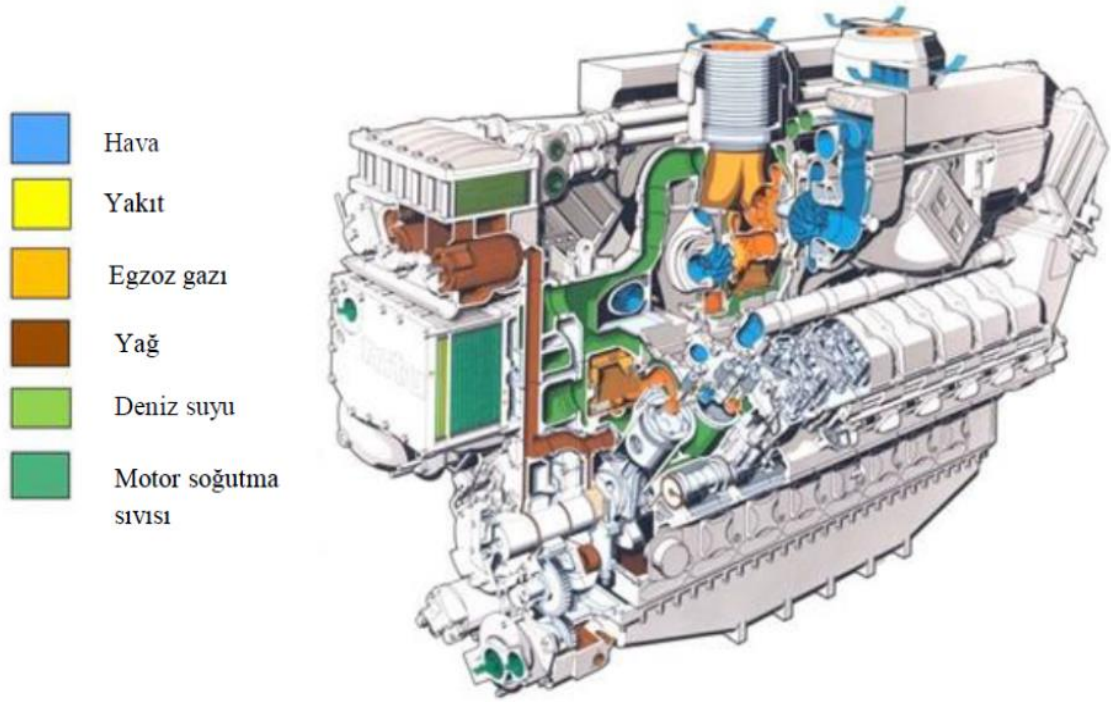
2.3. Gemi Dizel Motoru Bünyesindeki Devrelere Genel Bakış

Gemi dizel motoru bünyesindeki akışkanların yoğun olarak sirkülasyon içerisinde olduğu, motor sisteminin çalışmasını sağlayan devreler temel olarak; soğutma devresi, yağlama devresi, yakıt devresi, hava devresi ve egzoz devresidir. Bu devrelere ek olarak motor bünyesinde mekanik hareket düzenini sağlayan ya da çalışma esnasında sistem içinde yer alan bir çok yardımcı sistem mevcuttur. Şekil 2.9’da dizel motor kısımları görülmektedir.



- | | | |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------|
| 1.Yağ soğutucu | 6.Şarj havası borusu | 11.Otomatik yağ filtresi |
| 2.Karter havalandırma | 7. Silindir kafası | 12.Yüksek basınç yakıt pompası |
| 3.Hava filtresi | 8.Yağ doldurma ağzı | 13. Yakıt filtresi |
| 4.Turboşarj | 9.Motor montaj kısmı | 14.Santrifüj yakıt filtresi |
| 5.Ara soğutucu | 10.Yağ karteri | 15.Soğutma suyu soğutucu |

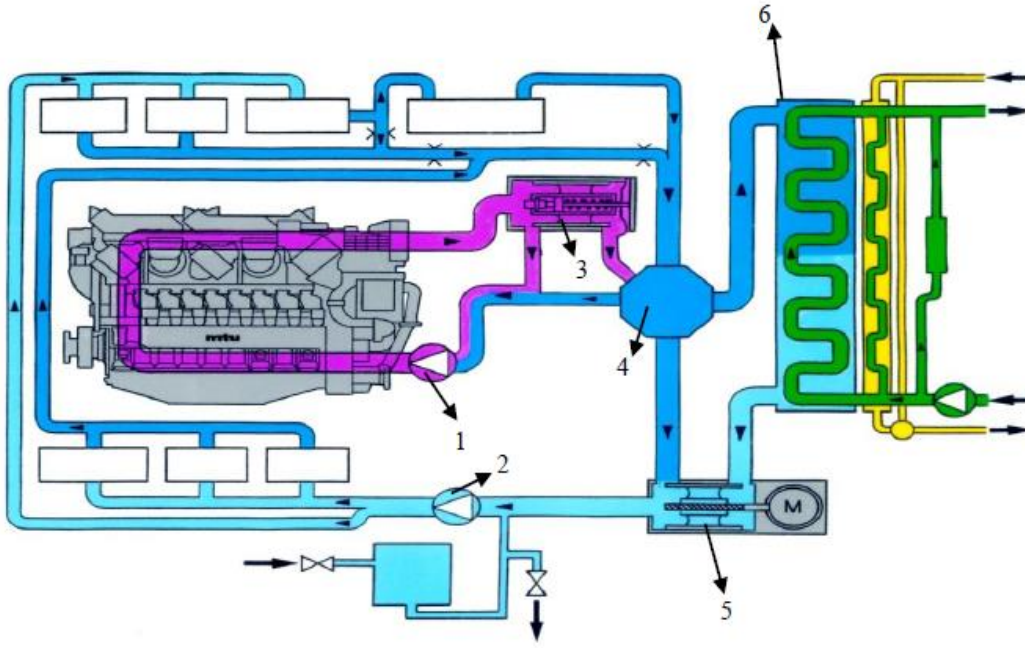
Şekil 2.9. Gemi dizel motoru genel görünüm



Şekil 2.10. Gemi dizel motoru devrelerinin genel görünümdeki kesiti

Şekil 2.10’da gemi dizel motoru hava, egzoz, yağ, deniz suyu ve motor soğutma suyu akış devreleri görülmektedir. Deniz suyu devresi tatlı su devresindeki suyun soğumasını sağlarken tatlı su devresi de motor elemanlarının soğumasını sağlamaktadır.

Şekil 2.11’de bu tez çalışması için performans testi gerçekleştirilen MTU 16V 595 TE90 dizel motorunun tam yükte çalışması durumundaki soğutma sistemi gösterilmektedir. Şekilde sarı renkli devrede yakıt, yeşil renkli devrede deniz suyu, turkuvaz renkli devrede soğuk motor soğutma suyu, mavi renkli devrede soğuk motor soğutma suyunun ısınmış hali, mor renkli devrede ise sıcak motor soğutma suyu mevcuttur. Devreler ve bölümler arasındaki ısı transferi ilişkisinin temel mantığı genel olarak şekilde şematize edilmiştir.



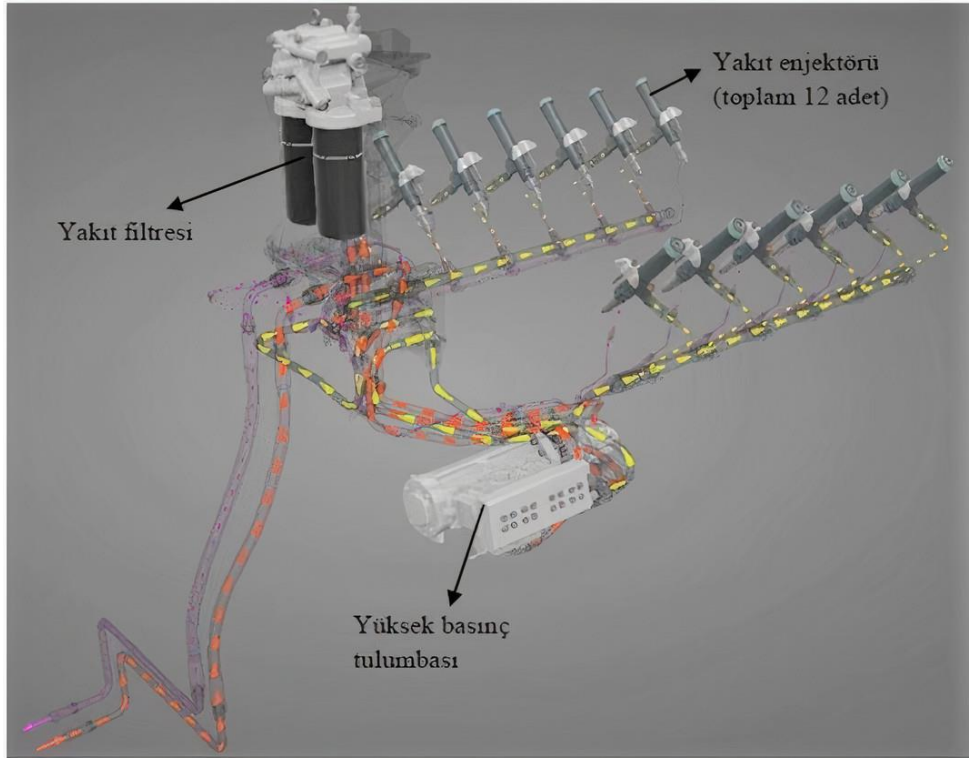
- | | |
|--------------------------------|------------------------------|
| 1. Soğutma pompası | 4. Karışım odası |
| 2. Şarj havası soğutma pompası | 5. Düşük sıcaklık termostadı |
| 3. Yüksek sıcaklık termostadı | 6. Soğutma suyu kuleri |

Şekil 2.11. MTU 16V 595 TE90 dizel motorun soğutma sistemi

Yağlama devresinin amacı ise motor içerisindeki hareketli parçalar arasında sürtünmenin azaltılması ve verimli şekilde güç aktarımının sağlanmasıdır. Gemi dizel motorlarından periyodik olarak yağ örnekleri alınarak partikül analizi yapılmaktadır. Tolerans değerinden fazla partikül tespit edilmesi durumunda sürtünmenin istenenden fazla olduğu sonucuna ulaşılarak motora müdahale edilmektedir.

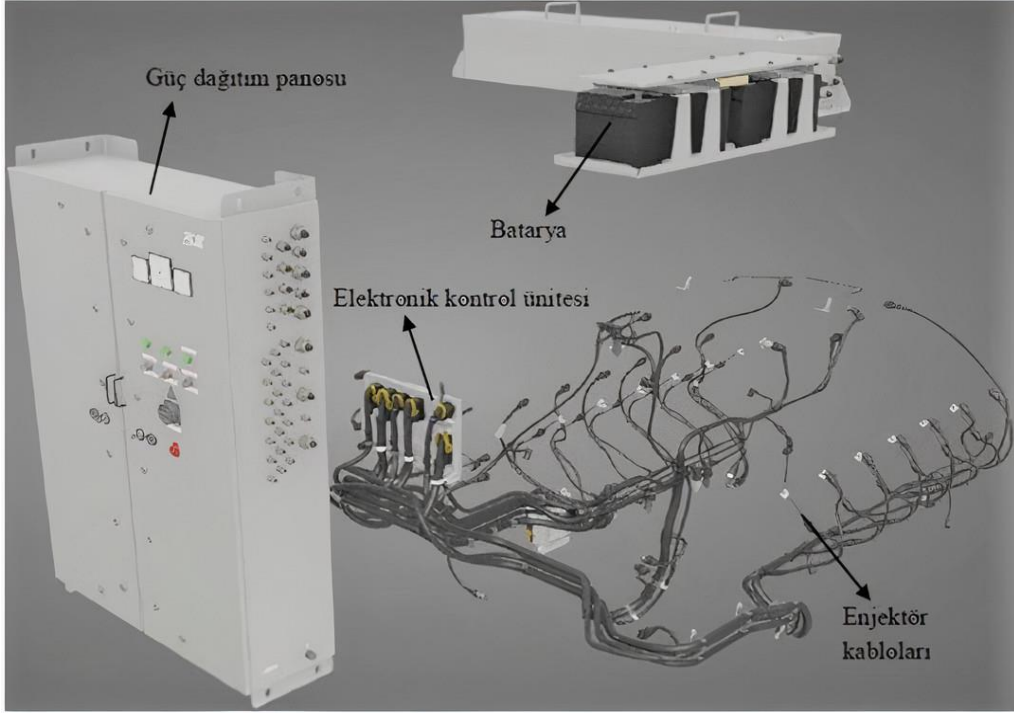
Yakıt sistemleri ise silindir içerisine yakıtın; uygun kalite, termal değer, miktar, geometri ve zamanlama ile enjekte edilmesini sağlar. Gemilerde yakıt motora ulaşmadan önce onlarca tonluk depo tanklarında tutulur. Ardından depo tanklarından boru devresi ile yakıt, santrifüj makinesinden geçirilerek içerisinde bekleme esnasında oluşan tortular ayrıştırılır ve purifiye edilen yakıt servis tankına gönderilir. Motorlar servis tankından aldıkları yakıtı, bünyesindeki yakıt devresinde gerekli aşamalardan geçirirler. Yakıtın yakılması ile motorlar kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürürler. Gemi dizel motoru yakıt devresi şekil 2.12’de MTU 4000 model gemi dizel motorunun simülasyonundan alınan görüntüde ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

Söz konusu motor “commonrail” yakıt enjeksiyon sistemine sahiptir. Yakıt devresini gösteren şekil 2.12’deki kırmızı renkli bölüm düşük basınç devresini, sarı renkli bölüm yüksek basınç devresini, mor renkli bölüm ise kullanılmadan geri dönen yakıt devresini göstermektedir. Şekilden de anlaşılacağı gibi, yakıt devresi gösterilen motor 12 silindirli V tipi bir gemi dizel motorudur.



Şekil 2.12. Gemi dizel motoru yakıt devresi

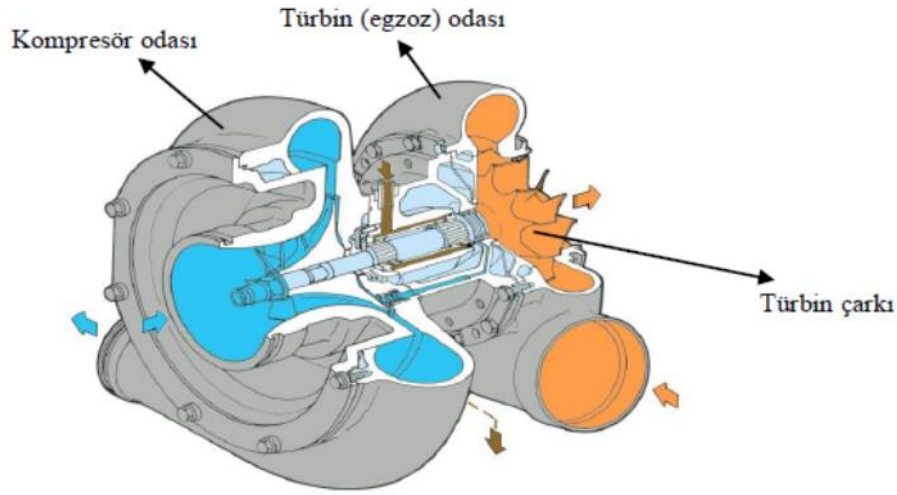
Şekil 2.13’de gemi dizel motoru yönetim otomasyon sistemi temel bileşenleri görülmektedir. Bu sistem içerisinde; güç dağıtım panosu, batarya, elektronik kontrol ünitesi, enjektör kabloları, termostatlar ve sensörler mevcuttur. Motor sistemi bünyesindeki hangi hareketten sonra istenen çalışma koşulları için diğer sistemlerin nasıl çalışacağını ya da hangi devredeki belirlenen sıcaklık ve basınç devrelerinde alarm verileceğini motor yönetim ve otomasyon sistemi belirlemektedir. Ayrıca bu sistemdeki sensörler sayesinde motorun çalışma durumundaki bilgileri gözlemlenebilmektedir.



Şekil 2.13. Gemi dizel motoru yönetim otomasyon sistemi

Şekil 2.14’de ise MTU 16V 595 TE90 dizel motorunun start sistemi prosedürü gösterilmiştir. Start prosedürü için gerekli parametreler motor özelliklerine göre değişmektedir. Motor bünyesindeki farklı devre ve sistemler arasında uyum ihtiyacı her türlü çalışma koşulu için gereklidir. Söz konusu devre ve sistemler arasındaki bağlantıların önemi ve karmaşıklığının anlaşılması için, start prosedürü şemasının faydalı bir örnek olduğu düşünülmektedir.

Şekil 2.15’de görülen turboşarjlerde mavi renkli bölüm hava devresi, turuncu renkli bölüm egzoz devresi, kahverengi bölüm ise yağlama devresidir. Yanma esnasında oluşan egzoz gazının oluşturduğu basıncın turboşarjer türbinindeki etkisi ile daha fazla emme havası alınarak gemi dizel motorlarına aşırı doldurma yapılmakta ve bu sayede yanma verimi artırılarak daha fazla güç çıkışı elde edilmektedir. Tez için kullanılan gemi dizel motorlarının tamamında aşırı doldurma sistemi mevcuttur. Aşırı doldurma sistemi bünyesindeki turboşarjerler, gelişmiş elektronik kontrol sistemine sahip motorlarda kademeli olarak belirli devir ve güç değerlerinin ardından devreye girmektedir.



Şekil 2.15. Gemi dizel motoru yüksek basınçlı egzoz turboşarjeri

2.4. Gemi Ana Tahrik Sisteminin Toplam Güç Kapasitesinin Belirlenmesi

Gemilerin görev kapsamı ve buna bağlı olarak en, boy, draft, deplasman gibi fiziksel özellikleri ve sürat, seyir sığası gibi fonksiyonel özelliklerinin belirlenmesinin ardından ana tahrik sistemi konusunda karar verilmektedir. Ana tahrik sistemi, belirlenen fiziksel özellikteki gemiye istenen fonksiyonel kabiliyetleri sağlamak durumundadır ve bu nedenle gerekli güç kapasitesine sahip olmak zorundadır. Ana tahrik sisteminin belirlenen koşullarda sahip olması gereken güç, geminin aynı şartlarda karşılaştığı dirençle orantılıdır.

Geminin ana tahrik sisteminin belirlenmesi için gemiye etki edecek direncin hesaplanmasında model deneyleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden başlıcaları; Froude Yöntemi, Telfer'in Geosim Yöntemi, Hughes Yöntemi, Prohaska Yöntemi, ITTC 1957 Yöntemi ve ITTC 1978 Yöntemi'dir. Bu yöntemlerin tamamında göz önüne alınması gereken kriterler; gemiye ait deplasman, hız, boyut, form, sualtı geometrisi, sualtı yüzey alanı ve sualtı hacim merkezinin gemi boyundaki konumu gibi değer ve özelliklerdir.



