

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ STROKLU GEMİ DİZEL MOTORLARINDA PERFORMANS İZLEME VE
DEĞERLENDİRME UYGULAMASI**

GÖRKEM KÖKKÜLÜNK

**DOKTORA TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNELERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. HASAN HÜSEYİN ERDEM**

İSTANBUL, 2016

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İKİ STROKLU GEMİ DİZEL MOTORLARINDA PERFORMANS İZLEME VE
DEĞERLENDİRME UYGULAMASI**

Görkem KÖKKÜLÜNK tarafından hazırlanan tez çalışması 24.10.2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKIR

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yasin ÜST

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Oğuz Salim SÖĞÜT

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL

İstanbul Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Uluslararası Denizcilik Örgütü ve Avrupa Parlamentosu tarafından “Gemilerde Enerji Verimliliği” kapsamında oluşturulan yönergeler ışığında hazırlanan bu tez çalışmasında ulusal ve uluslararası denizcilik şirketlerinin gemilerinde kullanılabilecek bir “Performans İzleme ve Değerlendirme” uygulaması gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışması Türkiye’nin önde gelen şirketlerinden İnce Denizcilik A.Ş. filosundaki M/V İnce İnebolu gemisinde yapılmıştır. Ayrıca gemi dizel motorlarının planlı bakım sürelerini optimize edebilecek bir ekonomik modeli de içeren kapsamlı bir performans değerlendirmesine yer verilmiştir.

Bu tez çalışmasında ve akademik hayata başladığım andan bu yana benden maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Adnan PARLAK ve Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM’e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Matematik modelin oluşturulmasında benden desteklerini esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. Aykut SAFA’ya teşekkür ederim.

Gemiden ölçüm alınmasının öncesinde ve sonrasında her türlü desteği sağlayan başta İnce Denizcilik Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Ahmet Bedri İNCE’ye, İnce İnebolu personeline ve Sayın Rıza BAYRAKTAR’a teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans hayatımdan başlayarak tüm eğitim ve iş hayatım süresince maddi ve manevi olarak beni destekleyen Sayın Ahmet Yaşar CANCA’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi desteklerini yanımda hissettiğim aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ekim, 2016

Görkem KÖKKÜLÜNK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	9
BÖLÜM 2	
GEMİ DİZEL MOTORLARINDA PERFORMANS İZLEME VE DEĞERLENDİRME	10
2.1 Performans Değerlendirme Metotları	13
2.1.1 Grafiksel Analiz Yöntemi (Curve Based Method)	15
2.1.2 Model Tabanlı Analiz Yöntemi	17
2.2 Bozunumların ve Maliyetlerin Hesaplanması	18
BÖLÜM 3	
MATEMATİK MODEL	20
3.1 Dizel Motorlarda Yanma	20
3.2 Yanma Modelleri	23
3.2.1 İki Bölge Yanma Modeli	25

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT	34
4.1 Materyal - Ölçüm Cihazlarının Tanıtımı	36
4.1.1 Silindir İçi Performans Ölçümü	36
4.1.2 Yakıt Sarfiyat Ölçümü	38
4.2 Metot – Bozunum	39
4.2.1 Bozunumların Maliyetinin Hesaplanması	42

BÖLÜM 5

BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER	45
5.1 Matematik Modelin Doğrulanması	47
5.1.1 Seyir Tecrübesi Değerleri ile Doğrulama	47
5.1.1.1 Güç ve ÖYS Değerleri için Doğrulama	47
5.1.1.2 Silindir İçi Basınç Değerleri için Doğrulanması	47
5.1.2 Yapılan Ölçüm Değerleriyle Doğrulama	48
5.1.2.1 Silindir İçi Basınç Değerleri için Doğrulanması	48
5.2 Motor Performans Parametrelerinin Güç ve ÖYS'ye Etkileri	49
5.2.1 Hava Giriş Sıcaklığı	50
5.2.2 Hava Giriş Basıncı	51
5.2.3 Yakıt Pompa Avansı	52
5.2.4 Sıkıştırma Basıncı	53
5.2.5 Püskürtme Basıncı	54
5.3 Çevre Şartlarına (ISO 3046) ve Yakıt Özelliklerine göre Performans Düzeltilmeleri	55
5.4 Bozunumların Hesaplanması	58
5.5 Bozunumların Maliyeti – Ekonomik Bozunum	63
5.5.1 Hava Giriş Sıcaklığı için Bozunum Maliyeti	65
5.5.2 Hava Giriş Basıncı için Bozunum Maliyeti	67
5.5.3 Yakıt Pompa Avansı için Bozunum Maliyeti	71
5.5.4 Sıkıştırma Basıncı için Bozunum Maliyeti	73
5.5.5 Püskürtme Basıncı için Bozunum Maliyeti	76
5.6 Bozunumların Sera Gazı Emisyonlarına Etkileri	79

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	100

SİMGE LİSTESİ

A	Isı transferi alanı, m ²
a _v	Wiebe sabiti
b	Piston çapı, m
B	Bozunum maliyeti (zaman, faiz oranı ve yakıt fiyatlarına göre), USD
b _{eölçülen}	Ölçülen özgül yakıt sarfiyatı, kg/kWh
C	Dolgu kaçağı katsayısı
C _{öys}	Özgül yakıt sarfiyatındaki bozunumun zamana bağlı maliyeti, USD/saat
C _{Güç}	Güçteki bozunumun zamana bağlı maliyeti, USD/saat
c _p	Sabit basınç özgül ısı, kJ/kgK
e _y	Yakıt eskalasyon oranı, %
FA _s	Yakıt hava stokiometrik oranı
f _r	Artık gaz kesri
F _{yakıt}	Yakıt fiyatı, USD/kg
h _{tr}	Isı transferi katsayısı, kJ/m ² K
H	Toplam entalpi, kJ
H _u	Alt ısı değer, kJ/kg
k	İndike güç oranı
I	Masraflar
m	Kütle, kg
m _{pre,dif}	Form parametresi, ön karışım ve difüzyonlu
P	Basınç, bar
P _{ölçülen}	Ölçülen güç, kW
Q	Isı transferi, kJ
r	Krank şaft yarıçapı, m
s	Özgül entropi, kJ/kgK
S	Strok, m
Ŝ _p	Ortalama piston hızı, m/s
T	Sıcaklık, K
U	İç enerji, kJ
ẋ	Kesirsel ısı salım oranı
W	Net iş, J
V	Hacim, m ³
V _c	Klerens hacmi, m ³
α	Güç düzeltme faktörü
β	Özgül yakıt sarfiyatı düzeltme faktörü

ε	Sıkıştırma oranı
ω	Açısal hız [rad/s]
ϕ	Eşdeğerlik oranı
θ	Krank açısı, derece
ψ	Bozunumdaki yüzdesel pay
γ	Krank yarıçapı biyel oranı
τ	Zaman, s
η_m	Mekanik verim

Alt İndis

a	Hava
b	Yanmış bölge
bb	Dolgu kaçağı
cyl	Silindir
dif	Difüzyonlu yanma fazı
ds	Deniz suyu
f	Yakıt
id	Tutuşma gecikmesi
o	Ortam
pre	Ön karışımli yanma fazı
ref	Referans
t	Toplam yanmış ve yanmamış bölge
u	Yanmamış bölge
w	Silindir cidarı

KISALTMA LİSTESİ

AÖN	Alt Ölü Nokta
CSO	Continuous Service Output
DWT	Dead Weight Tonnage
ECP	Equilibrium Combustion Products
EEDI	Energy Efficiency Design Index
EEOI	Energy Efficiency Operational Indicator
FARG	Fuel Air Residual Gas
GRT	Gross Register Tonnage
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HFO	Heavy Fuel Oil
IFO	Intermediate Fuel Oil
IMO	International Maritime Organization
ISO	International Organization for Standardization
ISM	International Safety Management
KMA	Krank Mili Açısı
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MCO	Maximum Continuous Output
M/E	Main Engine
MEPC	Marine Environment Protection Committee
MRV	Monitoring, Reporting and Verification
M/V	Motor Vessel
NPV	Net Present Value
ÖYS	Özgöl Yakıt Sarfıyatı
PM	Partikül Madde
SEEMP	Ship Energy Efficiency Management Plan
USD	United States Dollar
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
VOC	Volatile Organic Compounds

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Performans izleme ve değerlendirme sisteminin aşamaları	11
Şekil 2. 2 Performans kaybının işletme süresine göre değişimi	12
Şekil 2. 3 Yakıt basıncı ve iğne kalkma miktarının kem mili açısına göre değişimi.....	13
Şekil 2. 4 Grafikselsel analiz yöntemindeki eğriler	16
Şekil 2. 5 Ekonomik bozunumun değerlendirilmesi	19
Şekil 3. 1 Yanmanın safhaları.....	21
Şekil 3. 2 İki bölgele yanma modeline göre enerji akışı	26
Şekil 4. 1 M/V İnce İnebolu gemisi	34
Şekil 4. 2 Littlefuse motor performans ölçüm cihazı ve kalibrasyon belgesi	36
Şekil 4. 3 Performans (güç ve yakıt sarfiyatı) verilerinin alınması.....	37
Şekil 4. 4 Engineeye PC arayüzü	38
Şekil 4. 5 Yakıt akış ölçer doğruluk eğrisi.....	39
Şekil 4. 6 Performans izleme ve değerlendirme arasındaki farklar.....	40
Şekil 4. 7 Performans değerlendirme eğrileri	42
Şekil 5. 1 Performans değerlendirme sisteminin şematik şekli	46
Şekil 5. 2 Seyir tecrübesi güç ve ÖYS değerleri matematik modelin doğrulanması....	47
Şekil 5. 3 Seyir tecrübesi basınç değerleri için matematik modelin doğrulanması.....	48
Şekil 5. 4 Ölçüm değerleri için matematik modelin doğrulanması (No: 1-2 Silindir) ..	48
Şekil 5. 5 Ölçüm değerleri için matematik modelin doğrulanması (No: 3-4 Silindir) ..	49
Şekil 5. 6 Ölçüm değerleri için matematik modelin doğrulanması (No: 5-6 Silindir) ..	49
Şekil 5. 7 Hava giriş sıcaklığı değişiminin motor gücüne etkisi.....	50
Şekil 5. 8 Hava giriş sıcaklığı değişiminin ÖYS'ye etkisi	51
Şekil 5. 9 Hava giriş basıncı değişiminin motor gücüne etkisi	51
Şekil 5. 10 Hava giriş basıncı değişiminin ÖYS'ye etkisi	52
Şekil 5. 11 Avans değişiminin motor gücüne etkisi	52
Şekil 5. 12 Avans değişiminin ÖYS'ye etkisi.....	53
Şekil 5. 13 Sıkıştırma basıncı değişiminin motor gücüne etkisi.....	53
Şekil 5. 14 Sıkıştırma basıncı değişiminin ÖYS'ye etkisi	54
Şekil 5. 15 Püskürtme basıncı değişiminin motor gücüne etkisi	54
Şekil 5. 16 Püskürtme basıncı değişiminin ÖYS'ye etkisi.....	55
Şekil 5. 17 Ortam sıcaklığının güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri.....	56
Şekil 5. 18 Ortam basıncının güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri	57
Şekil 5. 19 Deniz suyu sıcaklığının güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri.....	57
Şekil 5. 20 Alt ısı değerinin güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri.....	58

Şekil 5. 21	M/V İnce İnebolu gemisi ana makine güç bozunum değerleri.....	60
Şekil 5. 22	M/V İnce İnebolu gemisi ana makine ÖYS bozunum değerleri	60
Şekil 5. 23	No:1-2 silindir içi basınç bozunum değerleri	61
Şekil 5. 24	No:3-4 silindir içi basınç bozunum değerleri	61
Şekil 5. 25	No:5-6 silindir içi basınç bozunum değerleri	62
Şekil 5. 26	Ham Petrol, IFO180 ve IFO380 yakıt fiyatlarındaki son 10 yıllık değerler ...	63
Şekil 5. 27	Ocak 2014-Mayıs 2016 tarih aralığındaki IFO 180 ve IFO380 fiyatları	64
Şekil 5. 28	Farklı sıcaklık değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri ..	65
Şekil 5. 29	Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri .	65
Şekil 5. 30	Hava giriş sıcaklığının 5 °C artışı için bozunum ve masraf karşılaştırılması .	66
Şekil 5. 31	Ölçülen hava giriş sıcaklığı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması...	67
Şekil 5. 32	Farklı basınç değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri ...	68
Şekil 5. 33	Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri .	68
Şekil 5. 34	Hava giriş basıncının 0,1 Bar azalması için bozunum ve masrafların karşılaştırılması	69
Şekil 5. 35	Ölçülen hava giriş basıncı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması	70
Şekil 5. 36	Farklı avans değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri	71
Şekil 5. 37	Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri .	71
Şekil 5. 38	Avansın 1 °KMA değişimi için bozunum ve masrafların karşılaştırılması	72
Şekil 5. 39	Ölçülen avans değeri için bozunum ve masrafların karşılaştırılması	73
Şekil 5. 40	Farklı sıkıştırma basınç değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri	74
Şekil 5. 41	Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri .	74
Şekil 5. 42	Sıkıştırma basıncının 1 Bar azalmasına göre bozunum ve masrafların karşılaştırılması	75
Şekil 5. 43	Ölçülen sıkıştırma basıncı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması	76
Şekil 5. 44	Farklı püskürtme basınç değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri	77
Şekil 5. 45	Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri .	77
Şekil 5. 46	Püskürtme basıncının 1 Bar azalmasına göre bozunum ve masrafların karşılaştırılması	78
Şekil 5. 47	Ölçülen püskürtme basınçları için bozunum ve masraf karşılaştırılması	79
Şekil 5. 48	M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı CO ₂ emisyon artışı	82
Şekil 5. 49	M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı NO _x emisyon artışı	83
Şekil 5. 50	M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı SO _x emisyon artışı	84
Şekil 5. 51	M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı PM emisyon artışı	85
Şekil 5. 52	M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı VOC emisyon artışı	86

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4. 1	M/V İnce İnebolu gemisinin özellikleri..... 35
Çizelge 4. 2	M/V İnce İnebolu gemisi ana makine (M/E) özellikleri..... 35
Çizelge 5. 1	M/V İnce İnebolu gemisi ana makine ayrıştırılmış bozunum değerleri ... 62
Çizelge 5. 2	Hava giriş sıcaklığı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri Ve maliyetleri 66
Çizelge 5. 3	Hava giriş basıncı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri 69
Çizelge 5. 4	Yakıt pompa avans değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri 72
Çizelge 5. 5	Sıkıştırma basıncı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri 75
Çizelge 5. 6	Püskürtme basıncı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri 78
Çizelge 5. 7	Emisyon faktörleri 80
Çizelge 5. 8	M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı CO ₂ emisyon artış değerleri 81
Çizelge 5. 9	M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı NO _x emisyon artış değerleri..... 82
Çizelge 5. 10	M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı SO _x emisyon artış değerleri 83
Çizelge 5. 11	M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı PM emisyon artış değerleri 84
Çizelge 5. 12	M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı VOC emisyon artış değerleri 86

**İKİ STROKLU GEMİ DİZEL MOTORLARINDA PERFORMANS İZLEME VE
DEĞERLENDİRME UYGULAMASI**

Görkem KÖKKÜLÜNK

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

2 Mart 2012 tarihinde MEPC 63. komitesinde enerji verimliliği ölçütlerinin uygulanması için 400 GRT ve üzeri tüm gemilerde düşük karbon salımı ve gemilerin verimli işletilmesi amacıyla Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı'nın (SEEMP - Ship Energy Efficiency Management Plan) hazırlanması zorunlu hale gelmiştir. MEPC.1/Circ.684 yönergesine göre ise gemilerin verimli işletilmelerinin izlenmesi amacıyla Gemi Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi'nin (EEOI - Energy Efficiency Operational Indicator) hesaplanması önerilmiştir. Ayrıca, Avrupa Parlamentosu tarafından Avrupa limanlarına gelen 5000 GRT ve üzeri gemiler için 1 Ocak 2018 tarihi itibarı ile zorunlu hale gelecek olan gemi kaynaklı CO₂ emisyonları için yakıt sarfiyatını izleme, raporlama ve doğrulama (MRV: Monitoring, Reporting and Verification) yönetmeliği 1 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO - International Maritime Organization) ve Avrupa Parlamentosu tarafından oluşturulan yukarıda bahsedilen yönergeler kapsamında gemilerde Enerji Verimliliği Operasyon İndeks hesabının yapılabilmesi için gemi üzerinden bir veri aktarma sistemi aracılığıyla veri akışının sağlandığı ve başta verimlilik olmak üzere performansa etki eden parametrelerdeki değişime bağlı olarak performansta meydana gelen kaybın (bozunumun) izlenmesine imkân sağlayan bir izleme ve değerlendirme sisteminin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Alınan verileri derleyerek gemi dizel motorlarında performans izleme ve değerlendirme

yapabilecek bir sistemin geliştirilmesi durumunda, hem gemilerin uzaktan (Şirket Teknik Yönetimi) takip edilmesi hem de oluşması muhtemel arıza ve performans kayıpları önceden tespit edilerek önleyici tedbirlerin alınması mümkün olabilecektir.

Uluslararası ölçekte bir değerlendirme yapıldığında, gemilerde kullanılan izleme ve değerlendirme sistemlerinin daha çok geminin pervane, borda, gemi hızı optimizasyonu gibi alanlarla ilgili olduğu görülmektedir. Özel olarak gemi ana makinesi ve sistemleriyle ilgili bir “Performans İzleme ve Değerlendirme Sistemi” nin eksik ya da yetersiz olduğu anlaşılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, iki stroklu gemi ana makinesi performansının değerlendirilmesi ve bozunumların hesabı için iki bölgeyi bir matematik model kullanılmıştır. Matematik model, M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden alınan verilerle doğrulanmıştır. Belirli ortam sıcaklık ve basıncı ile deniz suyu sıcaklığına göre ölçülen indike güç ve özgül yakıt sarfiyat (ÖYS) değerleri, ISO 3046 standartlarında belirtilen çevre şartlarına göre düzeltilmiştir. Ayrıca, ölçüm esnasında makinede kullanılan yakıt ısı değeri fabrika testlerinde kullanılan yakıttan farklı olduğu için üretici firmanın vermiş olduğu ısı değeri düzeltme faktörüne göre de düzeltilmiştir. Güç ve ÖYS değerleri için grafiksel analiz yöntemi (curve based method) kullanılarak toplam bozunum değerleri hesaplanmıştır. Matematik model yardımıyla (model tabanlı analiz yöntemi) hesaplanan toplam bozunumlar; hava giriş sıcaklığı, hava giriş basıncı, püskürtme basıncı, yakıt pompa avansı, sıkıştırma basıncı gibi işletme ve tasarım parametrelerinden kaynaklı bozunumlar ile yıpranma, yaşlanma gibi zamana bağlı olarak meydana gelen diğer bozunumlar olmak üzere ayrıştırılmıştır.

Ayrıştırılan bozunumlar için işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler, bakım-onarımla yapılabilecek iyileştirmeler, rehabilitasyonla (yenileme) giderilebilecek iyileştirmeler ve yıpranma, yaşlanma gibi geri kazanılması daha zor olan bozunumları analiz edecek kapsamlı bir performans değerlendirme yapılmıştır. Daha sonra ayrıştırılan her bir bozunum için yakın ve uzun vadedeki maliyet boyutlarını dikkate alan ekonomik bozunum modeli geliştirilmiştir. Kullanılan modelle iyileştirici tedbirlerin ekonomik analizleri yapılarak bu tedbirlerin alınması için optimum zaman diliminin belirlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca ayrıştırılan her bir parametre için zaman, yakıt fiyatı ve faiz oranı da dikkate alınarak net bugünkü değer yöntemi kullanılarak bozunumun ekonomik boyutu incelenmiştir. Son olarak, bozunumlar sonucunda manevra ve seyir esnasında zamana bağlı olarak çevreye salınan CO₂, NO_x, SO_x, PM ve VOC emisyonlarında meydana gelen değişimler hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi, Dizel Motor, Performans, Değerlendirme, Bozunum, Gemilerde Enerji Verimliliği

**APPLICATION OF PERFORMANCE MONITORING AND EVALUATION FOR
TWO STROKE MARINE DIESEL ENGINES**

Görkem KÖKKÜLÜNK

Department of Naval Architecture & Marine Engineering

PhD. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Hasan Hüseyin ERDEM

Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP) which was entering into force on 2 March 2012 so as to application of energy efficiency measures, became obligatory for all ships of 400 GRT and above due to lower carbon emissions and energy efficient ship management. According to MEPC.1/Circ.684, Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) was suggested on the purpose of monitoring the efficient ship management. Moreover, European Union will apply MRV (Monitoring, Reporting and Verification) of fuel consumption to ships above 5000 gross tonnage in respect of CO₂ emissions released during their voyages from or to European Ports which was entering into force on 1 July 2015.

There is a performance measurement and evaluation system requirement in order to investigate the parameters and interactions affecting energy efficiency and performance degradation of the system with respect to data transfer system to calculate the EEOI within the scope of IMO and EU regulations. In the case of developing a system that investigates the Marine Diesel Engine Performance Monitoring and Evaluation, both Shipping Company Technical Departments could monitor and determine the faults or malfunctions and performance degradation and also preventive maintenance could be taken beforehand.

As in the international status, this kind of systems have included the ship propeller, ship speed optimization etc. It can be said that investigating or developing the system under a special topic as ships main engines and their systems is inadequate and insufficient.

In this study, the performance measurements were taken from the ship named M/V İnce İnebolu and the mathematical model was done for the main engine as two stroke marine diesel engine. The model was verified with the data of measurements. Afterwards, measuring data were corrected to ambient conditions ISO 3046 (ambient temperature, ambient pressure and sea water temperature) and lower heating value. The total degradation of power and specific fuel consumption values were calculated by using curve based method. The total degradations were separated as scavenge temperature, scavenge pressure, injection pressure, injection timing, compression pressure and others such as wearing and aging by means of mathematical model (model based performance analysis).

The comprehensive evaluation was done for the separated degradations as improvements corrected during operations, improvements with maintenance and repair, improvements that can be corrected with rehabilitation and degradations of difficult to recycling as wear, tear and aging. Afterwards the economic analysis were done with respect to the above mentioned improvements and optimum time for near and future maintenance or repair have been determined. Moreover, Net Present Value method was used for all the parameters considering fuel prices, escalation and rate of interest. Lastly, time dependent greenhouse gas emissions (CO₂, NO_x, SO_x, PM and VOC) according to maneuvering and sailing situations were calculated.

Keywords: Ship, Diesel Engine, Performance, Evaluation, Degradation, Ship Energy Efficiency

1.1 Literatür Özeti

1973 tarihinde Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) alt komitesi olarak kurulan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC), gemilerden kaynaklanan deniz kirliliğinin önlenmesine yönelik faaliyetleri yürütmektedir. 6-10 Ekim 2008 tarihlerinde yapılan 58. oturumda, gemi kaynaklı sera gazlarının azaltılması ile ilgili enerji ölçütlerinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır. Bu ölçütlerle ilgili olarak da; yeni gemiler için enerji verimliliği dizayn indeksi (EEDI), mevcut gemiler için enerji verimliliği operasyon indeksi (EEOI) ve hem yeni inşa hem de mevcut gemiler için enerji verimliliği yönetim planı önerilerinde bulunulmuştur [1].

17 Ağustos 2009 tarihinde yayınlanan MEPC.1/Circ.684 sirkülerinde ise, şirketlere mevcut gemilerde, operasyonel verimliliğin ölçülmesini sağlayan bir Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi (EEOI) için hesaplama yöntemi önerilmiştir [2]. EEOI, işletmecilere geminin işletilmesi esnasındaki yakıt verimliliğini ölçme ve operasyonlar esnasında yakıt tüketimine etki eden faktörleri önceden tespit ederek önlem alınmasına imkân sağlamaktadır.

2 Mart 2012 tarihinde MEPC 63. komitesinde enerji verimliliği ölçütlerinin uygulanması için gemilerde enerji verimliliği yönetim planı (SEEMP) yönergesi kabul edilmiştir [3]. SEEMP enerji verimliliğini arttırmak için şirket yönetimi tarafından hazırlanan iyileştirici tedbirleri içerir. Aynı zamanda şirket de bu planın uygulandığına dair ilgili Loyd Kuruluşu tarafından denetlenir. Kısaca SEEMP, operasyon indeksinin düşürülmesinde izlenecek yol ve yöntemleri bir plan halinde barındıran bir yönetim sistemidir.

Avrupa Parlamentosu tarafından Avrupa limanlarına gelen 5000 GRT ve üzeri gemiler için 1 Ocak 2018 tarihi itibari ile uygulanması zorunlu hale gelecek olan (2018-2019 takvim yılı için) gemi kaynaklı CO₂ emisyonları için yakıt sarfiyatını izleme, raporlama ve doğrulama (MRV - Monitoring, Reporting and Verification) yönetmeliği 1 Temmuz 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir [4]. IMO, MEPC 68. ve 69. oturumlarında gemilerde enerji verimliliğini analiz etmek için 5000 GRT ve üzeri gemilerde yakıt sarfiyatı, taşıma işi gibi verilerin toplanması gerektiğini ve bu verilerin toplanma şekillerinin SEEMP’de tarif edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ayrıca bu verilerin yıllık raporlar halinde idareye, bayrak devletine verilip oradan da IMO bünyesindeki veri tabanına kaydedilmesi gerektiğini vurgulamıştır [5,6]. Ancak IMO nezdinde henüz zorunlu hale gelmemiştir. Buradan anlaşıyor ki daha önce IMO tarafından tavsiye niteliğindeki EEOI, zorunlu hale gelecek, ileri zamanlarda bununla ilgili gemilerin emisyon değerlerini ölçme zorunluluğu getirilebilecektir.

Bu düzenlemelerin temel amacı atmosfere salınan CO₂ gazlarının azaltılmasıdır. Mevcut teknolojiler dikkate alındığında gemilerde karbon salımının azaltılması, yakıt sarfiyatının azaltılmasına bağlıdır. Bu ise gemi üzerindeki yakıt tüketen makinelerin verimli işletilmesine bağlıdır.

SEEMP’de önerilen iyileştirme yöntemleri; iyileştirilmiş sefer planlaması, hava şartlarına göre rota belirlenmesi, limana tam zamanında varma, hız optimizasyonu, optimum trim, optimum balast, pervane optimizasyonu, otopilot sistemlerinin optimum kullanımı, karina bakımı, sevk sistemi bakımı, atık ısı geri kazanımı, iyileştirilmiş filo yönetimi şeklinde belirtilmiştir [3].

Bu kapsamda oluşturulan SEEMP’nin sayısal verilere dayalı ve etkin olarak izlenmesini içeren, performans ve yakıt sarfiyatındaki değişimleri değerlendirecek etkin bir metot IMO tarafından önerilmemiş ancak iyileştirme yöntemleri konusunda yukarıdaki bahsedilen öneriler sunulmuştur.

Literatür incelendiğinde gemilerde enerji verimliliği, optimizasyon, performans izleme ve değerlendirme sistemleriyle ilgili farklı çalışmalar bulunmaktadır. Bunlar arasında; Ballou vd. rüzgâr, dalga, akıntı gibi deniz şartlarını dikkate alarak varış süresinde herhangi bir değişiklik olmayacak şekilde seyir optimizasyonu yapabilen bir bilgisayar

programı geliştirmişlerdir. Programın doğrulanmasında da bir geminin eski sefer planları ve hava şartlarına ait bilgileri kullanmışlardır [7]. Corbett vd. gemi hızını azaltmanın maliyetler ve CO₂ emisyonları açısından uygulanabilirliğini araştırmışlar ve uygulama yaptıkları konteyner filosundan atmosfere salınan CO₂ değerlerinde %20 azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir [8]. Yine Lindstad vd. ve Borkowski vd. düşük hızlarda yakıt maliyetlerinin ve emisyonların azaldığını ifade etmişlerdir [9,10]. Cariou vd. Avrupa limanlarında seyreden konteyner gemilerindeki hız değişiminin yakıt sarfiyatından doğan kârlılık ve emisyon üzerine etkilerini incelemişlerdir [11]. Smith ise yaptığı çalışmada, gemi hız optimizasyonunu navlun ve yakıt fiyatları açısından değerlendirmiş ve karbon emisyonları üzerine etkilerini araştırmıştır [12]. Chang vd. çeşitli büyüklüklerdeki dökme yük gemilerinin hızını %10, %20, %30 oranlarında azaltmışlar ve sonuç olarak yakıt sarfiyatının ve CO₂ emisyonunun sırasıyla %27,1, %48,8, %60,3 ve %19, %36, %51 oranlarında azaldığını tespit etmişlerdir [13]. Norlund vd. Norveç karasularındaki ikmal gemilerinin hızlarının düşmesi sonucu CO₂ emisyonlarındaki azalmayı incelemişlerdir [14]. Chang ve Wang yaptıkları çalışmada, optimum gemi hızının gemi kira bedeline ve yakıt fiyatlarına bağlı dinamik bir süreç olduğundan bahsetmişlerdir [15]. Woo vd. yaptıkları çalışmalarında yavaş seyir yapan geminin (slow steaming) yakıt sarfiyatı ve CO₂ emisyonlarına etkisini yeni bir indeks (CEEI - maliyet enerji verimliliği indikatörü) tanımlayarak incelemişlerdir [16]. Andersson vd. Ro-Ro taşımacılığında hız ve rota optimizasyonunu birlikte değerlendirmişlerdir [17]. Fagerhalt vd. belirlenen rotalar üzerinde gemi hız optimizasyonunun yakıt sarfiyatı ve emisyonlara etkilerini en kısa yol yöntemi ve doğrusal olmayan program çözücü ile çözümleyerek karşılaştırmışlardır [18]. Corbett vd. yaptığı çalışmada karina yüzey floropolimer kaplama teknolojilerinin sera gazı salımının azaltılmasına etkilerini araştırmışlar ve çalışma sonucunda araştırma yaptıkları tanker gemisinde yakıt sarfiyatında %10, dökme yük gemisinde %22 oranlarında azalma meydana geldiğini ve konteyner gemisinde de herhangi bir değişiklik olmadığını tespit etmişlerdir [19]. Boulougouris vd. enerji verimliliği yönünden gemi dizayn optimizasyonu yapan bir bilgisayar yazılımı geliştirmişlerdir [20]. Lindstad vd. gemi genişliği, uzunluğu, karina inceliği ve baş tarafın uzunluğu parametrelerini optimize ederek panamaks özelliklere sahip yeni bir dökme yük gemisi

dizaynı geliştirmişlerdir. Sonuç olarak; emisyonların %15-25 oranlarına düştüğünü tespit etmişlerdir [21]. Munk ve Kane farklı zamanlarda yaptıkları çalışmalarında gemi karina ve pervane dizaynlarının performans ve dolayısıyla CO₂ emisyonu üzerine etkilerini incelemiştir [22,23]. Evensen gemilerde enerji verimliliğı ile ilgili yaptığı çalışmasında karina boyalarının gemi hızında %1,5 oranında artış meydana getirdiğinden bahsetmiştir [24]. Du vd. rıhtım yerleşiminin, geminin yanarşma ve ayrılma manevraları da düşünölerek, yakıt sarfiyatı ve emisyonlara etkilerini araştırmışlardır [25]. Mewis vd. pervanelerde yaptıkları revizyonlarla enerji tüketiminde %2 ile %5 arasında azalma sağlamışlardır [26]. Qi ve Song geminin sefer planının optimize edilmesi sonucunun yakıt sarfiyatı üzerine etkilerini incelemişlerdir [27]. Ballou yayınladığı makalesinde gemilerde enerji verimliliğinin arttırılmasına yönelik çalışmalardan bahsetmiş ve değerdendirmenin tek bir gemi ile değıl tüm filo için yapılması gerekliliğini vurgulamıştır [28]. Burel vd. gemilerde sevk sistemi olarak sıvılaştırılmış doğıal gaz (LNG) kullanılması durumunda operasyonel maliyetler ve emisyonlardaki değışimi incelemiş ve sonuç olarak 33000 DWT'lik tanker gemisinde yaptıkları çalışmada maliyetlerde %35, emisyonlarda %25 azalma olduğunu hesaplamışlardır [29]. Johnson vd. SEEMP ile ISO 50001 ve ISM (International Safety Management) kodu kıyaslamışlar ve ISO 50001'de mevcut olan performans izleme ve enerji denetimi süreçlerinin daha ayrıntılı bir şekilde verildiğinden bahsetmişlerdir [30]. Xing vd. Çin'in Yangtze nehrinde seyreden konteyner gemileri ile uzakyol deniz seyri yapan gemilerin enerji verimliliklerini incelemişlerdir [31]. Tzannatos vd. Yunanistan iç sularında seyreden yolcu gemilerini, enerji harcamı ve karbon emisyonları yönünden incelemişlerdir [32]. Lun vd. yeşil gemi ve performans arasındaki görecelikten bahsettikleri makalelerinde bu ilişkinin firma performansına etkilerini incelemişlerdir [33]. Beşikçi vd. yaptıkları çalışmada gemi hızı, makine devir sayısı, draft, trim, yük miktarı, rüzgâr ve diğıer deniz şartlarını yapay sinir ağıları modelinde girdi olarak kullanarak yakıt sarfiyatını tahmin etmişler ve enerji verimliliğı yönünden etkilerini araştırmışlardır [34]. Svoldal vd. çalışmalarında, hidrodinamik önlemler kapsamında trim, hız optimizasyonu ve pervane ile ilgili hesaplamalı akışkanlar dinamiğı (HAD) çözümlemesi kullanarak yakıt ve maliyet analizleri yapmışlardır [35]. Witt makine dairesinde kullanılan fanların enerji verimli motor ve fanlarla değışmesi durumundaki

potansiyel maliyet kazanımı üzerine etkilerini incelemiştir [36]. Bellusci yaptığı çalışmada tekne formu ve pervane optimizasyonu uygulamaları sonucunda CO₂ emisyonlarında %15 ila %22 oranında azalma meydana geldiğini hesaplamıştır [37]. Bazari vd. farklı tonajlardaki gemiler için enerji ve CO₂ yoğunlukları ile yakıt sarfiyat indekslerini belirleyerek gemiler için farklı bir enerji performans değerlendirme sistemi önermiştir [38]. Zhao vd. hidrodinamik model yardımıyla bir konteyner gemisinin sevk sistem verimliliği ve emisyonlar üzerine etkilerini araştırmışlardır [39]. Engelhardt ise yaptığı çalışmada gemi adamlarının eğitiminin öneminden bahsetmiştir ve belirli aralıklarla basit ve kolay anlaşılır talimatlar gönderilmesi ve performanslarını artırıcı uygulamaların yapılması gerektiğinden bahsetmiştir [40].

Enerji verimliliği açısından tekne formu, hız ve trim optimizasyonu, pervane modifikasyonu, optimum rota ve hava şartlarına göre sefer planının hazırlanmasının yanında gemi makine dairesinde enerji tüketen ekipmanların verimliliklerinin artırılması da büyük önem taşımaktadır. Bu ekipmanlar arasında en fazla yakıt tüketen, gemi sevk sistemi olarak kullanılan ana makinedir. Ana makinenin işletme ve tasarım parametrelerindeki değişimlerinde enerji verimliliği açısından incelenmesi gerekir. Gemi ana makinesiyle ilgili olarak Kowalski yaptığı çalışmada yakıt pompası arızasının ana makine yanma karakteristiği ve emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir [41]. Kowalski bir diğer çalışmada geliştirdiği çok boyutlu bir diagnostik sistem yardımıyla ana makine silindiri, turbo doldurucusu ve yakıt sisteminde meydana gelen arızaları incelemiştir [42]. Sigurdsson vd. en verimli süpürme noktasını tespit etmek ve ısı transferini en aza indirmek için iki stroklu gemi ana makinesinin süpürme zamanını ve taşınım ile meydana gelen ısı transfer süreçlerini nümerik olarak incelemişlerdir [43]. Scappin vd. sıfır boyutlu iki bölgeli yanma modeli kullanarak gemi ana makinesinin enerji performansı ve NO_x emisyonlarını incelemiştir [44]. Baldi vd. yanma modeli kullanarak dört stroklu gemi ana makinesinin farklı devirlerde davranışlarını inceleyerek yakıt sarfiyatı açısından en verimli işletim noktasını tespit etmeye çalışmıştır [45]. Murphy vd. termodinamik simülasyon kullanarak gemi ana makinesinin tüm yük ve devirlerdeki performans şartlarını incelemişlerdir [46]. Guan vd. bir konteyner gemisinde turbo doldurucunun devreden çıkması durumunda iki stroklu bir gemi dizel motorunun yıllık yakıt sarfiyatında meydana gelen değişimleri sıfır bölgeli bir

yanma modeli yardımıyla incelemiştir [47]. Basurko vd. orta devirli gemi dizel motorunun türbin ve hava soğutucusunun kirlenmesi gibi arıza durumlarını tespit etmek ve yakıt sarfiyatındaki kötüleşmeyi hesaplamak için performans tabanlı bir bakım modeli geliştirmişlerdir [48]. Hountalas MAN-6S70MC gemi dizel motoru için geliştirdiği matematik model ile pompa avansı, püskürtme basıncı, sıkıştırma basıncı, hava soğutucusunun kirlenmesi gibi arızaların motor performansı üzerine etkilerini araştırmıştır [49]. Lamaris vd. yaptıkları çalışmalarında gemi sevk sistemi ve elektrik üretim sisteminde kullanılan dizel motorlar için matematik model geliştirmişlerdir [50]. Medica vd. geliştirdikleri simülasyon modeli ile turbo doldurucu arızası olan bir gemi dizel motorunun performansını incelemiştir [51]. Hountalas vd. ağır devirli bir dizel motorun yakıt püskürtme basıncı, pompa avansı ve sıkıştırma basıncı gibi parametrelerini ölçerek oluşturdukları simülasyon modelinde arızaları giderecek çözüm önerileri sunmuşlardır [52]. Benvenuto vd. geliştirdikleri iki bölgeli yanma modeli ile bir gemi dizel motorunun sabit tork, sabit hız ve sabit yakıt pompası indeks değerlerinde çeşitli arızalar yaratarak motor performansını analiz etmişlerdir [53]. Girtler gemi dizel motoruyla yaptığı çalışmada, farklı seyir şartlarında performansı değerlendirmiştir [54–56]. Gohary vd. yaptıkları çalışmada farklı tipteki gemi dizel motorlarının performans karşılaştırmalarını yapmışlardır [57]. Borkowski vd. yaptıkları çalışmada fabrika test ile seyir tecrübesi değerlerini karşılaştırmışlardır [58]. Jung vd. gemi dizel motorunda turbo doldurucu türbin tarafı kirlenmesi, silindir gömlek aşınması ve kötü püskürtmenin performans kaybına etkilerini araştırmışlardır [59]. Giorgio vd. gemi dizel motorunun silindir gömleğinde meydana gelen bozunumun bakım maliyetlerini incelemiştir [60].

