

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

**KURU YÜK GEMİLERİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİNDE (LCA), YILLIK
EMİSYON AYAKİZİ HESABI VE ANA PARAMETRELERE BAĞLI EMİSYON
TAHMİNİ YAKLAŞIMI**

LEVENT BİLGİLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNALARI MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
GEMİ İNŞAATI VE GEMİ MAKİNALARI MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. UĞUR BUĞRA ÇELEBİ**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KURU YÜK GEMİLERİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİNDE (LCA), YILLIK
EMİSYON AYAKİZİ HESABI VE ANA PARAMETRELERE BAĞLI EMİSYON
TAHMİNİ YAKLAŞIMI**

Levent BİLGİLİ tarafından hazırlanan tez çalışması 23/12/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Fuat ALARÇİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Alptekin ERGENÇ

Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Gemicilik endüstrisi bir bütün olarak incelendiğinde dünyada insan ve ürün taşımacılığı konusunda vazgeçilmez bir öneme ve yere sahiptir. Bu önemin yanı sıra gemicilik sektörü tüm aşamalarıyla bir ağır sanayi koludur ve ciddi anlamda emisyon ve atık üretiminden de sorumludur. Bu açıdan bakıldığında gemi emisyonları konusu irdelenmesi gereken önemli bir konudur.

Yaşadığımız dünyanın son yüzyılda olumsuz anlamda geçirdiği dramatik ve hızlı dönüşümde endüstriyel üretimin büyük payı vardır. Gemicilik sektörü de bu endüstrinin belkemiği görevini görmektedir. Dünyayı daha yaşanabilir bir hale getirmesinin yanında çevreye ve insan sağlığına olan kötü etkileri nedeniyle gemicilik sektöründe yenilikçi düzenlemelere gidilmesi şarttır.

Bu çalışmamda konu üzerine eğilmemi sağlayan ve değerli bilgi ve görüşlerini benden esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Bütün hayatım boyunca yanımda olduklarını bana sonuna dek hissettiren annem, babam ve ablama, tez yazım sürecinde bana olan desteğini hep hissettiğim sevgili Büşra Şahan'a çok teşekkür ederim. Bu tezi, bugüne ulaşmamı sağlayan eğitimi bana sunan rahmetli anneannem Fatma Macide ALTAY'ın aziz hatırasına adıyorum.

Aralık, 2013

Levent BİLGİLİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	8
1.3 Hipotez	8
BÖLÜM 2	
GEMİ BACA GAZI EMİSYONLARI OLUŞUMU, ZARARLARI VE TAHMİN YÖNTEMLERİ	11
2.1 Dünya Deniz Ticareti Gelişimi ve Gelecek Tahminleri	11
2.2 Yakıtlar ve Gemi Emisyonları	18
2.2.1 Yakıtlar ve Yakıt Tüketimi	19
2.2.2 Gemi Emisyonları.....	22
2.2.2.1 Azot Oksitler	29
2.2.2.2 Kükürt Oksitler	30
2.2.2.3 Parçacıklı Maddeler.....	31
2.2.2.4 Karbondioksit	32
2.2.2.5 Karbon Monoksit.....	33
2.2.2.6 Uçucu Organik Bileşikler	34
2.2.2.7 Siyah Karbon	35
2.2.2.8 Organik Karbon	36
2.2.2.9 Hidrokarbonlar	36

2.2.3	Gemi Emisyonları Azaltma Tedbirleri	37
2.2.3.1	Gemi Dizaynı	39
2.2.3.2	Sevk	40
2.2.3.3	Makine	41
2.2.3.4	Operasyon	43
2.2.3.5	Yakıt.....	43
2.2.4	Gemi Emisyonlarıyla İlgili Uluslararası Kurallar	44
2.2.5	Emisyon Tahmin Modelleri.....	46
2.2.6	Gemi Emisyonları için Yaşam Döngüsü Analizi	53
 BÖLÜM 3		
ÜÇ KURU YÜK GEMİSİNİN YILLIK EMİSYON AYAKIZI HESABI İÇİN DEĞİŞİK YÖNTEMLERİN KİYASLANMASI		55
3.1	Yakıt Tüketim Yöntemi.....	55
3.2	Makine Gücü Yöntemi	58
3.3	Emisyon Tahmin Yöntemlerinin Sonuç Kıyaslamaları ve Emisyon Yoğunluğu Tahminleri	61
3.4	Gemi Ana Karakteristik Özelliklerine ve Gemi Emisyon Miktarlarına Göre Emisyon-Ana Karakteristik Bağlılıklarının Elde Edilmesi	71
 BÖLÜM 4		
SONUÇ VE ÖNERİLER		111
KAYNAKLAR.....		115
ÖZGEÇMİŞ.....		123

SİMGE LİSTESİ

TST	Milyon ton cinsinden toplam deniz ticaret hacmi
f	Gelecekteki herhangi bir yıl
DS	Kullanılacak senaryo
N	Gemi sayısı
$P_{MW, ship}$	Ticari gemilerin toplam makine gücü
$P_{tot, aux}$	Toplam yardımcı makine gücü
$P_{MW, mil}$	Askeri gemilerin toplam makine gücü
FC	Yakıt tüketimi
ρ_{TS}	Dizel makine kullanan bir teknolojidenden 2050 yılında alternatif enerji yöntemlerine geçiş ve yakıt tüketimindeki azalış
M	Toplam emisyon miktarı
g	Emisyon tipi
i	Gemi tipi
k	Gemi boyutu
s	Makine tipi
c	Emisyon faktörü
F	Yakıt tüketimi
b	Özgül yakıt harcaması
m	Ortalama makine yükü
t	Ortalama seyir süresi
p	Makine gücü
n	Gemi sayısı
e	Gemi tipi sıklığı
P_{MW}	Her bir gemi tipi için makine gücü
$F_{\%MCR}$	Gemi profiline göre makine yükü faktörü (Şekil 2.4)
$SFOC_{g/kWh}$	Özgül yakıt harcaması
$T_{saat/yıl}$	Gemi tipi için ortalama operasyon süresi
$E_{g/kWh}$	Her bir kirletici için emisyon miktarı
E	Yakıt tüketimi/emisyon miktarı
EC	Enerji tüketimi
EF	Yakıt tüketimi/emisyon faktörü
i	Gemi tipi
k	Yakıt tipi

I	Makine tipi
y	Ortalama makine yaşı
E	Emisyon miktarı
g	Emisyon türü
j	Yakıt tipi
S	Yakıt tipi satış miktarı
e	Emisyon faktörü
F	Toplam yakıt tüketimi
i	Makine tipi
s	Yakıt tipi
b	Özgöl yakıt harcamı
t	Ortalama operasyon süresi
p	Ortalama makine gücü
m	Ortalama makine yükü
n	Belli bir tip geminin tüm gemilere oranı
N	Aktif haldeki toplam gemi sayısı
D	Geminin aldığı yol
V	Ortalama gemi hızı
ME	Ana makine gücü
LF	Makine yükü
AE	Yardımcı makine gücü
EF	Emisyon faktörü
T	Demirli halde ya da manevrada harcanan süre
Tg	Teragram
nm	Deniz mili
C _B	Blok katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