Şekil 2.16. Gemi maketi ile çekme deneyi yapılması

Bu yöntemlerde geminin belirli bir ölçekte maketi yapılmakta ve makete bağlanan tel ile maket uygun hızda çekilmektedir. Bu esnada telden elde edilen gerilme değerleri başta olmak üzere veriler ve bu verilerin formüllerde yerine konulması ile direnç değerlerinin elde edilmesi söz konusudur. Ardından gerekli katsayılar ve formüller yardımı ile gerçek gemi formu için ihtiyaç duyulan güç değerine ulaşılır. Uygulanan deneylerden elde edilen sonuçlar aynı zamanda hesaplanabilir akışkanlar dinamiği (HAD) analizleri ile elde edilerek doğruluğu pekiştirilir. Şekil 2.16'da İTÜ Ata Nutku Gemi Model Laboratuvarında prototip bir gemi modeli ile yapılan çekme deneyi görülmektedir. Bu tip laboratuvarlarda açık su yapıları ölçüm ve analizi, sevk deneyleri ve güç performansı analizi, akım görüntüleme deneyleri ve analizi, üç boyutlu iz ölçümü ve analizi, denizcilik performans ölçümü ve analizi, direnç deneyleri ve analizi, her çeşit gemi

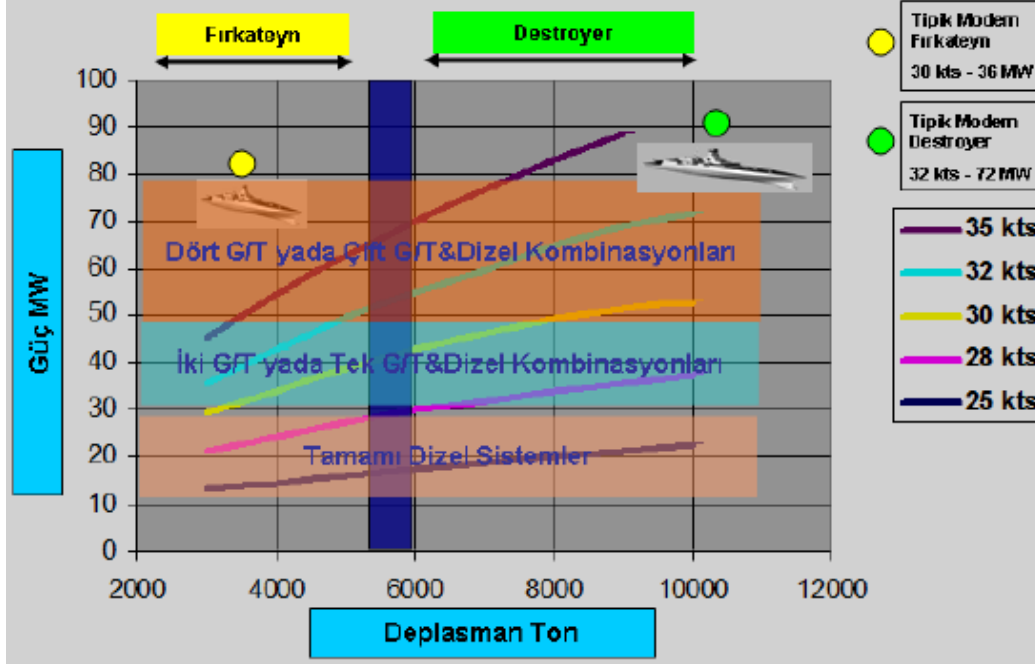
tekne formu dizayn ve optimizasyonu ile pervane dizayn ve analiz testleri gerçekleştirilmektedir.

Hesaplanan güç değeri, gemi pervanelerinin sağlaması gereken itme kuvvetine eşdeğerdir. Ana makinelerin sağlayacağı güç miktarı bundan daha fazla olmak zorundadır çünkü her sistemde olduğu gibi ana tahrik sisteminde de kayıplar mevcuttur. Elde edilen güç miktarına devir düşürücü dişli, şaft ve pervane güç aktarımlarında oluşan kayıplar hesaplanarak ilave edilir. İstatistiksel olarak dişli kutularındaki kayıp %3, şaft yataklarında ise %1,5 seviyesindedir. Pervanelerin rölatif dönme verimleri 0,94 ile 1,06 arasında olup bu oranı gemi kış formu ile pervane arasındaki akış etkisini önemli oranda etkilemektedir.

Potansiyel güç kayıplarının hesaba dahil edilmesinin ardından en son elde ettiğimiz güç değerine geminin eskimesi, deniz şartlarındaki dalga, rüzgar, akıntı, deniz suyunun sıcaklığı ve yoğunluğu gibi faktörlerin etkisini içeren %15'lik "seamargin" fazlalık değeri eklenmektedir (Magnussen, 2017). Nihai olarak hesaplanan güç değeri, ana tahrik makinalarının sahip olması gereken toplam güç verisidir.

2.5. Gemi Ana Tahrik Kombine Sistem Türleri

Bir gemi ana tahrik sisteminin sahip olması gereken toplam gücün belirlenmesinin ardından, bu toplam güce hangi kombine sistem ile ulaşılabileceği belirlenir. Bu süreçte geminin operatif kriter ve ihtiyaçları ile tasarımsal yeterlilikleri dikkate alınır. Dizel motorları ve gaz türbinlerinin olumlu ve olumsuz özellikleri değerlendirilerek optimum bir sistem eldesi planlanır. Bu bölümde dizel-elektrik tahrik sistemlerinden de bahsedilecektir. Ayrıca, bazı durumlarda ana tahrik sistemi seçiminde tüm kriterlerin göz ardı edildiği zorunluluk durumları da söz konusu olabilmektedir. Bu konuya en iyi örneklerden birisi; Güney Kore'nin gemi ana tahrik sisteminde elektrikli motorları fazlaca tercih etmesidir. Bilindiği gibi elektrik motorlarının denizde bıraktığı akustik iz çok düşüktür. Bu tercihin sebebi de Kuzey Kore'nin sahip olduğu üstün denizaltı teknolojisine karşı gemilerinin radarla denizaltılar tarafından kolay saptanmasını engellemektir. Bahsi geçen örnek için her türlü ekonomik, teknik ya da operatif etkinlik ikinci planda kalmakta ve stratejik zorunluluk durumu söz konusu olmaktadır.



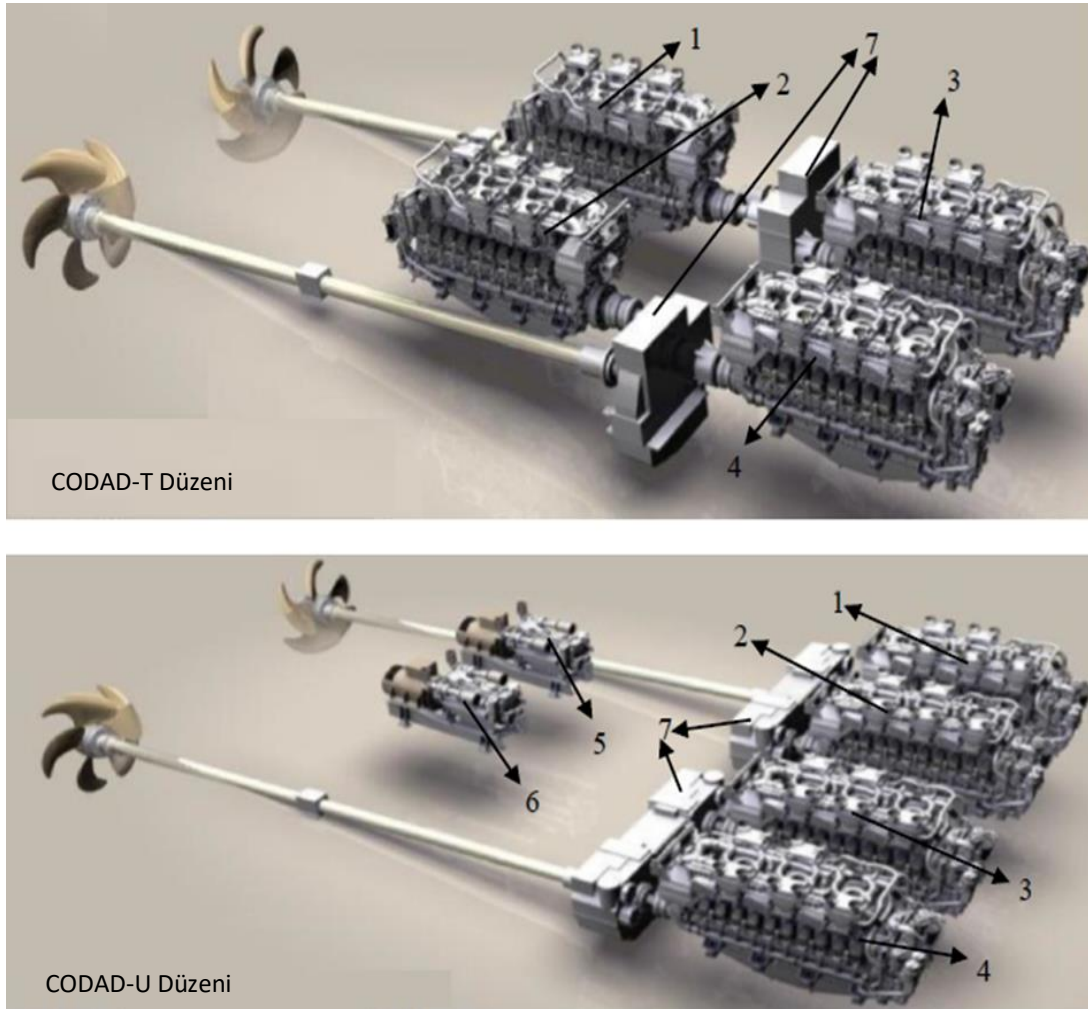
Şekil 2.17. Fırkateyn ve destroyerlerde deplasman ağırlığı ve toplam ana tahrik sistemi gücü ihtiyacına bağlı olarak ana tahrik sistemi kullanılabilirliği (Akca, 2010)

Şekil 2.17'deki grafik Almanya merkezli güç aktarım elemanları tasarım ve üretici firması olan Renk Transmisyon Sanayi A.Ş.'nin verilerinden derlenmiştir. Bu grafikten bir örnek verilecek olursa deplasman ağırlığı 3.000 ton olan bir fırkateyn tipi savaş gemisinin 30 deniz mili maksimum seyir hızına ulaşması için, ana tahrik sisteminin sahip olması gereken toplam güç kapasitesi yaklaşık 30 MW olmalıdır. Bu değerleri elde etmenin en optimum yöntemi ise istatistiksel olarak iki gaz türbininden oluşan bir ana tahrik sistemi ya da bir gaz türbini ile gerekli güç kapasitesine ulaşılacak sayıda dizel motorların kombinasyonundan oluşan bir ana tahrik sistemidir.

Gemi için tercih edilecek her ana tahrik sistemine uygun olarak ana tahrik sistemi ile akupple şekilde çalışan devrelerin tasarımı değiştirilmekte ve aynı zamanda başta DDD kutusu olmak üzere ana tahrik sisteminin parçası olan elemanlar uygun şekilde tercih edilmektedir.

2.5.1. CODAD ana tahrik sistemi kombinasyonu

CODAD sisteminin açılımı “Combination of Diesel and Diesel” dir. Bu sistemin tamamı dizel motorlarından oluşmaktadır ve tüm dizeller birbiri ile entegre şekilde çalışabilmektedir. Dizel motorları, hareketli parça sayılarının fazla olması nedeniyle sıklıkla bakım gerektirmektedir. Bu sistemin ilk elde edilme maliyeti düşüktür, bakım ve operatif masrafları yüksektir. Bununla birlikte, düşük kızılötesi iz ve yüksek akustik iz değerleri bu sistem için söz konusu olmaktadır. Şekil 2.18’de hem ‘‘U’’ hem de ‘‘T’’ tipi CODAD ana tahrik sistemi dizilimi gösterilmiştir.

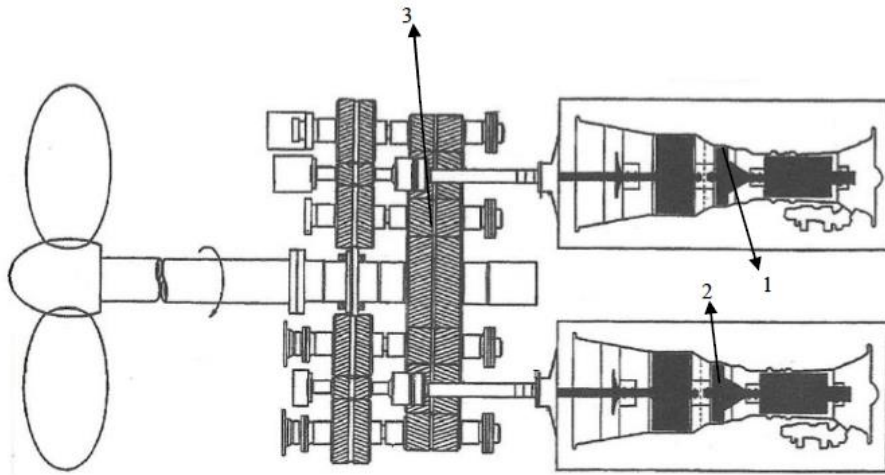


Şekil 2.18. CODAD ana tahrik sistemi T ve U düzeni

Ana tahrik sistemi motorlarının, gemi içerisindeki yerleşimi tasarım parametreleri açısından çok büyük önem taşımaktadır. Çünkü bu dizilim yağ, yakıt, su, egzoz devrelerinin geçişi, geminin ağırlık merkezi, motorların bulunduğu donatım alanındaki ekipmanların yerleşimi gibi geniş yelpazedeki dizayn parametrelerini etkilemektedir. Şekil 2.19’da hem ‘U’ hem de ‘T’ tipi CODAD ana tahrik sistemi dizilimi gösterilmiştir. Her iki sistemde de 1, 2, 3 ve 4 numaralı motorlar ana tahrik dizel motorları, ‘U’ dizilimindeki 5 ve 6 numara ile gösterilen motorlar ise yardımcı dizel motorlardır. ‘U’ ve ‘T’ diziliminde 7 numara ile gösterilen ise DDD sistemidir.

2.5.2. COGAG ana tahrik sistemi kombinasyonu

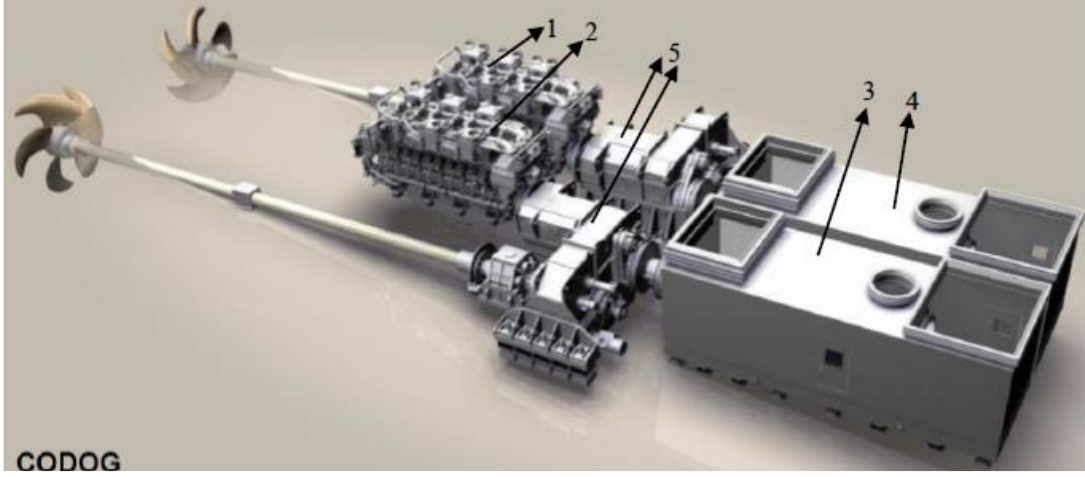
COGAG sisteminin açılımı “Combination of Gas and Gas” dir. Bu ana tahrik sisteminde yalnızca gaz türbinleri kullanılmaktadır. Bu durumun en avantajlı tarafı, ana tahrik motorlarına son derece düşük sıklıkta bakım işlemi uygulanması ve motorların denizde bıraktığı akustik izin düşük olmasıdır. Dezavantajı ise egzozdaki yüksek sıcaklıktan dolayı kızılötesi izin yüksek olması ve yüksek hız haricindeki seyirlerde ve özellikle manevralarda özgül yakıt tüketiminin yüksek olması şeklinde gösterilmektedir. Şekil 2.19’da COGAG sisteminin şeması görülmektedir. Şekildeki 1 ve 2 numaralı kısım ana tahrik gaz türbinleri ve 3 numaralı kısım ise DDD sistemidir.



Şekil 2.19. COGAG sistemi şematik diyagramı (Pojava, 2017)

2.5.3. CODOG ana tahrik sistemi kombinasyonu

CODOG sisteminin açılımı ‘‘Combination of Diesel or Gas’’ dir. Söz konusu ana tahrik sisteminde dizel motor ve gaz türbini birlikte bulunmaktadır. Yüksek seyir hızlarında gaz türbini, düşük seyir hızlarında ise dizel motorları tercih edilmektedir. Dizel motor ve gaz türbinlerinin olumlu etkilerinden faydalanmayı amaçlayan sistemin en büyük dezavantajı, dizel motorları ve gaz türbininin aynı anda kullanılamaması ve ana tahrik sisteminin toplam güç potansiyelinden en yüksek şekilde faydalanılamamasıdır. Şekil 2.20’de CODOG ana tahrik sistemi görülmektedir. Şekil 2.20’deki 1 ve 2 numaralı motorlar ana tahrik dizel motorlarını, 3 ve 4 numaralı makineler ise ana tahrik gaz türbinlerini göstermektedir. 5 numaralı kısım ise DDD sistemidir.

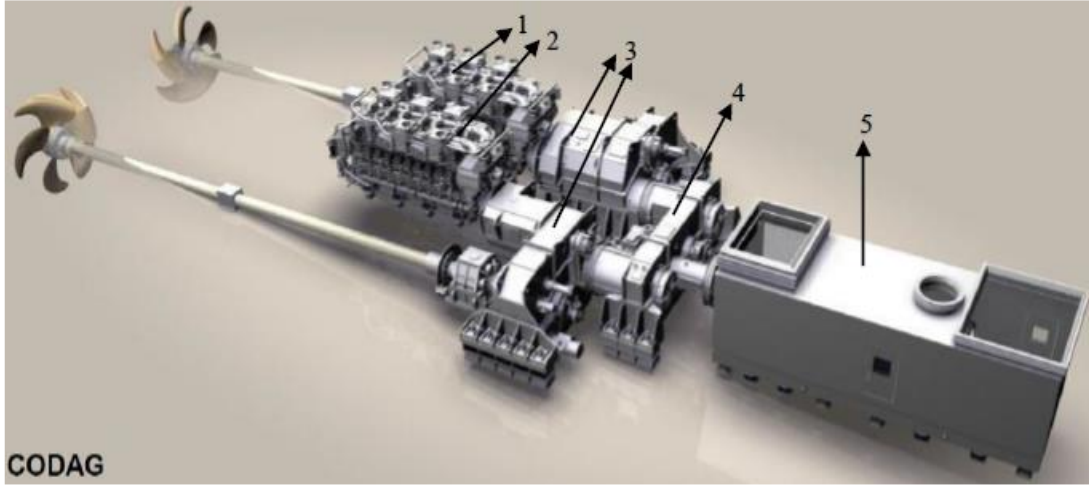


Şekil 2.20. CODOG ana tahrik sistemi

2.5.4. CODAG ana tahrik sistemi kombinasyonu

CODAG sisteminin açılımı ‘‘Combination of Diesel and Gas’’ dir. CODOG sistemi, gelişen dişli sistemleri sayesinde yerini CODAG sistemlerine bırakmaktadır. Bu sistem CODOG sisteminin tüm avantajlarını bünyesinde barındırmasına ek olarak dizel motorlar ve gaz türbininin birlikte kullanılmasına imkan sağlamaktadır. Şekil 2.21’de CODAG ana tahrik sistemi görülmektedir. Şekildeki 1 ve 2 numaralı makineler ana tahrik dizel motorlarını, 3 numaralı sistem DDD sistemini, 5 numaralı makine ise ana tahrik gaz türbinini göstermektedir. Bu sistemin farklılığı 4 numara ile gösterilen çapraz bağlantı dişli sistemi olmaktadır. CODAG sisteminde gaz türbini ve dizel

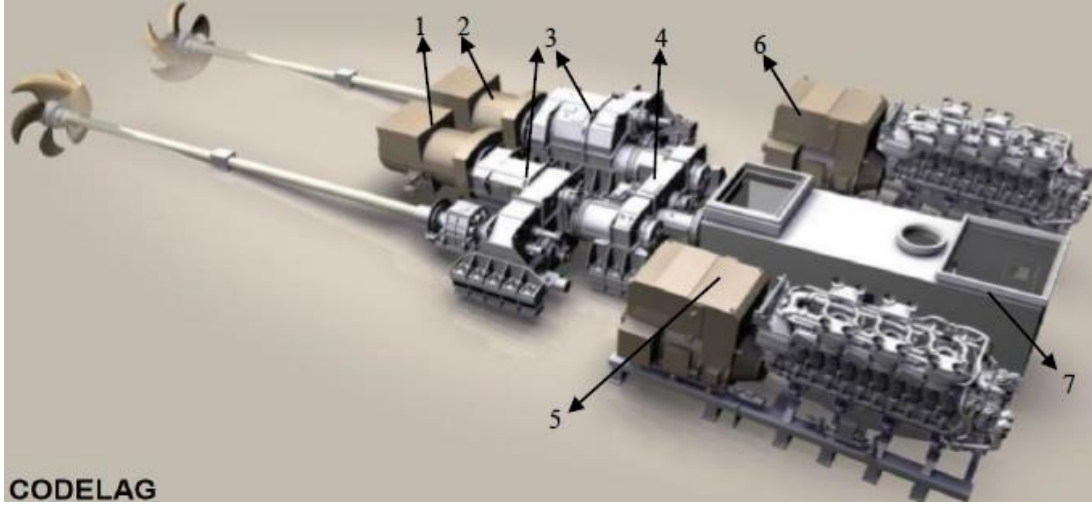
motorların aynı anda çalışarak pervaneye güç aktarabildikleri için çapraz bağlantı dişli sistemi mevcuttur.