Gemilerde enerji verimliliği ile ilgili yapılan diğer çalışmalar ise atık ısının değerlendirilmesi ile ilgilidir [61,62]. Shu vd. gemilerde kullanılan iki stroklu içten yanmalı motorlarda atık ısının geri kazanımı ile ilgili literatürde yapılan çalışmaları incelemiştir [63]. Choi ve Kim 68.520 kW'lık güce sahip olan bir ana makinenin kullanılabilecek atık ısısının 2.069,8 kW olduğunu hesaplamışlardır. Bu atık ısının değerlendirmesi amacı ile de bir sistem tasarımı gerçekleştirmişlerdir [64]. Baldi vd. gemilerde ekserji analizi ile atık ısının kullanılabilirliği ile ilgili kimyasal tanker gemisinde uygulama çalışması yapmışlardır. Egzoz gazı, soğutma suyu, ara soğutucu ve diğer ısı

değiştiricilerin atık ısıları ile şaft jeneratörünün kullanıldığı bir atık ısı geri kazanım sistemini 0,5 ile 1,8 milyon USD yatırım maliyeti ve 5 yıl geri ödeme süresi ile kurulabileceği ve sonucunda yakıt sarfiyatında %4 ile %16 arasında iyileşme meydana geleceğini hesaplamışlardır [65]. Ma vd. 10000 TEU'luk bir konteyner gemisinin ana makine egzoz atık ısı geri kazanım sistemini incelemişler ve sistemin atık ısı geri kazanım miktarını 5066 kW olarak hesaplamışlardır [66]. Liang vd. tasarladıkları sistemde ana makine atık ısısından faydalanarak Rankine çevrimini kullanarak elektrik üretmişler ve yine Rankine çevrimine entegre absorpsiyonlu soğutma sistemi tasarlamışlardır [67].

Son olarak; IMO MEPC MARPOL Ek VI düzenlemeleri gereğine uygun, enerji verimliliği ile ilgili parametreleri değerlendirebilen ticari yazılım ve sistemlerin geliştirilmeye başlandığı görülmektedir. KYMA firmasının (Norveç) geliştirmiş olduğu "Ship Performance" isimli yazılım ile günlük yakıt sarfiyatı raporu hazırlama, EEOI değerlerini hesaplama ve trim optimizasyonu yapılabilmekte ve elde edilen değerler şirket ofisine gönderilebilmektedir [68]. ABB isimli firmanın (Finlandiya) "Energy Management System for Marine Applications (EMMA)" yazılımında ise optimum performans, tekne ve pervane kondüsyonu, atık ısı geri kazanım sistemi ve trim optimizasyonu yapılabilmektedir [69]. Class NK (Japon Loydu) ve NAPA Green isimli firmanın ortak yürüttüğü "Benefits of Dynamic Performance Model-New Paradigm for Energy Efficient Ship Operations" projesinde geliştirilen yazılım ile hız ve trim optimizasyonu, verilerin çevrimiçi görüntülenmesi, hava koşullarına göre rota optimizasyonu ve bunlara bağlı yakıt sarfiyatı değeri hesaplanabilmektedir [70]. MAERSK (Danimarka) isimli firmanın "Performance Monitoring in Practice" projesinde geliştirilen yazılım ise sefer planlaması, optimum trim, tekne ve pervane performansı görüntüleme, ana ve yardımcı makinelerin verimleri ve buna bağlı yakıt sarfiyatı ve silindir yağı harcamı görüntüleme işlemlerini içermektedir [71]. Kongsberg (Norveç) isimli firmanın "Vessel Performance Optimizer: Cost Efficient Vessel Operation" projesinde geliştirilen yazılımda motor performans verilerinin izlenmesi (yakıt püskürtme sistemi, silindir ve piston davranışları, valfler, turbo doldurucu), sefer süresi ve uzunluğu, toplam yakıt sarfiyatı ve tekne verimi bilgileri mevcuttur [72].

1.2 Tezin Amacı

IMO MEPC oturumlarında alınan kararlar kapsamında sera gazlarının azaltılması yönünde öneriler sunulmaktadır. Bu öneriler doğrultusunda da gemilere, enerji verimliliği yönetim planı uygulama zorunluluğu getirilmiştir. Bu amaçla, gemi dizel motorlarının yüksek yakıt sarfiyatları ve dolayısıyla yüksek emisyonlar nedeniyle performanslarının izlenmesi ve değerlendirilmesi yapılarak, meydana gelen güç ve yakıt sarfiyatı bozunumlarının muhtemel sebeplerinin tespit edilebilmesi gerekmektedir. Benzer bir şekilde Avrupa Parlamentosu tarafından Avrupa limanlarına gelen 5000 GRT ve üzeri gemiler için gemi kaynaklı CO₂ emisyonları için yakıt sarfiyatını izleme, raporlama ve doğrulama (MRV: Monitoring, Reporting and Verification) yönetmeliği 1 Ocak 2018 tarihi itibari ile uygulanması zorunlu hale gelecektir.

Literatürde, yapılan çalışmaların; çevresel faktörler, gemi form değişimi, trim ve hız optimizasyonu ile yakıt sarfiyatı ve emisyonlardaki değişimlerin izlenmesine yönelik olduğu görülmektedir. Performans ile ilgili yapılan çalışmalarda ise sadece performans izlemeye yönelik çalışmaların ve ticari ürünlerin olduğu görülmektedir. Buna karşılık performans izleme, bozunumları tespit edebilecek performans değerlendirmesinin yapılması ve bu bozunumların geri kazanılabilmesi ile ilgili yapılacak işlemlerin ekonomik analizini birlikte gerçekleştiren bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, literatürdeki performans izleme yöntemlerinden farklı olarak, performans verilerini değerlendirecek ve zamana bağlı olarak gemi sevk sistemindeki performans bozunumlarını tespit edecek bir değerlendirme sistemi üzerinde çalışılmış ve M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesi için uygulama çalışması yapılmıştır. Performans değerlendirmesi için grafiksel analiz yöntemi ve model tabanlı analiz yöntemi kullanılmıştır. Grafiksel analiz yönteminde, bozunumlar işletme ve çevresel şartlardan arındırılarak (ISO 3046:2002 [73]) toplam bozunumlar hesaplanmıştır. Matematik model yardımıyla (model tabanlı analiz yöntemi) işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler, bakım-onarımla yapılabilecek iyileştirmeler, rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler ve yıpranma, yaşlanma gibi geri kazanılması daha zor olan bozunumlar olarak ayrıştırılmıştır. Bu tez kapsamında geliştirilen ekonomik model ile performans bozunumlarının geri kazanılabilecek olan

kısımları tespit edilip iyileştirici tedbirlerin ekonomik analizleri yapılarak bu tedbirlerin alınması için optimum zaman diliminin belirlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca ayrıştırılan her bir parametrenin zaman, yakıt fiyatı ve faiz oranı da dikkate alınarak net bugünkü değer yöntemi kullanılarak ekonomik bozunuma etkileri incelenmiştir. Son olarak ise toplam bozunum ve ayrıştırılan bozunumlar sonucunda manevra ve seyir esnasında zamana bağlı salınan CO₂, NO_x, SO_x, PM ve VOC emisyonlarında meydana gelen değişimler hesaplanmıştır.

1.3 Hipotez

“Performans İzleme”; sistemin performans olarak tanımlanan büyüklüklerinin (silindir içi basınç, soğutma suyu ve yağlama yağı basınç ve sıcaklığı, tork, güç, yakıt sarfiyatı vb.) mevcut çalışan sistemdeki ölçümler ile sürekli olarak izlenmesidir. “Performans Değerlendirme” ise işletme ve çevre parametrelerinin etkisinden arındırılmış performanstaki zamana bağlı azalmayı ve bu azalmayı oluşturan sistem elemanlarının payının ne kadar olduğunu gösteren bir yol ve yöntemdir. Gemi dizel motorlarında genellikle sadece performans izleme yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında kullanılan ve M/V İnce İnebolu gemisine uygulaması yapılan grafiksel analiz yöntemi ve model tabanlı analiz yöntemi (matematik model) ile diğer tüm gemi dizel motorlarında meydana gelen toplam performans (güç ve özgül yakıt sarfiyatı) bozunumlar hesaplanabilecektir. Ayrıca bozunumlar matematik model sayesinde ayrıştırılacaktır. Ayrıştırılan her bir parametrenin ekonomik bozunuma etkileri hesaplanıp gerekli tedbirlerin alınması için optimum zaman diliminin belirlenmesi sağlanabilecektir. Bu sayede gemi işletmecileri, teknik müdürler ve operatörler bakım-tutum zamanlarını optimize etmiş olacaklardır.

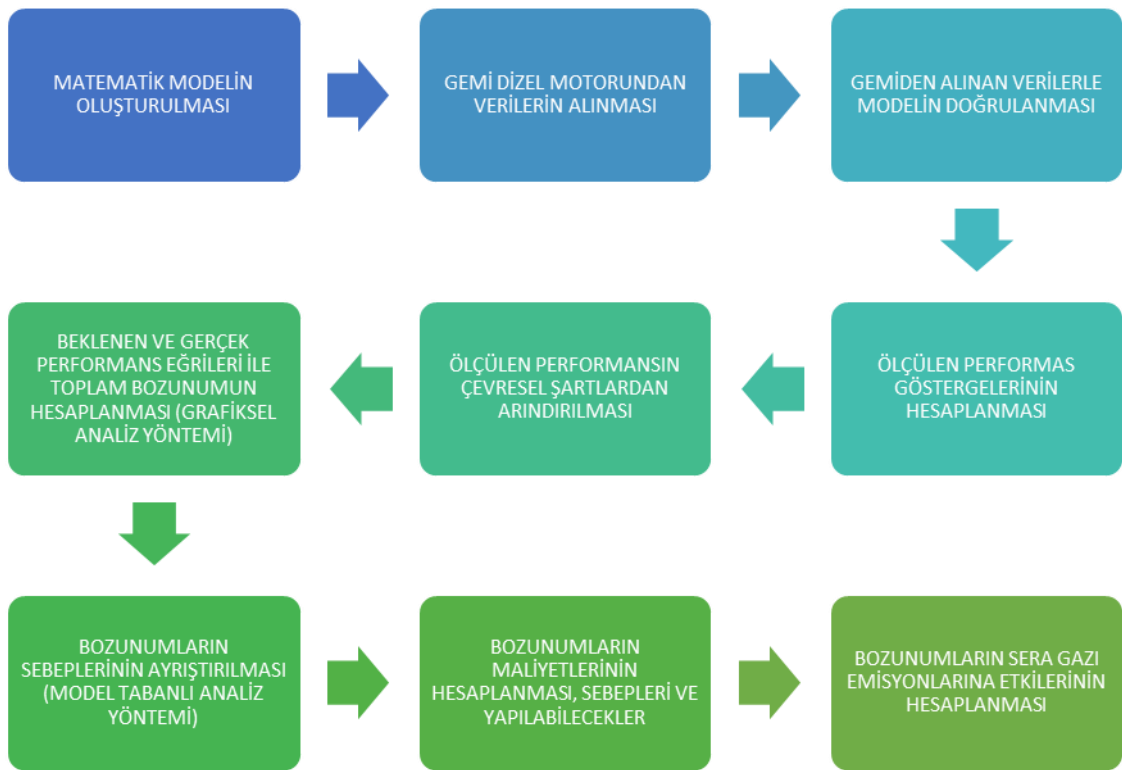
GEMİ DİZEL MOTORLARINDA PERFORMANS İZLEME VE DEĞERLENDİRME

Dizel motorların performans göstergeleri güç üretimi ve özgül yakıt sarfiyatı (ÖYS)'dir. Çalışması esnasında dizel motorların performansını etkileyen parametrelerin dizayn şartlarından uzaklaşması, güç ve yakıt sarfiyatını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, gemilerde pervanenin tahrikinde kullanılan ana makinenin performansının izlenmesi ve değerlendirilmesi hem işletme ekonomisi hem de bakım ve onarım planlaması açısından büyük önem taşımaktadır [74].

Bir sistemin performansı göz önüne alındığında genellikle "Performans İzleme" ve "Performans Değerlendirme" kavramları birbiriyle karıştırılmaktadır [75]. Bilindiği gibi Performans İzleme, sistemin performans olarak tanımlanan büyüklüklerinin (güç üretimi ve özgül yakıt tüketimi) ve buna etki eden parametrelerin (silindir içi basınç, soğutma suyu ve yağlama yağı basınç ve sıcaklığı, tork, güç, yakıt sarfiyatı vb.) mevcut çalışan sistemdeki ölçümler ile sürekli veya belirli aralıklarla izlenmesidir. Performans Değerlendirme ise performanstaki zamana bağlı azalmayı ve bu azalmaya sistem elemanlarının (çevresel faktörler, turbo doldurucu, yakıt pompası, enjektör, ara soğutucu vb.) etkisinin ne kadar olduğunu gösteren bir yöntemdir. Performans değerlendirme sisteminin amacı, sistemin bozunumunu (performanstaki azalma) ölçmek, sorunların çözümünü önceden değerlendirmek, performansı arttırmak ve sistemin bakım-tutum planını daha ekonomik çerçevede düzenlemektir. Başarılı bir performans değerlendirme sistemi, işletmeciye çevre ve işletme şartlarının dışındaki sistemin performansının ne kadar değiştiğini ve bu değişimin ne kadarının hangi donanımdan kaynaklandığını göstermektedir. Böylelikle performans kayıplarının

nereden kaynaklandığını ve bunun işletme maliyetlerine etkisini tahmin etmek mümkün olabilecektir [75].

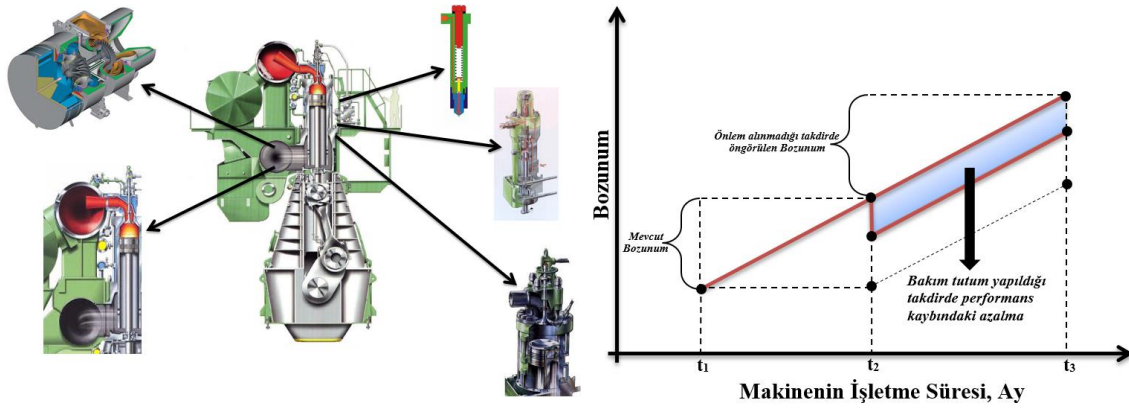
Başarılı bir Performans İzleme ve Değerlendirme sisteminde sahadan veri alınması, verilerin doğrulanması, gerçek şartlardaki veriler için performans tahmininin yapılması ve bozunumun belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla hazırlanmış Performans İzleme ve Değerlendirme Sisteminin aşamaları Şekil 2.1’de verilmiştir. Performans İzleme ve Değerlendirmesi şeklindeki algoritmaya göre yapılmıştır.



Şekil 2. 1 Performans izleme ve değerlendirme sisteminin aşamaları

Performans İzleme ve Performans Değerlendirme kavramları arasındaki diğer bir temel fark ise performans izlemede veri aktarma süre ve sıklığı önemliyken; performans değerlendirmede performans kaybı zamana bağlı olarak gerçekleştiği için motordaki performans kaybının belirli aralıklarla hesaplanması yeterli olmaktadır. Performans kaybıyla birlikte kaybın ekonomik boyutu da hesaplanabilmekte, bakım-tutum prosedürleriyle bu kaybın ne kadarının giderilebileceği, planlı bakım prosedürleri uygulanmadığı takdirde oluşabilecek performans kaybının ve ekonomik boyutun ne olacağı öngörülebilmektedir. Şekil 2.2’de bir dizel motorun performans kaybının belirli işletme süresi boyunca değişimi görülmektedir. Şekil incelendiğinde t_1 - t_2 periyodu

arasında meydana gelen performans kaybı, performansa etki eden ekipmanlarda iyileştirmeler ve planlı bakım ile t_2 - t_3 arasında azalabilirken (mavi alan); bu bakım ve değişimler zamanında gerçekleştirilmediği takdirde performans kaybındaki artışın çok daha fazla olduğu görülmektedir [74].

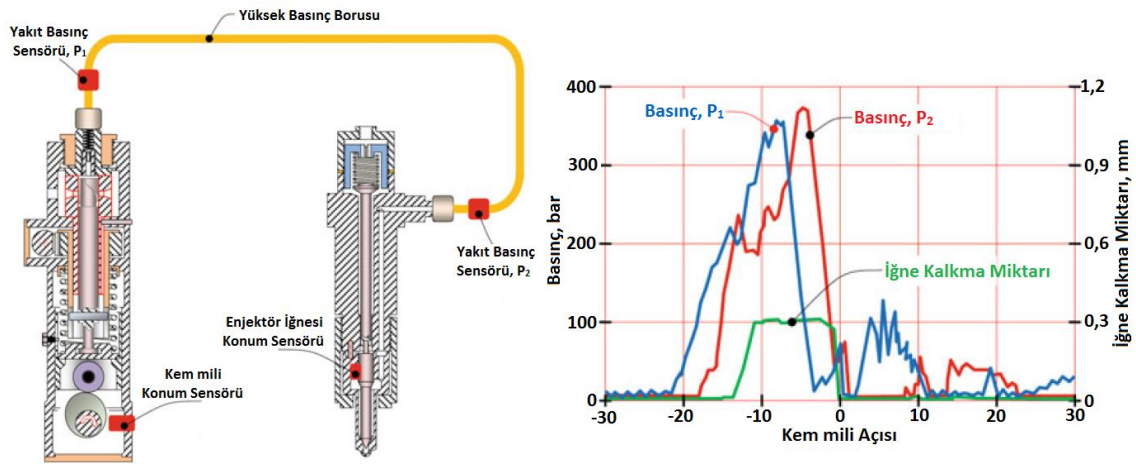


Şekil 2. 2 Performans kaybının işletme süresine göre değişimi[74]

Güç ve verim dolayısıyla ÖYS performans değerlendirilmesinde iki önemli ölçüttür. Performans parametrelerindeki bozunum değerlerinin belirlenebilmesi için referans değerlere ihtiyaç vardır. Gerçek performans değerleri ile referans değerler arasındaki fark o anki bozunumu verir. Temel olarak performans değerlendirmesi, mevcut ölçüm değerleriyle gemi dizel motorunun “Seyir Tecrübesi” veya “Fabrika Test” değerlerinin karşılaştırılmasıyla bulunabilir. Ancak referans olarak herhangi bir tarihteki performans değeri de alınarak bu tarihten sonraki bozunumlar elde edilebilir. Bu açıdan referans tarihi test değerleri seçilebileceği gibi, bakım ve tutumun yapıldığı herhangi bir tarih olarak da belirlenebilir.

Performans kaybının doğru hesaplanabilmesi; ölçmenin sürekliliğine, ölçüm yapılan cihazların doğruluğuna ve analiz kapasitesinin yüksekliğine bağlıdır. Mevcut gemilerde, motor performansını izlemek amacıyla çoğunlukla; yakıt indeksi, kompresyon basıncı, maksimum basınç ve egzoz sıcaklığı gibi verilerin ölçülmesi yeterli görülmektedir. Bu değerler ile ancak kısmi bir değerlendirme yapmak mümkündür. Ayrıca performanstaki farklılaşmanın nedenlerini ayırtılabilmek mümkün değildir. Oysa yukarıda ölçülen değerlere ilave olarak motor performansına ve yakıt sarfiyatına doğrudan etki eden yakıt püskürtme basınç değeri, pompa avansı, maksimum basıncın meydana geldiği açının ölçülmesi de çok önemlidir. Şekil 2.3'te bir yüksek basınç pompasının

püskürtmeye başladığı krank açısıyla iğnenin açılmaya başladığı açı görülmektedir. Şekil incelendiğinde pompa çıkış basıncı, enjektör yay basıncı ve yakıt özelliklerinin iğnenin kalkma ve kapanma zamanını etkilediği görülmektedir. Pompa statik avansı ile iğnenin kalkma zamanı (dinamik avans) arasında yaklaşık 10 °KMA (Krank Mili Açısı)'lık bir gecikme meydana gelmektedir. Bu durum yakıt özellikleri değiştiğinde, farklı enjektör yayı kullanıldığında ve farklı enjektör açma ayarları yapıldığında optimum performans için avans isteğinin değişeceğini göstermektedir [74,76].



Şekil 2. 3 Yakıt basıncı ve iğne kalkma miktarının kem mili açısına göre değişimi [74,76]

2.1 Performans Değerlendirme Metotları

Performans izleme ve değerlendirme sistemlerinde temel olarak iki metot kullanılmaktadır. Bu metotlardan birincisi; grafiksel analiz yöntemi (curve based method) diğeri ise model tabanlı performans analiz (model based performance analysis) yöntemidir [75].

Grafiksel analiz yönteminde güç ve ÖYS değerlerindeki değişiklikleri görmek için işletme şartlarındaki değişimi dikkate alarak performans verileri belirli bir zaman aralığında toplanır. Daha sonra bu performans verileri ortam sıcaklığı, basıncı, nemi, deniz suyu sıcaklığı ve yakıt özellikleri gibi operatör tarafından değiştirilemeyen parametrelerden ayrıştırılır. Son olarak da her bir motor ekipmanı ve tasarım parametrelerindeki değişimlerin zamana bağlı olarak neden oldukları toplam performans kaybıyla da “Bozunum” elde edilmiş olur [75].

Model tabanlı performans analiz yönteminde; üretici firma tarafından her bir parametre için fiziksel tabanlı matematik modeller kullanılarak düzeltme eğrileri elde edilir. Ayrıca, oluşturulan matematiksel modellerin, ekipmanların ölçüm verileriyle doğrulanması gerekir. Matematiksel tabanlı fiziksel modeller, bilgisayar kod sistemine dönüştürülmüştür. Giriş parametresi olarak işletme parametrelerini kullanıp her bir işletme parametresinin farklı değerleri için güç ve verim gibi çıkış parametreleri elde edilmektedir. Elde edilen veriler işletmeciyeye performans değerlendirmesi amacıyla verilmektedir. Bu yöntemde de model tabanlı performans analiz yöntemi (model based performance analysis) denir [75]. Fakat gemiler için bu tür bir fiziksel tabanlı matematik model, üretici firma tarafından çoğunlukla verilmemektedir. Bu sebepten dolayı, tez çalışmasında M/V İnce İnebolu gemisinin sevk sistemine ait (ana makine) iki stroklu dizel motorun modellenmesi yapılmıştır. Daha sonra model hem test esnasında alınan verilerle hem de seyir tecrübesinde alınan verilerle doğrulandıktan sonra güç ve ÖYS'yi etkileyen parametreler için performans eğrileri çizilmiştir.

Gemilerde fabrika ve seyir testleri esnasında gemi dizel motorlarında performansa etki eden parametrelerdeki değişimlerin güç ve özgül yakıt sarfiyatına (ÖYS) etkileri üretici firma tarafından kapsamlı olarak verilmemektedir. Örneğin motor performans ölçümü tasarım esnasında belirli olduğundan ölçümler tek bir avans değerine göre yapılmaktadır. Oysa işletme şartlarında avans değişiminin güç ve yakıt sarfiyatındaki değişimine etkisini belirlemek oldukça zor olduğundan avans değişimlerinin etkileri matematik model üzerinden hesaplanması gerçek şartlardaki etkiyi görebilmek açısından faydalıdır. Bu tez çalışmasında, bozunumların ayrıştırılması veya sınıflandırılmasında sıfır boyutlu iki bölgeli yanma modeli kullanılmıştır.

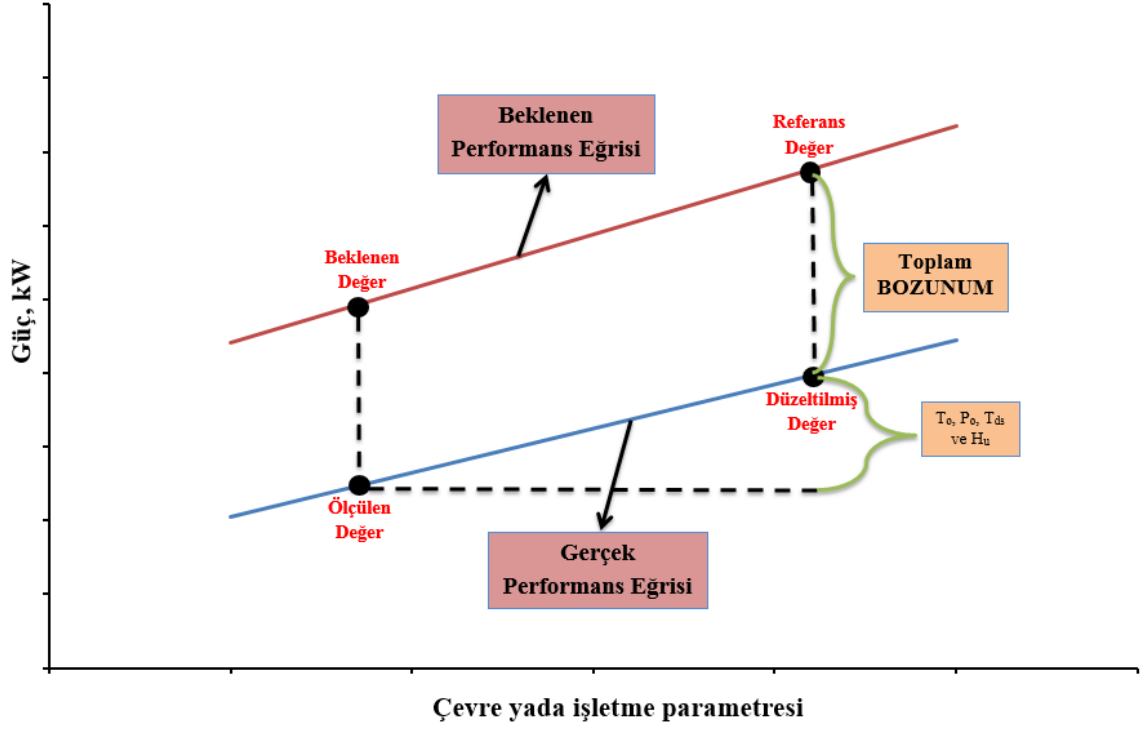
Bu tez çalışmasında, hem grafiksel analiz yöntemi, hem de model tabanlı performans analiz yöntemi kullanılarak performans değerlendirmesi yapılmıştır. Güç ve özgül yakıt sarfiyatındaki toplam bozunumlar grafiksel analiz yöntemiyle hesaplanmıştır. Elde edilen toplam bozunumların ayrıştırılması veya sınıflandırılmasında ise matematik model kurularak model tabanlı yaklaşım kullanılmıştır.

2.1.1 Grafiksel Analiz Yöntemi (Curve Based Method)

Yeni tasarlanmış bir ekipmanda (motor, pompa, kompresör, türbin vb.) performans değeri tasarım noktası için belirlenir ve bu değer referans değeridir (Şekil 2.4). Ancak bu değer sadece işletme ve çevre şartlarının tasarım değerlerinde olması durumunda görülür. Yeni bir makinede çevre hava sıcaklığı ve basıncı, soğutma suyu sıcaklığı gibi çevre şartlarına bağlı olan parametreler gerçek işletme şartlarında işletmecinin kontrolü dışındadır. İşletmenin yapıldığı lokasyon, mevsim, gün içindeki çalışma saati gibi parametrelere bağlı olarak çevre şartları değişkendir ve özellikle motorlar gibi çevre havasını iş akışkanı olarak kullanan ekipmanlarda performansın referans değerden farklılaşmasına neden olur. Benzer şekilde yeni bir motorun kapasitesinin değiştirilmesi, devir sayısının düşürülmesi gibi işletme şartlarının isteğe bağlı olarak değiştirilmesi ile de performans değerleri referans değere göre değişir. Bu nedenle, yeni ekipmandaki herhangi bir çevre ve işletme parametresine bağlı olarak performans değişimini gösteren eğri “Beklenen Performans Eğrisi” olarak adlandırılır (Şekil 2.4). Bu eğriler diğer parametreler sabit iken bir parametre değiştirilerek çizilir. Yeni ekipmanda işletme ve çevre şartlarının tasarım değerine gelmesi ile performans değerleri de yeniden referans değere geleceğinden şartların değişmesi ile oluşan performans farklılaşması ekipman açısından bir kayıp değildir. Ancak belirli bir süre işletilen ekipmanda yaşlanma, yıpranma, aşınma gibi sebepler ile performans kaybı oluşur. Bu kayıp, işletme çevre şartları tasarım değerine gelse bile performansın referans değere gelmemesi ile ölçülür ve bozunum olarak adlandırılır. Bozunum ancak bakım, rehabilitasyon ya da parça değişimi ile geri kazanılabilir. Yeni olmayan bir ekipmanda performans ayrıca yukarıda açıklandığı üzere yeni bir ekipmanda olduğu gibi işletme ve çevre şartları ile de değişir. Bu değişim, “Gerçek Performans Eğrisi” ile gösterilir. (Şekil 2.4).

Örneğin bir dizel motorun dizayn değeri 6000 kW olsun ve performans izleme sisteminde ölçülen veya hesaplanan değer sıcak bir makine dairesi için 5500 kW olsun. Fakat ekipmanın hala 6000 kW güç üretebileceği unutulmamalıdır. Buradaki ana etken dış ortam sıcaklığıdır. Bozunum ise ekipman performansındaki mekanik problemlerden (aşınma, kirlenme gibi) kaynaklanan güçteki azalma olarak tarif edilebilir. Örneğin işletmeci bir dizel motorda NO_x emisyonunu azaltmak için çıkan egzoz gazlarını tekrar

yanma odasına gönderirse (EGR), motorun verimi azalır. Fakat motorun kapasitesi (maksimum verimi) değişmemiştir. Bu nedenle, burada herhangi bir bozunum olmamaktadır yani ekonomik optimizasyon veya emisyonlardaki yasal zorunluluklardan dolayı yapılmaktadır [75].



Şekil 2. 4 Grafikselsel analiz yöntemindeki eğriler [75]

Bu tez çalışmasında, grafikselsel analiz yöntemi kullanılarak, “Beklenen Performans Eğrisi” ile “Gerçek Performans Eğrisi” karşılaştırılmış ve M/V İnce İnebolu gemisinin tahrik sistemi olarak kullanılan dizel motorun toplam performans (Güç ve Özgöl Yakıt Sarfiyatı) bozunumları hesaplanmıştır.

Bozunumların indirgenmesi hesaplanırken hem güç hem de özgöl yakıt sarfiyatı için kullanılan formül aşağıdaki gibidir [75];

$$Performans_{referans} = Performans_{beklenen} \left[\prod_{\text{Çarpın Faktörü}} (P_{ortam}, T_{ortam}, T_{deniz\ suyu}, H_u) \right] \quad (2.1)$$

$$Performans_{düzeltilmiş} = Performans_{ölçülen} \left[\prod_{\text{Çarpın Faktörü}} (P_{ortam}, T_{ortam}, T_{deniz\ suyu}, H_u) \right] \quad (2.2)$$

$$\text{Toplam Bozunum} = \text{Performans}_{\text{referans}} - \text{Performans}_{\text{düzeltilmiş}} \quad (2.3)$$

Burada, “Güç ve ÖYS Düzeltme Faktörleri” operatör/mühendis tarafından kontrol edilemeyen parametreler olan ortam sıcaklığı, ortam basıncı ile deniz suyu sıcaklığı (ISO 3046-1:2002 standardı değerleri) ve yakıtın alt ısı değer düzeltmeleri kullanılarak hesaplanır.

2.1.2 Model Tabanlı Analiz Yöntemi (Model Based Performance Analysis)

Model tabanlı performans analiz yönteminde üretici firma tarafından her bir performans parametresi için fiziksel tabanlı matematik modeller kullanılarak düzeltme eğrileri elde edilir ve çıktılar gerçek verilerle doğrulanır. Giriş parametresi olarak işletme parametrelerini kullanıp her bir işletme parametresinin farklı değerleri için güç ve verim gibi çıkış parametreleri elde edilmektedir. Elde edilen veriler işletmeciye performans değerlendirmesi amacıyla verilmektedir [75].

Bu tez çalışmasında M/V İnce İnebolu gemisinin sevk sistemine ait (ana makine) iki stroklu dizel motorun modellemesi yapılmıştır. Daha sonra, model, hem test esnasında alınan verilerle hem de seyir tecrübesinde alınan verilerle doğrulandıktan sonra güç ve ÖYS’yi etkileyen parametreler için performans eğrileri çizilmiştir. Ayrıca matematik model bozunumların ayrıştırılması amacıyla kullanılmıştır. Giriş hava sıcaklığı, giriş hava basıncı, pompa avansı, enjektör püskürtme basıncı ve sıkıştırma basıncı parametrelerindeki değişimin toplam bozunumdaki payları hesaplanmıştır.

“Performans Farklılaşması” bozunum olarak kabul edilen ve edilmeyen faktörler olarak ayrıştırılmıştır. Bozunum da kendi arasında işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler, bakım ve onarımla yapılabilecek iyileştirmeler, rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler ve yıpranma, yaşlanma gibi geri kazanılması daha zor olan bozunumlar olarak ayrıştırılmıştır [77]. Performans farklılaşması;

a) İşletme ve Çevre Şartlarındaki Değişim

b) Yıpranma, yaşlanma, mekaniksel problemler, kirlenme vb. sebeplere bağlı performans kayıpları

I. İşletmede iken giderilebilecekler

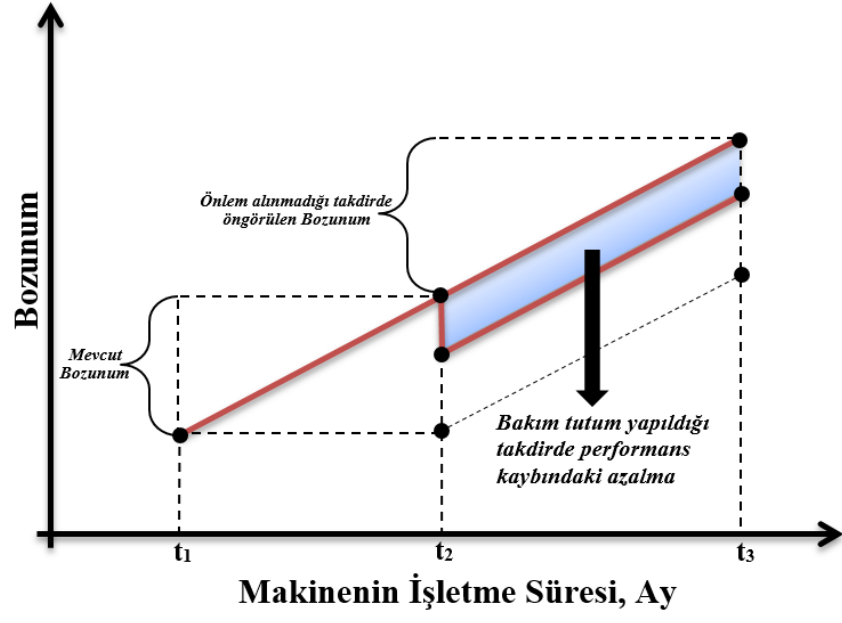
II.Küçük bakım ve onarımla giderilebilecekler

III.Rehabilitasyonla giderilebilecekler şeklinde ayrıştırılmıştır.

2.2 Bozunumların ve Maliyetlerin Hesaplanması

Gemi tahrik sisteminin performansının mevcut durumunu değerlendirebilmek için, mevcut performans değerlerinin beklenen performans değerleri ile karşılaştırılması gerekir. Şekil 2.5'te; t_1 ve t_2 zaman dilimi içerisinde "Beklenen Performans Eğrisi" ile "Gerçek Performans Eğrisi" kullanılarak toplam bozunum hesaplanmaktadır. "Beklenen Performans Eğrisi" üzerindeki "Beklenen Değer" noktası Fabrika Test şartlarındaki performans (Güç veya ÖYS) değerini göstermektedir. "Referans Değer" ise ISO 3046 (Ortam Sıcaklığı, Ortam Basıncı ve Deniz Suyu Sıcaklığı) ve kullanılan yakıt şartlarına göre düzeltilmiş güç değerini göstermektedir. Referans değer ile beklenen değer arasındaki fark çevre şartları ile ilgili olduğundan bozunum olarak değerlendirilmemektedir.

"Gerçek Performans Eğrisi"nde de "Beklenen Performans Eğrisi"nde olduğu gibi iki nokta bulunmaktadır. "Ölçülen Değer" noktası gemi sevk sisteminin işletme şartlarında ölçülen performansını (güç ve yakıt sarfiyatı) göstermektedir. "Düzeltilmiş Değer" ise işletme şartlarının ISO 3046 ve kullanılan yakıtın özelliklerine göre indirgenmesi ile bulunan performans değeridir. İki eğrinin referans noktalarında ölçülen performansları arasındaki fark t_1 ve t_2 zaman dilimi içerisindeki toplam bozunumu vermektedir. Bozunumların bir kısmı geri kazanabilir niteliktedir. Gerekli iyileştirmeler yapılmadığı takdirde performanstaki bozunum t_2 ve t_3 zaman dilimi içerisinde üst çizgiyi takip ederken, gerekli iyileştirme yapıldığı takdirde bozunum alt çizgiyi takip edecektir. t_2 ve t_3 zaman dilimi içerisindeki mavi alan geri kazanılabilecek bozunumu göstermektedir. Bu tez çalışmasında; mavi alan ile gösterilen kazanımlar için yapılacak iyileştirmelerin (örneğin enjektör meme değişimi, segman değişimi gibi) maliyet analizi yapılmıştır. İyileştirmeler için kullanılacak olan parçaların optimum değişim zamanları bu analizler doğrultusunda hesaplanmıştır.



Şekil 2. 5 Ekonomik bozunumun değerlendirilmesi

MATEMATİK MODEL

3.1 Dizel Motorlarda Yanma

Dizel motorlarda yanma, fiziksel ve kimyasal süreçlerden oluşan karmaşık, modellenmesi zor bir süreçtir. Fiziksel süreçler enerji ve kütle transferi ile kimyasal süreçler de yakıt ile hava arasında gerçekleşen moleküler etkileşim ile ilgilidir [78]. Bu etkileşimler dışında yanma üzerinde, yanma odası tasarımı, yakıt püskürtme sistemi ve motorun çalışma şartları gibi faktörler de oldukça etkilidir. Dizel motorlarda yanma verimini etkileyen bir diğer olay ise yakıtın tamamının yanmasıdır. Bunun için de yeterli miktarda oksijene, dolayısıyla havaya ihtiyaç vardır.