ABC's	Atmospheric Brown Clouds (Atmosferik Kahverengi Bulutlar)
ACS	Air Cavity System (Hava Yastığı Sistemi)
AIS	Automatic Identification System (Otomatik Tanımlama Sistemi)
BC	Black Carbon (Siyah Karbon)
BM	Birleşmiş Milletler
CAFE	Clean Air For Europe (Avrupa için Temiz Hava)
CALEPA	California Air Resources Board Planning and Technical Support Division
CFC's	Clorofluorocarbons (Kloroflorokarbonlar)
CH ₄	Methane (Metan)
CLAB	Closed-Loop Abrasive Blasting (Kapalı Sistem Aşındırıcı Raspa)
CO	Carbon monoxide (Karbon monoksit)
CO ₂	Carbondioxide (Karbondioksit)
DS	Demand Scenario (Talep Senaryosu)
DWT	Deadweight Ton (Dedveyt ton)
EEB	European Environmental Bureau (Avrupa Çevre Bürosu)
EGR	Exhaust Gas Recirculation (Egzoz Gazı Çevrimi)
EMEP	Northeast Atlantic and Black and Mediterranean Seas (Kuzeydoğu Atlantik, Karadeniz ve Akdeniz)
EX-TREMIS	Exploring non-Road Transport Emission in Europe (Avrupa Karayolu Harici Ulaşım Emisyonları İncelemesi)
GSYH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
HAM	Humid Air Motor (Yaş Hava Motoru)
HAP's	Hazardous Air Pollutants (Tehlikeli Hava Kirletici)
HC	Hydrocarbons (Hidrokarbonlar)
HFC's	Hydrofluorocarbons (Hidroflorokarbonlar)
HFO	Heavy Fuel Oil (Ağır Fuel Oil)
ICS	International Chamber of Shipping (Uluslararası Deniz Ticaret Odası)
IEM	Internal Engine Modification (Makine İç Değişikliği)
IFO	Intermediate Fuel Oil (Orta Fuel Oil)
IIASA	International Institute for Applied Systems Analysis
IMF	International Monetary Fund (Uluslararası Para Fonu)
IMO	International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)

LCA	Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Analizi)
LMIU	Lloyd's Marine Intelligence Unit (İngiliz Loydu Deniz Bilgi Birimi)
MARPOL	International Convention for the Prevention of Marine Pollution from Ships (Denizlerin Petrol ile Kirlenmesini Önlemeye İlişkin Uluslararası Sözleşme)
MDO	Marine Diesel Oil (Deniz Tipi Dizel Oil)
MEPC	Marine Environment Protection Committee (Deniz Çevresini Koruma Komitesi)
MGO	Marine Gas Oil (Deniz Tipi Gaz Oil)
N ₂ O	Nitrous Oxide (Nitröz oksit)
NERI	National Environment Research Institute (Ulusal Çevre Araştırma Enstitüsü)
NO ₂	Nitrogen Dioxide (Azot dioksit)
NO _x	Nitrogen Oxides (Azot oksitler)
O ₃	Ozone (Ozon)
OC	Organic Carbon (Organik Karbon)
OILPOL	International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil (Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi)
OLAB	Open-Loop Abrasive Blasting (Açık Çevrimli Aşındırıcı Raspa)
OTAB	Open-Through Abrasive Blasting (Açık Sistem Aşındırıcı Raspa)
PM	Particulate Matter (Parçacıklı Madde)
POM	Particulate Organic Matter (Parçacıklı Organik Madde)
RF	Radiative Forcing (Işınım etkisi)
SCR	Selective Catalytic Reduction (Seçkili Katalitik İndirgeme)
SECA	Sulfur Emission Control Area (Kükürt Emisyon Kontrol Bölgesi)
SF ₆	Sulfur Hexafluoride (Kükürt hekzaflorit)
SFOC	Specific Fuel Consumptions (Özgül Yakıt Tüketimi)
SO _x	Sulfur Oxides (Kükürt oksitler)
SO ₂	Sulfur Dioxide (Kükürt dioksit)
SO ₄	Sulphate (Sülfat)
SRES	Special Report on Emission Scenarios (Emisyon Senaryoları Özel Raporu)
STEEM	The Waterway Network Ship Traffic, Energy and Environment Model (Suyolu Ağı Gemi Trafiği, Enerji ve Çevre Modeli)
TRENDS	Transport and Environment Database System (Ulaşım ve Çevre Veritabanı Sistemi)
TS	Technology Scenario (Teknoloji Senaryoları)
UNCTAD	United Nations Conference on Trade and Development (Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı)
VOC's	Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Bileşikler)
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1	SRES senaryoları..... 13
Şekil 2. 2	Küresel iklim etkilerinin tahmini için genel modelleme süreci 18
Şekil 2. 3	1990-2007 Yılları arasındaki yakıt tüketim artış grafiği 22
Şekil 2. 4	Gemi emisyonu sebep-sonuç zinciri 27
Şekil 2. 5	Tipik bir küçük kargo gemisinde üretilen enerjinin harcamı 38
Şekil 2. 6	Küresel gemi emisyon hesaplamalarında kullanılan yöntem 48
Şekil 2. 7	1990-2007 Yılları arasındaki CO ₂ artış grafiği..... 51
Şekil 2. 8	1990-2007 Yılları arasındaki NO _x , SO _x , CO ve NMVOC artış grafiği 51
Şekil 3. 1	Gemi A için Cooper ve Gustafsson, (2004) ile Eyring vd, (2005a) hesaplarına ve makine gücü ile yakıt tüketimi yöntemlerine göre toplam emisyonlar .. 62
Şekil 3. 2	Gemi B için Cooper ve Gustafsson, (2004) ile Eyring vd, (2005a) hesaplarına ve makine gücü ile yakıt tüketimi yöntemlerine göre toplam emisyonlar .. 62
Şekil 3. 3	Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ile Eyring vd, (2005a) hesaplarına ve makine gücü ile yakıt tüketimi yöntemlerine göre toplam emisyonlar .. 63
Şekil 3. 4	Gemilerin yıllık rotaları..... 65
Şekil 3. 5	Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları 74
Şekil 3. 6	Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları 76
Şekil 3. 7	Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları 78
Şekil 3. 8	Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları 80
Şekil 3. 9	Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve C _B 'ye göre emisyon oranları 82
Şekil 3. 10	Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve C _B 'ye göre emisyon oranları 84
Şekil 3. 11	Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları 86
Şekil 3. 12	Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları 88
Şekil 3. 13	Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları 90
Şekil 3. 14	Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları 92