Şekil 2.21. CODAG ana tahrik sistemi

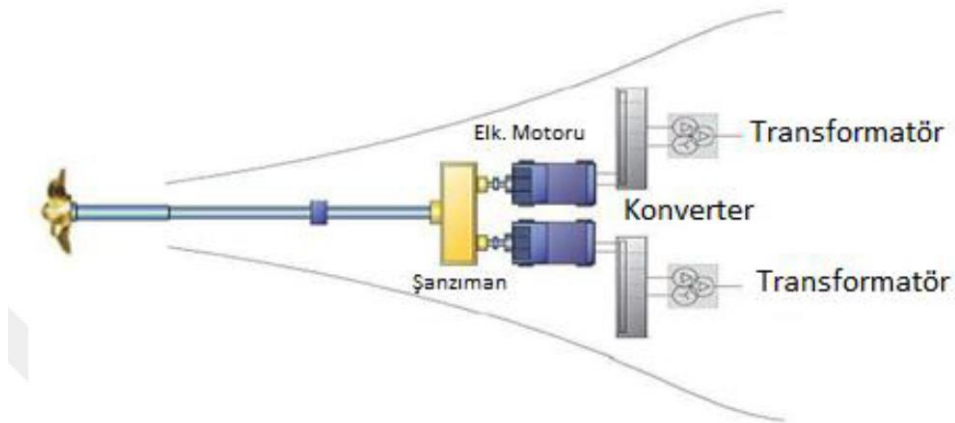
2.5.5. CODELAG ana tahrik sistemi kombinasyonu

CODELAG sisteminin açılımı “Combination of Diesel Electric and Gas” dir. Dizel jeneratörden direk olarak beslenen elektrik motorları ve gaz türbini kombinasyonundan oluşmaktadır. Bu sistemlerde düşük hızlar için elektrikli motor, yüksek hızlar için gaz türbini kullanılır. Elektrik motorları şafta DDD olmaksızın multi disk glaç bağlantısı ile bağlanmaktadır. Sistemin avantajı, su altı akustik izin düşük olması ve ani tork sağlayabilme imkanındır. Elektrik motorlarının birim hacim ve ağırlıktaki güç miktarlarının düşük olması ise sistemin dezavantajlarından. CODELAG sistemi; denizaltı savunma harbi gemileri için ana tahrik sisteminin yedeklenebilirliği bakımından, denizdeki akustik izleri düşük olan COGAG sistemine kıyasla daha kullanışlı bir sistem olarak göz önüne çıkmaktadır. Şekil 2.22’de CODELAG ana tahrik sistemi görülmektedir. Şekildeki 1 ve 2 numaralı motorlar ana tahrik elektrik motorlarını, 3 numaralı sistem DDD sistemini, 4 numaralı bölüm çapraz bağlantı dişli sistemini, 5 ve 6 numaralı makineler dizel jeneratörlerini, 7 numaralı makine ise ana tahrik gaz türbinini göstermektedir. CODELAG sisteminde de tıpkı CODAG sisteminde olduğu gibi çapraz bağlantı dişli sistemi mevcuttur.



Şekil 2.22. CODELAG ana tahrik sistemi

Aynı zamanda, gemilerde dizel motor ve elektrikli motorların birlikte kullanıldığı farklı ana tahrik sistemleri de mevcuttur. Elektrikli motorların avantajlarından birisi de geminin art arda ileri ve geri manevra yapması gereken durumlarda elektrik motorunun dönüşü ile bu manevranın dizel motoru ya da gaz türbini kullanımına kıyasla daha kolay gerçekleşmesidir. Ayrıca gemilerde elektrikli motor kullanımının ilk defa, yalnızca geri manevra yapılması için pervaneye bağlanmış bir elektrikli motor kullanımı uygulaması ile başladığı düşünülmektedir. Şekil 2.23’de örnek bir dizel-elektrik tahrik sistemi şeması görülmektedir.



Şekil 2.23. Dizel-elektrik tahrik sistemi şeması (Gümüştekin, 2015)

Dizel-elektrik tahrik sistemi tıpkı CODELAG sisteminde olduğu gibi elektrik motorunun tüm avantajlarına ve dezavantajlarına sahiptir. Tek farkı elektrik motorunun aynı anda çalışarak ortak itici güç üretebileceği ana tahrik gaz türbininin mevcut olmayışıdır. Elektrik motorlarının birim kütle ve hacimdeki güç kapasitelerinin düşük olması nedeniyle dizel-elektrik tahrik sistemleri genellikle turistik amaçla kullanılan büyük ve lüks yolcu gemilerinde tercih edilmektedir. Elektrik motorlar dizel-elektrik sisteminde de CODELAG sisteminde olduğu gibi dizel jeneratörler tarafından beslenmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Motor Test Türleri

Gemi dizel motorları, hareketli parça sayılarının fazla olması nedeniyle sıklıkla bakım gerektirmektedir. Makine ve ekipmanların sorunsuz çalışması amacıyla gerçekleştirilen onarıcı ve arıza engelleyici işlemlerin tamamı ise bakım olarak nitelendirilmektedir (Göksu, 2017). Bu tez çalışmasında kullanılan MTU 20V 1163 TB 93 dizel motorunun periyodik bakımları günlük, 150, 300, 1.500, 4.500 ve 9.000 saatlik çalışma süreçlerinde yapılmaktadır. 4.500 ve 9.000 saatlik bakımlar tersane/fabrika seviyesi bakım olup motor parçalarının kısmen ya da komple revizyonunu gerektirmektedir (Tamer, 2016). Revizyon gerektiren bakım işlemi sonrasında motor parçalarının birbirine alıştırılması (rodaj) ve yük testi işlemleri uygulanmaktadır. Bununla birlikte, literatürde motorlara uygulanan test işlemlerinin bir çok türü mevcuttur.

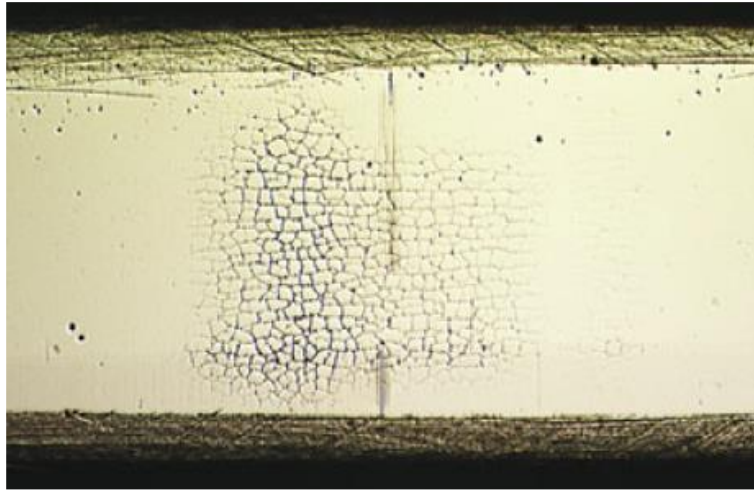
Motor testleri temelde standart test türleri, uzun süreli test türleri ve özel test türleri olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Standart test türleri; tam yük eğrisi testi, kaçak testi, piston sarma testi ve geliştirme testinden oluşmaktadır.

Tam yük eğrisi testinde, motora çeşitli hızlarda yükleme yapılmakta ve istenen parametrelere bağlı olarak; güç, tork, yakıt tüketimi, egzoz emisyonu, emme havası giriş sıcaklığı, emme havası giriş basıncı, egzoz sıcaklığı ve silindir basıncı gibi değerler ölçülmektedir. Motorun çalışması esnasında silindirdeki basınç çok yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Bu süreçte, piston ve silindir arasındaki sürtünme etkisi yüzeylerden mikron düzeyinde parçacıkların ayrılmasına neden olmaktadır. Kaçak testinde; yanma odasından atılan bu partiküler malzemelerin miktarı tespit edilmektedir. Piston sarma testinde; piston, segmanlar ve silindirlerin farklı çalışma koşullarındaki sarma dayanımı

test edilmektedir. Geliştirme testinde ise; piston, segmanlar ve silindirlerin 50-100 saat arası çalışma sürelerindeki kaçak testi ve yağ tüketimi testi gerçekleştirilmektedir.

Uzun süreli test türleri; standart dayanıklılık testi ve sıcak-soğuk dayanım testlerinden oluşmaktadır. Standart dayanım testleri; motorların performanslarının ya da geliştirilen parçaların dayanımlarının değerlendirildiği 1.000-3.000 saat çalışma sürecindeki testlerden oluşmaktadır. Sıcak-soğuk dayanım testleri; motor parçalarının sıcaklık değişimleri ve termal genişlemelere karşı dayanımlarının test edilmesi ile gerçekleştirilmektedir.

Özel test türleri ise; soğuk çalışma testi, mikrokaynak testi, aşınma testi ve yanma izi testidir. Soğuk çalışma testinde, soğuk çalıştırma esnasında yağ filminin deforme olma durumu kontrol edilmektedir. Mikrokaynak testinde, piston segmanlarının bölgesel olarak mikrokaynak deformasyonlarının kontrolü gerçekleştirilmektedir. Aşınma testinde, piston segmanlarında sürtünmeye bağlı aşınmalar incelenmektedir. Yanma izi testinde ise, piston segmanlarında termal yük altında oluşan yanma izleri incelenmektedir.



Şekil 3.1. Piston segmanının sıcak-soğuk dayanım testi sonrası görüntüsü

Şekil 3.1’de 10 dakikalık bir test sonucunda, bir piston segmanında oluşan çatlamanın görüntüsü mevcuttur.

Bu tez çalışmasında kullanılan gemi dizel ana tahrik motorlarına, standart test türleri grubundaki tam yük eğrisi testi uygulanmaktadır. Motorların çalışma talimatlarına uygun

devir ve yüklerde motorlar test edilerek performans parametreleri ve çalışma esnasındaki değerleri kayıt altına alınmıştır.

Test şartları ve testlerden elde edilen sonuçlar için yeterlilik özellikleri; yüksek doğruluk oranı, süreklilik, tekrarlanabilirlik ve kaliteli işçiliktir.

3.2. Test İstasyonu Genel Yapısı



Şekil 3.2. Testlerin gerçekleştirildiği motor test istasyonu sahası

Şekil 3.2’de motor test istasyonu görülmektedir. Motorların test edildiği bölge 126 m²’lik bir alana sahiptir. Test motoru ve dinamometrenin montajının yapıldığı orta bölümdeki sac ile çevrelenmiş kısım ise 18 m²’lik bir alana sahiptir. Sac ile kaplı alanın alt kısmında atık yağ tankı, yakıt geri dönüş genişleme tankı, motor soğutma suyu ısıtma tankı ve bu tankların boru devreleri ile deniz suyu boru devresi, motor soğutma suyu boru devresi ve yakıt boru devresi mevcuttur. Deniz suyu, yakıt ve soğutma suyu test bölgesinin dışında bulunan tanklardan tedarik edilmektedir. Yağlama yağı ise test esnasında motorların karterinde depolanmaktadır. Test bölgesinin dışındaki tank hacimleri, yakıt tankı için 7 m³, deniz suyu tankı için 8,3 m³ ve soğutma suyu tankı için

ise 3,5 m³'tür. Motorların test işleminin gerçekleştirildiği motor test istasyonunun kurulma amacı; maksimum 9.000 kW gücündeki gemi dizel motorlarının bakım ve revizyon işlemi sonrasında yük testlerinin yapılması ve bakım ve revizyondan çıkmış olan motorların gemiye montajı gerçekleştirilmeden önce motorun operatif kabiliyetlerinde herhangi bir problem olup olmadığının anlaşılmasıdır. Test istasyonuna ait tüm kontroller operatör odasındaki kumanda konsolu üzerinden gerçekleştirilmektedir. Tez çalışması için motorların testlerinin gerçekleştirildiği test istasyonu, yüksek devir ve hıza sahip gemi dizel motorlarının test edilebildiği, ülkemizdeki en yüksek güç kapasitesine sahip test istasyonudur.

Test sistemi; dinamometre, kaplinler, şaft ve bağlantı flanşları, motor ve dinamometre faundeyşinleri, motor ön yağlama sistemi, yağlama yağı basınç kontrol valfi, test yazılımı ve titreşim ölçüm sisteminden oluşmaktadır. Titreşim ölçüm sistemi bünyesinde akselerometre sensörleri bulunmaktadır. Akselerometre sensörleri içerisindeki transdüser ile meydana gelen titreşim sinyalleri elektrik akımına dönüştürülmekte ve bu sayede titreşim ölçümü kayıt altına alınmaktadır. Aynı zamanda, söz konusu tüm bu ünitelere, kontrol ve kumanda sistemi dahilindeki; dinamometre ve motor kontrol izleme sistemi, motor gaz verme ünitesi, motor yakıt sarfiyatı ölçüm sistemi, motor çalışma değerleri izleme sistemi, kumanda konsolu, arayüz kontrol modülleri, elektrik besleme sistemi, kesintisiz güç kaynağı, alarm ve ikaz sistemi (motor ve dinamometre için ayrı ayrı), acil durdurma sistemi, yardımcı sistemler izleme sistemi, zaman gösterge sistemi, arıza kayıt sistemi, bilgisayar ve yazıcısı, ikaz ve diyafon sistemi, göstergeler, sensörler ve butonlar da dahil olmaktadır. Motor test istasyonu bünyesinde ana tahrik motorunun gemi içerisinde akuple olarak çalıştığı, DDD ve DDD bağlı sistemler haricindeki tüm sistemler mevcuttur.



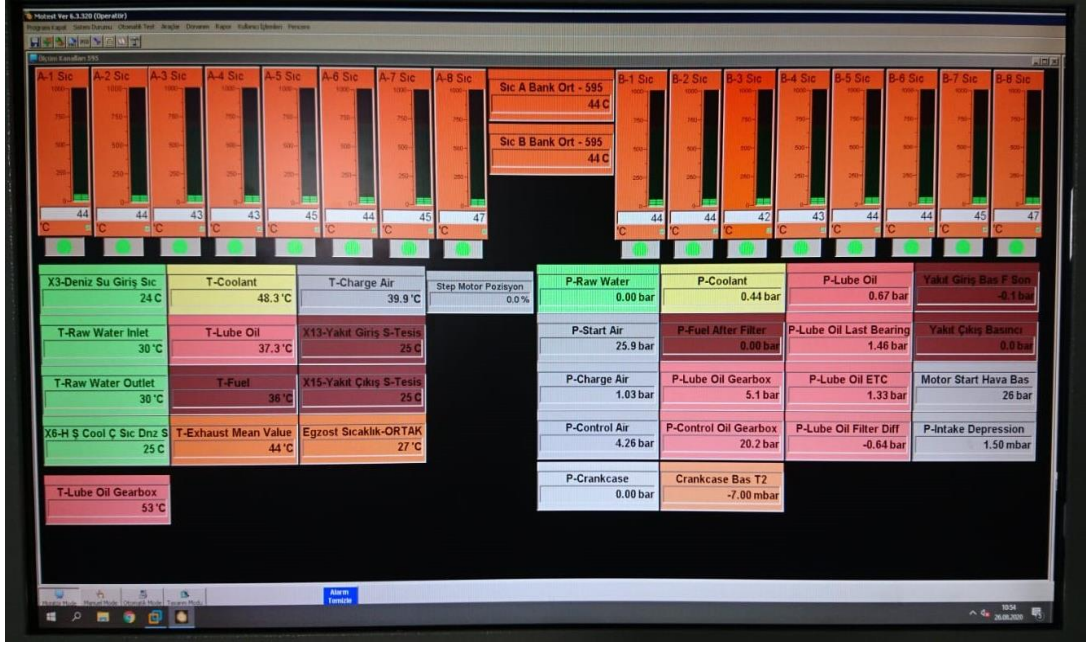
Şekil 3.3. Operatör odası kumanda konsolu

Şekil 3.3’de test esnasındaki verilerin görüntülediği operatör odası kumanda konsolu mevcuttur. Test esnasında kumanda konsolu üzerinde en soldaki iki ekran ve ekranların sol tarafında kalan göstergelerdeki değerler takip edilmektedir.



Şekil 3.4. Kumanda konsolu üzerindeki devir, tork ve yük göstergeleri

Şekil 3.4’de kumanda konsolunun en sağında yer alan; motor devri (d/d), dinamometre devri (d/d), dinamometre torku (Nm x 1.000) ve dinamometre yükü (N x 1.000) göstergeleri mevcuttur.



Şekil 3.5. Motor sıcaklık ve basınç değerleri gösterge ekranı

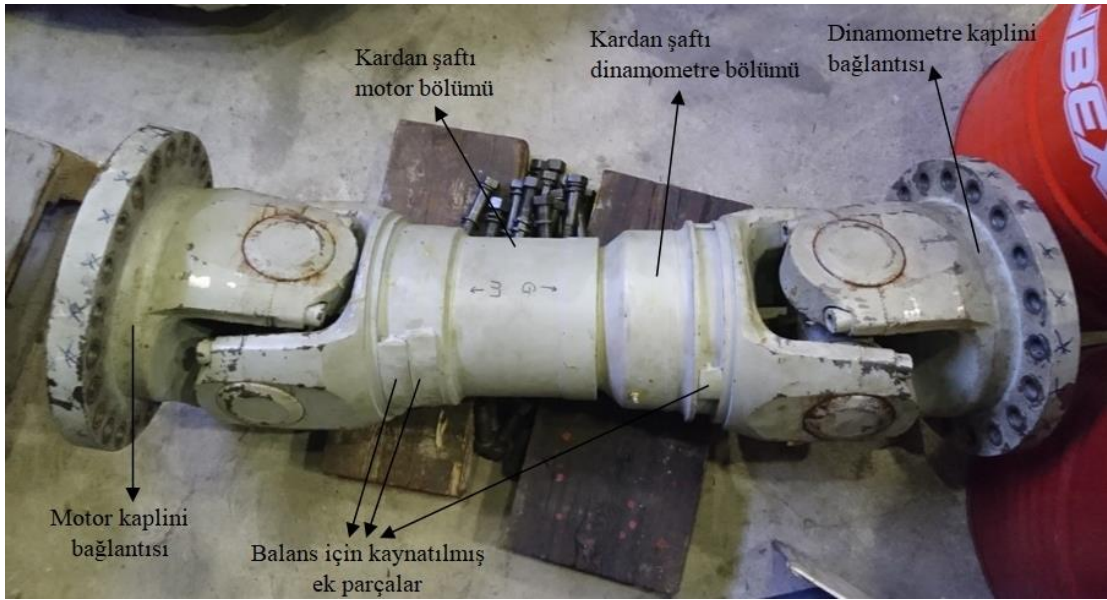
Şekil 3.5’de motor sıcaklık ve basınç değerleri gösterge ekranı mevcuttur. Bu ekran, kumanda konsolunun en solundaki ekrandır. Motor sıcaklık ve basınç değerleri gösterge ekranında gösterilen sıcaklık değerleri; motorun tüm silindirlerinin sıcaklıkları ve bu sıcaklıkların ortalaması, deniz suyu devresi, soğutma suyu devresi, yağlama yağı devresi ve yakıt devresi sıcaklık değerleri, egzoz çıkış sıcaklığı ve emme manifoldu hava giriş sıcaklığı şeklindedir. Bu ekranda gösterilen basınç değerleri ise; deniz suyu devresi, soğutma suyu devresi, yağlama yağı devresi basınç değerleri ve emme manifoldu hava giriş basıncı değeridir.