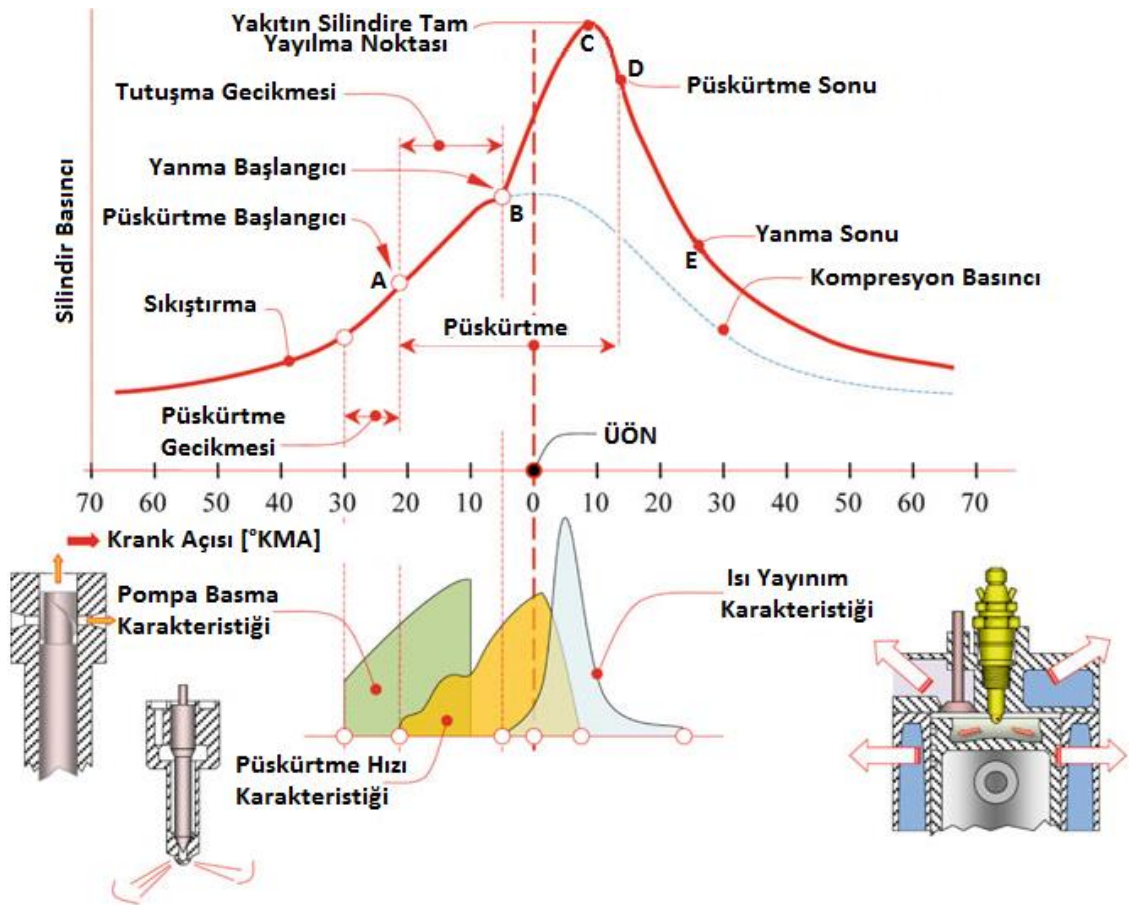
Dizel motorlarda karışım, doğrudan doğruya silindir içinde oluştuğundan, hava ile yakıtın karışması tamamlanmadan yanma olayı başlar. Bu durum ise egzoz gazları içerisinde yanmamış gazların bulunmasına neden olur. Bundan dolayı yakıtın tamamen yanabilmesi için silindire, teorik olarak yetecek havadan daha fazla hava gönderilir. Sonuç olarak, yanma odasında yanmanın tamamlaması için yeterli oksijen olmalı ve tüm karbon atomları CO_2 'ye, tüm hidrojen atomları da H_2O 'ya dönüşmelidir. Yanmanın gerçekleşmesi için gerekli zaman sınırlı olduğu için, yeterli havanın kısa süre içerisinde sağlanması gerekir. Bunun için de skavenç sisteminin, turbo doldurucu ve hava filtrelerinin düzenli bakımlarının yapılması hayati önem taşır.

Yakıt, enjektör vasıtasıyla yanma odasına yüksek basınç altında püskürtüldüğü anda sürtünmenin de etkisiyle yakıt demeti küçük parçalara ayrılmaya başlar. Sıvı fazdaki yakıt damlacıkları sıkıştırma sonucu sıcaklığı yükselen sıcak havanın etkisiyle ısıyı absorbe ederek buharlaşır. Çevresinden aldığı ısı etkisiyle damlacık çevresindeki sıcaklık

bir miktar düşer. Bu sıcaklık düşme süresi oldukça kısadır ve çevresini saran sıcak havanın etkisiyle tekrar yükselir. Yanma odasındaki türbülans yakıt jetini parçalayarak yakıt partikülleri haline getirir ve yakıt demetindeki yanma küçük parçacıkların olduğu bölgelerde başlar. Böylelikle, yeterli sıcaklık ve basıncın olduğu bölgelerde yanma başlamış olur. Kısaca dizel motorlarda yanma, yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ve yakıtın buharlaşması ile başlar ve yanmanın gerçekleşmesi sonucunda da işin oluşması ile sonlanır.

Dizel motorlarda yanma genel itibariyle dört safhada incelenir;

- Tutuşma gecikmesi
- Kontrolsüz yanma
- Difüzyon kontrollü yanma
- Art yanma



Şekil 3. 1 Yanmanın safhaları [76]

Yakıtın yanma odası içerisine püskürtüldüğü anda yanma gerçekleşmez. Yakıtın enjektör vasıtasıyla ilk püskürtüldüğü anda sürtünmenin ve sıkıştırmayla birlikte artan sıcaklığın da etkisiyle yakıt demetleri parçalanmaya başlar. Yakıtın ilk damlasının sıcak hava ile teması ve yanmanın meydana geldiği zaman arasında belirli bir süre geçmektedir. Bu süreye “Tutuşma Gecikmesi” periyodu adı verilir (Şekil 3.1 A-B noktaları arası). Bu periyot, silindir içerisindeki sıkıştırılmış havayla püskürtülen yakıtın iyice karışması ve buharlaşması için hazırlık safhasıdır. Yakıt demetinin parçalanması, damlacık oluşumu, yakıtın çevresinden ısı çekerek buharlaşması ve buharlaşan yakıtın hava ile karışarak yanmaya hazır hale gelmesi süreci fiziksel gecikme olarak adlandırılır. Ağır hidrokarbon içeren yakıtın daha hafif elementlere bölünmesi ve bu elementlerin oksijenle kimyasal tepkimelere girmesi süreci de kimyasal gecikme olarak adlandırılır. Tutuşma gecikmesi periyotunda basınç ani bir şekilde yükselir ve vuruntuya neden olur. Bu periyottaki süre gemi dizel motorlarının ilk çalışması öncesinde ön ısıtma yapılarak azaltılır. Yine bu periyot yakıt cinsine, giriş hava sıcaklığı ve basıncına, yakıt damlacıklarının büyüklüğüne, yakıt püskürtme basınç ve sıcaklığına ve hava fazlalık katsayısına bağlıdır.

Tutuşma gecikmesi periyodundan sonra yanmanın oluşup basıncın ani bir şekilde yükselmeye başlayıp maksimum basıncın olduğu ana kadar geçen süreye de “KontROLSÜZ veya Hızlı Yanma” periyodu denir (Şekil 3.1 B-C noktaları arası). Basıncın ani olarak artmasıyla alev hızlı bir şekilde yayılır ve tutuşma gecikme süresince biriken yakıtın miktarı da basıncın artma hızını doğrudan etkiler. KontROLSÜZ yanma periyodu yanmanın karakteristiğini gösterir. Bu periyotta üretilen ısı miktarının artması, yanmanın iyi olduğunun göstergesidir. Ayrıca maksimum basınç da bu periyotta olduğundan, oluşan enerji azalırsa motor tarafından üretilen güç de azalır.

KontROLSÜZ yanma periyodunda maksimuma ulaşan basınç ve dolayısıyla artan sıcaklığın da etkisiyle püskürtülmeye devam eden yakıt yeterli oksijeni bulur bulmaz silindir içerisinde yer alan alev nedeniyle hızla yanar. Bu periyotta yanma püskürtülen yakıtın miktarı ile kontrol edilir. Bu nedenle bu periyota “Difüzyon Kontrollü Yanma” periyodu adı verilir (Şekil 3.1 C-D noktaları arası). Bu periyotta çevrimin maksimum sıcaklığına ulaşılır.

Yakıtın püskürtülme işlemi kontrollü yanma periyodunda sona erer fakat yakıt yanmaya devam eder. Yani yanma odasında kalmış yanmamış veya kısmi şekilde yanmış yakıt oksijenle temas ettiği anda yanmaya devam eder. İşte bu safhaya da “Art Yanma” periyodu denir (Şekil 3.1 D-E noktaları arası). Art yanma safhası yanma odasındaki sıcaklığın maksimuma ulaşmasıyla başlar, genişleme stroku boyunca devam eder ve egzoz sürecine geçilmeden sona erer.

3.2 Yanma Modelleri

Akışkan dinamiği modeline göre yanma modelleri sıfır boyutlu, üç boyutlu ve çok boyutlu olmak üzere üç kısımda incelenirler. Sıfır boyutlu modelde, süreklilik ve enerji denklemleri kullanılarak termodinamik hal büyüklükleri hesaplanmaktadır. Ayrıca, yanma sırasında açığa çıkan enerji hesaplamaya katılırken gereken yanma süresi sabit kabul edilir ve yanma odasındaki gaz karışımı homojen bölgelere ayrılmaktadır. Yanma bölgeleri bağımsız ve ideal olarak kabul edilmektedir. İçerisindeki kütle, basınç, sıcaklık ve konsantrasyon değerleri belirlenmektedir. Yanma, ampirik yaklaşımlarla (kosinüs, gama, wiebe bağıntıları) modele katılmaktadır [79,80].

Üç boyutlu modeller, türbülans çözümlemelerini içeren Navier Stokes denklemlerinin zamana bağlı ve üç boyutlu sayısal olarak çözüldüğü modellerdir. Yine aynı şekilde Reynolds ortalama Navier Stokes modeli ile ampirik bağıntıları kullanan HAD yaklaşımında; türbülans, yanma ve iki fazlı akım alt modelleri kullanılmaktadır.

Çok boyutlu modellerde ise kütle, hacim, enerji ve moment denklemlerinin sayısal çözümlemesini içermektedir. Modeller yanmanın hesaplanmasında kullanılan fiziksel ve kimyasal tepkime kinetiğine dayalı alt modellerin sanki boyutlu modelden farklı olarak hal değişkenlerinin ilgili alan için çözümlemesini içermektedir. Ampirik bağıntıları kullanan çok bölgeli modellerde ise, fiziksel açıdan belirleyici olan türbülans, yakıt demeti ve karışım oluşumu ve yanma proseslerinden yararlanılmaktadır. Ampirik ifadelerden yararlanılmakta, ancak kalibrasyon amacıyla az miktarda kullanılmaktadır [80].

Yanma, bölgeler açısından değerlendirildiğinde ise dizel motorlarda yanma tek bölgeli, iki bölgeli ve çok bölgeli yanma modelleri ile çözümlenmektedir.

Tek bölgeli yanma modelinde yanma tüm safhalarında homojen olarak tasarlanmakta ve iş akışkanının uniform olduğu kabul edilmektedir. Homojen karışımın özgül ısı, sıcaklık ve yakıt/hava eşdeğerlik oranının fonksiyonu alınarak hesaplanmaktadır. Bu yanma modeli kullanılarak hesaplanan simülasyonlarda çevrim verimi ve motor gücü doğru sonuç vermekte fakat yanma süresinde krank açısına bağlı silindir içi basınçlar yanmanın homojen olarak hesaplanmasından ötürü farklılık göstermektedir [80,81]. Kısaca tek bölgeli modelde, silindir içerisindeki karışımın her an homojen olduğu ve her noktadaki termodinamik özelliklerin aynı; hava, yakıt ve artık gaz ideal karışım ve yanma odasından gaz kaçağının sabit bir hızla olduğu varsayılmaktadır [80]. Bu model daha çok buji ateşlemeli motor yanmasına uygundur.

İki bölgeli yanma modelinde yanma, yanmış gaz bölgesi ve yanmamış gaz bölgesi olarak iki kısımda incelenir. Motora havanın alınıp sıkıştırılması sırasında silindir içerisinde dolgu, düzgün dağılmış durumdadır. Tutuşma sonrasında ise, yanma odasında yanma hızına bağlı olarak yanmış ve yanmamış kesimlerden oluşmaktadır.

Üç bölgeli yanma modelinde ise yanma odası yanmış gaz, yanmamış gaz ve boşluk hacmi olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Boşluk hacmi olarak tarif edilen bölge; piston, silindir cidarı ve segman arasında yer alan hacimdir. Bu bölge yanmanın dışında tutulmakta, yanma gidişi iki bölgeli yanma modeli ile hesaplanarak motor proses hesapları gerçekleştirilmektedir. Sıkıştırma sırasında, silindir içi yalnızca yanmamış gaz bölgesinden oluşmaktadır. Yanmanın başlamasıyla silindir içerisi üç bölgeye ayrılmaktadır [80]. Jensen vd. üç bölgeli yanma modelinde; her bir bölgedeki basınçlar her an eşit ve homojen, her bir bölge termodinamik ve kimyasal dengede olduğu bölgeler arasında ısı geçişi bulunmadığı, artık gaz, hava ve yakıtın ideal karışım oluşturduğu ve yanma odasından gaz kaçağı bulunmadığı varsayımlarını yapmıştır. Ayrıca, yanmış ve yanmamış gaz bölgelerini ayıran alev cephesi çok ince alındığı, dolayısıyla hacmi bulunmadığı, boşlukları terk eden gazın sıcaklığı silindir cidarı sıcaklığına eşit alındığı varsayımları yapılmıştır [82]. Silindir içerisinde gerçekleşen yanma prosesleri için Ferguson'da geçen iki bölgeli model esas alınmaktadır [79].

Bu tez çalışmasında iki bölgeli yanma modeli kullanıldığından, iki bölgeli yanma modeli Bölüm 3.2.1'de detaylandırılmıştır.

3.2.1 İki Bölge Yanma Modeli [79,80]

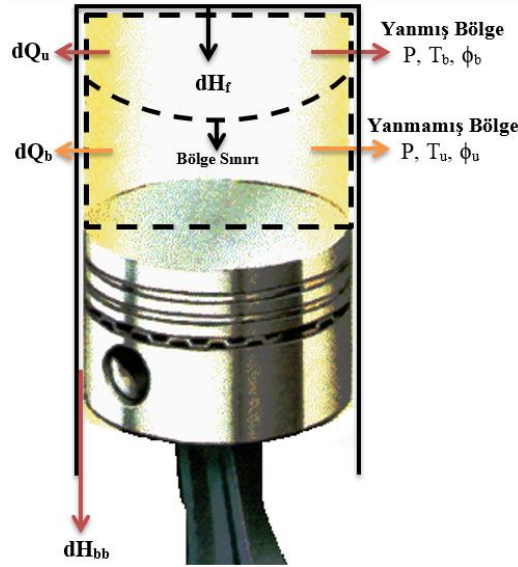
İki bölge yanma modelinde bölgeler; yanmış gaz bölgesi ve yanmamış gaz bölgesi olarak tanımlanır. Motorda havanın alınıp sıkıştırılması sırasında, silindir içerisinde dolgu düzgün dağılmış durumdadır. Tutuşma sonrasında ise, yanma odasında yanma hızına bağlı olarak yanmış ve yanmamış kesimlerden oluşmaktadır.

Ferguson tarafından geliştirilen iki bölge model, yakıt püskürtmeli duruma uygun biçime getirilerek, modelde yanmış ve yanmamış gaz bölgeleri için; bölgeler arasında ısı iletimi olmadığı, her bölgedeki karışımın termodinamik dengede olduğu; yakıt, hava ve artık gazların iyi derecede karıştığı, iş gören akışkanın ideal gaz gibi davrandığı kabul edilmektedir [79,80].

Tez kapsamında, matematik model, iki stroklu MAN B&W 6S50MC gemi dizel motorunun termodinamik analizinde kullanılmıştır. Silindir içerisinde gerçekleşen yanma karakterinin motor performansı üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Yanmanın motor prosesleri üzerindeki etkisinin pratik, ancak gerçeğe yakın biçimde modellenmesi hesaplamaların doğruluğunu arttırmaktadır. Tez kapsamında, iki stroklu dizel motor sıfır boyutlu iki bölge yanma modeli kullanılarak, simüle edilmiştir. Motor alt prosesleri, simülasyon modelini kolaylaştırmak için ampirik ifadeler ile modele dahil edilmiştir. Matematik modelde kullanılan silindir içi yanma odası Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

İki stroklu gemi dizel motorunun matematik modelinde yanma odası, yanma gidişine bağlı olarak yanmış gaz bölgesi ve yanmamış gaz bölgesi olmak üzere iki kısımdan oluşur (Şekil 3.2). Yanmış ve yanmamış gaz bölgesi, bölge sınırı ile birbirinden ayrılmaktadır. Yanmış gaz bölgesindeki basınç P , yanmış bölge sıcaklığı ve eşdeğerlik oranı T_b ve ϕ_b olarak tarif edilmiştir. Yanmamış gaz bölgesinde ise basınç P , sıcaklık T_u ve eşdeğerlik oranı ϕ_u şeklinde tarif edilmiştir. Yanmış ve yanmamış gaz bölgelerindeki ısı kayıpları sırasıyla Q_b ve Q_u şeklindedir. Modelde püskürtülen yakıt miktarı m_f , yanmamış bölgedeki hava ile tepkimeye girer ve yanmış gaz bölgesine katılır. Yanma odasına gönderilen tüm yakıt yanmaya iştirak etmez. m_{bb} kütleindeki gazların bir kısmı piston eteğinden kaçmaktadır.

Motorda yanma sürecinde; gaz karışımının homojen olduğu, kaçak gaz oranının ve artık gaz kesrinin sabit olduğu ve silindir içerisindeki karışım özelliklerinin ideal gaz gibi davrandığı kabul edilmiştir [80,83–85].



Şekil 3. 2 İki bölgeyi yanma modeline göre enerji akışı

Sıfır boyutlu iki bölgeyi yanma modeli için geçerli korunum denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

İlk olarak enerji denklemi;

$$\frac{dU}{d\theta} = \frac{dQ}{d\theta} + \frac{dW}{d\theta} + \frac{dH_f}{d\theta} - \frac{dH_{bb}}{d\theta} \quad (3.1)$$

$$\frac{d(m.u)}{d\theta} = -\left(\frac{dQ_b}{d\theta} + \frac{dQ_u}{d\theta}\right) - P \frac{dV}{d\theta} + \frac{dm_f}{d\theta} h_f - \frac{dm_{bb}}{d\theta} h_{bb} \quad (3.2)$$

Burada $dU/d\theta$ krank açısına bağlı iç enerji hızını, $dQ/d\theta$ krank açısına bağlı ısı transfer hızını, $dW/d\theta$ krank açısına bağlı iş oranını, $dH_f/d\theta$ krank açısına bağlı ısı salım hızını ve $dH_{bb}/d\theta$ krank açısına bağlı kaçak gaz entalpi hızını ifade eder.

Genişletilmiş ifadesiyle 3.1 numaralı eşitliği yazılırsa;

$$\left(m \frac{du}{d\theta} + u \frac{dm}{d\theta}\right) = -\left(\frac{dQ_b}{d\theta} + \frac{dQ_u}{d\theta}\right) - P \frac{dV}{d\theta} + \frac{dm_f}{d\theta} h_f - \frac{dm_{bb}}{d\theta} h_{bb} \quad (3.3)$$

Burada iç enerjinin krank açısına bağlı türevi aşağıdaki şekilde yazılabilir [79,80];

$$\frac{du}{d\theta} = c_p - \frac{Pv}{T} \left(\frac{\partial \ln v}{\partial \ln T} \right)_P \frac{dT}{d\theta} - v \left[\frac{\partial \ln v}{\partial \ln T} + \frac{\partial \ln v}{\partial \ln P} \right]_T \frac{dP}{d\theta} + \frac{\partial u}{\partial \phi} \frac{d\phi}{d\theta} \quad (3.4)$$

İkinci olarak, kütle korunumu yasası silindire uygulanırsa [79];

$$m = m_a + m_f \quad (3.5)$$

$$\frac{dm}{d\theta} = \frac{dm_a}{d\theta} + \frac{dm_f}{d\theta} \quad (3.6)$$

$$\frac{dm_a}{d\theta} = \frac{-\dot{m}_{bb}/\omega}{1 + \phi FA_s} = \frac{-Cm_a}{\omega} \quad (3.7)$$

$$\frac{dm_f}{d\theta} = \frac{1}{\omega} \left(\dot{m}_f - \frac{\dot{m}_{bb} \phi FA_s}{1 + \phi FA_s} \right) = \frac{\dot{m}_f - Cm_f}{\omega} \quad (3.8)$$

$$\frac{dm_{bb}}{d\theta} = \frac{-\dot{m}_{bb}}{\omega} = -\frac{Cm}{\omega} \quad (3.9)$$

Burada $dm_a/d\theta$ silindir içerisine giren havanın kütesinin krank açısına bağlı değişimini, $dm_f/d\theta$ silindir içerisine giren yakıtın krank açısına bağlı değişimini, $\dot{m}_{bb}$ silindir içerisinden kaçan kütle debisini, FA_s yakıt hava stokiyometrik oranı C ise kaçak kütle oranını göstermektedir.

Aşağıdaki bağıntılar yardımı ile açığa çıkan yakıt enerjisinin toplam yakıt enerjisine oranı bulunmaktadır. Yanma başlangıcında bu oran 0, yanma sonunda 1'e eşittir. Yanma sırasında ise, yanma gidişine göre birden küçük değerler almaktadır.

Püskürtülen yakıt miktar hızının içerisindeki ısı salım hızını gösteren denklem aşağıdaki gibidir;

$$\dot{m}_f = \dot{x} \cdot m_f \quad (3.10)$$

$$m_f = \phi FA_s (1 - f_r) m_a \quad (3.11)$$

Burada, $\dot{m}_f$ zamana bağlı silindir içerisine püskürtülen yakıt debisini, $\dot{x}$ kesirsel ısı salım oranını ve f_r de artık gaz kesrinin ikili wiebe fonksiyonundaki kullanımını göstermektedir.

Denklem 3.12’de ifade edilen konvansiyonel wiebe fonksiyonu, yanmanın gidişi değerlendirildiğinde benzinli motorlar için daha uygundur [86].

$$x = 1 - e^{-a_v \left(\frac{\theta - \theta_s}{\theta_b} \right)^{(m_v+1)}} \quad (3.12)$$

Burada, θ_b ve θ_s sırasıyla, yanma süresi ve yanmanın başlangıcını ifade eder. a_v ve m_v sırasıyla wiebe sabiti ve wiebe form parametresini ifade eder.

Dizel motorlarda ise yanma gidişine en uygun wiebe fonksiyonu ön karışım ve difüzyon yanma safhalarını içeren ikili (dual) wiebe fonksiyonudur. Silindir içindeki yanma ile açığa çıkan ısıнын toplam yakıtın ısısına oranı için ifade edilen ve ikili wiebe fonksiyonu olarak ifade edilen denklem [87];

$$x = a_v \left[Q_{pre} \left(1 - e^{-a_v \left(\frac{\theta}{\theta_{pre}} \right)^{(m_{pre}+1)}} \right) + Q_{dif} \left(1 - e^{-a_v \left(\frac{\theta}{\theta_{dif}} \right)^{(m_{dif}+1)}} \right) \right] \quad (3.13)$$

Yukarıda da bahsedildiği üzere, yanma başlamadan önce 0 ve sonrasında ise 1 değerini alır. Burada, krank açısının (θ) birimi derecedir.

3.13 denkleminin krank açısına göre türevi aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [80,87];

$$\dot{x} = a_v \left[\left(\frac{Q_{pre}}{\theta_{pre}} (m_{pre} + 1) \left(\frac{\theta}{\theta_{pre}} \right)^{m_{pre}} e^{-a_v \left(\frac{\theta}{\theta_{pre}} \right)^{(m_{pre}+1)}} \right) + \left(\frac{Q_{dif}}{\theta_{dif}} (m_{dif} + 1) \left(\frac{\theta}{\theta_{dif}} \right)^{m_{dif}} e^{-a_v \left(\frac{\theta}{\theta_{dif}} \right)^{(m_{dif}+1)}} \right) \right] \quad (3.14)$$

Burada a_v wiebe sabiti ve $m_{(pre,dif)}$ form parametresini ifade eder. Miyamoto vd. a_v sabiti için 6,9 değerini önermiştir [87].

Burada, m_{pre} ve m_{dif} sırasıyla, önkarişım ve difüzyonlu yanma aşamalarının form parametrelerini ifade etmektedir. Her motor tasarımı için m_{pre} ve m_{dif} parametreleri işletme koşullarından bağımsızdır. Önkarişımlı yanma esnasında açığa çıkan yakıtın ısı enerjisi, difüzyonlu yanma esnasında açığa çıkan yakıtın ısı enerjisinden daha azdır. Bundan dolayı, önkarişımlı aşama form parametresinin (m_{pre}) yanma hızına etkisi çok azdır. Ancak difüzyonlu yanma için form parametresinin (m_{dif}) yanma hızına etkisi önemli miktarda olmaktadır. Yanma gidişi üzerinde de önemli bir etkiye sahiptir [80].

Denklem 3.13'te ifade edilen wiebe fonksiyonu ampirik bir ifadedir. Yukarıda bahsedildiği üzere dizel motorlar için uygun olan bu ifade, önkarişimli ve difüzyonlu yanma aşamalarından meydana gelir. Bu açıdan bakıldığında dizel motorlar için daha uygundur [85].

Yukarıdaki enerji ve kütlenin korunumu denklemleri de hesaba katılarak, sıkıştırma başlangıcından egzoz başlangıcına kadar olan sürede gerçekleşen süreçlerin hesaplanmasında kullanılan diferansiyel denklem sistemi ve motor yanma prosesi boyunca krank açısına bağlı basınç değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [79,80];

$$\frac{dP}{d\theta} = \frac{A + B + C + D + E + F + G}{H + I} \quad (3.15)$$

Burada, paydaki A, B, C, D, E, F, G ve paydadaki H ve I bağıntılarının açık halleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

$$A = \frac{C}{\omega} \left(\frac{V}{m} + \frac{\vartheta_1}{c_{pb} T_b} \left((x^2 - x)(h_b - h_u) \right) \right) \quad (3.15a)$$

$$B = \frac{h_{tr}}{\omega m} A_s \left(\sqrt{x} \frac{\vartheta_1}{c_{pb} T_b} T_{bw} + (1 - \sqrt{x}) T_{uw} \frac{\vartheta_2}{c_{pu} T_u} \right) \quad (3.15b)$$

$$C = \left(\frac{\vartheta_1}{c_{pb} T_b} (h_b - h_u) - (v_b - v_u) \right) \frac{dx}{d\theta} \quad (3.15c)$$

$$D = \left(\frac{\vartheta_1}{m c_{pb} T_b} (x h_b - (1 - x) h_u) - H_u - \frac{V}{m^2} \right) \frac{dm_f}{d\theta} \quad (3.15\text{ç})$$

$$E = (1 - x) \left(\frac{\vartheta_1}{c_{pb} T_b} \left(-T_u \frac{ds_u}{d\theta} + P \frac{dv_u}{d\theta} + \frac{du_u}{d\theta} \right) - \frac{dv_u}{d\theta} + \frac{\vartheta_2}{c_{pu}} \frac{ds_u}{d\theta} \right) \frac{d\phi_u}{d\theta} \quad (3.15d)$$

$$F = x \left(\frac{\vartheta_1}{c_{pb} T_b} \left(P \frac{dv_b}{d\theta} + \frac{du_b}{d\theta} \right) - \frac{dv_b}{d\theta} \right) \frac{d\phi_b}{d\theta} \quad (3.15e)$$

$$G = \frac{1}{m} \frac{dV}{d\theta} \quad (3.15f)$$

$$H = x \left(\frac{\vartheta_1^2}{c_{pb} T_b} + \frac{\vartheta_3}{P} \right) \quad (3.15g)$$

$$I = (1-x) \left(\frac{\vartheta_2^2}{c_{pu} T_u} + \frac{\vartheta_4}{P} \right) \quad (3.15h)$$

Burada x ifadesi, ikili wiebe fonksiyonunun ($\dot{x}$) integrali alınmış halidir.

Denklemlerde kullanılan ϑ_1 , ϑ_2 , ϑ_3 ve ϑ_4 aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

$$\vartheta_1 = \frac{\partial \ln v_b}{\partial \ln T_b} v_b \quad (3.16)$$

$$\vartheta_2 = \frac{\partial \ln v_u}{\partial \ln T_u} v_u \quad (3.17)$$

$$\vartheta_3 = \frac{\partial \ln v_b}{\partial \ln P} v_b \quad (3.18)$$

$$\vartheta_4 = \frac{\partial \ln v_u}{\partial \ln P} v_u \quad (3.19)$$

Matematik modelin silindir hacimi bölümünde, silindir hacminin krank açısına bağlı değişimi aşağıdaki şekilde ifade edilir[79];

$$V(\theta) = V_c \left\{ 1 + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left[1 - \cos \theta + \frac{1}{\gamma} \left(1 - \sqrt{1 - \gamma^2 \sin^2 \theta} \right) \right] \right\} \quad (3.20)$$

Burada γ ve ε sırasıyla, yarı strok biyel oranı ve sıkıştırma oranını ifade etmektedir.

Yukarıdaki 3.20 numaralı denklemin θ 'ya göre birinci türevi alınmış şekli aşağıdaki gibidir;

$$\frac{dV}{d\theta} = \frac{\pi}{8} b^2 S \sin \theta \left(1 + \frac{\gamma \cos \theta}{\sqrt{1 - (\gamma \sin \theta)^2}} \right) \quad (3.21)$$

Matematik modelin silindirden olan ısı geçişinin hesaplanması bölümünde, enerji denklemindeki krank açısına bağlı ısı transferi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$\frac{dQ}{d\theta} = -\frac{\dot{Q}_b + \dot{Q}_u}{\omega} \quad (3.22)$$

Silindir cidarı ile yanmış ve yanmamış gaz bölgelerindeki ısı transfer hızı aşağıdaki gibidir;

$$\dot{Q}_t = h_{tr,t} A_t (T_t - T_w) \quad (3.23)$$

$$\dot{Q}_b = h_{tr,b} A_b (T_b - T_w) \quad (3.24)$$

$$\dot{Q}_u = h_{tr,u} A_u (T_u - T_w) \quad (3.25)$$

Burada t indisi yanmış ve yanmamış bölgeyi, u ve b indisleri sırasıyla yanmamış ve yanmış bölgeyi, son olarak da w indisi silindir cidarı/duvarını temsil etmektedir.

Enerjini korunumu kanunundaki krank açısına bağlı silindir içerisindeki yanmış (Q_b) ve yanmamış (Q_u) gaz bölgelerindeki ısı kayıpları aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [79];

$$\frac{dQ_b}{d\theta} = \frac{h_{tr}}{\omega} A_{cyl} (\sqrt{x} \cdot T_{bw}) \quad (3.26)$$

$$\frac{dQ_u}{d\theta} = \frac{h_{tr}}{\omega} A_{cyl} [(1 - \sqrt{x}) \cdot T_{uw}] \quad (3.27)$$

Yanma gidişi ile ilgili yanmış ve yanmamış gaz sıcaklıkları aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [80];

$$\frac{dT_b}{d\theta} = \frac{1}{c_{pb}} \left(-\frac{h_{tr}}{\omega m} A_{cyl} \frac{1}{x^{1/2}} T_{bw} + \mathcal{G}_1 \frac{dP}{d\theta} \right) \quad (3.28)$$

$$\frac{dT_u}{d\theta} = -\frac{h_{tr}}{\omega \times m \times c_{pu}} A_{cyl} \frac{T_{uw}}{1 + \sqrt{x}} + \frac{\mathcal{G}_2}{c_{pu}} \frac{dP}{d\theta} - \frac{\Delta s_{b,\phi}}{c_{pb}} \frac{d\phi}{d\theta} \quad (3.29)$$

Hohenberg'in belirttiği ısı transfer katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [88];

$$\dot{Q}_{fw} = h_{tr} A (T_f - T_w) \quad (3.30)$$

$$h_{tr} = C_1 V^{-0.06} P^{0.8} [x T_b + (1-x) T_u]^{-0.4} (\dot{S}_p + C_2)^{0.8} \quad (3.31)$$

Burada f indisi silindir dolgusunu, w indisi de silindir cidarını ifade etmektedir. Q_{fw} ise silindir dolgusu ile silindir cidarı arasındaki ısı transferini ifade etmektedir. $C_1=130$, $C_2=1,4$ olarak alınmıştır. A ısı transfer alanını ve $\dot{S}_p$ de ortalama piston hızını (m/s) ifade eder.

Matematik modelin tutuşma gecikmesi bölümünde, tutuşma gecikmesi hesabı için de, Sitkei'nin ampirik korelasyon bağıntısı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir [89,90];

$$\tau_{id} = 0.5 + 0.133 P^{-0.7} e^{\frac{3930}{T}} + 0.00463 P^{-1.8} e^{\frac{3930}{T}} \quad (3.32)$$

Silindir içerisindeki gaz özellikleri (yakıt hava karışım özellikleri) Olikara ve Borman tarafından geliştirilen FARG (Fuel Air Residual Gas) ve ECP (Equilibrium Combustion Products) kullanılarak hesaplanmıştır [91].

FARG kodu 6 farklı yanma ürün çeşidi (CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , CO , H_2) ile 1000 K altındaki reaksiyon sıcaklıklarında kullanılmıştır.

ECP kodu da 10 farklı yanma ürün çeşidi (CO_2 , H_2O , N_2 , O_2 , CO , H_2 , H , O , OH , NO) ile 1000 K üzerindeki reaksiyon sıcaklıklarında kullanılmıştır [81].

Yakıt olarak da gemi dizel motorlarında ağır yakıt olarak kullanılan HFO kullanılmıştır. HFO'nun kimyasal formülü olarak da $C_{19}H_{30}$ alınmıştır [92–95].

Sonuç olarak tez çalışmasında kullanılan sıfır boyutlu iki bölge ikili wiebe fonksiyonun kullanıldığı iki stroklu gemi dizel motor simülasyonunda, matematik modelinin oluşturulmasında enerji ve kütle korunum denklemlerinden faydalanılmıştır. Modelde kapalı çevrim ele alınmıştır. Kapalı çevrim sıkıştırma, yanma ve genişleme proseslerine ayrılmıştır. Yanma odası içerisindeki krank açısına bağlı basınç oluşumu, yanma gidişi öngörülerek belirlenmiştir. Ayrıca, hem önkarişimli yanma, hem de difüzyonlu yanmanın olduğu yakıt püskürtmeli durum için daha uygun olması nedeniyle, yanma gidişi için ikili wiebe bağıntısı kullanılmıştır [80,87,96]. Silindir içerisindeki bölgeler ile

silindir cidarı arasındaki ısı transferi ampirik Hohenberg bağıntısı kullanılarak hesaplanmıştır [88]. Tutuşma gecikmesi hesaplamalarında ise Sitkei'nin önerdiği bağıntı kullanılmıştır [89,90]. 1000 K altında ve üzerinde, dengedeki yanma ürünü bileşenleri ECP ve FARG alt programları ile hesaplanmıştır [91].

Matematik model çözümlemesinde Fortran kodu kullanılmıştır. Modeldeki, adi diferansiyel denklemlerin çözümü Fortran kütüphanesinde bulunan DIVMRK (Double Precision Initial Value problem using Runge-Kutta) fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çıktı parametresi olarak da krank açısına bağlı basınç değerleri, teorik ortalama efektif basınç, çevrim boyunca yapılan iş, güç, indike verim ve özgül yakıt sarfiyat verileri alınmıştır.

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Tez kapsamında ana makinesinde performans ölçümleri yapılan M/V İnce İnebolu gemisi Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4. 1 M/V İnce İnebolu gemisi

Ölçümleri alınan M/V İnce İnebolu gemisi İnce Denizcilik ve Ticaret Anonim Şirketi’ne ait Kasım 2002 inşaalı, 52376 DWT (Yaz) yük taşıma kapasitesine sahip uluslararası sularda seyir yapan Türk bayraklı bir dökme/kuru yük gemisidir. Geminin özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1 M/V İnce İnebolu gemisinin özellikleri

Şirket	İnce Denizcilik ve Tic. A.Ş.
Bayrak	Türk
IMO No	9254472
Çağrı İşareti	TCPK7
İnşa tarihi	Kasım 2002
DWT (Yaz/Tropik/Tatlı Su)	52376 / 53766 / 52375
Gros Ton (GRT)	30011
Net Ton	17843
Tam boy (LOA)	189,99 m
Genişlik	32,26 m
Draft	12,022 m

Çizelge 4.2’de M/V İnce İnebolu gemisinin sevk sisteminde kullanılan MITSUI MAN B&W 6S50MC Ana Makinenin motor özellikleri ve seyir tecrübesi test değerleri verilmiştir.

Çizelge 4. 2 M/V İnce İnebolu gemisi ana makine (M/E) özellikleri

Motor Markası/Tipi	MITSUI MAN B&W 6S50MC
Silindir Sayısı	6
Çap, mm	500
Strok, mm	1910
Motor Gücü @116 rpm, kW, MCO	7800
Motor Gücü @110 rpm, kW, CSO	6630
Ortalama Piston Hızı @MCO, m/s	7,39
Ateşleme Sırası	1-5-3-4-2-6
Kullanılan Yakıt Tipi	HFO
Özgül Ağırlık, @15 °C	0.9666
Viskozite, @40°C, cSt	279,5
Kükürt, %	1,72
Alt Isıl Değer, kJ/kg	40775

M/V İnce İnebolu’nun ana makinesinden alınan ölçümler Marmara Denizinde makinenin normal seyir devrinde yapılmıştır. Ana makine performansı değerlerini

etkilememesi için ölçümler, deniz şartlarının stabil, yani akıntının ve rüzgarın minimum olduğu şartlarda alınmıştır. Ayrıca ölçümler esnasında dümen sabitlenmiştir.

4.1 Materyal - Ölçüm Cihazlarının Tanıtımı

4.1.1 Silindir İçi Performans Ölçümü

Bu tez çalışmasında, iki stroklu gemi ana makinenin ürettiği indike gücü ölçmek için sensör doğruluğu $\pm 0,2$ olan, 30-2000 d/d ve 0-250 bar basınç aralığında ölçüm alabilen, Littlefuse Selco EngineEye (E5000) Silindir basınç analiz cihazı kullanılmıştır. Şekil 4.2’de motor performans ölçüm cihazı ve cihaz sensörüne ait kalibrasyon belgesi gösterilmiştir.



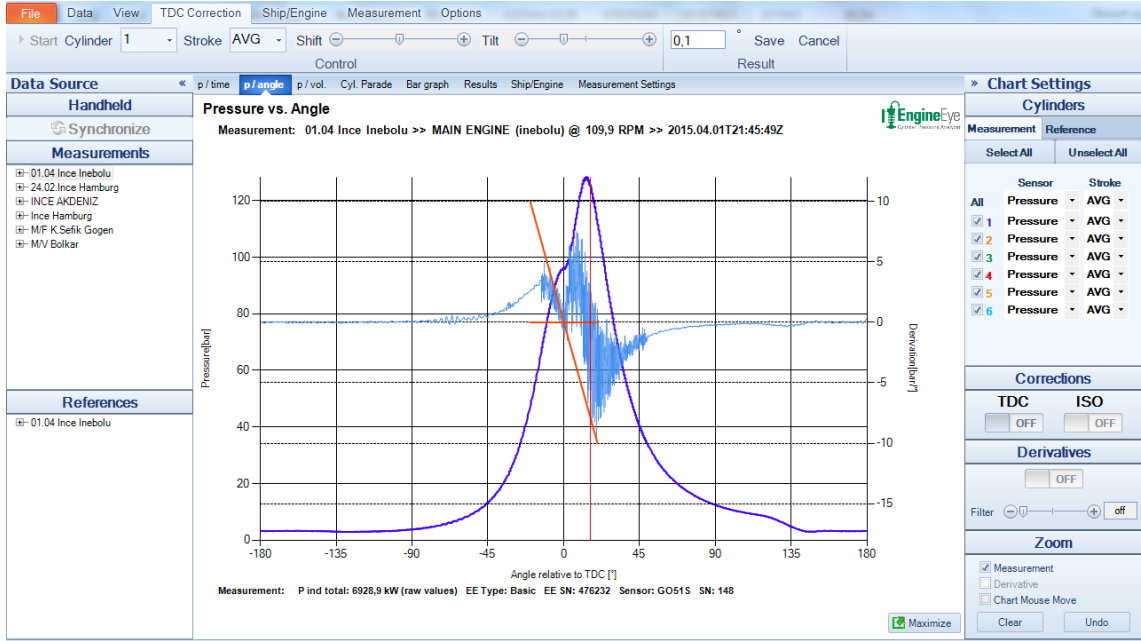
Şekil 4. 2 Littlefuse Engineeye motor performans ölçüm cihazı ve kalibrasyon belgesi

Ölçümler her bir silindir için indikatör muslukları üzerinden alınmıştır. Ölçümler alınırken her bir silindir için beş çevrimin ortalaması alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Güç ve yakıt sarfiyatı ölçümlerin alınması Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4. 3 Performans (güç ve yakıt sarfiyatı) verilerinin alınması

Ölçüm cihazı krank açısına bağlı silindir içi basınç verilerinin toplandığı piezo elektrik sensör ve bu verilerin toplandığı bir veri toplama sisteminden oluşmaktadır. Alınan veriler bir PC yazılım programı vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılıp, aktarılan veriler analiz edilmektedir. Engineeye PC yazılımı; zamana bağlı silindir içi basıncı (P-Zaman), krank açısına bağlı silindir için basıncı (P- θ), hacim değişimine bağlı silindir içi basıncı (P-v), her bir silindir için ortalama indike basıncı (bar), maksimum basıncı (bar), maksimum basıncın olduğu krank açısını ($^{\circ}$ KMA), devir sayısını (d/d) ve indike gücü (kW) vermektedir. Şekil 4.4'te Engineeye PC yazılım arayüzü gösterilmiştir.