Şekil 3. 15	Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve C_B 'ye göre emisyon oranları	94
Şekil 3. 16	Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve C_B 'ye göre emisyon oranları	96
Şekil 3. 17	Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları	102
Şekil 3. 18	Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları	104
Şekil 3. 19	Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları	106
Şekil 3. 20	Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları	108

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1. 1	Gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon tahmin hesaplamaları ve kullanılan yöntemler	3
Çizelge 1. 2	CO ₂ salım miktarı üzerine değişik çalışmalar.....	5
Çizelge 1. 3	SO _x salım miktarı üzerine değişik çalışmalar	6
Çizelge 1. 4	NO _x salım miktarı üzerine değişik çalışmalar	6
Çizelge 1. 5	Gemi A, Gemi B ve Gemi C teknik özellikleri	10
Çizelge 2. 1	Uluslararası deniz ticaretinin gelişimi (milyon ton).....	12
Çizelge 2. 2	1950-2001 Yılları arasında ticari gemi sayısındaki değişimler (100 GT ve üzeri).....	12
Çizelge 2. 3	2001 Yılındaki 100 GT ve üzeri gemi sayısı (askeri gemiler dâhil), gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü, yakıt tüketimi ve 2020/2050 tahminleri	16
Çizelge 2. 4	2020 ve 2050 Yıllarındaki gemi sayısı, gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü ve yakıt tüketimi artış yüzdeleri	16
Çizelge 2. 5	Çeşitli çalışmalara göre yakıt tüketim tahminleri.....	19
Çizelge 2. 6	Ana ve yardımcı makinelerin yakıt tüketimlerinin bulunmasında güvenilirlik	19
Çizelge 2. 7	Gemilerde kullanılan yakıt türleri ve özellikleri	20
Çizelge 2. 8	1950-2001 Yılları arasındaki yakıt tüketimi değişimi	20
Çizelge 2. 9	1990-2007 Yılları arasında hesaplanan yakıt tüketim miktarları	21
Çizelge 2. 10	Gemicilik faaliyetlerinden kaynaklanan, zarar verdikleri ortama göre düzenlenen tüm emisyon türleri.....	23
Çizelge 2. 11	Gemi operasyonundan kaynaklanan hava kirleticilerinin oluşma yolları	26
Çizelge 2. 12	1950-2001 Yılları arasındaki gemi kökenli emisyon artışı	27
Çizelge 2. 13	Farklı senaryolara ait 2020 ve 2050 gemi emisyon miktarı tahminleri...	28
Çizelge 2. 14	Gemi kaynaklı parçacıklı maddelerin türleri ve dağılımları.....	32
Çizelge 2. 15	Çeşitli uçucu organik bileşik kesirleri	35
Çizelge 2. 16	Kirlilik kontrol araçlarının seçim kriterleri	37
Çizelge 2. 17	NO _x azaltma yöntemleri ve başarı yüzdeleri	39
Çizelge 2. 18	SO _x azaltma yöntemleri ve başarı yüzdeleri.....	39

Çizelge 2. 19	Kıyı elektriği kullanımı ile elde edilebilecek potansiyel emisyon azalması	42
Çizelge 2. 20	NO _x emisyon limitleri	45
Çizelge 2. 21	2005'ten 2010'a Gemi kökenli emisyon azaltma düzenlemeleri	46
Çizelge 2. 22	Çeşitli emisyonlar için yapılmış tahminlerin kıyaslanması (Tg)	50
Çizelge 2. 23	1990-2007 Yılları arasında havaya olan gemi emisyon miktarları	51
Çizelge 2. 24	Değişik çalışmalara göre gemi kökenli CO ₂ salım miktarları	52
Çizelge 2. 25	Değişik çalışmalara göre gemi kökenli SO _x salım miktarları	52
Çizelge 2. 26	Değişik çalışmalara göre gemi kökenli NO _x salım miktarları	53
Çizelge 3. 1	g/ton yakıt cinsinden emisyon faktörleri	56
Çizelge 3. 2	kg/ton yakıt cinsinden emisyon faktörleri	56
Çizelge 3. 3	Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık toplam emisyonlar	58
Çizelge 3. 4	Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık emisyon türleri	58
Çizelge 3. 5	g/kWh cinsinden emisyon faktörleri	59
Çizelge 3. 6	g/kWh cinsinden emisyon faktörleri	59
Çizelge 3. 7	Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık toplam emisyonlar	60
Çizelge 3. 8	Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık emisyon türleri	61
Çizelge 3. 9	Gemi A'nın bir yıllık rotası ve limanlar arası mesafeler	64
Çizelge 3. 10	Gemi B'nin bir yıllık rotası ve limanlar arası mesafeler	64
Çizelge 3. 11	Gemi C'nin bir yıllık rotası ve limanlar arası mesafeler	64
Çizelge 3. 12	Gemi A için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)	65
Çizelge 3. 13	Gemi B için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)	66
Çizelge 3. 14	Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)	66
Çizelge 3. 15	Gemi A için Eyring vd, (2005a) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)	66
Çizelge 3. 16	Gemi B için Eyring vd, (2005a) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)	67
Çizelge 3. 17	Gemi C için Eyring vd, (2005a) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)	67
Çizelge 3. 18	Gemi A için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)	68
Çizelge 3. 19	Gemi B için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)	68
Çizelge 3. 20	Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)	68
Çizelge 3. 21	Gemi A için Eyring vd, (2005a) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)	69
Çizelge 3. 22	Gemi B için Eyring vd, (2005a) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)	69

Çizelge 3. 23	Gemi C için Eyring vd, (2005a) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)	69
Çizelge 3. 24	Gemiler için L/B, DWT ve C_B değerleri	72
Çizelge 3. 25	Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre elde edilen bağıntılar ...	98
Çizelge 3. 26	Eyring vd, (2005a) yöntemine göre elde edilen bağıntılar.....	99
Çizelge 3. 27	Değişik emisyon faktörleri ve emisyon tahmin yöntemlerine göre L/B ve DWT'ye bağlı olarak elde edilen bağıntılar	109
Çizelge 3. 28	Toplam emisyonlar için hata analizi	110

KURU YÜK GEMİLERİ İÇİN YAŞAM DÖNGÜSÜ ANALİZİNDE (LCA), YILLIK EMİSYON AYAKİZİ HESABI VE ANA PARAMETRELERE BAĞLI EMİSYON TAHMİNİ YAKLAŞIMI

Levent BİLGİLİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

Gemicilik sektörü bilinen eski üretim ve taşımacılık yöntemlerinden birisidir. Çağlar boyunca gerek ticari gerekse askeri amaçlarla üretilen gemiler, insanoğlunun ayak bastığı her yerde yüksek öneme sahip olmuştur. Uzun yıllar boyunca yeni kıtalar keşfetmenin yegâne yolu gemicilik bilgisini kullanmak olmuştur. Günümüzde taşımacılık ve savunma alanlarında farklı alternatifler geliştirilmiş olsa da gemiler hala büyük miktarda insan ve ürün taşımacılığında ve ülke savunmasında çok önemli rol oynamaktadırlar.