Şekil 3.6. Güç, devir ve alarm gösterge ekranı

Şekil 3.6’da motor test istasyonu kumanda konsolunda bulunan güç, devir ve alarm gösterge ekranı görülmektedir. Test esnasında motorun çalıştırılması, durdurulması, hızının artırılıp azaltılması ve rölantide çalıştırılması komutları bu ekran üzerinden verilmektedir. Dinamometreyi besleyen su vanalarının açılıp kapanması ve dolayısıyla motorun harcayacağı gücün belirlenmesi de bu ekran üzerinde verilen komutlarla gerçekleştirilmektedir. Dinamometre besleme ayarları, ekranın sağ üst köşesindeki bölümde bulunan butonlar vasıtası ile gerçekleştirilmektedir. Güç, devir ve alarm gösterge ekranında test esnasında anlık olarak gösterilen değerler; güç (kW), devir (d/d), frenlenmiş güç (HP), yakıt sarfiyatı (kg/h), özgül yakıt tüketimi (g/kWh), hidrolik dinamometre giriş ve çıkış suyunun sıcaklık ve basınç değerleri, dinamometre giriş suyu basıncı, dinamometre yağlama yağı devresinin sıcaklık ve basınç değerleri şeklindedir. Aynı zamanda güç, devir ve alarm gösterge ekranının en altında; motor titreşim alarmı, dinamometre titreşim alarmı, kardan şaftı muhafaza alarmı, acil durdurma alarmı, dinamometre tornaçark alarmı, motor tornaçark alarmı, elektrik kesintisi alarmı, dinamometre tankı seviye alarmı ve test için hazır olma durumu alarm göstergeleri mevcuttur.

Test istasyonunun kurulumu sırasında istasyonda yer alacak olan dinamometre ve motorların üzerine koyulacağı faundeyşınların tasarımı, sonlu elemanlar analizi yöntemi yardımı ile gerçekleştirilmekte ve büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda, motor ile dinamometre arasındaki güç aktarımını sağlayacak olan kardan şaftın seçimi de önemli mühendislik hesapları gerektirmektedir. Şaft seçimi için burulma ve atalet momenti değerlerinin hesaplanması gereklidir. Dinamometrenin atalet momenti, motorun atalet momentinin iki katından daha fazladır. Ayrıca, motorun test istasyonunda ve gemide kullanıldığı alandaki montaj farkları göz önüne alınıp bu farkların ortaya çıkaracağı titreşim değişimi de şaft seçimi için hesaba katılmalıdır (Plint ve Martyr, 1995).

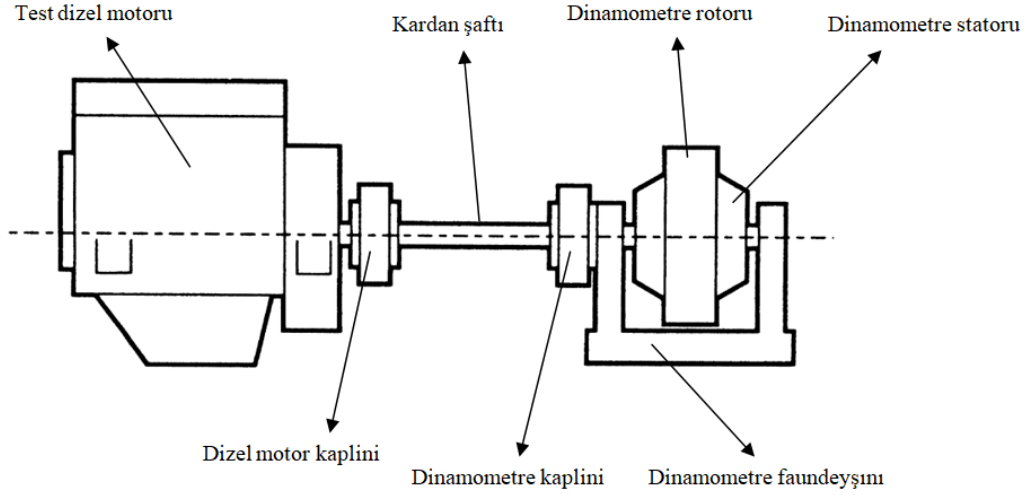


Şekil 3.7. Kardan şaftı

Şekil 3.7’de kardan şaftı görülmektedir. Kardan mili, motor ve dinamometrenin birbirine monte edilmesinin ardından merkez layn hattına uygun olarak sabitlenmektedir.

Test istasyonu çalıştırılmadan önce güvenlik tedbirlerinin yanı sıra çalışma esnasındaki iş sağlığı ve güvenliği kurallarına da uyulmalıdır. Test öncesinde dinamometre besleme suyu tankının ve yakıt tankının doluluğu, motorun yağ seviyesi ve yakıt sistemi kontrol edilmelidir. Motor ve dinamometre hizalaması ise motor montajı öncesinde özel cihaz yardımıyla yapılmalıdır. Şekil 3.8’de test edilen motor şaftı merkezi, kardan şaftı merkezi ve dinamometre rotor merkezinin aynı hat üzerinde hizalanma mantığı şematize

edilmiştir. Kardan milinin bu hat üzerinde bulunma tolerans değerleri mevcut olup bahsi geçen toleranslar hassas değerler olmaktadır.



Şekil 3.8. Motor ve dinamometre akuplasyonu

Test istasyonundaki verilerin görüntülenmesini sağlayan sensörler son derece yüksek öneme sahip ekipmanlardır. Sensörler, 0 °C ile 50 °C arası sıcaklık ve %10 ile %85 arası nem değerlerine sahip alanlarda muhafaza edilmeli ve tozdan korunmalıdır. Aynı zamanda, sensörler güneş alan bölgelere bırakılmamalı ve manyetik alana maruz kalmamalıdır.

3.3. Hidrolik Dinamometreye Genel Bakış ve Test Dinamometresi Özellikleri

Motorların performans parametrelerini oluşturan efektif güç, moment, özgül yakıt tüketimi gibi değerlerin motor devrine bağlı olarak tespit edilebilmesi için motorun yüklenmesi gerekmektedir. Bu yükleme işlemini sağlayan sistemler dinamometre yada “fren” adını almaktadır. Dinamometrelerin motorun çıkış miline uygulamış oldukları kuvvete de yük denmektedir (Türkcan, 2006). Dinamometreler; hidrolik (hidrokinetik) dinamometre, hidrostatik dinamometre, elektrikli dinamometre, sürtünme dinamometresi ve hava fren dinamometresi olarak gruplandırılmaktadır. Bu tez çalışması için uygulanan motor testlerinde hidrolik dinamometre kullanılmıştır.

Günümüzde motor testlerinde kullanılan hidrolik dinamometrelerin su tankları, test mahallinde konumlandırılmakta olup su tankından dinamometreye boru devreleri ile su gönderilmekte ve gönderilen suyun debisi ile doğru orantılı olarak test esnasında

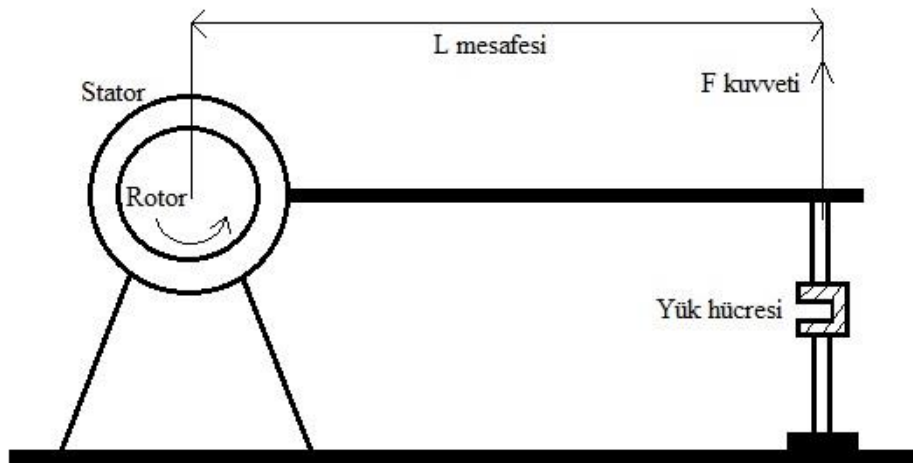
motorun yükü artırılmakta ya da azaltılmaktadır. Hidrolik dinamometre gövdesinin dönen rotor kısmının iç bölümündeki su hazneleri modern hidrolik dinamometrelerde de mevcuttur.



Şekil 3.9. Testte kullanılan hidrolik dinamometre dış görünümü

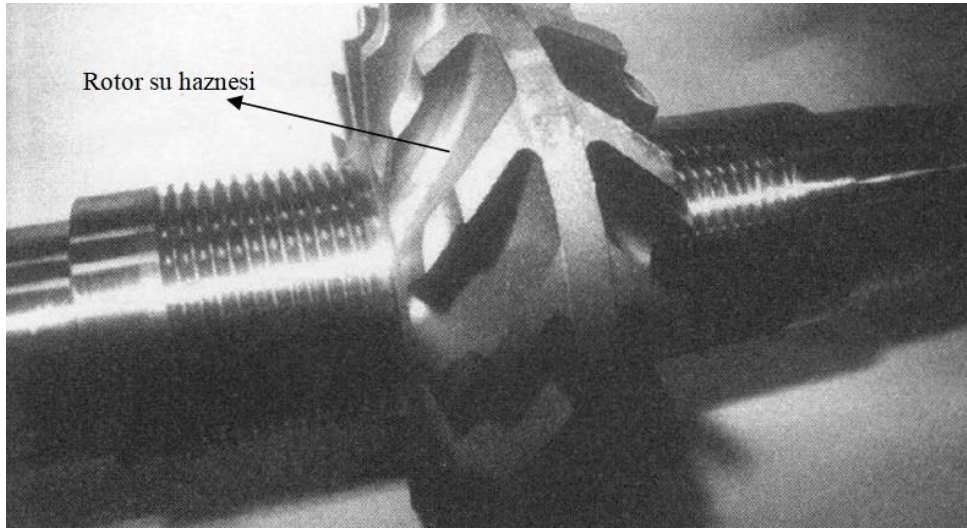
Şekil 3.9’da test istasyonunda kullanılan hidrolik dinamometre görülmektedir. Dinamometreye bağlanan borular ile dinamometre su haznelerine istenilen miktarda su gönderilmektedir.

Günümüzde kullanılan hidrolik dinamometrelerde ana gövde, Şekil 3.10’da gösterildiği gibi dönen bir rotor kısmı ve sabit duran stator kısmından meydana gelmektedir.



Şekil 3.10. Hidrolik dinamometrede yük hücresi ile kuvvet ölçümü şematik gösterimi

Şekil 3.11’de rotor görülmektedir. Rotorun bünyesinde hidrolik dinamometreye gönderilen suyun biriktiği hazneler bulunmaktadır. Boru devreleri ile dinamometreye sevk edilen su, dinamometrenin rotorundaki su haznelerine dolmakta ve dönüş esnasında girdap oluşturarak direnç sağlamaktadır. Aynı zamanda, girdap etkisiyle su haznesinde oluşan moment statora iletilir. Bu momentin yük hücresinde oluşturduğu frenleme kuvveti ölçülmektedir. Dönme esnasında haznede biriken suyun statora uyguladığı moment, Şekil 3.10’da gösterilen L mesafesine sahip platform vasıtasıyla yük hücresine aktarılmaktadır.



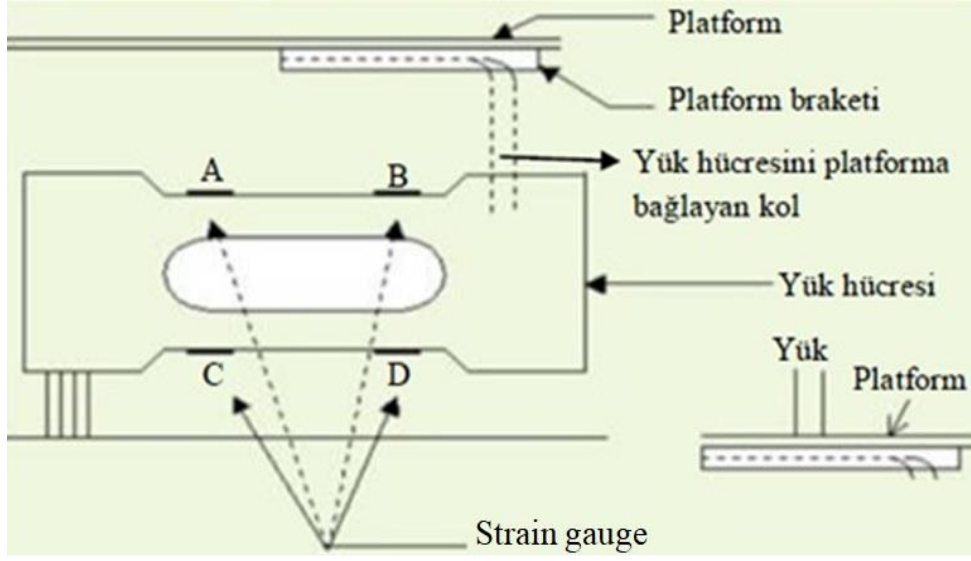
Şekil 3.11. Rotor

Hidrolik dinamometreler; ana gövde, mekanik parçalar, su giriş-çıkış ünitesi, kalibrasyon ünitesi, elektrikli tahliye valfi ünitesi, otomatik regülatör ünitesi ve yağlama yağı ünitesi bölümlerinden oluşmaktadır. Ana gövde, su ile üretilen efektif tork momentini absorbe eden bölümdür. Mekanik parçalar; dinamometrenin, motor gücünü test etmek için kullanılan bölümüdür. Frenleme kolu, çekme-basma dönüştürücü yük hücresi ve sürgü sisteminden meydana gelmektedir. Sürgü sistemi, yük hücresini veri iletimi esnasında titreşim etkisinden korumaktadır.



Şekil 3.12. Hidrolik dinamometre yük hücresi modülü

Tez çalışması için kullanılan test istasyonunda, statordan yük hücresine kuvvet aktarımı sağlayan platform ve yük hücresi Şekil 3.12’de görülmektedir. Test istasyonunda “S” tipi yük hücresi kullanılmaktadır. Yük hücresinde ölçülen kuvvet değerlerinin yazılım programı bünyesindeki formüllerde kullanılarak ölçülmesi istenen motor performans parametre değerleri anlık olarak hesaplanmakta, kumanda konsolunda görüntülenmekte ve sistemde kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3.13. Örnek bir yük hücresi şematik gösterimi

Şekil 3.13’de A, B, C ve D ile gösterilen strain gauge’in boyu, yük hücresine kuvvet etki ettiği zaman uzamaktadır. İletken özellikli olan strain gauge’ler uzayınca çapları küçülür ve iletkenlikleri azalır. İletkenliklerinin uzama oranına bağlı olarak yük hücresine ne kadar kuvvet etki ettiği bilgi sistemi tarafından önceden bilinmektedir. Bu sayede yük hücresine etki eden kuvvet ölçümü gerçekleştirilmiş olur (MEGEP, 2012).

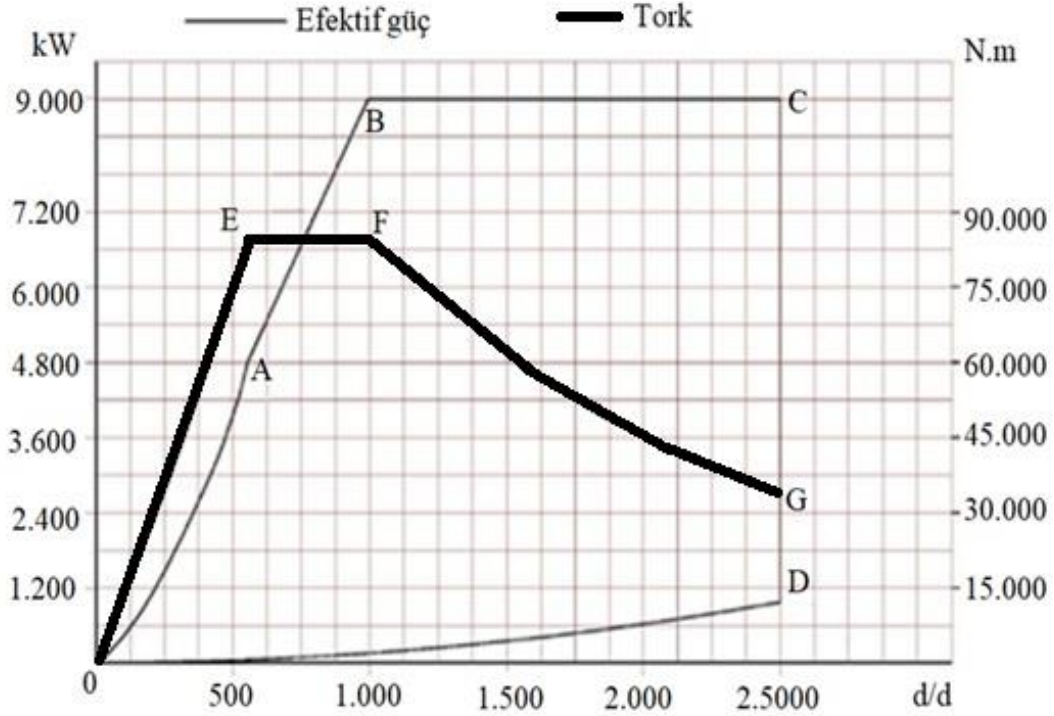
Dinamometre ünitelerinin görevlerinden bahsedilecek olursa; dinamometre su giriş-çıkış ünitesi, dinamometre rotoru dönüşü esnasında rotor ile ana gövde arasındaki boşluklara suyun girişini ve çıkışını sağlayan bölümdür. Kalibrasyon ünitesi ise dinamometrenin statik kalibrasyonu için kullanılmaktadır. Elektrikli tahliye valf ünitesi, su çemberlerinin kalınlıklarını değiştirerek absorbe edilen yükün değişimini sağlar. Elektrikli tahliye valf ünitesinin bileşenleri; potansiyometre, moment motor, planet pair ekipmanı, dış gövde ve kelebek valfidir. Otomatik regüle ünitesi, tahliye kelebek valfinin pozisyonunun tahliye aktüatörü aracılığı ile değiştirilerek, dinamometrede absorbe edilen yükün ayarlandığı bölümdür. Yağlama ünitesi de dinamometre sistemindeki döner rulmanların yağlanması sağlayan ünite dir. Tez çalışması amacıyla motor testlerinin gerçekleştirildiği test istasyonunda Tuzeks A.Ş. firması tarafından üretilmiş olan TUD/S 7500 model hidrolik dinamometre kullanılmıştır.