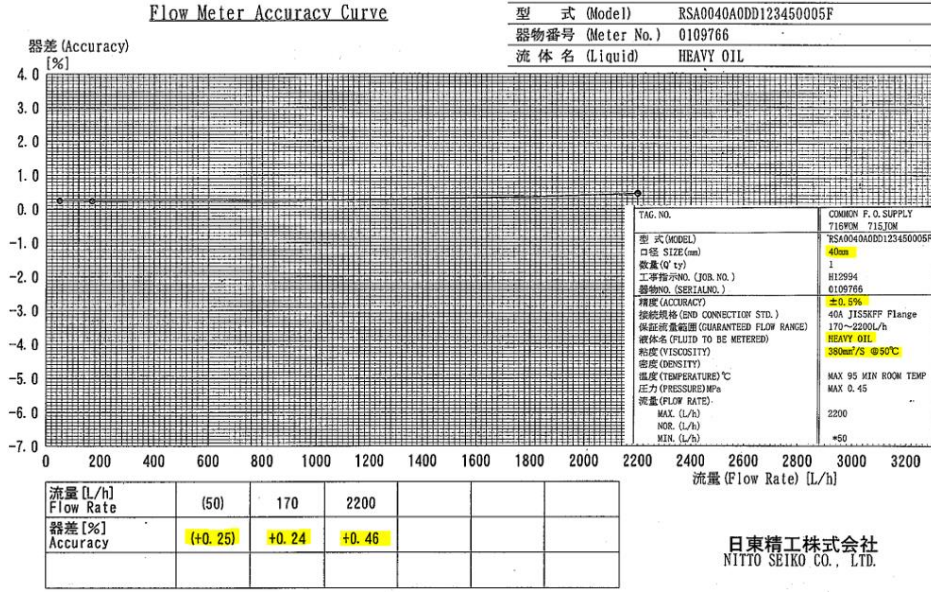
Şekil 4. 4 Engineeye PC arayüzü

Gemiden güç ölçümleri alındıktan sonra, veriler bir arayüze aktarılmıştır (Şekil4.4). Yazılım içerisinde negatif ve pozitif işi ayırıp silindir başına üretilen gerçek indike gücü bulabilmek için üst ölü nokta (ÜÖN) düzeltmesi yapılmaktadır. Program Üst ölü nokta düzeltmesini Şekil 4.4'te görüleceği üzere $P-\theta$ eğrisinin birinci türevine göre belirlemektedir. Bu işlem türevin sıfır olduğu noktayla eğimin negatif olarak devam ettiği ilk eğriye teğet çizilerek belirlenmektedir [97–103].

4.1.2 Yakıt Sarfiyat Ölçümü

Yakıt sarfiyatı ölçümünde ana makine giriş ve çıkışında $\pm 0,5$ doğruluğa sahip Nitto Seiko rotatif, pozitif deplasmanlı akış ölçer kullanılmıştır. Şekil 4.5'te kullanılan akış ölçerin doğruluk eğrisi verilmiştir.

Yakıt sarfiyatı ölçümlerinde yoğunluk düzeltmesi yapabilmek için $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ila $+800\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında temassız yüzey sıcaklığı ölçümü yapabilen, doğruluk değeri maksimum $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan pirometre kullanılmıştır.



Şekil 4. 5 Yakıt akış ölçer doğruluk eğrisi[104]

4.2 Metot – Bozunum

Performans izlemeyi genel olarak tanımlamak gerekirse; işletmelerin ve ekipmanların performans olarak tanımlanan büyüklüklerinin (sıcaklık, basınç, güç, verim vb.) mevcut üretimdeki ölçümler ile sürekli olarak izlenmesidir.

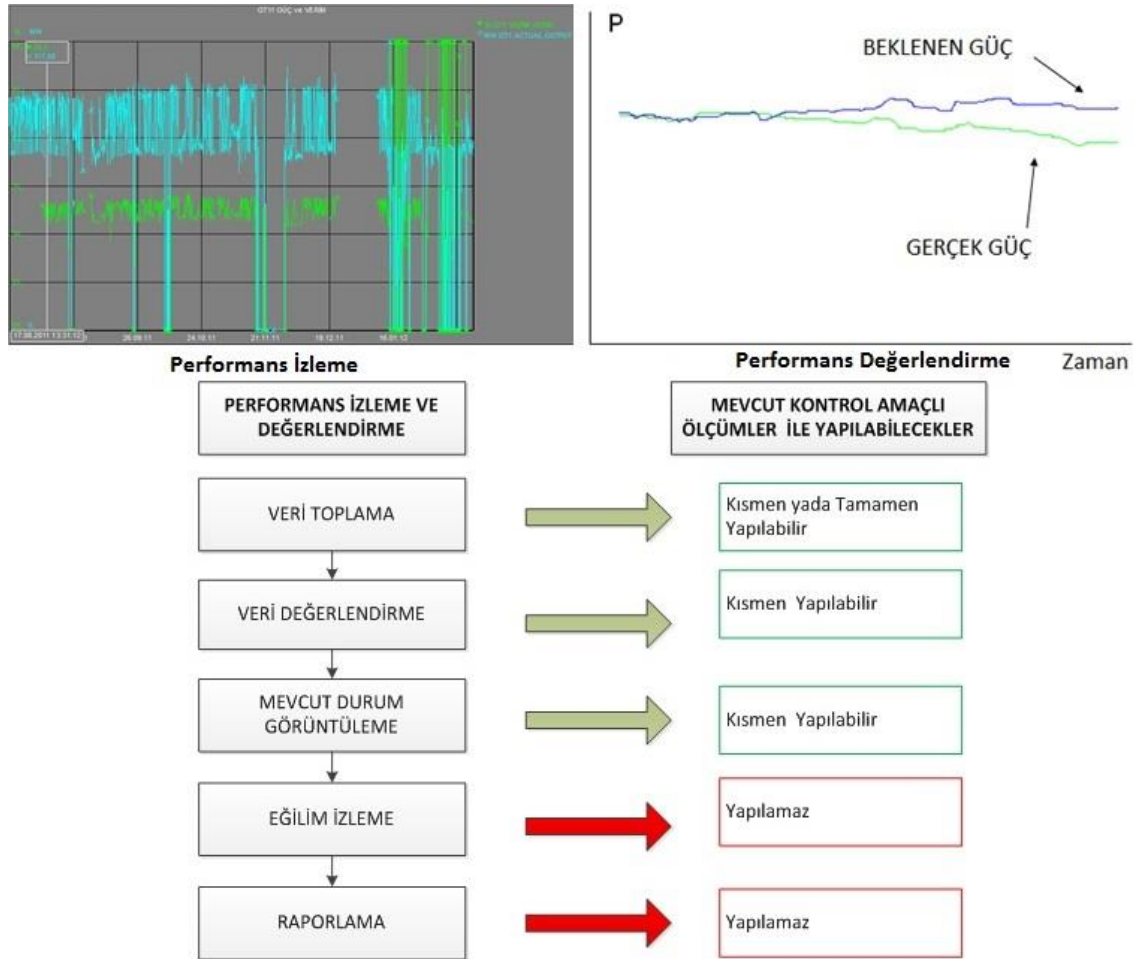
Performans değerlendirme ise işletmenin performansının ne kadar azaldığını ve bu azalmaya ekipmanların katkısının ne kadar olduğunu gösteren sistemdir [77].

Burada yeni bir terim olan bozunumdan bahsetmek gerekmektedir. Bozunum; performans değerlendirme esnasında performansın işletme ve çevre şartlarından arındırılarak hesaplanan güç veya özgül yakıt sarfiyatının yıpranma, yaşlanma, mekaniksel problemler, kirlenme vb. sebeplere bağlı kayıplara ayrılan kısmına denir.

Gemilerin büyük çoğunluğunda performans izleme sistemi mevcuttur. Fakat bu performansı değerlendiren bir sistem mevcut değildir. Performans izleme sistemi sayesinde, performans kaybının işletme ve çevre parametrelerine bağlı olan ve bu parametreler düzeltildiğinde performans kaybının da kendiliğinden düzeleceği kısmı ile ekipman yaşlanma, yıpranma ve aşınmalarına bağlı olan ve ancak bakım ile giderilebilen kısmı birbirinden ayrılabilir. Bu performans kaybının ayrıştırılması, bu amaca yönelik gerekli veriler ölçülmeden ve bir yazılım kullanmadan yapmak mümkün

değildir. Ayrıca bu ayrıştırmayı performans izleme üzere hazırlanan programlar ile de yapmak mümkün değildir.

Şekil 4.6’da performans izleme ve değerlendirme sistemleri arasındaki farklar gösterilmiştir.



Şekil 4. 6 Performans izleme ve değerlendirme arasındaki farklar [77]

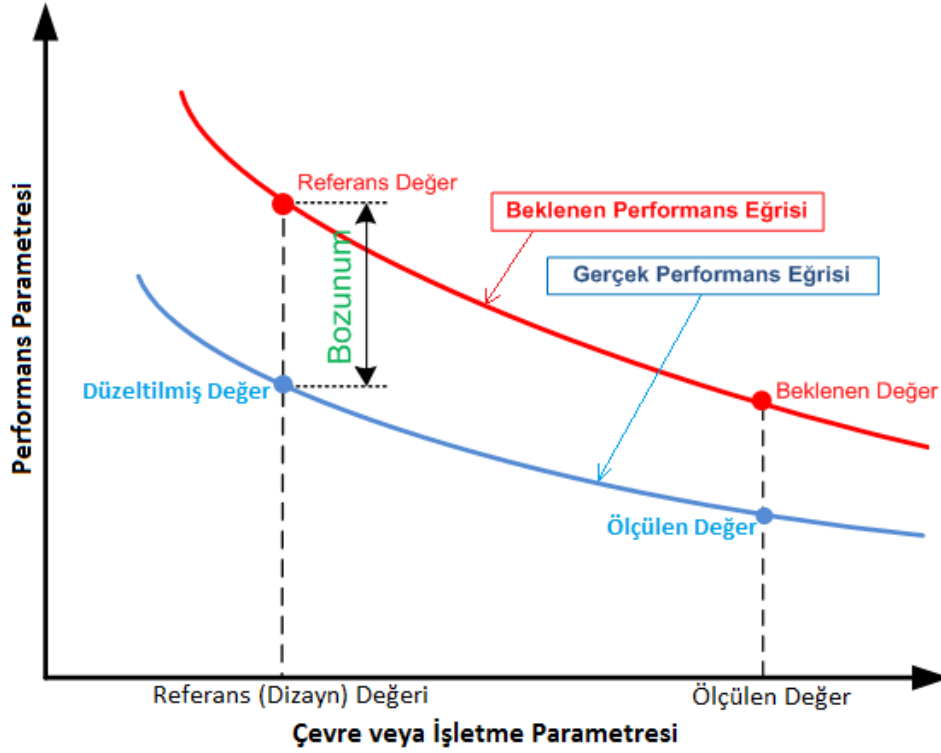
Şekilden de görüldüğü gibi, performans izlemede veri aktarma süre ve sıklığı önemliyken performans değerlendirmede performans kaybı (bozunum) zamana bağlı olarak gerçekleştiğinden verilerin performans kaybını hesaplayacak şekilde belirli aralıklarla alınması yeterli olacağından sürekli veri aktarımına gerek duyulmamaktadır. Şekil 4.6’da görüldüğü üzere performans izleme sisteminde veri aktarma hızı ve süresi arttıkça daha yüksek kapasitede veri depolama ünitesine ve daha esnek veri işleme algoritmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kadar yoğun bir verinin Performans Değerlendirme amacıyla kullanılması hem ekonomik değildir hem de performans

değerlendirme sistemin verimli çalışması üzerinde bir engeldir. Bu nedenle veri aktarmanın belirli periyotlarla kaydedilmesi; performans kaybı (bozunum), sistemin uzun süreli bir çalışması ile ortaya çıktığı için, performans değerlendirme açısından daha efektif olacaktır (Şekil 4.6 Performans Değerlendirme).

İşletme ve çevre şartları bozunum değildir. Bozunum yıpranma, yaşlanma, kirlenme ve mekaniksel problemler gibi sebeplere bağlı performans kayıplarıdır. Bozunumu da üç kısımda inceleyebiliriz. Bunlar; işletme esnasında giderilebilecekler, küçük bakım ve onarımla giderilebilecekler ve rehabilitasyonla giderilebilecekler [77].

Şekil 4.7’de ise performans değerlendirilmesi esnasından kullanılan Grafikselsel Analiz Yönteminden (Curve Based Method) bahsedilmiştir [75,77].

Bu tez çalışmasında, gemi tahrik sisteminin performansının mevcut durumunu değerlendirebilmek için, mevcut performans değerlerinin beklenen performans değerleri ile karşılaştırılmıştır. “Beklenen Performans Eğrisi” ile “Gerçek Performans Eğrisi” kullanılarak toplam bozunum hesaplanmaktadır. “Beklenen Performans Eğrisi” üzerindeki “Beklenen Değer” noktası Fabrika Test şartlarındaki gücü göstermektedir. “Referans Değer” ise ISO 3046 (Ortam Sıcaklığı, Ortam Basıncı ve Deniz Suyu Sıcaklığı) ve kullanılan yakıt özellik şartlarına göre düzeltilmiş güç değerini göstermektedir. Referans değer ile beklenen değer arasındaki fark çevre şartları ve yakıt özellikleri ile ilgili olduğundan bozunum olarak değerlendirilmemektedir. “Gerçek Performans Eğrisi” nde de “Beklenen Performans Eğrisi”nde olduğu gibi iki nokta bulunmaktadır. “Ölçülen Değer” noktası gemi sevk sisteminin işletme şartlarında ölçülen performansını (güç ve yakıt sarfiyatı) göstermektedir. “Düzeltilmiş Değer” ise işletme şartlarının ISO 3046 ve yakıt özelliklerine göre indirgenmesi ile bulunan performans değeridir. İki eğrinin referans noktalarında ölçülen performansları arasındaki fark toplam bozunumu vermektedir. Bozunumların bir kısmı geri kazanabilir niteliktedir.



Şekil 4. 7 Performans değerlendirme eğrileri [75,77]

Ayrıca, bu tez çalışmasında performansın kazanılacak kısımları için yapılacak iyileştirmelerin (örneğin enjektör meme değişimi, segman değişimi gibi) enerji ekonomisi ve maliyet analizi yapılacaktır. İyileştirmeler için kullanılacak olan parçaların optimum değişim zamanları bu analizler doğrultusunda hesaplanmıştır.

4.2.1 Bozunumların Maliyetinin Hesaplanması

Bozunumları hesaplamak için beklenen ve gerçek performans eğrileri üzerindeki sırasıyla referans ve düzeltilmiş değerler hem güç hem de ÖYS değerleri için birbirinden çıkartılarak toplam bozunumlar elde edilir. Bu bozunumların elde edilmesinden sonra ayrıştırılıp nedenleri belirlendikten sonra her bir bozunum için maliyet hesabı yapılır ve zamanla meydana gelecek bozunumlar hesaplanır.

Denklem 4.1 ve 4.2’de sırasıyla ÖYS ve güç değerleri için saatlik bozunumun maliyeti ifade edilmiştir.

$$C_{\text{ÖYS}} = \psi_{\text{öys}} \left(\Delta be_{\text{bozunum}} \times P_{\text{ölçülen}} \times F_{\text{yakıt}} \right), \quad \Rightarrow \frac{kg}{kWh} \times kW \times \frac{USD}{kg} = USD/h \quad (4.1)$$

$$C_{Güç} = \psi_{güç} \left(\Delta P_{bozunum} \times be_{ölçülen} \times F_{yakıt} \right), \quad \Rightarrow \frac{kg}{kWh} \times kW \times \frac{USD}{kg} = USD/h \quad (4.2)$$

Burada $C_{öys}$ özgül yakıt sarfiyatındaki bozunumun maliyetini, $\psi_{öys}$ bozunumun toplam özgül yakıt sarfiyatı bozunumundaki yüzdesel payını, $\Delta be_{bozunum}$ ve $\Delta P_{bozunum}$ özgül yakıt sarfiyatı ve güç bozunumundaki değişimleri, $P_{ölçülen}$ ve $be_{ölçülen}$ ölçülen güç ve ÖYS değerlerini, $F_{yakıt}$ ise birim yakıtın Amerikan doları cinsinden fiyatını ifade eder.

Güç ve özgül yakıt sarfiyatı bozunum maliyetleri toplamı ise;

$$C_{Toplam} = C_{öys} + C_{Güç} \quad (4.3)$$

olmaktadır. Denklem 4.3'teki bozunum maliyetlerine yakıt fiyatı eskalasyonu eklendiğinde, paranın şimdiki değere getirilmiş toplam maliyeti aşağıdaki formüllerle hesaplanmıştır [105,106].

$$B = \sum_{t=0}^n \left[\psi_{öys} \left(\Delta be_{bozunum} \times P_{ölçülen} \right) + \psi_{güç} \left(\Delta P_{bozunum} \times be_{ölçülen} \right) \right] \times t \times F_{yakıt} \times (1+r)^{-t} \times (1+e_y)^t \quad (4.4)$$

$$B = \sum_{t=0}^n \left[C_{öys} + C_{Güç} \right] \times t \times (1+r)^{-t} \times (1+e_y)^t \quad (4.5)$$

Burada $(1+r)^{-t}$ ifadesi paranın şimdiki değer hesabı için kullanılan denklemdir. “t” zamanı ifade eder. “r” ise Amerikan doları için faiz oranını ifade eder. “ e_y ” yakıt fiyatı eskalasyon oranını ifade eder.

Bozunumların geri kazanılabilmesi için birtakım masrafların yapılması gerekmektedir. Bu masraflar; bakım-tutum için gerekli parça masrafları, ilgili bakım tutum bir tamir ekibi tarafından yapıldığı takdirde tamir ekibine ödenecek işçilik masrafları ve ilgili bakım tutum dolayısıyla geminin sefer planını etkilediği durumdaki navlun gelir kaybıdır. Masraflar aşağıdaki matriste gösterilmiştir.

$$I = \text{Masraflar} = \begin{bmatrix} \text{Parça Masrafları} \\ \text{İşçilik Masrafları} \\ \text{Navlun Gelir Kaybı} \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

Burada “I” masrafları ifade eder. Bunlar; parça masrafları, işçilik masrafları, navlun gelir kaybı gibi masraflardır.

Bozunumların yakıt eskalasyonu ve faiz oranı dikkate alınarak şimdiki değere getirilmiş toplam maliyetinin, bozunumların iyileştirilmesi için gerekli masrafların maliyeti ile karşılaştırılması gerekmektedir. Yapılan bu karşılaştırma neticesinde bozunumların maliyetinin masrafların maliyetinden büyük olduğu durumda ($NPV > 0$) ilgili ekipmandaki planlı bakım dışındaki bakım tutumun yapılmasının gerekliliğini ifade eder. Küçük olduğu durumda ($NPV < 0$) ise masrafların daha fazla olmasından dolayı gerekli bakım tutumun ileri bir tarihte yapılabileceği anlaşılmaktadır. Aşağıda ilgili algoritma gösterilmiştir.

$$NPV = B - I \Rightarrow \begin{cases} NPV > 0 \Rightarrow YAP \\ NPV < 0 \Rightarrow YAPMA \end{cases} \quad (4.7)$$

Kısaca bu algoritma bozunumun geri kazanımı için belirlenen sürede planlı bakım dışında bakım masraflarının yapıp yapılmayacağını ve bakım süresinin optimum zaman dilimini ifade etmektedir.

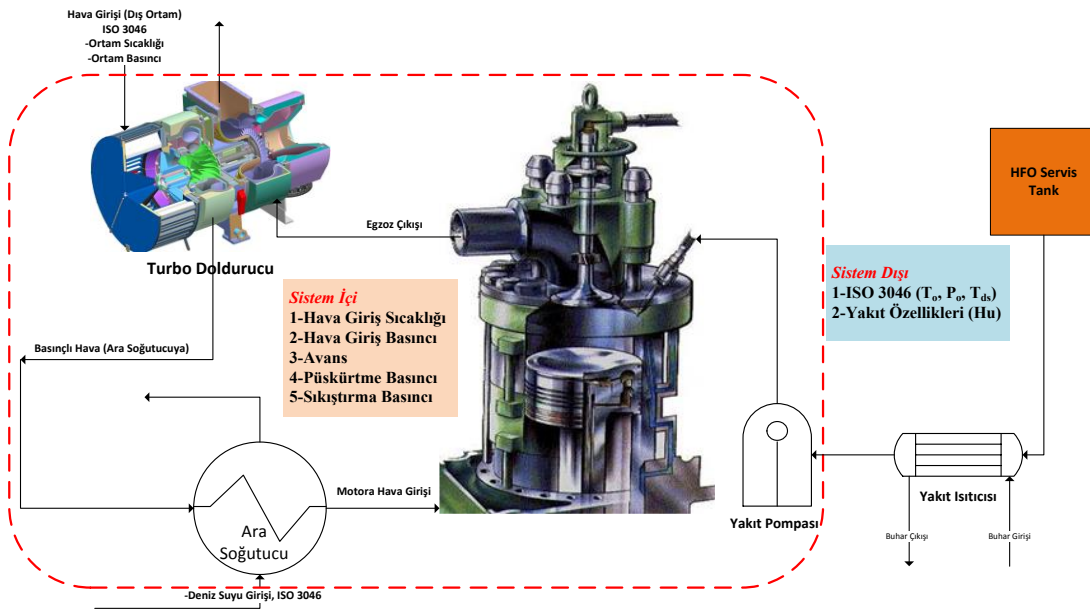
BULGULAR VE DEĞERLENDİRMELER

Bu tez çalışmasında iki stroklu gemi dizel motorlarına yönelik bir performans değerlendirmesinin yapılması hedeflenmiştir. Gemi dizel motorlarında bozunuma neden olan parametreler belirlenerek bu parametrelerin bozunumdaki payları hesaplanmıştır. Ayrıca, bu bozunumların giderilmesine yönelik iyileştirici tedbirlerin uygun zamanının tespitine yönelik maliyet analizi yapılmıştır. Bu kapsamda;

- Performans izleme ve değerlendirme uygulaması yapılacak örnek bir yük gemisi seçilmiştir (M/V İnce İnebolu).
- Uygun seyir ve deniz şartlarında gemi dizel motorundan (Ana Makine) güç ve yakıt sarfiyatı ölçümleri alınmıştır.
- M/V İnce İnebolu'ya ait iki stroklu ana makine için sıfır boyutlu iki bölgeli matematik model kullanılmıştır.
- Matematik model, alınan ölçümler ve seyir tecrübesi değerleriyle doğrulanmıştır.
- Doğrulama yapıldıktan sonra hava giriş sıcaklığı, basıncı, pompa avansı, sıkıştırma basıncı ve yakıt püskürtme basıncı değer değişimlerinin güç ve özgül yakıt sarfiyatı bozunumuna etkileri hesaplanmıştır.
- Uygulama yapılan gemide mevcut işletme şartları dikkate alınarak ana makinede meydana gelen güç ve özgül yakıt sarfiyat değerlerindeki bozunumlar hesaplanmıştır.

- Hesaplanan bozunumların işletmeci kuruluşa olan parasal etkisini görebilmek için zamana bağlı maliyet analizi yapılmıştır. Ayrıca, bozunuma neden olan etkenler ayrıştırılarak bu etkenlerin ortadan kaldırılabilmesi için ne tür iyileştirmelerin yapılacağına dair yapılabilirlik (bakım-tutum maliyeti) analizleri de yapılmıştır.

Şekil 5.1’de performans izlemesi ve değerlendirmesi yapılan iki stroklu gemi ana makine sisteminde bozunuma etki eden faktörleri şematik olarak verilmiştir.



Şekil 5. 1 Performans değerlendirme sisteminin şematik şekli

Şekil 5.1 incelendiğinde bozunumun sistem içi ve sistem dışı iki ana bileşene ayrıldığı görülmektedir. Sistem dışı faktörler çevresel etkiler olarak tanımlanmaktadır. Sistem dışı faktörler işletmecilerin doğrudan müdahale edemeyeceği hava sıcaklığı, deniz suyu sıcaklığı, ortam basıncı ve yakıtın alt ısı değeri gibi değerlerdir. Sistem içi faktörler ise; ara soğutucu çıkış sıcaklığı ve basıncı, pompa avansı, püskürtme basıncı ve sıkıştırma basıncı gibi işletme ve tasarım değerlerini kapsamaktadır. İkinci bileşen kendi arasında iki alt başlığa ayrılmaktadır. Birinci alt başlık işletmeye bağlı olarak bozunumu artırıp azaltabilmeyi; ikinci alt başlık ise dizel motorunun çalışması nedeniyle doğal fiziksel süreçler nedeniyle meydana gelen aşınma ve yıpranmayı (yaşlanma) kapsamaktadır. İşletme süreçlerindeki olumsuzlukların boyutuna bağlı olarak ikinci alt başlıktaki yaşlanmaya bağlı bozunumlar da hızlanmaktadır.

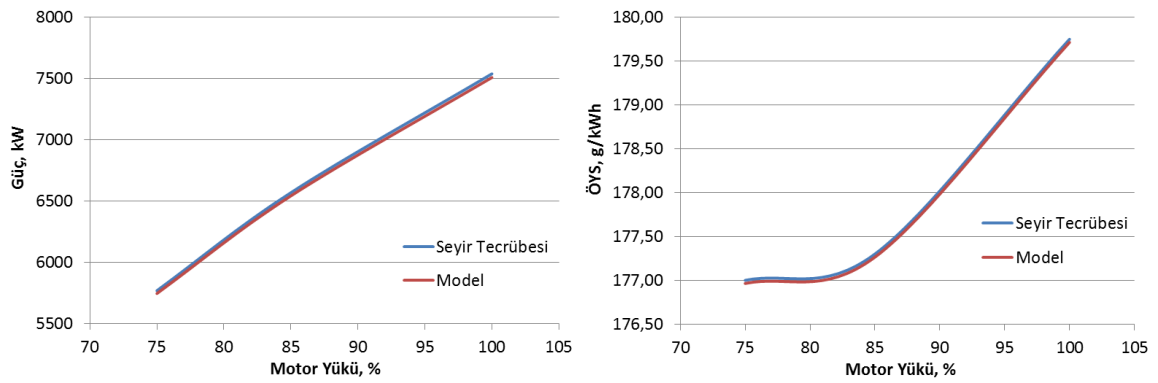
5.1 Matematik Modelin Doğrulanması

İki stroklu gemi dizel motoru için matematik model hem yapılan ölçümler için hem de seyir tecrübesinde alınan ölçümler için ayrı ayrı doğrulanmıştır.

5.1.1 Seyir Tecrübesi Değerleri ile Doğrulama

5.1.1.1 Güç ve ÖYS Değerleri için Doğrulama

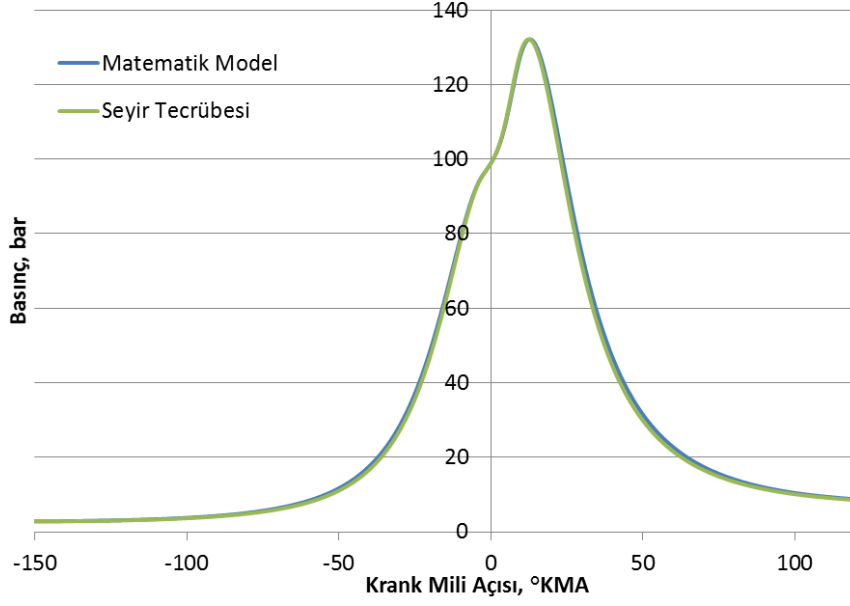
M/V İnce İnebolu gemisinin iki stroklu ana makinesi için kullanılan matematik model ile seyir tecrübesinde %75, %85 ve %100 yüklerde ölçülen ÖYS ve güç değerleri için doğrulama grafikleri Şekil 5.2’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde matematik model ile hesaplanan ÖYS ve güç değerlerinin %1’den küçük bir hata oranı ile uyduğu görülmektedir.



Şekil 5. 2 Seyir tecrübesi güç ve ÖYS değerleri için matematik modelin doğrulanması

5.1.1.2 Silindir İçi Basınç Değerleri için Doğrulaması

Model, hem alınan ölçüm için her bir silindir için ayrı ayrı hem de seyir tecrübesi verileriyle doğrulanmıştır. Şekil 5.3’te iki stroklu motorun % 85 yük değeri için kullanılan matematik modelin seyir tecrübesi verileriyle doğrulanması sonucu oluşan karşılaştırılmalı grafik verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi oluşturulan modelin seyir tecrübesine yakın değerler verdiği gözlemlenmiştir. Şekil incelendiğinde matematik model ile bulunan P-θ değerleriyle gerçek değerlerin %1’den küçük bir hata ile uyduğu görülmektedir.

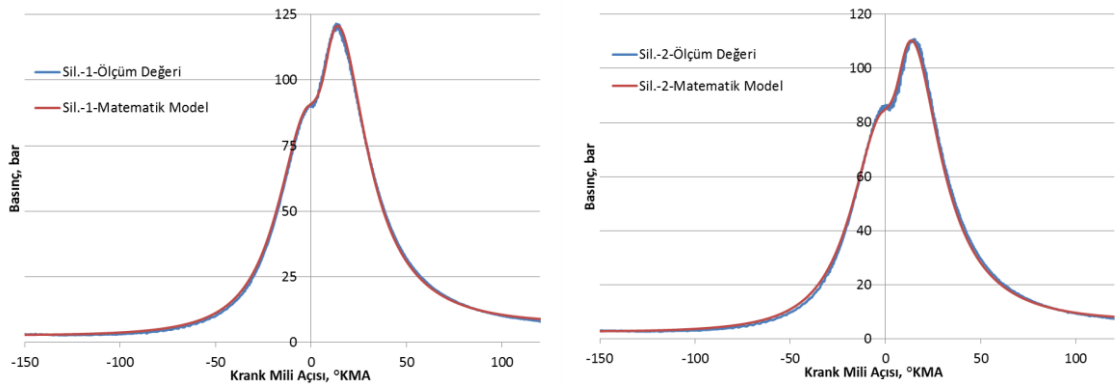


Şekil 5. 3 Seyir tecrübesi basınç değerleri için matematik modelin doğrulanması

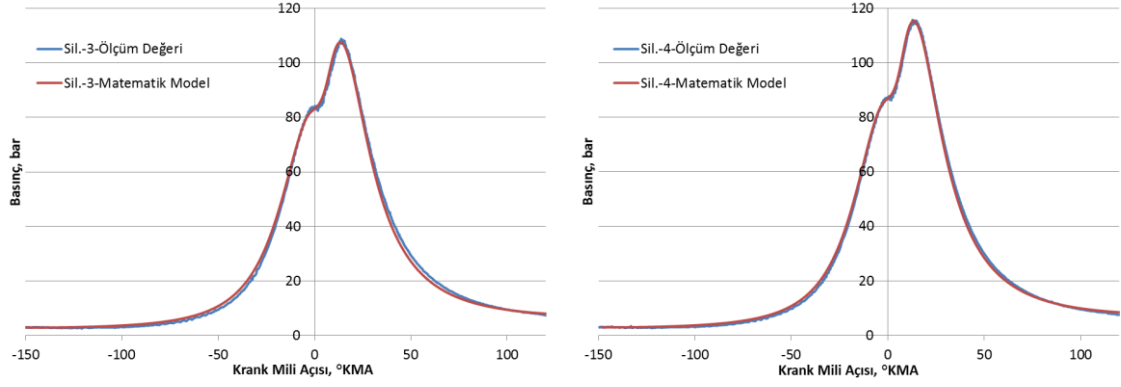
5.1.2 Yapılan Ölçüm Değerleriyle Doğrulama

5.1.2.1 Silindir İçi Basınç Değerleri için Doğrulaması

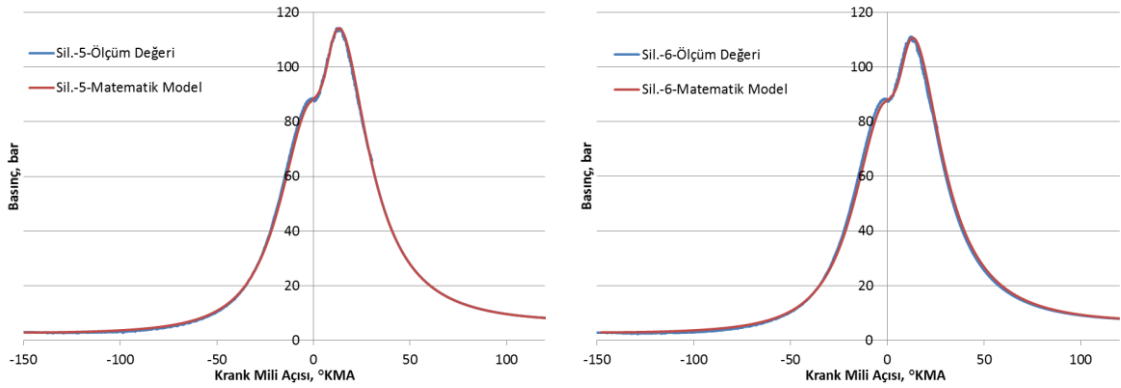
M/V İnce İnebolu gemisinin MUTSUI MAN B&W 6S50MC model iki stroklu dizel motoru için yanma modeli yardımıyla bulunan basınç-krank açısı ($P-\theta$) diyagramının geminin seyri esnasında silindirlerden alınan gerçek değerlerle karşılaştırması Şekil 5.4, Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. Ölçümler ana makinenin %85 yük koşullarında alınmıştır. Şekiller incelendiğinde matematik model ile hesaplanan $P-\theta$ değerleriyle gerçek değerlerin %1'den küçük bir hata ile uyduğu görülmektedir.



Şekil 5. 4 Ölçüm değerleri için matematik modelin doğrulanması (No: 1-2 Silindir)



Şekil 5. 5 Ölçüm değerleri için matematik modelin doğrulanması (No: 3-4 Silindir)



Şekil 5. 6 Ölçüm değerleri için matematik modelin doğrulanması (No: 5-6 Silindir)

Bozunumların hesabında kullanılan pompa avansı, enjektör püskürtme basıncı, sıkıştırma basıncı, giriş hava sıcaklığı ve basıncı gibi parametrelerdeki değişimlerin meydana getireceği bozunumları, işleyen bir gemide ölçerek hesaplamak mümkün olmadığından model gerçek verilerle doğrulandıktan sonra, seçilen her bir parametredeki değişimlerin bozunuma etkileri matematik model yardımıyla hesaplanmıştır. Çok silindirli bir motorda her bir silindirden üretilen güç farklılık gösterdiği için model her bir silindir için ayrı ayrı doğrulanmıştır.

5.2 Motor Performans Parametrelerinin Güç ve ÖYS'ye Etkileri

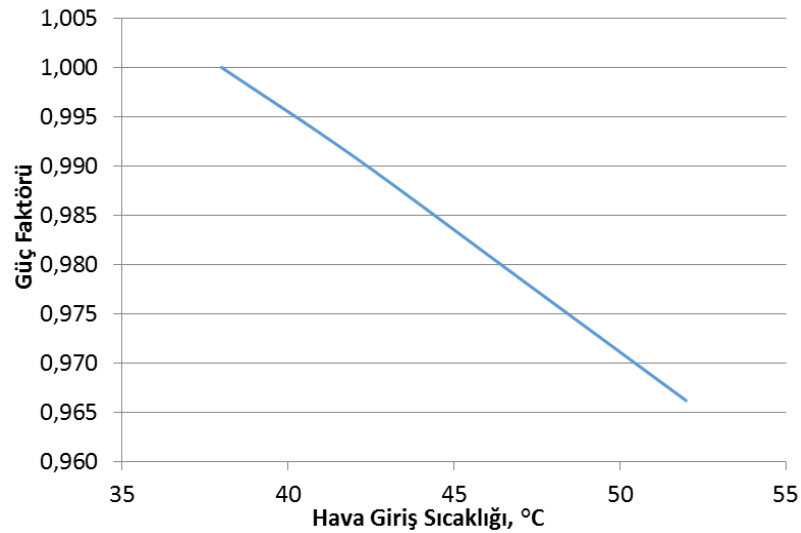
Gemi dizel motorlarında performans denildiğinde akla iki parametre gelir; Güç ve Özgül Yakıt Sarfiyatı. Fabrika veya seyir testleri esnasında gemi dizel motorlarında performansa etki eden parametrelerdeki değişimlerin güç ve özgül yakıt sarfiyatına (ÖYS) etkileri üretici firma tarafından kapsamlı olarak verilmemektedir. Örneğin motor

performans ölçümü tasarım esnasında belirli olduğundan ölçümler tek bir avans değerine göre yapılmaktadır. Oysa işletme şartlarında avans değişiminin güç ve yakıt sarfiyatındaki değişimine etkisini belirlemek oldukça zor olduğundan avans değişimlerinin etkileri matematik model üzerinden hesaplanması gerçek şartlardaki etkiyi görebilmek açısından daha faydalı olacaktır.