Her seferde çok büyük miktarda yük taşıyabilen araçlar olan gemiler, özellikle günümüz dünyasının ekonomik gelişimi ve bu gelişmenin sürdürülebilmesi açısından çok önemli bir paya sahiptir. Özellikle son yüzyılda gemicilik sektöründeki gözle görülür artış, beraberinde büyük bir ekonomik canlanma da getirmiştir. Bununla birlikte gemicilik sektörü bu yararlarının yanında çevreye ve insan sağlığına da azımsanmayacak derecede zarar vermektedir ve bu zararın gelecekte daha büyük sorunlara yol açacağı öngörülmektedir.

Gemi emisyonlarının (karbondioksit, karbon monoksit, azot oksitler, kükürt oksitler ve parçacıklı maddeler) zararları ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir ve bu konuda geniş bir literatür kaynağı mevcuttur. Bu emisyonları azaltmak için özellikle son yirmi yılda önemli uluslararası çalışmalar yapılmıştır. Kurallar ve düzenlemeler konusundaki çalışmaların yanı sıra yenilikçi teknoloji konusunda da önemli atılımlar yapılmaktadır.

Bu çalışmada gemi kökenli emisyonlar ayrıntılı bir şekilde tanıtılmış ve üç tane kuru yük gemisinin bir yıllık rota bilgilerine erişilerek bu gemilerin yıllık emisyon ayak izi hesabı yapılmıştır. Gemi emisyonlarını hesaplayabilmek için yakıt tüketimi ve makine gücü yöntemlerinden faydalanılmış ve iki farklı çalışmadan elde edilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Hesaplanan emisyon verileri, rota bilgisine bölünerek rota bazında emisyon yoğunlukları saptanmıştır. Son olarak, her iki yöntemden elde edilen emisyon verileri gemi karakteristik özellikleriyle regresyon analizine sokularak gemi ana boyutlarına bağlı emisyon tahmin formülleri elde edilmiştir. Bu sayede gemi emisyonları daha ön dizayn aşamasındayken bile elde edilebilecektir.

Anahtar Kelimeler:

Gemi emisyonu, yakıt tüketimi yöntemi, makine gücü yöntemi, emisyon ayak izi, emisyon faktörü

**ANNUAL EMISSION FOOTPRINT CALCULATION AND EMISSION
ESTIMATION APPROACH RELATED TO MAIN PARAMETERS FOR BULK
CARRIERS IN LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA)**

Levent BİLGİLİ

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ

Ship building sector is one the oldest production and transportation methods. Either merchant or military ships have always a great importance down the ages. Using ships was the only way to discover new continents for long centuries. Although there are alternative technologies for transportation and defense, ships are still very important.

Due to their great carrying capacity, ships have a good part in economic development and sustainability. The increase and improvement in shipping bring an economic recovery in its wake. Besides its great effect on economy and human life, shipping has also considerable harmful effects on human health and environment and it is predicted that these effects will increase in the near future.

Harmful effects of ship emissions are well investigated and documented. There have been many important international studies on reducing these emissions. Besides the rules and regulations, there are important innovative studies on new technologies.

In this study, ship emissions are expanded on and annual emission footprint calculation was made of a three bulk carrier by using their annual cruise data. In order to calculate the emissions, fuel consumption and engine power methods are used. Emission factors were taken from two different studies. The calculated emission data is divided to the journey data and thus, emission densities for each route have been

calculated. Finally, emission estimation formulas are obtained from the two methods by regression analyses. The formulas are based on ship main characteristics and the emission amount data. By these formulas, the emission amounts can be estimated even during pre-design.

Anahtar Kelimeler:

Ship emission, fuel consumption method, engine power method, emission footprint, emission factor

BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Gemicilik sektörü, üretim, operasyon, bakım/onarım ve söküm/geri dönüşüm aşamalarıyla dünyanın bilinen en eski ve karmaşık sektörlerinden birisidir. Gemi sınıfına dâhil edebileceğimiz her türlü su aracı, tarihin hemen her döneminde gerek ticari gerekse askeri alanlarda geniş çaplı olarak kullanılmıştır. Bu sektör, üretim, operasyon, bakım/onarım ve söküm/geri dönüşüm süreçlerini kapsayan ve bütün bu süreçleri uzun vadelere yayan bir sektördür. Dünya tarihinde insan elinden çıkmış en büyük yapıların bir kısmını çeşitli gemiler oluşturur. Üretilmiş en büyük yük gemileri 500.000 dedveyt ton (DWT)'luk yük; en büyük yolcu gemileri mürettebatla birlikte 7.000-8.000 yolcu taşıyabilme kapasitesine sahip olup üretilmiş en büyük savaş gemisi olan ABD yapımı Nimitz sınıfı uçak gemileri 333 m uzunluğa ve 100.000 ton deplasmana sahiptirler. Özellikle bu tip büyük gemilerin üretim süreci uzun ve zorludur. Gemiler, olabilecek en uzun süre hizmet vermek için tasarlanırlar ve bu da zaman zaman bakım/onarım sürecine girmelerine yol açar. Geminin onarıma alınması, yeni gemi yapımından daha maliyetli olmaya başladığında ise eski gemi söküm tersanelerine alınır. Gemi yaşam döngüsünün her bir aşaması (inşa, operasyon, bakım/onarım, söküm) değişik miktarlarda çeşitli yan ürünlerin, atıkların ve emisyonların oluşmasına neden olur. Her bir aşama sonucu ortaya çıkan bu emisyonlar, hava, su ve ekosistemler üzerinde çeşitli zararlı etkilere sahiptir.

Bugüne kadar, toplam emisyonları olduğu kadar değişik tipteki emisyonları da hesaplamak için pek çok çalışma yapılmıştır. Emisyon tahmin hesapları genelde iki çeşit

tahmin yöntemi kullanılarak yapılır: 'Bottom-up' yani tümevarım ve 'top-down' yani tümdengelim.