Tablo 3.1. TUD/S 7500 model hidrolik dinamometre teknik parametreleri

Parametre	Parametre Değeri	Parametre	Parametre Değeri
Absorbe edilen maksimum güç	9.000 kW	Tork ölçümü kesinlik yüzdesi	$\pm \% 0,2$
Hız ölçümü kesinlik yüzdesi	$\pm \% 0,05$	Maksimum şaft dönme hızı	2.500 d/d
Şaft dönme yönü	İki yönlü	Fren kuvveti ölçüm aralığı	0 – 82.100 N
Maksimum fren momenti	85.950 Nm	Maksimum su tüketimi	200.000 (l/h)
Atılan suyun maksimum sıcaklığı	65 °C	Ana şaft uzunluğu	1.650 mm
Ana şaft merkezinin yerden yüksekliği	1.180 mm	Dinamometre ölçüleri (uzunluk x genişlik x yükseklik) (mm)	3.118 x 2.470 x 1.830
Dinamometre net ağırlığı	22.000 kg	Atalet momenti	131,14 kg.m ²

Tablo 3.1’de testlerde kullanılan hidrolik dinamometrenin teknik parametreleri belirtilmiştir. Söz konusu dinamometrenin hız ve tork ölçüm hassasiyetlerinin yüksek olduğu göze çarpmaktadır. Şekil 3.14’de ise TUD/S 7500 hidrolik dinamometresinin devire bağlı efektif güç ve tork kapasite eğrileri mevcuttur. Şekil 3.14’deki 0A eğrisi, dinamometre giriş suyu basıncının sabit ve dönüş hızının değişken olduğu durumda dinamometrenin absorbe edebileceği maksimum efektif gücü ifade etmektedir. AB eğrisi ise dinamometre torkunun maksimum değerinde ve hızın değişken olduğu durumdaki maksimum efektif gücü göstermektedir. CD eğrisi, dinamometrenin maksimum hızını ifade etmektedir. 0D eğrisi, giriş suyu hidrolik basıncı mevcut değilken dinamometrenin frenleme gücünü gösteren eğridir. 0, E, F, G noktalarını birleştiren eğriler ise tork değerlerini göstermektedir. 0, A, B, C ve D noktalarını birleştiren doğru ve eğrilerin kapalı alanı dinamometrenin absorbe edebileceği nihai güç

miktarını belirtmektedir. Test istasyonu için dinamometre seçimi gerçekleştirilirken bu değerler ve eğriler hesaba katılmalıdır.



Şekil 3.14. TUD/S 7500 hidrolik dinamometresinin devire bağlı olarak efektif güç ve tork değişimi

3.4. Motor Deviri Ölçüm Cihazı

Motor deviri manyetik sensör ile ölçülmektedir. Gövdesi nikel kaplamalı pirinçten oluşan ve çalışma sıcaklığı ise -25 ve 70 °C arasında olan sensör, 0-5.000 d/d arasında ölçüm yapabilmektedir. 10-30 volt arası gerilime sahip doğru akım ile sensöre (Şekil 3.15) güç verilmektedir.



Şekil 3.15. Motor devir sensörü

3.5. Yakıt Debisi Ölçüm Cihazı

Yakıt debisi ölçümü için Coriolis FCM2000 MC2 model sensör (Şekil 3.16) kullanılmıştır. Söz konusu sensör paslanmaz çelikten imal edilmiş olup, -50 °C ve 200 °C arasındaki sıcaklığa ve azami olarak 75 kg/debi'ye sahip akışkanların debi ölçümünü gerçekleştirmektedir. Sensörün debi ölçüm hassasiyeti %0,1 ve %0,4 arasında olup bu hata payı yüksek bir doğruluk oranı olarak kabul edilmektedir. Sensöre, çalışması için 100-230 volt arasındaki gerilime sahip alternatif akım ile güç sağlanmaktadır. Yakıt debisi ölçüm cihazı içerisinde giriş ve çıkış arasında yakıtın geçtiği boru ikiye ayrılır. Yakıt her iki borudan geçerken borular arasındaki sıralı dizilmiş olan karşılıklı mıknatıslı tahrik bobinlerinde, karşılıklı gruplarda farklı zamanlamalarda indüklenmeler meydana gelir ve bu indüklenmelerin mikrosaniyelik zamanlama farkının cihaz tarafından algılanması ile yakıt debisi ölçümü gerçekleştirilmektedir.



Şekil 3.16. Coriolis FCM2000 MC2 yakıt debisi ölçüm sensörü

3.6. Egzoz Çıkış Sıcaklığı Ölçüm Cihazı

Motor testlerinde egzoz çıkış sıcaklığı nikelkrom-nikel termokupl (Şekil 3.17) ile ölçülmüştür. Termokupllar, kablusunun bağlı olduğu ortamdaki sıcaklık ile uç sensörünün bulunduğu ortam arasındaki sıcaklık farkını ölçmektedir. Termokuplun kablo bağlantısı test ortamında ve uç sensörü ise silindirin egzoz çıkış bölümünde olduğu için, termokuplun ölçtüğü sıcaklık değerlerine ortam sıcaklığı otomatik olarak eklenmiş ve egzoz çıkış sıcaklık değerleri bu sayede görüntülenerek kayıt altına alınmıştır. Termokupllar ölçtükleri sıcaklık değerine bağlı olarak milivolt (mV) cinsinden indüklenirler. Termokuplun ölçtüğü sıcaklığa bağlı olarak indüklenme değer tablosu Tablo 3.2’de görülmektedir. Söz konusu termokupl, 0-1.040 °C sıcaklık aralığında ölçüm yapmaktadır.



Şekil 3.17. Nikelkrom-nikel termokupl

Tablo 3.2. Nikelkrom-nikel termokupl sıcaklık-indüklenme değer tablosu

°C	mV	°C	mV	°C	mV	°C	mV
0	0	180	7,33	360	14,71	540	22,35
10	0,40	190	7,73	370	15,13	550	22,78
20	0,80	200	8,13	380	15,55	560	23,20

30	1,20	210	8,54	390	15,98	570	23,63
40	1,61	220	8,94	400	16,40	580	24,05
50	2,02	230	9,34	410	16,82	590	24,48
60	2,43	240	9,75	420	17,24	600	24,90
70	2,85	250	10,16	430	17,67	610	25,33
80	3,26	260	10,57	440	18,09	620	25,75
90	3,68	270	10,98	450	18,51	630	26,18
100	4,10	280	11,39	460	18,94	640	26,60
110	4,51	290	11,80	470	19,36	650	27,02
120	4,92	300	12,21	480	19,79	660	27,44
130	5,33	310	12,63	490	20,22	670	27,86
140	5,73	320	13,04	500	20,65	680	28,28
150	6,13	330	13,46	510	21,07	690	28,71
160	6,53	340	13,88	520	21,50	700	29,12
170	6,93	350	14,29	530	1,92	710	29,54

3.7. Testlerde Ölçülen Diğer Sıcaklık Değerleri Ölçüm Cihazı

Testler esnasında ölçülen emme manifoldu hava giriş sıcaklığı, motor soğutma suyu sıcaklığı ve yağlama yağı sıcaklığı değerleri PT100 cinsi sensörler (Şekil 3.18) ile ölçülmüştür. Bu sensörler platinyumdan yapılmakta ve 0 °C sıcaklıkta 100 ohm direnç değerine sahip olmaktadır. PT100 sıcaklık sensörü 0-800 °C sıcaklık arasında ölçüm yapmaktadır. Sensöre ait sıcaklık-direnç değerleri, Tablo 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.18. PT100 direnç sıcaklık dedektör sensörü

Tablo 3.3. PT100 sensörü sıcaklık-direnç değeri tablosu

°C	Ohm	°C	Ohm	°C	Ohm
0	100,00	100	138,50	200	175,84
10	103,90	110	142,29	210	179,51
20	107,79	120	146,06	220	183,17
30	111,67	130	149,82	230	186,82
40	115,54	140	153,58	240	190,45
50	119,40	150	157,31	250	194,07
60	123,24	160	161,04	260	197,69
70	127,07	170	164,76	270	201,29
80	130,89	180	168,46	280	204,88
90	134,70	190	172,16	290	208,45

3.8. Test Edilen Dizel Motorların Özellikleri

Tez çalışması için donanma gemilerinde aktif olarak kullanılan üç farklı tip gemi dizel ana tahrik motorunun yük testi icra edilmiştir. Bu motorlar Almanya merkezli MTU firması üretimi olan MTU 16V 595 TE90, MTU 16V 956 TB91 ve MTU 20V 1163 TB93 model motorlardır. Motorların tamamı dört stroklu, egzoz turboşarjerli, direk enjeksiyon sistemli, su soğutmalı ve “V” tipidir.

Tablo 3.4. Test edilen dizel motorların özellikleri

Özellik	Birim	MTU 16V 595 TE90	MTU 16V 956 TB91	MTU 20V 1163 TB93
Silindir açısı	derece	72	50	60
Silindir çapı	mm	190	230	230
Silindir stroğu	mm	210	230	280
Piston yer değişim hacmi	litre /silindir	5,95	9,56	11,63
Silindir sayısı	adet	16	16	20

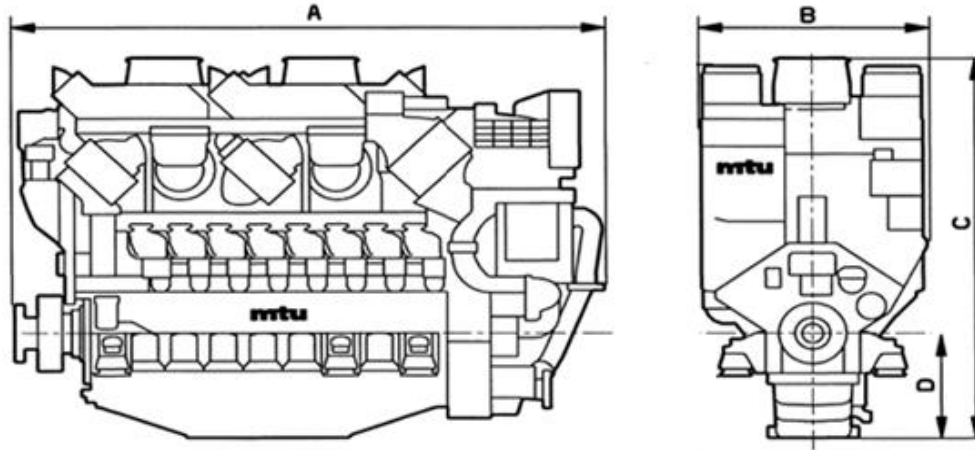
Toplam piston yer değişim hacmi	litre	95,3	152,9	232,6
Sıkıştırma oranı		11:1	13:1	9,75:1
Silindir ateşleme düzeni		A1, B6, A6, B2, A2, B4, A4, B8, A8, B3, A3, B7, A7, B5, A5, B1	A1, B3, A3, B7, A7, B4, A4, B8, A8, B6, A6, B2, A2, B5, A5, B1	A1, B1, A8, B8, A5, B5, A9, B9, A4, B4, A10, B10, A3, B3, A6, B6, A2, B2, A7, B7
Ortalama piston hızı	m/s	12,6 (1.800 d/d'da)	11,6 (1.515 d/d'da)	12,13 (1.300 d/d'da)
Çalıştırma havası basıncı	bar	16-40	min. 25	min. 20
Maksimum devir	d/d	1.800	1.575	1.300
Maksimum güç	kW	4.320	3.130	7.400
Ortalama yağ tüketimi	g/kWh	0,6	2,68-4,02	1,5
Motor kuru ağırlığı	kg	13.000	11.300	23.885
Barometrik basınç	mbar	1.000	1.000	1.000

Tablo 3.4’de motorların özellikleri detaylı olarak belirtilmiştir. Motorların maksimum devir ve güçleri ile ilgili olarak; 16V 956 TB91 motorunun sürekli maksimum devir ve gücü; 1.515 d/d, 2.860 kW olup izin verilebilir maksimum devir ve gücü 6 saatlik çalışmanın ardından yarım saatlik süreliğine 1.575 d/d, 3.220 kW ‘dır. 20V 1163 TB93 motorun ise sürekli maksimum devir ve gücü; 1.220 d/d, 6.120 kW olup aşırı yükleme devir ve gücü 12 saatlik çalışmanın ardından 2 saatlik süreliğine 1.260 d/d, 6.735 kW, maksimum devir ve gücü de 6 saatlik çalışmanın ardından yarım saat süreliğine 1.300-1.350 d/d, 7.400 kW’dır. 16V 595 TE90 motor hakkında verilmiş olan bilgiler tablodaki değerler doğrultusundadır. Motorlara ait tüm değerler ISO 3046 standartlarına

uygundur. Test edilen motorların valf zamanlamalarının krank mili açısına göre durumu Tablo 3.5’de mevcuttur.

Tablo 3.5. Motorların supap zamanlamalarının krankmili açısına göre karşılaştırılması

Silindirde gerçekleşen işlem	MTU 16V 595 TE90	MTU 16V 956 TB91	MTU 20V 1163 TB93
Emme valfi açılması	ÜÖN ‘dan 41° önce	ÜÖN ‘dan 32° önce	ÜÖN ‘dan 41° önce
Emme valfi kapanması	AÖN’den 51° sonra	AÖN’den 56° sonra	AÖN’den 61° sonra
Egzoz valfi açılması	AÖN’den 54° önce	AÖN’den 79° önce	AÖN’den 67° önce
Egzoz valfi kapanması	ÜÖN’den 34° sonra	ÜÖN’den 29° sonra	ÜÖN’den 39° sonra
Bindirme, üstüste gelme	75°	61°	80°
Yakıt enjeksiyon zamanı	ÜÖN’den 13° önce	ÜÖN’den 24° önce	ÜÖN’den 13° önce



Şekil 3.19. Test edilen gemi dizel motorları temel ölçüleri

Şekil 3.19’de belirtilen ölçülerden test edilen motorlara ait A, B, C ve D ölçüleri Tablo 3.6’da sunulmuştur. A ölçüsü toplam motor uzunluğunu, B ölçüsü toplam motor genişliğini, C ölçüsü toplam motor yüksekliğini ve D ölçüsü yağ karteri alt hizasından itibaren krankşaft merkezi hizasının sahip olduğu yükseklik değerini göstermektedir.

Tablo 3.6. Test edilen motorların ölçüleri

ÖLÇÜ	MTU 16V 595 TE90	MTU 16V 956 TB91	MTU 20V 1163 TB93
A	3,980 m	3,950 m	5,438 m
B	1,500 m	1,620 m	1,886 m
C	2,840 m	2,750 m	3,130 m
D	0,790 m	0,875 m	1,035 m

Mevcut motor bilgilerine ilave olarak, tüm motor testlerinde NATO standartlarına uygun olan F-76 motorin yakıtı kullanılmıştır. F-76 motorin yakıtının alt ısı değeri 42.929 kJ/kg'dır. Savaş gemileri, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün belirlemiş olduğu emisyon standartlarından muaf tutulmaktadır.

3.9. Test Yakıtı ve Özellikleri

Motor testlerinde, daha önce belirtildiği gibi NATO standartlarını karşılayan F-76 dizel yakıtı kullanılmıştır. F-76 yakıtı literatürde askeri motorin olarak adlandırılmaktadır ve özellikleri Tablo 3.7'de belirtilmiştir.

Tablo 3.7. F-76 motorin yakıtı özellikleri (Ezgi, 2009)

Özellik	Değer
Molekül formülü (ortalama)	C _{14,8} H _{26,9}
Moleküler ağırlık	205 kg/kmol
Yoğunluk (15 °C'de)	860 kg/m ³ (en fazla)
Alt ısı değeri	42.929 kJ/kg
Setan sayısı	En az 45
Parlama noktası (en az)	60 °C

Gemilerde kullanılan damıtma dizel yakıtları arasından, bu tez çalışması için test edilen motorlarla benzer özelliklere sahip yüksek devirli dizel motorlarda kullanımı uygun olan yakıt türü 2-D dizel yakıtlarıdır. 2-D dizel yakıtları, petrolün damıtılmasından ve

kraking ürünlerinden elde edilen motorin yakıt türleridir. Kraking; molekülün ısı, katalitik ya da hidrojen atmosferinde küçük moleküllere parçalanması işlemidir. 2-D dizel yakıtlar, 1.200 d/d ve daha yüksek devirli motorlarda kullanılmakta ve orta seviye uçuculuğa sahip olmaktadır (Küçükşahin, 2008). 2-D dizel yakıt standartlarına uygun olan dizel yakıtlarının ISO 8217’de belirtilen özellikleri Tablo 3.8’de mevcuttur.

Tablo 3.8. 2-D dizel yakıtları özellikleri

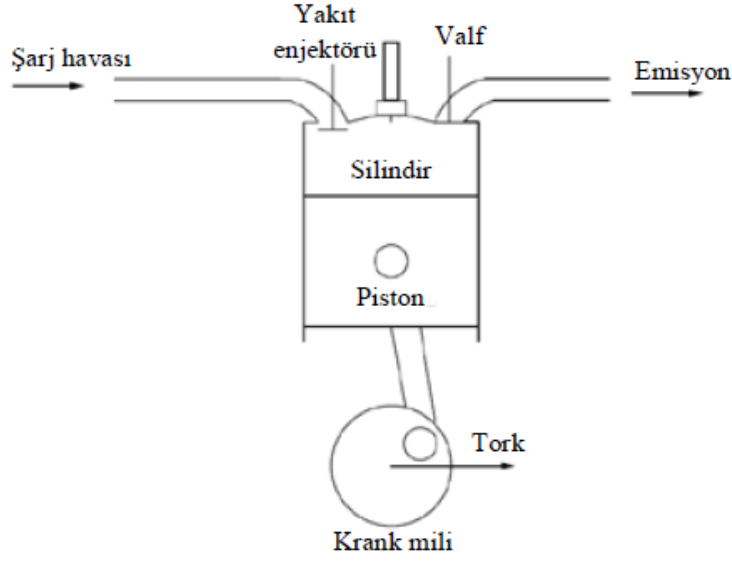
Özellik	Değer
Yoğunluk (15 °C’de)	900 kg/cm ³
Setan sayısı	35
Parlama noktası	60 °C
Hidrojen sülfür	2 mg/kg
Asit miktarı	0,5 KOH/g
Oksidasyon stabilitesi	25 g/m ³

Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de yer alan ortak değerler karşılaştırıldığında testlerde kullanılan F-76 yakıtının daha yüksek setan sayısına ve daha düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle F-76 yakıtı denizcilik sektöründeki muadillerine kıyasla yanmaya daha elverişli bir yakıttır.

3.10. Ölçülen Motor Performans Çıktıları ve Tanımları

3.10.1. Tork

Pistonun krank milinden gelen basınçla ürettiği dönme kuvveti tork olarak adlandırılmaktadır. Torkun oluşma mantığı şekil 3.20’de gösterilmiştir. Motor stroğu uzunluğu, şarj durumu ve ortalama efektif silindir basıncı tork değerine etki etmektedir (Yusoff ve ark., 2015).



Şekil 3.20. Piston hareketi ile krankşaftta tork oluşumu (Khan, 2019)

Motorun hareketi esnasında oluşan tork değeri, hidrolik dinamometrede ölçülen kuvvet değeri ile hesaplanmaktadır.

$$T = F \times L \text{ (Nm)} \quad (3.1)$$

F; dinamometredeki yük hücresinde ölçülen kuvvet değeri, L ise yük hücresinin bağlı olduğu kolun şaft merkezine olan uzaklığıdır. Tez çalışması için kullanmış olduğumuz dinamometre sisteminde L değeri 0,9549 metrelik sabit bir değerdir. Kuvvet değeri ise motorun çalışma kriterlerine göre değişmektedir.

3.10.2. Efektif güç

Güç tanımı temel olarak birim zamanda yapılan işi ifade etmektedir. Efektif güç değeri formül (3.2) ile hesaplanmaktadır.

$$N_e = F \times n / 9550 \text{ (kW)} \quad (3.2)$$

F değeri newton cinsinden ölçülen kuvveti, n değeri d/d biriminden motor şaft hızını, N_e değeri efektif gücü belirtmektedir. Değerler test esnasında yük hücresi ve sensörler ile ölçülmektedir.