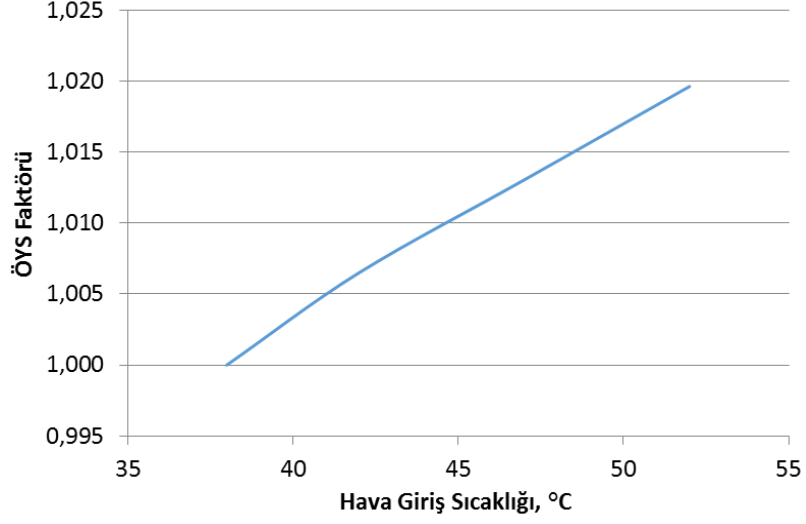
Tez çalışmasının bu bölümünde M/V İnce İnebolu gemisinin MITSUI MAN B&W 6S50MC ana makinesi için kullanılan sıfır boyutlu iki bölgeli yanma modeli, gerçek zamanlı alınan ölçüm değerleri ile doğrulanmıştır. Doğrulama sonrası, model yardımıyla motor hava giriş sıcaklığı (ara soğutucu sonrası), basıncı (turbo doldurucu sonrası), pompa avansı, sıkıştırma basıncı ve püskürtme basıncı parametrelerinin güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri araştırılmıştır.

5.2.1 Hava Giriş Sıcaklığı

Motora hava giriş sıcaklığının güç ve ÖYS'ye etkileri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Güç ve ÖYS faktörleri seyir tecrübesinde ölçülen 38 °C için 1,00 alınmıştır. Şekillerden de görüldüğü üzere güç faktörü sıcaklık artışıyla azalmakta, ÖYS faktörü ise sıcaklık artışıyla artmaktadır.



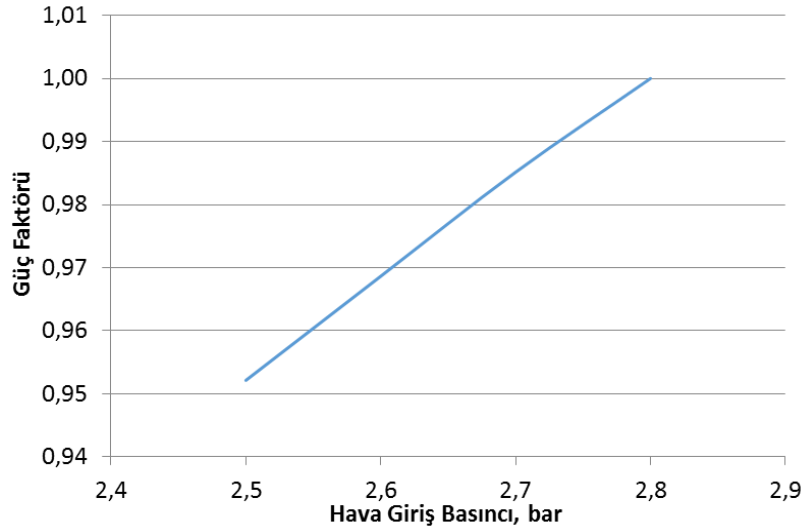
Şekil 5. 7 Hava giriş sıcaklığı değişiminin motor gücüne etkisi



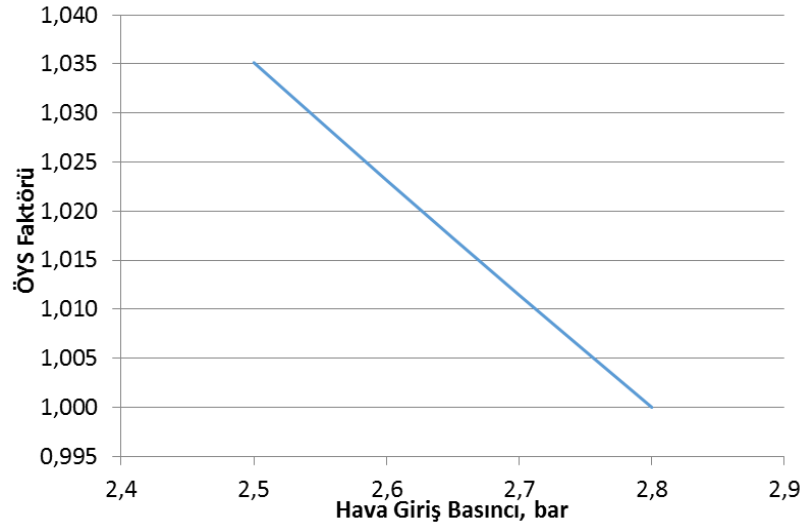
Şekil 5. 8 Hava giriş sıcaklığı değişiminin ÖYS'ye etkisi

5.2.2 Hava Giriş Basıncı

Motora hava giriş basıncının değişiminin güç ve ÖYS'ye etkileri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Güç ve ÖYS faktörleri seyir tecrübesinde ölçülen 2,8 bar basınç için 1,00 alınmıştır. Şekillerden de görüldüğü üzere güç faktörü basınç değerindeki artışla artmakta, ÖYS faktörü ise giriş basıncının artışıyla kötüleşmektedir.



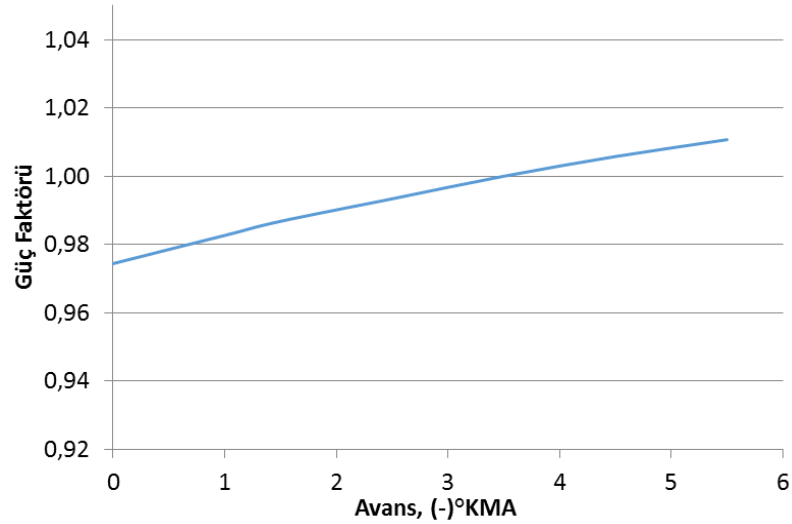
Şekil 5. 9 Hava giriş basıncı değişiminin motor gücüne etkisi



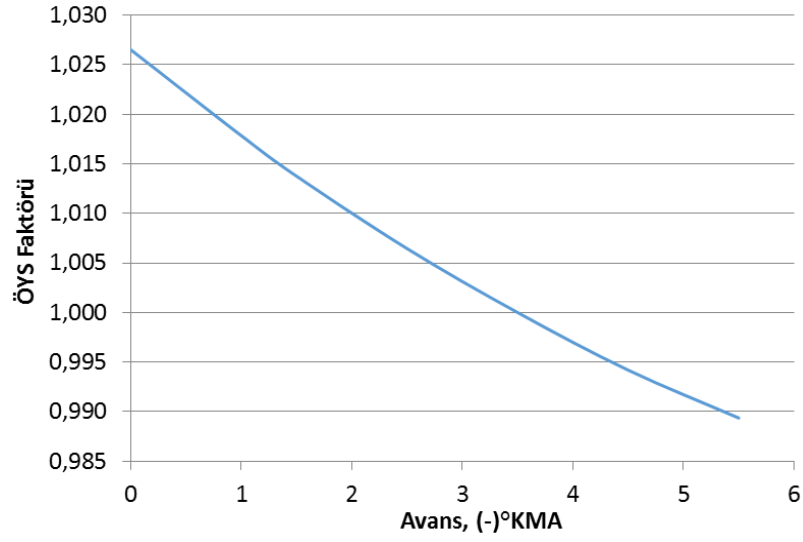
Şekil 5. 10 Hava giriş basıncı değişiminin ÖYS'ye etkisi

5.2.3 Yakıt Pompa Avansı

Motor yakıt pompasının avans değerinin değişiminin güç ve ÖYS'ye etkileri sırasıyla Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere güç faktörü avansın motorun üretim aşamasında belirlenen değerine göre artışıyla artmakta, ÖYS faktörü ise azalmaktadır. Burada önemli olan nokta motorun fabrika testi sırasında belirlenen avans değerinde meydana gelen değişikliklerdir.



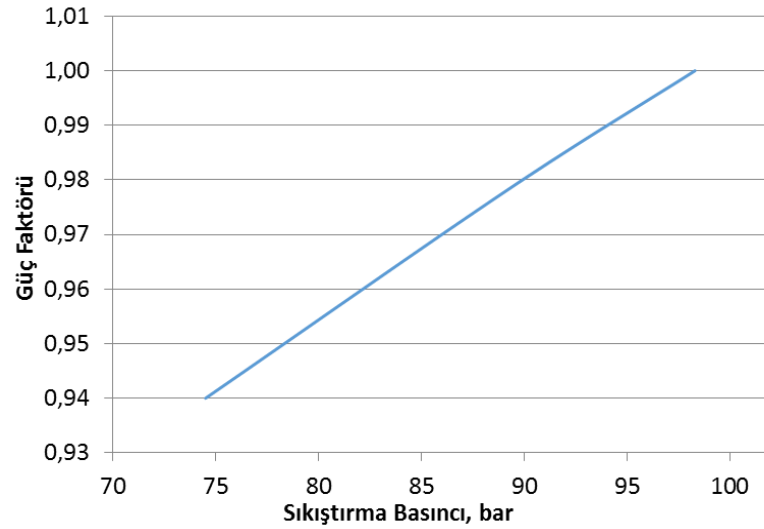
Şekil 5. 11 Avans değişiminin motor gücüne etkisi



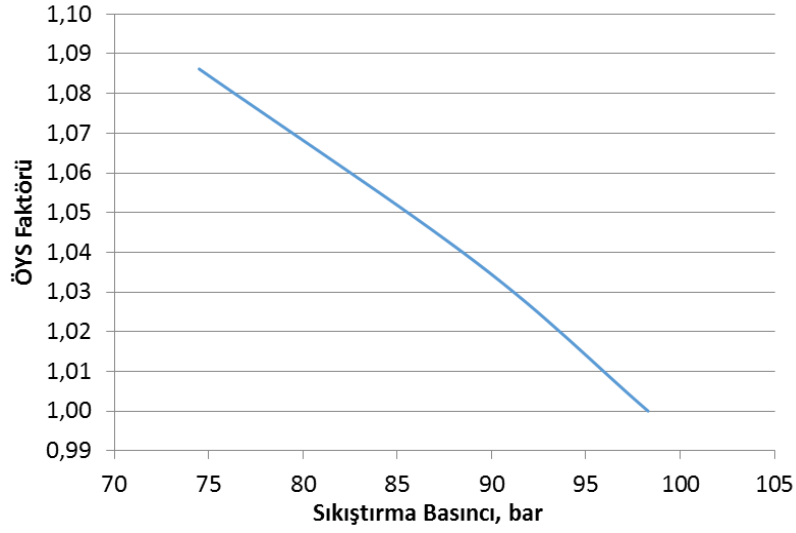
Şekil 5. 12 Avans değişiminin ÖYS'ye etkisi

5.2.4 Sıkıştırma Basıncı

Sıkıştırma sonu basıncın güç ve ÖYS'ye etkileri sırasıyla Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere güç faktörü sıkıştırma sonu basıncın artışıyla artmakta, ÖYS faktörü ise sıkıştırma sonu basıncın artışıyla azalmaktadır. Burada önemli olan nokta motorun üretim aşamasındaki her bir yük için belirlenen ortam koşullarına göre düzeltilmiş sıkıştırma basıncına göre değişimdir.



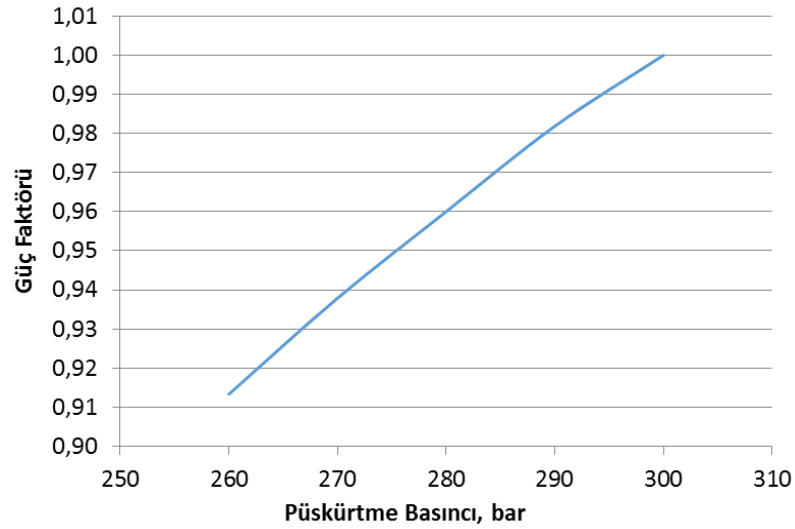
Şekil 5. 13 Sıkıştırma basıncı değişiminin motor gücüne etkisi



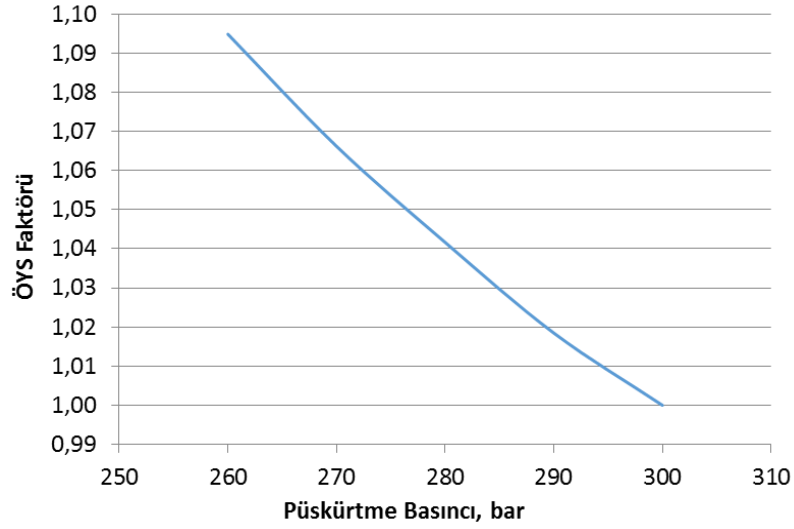
Şekil 5. 14 Sıkıştırma basıncı değişiminin ÖYS'ye etkisi

5.2.5 Püskürtme Basıncı

Enjektörlerin püskürtme basınçlarının güç ve ÖYS'ye etkileri sırasıyla Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü üzere güç faktörü enjektör püskürtme basıncının artışıyla artmakta, ÖYS faktörü ise püskürtme basıncının artışıyla azalmaktadır. Fakat burada önemli olan nokta, motorun üretim aşamasındaki yanma gidişine göre hesaplanmış enjektörlerin püskürtme basınç değerine göre değişimidir.



Şekil 5. 15 Püskürtme basıncı değişiminin motor gücüne etkisi



Şekil 5. 16 Püskürtme basıncı değişiminin ÖYS'ye etkisi

5.3 Çevre Şartlarına (ISO 3046) ve Yakıt Özelliklerine göre Performans Düzeltmeleri

Seyir tecrübesi testleri yapılırken kontrol edilemeyen parametreler vardır. Bunlar ortam sıcaklığı yani makine dairesi sıcaklığı, ortam basıncı ve deniz suyu sıcaklığı gibi çevresel faktörlerdir. Bu parametreler kontrol edilemediğinden ölçüm değerleri standart değerlere getirilerek karşılaştırılır. Gemiler için standart çevre şartlarına indirgeme işlemi ISO 3046-1:2002'e göre hesaplanmaktadır. Standart çevre şartlarında deniz suyu ve ortam sıcaklığı 25 °C, ortam basıncı ise 1000 mbar olarak alınmaktadır. İçten yanmalı motorların güç ve yakıt sarfiyat değerleri standart şartlara aşağıdaki formüller yardımıyla indirgenmektedir [73]. İlk olarak indike güç oranı k;

$$k = \left(\frac{P_o}{P_{ref}} \right)^m \times \left(\frac{T_{ref}}{T_o} \right)^n \times \left(\frac{T_{ds,ref}}{T_{ds}} \right)^s \quad (5.1)$$

Burada P_o , T_o ve T_{ds} sırasıyla ölçüm esnasındaki ortam basıncı, sıcaklığı ve deniz suyu sıcaklığını ifade eder. "ref" alt indis referans değerleri ifade eder. "m, n ve s" değerleri orta devirli aşırı doldurucu ve ara soğutuculu dört stroklu motorlar için sırasıyla 0,7, 1,2 ve 1 değerlerini alırlar. İki stroklu dizel motorlar için ise üretici firma tarafından verilirler [73].

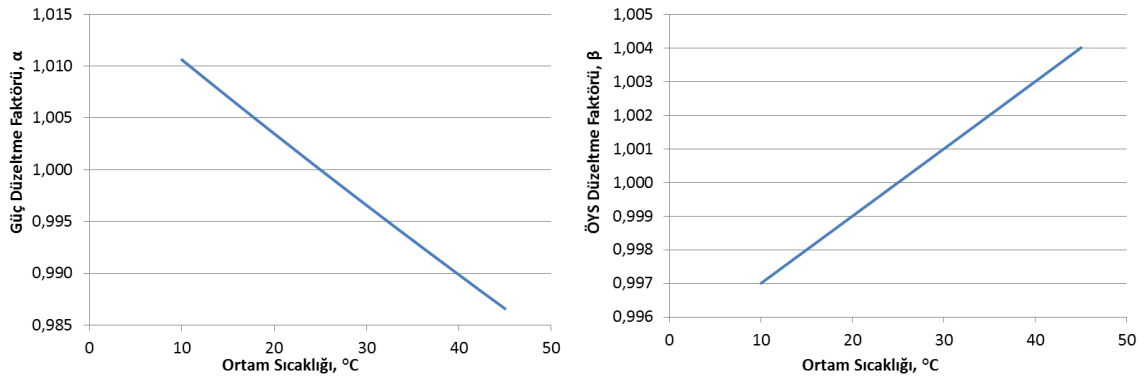
Güç düzeltme faktörü;

$$\alpha = k - 0,7 \times (1 - k) \times \left(\frac{1}{\eta_m} - 1 \right) \quad (5.2)$$

Burada η_m motorun mekanik verim değeridir. ÖYS düzeltme faktörü de aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$\beta = \frac{k}{\alpha} \quad (5.3)$$

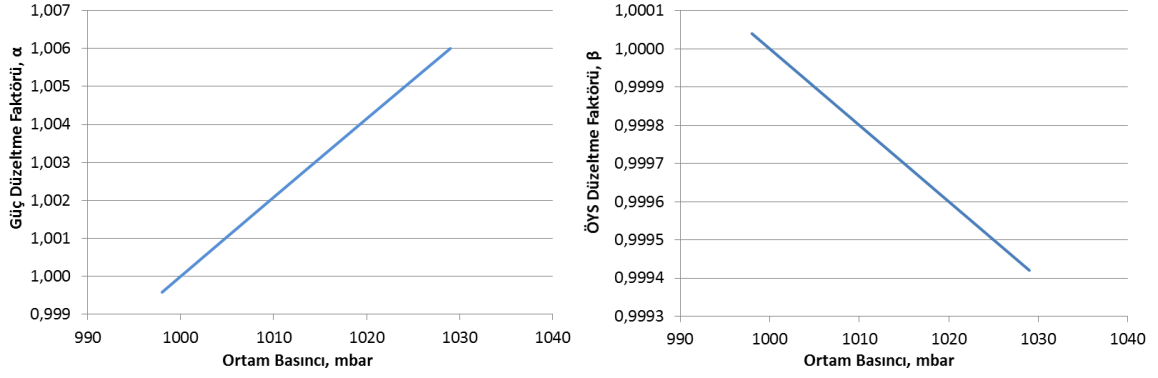
Şekil 5.17 ortam sıcaklığının güç ve özgül yakıt sarfiyatına olan etkilerini göstermektedir. Güç ve ÖYS için düzeltme faktörleri ölçülen performans verilerini düzeltmek için çarpan olarak kullanılırlar. ISO referans şartı olan 25 °C ortam sıcaklığı için güç ve ÖYS düzeltme faktörleri 1,000'dir. Şekilden de görüldüğü üzere, ortam sıcaklık artışıyla birlikte güç düzeltme faktörü azalmakta, ÖYS düzeltme faktörü ise artmaktadır.



Şekil 5. 17 Ortam sıcaklığının güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri

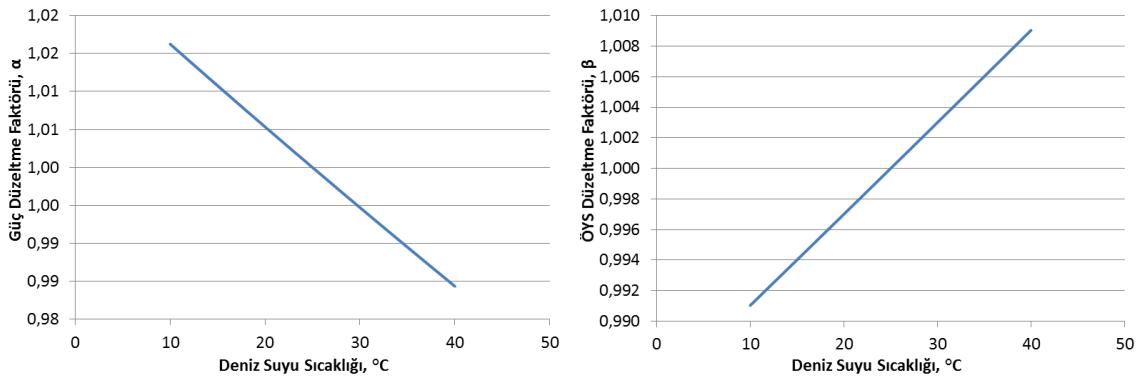
Şekillerden de görüleceği üzere standart çevre şartlarından uzaklaşma performansı etkilemektedir. Sıcaklığın 25 °C ortam sıcaklığından 45 °C ye çıkması durumunda güçteki azalma %14 ler civarındadır. Benzer durum ÖYS' de de görülmektedir. 20 °C lik sıcaklık artışı ÖYS' de %4'e varan oranda bir artışa neden olmaktadır.

Şekil 5.18 ortam basıncının güç ve özgül yakıt sarfiyatına olan etkilerini göstermektedir. ISO referans şartı olan 1000 mbar ortam basıncı için güç ve ÖYS düzeltme faktörleri 1,000'dir. Şekilden de görüldüğü üzere, ortam sıcaklık artışıyla birlikte güç düzeltme faktörü artmakta, ÖYS düzeltme faktörü ise azalmaktadır.



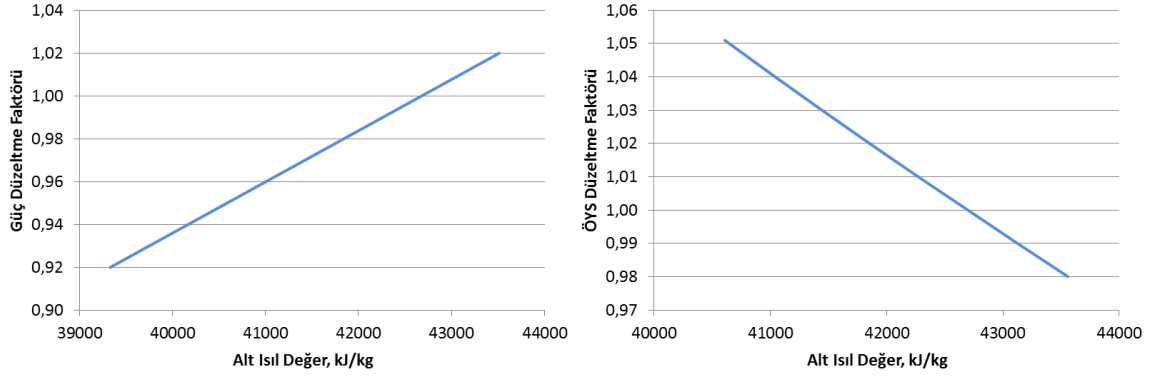
Şekil 5. 18 Ortam basıncının güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri

Şekil 5.19 ise deniz suyu sıcaklığının güç ve özgül yakıt sarfiyatına olan etkileri görülmektedir. ISO referans şartı olan 25 °C deniz suyu sıcaklığı için güç ve ÖYS düzeltme faktörleri 1,000'dir. Şekilden de görüldüğü üzere, ortam sıcaklık artışıyla birlikte güç düzeltme faktörü azalmakta, ÖYS düzeltme faktörü ise artmaktadır.



Şekil 5. 19 Deniz suyu sıcaklığının güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri

Alt ısı değer gerek güç gerekse ÖYS üzerinde etkilidir. Standart yakıtın ısı değerine göre gemide kullanılan yakıtın alt ısı değeri düştükçe hem güç hem de ÖYS olumsuz etkilenir. Şekil 5.20 alt ısı değerinin (H_u) güç ve özgül yakıt sarfiyatına olan etkilerini göstermektedir. Referans yakıtın alt ısı değeri 42700 kJ/kg olup bu değer için güç ve ÖYS düzeltme faktörleri 1,000'dir. Şekilden de görüldüğü üzere, alt ısı değerinin artışıyla birlikte güç düzeltme faktörü artmakta, ÖYS düzeltme faktörü ise azalmaktadır.



Şekil 5. 20 Alt ısı değerinin güç ve özgül yakıt sarfiyatına etkileri [107]

5.4 Bozunumların Hesaplanması

Daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere “Bozunum; performans değerlendirme sisteminde ekipman performansındaki mekanik problemler, yıpranma, yaşlanma, aşınma, kirlenme gibi nedenlerden dolayı zamanla meydana gelen kötüleşmeye denir. Ekipmanda meydana gelen bozunumu hesaplamak için, öncelikle güç ve yakıt sarfiyatı yüksek doğruluğa sahip ölçüm cihazlarıyla ölçülmelidir. Ortam sıcaklığı, basıncı, deniz suyu sıcaklığı, yakıt alt ısı değeri gibi müdahale edemeyeceğimiz değerleri kullanarak düzelttikten sonra ölçtüğümüz değerle birlikte “Gerçek Performans Eğrisi” meydana getirilir. “Beklenen Performans Eğrisi” üzerindeki beklenen değer noktası fabrika test/sevir tecrübesi şartlarındaki performans değerini göstermektedir. Referans Değer ise ortam sıcaklığı, basıncı ve deniz suyu sıcaklığı ve kullanılan yakıt şartlarına göre düzeltilmiş güç değerini göstermektedir.

Bozunum kendi arasında işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler, bakım ve onarımla yapılabilecek iyileştirmeler, rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler ve yıpranma, yaşlanma gibi geri kazanılması daha zor olan bozunumlar olarak ayrıştırılacaktır. Burada işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler ile bakım ve onarımla yapılabilecek iyileştirmeler adında da geçtiği üzere motorun işletilmesi veya planlı bakımı esnasında giderilebilir. Fakat rehabilitasyonla yani silindir gömleği, piston gibi parçaların aşınmadan dolayı değiştirilmesi kısa bir periyotta gerçekleşmez.

Bozunumların hesaplanmasında kullanılan güç ve ÖYS için performans eğrileri Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de gösterilmiştir. Grafiklerde alttaki eğri gerçek performansı, üstteki

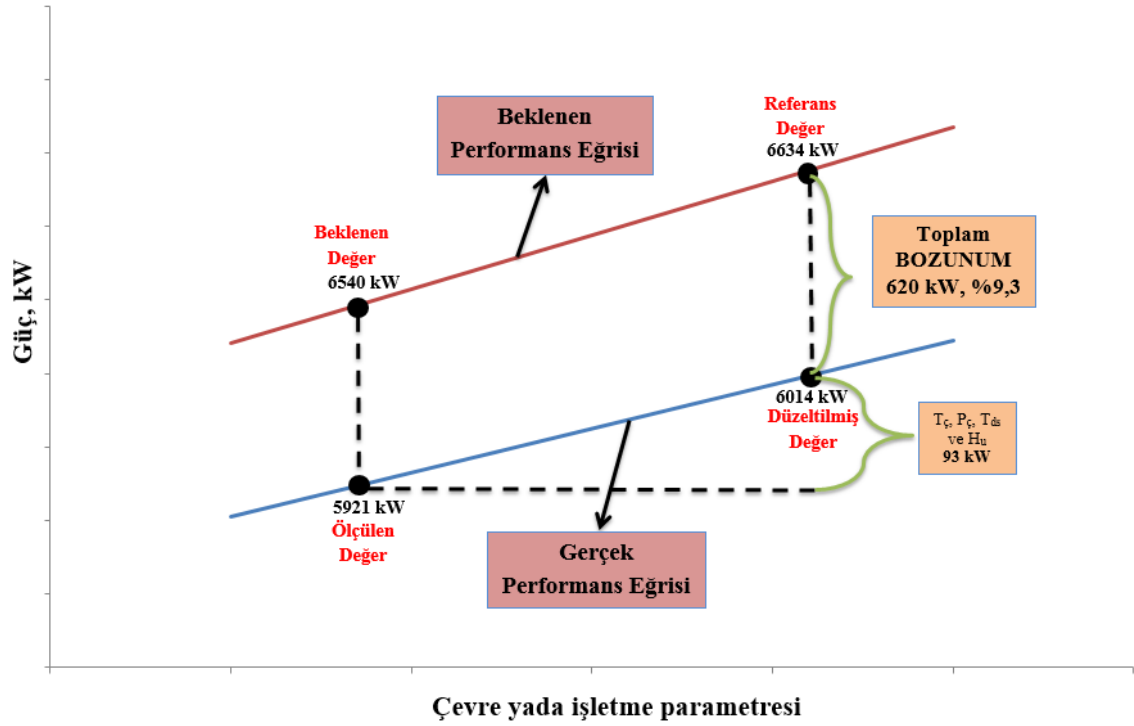
eğri ise beklenen performansı gösterir. Gerçek performans eğrisi üzerinde ölçülen ve düzeltilmiş performans (ÖYS ve güç) noktaları vardır. Beklenen performans eğrisi üzerinde de beklenen ve referans performans noktaları mevcuttur. Her iki eğrideki ölçülen ve beklenen performans noktalarındaki değerler ortam sıcaklığı, ortam basıncı, deniz suyu sıcaklığı ve yakıt alt ısı değerine göre düzeltilerek referans ve düzeltilmiş performans noktaları bulunur. Bu parametreler sistem işletmecisi tarafından kontrol edilemediği için bu noktalar arasındaki hem güç hem de ÖYS değerleri için farklar bozunum olarak kabul edilmezler.

Bu tez çalışmasında beklenen performans eğrisindeki noktalar seyir tecrübesinde ölçülen değerlerdir. Gerçek performans eğrisindeki noktalar ise ölçümler sonucunda elde edilen verilerden oluşur.

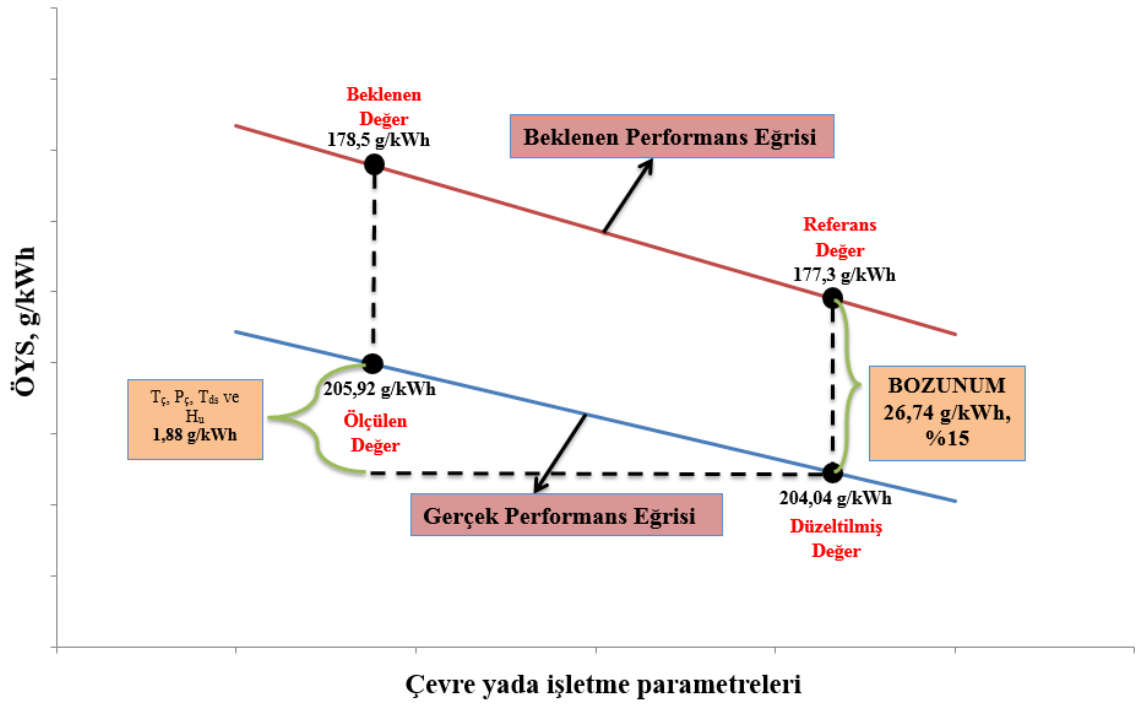
Şekil 5.21 ve Şekil 5.22'den de görüldüğü üzere, beklenen performans eğrisi üzerindeki ÖYS ve güç için referans performans noktaları ile gerçek performans eğrisi üzerindeki yine hem güç hem de ÖYS için düzeltilmiş performans noktaları arasındaki farklar güç ve ÖYS'deki toplam bozunumları verir.

M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden alınan güç ve ÖYS değerleri sırasıyla 5921 kW ve 205,92 g/kWh olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler ortam sıcaklığı, ortam basıncı, deniz suyu sıcaklığı ve yakıtın alt ısı değerine göre düzeltildiğinde düzeltilmiş güç ve ÖYS değerleri sırasıyla 6014 kW ve 204,04 g/kWh olarak bulunurlar. Seyir tecrübesinde ölçülen 6540 kW ve 178,5 g/kWh güç ve ÖYS değerleri, ortam sıcaklığı, ortam basıncı, deniz suyu sıcaklığı ve yakıtın alt ısı değerine göre düzeltilerek beklenen performans eğrisi üzerindeki güç ve ÖYS değerleri için referans değerleri sırasıyla 6634 kW ve 177,3 g/kWh olarak bulunmuştur.

Yukarıdaki hesaplanan ve ölçülen değerlerle birlikte M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinin güç ve ÖYS toplam bozunum değerleri sırasıyla 620 kW ve 26,74 g/kWh olarak hesaplanmıştır.



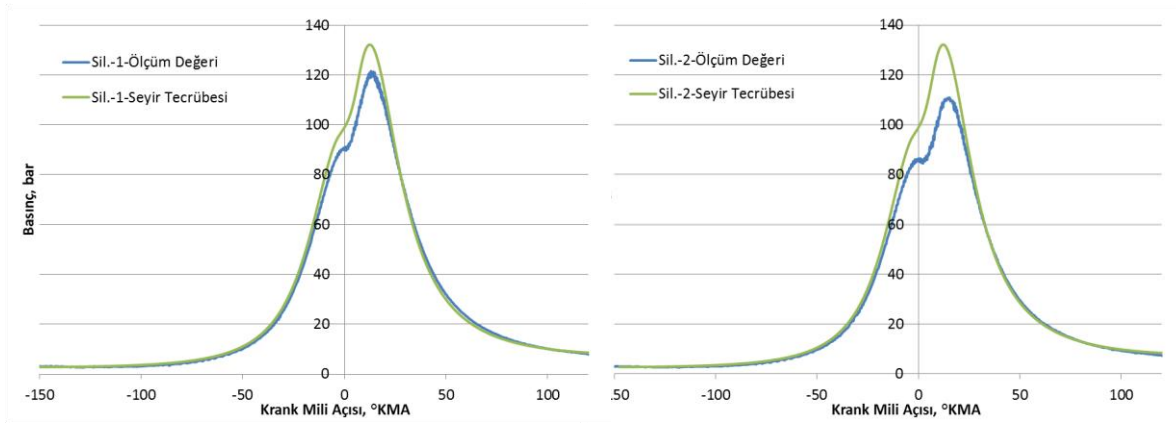
Şekil 5. 21 M/V İnce İnebolu gemisi ana makine güç bozunum değerleri



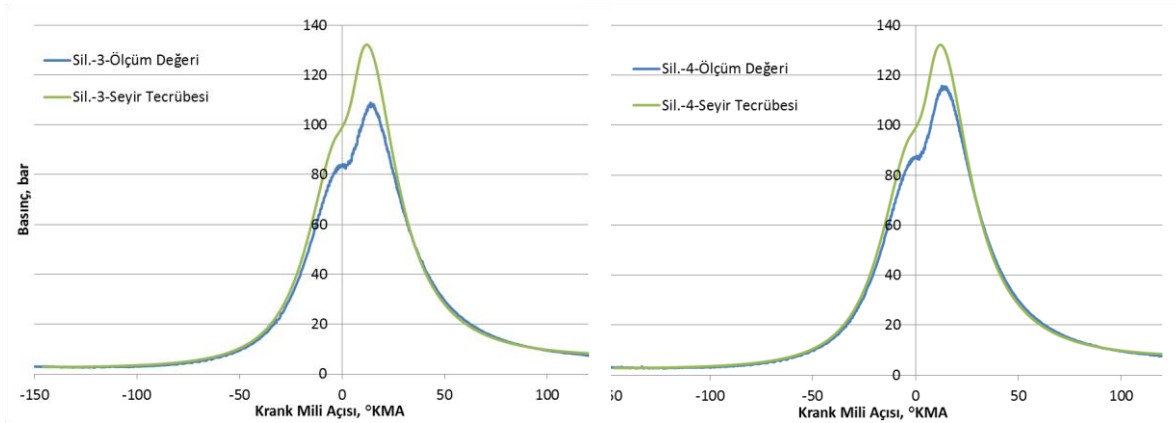
Şekil 5. 22 M/V İnce İnebolu gemisi ana makine ÖYS bozunum değerleri

Hava giriş sıcaklığı, hava giriş basıncı, pompa avansı, püskürtme basıncı ve sıkıştırma basıncının ana makine performans bozunumu üzerine etkileri işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmelerle ve bakım-onarımla yapılabilecek iyileştirmelerle

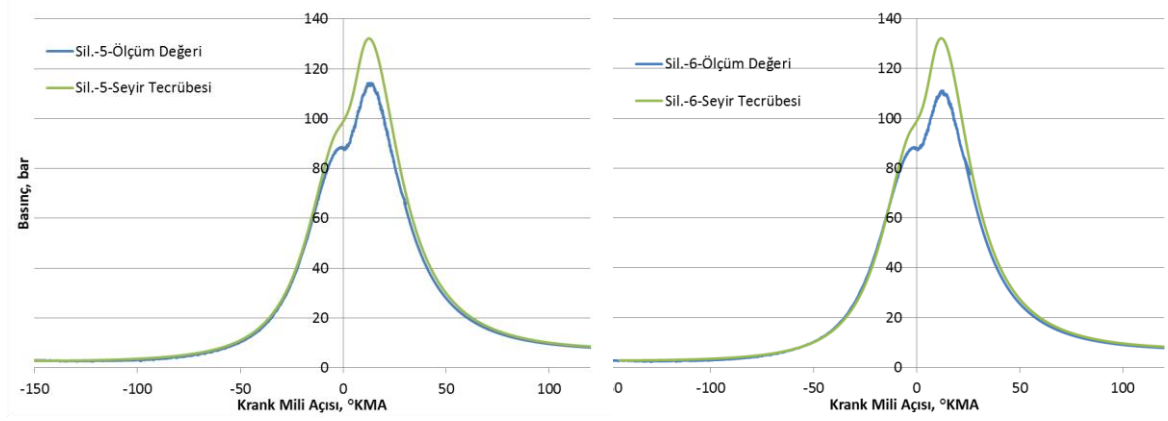
giderilebilenler olarak ayrılabilirler. Fakat bunların dışındaki iyileştirmelerin nedenleri ayırmak oldukça zordur. Bunun nedeni de yukarıda sayılan bozunumlar dışındaki bozunumların aşamalı olarak uzun süreçler sonrasında meydana gelmesidir. Diğer bozunum nedenlerine bakacak olursak bunlar yıpranma, yaşlanma, kötüleşme gibi nedenler olarak sıralanabilir.