Wang vd, (2008) [1] emisyonlarla ilgili önceki çalışmaları yorumladığı çalışmasında emisyon tahmin yöntemlerini tümdengelim ve tümevarım olarak ikiye ayırmıştır. AEA Energy & Environment, (2008), [2] çalışmasına göre tümdengelim yöntemine göre emisyon tahminleri, yakıt satış/tüketim verilerine ve satılan tüm yakıtın belli koşullar altında tüketildiği kabulüne göre hesaplanır. Yakıt tüketim verisine ulaştıktan sonra ton biriminden harcanan yakıt başına kg cinsinden kirletici emisyonları hesaplanır. Tümevarım yönteminde ise tek tek gemilerin yakıt tüketim verileri ve gemi başına açığa çıkan emisyon miktarları baz alınır. Tümevarım yöntemi bu bakımdan daha karmaşıktır ve yakıt satış verilerindeki belirsizlikler nedeniyle daha az kesinliğe sahiptir. Miola vd, (2010) [3] çalışmasına göre bu iki temel yaklaşımın yanı sıra, ikisinin birlikte kullanıldığı iki çeşit karma yöntem de mevcuttur: Toplam emisyon hesabında tümevarım, coğrafi nitelemede tümdengelim; toplam emisyon hesabında tümdengelim, coğrafi nitelemede tümevarım. Andreoni vd, (2008) [4], tümdengelim yönteminin her gemi için spesifik makine emisyon modellemesi, küresel dağılım yöntemleri ve gemi operasyon bilgisine; tümevarım yönteminin ise dünyayı ülkelere, gemilere ya da bölgelere ayırarak emisyonları hesapladığını belirtmiştir.

Özellikle son on yılda gemi emisyon tahminleri konusunda çok sayıda önemli çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların bir kısmı tümevarım yöntemini kullanırken bir kısmı da tümdengelim yöntemini kullanmıştır. Çalışmalar arasında iki yöntemi sentezleyenler de bulunmaktadır. Çizelge 1.1'de son on yılda yapılmış olan emisyon tahmin hesaplamaları ve bu hesaplamalarda kullanılan yöntemler gösterilmektedir.

Çizelge 1.1 Gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon tahmin hesaplamaları ve kullanılan yöntemler [3]

	Yaklaşımlar	İkinci Boyut: Emisyonların Coğrafi Dağılımı	
		Tümevarım	Tümdengelim
Birinci Boyut: Emisyon Hesaplamaları	Tümevarım	Entec, (2005a) Wang vd, (2007) Corbett vd, (2009) Jalkanen vd, (2009) Olesen vd, (2009) Schrooten vd, (2009) Miola vd, (2009) Wang vd, (2009) Paxian vd, (2010) Tzannatos, (2010)	Endresen vd, (2003; 2004; 2007) Corbett ve Köhler, (2003; 2004) Eyring vd, (2005) Winther, (2008) Dalsøren vd, (2008) IMO, (2009)
	Tümdengelim	Georgakaki vd, (2005) Wang ve Corbett, (2005; 2007) Wang vd, (2008) Winebrake vd, (2009)	Endresen vd, (2007)

Emisyon tahmin hesaplarında öncelikle elde edilmesi gereken en önemli veri yakıt tüketimidir. Bir geminin, yaptığı tüm yolculuklarda yaptığı tüketim kayıt altına alınır ve toplam emisyon hesabında harcanan bu yakıt miktarı kullanılır.

Toplam emisyon hesaplamalarında tümevarım, coğrafi dağılım hesaplamalarında tümdengelim yöntemini kullanan ilk çalışma Endresen vd, 2003 [5] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada tek bir emisyon üretici kaynak üzerinden yola çıkılarak genel bir sonuca ulaşmak hedeflenmiştir. Benzer bir çalışma Corbett ve Köhler, (2003) [6] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada makine gücü ve gemi aktiviteleri doğrudan kullanılmıştır. Önceki çalışmada olduğu gibi 100 grostonun üzerindeki tüm gemiler alt sınıflara ayrılmıştır ve her gruptaki gemilerin makine güçleri, ortalama çalışma saati ve güce bağlı emisyon faktörleriyle çarpılarak toplam emisyon miktarlarına ulaşılmıştır. Bu çalışmadan sonra Endresen vd, (2004) [7], Corbett ve Köhler, (2003) [6]'ün çalışmasındaki bulguların ortalama seyir süresi ve ortalama makine yükü verilerine göre çok yüksek olduğunu ifade etmesine rağmen Corbett ve Köhler, (2004) [8]'ün yeni çalışmasında çok farklı sonuçlara ulaşılmamıştır. Bu sonuçlar bir sonraki yıl Eyring vd, (2005a) [9] tarafından da değerlendirilmiştir. 2008 yılında Danimarka'nın Ulusal Çevre Araştırma Enstitüsü (NERI), ülkenin emisyon envanterinin çıkarılması için bir çalışma yaptırmıştır. Bu çalışma, yukarıda anlatılan çalışmalar gibi aktivite temelli olup gemi emisyonları ile yakıt satışları arasında bir bağlantı oluşturulmasını önermiştir ve özellikle emisyon faktörü geliştirilmesi konusunda hesaplamalara yoğunlaşmıştır [10]. Endresen vd,(2007) [11], yeni bir yaklaşımla bir diğer çalışma yapmışlardır. Bu

çalışmada hem tümdengelim hem de tümevarım yöntemleri incelenmiştir. Dals ren vd, (2009) [12], yukarıda bahsedilen tüm çalışmaları ortak bir şekilde incelemiş ve emisyon tahmin yöntemlerindeki sorunların    z m  zor sorunlar olduğuna kanaat getirmiştir. Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) kullanılarak yapılan bir  alışma IMO, (2009) tarafından [13] gerçekleştirilmiştir. IMO, bu verileri daha çok gemi kaynaklı hava kirliliğini  onlemek amacıyla yapmıştır. Emisyon hesap yöntemi daha çok Endresen vd, (2007) [11]’de kullanılan yönteme yakındır. Toplam emisyon hesaplarında tümdengelim, coğrafi dağılım hesaplarında tümevarım yöntemi, bir diğer emisyon hesap yöntemidir. Bu konudaki  onemli çalışmalardan biri Georgakaki vd, (2005) [14] tarafından yapılmıştır. Gemi trafiği ve emisyonlarının coğrafi özellikleri hakkında bir başka çalışma da Wang ve Corbett, (2005) [15] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yerel ve uluslararası gemi trafiği verileri kullanılmıştır ve dünya, 0,1 x0,1 ’lik dilimlere ayrılarak bir tahmin yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen tahminler, Wang vd, (2007a) [16] tarafından da kullanılan Suyolu Ağı Gemi Trafiği, Enerji ve  evre Modeli (STEEM) sistemi de dâhil olmak üzere Wang vd, (2008) [1] tarafından geliştirilmiştir. Bu çalışmada bulunan sonuçlar, daha önce çeşitli kuruluşlar tarafından Avrupa’nın çeşitli bölgelerinde yapılan emisyon hesap sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Winebrake vd, (2009) [17], yaptıkları çalışmada tahmin yöntemlerini de kullanarak, gemi emisyonlarının dünya çapında insan sağlığı, özellikle kardiyopulmoner ve akciğer kanseri, üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Tümevarım yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalardan ENTEC (2005a) [18], çeşitli verilere dayanarak bir emisyon tahmin yöntemi geliştirmiştir. ENTEC (2005a) [18] ile birlikte bir diğer benzer ve  onemli çalışma da IIASA, (2007) [19] tarafından yapılmıştır. Wang vd, (2007b) [20], STEEM sistemini kullanarak bir modelleme yapmıştır. Bu model, emisyon hesabı ve bu emisyonların coğrafi dağılımlarını bulabilmek için tümevarım yöntemini kullanır ve gemi aktivitelerini ayrıntılı olarak inceler. Bu çalışmada kullanılan emisyon faktörleri Corbett ve Köhler, (2003) [6]’te kullanılanlarla aynıdır ve yapılan hesaplamalar, Wang ve Corbett (2005) [15] çalışmasına göre daha gelişmiştir. STEEM sistemi yaklaşımı, Wang vd, (2007c) [21] ve Corbett vd, (2009) [22] tarafından da kullanılmıştır. Georgakaki vd, (2005) [14] tarafından kullanılan sistemin geliştirilmiş hali Avrupa Karayolu Harici Ulaşım Emisyonları İncelemesi (EX-TREMIS) projesi kapsamında Schrooten vd, (2009) [23]