3.10.3. Termal verim

Bilindiği üzere motorlar kimyasal enerjiyi, ısı enerjisi aracılığı ile mekanik enerjiye çevirmekte ve iş yapmaktadır. Termal verim (TV) hesaplamasında, yakıttan elde edilen ısıнын mekanik enerjiye dönüştürölme aşamasındaki verimi hesaplanmaktadır (Thakur ve ark., 2017).

$$TV = N_e / (\dot{m}_y(\text{yakıt tüketim oranı}) \times H_u (\text{alt ısı değeri})) \quad (3.3)$$

3.10.4. Özgöl yakıt tüketimi

Özgöl yakıt tüketimi, birim zamanda motorun üretmiş olduğu bir kW efektif güç için harcanan yakıt miktarının gram cinsinden ifadesidir, denklem (3.4) ile hesaplanmaktadır.

$$b_e (\text{özüöl yakıt sarfiyatı}) = 3.600 \times \text{kütlesel yakıt debisi} / N_e (\text{g/kWh}) \quad (3.4)$$

3.10.5. Özüöl enerji tüketimi

Özüöl enerji tüketimi (ÖET), birim saatlik süre içerisinde 1 kW güç üretilmesi için motora tedarik edilen enerjidir. Aynı zamanda ÖET, yakıt enerjisinin faydalı işe dönüştürölme miktarının saptanmasını sağlayan önemli bir parametredir. Özüöl yakıt tüketimi (kg/kWh) ve yakıt alt ısı değeri (H_u) (kJ/kg) çarpılması ile bulunmaktadır (Sayın ve ark., 2010).

$$\text{ÖET} = b_e \times H_u (\text{kJ/kWh}) \quad (3.5)$$

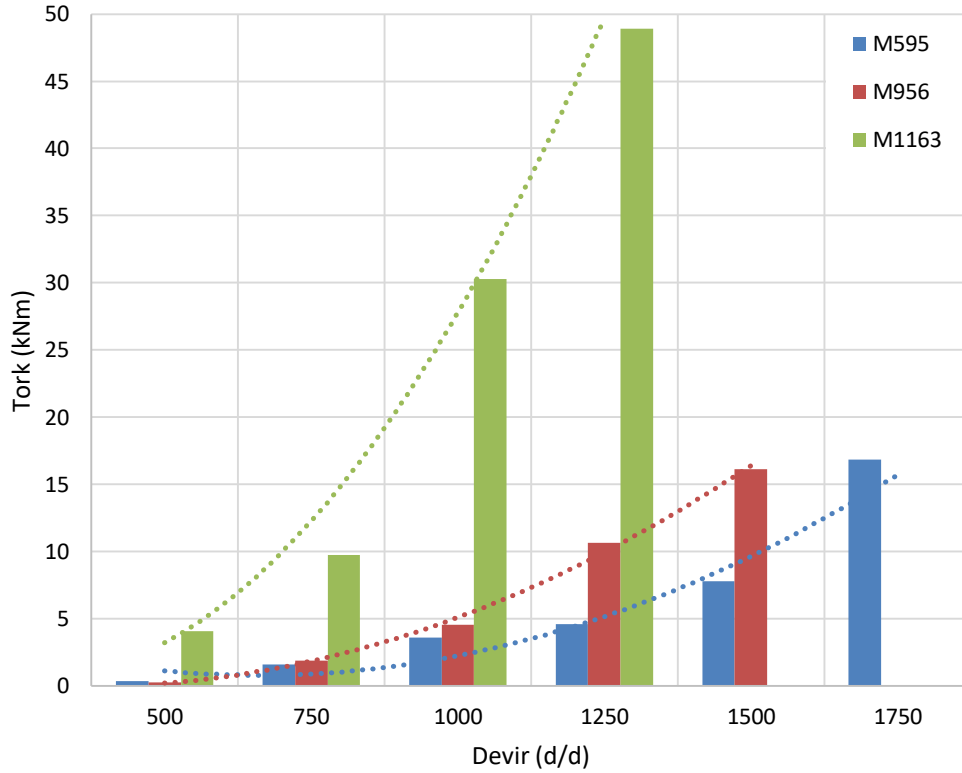
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İçten yanmalı motorlarda devire bağlı olarak ölçülen performans değerleri motorun operatif durumu hakkında bize bilgi vermektedir. Bu değerlerin birbiri arasındaki ilişkiler de motorun karakteristik yapısının anlaşılması bakımından önem taşımaktadır (Okumuş, 2019). MTU firması tarafından üretilen MTU 16V 595 TE90, MTU 16V 956 TB91 ve MTU 20V 1163 TB93 model gemi dizel ana tahrik motorları test istasyonunda test edilmiş ve elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır. MTU 16V 595 TE90 motoru M595, MTU 16V 956 TB91 motoru M956 ve MTU 20V 1163 TB93 motoru ise M1163 olarak kodlanmıştır. Tüm testler tam yük şartlarında üçer kez tekrarlanmış ve her motor için 250 d/d aralıklarla değerler ölçülerek kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan değerlerin ortalamaları alınarak grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca, her motorun maksimum devir değeri dikkate alınarak testler gerçekleştirilmiştir. M595 motoru 500 – 1.750 d/d aralığında, M956 motoru 500 – 1.500 d/d aralığında ve M1163 motoru 500 – 1.250 d/d aralığında test edilmiştir. Bulguları incelenen motorlar arasında en eski teknolojiye sahip olan motor, M956 dizel motorudur. En yeni teknolojiye sahip motor ise M595 dizel motorudur. M595 motoru, M1163 motorunun daha küçük boyutlu, düşük efektif güç kapasiteli ve daha modern versiyonu olarak üretilmiş olup iki motorun birçok sistemi prensipte birbirine benzer özellikler taşımaktadır. M956 motoru özellikle elektronik kontrol sistemlerinin görece eski teknolojiye sahip olması bakımından diğer iki motordan ayrılmaktadır. Söz konusu motorlar denizlerde seyir esnasında kullanılırken denizin durumu, geminin anlık seyir kriter gerekliliği, geminin icra etmiş olduğu manevranın özelliği gibi farklı durumların getirdiği çok çeşitli yük değerlerine birbirinden farklı değişim aralıklarında maruz kalınmaktadır. Farklı koşullardaki motor davranışlarını gözlemleyebilmek için devire bağlı olarak belirtilen tork, efektif güç, özgül yakıt tüketimi, ÖET, TV ve egzoz sıcaklığı değerleri incelenmiştir.

4.1. Tork

Tork, bir motorun iş yapabilme kabiliyetinin belirtilmesi açısından önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir (Pulkrabek, 2004). M595 dizel motorunun tork değeri 500 d/d'den 1.750 d/d'ye kadar kademeli olarak artmış olup motorun yüklemesi gerçekleştirilmiştir. En yüksek tork değeri 1.750 d/d'de ölçülmüş olup, değeri 16,84 kNm'dir. M956 motoru ise 1.500 d/d'ye kadar kademeli olarak artmış ve 1.500 d/d'de

en yüksek tork değeri 16,14 kNm olarak ölçülmüştür. Bu motorun en yüksek devri 1.575 d/d olduğu için daha fazla devir artışı yapılamamıştır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere üç motor arasındaki en yüksek tork değerine M1163 motoru sahip olmaktadır. Bu motor için en yüksek devir 1.300 d/d olduğu için motor devri kademeli olarak 1.250 d/d’ye kadar artırılmış ve en yüksek tork 48,92 kNm olarak 1.250 d/d’de ölçülmüştür.



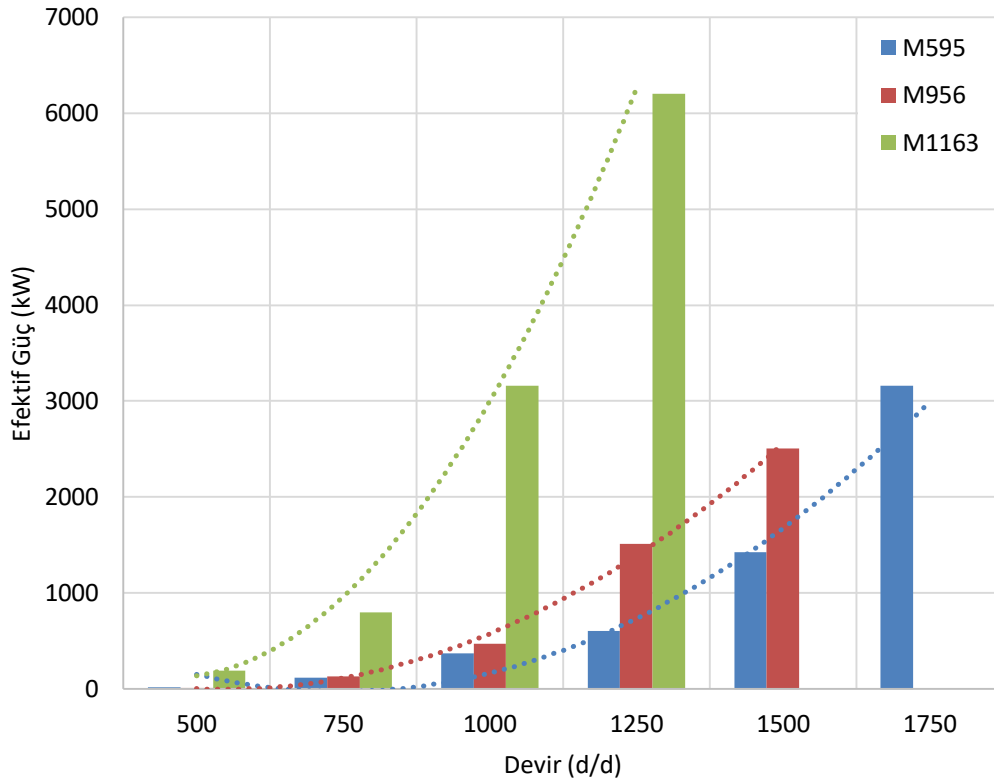
Şekil 4.1. Motorlara ait tork-devir grafiği

M595 motoru M956 motoruna göre daha yeni teknolojiye sahip bir motordur. M595 motoru M956 motoruna göre daha küçük silindir hacimli ve daha küçük sıkıştırma oranına sahip olmasına rağmen ölçüm yapılan maksimum devirlerinde M595 motorunun tork değerinin M956 motorunun tork değerlerinden %4 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. M1163 motoru yeni nesil bir motor olup, M595 motorunun yüksek güç üreten modelidir. Şekil 4.1’deki grafiğe göre, M1163 motorunun ölçülen maksimum devirdeki tork değeri, M595 motorunun ölçülen maksimum devirdeki tork değerinden yaklaşık 3 kat daha fazladır. İki motorun silindir hacimleri karşılaştırıldığında M1163 motorununki yaklaşık 2,5 kat fazladır ve M1163 motorunun

maksimum gücünün M595 motorunun 1,7 katı olduğu görülmektedir. Bu bakımdan M1163 motorunun M595 motoruna göre daha etkili olduğu söylenebilir.

4.2. Efektif Güç

Motorların efektif güç değerleri de tork değerleri ile benzer bir eğilim göstermektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi M595 motorunda 1.750 d/d’de 3.160,4 kW, M956 motorunda 1.500 d/d’de 2.505,8 kW ve M1163 motorunda 1.250 d/d’de 6.203 kW efektif güç ölçülmüştür. M595 motorunun azami efektif güç değerinin söz konusu motorun yüksek devirde çalışmasından dolayı, M956 motorunun azami efektif güç değerinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum M595 motorunun daha düşük silindir hacmine ve daha düşük sıkıştırma oranına rağmen gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2. Motorların efektif güç-devir grafiği

Gemi motorlarının piston ve silindir laynerlerinde, yüksek yüklerde ve özellikle fırtınalı havalarda arızalar sıklaşmaktadır (Girtler, 2018). Bu nedenle motorların yüksek güçte test edilmeleri ve durumlarının gözlenmesi önem taşımaktadır. Motorun çalışması

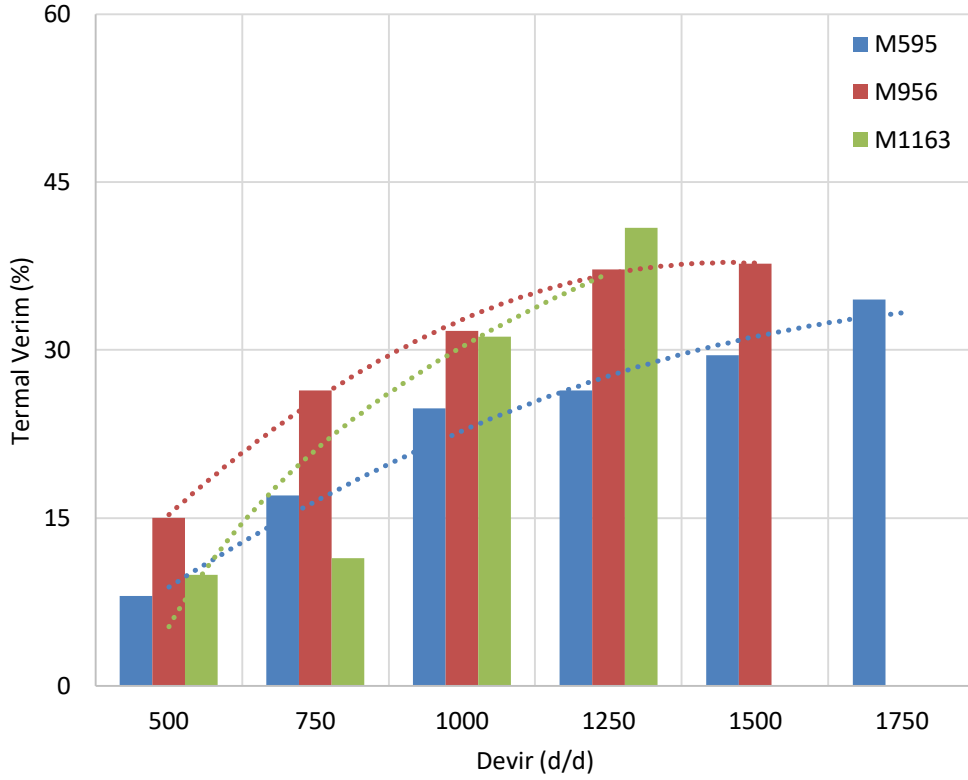
esnasında devirin artışı, hava hareketini artırmakta ve daha iyi bir yanma sağlayarak efektif güç artışına neden olmaktadır (Albayrak, 2014). Dizel motorlarda silindir çapı ve silindir stroğu büyüdükçe devir azalmakta, efektif güç artmaktadır. Daha yüksek silindir hacmine sahip motorlarda daha fazla yakıtın silindir içerisine püskürtülmesiyle daha fazla enerji açığa çıkacağı aşikardır. Bu durumun sonucunda daha fazla güç üretilmektedir.

Yapılan testlerde her iki motorun ölçülen en yüksek devirlerinde elde edilen efektif güç değerleri karşılaştırıldığında, M595 motorunki M956 motorununkinden yaklaşık 1,3 kat daha fazla olduğu gözlenmiştir. M956 dizel motorunun daha eski teknolojiye sahip bir motor olmasından dolayı kontrol ünitesindeki elektronik sistemleri daha az gelişmiştir. Dolayısıyla motor içerisindeki yardımcı devre elemanları sıcaklık ayarlarının, çalışma durumuna göre entegrasyonu yeteri kadar yapılamamakta ve bu durum da motorda efektif güç artışının M595 motorundan daha düşük kalmasına sebep olmaktadır. Ek olarak, M956 motoru daha eski teknolojiye sahip olduğu için motorda bulunan iki sıralı aşırı doldurma turboşarj sistemi motor çalıştığı zaman aktive olup motorun çalıştığı süre boyunca aktif kalmakta ve kendisini performans odaklı olarak regüle etmemektedir. Ancak M595 motorunun sahip olduğu dört sıralı turboşarj sistemi ve M1163 motorunun sahip olduğu beş sıralı turboşarj sistemi devir ve güç artışına bağlı olarak kademeli bir şekilde devreye girmektedir. Tüm bunlara ek olarak efektif motor gücünün, tutuşma gecikmesi ve ısı yayılım oranı gibi faktörlere de bağlı olduğu bilinmektedir (Yılancılar, 2020). Daha sağlıklı bir değerlendirme yapılabilmesi için bu verilerin de ölçülmesi tavsiye edilmektedir.

4.3. Termal Verim

TV, motor performansının genel ölçüm ve değerlendirilme şekli olarak kabul edilmektedir (Woodyard, 2009). Ayrıca silindire alınan yakıtın tepkime esnasındaki kayıplar haricinde tamamının termal enerjiye dönüşebilmesi için yanma evresinin tamamlanması gereklidir ve bunun için silindire alınan hava miktarının yeterli olup yakıtın oksidasyonunun sağlanması gereklidir (Heywood, 1988). Yanma sonu sıcaklığı da TV'ye etki eden faktörler arasında yer almaktadır (Tekdoğan, 2020). Artan devir sayısı ile birlikte yükseliş gösteren sürtünme kayıpları ve azalan volumetrik verim TV'de düşüşe neden olabilmektedir (Yılancılar, 2020). İlave olarak silindir içerisinde

ortaya çıkan termal enerjinin bir bölümü yağlama yağını ısıtarak, bir bölümü de radyasyon şeklinde yayılarak termal kayıp oluşturmaktadır (El Gohary ve Abdou, 2011). Soğutma suyuna ısı geçişi olması ve egzoz çıkışı nedeni ile de termal kayıplar oluşmaktadır. Şekil 4.3'te motorların TV'sinin devire göre değişimini gösteren grafik verilmektedir.



Şekil 4.3. Motorların termal verim-devir grafiği

Tüm motor testlerinde, sabit devirdeki çalışma şartlarında TV değerleri düşüş göstermektedir. M595 motoru teknolojik olarak gelişmiş bir motor olmasına rağmen, motorun birim hacimdeki güç oranının yüksek olması ve yüksek devirde kayıpların daha fazla olmasından dolayı TV değeri diğer motorlara kıyasla düşüktür. Test esnasında TV değeri 1.750 d/d'da %34,5 oranında en yüksek değerine ulaşmıştır. Bununla birlikte M956 motorunun TV değerinin ölçülen en yüksek motor devri olan 1.500 d/d'de %37,7 TV değeri hesaplanmıştır. M1163 motoru, diğer motorlarla kıyaslandığında en yüksek TV değeri olan %40,9'a ulaşmaktadır. Ulaşılan bu değer 1.250 d/d'da gerçekleşmektedir. M1163 motorun TV değeri 750 d/d'dan 1.000 d/d'ya

geçişte yüksek bir artış kaydetmiştir. Bu artışın nedeni söz konusu devirler arasında motorun efektif gücünün yaklaşık olarak 4 katına çıkması ve eşzamanlı olarak özgül yakıt tüketiminin de % 55 oranında azalmasıdır.

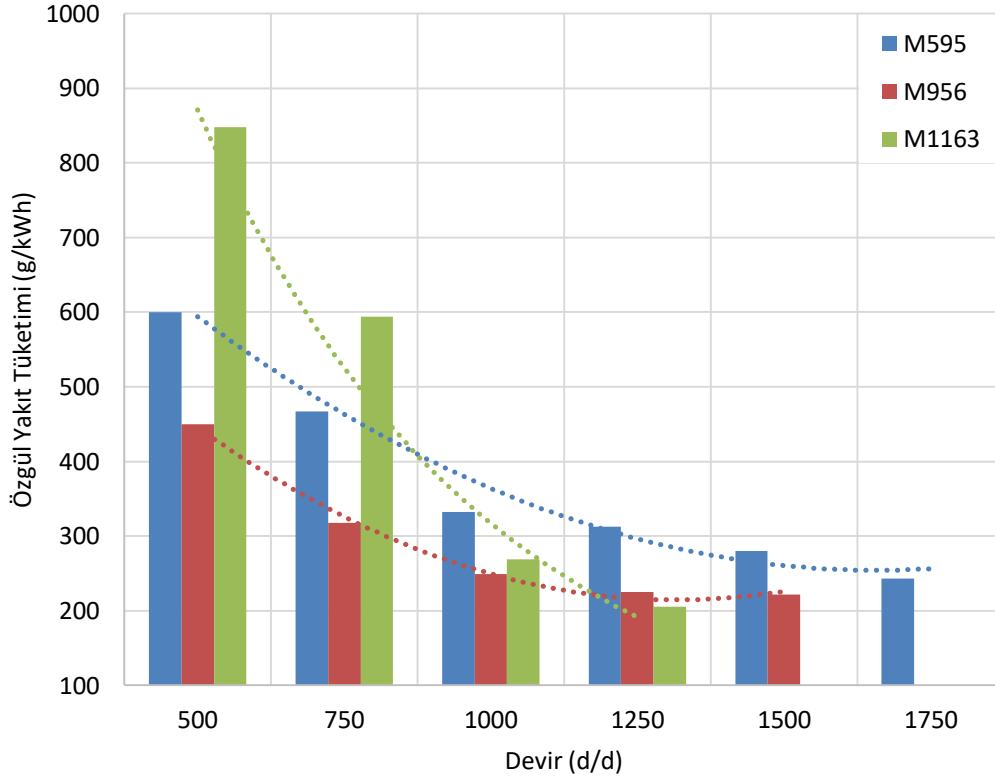
Sayin ve ark., (2012) tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışmada artan enjeksiyon basıncının TV'yi artırdığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek enjeksiyon basıncı sayesinde daha iyi performans elde edilmesi amacı ile MTU firması yeni nesil gemi dizel motorlarına "commonrail" teknolojisini dahil etmektedir. Şekil 2.13'te yakıt devresi örneği verilen 4000 model dizel motoru da bu kapsamda "commonrail" teknolojisine sahip bir motordur.