Şekil 5. 23 No:1-2 silindir içi basınç bozunum değerleri



Şekil 5. 24 No:3-4 silindir içi basınç bozunum değerleri



Şekil 5. 25 No:5-6 silindir içi basınç bozunum değerleri

Şekil 5.23, Şekil 5.24 ve Şekil 5.25 M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinin sırasıyla No:1-2, No:3-4 ve No:5-6 silindirlerdeki seyir tecrübesi ve ölçülen değerlerin basınç-krank açısı grafikleri yardımıyla meydana gelen bozunumları göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere ölçümler sonucunda meydana gelen basınç-krank açısı grafiğinde oluşan maksimum basınçlar (P_{maks}) ve kompresyon basınçları (P_{komp}) seyir tecrübesi ölçümlerine göre azalmıştır. Ayrıca, grafiklerden çevrim esnasında üretilen güçlerde de her bir silindir için bozunumların meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 5. 1 M/V İnce İnebolu gemisi ana makinesi için ayrıştırılmış bozunum değerleri

Bozunum Parametreleri	Seyir Tecrübe Değeri	Ölçülen Değer	Güç Faktörü	Bozunum (kW)	ÖYS Faktörü	Bozunum (g/kWh)
			$P_{ölçülen}=5921 \text{ kW}$		$\text{ÖYS}_{ölçülen}=205,92$	
$T_{hava, giriş}, ^\circ\text{C}$	38	50	0,9762	-141	1,0121	+2,49
$P_{hava, giriş}, \text{bar}$	2,8	2,7	0,9851	-88	1,0112	+2,32
Avans, $^\circ\text{KMA}$	-3,5	-1,5	0,9864	-81	1,0182	+3,76
$P_{kompresyon}, \text{bar}$	98,3	89,2	0,9782	-129	1,0374	+7,72
$P_{püskürtme}$	300	290	0,9853	-87	1,0235	+4,85
Diğerleri (Yıpranma, Yaşlanman vb.)				-94		+5,60
TOPLAM				-620		+26,74

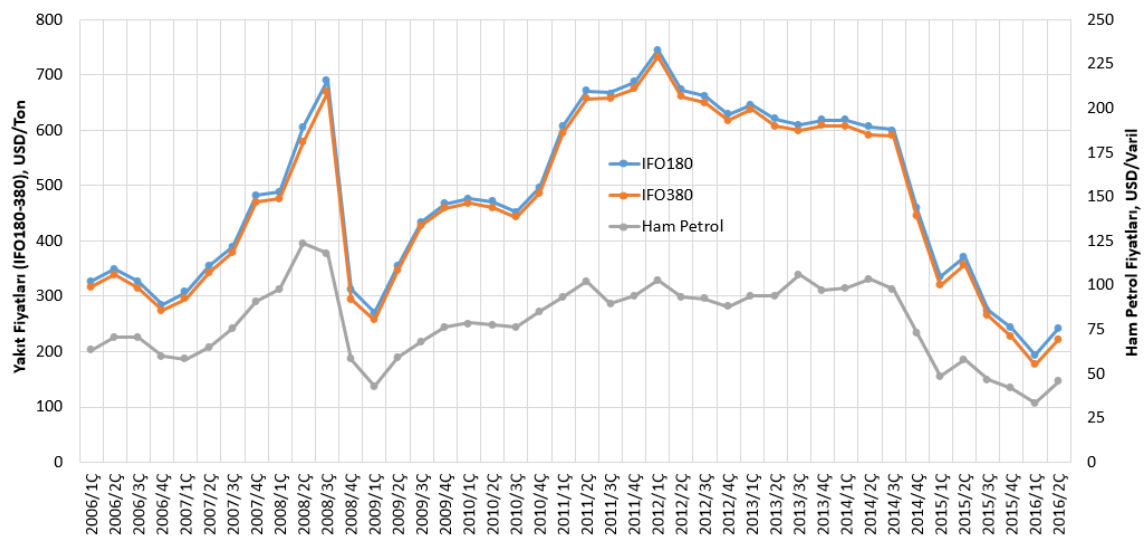
Çizelge 5.1 M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinde meydana gelen bozunumların ayrıştırılmış hallerini göstermektedir. Çizelgede görülen bozunumlar işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler, bakım ve onarımla yapılabilecek iyileştirmeler, rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler olarak ayrılabilirler. Burada işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler ile bakım ve onarımla yapılabilecek iyileştirmelerin yani güç ve ÖYS değerlerindeki bozunumlar sırasıyla 526 kW ve 21,14 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer bozunumlar olarak ifade edilen rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler 94 kW ve 5,60 g/kWh olarak hesaplanmıştır.

5.5 Bozunumların Maliyeti – Ekonomik Bozunum

Bozunumların maliyet analizi, yapılacak olan bakım tutumun ne zaman yapılacağı ile ilgili optimum bir zaman dilimi bulmamızı sağlar. Ayrıca bozunumların motor çalışma saatine göre parasal olarak ne kadarlık bir kayıp meydana getirdiğini gösterir.

Bozunumların maliyeti kullanılan yakıtın türü ve fiyatı ile ilgilidir. Gemi sevk sisteminde kullanılan dizel motorlarında kullanılan yakıtlar da genel itibariyle IFO180 ve IFO380 olarak bilinirler.

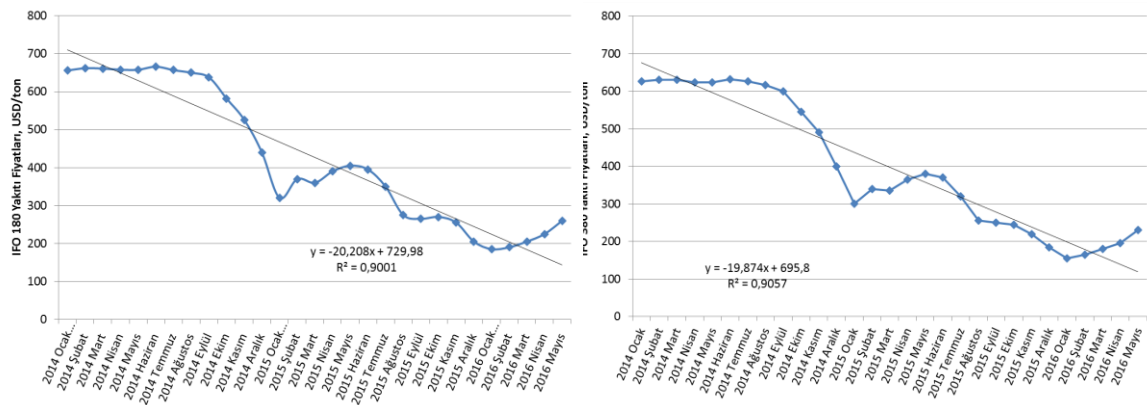
Petrol fiyatlarındaki dalgalanma dolayısıyla gemilerde kullanılan yakıtların fiyatlarını da etkilemiştir. Son 10 yıl içerisindeki yakıtın (IFO 180, IFO 380) ton fiyatlarının değişimiyle, ham petrolün varil fiyatındaki değişimler Şekil 5.26’da gösterilmiştir [108,109].



Şekil 5. 26 Ham Petrol, IFO180 ve IFO380 yakıt fiyatlarındaki son 10 yıllık değerler

Şekil 5.26'da görüldüğü üzere ham petrol fiyatları ile IFO 180-380 yakıt fiyatları paralellik göstermektedir. Ham petrol fiyatlarının küresel ekonomik krizin yaşandığı 2008 yılı son çeyreği ile 2009 yılı ilk çeyreğinde dip yaptığı görülmektedir. Ayrıca 2016 yılının ilk çeyreğinde 2009 yılı fiyatlarının da altına indiği görülmektedir.

Şekil 5.27'de ise IFO180 ve IFO380 yakıtlarının 2014 Ocak-2016 Mayıs fiyatları gösterilmiştir. Görüldüğü üzere düşüş trendinin 2016 yılı Ocak ayında son 10 yılın dibine ulaştığı görülmüştür ve bu tarihten itibaren yukarı yönlü çıkış eğilimindedir. Bu yüzden yakıt için eskalasyon değeri alınması zor gözükmemektedir.



Şekil 5. 27 Ocak 2014-Mayıs 2016 tarih aralığındaki IFO 180 ve IFO380 fiyatları [110]

Gemi dizel motorlarında yakıt fiyatlarındaki değişkenlikten dolayı ekonomik analizlerin yapılması zordur. Bu nedenle, bilinen bir periyottaki yakıt fiyatları referans bir tarihe, geçerli faiz ve artış oranıyla hesaplanan parasal değer bugünkü toplam değere getirilir. Yakıt fiyatları için eskalasyon oranı da belirlenerek yakıt fiyatları için öngörülen değere göre hesap yapılır. Böylelikle bir değere getirilmiş birim yakıt fiyatı ile belirlenen zaman aralığında yakıtların fiyat eskalasyonunu ve paranın zaman içindeki değerini dikkate alan bir tek yakıt fiyatı elde edilmiş olur [106].

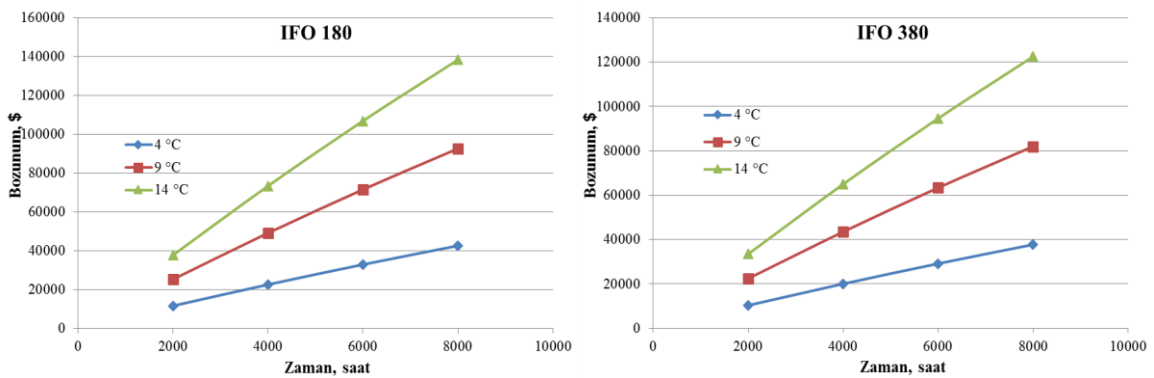
Bu tez çalışmasında, Mayıs 2016 yakıt fiyatları dikkate alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Ayrıca çıkış eğiliminde olan yakıt için %2, %5 ve %7 eskalasyon değerleri için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankasının 3 aylık Amerikan Doları faiz oranları dikkate alınmıştır [111].

Bozunumların maliyeti; motor hava giriş sıcaklığı (ara soğutucu sonrası), basıncı (turbo doldurucu sonrası), pompa avansı, sıkıştırma basıncı ve püskürtme basıncı

parametreleri için incelenmiştir. Bu parametrelerin 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat çalışma sonucunda meydana gelecek bozunumların şimdiki değer hesapları yapılmıştır.

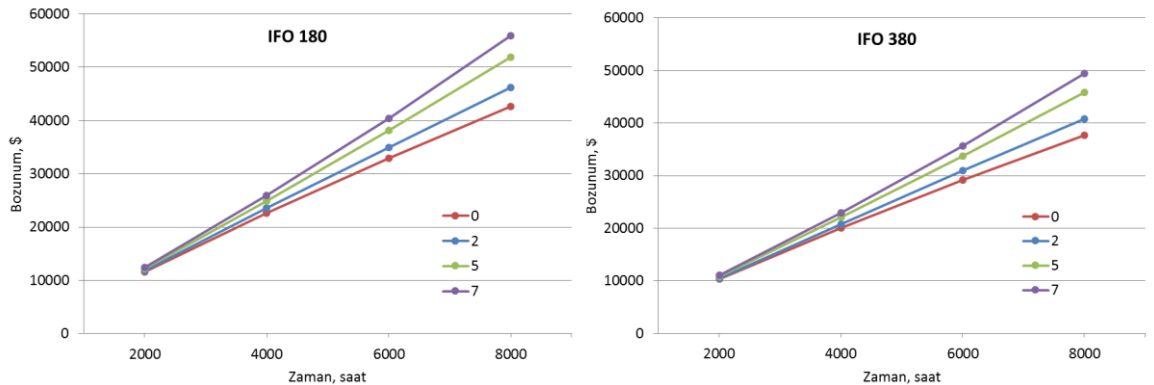
5.5.1 Hava Giriş Sıcaklığı için Bozunum Maliyeti

Şekil 5.28’de IFO180 ve IFO380 yakıtlar için hava giriş sıcaklığının 4°C, 9°C ve 14 °C artması sonucunda 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat sonunda meydana gelen bozunumun maliyeti gösterilmiştir. Sıcaklığın artışıyla birlikte bozunum maliyetin yani zararın hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.



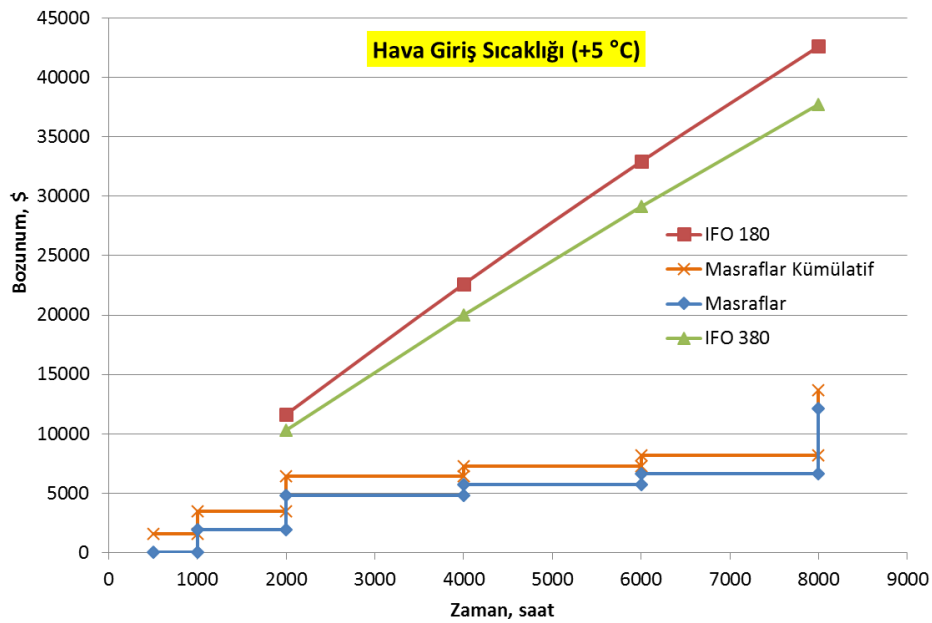
Şekil 5. 28 Farklı sıcaklık değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.29’da yakıt fiyatlarındaki son 10 yılda meydana gelen artış ve azalışlar gözönünde bulundurularak yakıt fiyatlarında 3 aylık %2, %5 ve %7 eskalasyon oranları ve hava giriş sıcaklığının 5 °C artış durumuna göre bozunum maliyetindeki artışlar gösterilmiştir. Eskalasyon oranlarının artışı çalışma saati arttıkça anlamlı bir boyut kazanmaktadır.



Şekil 5. 29 Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.30'da M/V İnce İnebolu gemisi için hava giriş sıcaklığının 5 °C arttığı durumda farklı çalışma saatlerine göre meydana gelen bozunumun maliyetleri gösterilmiştir. Ayrıca meydana gelen bozunumun bakım-tutum işleminin yapılması için gerekli maliyetlerinde meydana gelen kümülatif artışları da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere bakım tutum işlemi yapılmadığı her bir zaman dilimi için masraflarla bozunumun maliyeti arasındaki açıklığın arttığı, dolayısıyla da bakım tutumun 500 saatlik çalışma saatine gelinmeden yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5. 30 Hava giriş sıcaklığının 5 °C artışı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

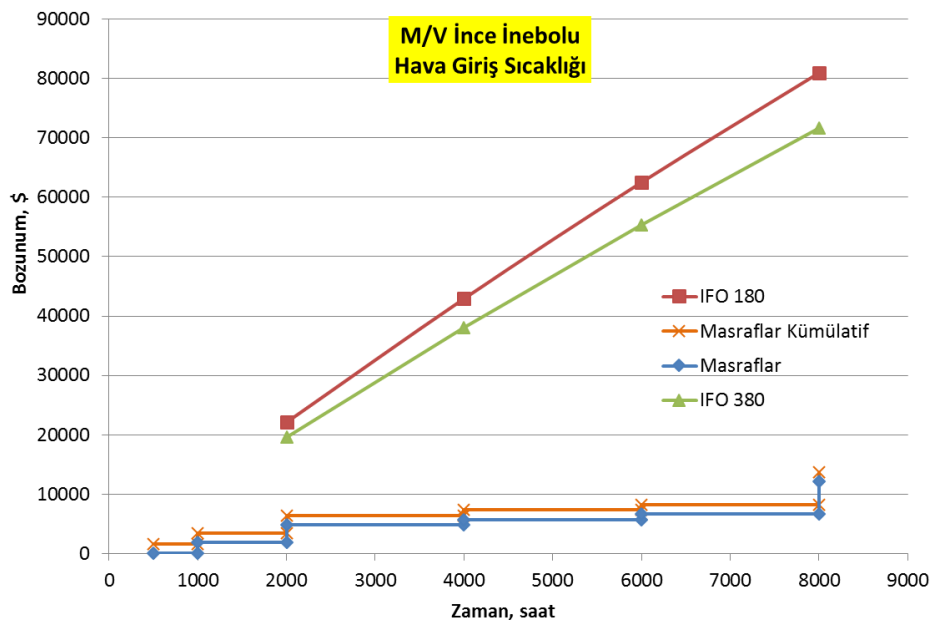
Çizelge 5. 2 Hava giriş sıcaklığı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri

Masraflar = I	Miktar	Fiyat, \$	Bakım Saati, h
Ara soğutucu hava tarafı bakımı	1	500	2000h
Ara soğutucu deniz suyu tarafı bakımı	1	200	2000h
Skavenç temizliği	1	200	2000h
Aşınma Ringi (Deniz Suyu pompası) değişimi	1	1600	8000h
İmpeller (Deniz Suyu pompası) değişimi	1	3000	8000h

Çizelge 5.2'de hava giriş sıcaklığı değişimine bağlı olarak yapılabilecek olan bakım tutum işlemleri ile saatleri ve masraf tutarları verilmiştir. Örneğin ara soğutucunun hava tarafının bakım tutum periyodu 2000 saattir [107] ve bu bakım tutum için (kirli olması durumunda) yapılacak masraf yaklaşık olarak 500 USD'dir. Bu değerler 2016 yılı

için gemi işletmecisinden temin edilmiştir. Şekil 5.30 ve 5.31'deki masraflar çizelge kullanılarak hesaplanmıştır.

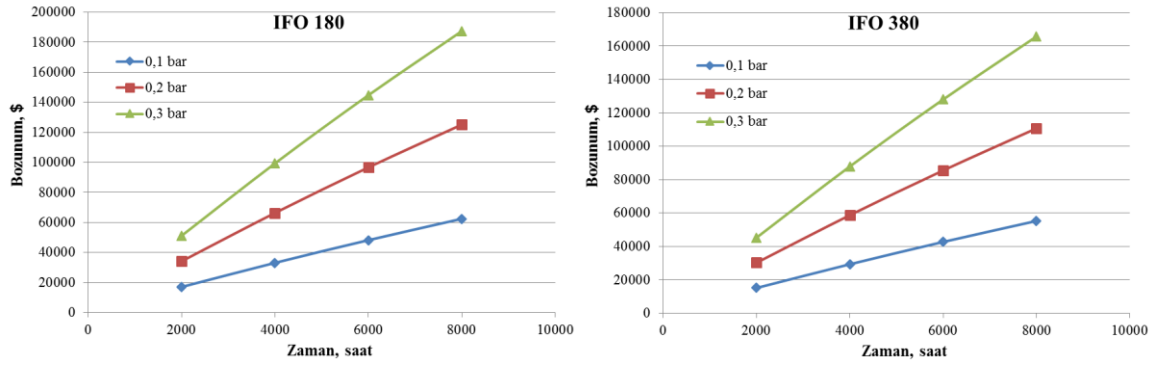
Şekil 5.31'de ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden ölçüm alındığı zaman diliminden 2000, 4000, 6000 ve 8000 saatlik çalışma zamanlarına kadar meydana gelecek bozunumun maliyeti ve masraflar gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere düşük bir bakım-tutum masrafıyla büyük bir bozunum maliyetinden tasarruf edilebilmektedir. Hava sıcaklığı ile ilgili bakım tutumların örneğin ara soğutucunun deniz suyu veya tatlı su tarafının temizlenmesi, skavenç temizliği gibi bakım tutum işlemlerin maksimum 500 saat çalışması sonrasında yapılması sonucu çıkmaktadır. Aksi takdirde meydana gelen bozunumun maliyeti çok hızlı bir artış göstermektedir.



Şekil 5. 31 Ölçülen hava giriş sıcaklığı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

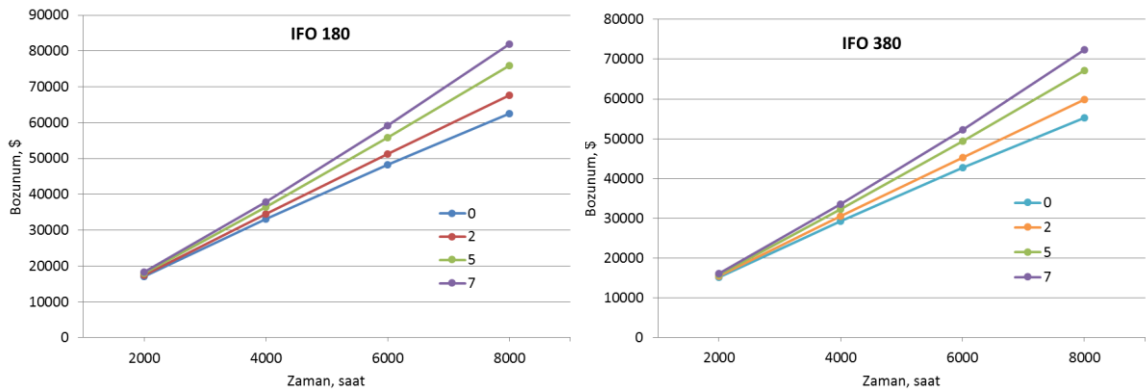
5.5.2 Hava Giriş Basıncı için Bozunum Maliyeti

Şekil 5.32'de IFO180 ve IFO380 yakıtlar için hava giriş basıncının 0,1 bar, 0,2 bar ve 0,3 bar azalması sonucunda 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat sonunda meydana gelen bozunumun maliyeti gösterilmiştir. Basıncın azalmasıyla birlikte bozunum maliyetinin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 32 Farklı basınç değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

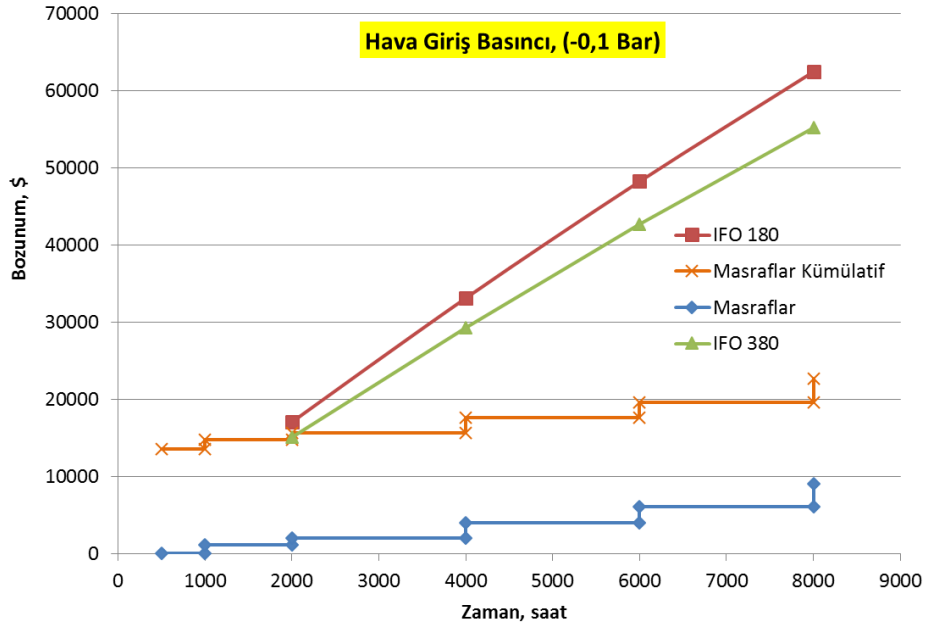
Şekil 5.33’de yakıt fiyatlarındaki son 10 yılda meydana gelen artış ve azalışlar gözönünde bulundurularak yakıt fiyatlarında 3 aylık %2, %5 ve %7 eskalasyon oranları ve hava giriş basıncının 0,1 bar azalma durumuna göre bozunum maliyetindeki artışlar gösterilmiştir. Eskalasyon oranlarının artışı çalışma saati arttıkça anlamlı bir boyut kazanmaktadır.



Şekil 5. 33 Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.34’de M/V İnce İnebolu gemisi için hava giriş basıncının 0,1 bar azalması durumunda ve ana makinenin 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat çalışması durumuna göre meydana gelen bozunumun maliyetleri ve meydana gelen bozunumun bakım-tutum işleminin yapılması için gerekli maliyetlerindeki kümülatif artışlar da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere bakım tutum işlemi yapılmadığı her bir zaman dilimi için masraflarla bozunumun maliyeti arasındaki açıklığın arttığı, dolayısıyla da bakım tutumun 500 saatlik çalışma saatine gelinmeden yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ayrıca ilk yatırım maliyeti hesaba katılarak hesaplanan kümülatif

masraflara bakıldığında ana makinenin 2000 saat çalışması durumunda meydana gelen bozunumla yapılacak bakım tutum masraflarının, örneğin ara soğutucu hava tarafının temizlenmesi, turbo doldurucu bakımı, yardımcı aşırı doldurucu bakımı gibi, üst üste çakıştığı görülmektedir. Bu noktadan sonra yapılmayacak her bir bakım tutumla bozunum maliyeti arasındaki açıklık artmaktadır. Hava giriş basıncı ile ilgili bakım tutumların 500 saat ile 2000 saat arasında yapılması gerektiği görülmektedir.



Şekil 5. 34 Hava giriş basıncının 0,1 Bar azalması için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

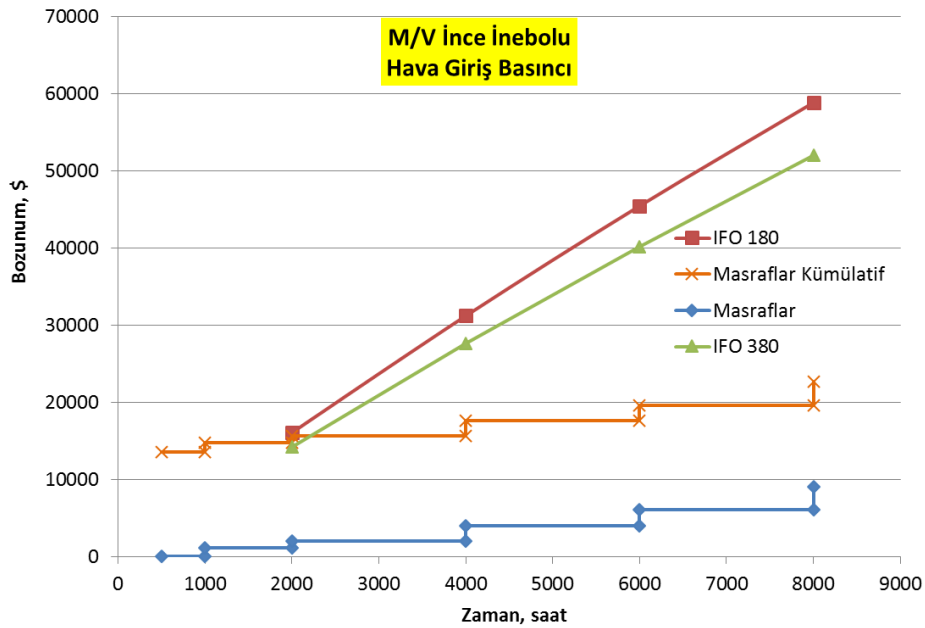
Çizelge 5. 3 Hava giriş basıncı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri

Masraflar = I	Miktar	Fiyat, \$	Bakım Saati, h
Kuler hava tarafı bakımı	1	500	2000
Kompresör tarafı elyaf filtresi değişimi	1	50	200
Türbin kanatları bakımı	1	100	200
Turbocharger overholü	1	12000	24000
Yardımcı bloverlerin bakımı	2	1000	8000

Çizelge 5.3’de hava giriş basıncı değişimine bağlı olarak yapılacak olan bakım tutum işlemleri ile saatleri ve masraf tutarları verilmiştir. Örneğin türbin kanatlarının kirli olması durumunda yapılacak masraflar yaklaşık olarak 100 USD’ dir ve bu bakım tutumun 200 saatte bir yapılması önerilmiştir [107]. Bu değerler 2016 yılı için gemi

işletmecisinden temin edilmiştir. şekil 5.34 ve 5.35’deki masraflar çizelge kullanılarak hesaplanmıştır.

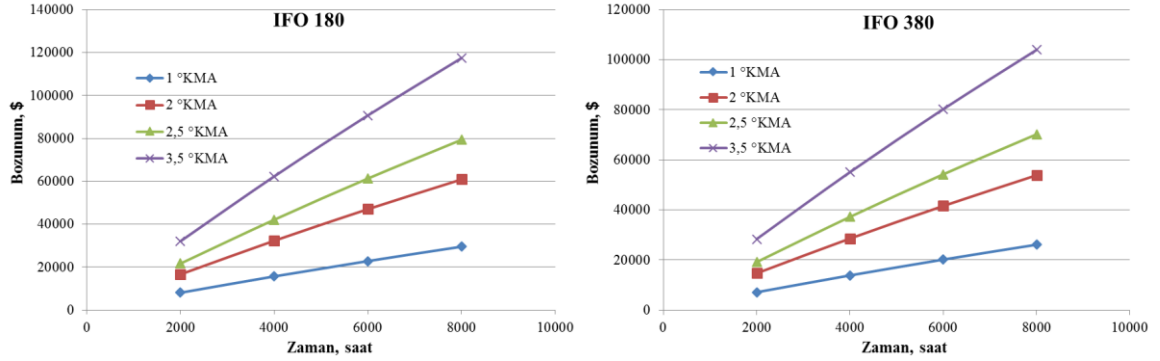
şekil 5.35’te ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden hava giriş basıncı ölçüm alındığı zaman diliminden 2000, 4000, 6000 ve 8000 saatlik çalışma zamanlarına kadar meydana gelecek bozunumun maliyeti ve masraflar gösterilmiştir. şekilden görüldüğü üzere düşük bir bakım-tutum masrafıyla büyük bir bozunum maliyetinden tasarruf edilebilmektedir. Hava sıcaklığı ile ilgili bakım tutumların örneğın ara soğutucunun hava tarafının temizlenmesi, kompresör tarafının elyaf filtresinin değıştirilmesi gibi küçük bakım tutum işlemlerinin ana makinenin maksimum 500 saat çalışması sonrasında yapılması gerektiğı sonucu çıkmaktadır. Aksi takdirde meydana gelen bozunumun maliyeti çok hızlı bir artış göstermektedir. Turbo doldurucu veya yardımcı aşırı doldurucular gibi büyük bakım tutum işlemleri de hesaba katılarak ilk yatırım masraflarının kümülatif olarak artacağı düşünülerek incelendiğı zaman bu işlemin 2000 saat ve sonrasında bozunum maliyetiyle masraflar arasındaki farkın artacağı görülmektedir.



şekil 5. 35 Ölçülen hava giriş basıncı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

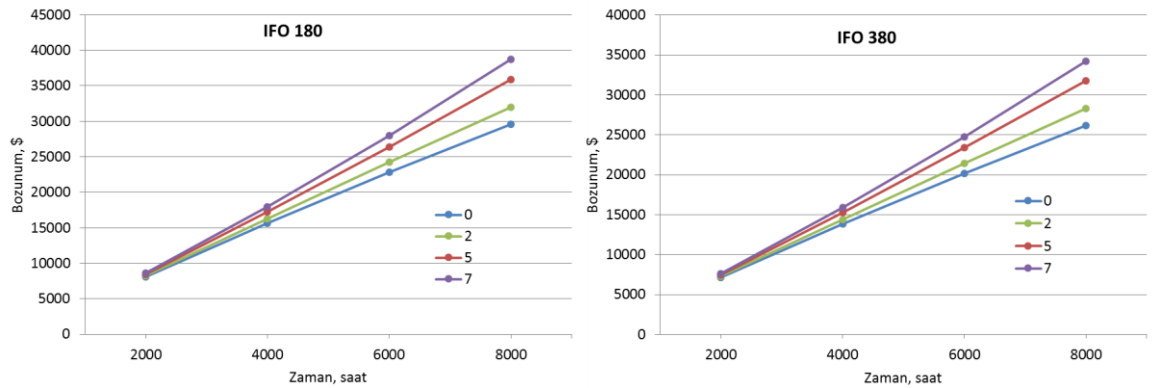
5.5.3 Yakıt Pompa Avansı için Bozunum Maliyeti

Şekil 5.36’da IFO180 ve IFO380 yakıtlar için pompa avansının 1 °KMA, 2 °KMA, 2,5 °KMA ve 3,5 °KMA değişimi sonucunda 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat sonunda meydana gelen bozunumun maliyeti gösterilmiştir. Avansın değişimiyle birlikte bozunum maliyetin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 36 Farklı avans değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.37’de yakıt fiyatlarındaki son 10 yılda meydana gelen artış ve azalışlar gözönünde bulundurularak yakıt fiyatlarında 3 aylık %2, %5 ve %7 eskalasyon oranları ve pompa avansının 1 °KMA değişim durumuna göre bozunum maliyetindeki artışlar gösterilmiştir. Eskalasyon oranlarının artışı çalışma saati arttıkça anlamlı bir boyut kazanmaktadır.

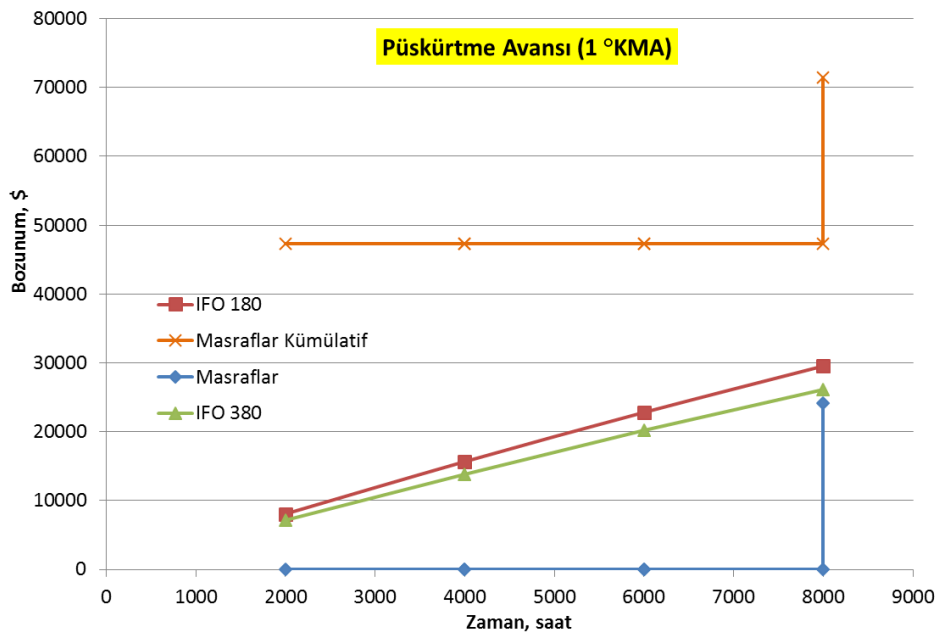


Şekil 5. 37 Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.38’de M/V İnce İnebolu gemisi için pompa avansının her bir silindir için 1 °KMA değişmesi durumunda ve ana makinenin 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat çalışması durumuna göre meydana gelen bozunumun maliyetleri ve bozunumun giderilmesi için

yapılacak bakım-tutum işleminin yapılması için gerekli maliyetlerindeki kümülatif artışlar da gösterilmiştir.

Pompa avansını etkileyen parametrelere bakıldığında pompa ekipmanlarından barrel-plunger, emme valfi ve enjektör gibi ekipmanlardır. Şekilden de görüldüğü üzere bu ekipmanların ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. Burada masraflar ve bozunum ilk yatırım maliyeti olmadığı takdirde ana makinenin 8000 saat çalışması durumunda kesişmektedirler. Bu yüzden masraflar ve bozunum karşılaştırıldığında, pompa avansının 1 °KMA değişim için 8000 saat ve sonrasında bakım tutum yapılması daha iyi bir karar olacaktır.



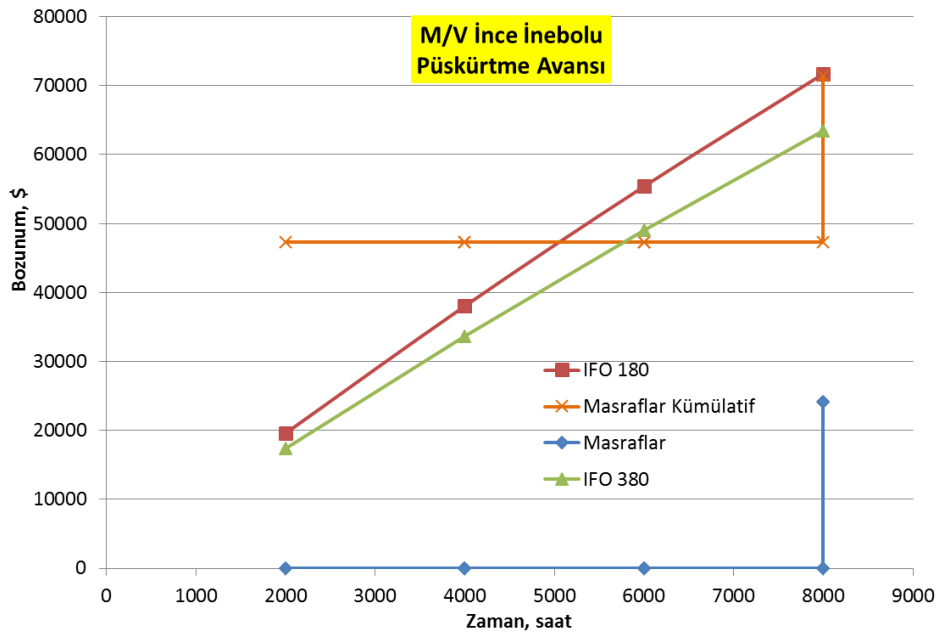
Şekil 5. 38 Avansın 1 °KMA değişimi için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

Çizelge 5. 4 Yakıt pompa avans değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri

Masraflar = I	Miktar	Fiyat, \$	Bakım Saati, h
Plunger barrel değişimi	6	18000	12000
Suction valf değişimi	6	4500	8000
Puncture valf değişimi	6	4500	8000
Enjektör atomizer değişimi	12	9000	8000
Enjektör yay, pul vs. değişimi	12	4200	8000
Yakıt Pompası O-ring komple değişimi	6	2100	12000
VIT Actuator bakımı	6	3000	12000
Booster pompa, Viskozimetre ve emn. V/V	1	2000	8000

Çizelge 5.4’de yakıt pompa avans değişimine bağlı olarak yapılacak olan bakım tutum işlemleri ile saatleri ve masraf tutarları verilmiştir. Örneğin yakıt pompası plunger-barrel değişimi için yapılacak masraflar yaklaşık olarak 18000 USD’ dir ve bu bakım tutumun 12000 saatte bir yapılması önerilmiştir [107]. Bu değerler 2016 yılı için gemi işletmecisinden temin edilmiştir. Şekil 5.38 ve 5.39’daki masraflar çizelge kullanılarak hesaplanmıştır.