tarafından kullanılmıştır. Jalkanen vd, (2009) [24] tarafından yapılan çalışmada özellikle Baltık Denizi'ndeki emisyon oluşumu AIS kullanılarak incelenmiştir. Paxian vd, (2010) [25]'un açıkladığı ve Faber vd, (2009) [26]'un uyguladığı bir diğer yöntemde ise gemi aktiviteleri konusundaki bilgi eksikliği nedeniyle oluşabilecek belirsizliklerin üstesinden gelmek için İngiliz Loydu Deniz Bilgi Birimi (LMIU) veri tabanından yararlanarak gemi hareketleri hakkında bilgi toplamak önerilmiştir. Gemi kaynaklı kirleticilerin oranını hesaplayan bir başka çalışma da Farrell vd, (2003) [27] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada daha çok Amerika Birleşik Devletleri'nde intermodal taşımacılık üzerinde durulmuştur ve gemi ulaşımının diğer ulaşım türleriyle bir kıyaslaması yapılmıştır. Bunların haricinde Amann vd, (2004) [28], geleceğe yönelik emisyon tahmin hesabı yapılan çalışmalardan biridir.

Çizelge 1.2, bugüne kadar gemi kökenli CO₂ salım miktarları üzerine yapılan önemli çalışmaların bir özetini sunmaktadır.

Çizelge 1.2 CO₂ salım miktarı üzerine değişik çalışmalar [3]

Çalışma Alanı	Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl
Uluslararası Gemicilik Faaliyetleri	Corbett vd, (1999)	1993
	Skjølsvik vd, (2000)	1996
	Endresen vd, (2003)	2001
	Corbett ve Köhler, (2003)	2001
	Eyring vd, (2005)	2001
	Endresen vd, (2007)	2000
	Wang vd, (2008)	2001
	Edgar, (2009)	2001
	IEA	2001
	EIA	2001
	IMO, (2009)	2001
	Eyring vd, (2009)	2000
	Edgar, (2009)	2004
	Dalsøren vd, (2008)	2004
	IMO, (2009)	2004
	Eyring vd, (2009)	2005
Toplam Gemicilik Faaliyetleri	Corbett ve Köhler, (2003)	2001
	Eyring vd, (2005)	2001
	IMO, (2009)	2001
	Paxian vd, (2010)	2006
	IMO, (2009)	2006
AB 200nm ¹	Wang vd, (2008)	2001
	Edgar, (2009)	2001
	ENTEC, (2005)	2000
AB Toplam	Paxian vd, (2010)	2006
	Schrooten vd, (2009)	2005

¹AB ülke kıyılarından 200 deniz mili uzaklığa kadar olan sularda ölçülen değerler

Çizelge 1.3'te ise bugüne kadar gemi kökenli SO_x salımı üzerine yapılmış önemli çalışmaların bulgularının özeti görülmektedir.

Çizelge 1.3 SO_x salım miktarı üzerine değişik çalışmalar [4]

Çalışma Alanı	Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl
Dünya Çapı	Endresen vd, (2005)	2001
	Corbett ve Köhler, (2003)	2001
	Endresen vd, (2003)	2000
	Skjølsvik vd, (2000)	1996
	Olivier ve Berdowski, (2001)	1995
	Corbett vd, (1999)	1993
Kuzey Denizi/Baltık	Whall vd, (2002)	2000
EMEP (Kuzeydoğu Atlantik/Akdeniz/Karadeniz)	Whall vd, (2002)	2000
Kuzeydoğu Atlantik	LR, (1995)	1990
Baltık	LR, (1998)	1990
Akdeniz/Karadeniz	LR, (1999)	1990
Asya Denizleri	Streets vd, (2000)	1995

Çizelge 1.4'ta bugüne kadar yapılmış değişik çalışmalardan elde edilen gemi kökenli NO_x miktarları özetlenmiştir.

Çizelge 1.4 NO_x salım miktarı üzerine değişik çalışmalar [6; 29]

Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl
Corbett ve Köhler, (2003)	2001
Endresen vd, (2003)	2000
Skjølsvik vd, (2000)	1996
Corbett vd, (1999)	1992/1993
Olivier ve Berdowski, (2001); Olivier ve Peters, (1999)	1990/1995
Benkovitz vd, (1996)	1990
UNFCCC, (1997)	1994

Gemi, üretimden geri dönüşümüne kadar diğer ürünlerle kıyaslandığında görece uzun ömürlü ve bu ömür içinde karmaşık süreçler içeren bir yapıdır. Yenilikçi teknolojiler ve güçlü düzenlemelerin yanında geminin çevreye daha az zararlı bir ürün haline getirilmesi için tüm yaşam döngüsü boyunca belli standartlara uyması ve bütün aşamalarının sistematik bir şekilde incelenmesi gerekir.

Yaşam Döngüsü Analizi (LCA), bir ürünün tüm yaşam süresi göz önünde bulundurulmak üzere; ürünü tanımlamak, değerlendirmek, üretim aşamasında harcanan enerjiyi ve çevreye olan zararları minimuma indirmek için kullanılır. LCA yöntemi ürünün hammadde aşamasından lojistik, üretim, işletme ve söküm aşamalarını içeren, yaşamı boyunca çevreye yaptığı etkileri inceleyen sistematik bir yöntemdir [30]. LCA her türlü ürüne uygulanabilir ve temelde amaca hizmet eder: (1) enerji tüketimini minimize etme, (2) çevreye olan etkileri minimize etme, (3) kullanılan malzemelerin etkinliğinin

değerlendirilmesi. LCA yöntemi özellikle atık yönetimi sektöründe hızla artan bir kullanıma sahiptir. Bu yöntem ayrıca kentsel alanlarda kullanılan atık yönetimi sistemlerinin çevreye olan potansiyel etkilerini incelemekte de başarıyla kullanılmıştır [31].