4.4. Özgül Yakıt Tüketimi

Test edilen motorlarda efektif güç üretiminin artmasıyla daha düşük özgül yakıt tüketimi elde edildiği belirtilebilir. Test edilen üç motorda da özgül yakıt tüketimi değerlerinin motor devrinin artmasıyla düştüğü gözlenmiştir. M595 motorunun ölçülen maksimum devri 1.750 d/d'deki özgül yakıt tüketimi 280 g/kWh, M956 motorunun ise ölçülen maksimum devirdeki (1.500 d/d) özgül yakıt tüketimi 222 g/kWh olarak hesaplanmıştır. M1163 motorunun özgül yakıt tüketimi 1.250 d/d'deki yükleme esnasında 205 g/kWh olarak ölçülmüştür. Bu değer üç motor için yapılan testler esnasında elde edilmiş olan en düşük özgül yakıt tüketim değeridir.

Şekil 4.4 incelendiğinde, her üç motor içinde motor devri arttıkça özgül yakıt tüketim değerlerinin azaldığı söylenebilir. Özgül yakıt tüketimi düşük motor devirlerinde elde edilen efektif güç değerinin düşük olmasından dolayı her zaman daha yüksek seyretmektedir. Motor devrinin artmasıyla bu değer düşerek optimum noktaya gelmektedir. Ancak devir sayısı maksimum değerlere yaklaşıncı motorun sürtünme kayıpları arttığından dolayı bir miktar artış gözlemlenebilir. Genellikle özgül yakıt tüketimleri yüksek sıkıştırma oranlarında, TV arttığı için azalmaktadır. Aynı zamanda motor boyutu büyüdükçe özgül yakıt tüketiminin azaldığı belirtilmektedir (Pulkrabek, 2004). Tablo 3.1'de görüldüğü üzere diğer motorlardan çok daha eski teknolojiye sahip olan M956 motoru 13:1 sıkıştırma oranı ile en yüksek sıkıştırma oranına sahiptir ve özgül yakıt tüketimi, sıkıştırma oranı 11:1 olan M595 motoruna göre daha düşük seviyelerdedir. M1163 motorun özgül yakıt tüketiminin yüksek efektif güç üretimi esnasında çok düşük seviyede olmasının nedeni, motor boyutunun büyük, maksimum

motor devrinin daha düşük olmasıyla açıklanabilir. Özgül yakıt tüketiminin düşük olması, M1163 motorun test edilen gemi ana tahrik dizel motorları içerisinde en optimum motor olarak değerlendirilmesinde son derece önemli bir kriterdir.

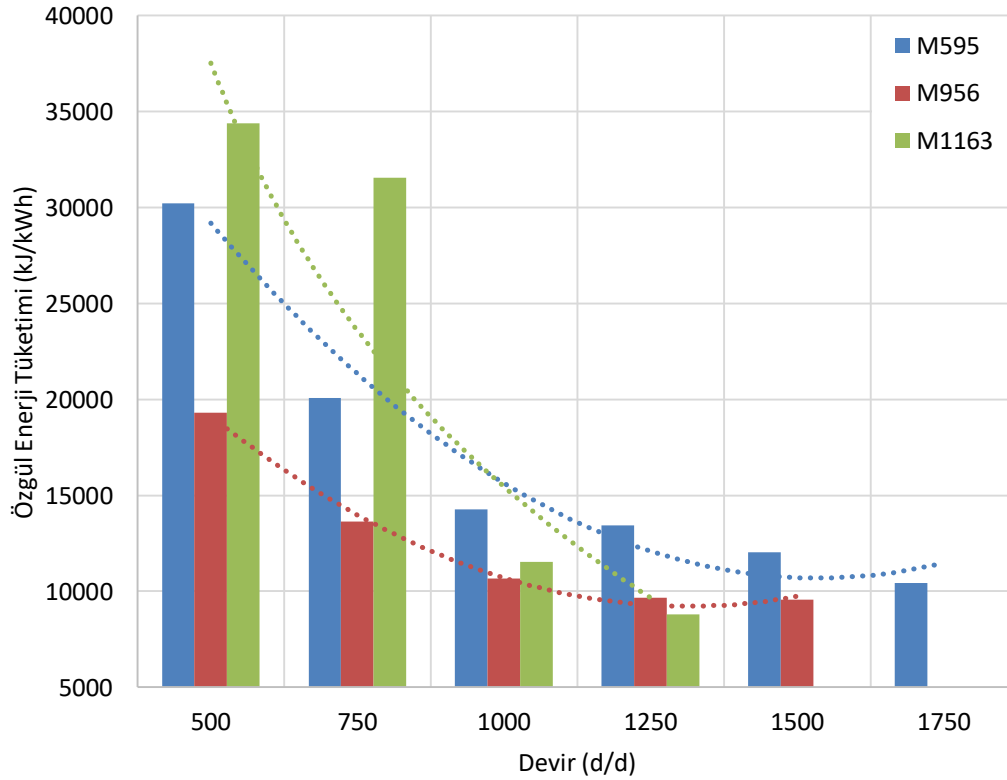


Şekil 4.4. Motorların özgül yakıt tüketimi-devir grafiği

Gemi dizel motorları rölanti devirlerinde çalışırken özgül yakıt tüketim değerinin azaltılması amacıyla bazı silindirlere yakıt enjeksiyonu azaltılarak ya da kesilerek motorun çalışması devam ettirilmekte ve bu çalışma moduna “cut-out” modu denmektedir. Söz konusu çalışma modunun en büyük dezavantajı uzun süre bu modda çalışılması durumunda silindir içerisinde karbon birikimi oluşması ve bu birikimin piston hareketi esnasında laynerlerde çizilmeye sebebiyet vermesidir. Bu çizilme nedeni ile pistonun sarma yapıp piston kolunu çıkarması durumu söz konusu olabilmektedir. Motordaki laynerler bakım esnasında baroskop ile incelenerek yüzey kalitesi kontrol edilmektedir. Aynı zamanda motorlar “cut-out” modunda çalışırken silindirde biriken karbonun temizlenmesi için bu moddan çıkıldıktan sonra motor yüksek devirde çalıştırılmaktadır.

4.5. Özgöl Enerji Tüketimi

ÖET, genellikle farklı alt ısıl değerlere sahip yakıtların aynı motorda yapılan test sonuçlarının karşılaştırılmasında tercih edilen bir değerlendirme parametresidir (Erdoğan, 2019). Ancak tez çalışmasında aynı yakıtın kullanıldığı farklı motorlar kıyaslanmaktadır. Bu açıdan daha doğru bir değerlendirme yapabilmek için özgül yakıt tüketimi ve ÖET değerlerinin birlikte değerlendirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.



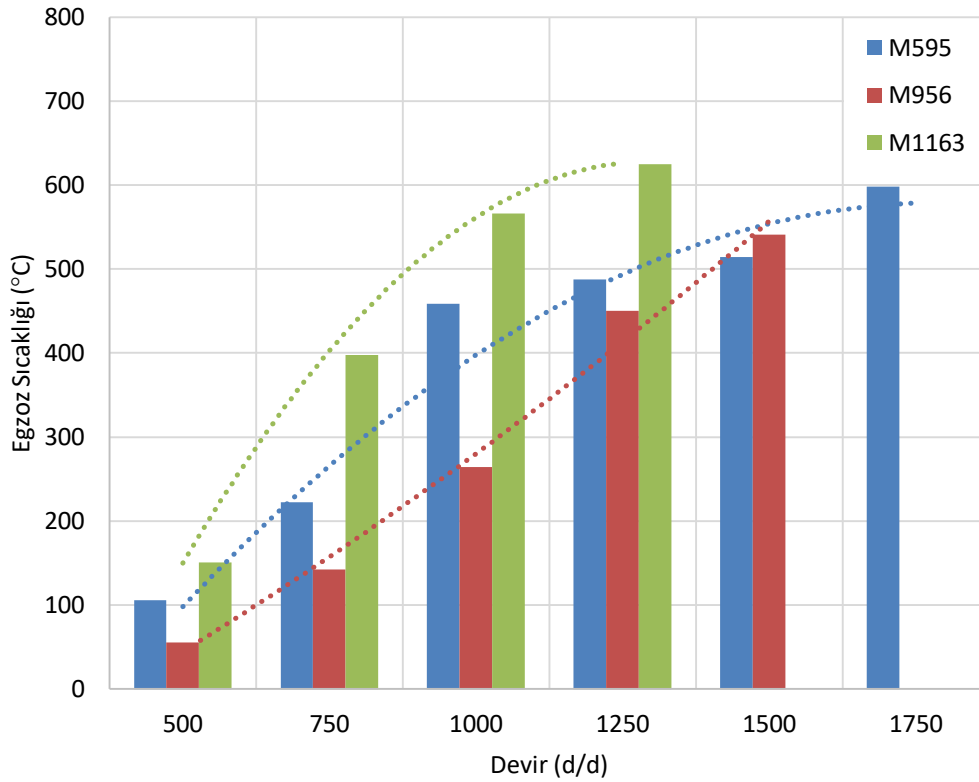
Şekil 4.5. Motorların özgül enerji tüketimi-devir grafiği

Motorların ÖET değerlerinin devir ile değişimi Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Bu grafiğe göre her motorun ölçülebilen en yüksek motor devrindeki özgül enerji tüketimleri motorların etkinliği konusunda bilgi vermektedir. Buna göre M595 motoru 1.750 d/d'da 10.432 kJ/kWh ÖET gerçekleştirmiş iken, M956 motoru 1.500 d/d'da 9.550 kJ/kWh ve M1163 motoru ise 1.250 d/d'da 8.792 kJ/kWh ÖET gerçekleştirmiştir. M1163 motorun 750 d/d'dan 1.000 d/d'ya geçişte ÖET değerindeki düşüş oranı diğer motorlara kıyasla çok daha yüksektir. Bilindiği üzere ÖET değeri, özgül yakıt tüketimi ve yakıt alt ısıl

değerinin çarpımına eşittir. Söz konusu aralıkta motorların özgül yakıt tüketimindeki azalma; M595 motor için %29, M956 motor için %22 olarak gerçekleşirken M1163 motor için %55'dir. Bu verilere göre, enerji verimliliği konusunda M1163 motoru ilk sırada gelmektedir. Aynı zamanda, termal verimlilik açısından da en yüksek verimliliğin M1163 motorunda olduğu görülmektedir.

4.6. Egzoz Sıcaklığı

Ortalama egzoz çıkış sıcaklığı değerleri motorların silindirlerinin egzoz emme valfi bölgesine yerleştirilen sensörler vasıtası ile elde edilen sıcaklık değerlerinin ortalamasının alınmasıyla hesaplanmıştır. Bilindiği üzere motorların termal kayıplarının önemli bir bölümü egzoz çıkışı vasıtası ile meydana gelmektedir.



Şekil 4.6. Motorların egzoz sıcaklığı-devir grafiği

Yanma evresinin gecikme göstererek egzoz zamanına sarkması, egzoz çıkış sıcaklığındaki artış için geçerli bir neden olarak görülmektedir (Behçet ve ark., 2015). Bununla birlikte egzoz sıcaklığının fazla olması piston kafasına zarar vermektedir ve

egzoz sıcaklığı değerinin M956 motorda 600 °C'nin altında kalması, M595 ve M1163 motorlarında 700 °C'nin altında kalması istenmektedir. Ölçüm sonuçlarına bakıldığında, ölçülen en yüksek motor devirlerinde egzoz sıcaklığının bu değerlerin altında seyrettiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.6'da motorların egzoz sıcaklığı-devir grafiği verilmiştir. Buna göre, M595 motorunda en yüksek egzoz çıkış sıcaklığı 598 °C (1.750 d/d), M969 motorunda 541 °C (1.500 d/d) ve M1163 motorunda ise 625 °C (1.250 d/d) olarak ölçülmüştür. M595 ve M956 motorları birbirlerine çok yakın güç üreten motorlar olarak düşünüldüğünde, TV'nin daha düşük olduğu, yani kaybın daha çok olduğu M595 motorunda daha yüksek egzoz çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Egzoz sıcaklığının düşük olması, genişleme periyodu öncesinde silindirdeki yakıtın önemli miktarda tüketildiğini göstermektedir (Aktaş ve Sekmen, 2008). M1163 motoru ile M595 motorları nesil itibarıyla benzer nitelikte motorlardır. M1163 motoru daha büyük motor hacmine sahip olmasına rağmen, neredeyse M595 motoru ile çok yakın egzoz çıkış sıcaklıkları üretmişlerdir. Bunun en önemli sebebi, M1163 motorunun TV'sinin M595 motoruna göre çok yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstrileşme, sanayi, teknoloji ve bilişimin tarihsel gelişimine bakıldığında ülkelerin savunma sanayi altyapısının söz konusu tüm alanlara öncülük ettiği, ardından havacılık ve uzay endüstrisinin bu gelişimi takip ettiği ve savunma, havacılık ve uzay teknolojilerinde meydana gelen gelişmelerin sonraki dönemlerde diğer sektörlerde kullanılarak ilerlemelere neden olduğu görülmektedir.

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan dizel motorlar savunma sanayi sektörünün bir parçası olan ve ticari gemi dizel motorlarına kıyasla daha kompleks sistemlere sahip motorlardır. Motorların testlerinin gerçekleştirilmiş olduğu test istasyonu ise, son derece yüksek değerli teknolojik yatırım ve güçlü altyapı kapasitesinin kalifiye işgücü ile birleştirilmesi sonucunda nice zorluklarla meydana getirilmiştir.

Motor test istasyonunda test edilen ve verileri işlenerek bu tez çalışmasında kullanılan M595, M956 ve M1163 gemi ana tahrik dizel motorlarının üçü de Türk Deniz Kuvvetleri'nde görev yapan farklı savaş gemilerinde ana tahrik dizel motoru olarak

aktif bir şekilde kullanılmaktadır. Bu motorların sahip olduğu teknoloji daha önce bahsedildiği üzere sıralanacak olursa sırasıyla en eski teknolojiye sahip motor M956 dizel motoru, ardından M1163 dizel motoru ve ilerinden en yeni teknolojiye sahip motor da M595 dizel motoru olmaktadır.

Bu üç motorun devire bağlı olarak tork, efektif güç, TV, özgül yakıt tüketimi, ÖET ve egzoz sıcaklığı grafikleri test verilerine bağlı olarak oluşturulmuş ve üç motorun eğrileri tek grafikte bir araya getirilmiş olup motorların sahip olduğu değerler motorların belirli özelliklerine, temel motor çalışma prensiplerine ve normlarına göre yorumlanarak neden sonuç ilişkisi kurulmuştur ve kıyaslamalar yapılmıştır.

Tez araştırması için yapılan literatür çalışması esnasında (Atkins, 2009) kaynağında mühendislerin, içten yanmalı motorları “internalcombustion engine” yerine “infernalconfusion engine” yani “cehennem gibi karmaşık motor” olarak betimledikleri görülmüştür. Bu tez çalışmasında kullanılan motorların sistemlerinin, motor performansı ile ilgili diğerk araştırmalardaki motorlara kıyasla daha karmaşık oluşu ve motor ağırlığı, hacim ve güç kapasitesinin yüksek oluşu dikkate alındığında son derece karmaşık ve farklı değişkenlerle iç içe sistemlerin ele alındığı ve incelendiğı görülmektedir. Günümüzde adını sıkça duymakta olduğumuz veri bilimi, büyük veri ve yapay zeka teknolojileri de tıpkı bu tezde incelenen motorlar gibi karmaşık sistemlerdeki veri çeşitliliğinden dolayı ortaya çıkmış ve hızlıca yayılarak kullanışlı ve gerekli hale gelmiştir. Tez çalışmasında ele alınan motorların verilerinin olabildiğince ayrıntıya inilerek paylaşılma çabasının gösterilme nedeni; hem bu çalışmada olabildiğince fazla parametreye ve durum çeşitliliğine değinerek mümkün olan en optimal ve en uygun sonuçların elde edilmesi, hem de ileride bu çalışmadan istifade edecek araştırmacılara mümkün olduğunca fazla veri sağlamak ve çalışmalarına daha fazla yenilik sunmalarına ve farklı bakış açıları getirmelerine yardımcı olarak ülkemizin akademik araştırma birikimine katkı sağlama amacının güdölmesidir.

Tez çalışmasında, üç motor içerisinde en yüksek silindir stroğu ve silindir çapı değerlerine sahip olan M1163 motorunun en yüksek tork ve efektif güç kapasitesine sahip olduğı görülmüştür. Ancak belirli bir efektif güç değerinin üzerinde yüklendiğı zaman performans değerlerinde azalma, ya da aynı efektif güç aralığında optimal olmayan yardımcı devre sıcaklıklarında motor yüklemesi yapıldığı zaman performans

değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu motorun yüksek devirli olması durumunda M956 ve M595 motorlarına karşı sağlamış olduğu performans üstünlüğünün artacağı ve bu durumun M1163 motorunun kullanıldığı gemilere çok önemli harekatsal avantaj kazandıracağı değerlendirilmektedir.

Tezde verileri incelenen dizel motorlardan M595 ve M1163 motorları hem CODAD hem CODAG ana tahrik sistemlerinde, M956 motoru yalnızca CODAD ana tahrik sistemlerinde mevcut olarak kullanılmaktadırlar.

Gemi dizel motorlarında hareketli parçaların sayısı arttıkça motorun arıza verme ihtimali artmakta, güvenilirlik oranı azalmaktadır. Bu tür durumlar motorların bakım-tutumunu zorlaştırmakta, motordan sorumlu olan gemi personelinin daha fazla emek harcamasını zorunlu kılmakta ve en kötü ihtimalle gemilerin seyir planlarının güncellenmesi durumunu söz konusu haline getirmektedir. M595 dizel motoru söz konusu motorlar arasında en yeni teknolojiye sahip motor olarak mekanikten ziyade daha fazla elektronik parçaya sahip olmakta ve bu da motorun bakım tutumunu kolaylaştırmaktadır.

M595 dizel motorunun şarj havasını, motor soğutma suyu soğutmaktadır. Bu durum incelendiğinde M595 dizel motorunda motor bünyesinin deniz suyu devresinden daha bağımsız olduğu görülmektedir. Deniz suyu, asit oranının yüksek olması nedeni ile devrede arıza, deforme ve korozyonlara daha fazla sebebiyet vermektedir. Buna ek olarak motor sisteminin deniz suyu devresinden bağımsız olmasının önemli bir faydası da motorların gemiden demonte edilerek kara tipi dizel motor olarak kullanımının kolay olması ve aynı şekilde güç değerleri yeterli ve fiziksel ölçüleri motorun bulunduğu alana uygun olan kara tipi bir dizel motorunun montajının gerçekleştirilerek gemide kullanımının daha kolay gerçekleştirilebilmesidir. Bilindiği üzere 1974 yılında gerçekleştirilen Kıbrıs Barış Harekatı için hızlı bir şekilde inşa edilen donanma gemilerindeki ana tahrik sistemlerinde hurda tanklara ait dizel motorlar kullanılmıştır. Savunma sanayi sektörünün endüstriye yön verdiği gibi zaman zaman da askeri strateji, teknolojik tercihlere yön vermektedir.