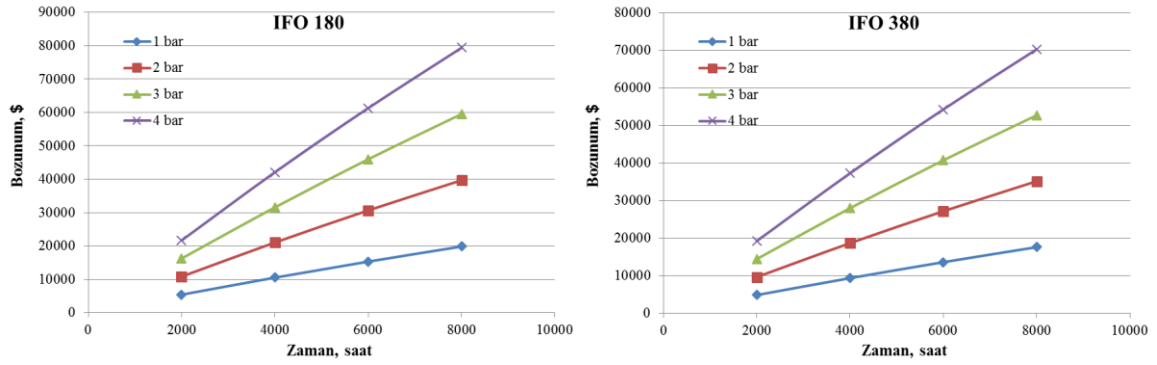
Şekil 5.39’da ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden ölçüm alındığı zaman diliminden 2000, 4000, 6000 ve 8000 saatlik çalışma zamanlarına kadar meydana gelecek bozunumun maliyeti ve masraflar gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere bakım-tutum masrafıyla bozunum yaklaşık 5000 saatte kesişmiştir. 5000 saatten sonra bakım yapılmadığı takdirde bozunum maliyeti hızla artmaktadır.



Şekil 5. 39 Ölçülen avans değeri için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

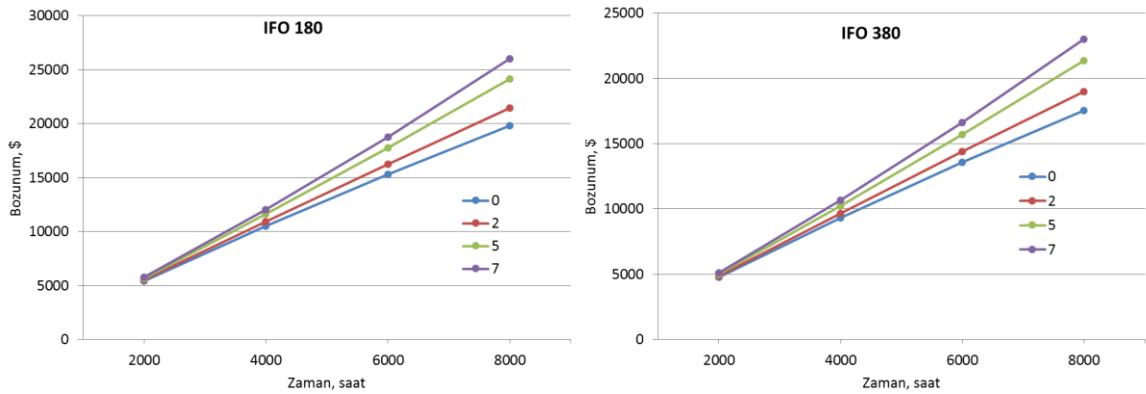
5.5.4 Sıkıştırma Basıncı için Bozunum Maliyeti

Şekil 5.40’da İFO180 ve İFO380 yakıtlar için sıkıştırma basıncının ana makinenin her bir silindiri için 1 bar, 2 bar, 3 bar ve 4 bar azalması neticesinde 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat sonunda meydana gelen bozunumun maliyeti gösterilmiştir. Basıncın azalmasıyla birlikte bozunum maliyetin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.



Şekil 5. 40 Farklı sıkıştırma basınç değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

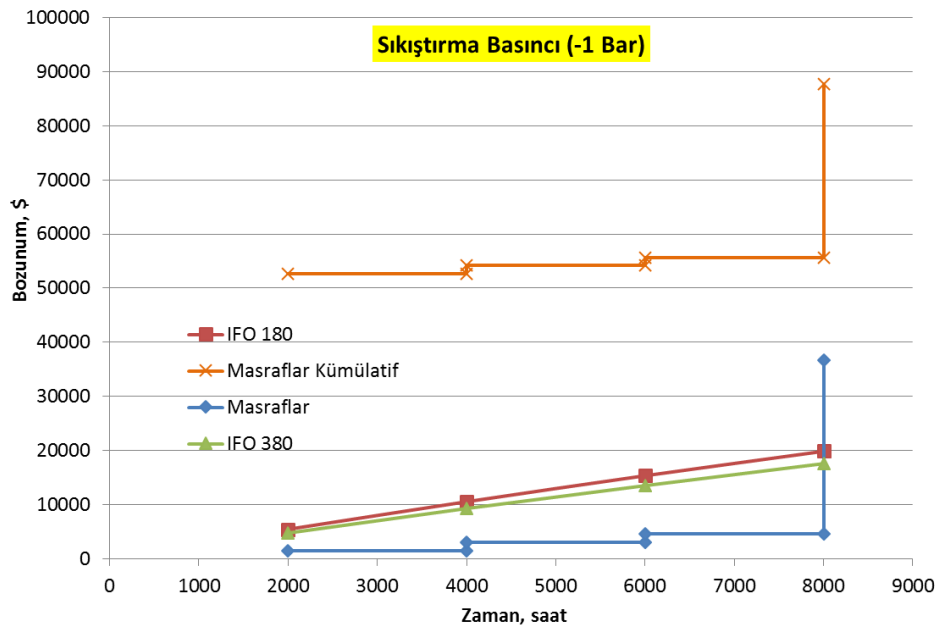
Şekil 5.41’de yakıt fiyatlarındaki meydana gelen artış ve azalışlar gözönünde bulundurularak yakıt fiyatlarında 3 aylık %2, %5 ve %7 eskalasyon oranları ve sıkıştırma basıncının 1 bar değişim durumuna göre bozunum maliyetindeki artışlar gösterilmiştir. Eskalasyon oranlarının artışı çalışma saati arttıkça anlamlı bir boyut kazanmaktadır.



Şekil 5. 41 Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.42’de M/V İnce İnebolu gemisi için sıkıştırma basıncının her bir silindir için 1 bar değişmesi durumunda meydana gelen bozunumun maliyetleri ve bakım-tutum işleminin yapılması için gerekli maliyetlerindeki kümülatif artışlar da gösterilmiştir. Bozunumun giderilmesi için yapılacak maliyetlere bakacak olursak; segmanlar kaçakları, egzoz valfi kaçakları, turbo doldurucu basıncının düşmesi gibi ekipmanlardaki değişimleri söyleyebiliriz. Bunlar kaynaklı ilk yatırım maliyetlerini gözönüne alarak bakıldığında silindirlerdeki 1 bar azalış sonucunda oluşacak bozunumun masraflardan oldukça az olduğu görülmektedir. Fakat diğer durumda bozunumla masrafların 8000

saatte keştiği yani bu durumda bozunuma neden olan etkenlerin 8000 saat olmadan düzeltilmesinin gerekliliği anlaşılmaktadır.



Şekil 5. 42 Sıkıştırma basıncının 1 Bar azalmasına göre bozunum ve masrafların karşılaştırılması

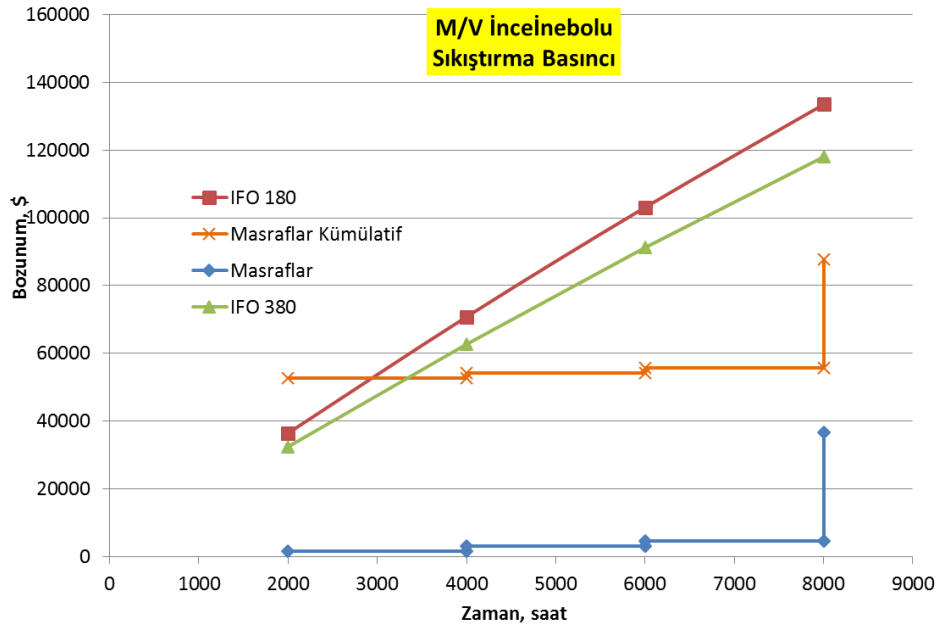
Çizelge 5. 5 Sıkıştırma basıncı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri

Masraflar = I	Miktar	Fiyat, \$	Bakım Saati, h
Segmanların değişimi	24	8400	12000
Egzoz Valfi ve ekipmanları bakımı	6	21000	8000
İndikatör valfi bakımı	6	2100	8000
Kaver contasını değişimi	6	1200	8000
Safety valf bakımı	6	2100	8000
Skavenç temizliği ve kelebek valf bakımı	1	200	8000
Yardımcı blowerlerin bakımı	2	1000	8000
Kuler hava tarafı bakımı	1	2000	8000
Kompresör tarafı elyaf filtresi değişimi	1	50	200
Türbin kanatları bakımı	1	100	200
Turbocharger overholü	1	12000	24000
Yardımcı blowerlerin bakımı	2	1000	8000

Çizelge 5.5’de sıkıştırma basıncı değişimine bağlı olarak yapılacak olan bakım tutum işlemleri ile saatleri ve masraf tutarları göstermektedir. Örneğin egzoz valfi ve ekipmanlarının bakımı için yapılacak masraflar yaklaşık olarak 21000 USD’ dir ve bu

bakım tutumun 8000 saatte bir yapılması önerilmiştir [107]. Bu değerler 2016 yılı için gemi işletmecisinden temin edilmiştir. Şekil 5.42 ve 5.43'deki masraflar çizelge kullanılarak hesaplanmıştır.

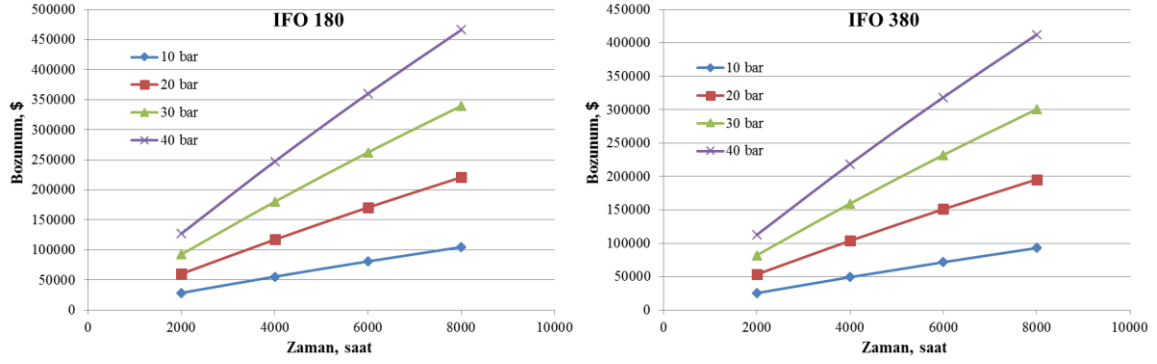
Şekil 5.43'de ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden ölçüm alındığı zaman diliminden 2000, 4000, 6000 ve 8000 saatlik çalışma zamanlarına kadar meydana gelecek bozunumun maliyeti ve masraflar gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere bakım-tutum masrafının 2000 saatte bozunumdan fazla olduğu görülmektedir. Fakat 3000 saatte kesiştiği ve sonrasında da bozunum maliyetlerini masraflardan hızlı bir şekilde ayrıştığı görülmektedir. Ayrıca ilk yatırım maliyeti olmaksızın yapılacak masraflar düşük kaldığı ve bozunumların giderilmesi için yapılacak masrafların biran önce yapılması gerekliliği de şekilden görülmektedir.



Şekil 5. 43 Ölçülen sıkıştırma basıncı için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

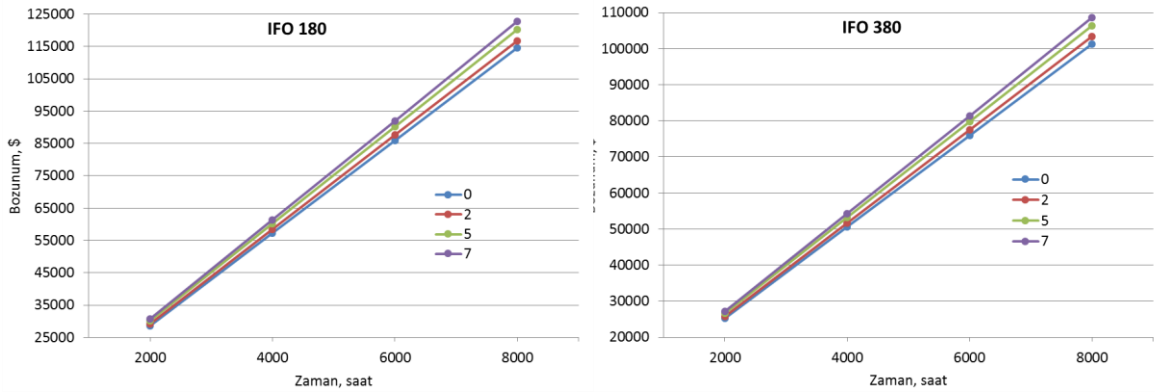
5.5.5 Püskürtme Basıncı için Bozunum Maliyeti

Şekil 5.44'de IFO180 ve IFO380 yakıtlar için püskürtme basıncının ana makinenin her bir silindiri için 10 bar, 20 bar, 30 bar ve 40 bar azalması sonucunda 2000, 4000, 6000 ve 8000 saat sonunda meydana gelen bozunumun maliyeti gösterilmiştir. Basıncın azalmasıyla birlikte bozunum maliyetin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir.



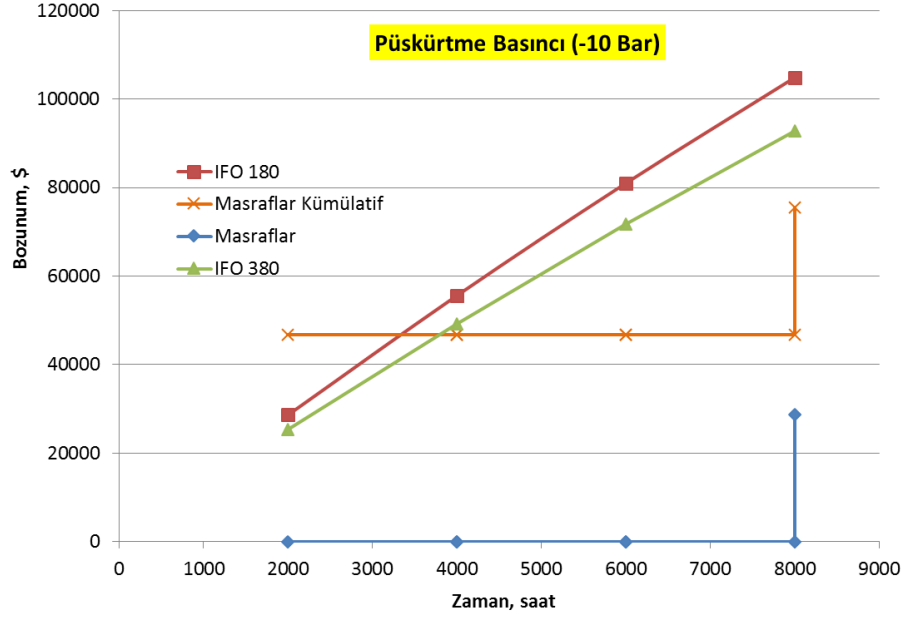
Şekil 5. 44 Farklı püskürtme basınç değişimleri ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.45'te yakıt fiyatlarındaki son 10 yılda meydana gelen değişimler gözönünde bulundurularak ana makine de IFO180 ve IFO380 yakıtlar kullanılması durumunda 3 aylık %2, %5 ve %7 eskalasyon oranları ve sıkıştırma basıncının 1 bar değişim durumuna göre bozunum maliyetindeki artışlar gösterilmiştir.



Şekil 5. 45 Farklı eskalasyon oranları ve IFO180 ile IFO380 için bozunum maliyetleri

Şekil 5.46'da M/V İnce İnebolu gemisi için püskürtme basıncının her bir silindir için 10 bar azalması durumunda meydana gelen bozunumun maliyetleri ve bakım-tutum işleminin yapılması için gerekli masraflar gösterilmiştir. Bozunumun giderilmesi için yapılacak maliyetlere bakacak olursak yakıt pompaları, enjektörler ve bunları ekipmanları olarak söylenebilir. İlk yatırım maliyetlerini gözönüne alarak bakıldığında silindirlerdeki 10 bar azalış olması durumunda oluşacak bozunumun masraflarla 3000 saatte kesiştiği ve sonrasında da bozunumların arttığı söylenebilir.



Şekil 5. 46 Püskürtme basıncının 1 Bar azalmasına göre bozunum ve masrafların karşılaştırılması

Çizelge 5. 6 Püskürtme basıncı değişimine bağlı yapılacak bakım-tutum saatleri ve maliyetleri

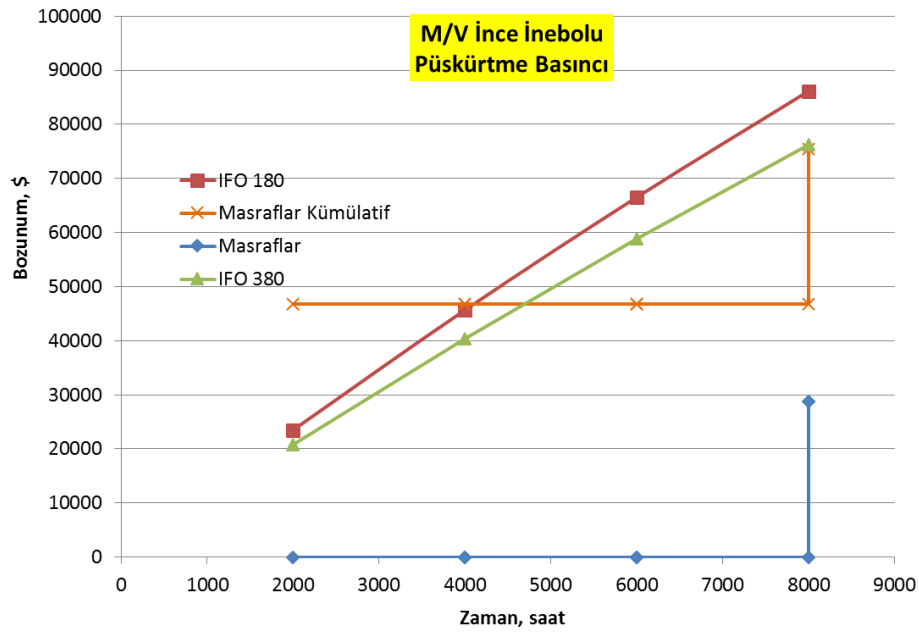
Masraflar = I	Miktar	Fiyat, \$	Bakım Saati, h
Puncture valf değişimi	6	4500	8000
Suction valf değişimi	6	4500	8000
Top kaver değişimi	6	4500	8000
Enjektör atomizer değişimi	12	9000	8000
Enjektör yay, pul vs. değişimi	12	4200	8000
Plunger barrel değişimi	6	18000	12000
Booster pompa, Viskozimetre ve emn. V/V bakımı	1	2000	8000

Çizelge 5.6'de püskürtme basıncı değişimine bağlı olarak yapılacak olan bakım tutum işlemleri ile saatleri ve masraf tutarları verilmiştir. Örneğin enjektör atomizer değişimi için yapılacak masraflar yaklaşık olarak 9000 USD' dir ve bu bakım tutumun 8000 saatte bir yapılması önerilmiştir [107]. Bu değerler 2016 yılı için gemi işletmecisinden temin edilmiştir. Şekil 5.46 ve 5.47'deki masraflar çizelge kullanılarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.47'de ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden ölçüm alındığı zaman diliminden 2000, 4000, 6000 ve 8000 saatlik çalışma zamanlarına kadar meydana gelecek olan bozunumların maliyeti ve bakım tutum masraflar gösterilmiştir.

Şekilden görüldüğü üzere ilk yatırım maliyetleri gözönüne alındığında bakım-tutum masrafının 2000 saatte bozunumdan fazla olduğu görülmektedir. Fakat 4000 saatte kesiştiği ve sonrasında da bozunum maliyetlerini masraflardan hızlı bir şekilde ayrışıp 8000 saatte tekrar kesiştiği görülmektedir. Burada bakım tutumun 4000 ve 8000 saat çalışma durumlarında yani 4000 saatlik zaman dilimlerinde yapılması gerektiği söylenebilir.

Ayrıca ilk yatırım maliyeti olmaksızın yapılacak masraflar düşük kaldığı ve bozunumların giderilmesi için yapılacak masrafların biran önce yapılması gerekliliği de şekilden görülmektedir. Bu durumda ise püskürtme basıncının azalmasına neden olan yakıt pompası, enjektör gibi ekipmanların bakım tutum işleminin genellikle 8000 saatte yapıldığı görülmektedir. Fakat şekilden de görüldüğü üzere bozunumun maliyeti doğrusal ve hızlı bir şekilde artış göstermektedir. Bu durumda küçük masraf gerektiren bakım tutumların motorun çalışmadığı ilk şartlarda yapılması gerektiği görülmektedir.



Şekil 5. 47 Ölçülen püskürtme basınçları için bozunum ve masrafların karşılaştırılması

5.6 Bozunumların Sera Gazı Emisyonlarına Etkileri

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) alt komitesi olan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC)'nin 58. oturumunda, gemi kaynaklı sera gazlarının azaltılması ile ilgili enerji ölçütlerinin belirlenmesinin gerekliliği vurgulanmıştır[1]. MEPC.1/Circ.684 sirkülerinde

ise, şirketlere mevcut gemilerde, operasyonel verimliliğin ölçülmesini sağlayan bir Enerji Verimliliği Operasyon İndeksi (EEOI) için hesaplama yöntemi önerilmiştir [2]. EEOI, işletmecilere geminin işletilmesi esnasındaki yakıt verimliliğini ölçme ve operasyonlar esnasında yakıt tüketimine etki eden faktörleri önceden tespit ederek önlem alınmasına imkân sağlamaktadır. Burada ana amaç CO₂ emisyonlarının azaltılmasıdır.

MARPOL Ek VI kapsamında yürürlüğe giren bir diğer kural ise SO_x ve NO_x emisyonlarının azaltılması yönündedir. Görüldüğü gibi IMO MARPOL Ek VI kapsamında gemilerden kaynaklanan sera gazlarının azaltılması konusu büyük bir önem arz etmektedir.

Çizelge 5. 7 Emisyon faktörleri [112,113]

ANA MAKİNE	SEYİR		
		Emisyon Faktörleri	Birim
	CO ₂	3,114	ton/ton yakıt
	NO _x	87,18	kg/ton yakıt
	SO _x	53,85	kg/ton yakıt
	PM	8,72	kg/ton yakıt
	VOC	3,077	kg/ton yakıt
	MANEVRA		
		Emisyon Faktörleri	Birim
	CO ₂	3,497	kg/ton yakıt
	NO _x	69,74	kg/ton yakıt
	SO _x	59,49	kg/ton yakıt
	PM	12,31	kg/ton yakıt
	VOC	9,23	kg/ton yakıt

Bu tez kapsamında ise incelenen beş parametre kaynaklı (hava giriş sıcaklığı, hava giriş basıncı, pompa avansı, sıkıştırma basıncı, püskürtme basıncı) bozunumlar sonucu seyir ve manevra esnasında salınan fazla sera gazı emisyonları (CO₂, NO_x, SO₂, PM ve VOC) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda ENTEC ve IMO tarafından önerilen emisyon faktörleri Çizelge 5.7’de gösterilmiştir [112,113]. Emisyon hesapları aşağıdaki formül yardımıyla yapılmıştır.

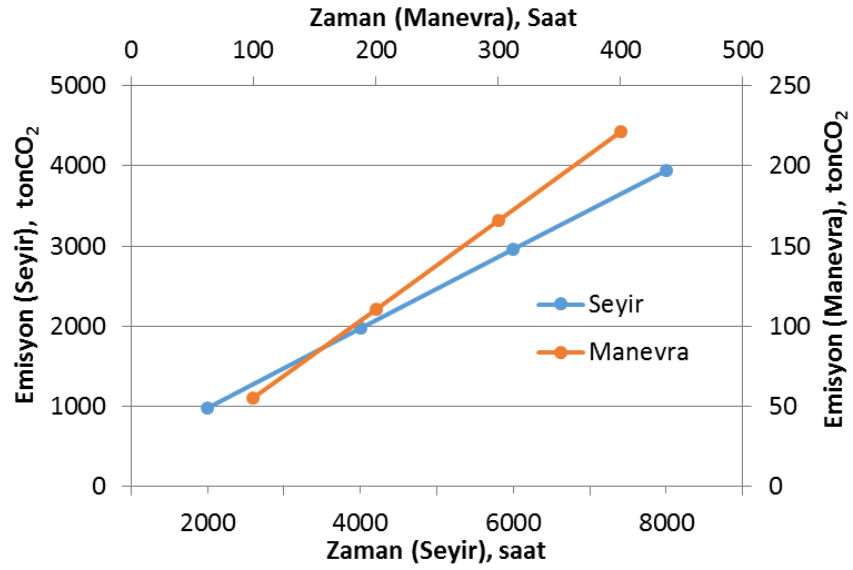
$$Emisyon\ miktarı = \frac{\Delta be_{bozunum} \times P_{ölçülen}}{10^6} \times t \times Emisyon\ faktörü \quad (5.4)$$

Çizelge 5. 8 M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı CO₂ emisyon artış değerleri

Bozunum parametreleri	Ana Makine Çalışma Zamanı, Saat							
	2000	4000	6000	8000	100	200	300	400
	Seyir (ton CO ₂)				Manevra (ton CO ₂)			
Hava Giriş Sıcaklığı	92	184	275	367	5,2	10,3	15,5	20,6
Hava Giriş Basıncı	86	171	257	342	4,8	9,6	14,4	19,2
Pompa Avansı	139	277	416	555	7,8	15,6	23,4	31,1
Sıkıştırma Basıncı	285	569	854	1139	16,0	32,0	48,0	63,9
Püskürtme Basıncı	179	358	537	715	10,0	20,1	30,1	40,2
Diğerleri (Yıpranma, Yaşlanma vb.)	207	413	620	826	11,6	23,2	34,8	46,4

Çizelge 5.8 M/V İnce İnebolu gemisi ana makinesinin performans bozunumu kaynaklı çalışma saatine bağlı CO₂ emisyon miktarlarını göstermektedir. Çizelgede, seyir ve manevra şartlarında belirli zaman dilimleri için her bir bozunumun neden olduğu CO₂ emisyonu gösterilmiştir. Bu tabloda verilen değerler Çizelge 5.1’ deki seyir tecrübesi ile ölçülen değerler arasındaki farktan kaynaklanan bozunum sonucu oluşmaktadır. Örneğin, M/V İnce İnebolu gemisinin hava giriş sıcaklığının 38 °C’ (Seyir tecrübesi değeri) den 50 °C’ye (ölçülen değer) çıkması ve ana makinenin 2000 saat seyir yapması sonucunda normal değere göre fazladan 92 ton CO₂ atmosfere salınacaktır.

Şekil 5.48 ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makine performans bozunumu kaynaklı seyir ve manevra esnasında açığa çıkan toplam CO₂ emisyonlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere bozunum kaynaklı toplam CO₂ emisyon miktarı seyirde ve limanda sırasıyla ana makinenin 2000 saat ve 100 saat çalışması sonucunda 986 ton ve 55,4 ton’dur. SO_x ve NO_x emisyonlarının azaltılmasında silindir içi, silindir dışı önlemler ve yakıt kalitesi gibi teknik tedbirler alınması gerekirken, CO₂ emisyonunun azaltımı için operasyonel önlemler alınması gerekmektedir. Yani bu değerlerin artışı EEOI’nın da artışına neden olacaktır ve gelecekte yürürlüğe girecek olan emisyon vergilendirmesinde ciddi değerlere tekabül edecektir.



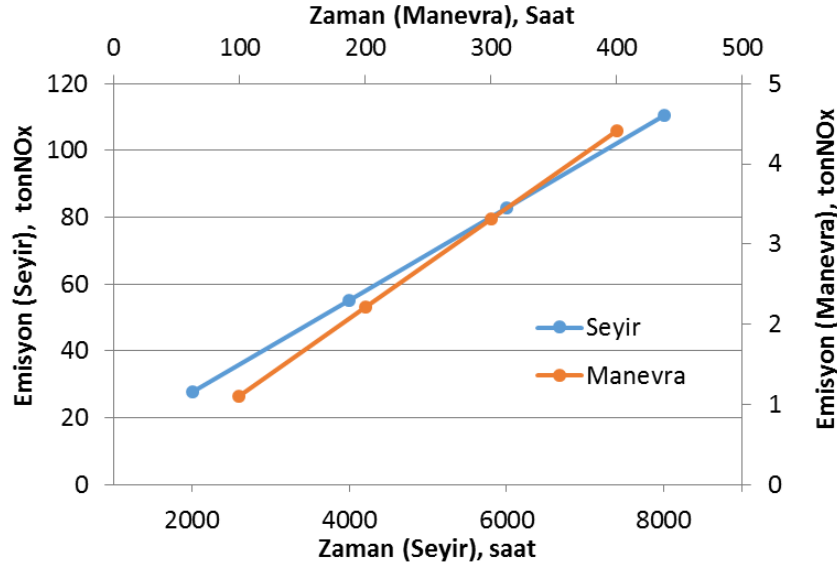
Şekil 5. 48 M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı CO₂ emisyon artışı

Çizelge 5. 9 M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı NO_x emisyon artış değerleri

Bozunum Parametreleri	Ana Makine Çalışma Zamanı, Saat							
	2000	4000	6000	8000	100	200	300	400
	Seyir (ton NO _x)				Manevra (ton NO _x)			
Hava Giriş Sıcaklığı	2,6	5,1	7,7	10,3	0,10	0,21	0,31	0,41
Hava Giriş Basıncı	2,4	4,8	7,2	9,6	0,10	0,19	0,29	0,38
Pompa Avansı	3,9	7,8	11,6	15,5	0,16	0,31	0,47	0,62
Sıkıştırma Basıncı	8,0	15,9	23,9	31,9	0,32	0,64	0,96	1,28
Püskürtme Basıncı	5,0	10,0	15,0	20,0	0,20	0,40	0,60	0,80
Diğerleri (Yıpranma, Yaşlanma vb.)	5,8	11,6	17,3	23,1	0,23	0,46	0,69	0,92

Çizelge 5.9 M/V İnce İnebolu gemisi ana makinesinin performans bozunumu kaynaklı çalışma saatine bağlı NO_x emisyon miktarlarını göstermektedir. Bu tabloda verilen değerler Çizelge 5.1’ deki seyir tecrübesi ile ölçülen değerler arasındaki farktan kaynaklanan bozunum sonucu oluşmaktadır. Örneğin, M/V İnce İnebolu gemisinin hava giriş sıcaklığının 38 °C’ (Seyir tecrübesi değeri) den 50 °C’ye (ölçülen değer) çıkması ve ana makinenin 4000 saat seyir yapması sonucunda normal değere göre fazladan 5,1 ton NO_x atmosfere salınacaktır.

Şekil 5.49 ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makine performans bozunumu kaynaklı seyir ve manevra esnasında açığa çıkan toplam NOx emisyonlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere bozunum kaynaklı toplam NOx emisyon miktarı seyirde ve limanda sırasıyla ana makinenin 2000 saat ve 100 saat çalışması sonucunda 27,6 ton ve 1,1 ton’dur.



Şekil 5. 49 M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı NOx emisyon artışı

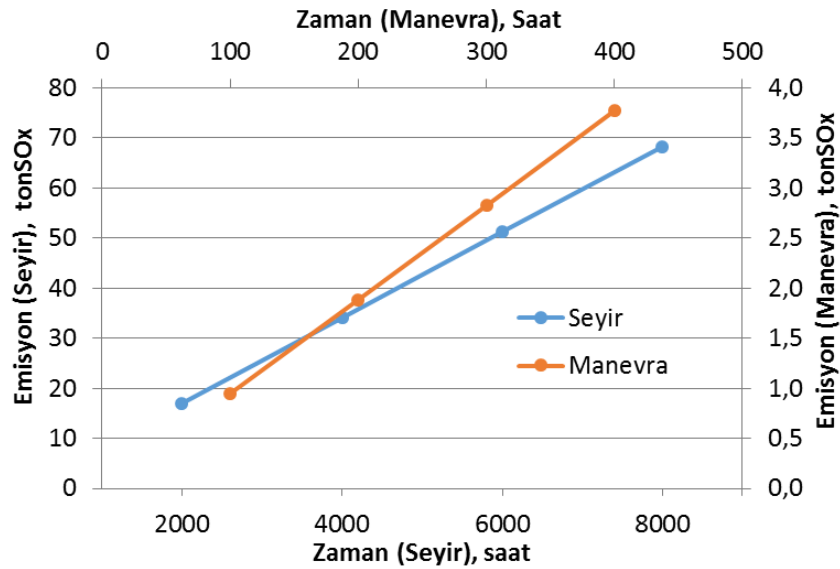
Çizelge 5. 10 M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı SOx emisyon artış değerleri

Bozunum Parametreleri	Ana Makine Çalışma Zamanı, Saat							
	2000	4000	6000	8000	100	200	300	400
	Seyir (ton SOx)				Manevra (ton SOx)			
Hava Giriş Sıcaklığı	1,6	3,2	4,8	6,4	0,09	0,18	0,26	0,35
Hava Giriş Basıncı	1,5	3,0	4,4	5,9	0,08	0,16	0,25	0,33
Pompa Avansı	2,4	4,8	7,2	9,6	0,13	0,26	0,40	0,53
Sıkıştırma Basıncı	4,9	9,8	14,8	19,7	0,27	0,54	0,82	1,09
Püskürtme Basıncı	3,1	6,2	9,3	12,4	0,17	0,34	0,51	0,68
Diğerleri (Yıpranma, Yaşlanma vb.)	3,6	7,1	10,7	14,3	0,20	0,39	0,59	0,79

Çizelge 5.10 M/V İnce İnebolu gemisi ana makinesinin performans bozunumu kaynaklı çalışma saatine bağlı SOx emisyon miktarlarını göstermektedir. Bu tabloda verilen değerler Çizelge 5.1’deki seyir tecrübesi ile ölçülen değerler arasındaki farktan kaynaklanan bozunum sonucu oluşmaktadır. Örneğin, M/V İnce İnebolu gemisinin hava

giriş sıcaklığının 38 °C' (Seyir tecrübesi değeri) den 50 °C'ye (ölçülen değer) çıkması ve ana makinenin 6000 saat seyir yapması sonucunda normal değere göre fazladan 4,8 ton SOx atmosfere salınacaktır.

Şekil 5.50 ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makine performans bozunumu kaynaklı seyir ve manevra esnasında açığa çıkan toplam SOx emisyonlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere bozunum kaynaklı toplam SOx emisyon miktarı seyirde ve limanda sırasıyla ana makinenin 2000 saat ve 100 saat çalışması sonucunda 17,1 ton ve 0,94 ton'dur.



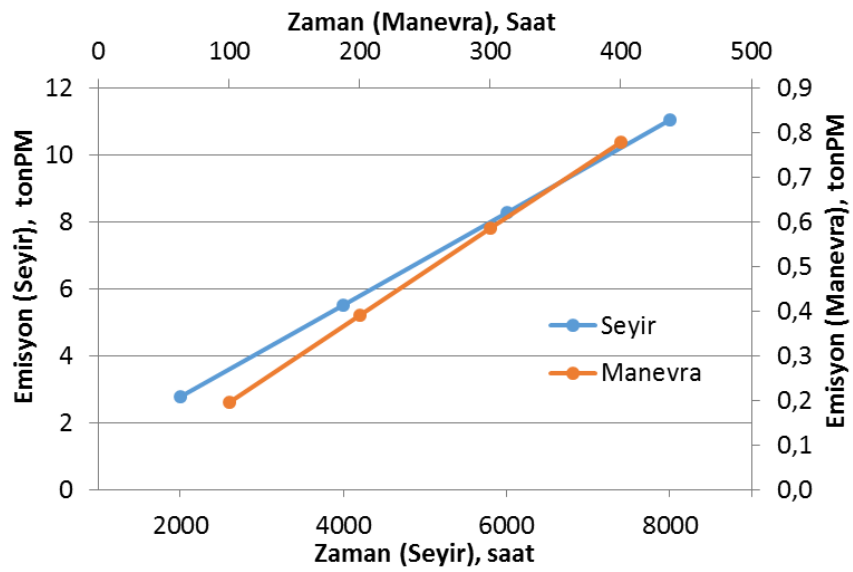
Şekil 5. 50 M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı SOx emisyon artışı

Çizelge 5. 11 M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı PM emisyon artış değerleri

Bozunum Parametreleri	Ana Makine Çalışma Zamanı, Saat							
	2000	4000	6000	8000	100	200	300	400
	Seyir (ton PM)				Manevra (ton PM)			
Hava Giriş Sıcaklığı	0,26	0,51	0,77	1,03	0,018	0,036	0,054	0,073
Hava Giriş Basıncı	0,24	0,48	0,72	0,96	0,017	0,034	0,051	0,068
Pompa Avansı	0,39	0,78	1,16	1,55	0,027	0,055	0,082	0,110
Sıkıştırma Basıncı	0,80	1,59	2,39	3,19	0,056	0,113	0,169	0,225
Püskürtme Basıncı	0,50	1,00	1,50	2,00	0,035	0,071	0,106	0,141
Diğerleri (Yıpranma, Yaşlanma vb.)	0,58	1,16	1,73	2,31	0,041	0,082	0,122	0,163

Çizelge 5.11 M/V İnce İnebolu gemisi ana makinesinin performans bozunumu kaynaklı çalışma saatine bağlı PM emisyon miktarlarını göstermektedir. Bu tabloda verilen değerler Çizelge 5.1’ deki seyir tecrübesi ile ölçülen değerler arasındaki farktan kaynaklanan bozunum sonucu oluşmaktadır. Örneğin, M/V İnce İnebolu gemisinin hava giriş sıcaklığının 38 °C’ (Seyir tecrübesi değeri) den 50 °C’ye (ölçülen değer) çıkması ve ana makinenin 8000 saat seyir yapması sonucunda normal değere göre fazladan 1,03 ton PM atmosfere salınacaktır.