Verimliliği arttırmak, üretim süresini kısaltmak ve maliyetleri azaltmak için blok halinde üretim modeli geliştirilmiştir. Buna göre gemi çeşitli ağırlık ve boyutlarda bloklar halinde farklı yerlerde imal edilir ve daha sonra bu bloklar birleştirilir. Yüzey hazırlama ve raspa süreci mikro boyuttaki yüzey, boya ve raspa parçacıklarının çevreye yayılmasına neden olacağından bu süreç boyunca işçilerin korunması gerekir. Otomasyon sistemleri sayesinde hem işlem daha standart hale getirilmiş olur hem de işçi sağlığı ve çevresel performans istenen düzeye çekilebilir. Yeni geliştirilen raspa yöntemleri Açık Sistem Aşındırıcı Raspa (OTAB), Açık Çevrimli Aşındırıcı Raspa (OLAB) ve Kapalı Çevrimli Aşındırıcı Raspa (CLAB) olarak sayılabilir. Bu sistemler, malzeme, yüzey kalitesi, çevresel performans, işçi güvenliği ve diğer parametrelere göre değerlendirilir. Kaynak işlemi, en zararlı gaz emisyonu üreten süreçlerden birisidir. Çeşitli gazların yanı sıra, solunabilir düzeyde küçük ağır metal parçacıkları da havaya karışır. Kaynak işleminin bir diğer sıkıntısı ise işlemin standardizasyonunun sağlanmasındaki zorluktur. Bütün bu sıkıntılar, yeni ve daha az emisyon üreten elektrotların, gaz ve toz altı gibi daha az emisyon yayan kaynak yöntemlerinin kullanılmasıyla aşılabılır. Otomasyon sistemlerinin kullanılması da işlemin daha stabil hale gelmesini ve işçilerin zararlı kaynak dumanına maruz kalma ihtimallerini azaltır. Benzer şekilde boya süreci de çok miktarda VOC ortaya çıkaran bir işlemdir. Boya işlemini gerçekleştiren işçilerin mutlaka korunması ve işlemin iyi havalandırılan kapalı ortamlarda yapılması gerekmektedir. Boya sürecinin de otomasyon sistemlerine devredilmesi diğer süreçlerde olduğu gibi pek ok avantaj sağlayacaktır [32].

Operasyon aşamasındaki çevre ve verimlilik performansı daha çok dizayn aşamasının başarısıyla ilgilidir. Geminin tüm yaşam döngüsü boyunca en fazla emisyon ve atık üretilen aşama operasyon aşaması olduğu için bu aşamaya ayrıca önem verilmelidir. Dizayn aşamasında belirlenen yenilikçi teknolojiler, operasyon aşamasındaki emisyonların azaltılmasında en etkili yöntemdir. Düşük kükürt içeren yakıt seçimi, makine iç düzenlemeleri, filtre kullanımı, balast suyu ile taşınan yabancı organizmalar

için değişik yöntemler kullanılması ve mürettebatın eğitimi operasyon sırasındaki emisyon ve atıkları azaltma konusunda alınabileceknlemlerdir [33].

Geri dönüşüm süreci ise gemi yaşam döngüsünün son aşamasıdır. Gemi, çoğunlukla geri dönüştürülebilir malzemelerden oluşur ve bu yüzden geri dönüşüm aşaması ekonomik açıdan oknemlidir. Söküm sürecinde ortaya çıkan raspa atıkları, sökülen maddeler ve diğer metaller, boya ve çözücü ekipmanları, aşındırıcılar, soğutucu yağlar, hava, su ve toprak kirliliği meydana getirir. Özellikle yaşlı gemiler, asbest gibi çok zararlı malzemeler ihtiva edebilir. Gemi söküm aşamasının verimli ve çevreye daha az zarar verir nitelikte yapılabilmesi için söküme gemi başından başlanması, yağ ve yakıt gibi suda çözünmeyen maddeler içeren bölümlerin ayrı yerlerde sökülmesi, asbest gibi zehirli malzemeler ve radyoaktif maddeler için eknlemler alınması ve bu maddelerin çevreyle ve insanla temasının olabildiğince azaltılması, lojistik sistemlerinin geliştirilmesi ve konuyla ilgili geliştirilen düzenlemelere uyulması gerekmektedir [30].

1.2 Tezin Amacı

Konuyla ilgilinemli çalışma yapılmış olmasına karşın [9; 34; 35], bu tezde birbirinden farklı iki çalışmada [9; 35] elde edilmiş olan emisyon faktörleri kullanılaraktane kuru yük gemisinin yıllık emisyon ayak izi karşılaştırması yapılmıştır. alışmaları birbiriyle kıyaslanırken emisyon hesabı konusunda geliştirilen iki farklı hesap yönteminin (yakıt tüketimi ve makine gücü) de kıyaslaması yapılmıştır. Son olarak gemilerin emisyon ayak izlerine yeni bir yaklaşım olarak ton/deniz mili cinsinden emisyon yoğunluğu hesabı yapılmıştır. Bunun ardından gemi ana karakteristikzellikleriyle hesaplanan emisyon miktarları regresyon analizine sokularak karakteristikzelliklere bağlı emisyon tahmin formülleri geliştirilmiştir.

1.3 Hipotez

Trozzi, (2010) [36] gemi emisyon tahmini için iki farklı yntemnermiştir: Yakıt tüketimi verisine dayanan tahminler ve makine gücüne dayanan tahminler. Yakıt tüketimine dayanan emisyon tahminlerin gerçek zamanlı ve kesin verilerle yapıldığından genellikle daha gerçekçi sonuç verdiği varsayılır. Makine gücü yönteminin kullanılması, gemi seyir bilgilerinin iyi edinilmiş olmasına bağlıdır. Hem yakıt tüketim,

hem de gemi rota ve seyir bilgilerinin ayrıntılı bir şekilde bilinmesi durumunda doğru emisyon tahmini için her iki yöntem ile de hesaplama yapılması önerilebilir.

Çeşitli çalışmalarda önerilen formüller küçük farklılıklar göstermekle birlikte genel olarak aynı verileri kullanır. Farklılık genelde sadece ifade şeklindedir. Trozzi, (2010) [36] çalışmasında bütün bu formülleri basit bir şekilde özetlemiştir. Yakıt tüketiminin bilinmesi durumunda (1.1) numaralı, makine gücünün ve seyir bilgilerinin bilinmesi durumunda ise (1.2) numaralı formüller uygulanabilir.