Motorların tüm özellikleri ve çalışma verileri incelendiğinde özgül yakıt tüketim değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Özgül yakıt tüketimi bir gemi motoru için çok önemli bir parametredir. Bunun nedeni de gemilerin bazen 20-25 gün

hiç limana uğramadan seyir yapmalarının gerekli olması durumudur. Özgül yakıt tüketimi fazla olan bir motorun gemide kullanılması durumunda gemide depolanan yakıtın erken bitmesi ve geminin istenen operatif özelliklere sahip olamaması durumu söz konusu olmaktadır. Tezde incelenen ana tahrik dizel motorların tamamı birbirine yakın ve kullanışlı özgül yakıt tüketim değerlerine sahip olmaktadır.

Savaş gemilerinin donatım alanları çok sayıda farklı sistemin ve platformun yer aldığı, alan kullanımı konusunda titiz ve dikkatli davranmanın zorunlu olduğu yerlerdir. Gemi ana tahrik motoru seçimi için; gerekli güç kapasitesi, istenen özgül yakıt tüketim aralığı ve asgari teknolojik altyapı ve kabiliyetlerin sağlanması gibi temel koşulların sağlanmasından sonraki en önemli tercih kriteri motorun birim hacimdeki güç değeri ve birim ağırlıktaki güç değeridir. Bunun nedeni motorun kullanılacağı alana sistemlerin sığdırılabilmesi, motorun sahip olduğu ağırlığın geminin çevikliğini azaltmaması ve yakıt tüketimini artırmamasıdır. Basit gibi görünün bu kriterler ana tahrik dizel motoru seçimi için son derece kritik önem taşımaktadır.

Tüm kriterler değerlendirildiği zaman M595 motoru teknolojik olarak en yeni motor olması nedeniyle en yüksek TV'ye ya da en düşük özgül yakıt tüketimi değerine sahip olmamasına rağmen gemi ana tahrik motorları için çok hayati bir kriter olan birim kütledeki güç ve birim hacimdeki güç kriterlerinde açık ara önde olmaktadır. Bu özellikler de M595 motorunu kullanımı en optimal motor olarak göstermektedir. M1163 motoru sahip olduğu yüksek güç kapasitesi nedeniyle yüksek güç ihtiyacı bulunan ve donatım alanları daha geniş olan gemiler için daha kullanışlı olmakla birlikte M595 motoru farklı koşullar altında kullanıma uygunluk, yüksek devir sayesinde ani manevra kabiliyeti gibi ilave özellikleri sayesinde de ön plana çıkmaktadır.

Akademik araştırmalarını gemi ana tahrik dizel motorları hakkında gerçekleştirecek olan araştırmacıların gemi dizel motorlarındaki arızaları inceleyerek bu arızaların sebepleri üzerine detaylı mühendislik hesaplamaları yapmalarının ve gemi motorlarında gerçekleşen termal döngüleri ayrıntılı olarak araştırmalarının faydalı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akca, E. (2010) Yeni Nesil Fırkateynler İçin Ana Makina Seçim Kriterlerinin Belirlenmesi ve Sistem Elemanlarının Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Akkoca, Ş. (2017) Bir Geminin Pervane Şaftının Torsiyonel Titreşimlerinin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, Türkiye.
- Albayrak, S. (2014) Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon ve Titreşimlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Düzce, Türkiye.
- Alcan, G. (2019) Data Driven Nonlinear Dynamic Models for Predicting Heavy-Duty Diesel Engine Torque and Combustion Emissions. Ph.D. Thesis, Sabancı University, Graduate School, İstanbul, Turkey.
- Altuğ, E. (2019) Conceptual Design of a V-12 Diesel Engine of 1000-1500 HP. Master Thesis, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul, Turkey.
- Arslan, T. (2017) Değişken Sıkıştırma Oranlı Bir Silindirli Dizel Motor Modeli Tasarımı ve Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Atay, O. (2009) 7.3L Dizel Motorunun Matematiksel Modellenmesi ile Silindir İçi Parametrelerinin, Performansın ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Atkins, R. D. (2009) An Introduction to Engine Testing and Development, SAE International, Pennsylvania, USA.
- Baldi, F., Theotokatos, G., Andersson, K. (2015) Development of a combined mean value-zero dimensional model and application for a large marine four-stroke Diesel engine simulation. Applied Energy, 154, 402-415.
- Baykuş, C. (2019) Konvansiyonel Sevk Sistemli Gemilerde Şaft Yüğü Ölçümü ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.
- Behçet, R., Oktay, H., Çakmak, A., Aydın, H. (2015) Comparison of exhaust emissions of biodiesel–diesel fuel blends produced from animal fats. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 46, 157–165.
- Brynolf, S., Fridell, E., Andersson, K. (2014) Environmental assessment of marine fuels: liquified natural gas, liquified biogas, methanol and bio-methanol. Journal of Cleaner Production, 74, 86-95.
- Carlton, J. (2007) Marine Propellers and Propulsion, Second Edition, Elsevier Ltd., Massachusetts, USA.
- Challen, B., Baranescu, R. (1999) Diesel Engine Reference Book, Second Edition, Butterworth-Heinemann, Massachusetts, USA.

- Chen, G., Zhu, M., Liu, Z., Liu, T., Su, S., Cao, Y. (2014) Study on Air Intake and Cooling System for Marine Diesel Engine. TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, 12(2), 998-1004.
- Cong, G., Theotokatos, G., Chen, H. (2015) Analysis of Two Stroke Marine Diesel Engine Operation Including Turbocharger Cut-Out by Using a Zero-Dimensional Model. Energies, 8, 5738-5764.
- Çavgun, E. (2019) Çift Yakıtlı Bir Dizel Motorda Sıkıştırma Oranının LPG Kullanımına Etkilerinin Deneyisel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman, Türkiye.
- Çerkezoğlu, Ş. C. (2015) Dizel Motorun Soğuk İlk Çalışma Durumunda Motor Yağ Miktarının, Yağ Isınma Performansına ve Yakıt Tüketimi Üzerine Olan Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Dağ, C. (2013) Biyodizel Su Karışımlarının Dizel Motor Performansı ve Emisyonu Üzerine Etkilerinin Deneyisel İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Dokkum, K. V. (2003) Ship Knowledge A Modern Encyclopedia, DOKMAR, Enkhuisen, Netherlands.
- Ece, Y. M. (2019) Bir Dizel Motoruna Direkt Su Enjeksiyonunun Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Ekin, F. (2016) Bir Gemi Dizel Motorunda Dizayn ve İşletme Parametrelerinin Performans ve Emisyon Değerleri Üzerindeki Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- El Gohary, M. M., Abdou, K. M. (2011) Computer based selection and performance analysis of marine diesel engine. Alexandria Engineering Journal, 50, 1-11.
- Elrakb, A. (2019) Performance Analysis of Indirect Diesel Injection Combustion (IDI) for Heavy Duty V16 Diesel Engine by Numerical Simulation. Master of Science Thesis, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul, Turkey.
- Erdoğan, S. (2019) Bitkisel ve Hayvansal Biyodizel Kullanılan Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri İle İncelenmesi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Ezgi, C. (2009) Su Üstü Savaş Gemisinde NATO F-76 Dizel Yakıtlı Katı Oksitli Yakıt Pili Sistemi Tasarımı ve Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K., Murphy, A. (2018) Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. Journal of Cleaner Production, 172, 855-866.
- Girtler, J. (2018) A Concept of Determining the Relation Between Load and Wear of

- Tribological Systems of Ship Main Selfignition Engines by Using Probabilistic Approach. Polish Maritime Research, 25, 130-138.
- Gorka, G., Leopoldo, M., Oihane, C. B., Manuel, C., Sendoa, A., Zigor, U. (2019) Performance of marine diesel engine in propulsion mode with a waste oil-based alternative fuel. Fuel, 235, 259-268.
- Göksu, B. (2017) Gemi Dizel Makinelerinde Planlı Bakım Sistemi Uygulamaları ve Arıza Modlarının Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- Göktürk, A. (2016) Codag ile Tahrik Edilen Askeri Bir Geminin Sevk Sistemi Eksenel Burulma Titreşim Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Gümüştekin, S. (2015) Gemilerin Ana Tahrik Sistemi Seçiminde Maliyet Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Gürbüz, H. (2011) Termal Bariyer Kaplamanın Dizel Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- Heywood, J. B. (1988) Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Inc., USA.
- Kalender, S. (2019) Gemi Şaft Yatağı Boşluğunun Yapay Sinir Ağları ile Öngörüsü ve Havuz Bakım Planlaması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Karaca, S. (2015) Turboşarjerli Bir Gemi Dizel Motoruna Farklı Pervane Kanat Açılarına Bağlı Olarak Enerji ve Ekserji Analizinin Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Türkiye.
- Kaya, C. (2019) Biyodizelin Gemi Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kaya, M. (2010) Biyodizel-Dizel Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans ve Emisyonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kaya, T. (2019) Experimental Combustion Analysis of Diesel Engine. Ph.D. Thesis, Istanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul, Turkey.
- Kenanoğlu, R. (2016) Dizel Motorlarda Alternatif Gaz Yakıt Kullanımının AVL Programı ile Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay, Türkiye.
- Keskin, A. (2005) Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Khan, D. (2019) Zero/One Diemnsional Numerical Modelling and effect of Variable Compression Ratio (VCR) on Emissions and Performance of a Four-Cylinder

Turbocharged Diesel Engine. Master of Science Thesis, Marmara University Institute for Graduate Studies in Pure and Applied Sciences, İstanbul, Turkey.

Küçükşahin, F. (2011) Gemi Makineleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

Küçükşahin, F. (2008) Dizel Motorları Teorisi, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

Lakshminarayanan, P., Agarwal, A. K. (2020) Design and Development of Heavy Duty Diesel Engines, Springer Nature Singapore Pte Ltd., Singapore.

Lamaris, V., & Hountalas, D. (2010) A general purpose diagnostic technique for marine diesel engines - Application on the main propulsion and auxiliary diesel units of a marine vessel. Energy Conversion and Management, 51(4)(4), 740-753.

Magnussen, A. K. (2017) Rational Calculation of Sea Margin. Master Thesis, Norwegian University of Science and Technology Department of Marine Technology, Trondheim, Norway.

Manav, C. (2004) Pervane/Nozul Sisteminin Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

MEGEP. (2012) Elektrik-Elektronik Teknolojisi Sensörler ve Transdüserler. Ankara, Türkiye.

Merker, G. P., Schwarz, C., Stiesch, G., Otto, F. (2006) Simulating Combustion: Simulation of combustion and pollutant formation for engine-development, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Germany.

Milan, D. T., Pragna, R. P., Tushar, M. P., Gaurav, P. R. (2015) Parametric optimization of C.I. Engine for Brake Thermal Efficiency using Diesel-sesame blend. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering, 12(2), 62-68.

Murphy, A., Norman, A., Pazouki, K., Trodden, D. (2015) Thermodynamic simulation for the investigation of marine Diesel engines. Ocean Engineering, 102, 117-128.

Noor, C. M., Noor, M., Mamat, R. (2018) Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94, 127-142.

Okumuş, F. (2019) Gemi Dizel Motorlarında Emülsife Yakıt Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Orak, E. (2011) Tek Silindirli Dizel Motorlarda Emme Portuna Su Püskürtmenin Performans ve Emisyona Etkilerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Özsoysal, O. A. (2008) Gemi Dizel Motorları Arızalar ve Nedenleri, Nobel Akademik Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.

Öztürk, M. (2019) Değişken Geometrilili Türbin Kullanımının Dizel Motor Performans Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Öztürk, Ö. (2017) Gemi Sistemleri Enerji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.

Pakale, P. N., Patel, S. (2015) Performance Analysis of IC Engine Using Supercharger

- and Turbocharger-A Review. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(2), 17-22.
- Parlak, A., Kökkülünk, G. (2016) Bir Gemi Dizel Motorunun Performans Ölçümü ve Değerlendirilmesi. *Journal of ETA Maritime Science*, 4(2), 165-173.
- Plint, M., Martyr, A. (1995) *Engine Testing Theory and Practice*, Elsevier Ltd., Massachusetts, USA.
- Plint, M., Martyr, A. (2012) *Engine Testing; The Design, Building, Modification and Use of Powertrain Test Facilities*, Elsevier Ltd., Massachusetts, USA.
- Pojawa, B. (2017) Operational Diagnostics Synthesis of the Naval Gas Turbines Operated by the Polish Navy. *Scientific Journal of Polish Naval Academy*, 1, 75-98.
- Pulkrabek, W. W. (2004) *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engines*. Prentice Hall, New Jersey, USA.
- Reşitoğlu, İ. A. (2010) Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, Türkiye.
- Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E., Soruşbay, C. (2013) İçten Yanmalı Motorlar. Birsan Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- Sayin, C., Gumus, M., Canakci, M. (2012) Effect of fuel injection pressure on the injection, combustion and performance characteristics of a DI diesel engine fueled with canola oil methyl esters-diesel fuel blends. *Biomass and Bioenergy*, 46, 435-446.
- Sayin, C., Özsezen, A., Çanakçı, M. (2010) The influence of operating parameters on the performance and emissions of a DI diesel engine using methanol-blended-diesel fuel. *Fuel*, 89(7), 1407-1414.
- Smith, T. W. (2012) Technical energy efficiency, its interaction with optimal operating speeds and the implications for the management of shipping's carbon emissions. *Carbon Management*, 3(6), 589-600.
- Sürmen, A., Karamangil, M. İ., Arslan, R. (2004) *Motor Termodinamiği*. Alfa Akademi Yayıncılık, İstanbul, Türkiye.
- Şahin, Z. (2019) Turbo Şarjlı Dizel Motorlarda Giriş Hava Sıcaklığının Motor Performans ve Emisyonlara Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale, Türkiye.
- Tamer, E. (2016) Askeri Gemilerde Ana ve Yardımcı Makine Elemanları İçin Yaşam Döngüsü Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Tanişman, O. (1995) *Gemi Otomasyonunda Dümen ve Pervane Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Taylor, D. A. (1996) *Introduction to Marine Engineering*. Elsevier Ltd., Massachusetts, USA.
- Tekdoğan, R. (2020) Bir Dizel Motorda Zeolit Maddesinin Emisyon ve Performans Üzerine Etkisinin Yapay Sinir Ağları (YSA) İle Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.

Tekgöz, Y. (2007) Çok Supaplı Yüksek Süratli Gemi Dizel Motorlarının İkinci Kanun Analizi.Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Thakur, A., Kaviti, A., Mehra, R., Mer, K. (2017) Performance Analysis of Ethanol-Gasoline Blends on a Spark Ignition Engine: A Review. Biofuels, 8(1), 91-112.

Türkcan, A. (2006) Bir Dizel Motorun Performans Parametrelerinin Deneysel Tespiti.Yüksek Lisans Tezi,Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye.

Varbanets, R. A., Karianskiy, S. A. (2012) Analyse of Marine Diesel Engine Performance. Journal of Polish CIMAC, 7, 269-276.

Vatandaş, S. (2017) Gemi Şaft Sistemi Burulma Doğal Frekanslarının Holzer Metodu Algoritması ile Tespit Edilmesi.Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Vural, E. (2014) Tek Silindirli Dizel Motora Uygulanan Seramik Kaplamaların Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi.Doktora Tezi,Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.

Wang, X., Ge, Y., Yu, L., Feng, X. (2013) Effects of altitude on the thermal efficiency of a heavy-duty diesel engine. Energy, 59, 543-548.

Woodyard, D. (2009)Pounders Marine Diesel Engines and Gas Turbines. Elsevier Ltd., Massachusetts, USA.

Yapıcı, M. (2016) Performance and Emissions Analysis of Marine Diesel Engines During Ship Maneuvering.Master of Science Thesis,Piri Reis University Graduate Studies in Science and Engineering, İstanbul, Turkey.

Yapıcı, M. (2019) Türkiye'de Gemi Dizel Motor Üretiminin Uluslararası Kurallara Uygunluk Açısından Araştırılması.Yüksek Lisans Tezi,İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Yılancılar, M. S. (2020) Ketencik Yağı Metil Esterine Pentanol İlavesinin Dizel Motor Performans Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi,Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.

Yılmaz, H. (2019) Dizel Motorlarda Püskürtme Stratejisinin Performans ve Emisyonlara Etkisi. Yüksek Lisans Tezi,Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Yusoff, M., Zulkifli, N., Masum, B., Masjuki, H. (2015) Feasibility of Bioethanol and Biobutanol as Transportation Fuel in Spark-Ignition Engine: A Review. RSC Advances, 121, 100184-100211.

EKLER

EK 1 – DeneySEL Sonuçlar

Tablo 1.a. Motorların tork-devir değerleri

	Tork (kN.m)		
Devir	M595	M956	M1163
500	0,36	0,27	4,07
750	1,57	1,87	9,74
1.000	3,57	4,54	30,30
1.250	4,60	10,65	48,90
1.500	7,79	16,14	—
1.750	16,84	—	—

Tablo 1.b. Motorların efektif güç-devir değerleri

	Efektif Güç (kW)		
Devir	M595	M956	M1163
500	19	10	191
750	116	130	800
1.000	368	471	3.161
1.250	603	1.512	6.203
1.500	1.422	2.506	—
1.750	3.160,4	—	—

Tablo 1.c. Motorların özgül yakıt tüketimi-devir değerleri

	Özgül Yakıt Tüketimi (g/kW.h)		
Devir	M595	M956	M1163
500	600	450	848
750	467	318	594
1.000	332	249	269
1.250	313	225	205
1.500	280	222	—
1.750	243	—	—

Tablo 1.d. Motorların termal verim-devir değerleri

	Termal Verim %		
Devir	M595	M956	M1163
500	8	15	9,9
750	17	26,4	11,4
1.000	24,8	31,7	31,2
1.250	26,4	37,2	40,9
1.500	29,5	37,7	—
1.750	34,5	—	—

Tablo 1.e. Motorların özgül enerji tüketimi-devir değerleri

	Özgül Enerji Tüketimi (kJ/kW.h)		
Devir	M595	M956	M1163
500	30.224	19.314	34.367
750	20.062	13.649	31.543
1000	14.266	10.668	11.527
1250	13.451	9.668	8.792
1500	12.020	9.550	—
1750	10.432	—	—

Tablo 1.f. Motorların egzoz sıcaklığı-devir değerleri

	T Egzoz Ort.		
Devir	M595	M956	M1163
500	106	55	151
750	222	142	398
1.000	459	264	566
1.250	488	450	625
1.500	514	541	—
1.750	598	—	—

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hüseyin HALİLOĞLU

Doğum Yeri/Tarihi : Zonguldak/24.05.1993

Yabancı Dil: : İngilizce

E-posta : huseyin.haliloglu@live.com

EĞİTİM DURUMU

Derece	Okul-Bölüm	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Marmara Üniversitesi- Makine Mühendisliği	-
Lisans	Yıldız Teknik Üniversitesi- Makine Mühendisliği	2015
Lise	Bartın Fen Lisesi	2011

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Firma/Kurum	Görev
2018-	İstanbul Tersanesi Komutanlığı	MİLGEM Proje Subayı
2017-2018	Jandarma Genel Komutanlığı	Mühendis Yedek Subay
2015-2016	Bulut Makina A.Ş.	Proje Mühendisi

BİLİMSEL ESERLER

Uluslararası kongre ve sempozyumlarda sözlü olarak sunulan ve tam metin olarak yayımlanan bildiriler:

- 1. Haliloğlu H., Sayın C., ‘‘Optimization of Performance Parametersfor Three Different Main Propulsion Diesel Engines Which are Getting Used In Naval Ships’’, 4th International Congress of Academic Researches, İstanbul, Turkey, 07-09 December 2020, vol.1, pp. 417-424.**