Şekil 5.51 ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makine performans bozunumu kaynaklı seyir ve manevra esnasında açığa çıkan toplam PM emisyonlarını göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere bozunum kaynaklı toplam PM emisyon miktarı seyirde ve limanda sırasıyla ana makinenin 2000 saat ve 100 saat çalışması sonucunda 2,76 ton ve 0,195 ton’dur.

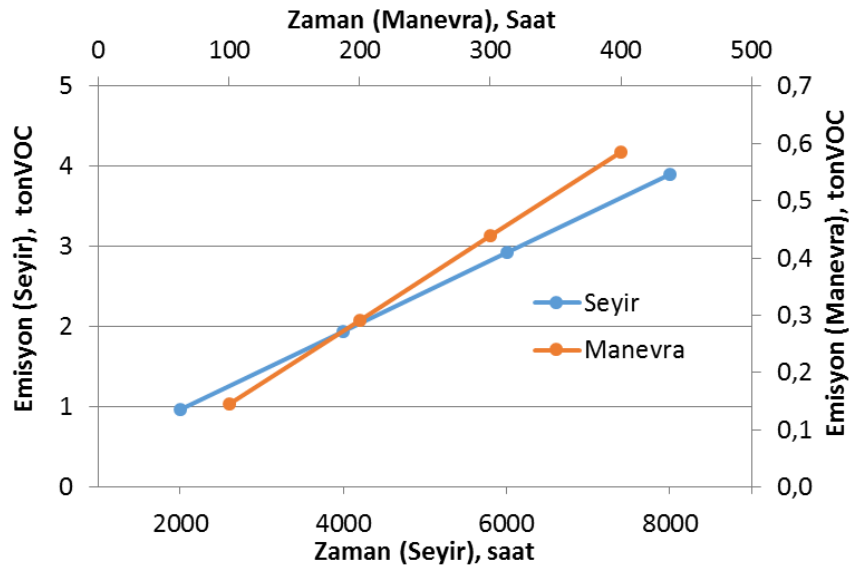


Şekil 5. 51 M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı PM emisyon artışı

Çizelge 5. 12 M/V İnce İnebolu ana makinesi için seyir ve manevradaki bozunum kaynaklı VOC emisyon artış değerleri

Bozunum Parametreleri	Ana Makine Çalışma Zamanı, Saat							
	2000	4000	6000	8000	100	200	300	400
	Seyir (ton VOC)				Manevra (ton VOC)			
Hava Giriş Sıcaklığı	0,09	0,18	0,27	0,36	0,014	0,027	0,041	0,054
Hava Giriş Basıncı	0,08	0,17	0,25	0,34	0,013	0,025	0,038	0,051
Pompa Avansı	0,14	0,27	0,41	0,55	0,021	0,041	0,062	0,082
Sıkıştırma Basıncı	0,28	0,56	0,84	1,13	0,042	0,084	0,127	0,169
Püskürtme Basıncı	0,18	0,35	0,53	0,71	0,027	0,053	0,080	0,106
Diğerleri (Yıpranma, Yaşlanma vb.)	0,20	0,41	0,61	0,82	0,031	0,061	0,092	0,122

Çizelge 5.12 M/V İnce İnebolu gemisi ana makinesinin performans bozunumu kaynaklı çalışma saatine bağlı VOC emisyon miktarlarını göstermektedir. Bu tabloda verilen değerler Çizelge 5.1’ deki seyir tecrübesi ile ölçülen değerler arasındaki farktan kaynaklanan bozunum sonucu oluşmaktadır. Örneğin, M/V İnce İnebolu gemisinin hava giriş sıcaklığının 38 °C’ (Seyir tecrübesi değeri) den 50 °C’ye (ölçülen değer) çıkması ve ana makinenin 100 saat manevra yapması sonucunda normal değere göre fazladan 0,014 ton VOC atmosfere salınacaktır.



Şekil 5. 52 M/V İnce İnebolu bozunum kaynaklı zamana bağlı VOC emisyon artışı

Şekil 5.52 ise M/V İnce İnebolu gemisinin ana makine performans bozunumu kaynaklı seyir ve manevra esnasında açığa çıkan toplam VOC (Volatile Organic Compounds,

uçucu organik birleşik) emisyonlarını göstermektedir. şekilden de görüldüğü üzere bozunum kaynaklı toplam VOC emisyon miktarı seyirde ve limanda sırasıyla ana makinenin 2000 saat ve 100 saat çalışması sonucunda 0,97 ton ve 0,146 ton’dur.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, iki stroklu gemi ana makinesi için bir performans izleme ve değerlendirme sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan performans izleme ve değerlendirme sisteminin uygulaması için İnce Denizcilik A.Ş. filosuna ait M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden güç ve yakıt sarfiyatı ölçümleri alınmıştır.

İki stroklu gemi dizel motoru için sıfır boyutlu iki bölgeli bir matematik model, M/V İnce İnebolu gemisinin seyir tecrübesi ve ana makinesinden alınan güç, ÖYS ve her bir silindir için basınç-krank açısı verileriyle doğrulanmıştır.

Performans değerlendirmesinde ise, yani alınan verilerle seyir tecrübesi verilerinin karşılaştırılmasında, grafiksel analiz yöntemi ve model tabanlı performans analiz yöntemi kullanılmıştır.

Grafiksel analiz yönteminde; beklenen ve gerçek performans eğrileri üzerindeki ortam sıcaklığı, ortam basıncı ve deniz suyu sıcaklığı gibi çevresel şartlar ve yakıt alt ısı değerine göre düzeltilmiş, hem güç hem de özgül yakıt sarfiyatı değerleri için, arasındaki farklar toplam bozunumu vermektedir. Bu eğrilerden beklenen performans eğrisi motorun fabrika testi veya seyir tecrübesi esnasında hem güç hem de ÖYS için elde edilen verilerdir. Gerçek performans eğrisi ise gerçek zamanlı alınan verilerdir. Bu yöntemle, M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinden alınan güç ve ÖYS değerleri sırasıyla 5921 kW ve 205,92 g/kWh olarak ölçülmüştür. Ölçülen değerler ortam sıcaklığı, ortam basıncı, deniz suyu sıcaklığı ve yakıtın alt ısı değerine göre düzeltilindiğinde, düzeltilmiş güç ve ÖYS değerleri sırasıyla 6014 kW ve 204,04 g/kWh olarak bulunurlar. Seyir tecrübesinde ölçülen 6540 kW ve 178,5 g/kWh güç ve ÖYS değerleri, ortam sıcaklığı, ortam basıncı, deniz suyu sıcaklığı ve yakıtın alt ısı değerine

göre düzeltilerek beklenen performans eğrisi üzerindeki güç ve ÖYS değerleri için referans değerleri sırasıyla 6634 kW ve 177,3 g/kWh olarak bulunmuştur. Yukarıdaki hesaplanan ve ölçülen değerlerle birlikte M/V İnce İnebolu gemisinin ana makinesinin güç ve ÖYS bozunum değerleri sırasıyla 620 kW ve 26,74 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Özet olarak; grafiksel analiz yönteminde güç ve ÖYS değerleri için toplam bozunum değerleri hesaplanmış olur.

Model tabanlı analiz yönteminde ise; matematik model yardımıyla, hesaplanan toplam bozunumlar; hava giriş sıcaklığı, hava giriş basıncı, püskürtme basıncı, yakıt pompa avansı, sıkıştırma basıncı kaynaklı bozunumlar ve yıpranma, yaşlanma gibi diğer bozunumlar olmak üzere ayrıştırılmıştır. Ayrıştırılan bozunumlar için işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler, bakım-onarımla yapılabilecek iyileştirmeler, rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler ve yıpranma, yaşlanma gibi geri kazanılması daha zor olan bozunumları analiz edecek kapsamlı bir performans değerlendirme yapılmıştır. Burada işletme esnasında giderilebilecek iyileştirmeler ile bakım ve onarımla yapılabilecek iyileştirmelerin yani güç ve ÖYS değerlerindeki bozunumlar sırasıyla 526 kW ve 21,14 g/kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer bozunumlar olarak ifade edilen rehabilitasyonla giderilebilecek iyileştirmeler 94 kW ve 5,60 g/kWh olarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar yapıldıktan sonra, ayrıştırılan her bir bozunum için yakın ve uzun vadedeki parasal boyutlar dikkate alınarak ekonomik bozunum modeli geliştirilmiştir. Model yardımıyla iyileştirici tedbirlerin ekonomik analizleri yapılarak bu tedbirlerin alınması için optimum zaman diliminin belirlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca ayrıştırılan her bir parametrenin zaman, yakıt fiyatı ve faiz oranı da dikkate alınarak net bugünkü değer yöntemi kullanılarak ekonomik bozunuma etkileri incelenmiştir. Hesaplamalar Mayıs 2016 yakıt fiyatları dikkate alınarak yapılmıştır. Ayrıca çıkış eğiliminde olan yakıt için %2, %5 ve %7 eskalasyon değerleri için hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalar yapılırken Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankasının 3 aylık Amerikan Doları faiz oranları dikkate alınmıştır [111]. Bozunumların maliyeti; motor hava giriş sıcaklığı (ara soğutucu sonrası), motor hava giriş basıncı (turbo doldurucu sonrası), avans, sıkıştırma basıncı ve püskürtme basıncı parametreleri için incelenmiştir. Bu parametrelerin 2000, 4000,

6000 ve 8000 saat çalışma sonucunda meydana gelecek bozunumların şimdiki değer hesapları yapılmıştır.

Her bir parametre için, ilk yatırım maliyetleri gözönüne alınarak ve ilk yatırım maliyeti olmaksızın yapılacak bakım tutum masraflarının, bozunumun zamanla değişimiyle ne zaman çakıştığı, yani bakım tutumun yapılıp yapılmayacağı kararı verilmiştir. Yapılacak bakım tutumun maliyetiyle, bozunumun zamanla değişen grafiğin çakıştığı nokta yapılan masrafların amortisman süresini vermektedir. Bu noktadan sonra yapılacak bakım tutum masrafları işletmeciye kar olarak geri dönecektir. Bu durumda küçük masraf gerektiren bakım tutumların ilk fırsatta yapılması gerektiği görülmektedir. Büyük masraf gerektiren bakım tutumların ise bozunumun maliyetine göre yapılma zamanı tayin edilmelidir.

IMO MARPOL Ek VI kapsamında SO_x, NO_x ve CO₂ emisyonlarını azaltmaya yönelik kurallar getirilmiştir. Aynı şekilde Avrupa Birliği’de gemilerden salınan sera gazlarına yönelik birtakım kurallar getirmektedir. Bu kapsamda, toplam bozunum ve ayrıştırılan bozunumlar sonucunda manevra ve seyir esnasında zamana bağlı salınan CO₂, NO_x, SO_x, PM ve VOC emisyonlarında meydana gelen değişimler hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] IMO, (2008). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 58th session, Londra.
- [2] IMO, MEPC.1/Circ.684, (2009). Guidelines for Voluntary Use of The Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), Londra.
- [3] IMO, MEPC 63/23, (2012). Guidelines for the Development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), Londra.
- [4] Regulation (EU) 2015/757 of The European Parliament and of The Council, (2015). The monitoring, reporting and verification of carbon dioxide emissions from maritime transport, and amending Directive 2009/16/EC, Luxembourg.
- [5] IMO, (2015). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 68th session, Londra.
- [6] IMO, (2016). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 69th session, Londra.
- [7] Ballou, P., Chen, H. ve Horner, J. D., (2008). "Advanced methods of optimizing ship operations to reduce emissions detrimental to climate change", Oceans 08 Conference, MTS/IEEE Proceedings, Quebec City, Quebec.
- [8] Corbett, J. J., Wang, H. ve Winebrake, J. J., (2009). "The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 14(8):593–598.
- [9] Lindstad, H., Asbjørnslett, B. E. ve Strømman, A. H., (2011). "Reductions in greenhouse gas emissions and cost by shipping at lower speeds", Energy Policy, 39(6):3456–3464.
- [10] Borkowski, T., Kasyk, L. ve Kowalak, P., (2011). "Assessment of Ship's Engine Effective Power Fuel Consumption and Emission Using the Vessel Speed", Journal of KONES Powertrain and Transport, 18(2):31–39.
- [11] Cariou, P. ve Cheaitou, A., (2012). "The effectiveness of a European speed limit versus an international bunker-levy to reduce CO₂ emissions from container shipping", Transportation Research Part D: Transport and Environment, 17(2):116–123.

- [12] Smith, T. W. P., (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.
- [13] Chang, C.-C. ve Chang, C.-H., (2013). "Energy conservation for international dry bulk carriers via vessel speed reduction", *Energy Policy*, 59:710–715.
- [14] Norlund, E. K. ve Gribkovskaia, I., (2013) "Reducing emissions through speed optimization in supply vessel operations", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 23:105–113.
- [15] Chang, C.-C. ve Wang, C.-M., (2014). "Evaluating the effects of speed reduce for shipping costs and CO2 emission", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 31:110–115.
- [16] Woo, J.K. ve Moon, D. S.-H., (2014). "The effects of slow steaming on the environmental performance in liner shipping", *Maritime Policy & Management*, 41(2):176–191.
- [17] Andersson, H., Fagerholt, K. ve Hobbesland, K., (2015). "Integrated maritime fleet deployment and speed optimization: Case study from RoRo shipping", *Computers & Operations Research*, 55:233–240.
- [18] Fagerholt, K., Laporte, G. ve Norstad, I., (2009). "Reducing fuel emissions by optimizing speed on shipping routes", *Journal of the Operational Research Society*, 61(3):523–529.
- [19] Corbett, J.J., Winebrake, J.J., Green, E. ve Comer, B., (2010). *Energy and GHG Emissions Savings Analysis of Fluoropolymer Foul Release Hull Coating*, Energy and Environmental Research Associates, LLC.
- [20] Boulougouris, E. K., Papanikolaou, A. D. ve Pavlou, A., (2011). "Energy efficiency parametric design tool in the framework of holistic ship design optimization", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 225(3):242–260.
- [21] Lindstad, H., Jullumstrø, E. ve Sandaas, I., (2013). "Reductions in cost and greenhouse gas emissions with new bulk ship designs enabled by the Panama Canal expansion", *Energy Policy*, 59:341–349.
- [22] Munk, T., (2009). "A CO₂ Index That Includes Hull and Propeller Condition (Propulsion Efficiency)", 2nd International Conference on Ship Efficiency, 28-29 Eylül 2009, Hamburg.
- [23] Kane, D., (2013). "Developing a more fuel efficient tonnage through blasting of hulls and timely in-water husbandry. (and shared benefits between owner and charterer)", 4th International Conference on Ship Efficiency, 23-24 Eylül 2013, Hamburg.
- [24] Evensen, T.H., (2013). "High Performance Hull Coatings: Market view", 4th International Conference on Ship Efficiency, 23-24 Eylül 2013, Hamburg.

- [25] Du, Y., Chen, Q., Quan, X., Long, L. ve Fung, R. Y. K., (2011). "Berth allocation considering fuel consumption and vessel emissions", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 47(6), pp. 1021–1037.
- [26] Mewis, F. ve Deichmann, F., (2013). "Power- and Cost-Savings for Container Vessels by Hydrodynamic Energy Saving Devices", 4th International Conference on Ship Efficiency, 23-24 Eylül 2013, Hamburg.
- [27] Qi, X. ve Song, D.-P., (2012). "Minimizing fuel emissions by optimizing vessel schedules in liner shipping with uncertain port times", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(4):863–880.
- [28] Ballou, P. J., (2013). "Ship Energy Efficiency Management Requires a Total Solution Approach", *Marine Technology Society Journal*, 47(1):83–95.
- [29] Burel, F., Tacconi, R. ve Zuliani, N., (2013). "Improving sustainability of maritime transport through utilization of Liquefied Natural Gas (LNG) for propulsion", *Energy*, 57:412–420.
- [30] Johnson, H., Johansson, M., Andersson, K. ve Södahl, B., (2013). "Will the ship energy efficiency management plan reduce CO₂ emissions? A comparison with ISO 50001 and the ISM code", *Maritime Policy & Management*, 40(2):177–190.
- [31] Xing, S., Xinping, Y., Bing, W. ve Song, X., (2013). "Analysis of the operational energy efficiency for inland river ships", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 22:34–39.
- [32] Tzannatos, E. ve Papadimitriou, S., (2013). "The energy efficiency of domestic passenger shipping in Greece", *Maritime Policy & Management*, 40(6):574–587.
- [33] Lun, Y. H. V., Lai, K., Wong, C. W. Y. ve Cheng, T. C. E., (2015). "Greening and performance relativity: An application in the shipping industry", *Computers & Operations Research*, 54:295–301.
- [34] Bal Beşikçi, E., Arslan, O., Turan, O. ve Ölçer, A. I., (2016). "An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations", *Computers & Operations Research*, 66:393–401.
- [35] Svoldal, J. ve Mewis, F., (2009). "Fuel- and Cost-Savings by Hydrodynamic Measures", 2nd International Conference on Ship Efficiency, 28-29 Eylül 2009, Hamburg.
- [36] Witt, K.C., (2009) "Energy Efficient Engine Room Ventilation", 2nd International Conference on Ship Efficiency, 28-29 Eylül 2009, Hamburg.
- [37] Bellusci, F., (2015). "Fuel Saving on Bulk Carriers", 5th International Conference on Ship Efficiency, 28-29 Eylül 2015, Hamburg.
- [38] Bazari, Z., (2007). "Ship energy performance benchmarking/rating: methodology and application", *Journal of Marine Engineering & Technology*, 6(1):11–18.

- [39] Zhao, F., Yang, W., Tan, W. W., Yu, W., Yang, J. ve Chou, S. K., (2016). "Power management of vessel propulsion system for thrust efficiency and emissions mitigation", *Applied Energy*, 161:124–132.
- [40] Engelhardt, M., (2015). "Well Trained Crew for Fuel Saving", 5th International Conference on Ship Efficiency, 28-29 Eylül 2015, Hamburg.
- [41] Kowalski, J., (2014). "An experimental study of emission and combustion characteristics of marine diesel engine with fuel pump malfunctions", *Applied Thermal Engineering*, 65(1–2):469–476.
- [42] Kowalski, J., (2015). "Concept of the multidimensional diagnostic tool based on exhaust gas composition for marine engines", *Applied Energy*, 150:1–8.
- [43] Sigurdsson, E., Ingvorsen, K. M., Jensen, M. V., Mayer, S., Matlok, S. ve Walther, J. H., (2014). "Numerical analysis of the scavenge flow and convective heat transfer in large two-stroke marine diesel engines", *Applied Energy*, 123:37–46.
- [44] Scappin, F., Stefansson, S. H., Haglind, F., Andreasen, A. ve Larsen, U., (2012). "Validation of a zero-dimensional model for prediction of NOx and engine performance for electronically controlled marine two-stroke diesel engines", *Applied Thermal Engineering*, 37:344–352.
- [45] Baldi, F., Theotokatos, G. ve 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.
- [46] Murphy, A. J., Norman, A. J., Pazouki, K. ve Trodden, D. G., (2015). "Thermodynamic simulation for the investigation of marine Diesel engines", *Ocean Engineering*, 102:117–128.
- [47] Guan, C., Theotokatos, G. ve Chen, H., (2015). "Analysis of Two Stroke Marine Diesel Engine Operation Including Turbocharger Cut-Out by Using a Zero-Dimensional Model", *Energies*, 8(6):5738–5764.
- [48] Basurko, O. C. ve Uriondo, Z., (2015). "Condition-Based Maintenance for medium speed diesel engines used in vessels in operation", *Applied Thermal Engineering*, 80:404–412.
- [49] Hountalas, D. T., (2000). "Prediction of marine diesel engine performance under fault conditions", *Applied Thermal Engineering*, 20(18):1753–1783.
- [50] Lamaris, V. T. ve Hountalas, D. T., (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):740–753.
- [51] Medica, V., Račić, N. ve Radica, G., (2009). "Performance Simulation of Marine Slow-Speed Diesel Propulsion Engine With Turbocharger Under Aggravated Conditions", *Strojarstvo: časopis za teoriju i praksu u strojarstvu*, 51(3):199–212.

- [52] Hountalas, D. T., Kouremenos, D. A. ve Sideris, M., (2004). "A Diagnostic Method for Heavy-Duty Diesel Engines Used in Stationary Applications", *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 126(4):886–898.
- [53] Benvenuto, G. ve Campora, U., (2007). "Performance prediction of a faulty marine diesel engine under a different governor settings", 2nd International Conference on Marine Research and Transportation, 28-30 Haziran 2007, Ischia, Naples.
- [54] Girtler, J., (2011). "A method for evaluating theoretical and real operation of diesel engines in energy conversion formulation taking into account their operating indices", *Polish Maritime Research*, 18(70(3)):31–36.
- [55] Girtler, J., (2010). "A method for evaluating the performance of a marine piston internal combustion engine used as the main engine on a ship during its voyage in different sailing conditions", *Polish Maritime Research*, 17(67(4)):31–38.
- [56] Girtler, J., (2011). "The semi-Markov model of energy state changes of the main marine internal combustion engine and method for evaluating its operation during ship voyage", *Polish Maritime Research*, 18(71(4)):36–42.
- [57] Gohary, M. ve Abdou, K. M., (2011). "Computer based selection and performance analysis of marine diesel engine", *Alexandria Engineering Journal*, 50(1):1–11.
- [58] Borkowski, T., Kowalak, P. ve Myskow, J., (2012). "Vessel Main Propulsion Engine Performance Evaluation", *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 19(2):53–60.
- [59] Jung, C., Rho, B., Lee, J. ve Choi, J., (2013). "Predictions of the deteriorating performance for the marine diesel engines", *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, 37(1):47–52.
- [60] Giorgio, M., Guida, M. ve Pulcini, G., (2015). "A condition-based maintenance policy for deteriorating units. An application to the cylinder liners of marine engine", *Applied Stochastic Models Business and Industry*, 31(3):339–348.
- [61] Wenzhi, G., Junmeng, Z., Guanghua, L., Qiang, B. ve Liming, F., (2013). "Performance evaluation and experiment system for waste heat recovery of diesel engine", *Energy*, 55:226–235.
- [62] Theotokatos, G. ve Livanos, G., (2013). "Techno-economical analysis of single pressure exhaust gas waste heat recovery systems in marine propulsion plants", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 227(2):83–97.
- [63] Shu, G., Liang, Y., Wei, H., Tian, H., Zhao, J. ve Liu, L., (2013). "A review of waste heat recovery on two-stroke IC engine aboard ships", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19:385–401.

- [64] Choi, B. C. ve Kim, Y. M., (2013). "Thermodynamic analysis of a dual loop heat recovery system with trilateral cycle applied to exhaust gases of internal combustion engine for propulsion of the 6800 TEU container ship", *Energy*, 58:404–416.
- [65] Baldi, F. ve Gabriell, C., (2015). "A feasibility analysis of waste heat recovery systems for marine applications", *Energy*, 80:654–665.
- [66] Ma, Z., Yang, D. ve Guo, Q., (2012). "Conceptual Design and Performance Analysis of an Exhaust Gas Waste Heat Recovery System for a 10000TEU Container Ship", *Polish Maritime Research*, 19(2):31–38.
- [67] Liang, Y., Shu, G., Tian, H., Wei, H., Liang, X., Liu, L. ve Wang, X., (2014). "Theoretical analysis of a novel electricity–cooling cogeneration system (ECCS) based on cascade use of waste heat of marine engine", *Energy Conversion and Management*, 85:888–894.
- [68] KYMA, Ship Performance, <http://www.kyma.no/kyma-ship-performance>, 22 Nisan 2016.
- [69] ABB, Energy Efficiency guide, EMMA Ship Energy Manager, [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/d002587ec01c9610c12577fb000792ac/\\$file/EMMA.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/d002587ec01c9610c12577fb000792ac/$file/EMMA.pdf), 22 Nisan 2016.
- [70] Mizutani, N. ve Nagata, K., (2013). "Class NK-NAPA Green, Benefits of Dynamic Performance Model - New Paradigm for Energy Efficient Ship Operations", *Digital Ship*, 3-4 Eylül 2013, Tokyo
- [71] Nielsen, K.B., (2012). Performance Monitoring in Practice, MAERSK MaritimeTechnology, http://www.mssm.dk/sites/default/files/media/MSSM_subsite/Preasentationer/2010/Thomas%20Efsen.pdf, 28 Nisan 2015.
- [72] Kongsberg, Vessel Performance Optimizer: Cost Efficient Vessel Operation, [http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/302A1A3175AB5D4DC12574CC0045D82A/\\$file/KM-Vessel-performance.pdf?OpenElement](http://www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0397.nsf/AllWeb/302A1A3175AB5D4DC12574CC0045D82A/$file/KM-Vessel-performance.pdf?OpenElement), 22 Nisan 2016.
- [73] BS ISO 3046-1:2002, (2002). Reciprocating internal combustion engines-Performance-Part 1: Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods -- Additional requirements for engines for general use, Londra.
- [74] Parlak, A. ve Kökkülünk, G., (2016). "Bir Gemi Dizel Motorunun Performans Ölçümü ve Değerlendirilmesi", *Journal of ETA Maritime Science*, 4(2):165–173.
- [75] Gay, R.R., Palmer, C.A. ve Erbes, M.R., (2004). *Power Plant Performance Monitoring*, R-squared Publishing, Woodland CA.
- [76] Kegl, B., Kegl, M. ve Pehan, S., (2013). *Green Diesel Engines - Biodiesel Usage in Diesel Engines*, Springer-Verlag Londra.
- [77] Erdem, H.H., (2015). *Termal Ekipmanlarda Enerji Verimliliği, İstanbul Enerji Verimliliği Merkezi Enerji Verimliliği Kursu*.

- [78] Atay, O., (2009). 7.3L Dizel Motorun Matematiksel Modellenmesi ile Silindir İçi Parametrelerin, Performansın ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [79] Ferguson, C.R., (1986). Internal Combustion Engines Applied Thermosciences, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [80] Safa, A., (2006). İçten Yanmalı Motorlarda Proses ve Emisyon Modellemesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [81] Heywood, J.B., (1988). Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Inc., New York.
- [82] Jensen, T.K. ve Schramm, J., (2000). "A Three-Zone Heat Release Model for Combustion Analysis in a Natural Gas SI Engine. -Effects of Crevices and Cyclic Variations on UHC Emissions", SAE Technical Paper 2000-01-2802.
- [83] Kökkülünk, G., Gonca, G. ve Parlak, A., (2014). "The Effects of Design Parameters on Performance and NO Emissions of Steam-Injected Diesel Engine with Exhaust Gas Recirculation", Arabian Journal for Science and Engineering, 39(5):4119–4129.
- [84] Kökkülünk, G., Parlak, A., Ayhan, V., Cesur, İ., Gonca, G. ve Boru, B., (2014). "Theoretical and experimental investigation of steam injected diesel engine with EGR", Energy, 74:331–339.
- [85] Kökkülünk, G., Gonca, G., Ayhan, V., Cesur, İ. ve Parlak, A., (2013). "Theoretical and experimental investigation of diesel engine with steam injection system on performance and emission parameters", Applied Thermal Engineering, 54(1):161–170.
- [86] Vibe, I.I., (1970). Brennverlauf und Kreisprozess von Verbrennungsmotoren (Rusçadan almancaya çevirisi), VEB Verlag Technik, Berlin.
- [87] Miyamoto, N., Chikahisa, T., Murayama, T. ve Sawyer, R., (1985). "Description and Analysis of Diesel Engine Rate of Combustion and Performance Using Wiebe's Functions", SAE Technical Paper 850107.
- [88] Hohenberg, G.F., (1979). "Advanced Approaches for Heat Transfer Calculations", SAE Technical Paper, 790825.
- [89] Sitkei, G., (1964). Kraftstoffaufbereitung und Verbrennung bei Dieselmotoren, Springer, Berlin, Heidelberg.
- [90] Stiesch, G., (2003). Modeling Engine Spray and Combustion Processes, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- [91] Olikara, C. ve Borman, G. L., (1975). "A Computer Program for Calculating Properties of Equilibrium Combustion Products with Some Applications to I.C. Engines", SAE Technical Paper, 750468.
- [92] Zhu, S., Venneker, B., Roekaerts, D., Pozarlik, A. ve Meer, T. van der, (2013). "Numerical investigation towards a HiTAC condition in a 9MW heavy fuel-oil boiler", Proceedings 6th European Combustion Meeting, Combustion Institute, 25-28 Haziran 2013, Lund.

- [93] Gil, A.V., Zavorin, A.S., Lebed, D.V. ve Starchenko, A.V., (2014). "Numerical investigation of burning reserve fuel in combustion chamber of boiler BKZ3420–140", Bulletin of Tomsk Polytechnic University, Power Engineering, 325(4):65–75.
- [94] Gamany, L., Mourad, T.J. ve Mohamed, A., (2012). "Computational studies of swirl effects on instabilities and pollutions due to non-premixed turbulent combustion", Computational Engineering Research., 2(3):616–627.
- [95] Hart, R. A., (2005). Numerical modelling of tunnel fires and water mist suppression, Doktora Tezi, Nottingham Üniversitesi, Nottingham.
- [96] Breuer, C., (1995). "The influence of fuel properties on the heat release in DI-diesel engines", Fuel, 74(12):1767–1771.
- [97] Littlefuse Selco Engineeye (E5000), (2014). PC Software User's Manual, Version 1.0.4.6.
- [98] Zhao, Z., Zhang, F., Huang, Y. ve Zhao, C., (2014). "Determination of TDC in a hydraulic free-piston engine by a novel approach", Applied Thermal Engineering, 70(1):524–530.
- [99] Pipitone, E. ve Beccari, A., (2010). "Determination of TDC in internal combustion engines by a newly developed thermodynamic approach", Applied Thermal Engineering, 30(14–15):1914–1926.
- [100] Pipitone, E., Beccari, A. ve Beccari, S., (2007). "The Experimental Validation of a New Thermodynamic Method for TDC Determination", SAE Technical Paper, 2007-24-0052.
- [101] Miao, R., Li, J., Shi, L. ve Deng, K., (2013). "Study of Top Dead Center Measurement and Correction Method in a Diesel Engine", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 6(6):1101–1105.
- [102] Pawletko, R. ve Polanowski, S., (2011). "Influence of TDC determination methods on mean indicated pressure errors in marine diesel engines", Journal of KONES Powertrain and Transport, 18(2):355–363.
- [103] Polanowski, S., (2008). "Determination of location of Top Dead Centre and compression ratio value on the basis of ship engine indicator diagram", Polish Maritime Research, 15(2):59–64.
- [104] M/V İnce İnebolu Instructions, (2002). MP-04-Flowmetre Accuracy.
- [105] Aybers, N. ve Şahin, B., (1995). Enerji Maliyeti, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
- [106] Erdem, H.H., Sevilgen, S.H., Çetin, B. ve Akkaya, A.V., (2004). "Kojenerasyon Sistemlerindeki Yakıt Fiyatlarının ve Birim Yakıt Maliyetlerinin Analizi", SİGMA Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 1:128-138).
- [107] M/V İnce İnebolu Instructions, (2002). MITSUI MAN B&W Instruction Manual MB-MAIN ENGINE.

- [108] Transport-Related Price Indices:Prices, (2016). Bunker World, Singapore, <http://transport.govt.nz/ourwork/tmif/transportpriceindices/ti008/>, 30 Mayıs 2016.
- [109] U.S. Energy Information Administration, (2016). Spot Prices for Crude Oil and PetroleumProducts, <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=RB RTE&f=M>, 30 Mayıs 2016
- [110] Ship and Bunker, (2016). Bunker Prices, Fujairah, <http://shipandbunker.com/prices/emea/me/ae-fjr-fujairah>, 30 Mayıs 2016.
- [111] Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası, (2016). Bankalarca Amerikan Doları Üzerinden Açılan Mevduat Ağırlıklı Ortalama Faiz Oranları, <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/7e615c39-35c9-4c14-ab06-a2728b133108/ABD+Dolari.html?MOD=AJPERES>, 30 Mayıs 2016.
- [112] ENTEC, (2010). Defra UK Ship Emissions Inventory Final Report, Londra
- [113] International Maritime Organization, (2015). Third IMO GHG Study 2014 Executive Summary and Final Report, Londra.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Görkem KÖKKÜLÜNK
Doğum Tarihi ve Yeri : 15.01.1986 – Samsun
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gorkemkulunk@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Doktora	Gemi İnş. ve Gemi Mak. Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2016
Y. Lisans	Gemi İnş. ve Gemi Mak. Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği	İstanbul Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Ordu Fen Lisesi	2004

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-Halen	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2009-2011	İnce Denizcilik A.Ş	Vardiya Mühendisi

YAYINLARI

Makale

1. Kökkülünk, G., Parlak, A., Ayhan, V., Cesur, I., Gonca, G. ve Boru, B., (2014). "Theoretical and experimental investigation of steam injected diesel engine with EGR", *Energy*, 74:331-339.
2. Kökkülünk, G., Gonca, G. ve Parlak, A., (2014). "The Effects of Design Parameters on Performance and NO Emissions of Steam-Injected Diesel Engine with Exhaust Gas Recirculation", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39(5):4119-4129.
3. Kökkülünk, G., Parlak, A., Bagci, E. ve Aydin, Z., (2014). "Application of Taguchi Methods for the Optimization of Factors Affecting Engine Performance and Emission of Exhaust Gas Recirculation in Steam-injected Diesel Engines", *Acta Polytechnica Hungarica*, 11(5), 95-107.
4. Kökkülünk, G., Akdogan, E. ve Ayhan, V., (2013). "Prediction of emissions and exhaust temperature for direct injection diesel engine with emulsified fuel using ANN", *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 21, 2141-2152.
5. Parlak, A., Ayhan, V., Cesur, I. ve Kökkülünk, G., (2013). "Investigation of the effects of steam injection on performance and emissions of a diesel engine fuelled with tobacco seed oil methyl ester", *Fuel Processing Technology*, 116:101-109.
6. Kökkülünk, G., Gonca, G., Ayhan, V., Cesur, I. ve Parlak, A., (2013). "Theoretical and experimental investigation of diesel engine with steam injection system on performance and emission parameters", *Applied Thermal Engineering*, 54(1):161-170.
7. Parlak, A., Ayhan, V., Ust, Y., Sahin, B., Cesur, I., Boru, B. ve Kökkülünk, G., (2012). "New method to reduce NOx emissions of diesel engines: electronically controlled steam injection system", *Journal of The Energy Institute*, 85(3):135-139.
8. Yiğit, K., Kökkülünk, G., Parlak, A. ve Karakaş, A., (2016). "Energy cost assessment of shoreside power supply considering the smart grid concept: a case study for a bulk carrier ship", *Maritime Policy & Management: The flagship journal of international shipping and port research*, 43(4):469-482.
9. Kökkülünk, G., Parlak, A., Ayhan, V. ve Cesur, İ., (2013). "Prediction of emissions and performance parameters for steam injected diesel engine with EGR using ANN", *Journal of Maritime Transport and Engineering*, 1(2):21-27.
10. Parlak, A. ve Kökkülünk, G., (2016). "Bir Gemi Dizel Motorunun Performans Ölçümü ve Değerlendirilmesi", *Journal of ETA Maritime Science*, 4(2):165-173.

Bildiri

1. Kökkülünk, G. ve Parlak, A., (2016). "An Alternative Energy Efficiency Index Offer to Reduce CO₂ Emissions from Ships: Fleet Energy Efficiency Management Index", 21st International Transport and Air Pollution Conference (TAP 2016), 24-26 Mayıs 2016, Lyon, Fransa.
2. Kökkülünk, G., Parlak, A. ve Erdem, H. H., (2015). "Determination of Performance Degradation of Marine Diesel Engine. 3rd International Multi-Conference on Computer", Electrical, Electronics and Mechanical Engineering, 20-21 Mayıs 2015, Dubai, UAE.
3. Parlak, A., Cesur, İ., Ayhan, V., Boru, B. ve Kökkülünk, G., (2014). "Comparison for Performance and Exhaust Emissions of Steam Injected and Thermal Barrier Layer (TBL) Coated Piston Spark Ignition Engine", International Conference on Power Systems, Energy, Environment, 22-24 Şubat 2014, Interlaken, Switzerland.
4. Kökkülünk, G., Parlak, A., Ayhan, V. ve Cesur, İ., (2013). Su Buharı Püskürtülmüş Bir Dizel Motora EGR Uygulamasının Etkileri. V. Ulusal Denizcilik Kongresi, 11 Kasım 2013, İstanbul.
5. Kökkülünk, G., Parlak, A., Ayhan, V. ve Cesur, İ., (2012). "Investigation of Steam Injection with Exhaust Gas Recirculation (EGR) on a Diesel Engine", 3rd International Conference on Urban Sustainability, Cultural Sustainability, Green Development, Green Structures and Clean Cars (USCUDAR 12), 17-19 Ekim 2012, Barcelona, Spain.
6. Parlak, A., Ayhan, V., Şahin, B., Cesur, İ., Boru, B. ve Kökkülünk, G., (2011). "The Effects of the New Developed Electronic Controlled Steam Injection System on NO_x Emissions of a Single Cylinder Diesel Engine", 13th International Conference Maritime Transport and Infrastructure, 28-29 Nisan 2011, Riga, Latvia.
7. Kökkülünk, G., Çoşgun, T. ve Akdoğan, E., (2011). "Electrical-Electronic and Control Education in Marine Engineering A Novel Educational Model for TURKEY", The 1st International Symposium on Naval Arch. and Maritime, 24-25 Ekim 2011, İstanbul.
8. Çoşgun, T., Kökkülünk, G., Yurtseven, A., İnce, S. T., Kalyoncu, İ. ve Çelebi, U. B., (2011). "Comparison of Marine and Land Transportation Emissions: Turkey Study", The 1st International Symposium on Naval Arch. and Maritime, 24-25 Ekim 2011, İstanbul.

Proje

1. Su Buharı Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorunda Egzoz Gazları Geri Dolaşımının (EGR) NO_x Emisyonlarına ve Performansa Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, YTÜ BAP, Ekim 2011 / Nisan 2013, Araştırmacı.
2. Miller Çevrimiyle Çalışan Bir Dizel Motoruna Su Buharı Enjeksiyonu_EGR Uygulamasının NO_x Emisyonlarına ve Performansa Etkilerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, TÜBİTAK 1001, Bursiyer, Ekim 2011 / Ekim 2014.
3. Balast Suyundaki Toplam Koliform, Fekal koliform ve Salmonella Bakterilerinin Gideriminin Araştırılması, YTÜ BAP, Araştırmacı, Devam Ediyor.
4. Deniz taşıtlarında kullanılan farklı yağların segman-silindir çifti yüzeylerindeki tribolojik özelliklerine etki eden parametrelerin incelenmesi, YTÜ BAP, Araştırmacı, Devam Ediyor.

ÖDÜLLERİ

1. TÜBİTAK Yayın Teşvik Ödülleri, 2013-2014-2015-2016.
2. YTÜ 2013-2014 En çok yayın yapan Araştırma Görevlisi (3.lük).