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_p (FC_{j,m,p} \times EF_{i,j,m,p}) \quad (1.1)$$

$$E_{Trip,i,j,m} = \sum_p [T_P \sum_e (P_e \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p})] \quad (1.2)$$

(1.1) numaralı formülde;

E_{Trip} : Bütün yolculuk boyunca oluşan toplam emisyon (ton)
 FC : Yakıt tüketimi (ton)
 EF : Emisyon faktörü (kg/ton yakıt)
 i : Kirletici tipi
 j : Makine tipi
 m : Yakıt tipi
 p : Yolculuk aşamaları (seyir, manevra, demirleme, açıkta bekleme)

(1.2) numaralı formülde;

E_{Trip} : Bütün yolculuk boyunca oluşan toplam emisyon (ton)
 EF : Emisyon faktörü (kg/kWh)
 LF : Makine yük faktörü (%)
 P : Makine gücü (kW)
 T : Yolculuk süresi (saat)
 e : Makine kategorisi
 i : Kirletici tipi
 j : Makine tipi
 m : Yakıt tipi
 p : Yolculuk aşamaları (seyir, manevra, demirleme, açıkta bekleme)

Bu çalışmada üç farklı geminin bir yıllık emisyon ayak izi üç farklı çalışmadan elde edilen emisyon katsayısı verileriyle hesaplanmış ve böylece farklı yöntemler arasında kıyaslamalar yapılması mümkün olmuştur. Bunun yanında bir geminin yıllık rotası belirlenmiş ve bu rota üzerinde hangi bölgede daha fazla emisyon salımı olduğu ton emisyon/nm cinsinden hesaplanmış ve risk faktörü yüksek bölgeler tespit edilmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan gemiler Gemi A, Gemi B ve Gemi C olarak adlandırılmış olup teknik verileri aşağıdaki gibidir:

Çizelge 1.5 Gemi A, Gemi B ve Gemi C teknik özellikleri

	Gemi A	Gemi B	Gemi C
L_{OA}	180,5 m	189,99 m	182,8 m
L_{BP}	172 m	185 m	174,7 m
B	30 m	32 m	-
D	14,7 m	18 m	15,45 m
T	9,5 m	12,5 m	11,015 m
DWT	35364 ton	66533 ton	41540 ton
Ana Makine Gücü	6480 kW	9480 kW	6278,8 kW
Yardımcı Makine Gücü	3 x 600 kW	600 kW	3 x 576 kW
Hız	13,7 knots	14 knots	13 knots

Hesaplamalar için iki farklı yöntem [9; 35] kullanılmıştır. Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] ve Eyring vd, (2005a) [9] verileri hem makine gücü hem de yakıt tüketimi yöntemleri için kullanılabilir. Buna göre öncelikle yakıt tüketimi yöntemi emisyon katsayıları kullanılarak eldeki gemilerin gerçek zamanlı yakıt tüketim verileri yoluyla gemilerin yıllık emisyon ayak izleri hesaplanmış ve emisyon katsayıları arasında bir kıyaslamaya gidilmiş; ardından makine gücü verileri ve emisyon faktörleri ile bir hesaplama yapılmış ve böylece iki temel yöntem sonucunda elde edilen tahminlerin kıyaslanması sağlanmıştır. Yakıt tüketim yöntemi ile makine gücü yöntemi sonuçları arasında bir tutarlılık kıyaslaması yapılmıştır.

Sonrasında gemilerin her bir rota için oluşturdukları emisyon miktarları hesaplanarak bu değerlerin rotaların deniz mili cinsinden mesafe değerlerine bölünmesiyle emisyon yoğunlukları hesaplanmıştır. Gemi ana boyutları ile hesaplanan emisyon miktarları arasında bir bağıntı geliştirilerek oluşabilecek emisyon miktarının ön dizayn aşamasında gemi ana boyutlarına bağlı olarak bulunabilmesini sağlayacak formüller elde edilmiştir.

GEMİ BACA GAZI EMİSYONLARI OLUŞUMU, ZARARLARI VE TAHMİN YÖNTEMLERİ

2.1 Dünya Deniz Ticareti Gelişimi ve Gelecek Tahminleri

Sanayi Devrimi'nden önceki çağlarda gemi üretimi için ahşap malzeme kullanılırken gemi operasyonu da rüzgâr gücüyle ya da kürek vasıtasıyla sağlanmaktaydı. Dolayısıyla gemiler, çevreye zararlı etkiler bırakmaktan çok uzaktı. Sanayi Devrimi'nden sonra gemi üretiminde çelik sacların kullanılmaya başlanması, gemi birleştirme sürecinde perçin gibi geleneksel yöntemler yerine kaynak sürecinin devreye girmesi, gemiyi dış etkilerden korumak için çeşitli kimyasallar içeren boyaların geliştirilmesi üretim aşamasını; operasyon sırasında elde edilecek güç için önce katı bir fosil yakıt olan kömürün buhar kazanlarında, sonra da sıvı fosil yakıtların içten yanmalı motorlarda kullanılması ise gemi operasyonu aşamasını emisyon üretir hale getirmiştir. Üretim aşamasında kullanılan zararlı maddeler, bakım/onarım ve söküm/geri dönüşüm aşamalarını da doğal olarak etkilemiştir.

Dünya denizcilik filosu, 1870'ten 1940'a kadar geçen süre içerisinde rüzgâr gücünden faydalanan araçlardan tümüyle makine gücü ile sevk edilen araçlara geçmiştir. 1920'lerde kömürü ana yakıt kaynağı olarak kullanan ve buhar gücüyle çalışan gemiler en yaygın kullanılan gemiler olmuştur. Sonrasında ise dizel makinelerin ortaya çıkmasıyla kömür, yerini dizel yakıtlara bırakmıştır. Tümüyle dizel makinelere geçiş, 100 yıldan fazla bir süre almıştır [37].

Dünyadaki genel ekonomik veriler toplam dünya ticaretiyle, böylece dolaylı olarak da deniz taşımacılığıyla yakından ilişkilidir. Gemicilik sektöründeki tüm gelişmeler de bu ekonomik verilere bağlıdır. Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı'nın (UNCTAD) verilerine göre dünya deniz ticareti 2011 yılında 1970'teki durumuna kıyasla 235 % civarında bir artış göstererek 2.605 milyon tondan 8.748 milyon tona ulaşmıştır [38]. Dünya deniz ticaretinin yük çeşitlerine göre yıl bazında gösterdiği değişim Çizelge 2.1'de görülmektedir.

Çizelge 2.1 Uluslararası deniz ticaretinin gelişimi (milyon ton) [38]

Yıl	Petrol ve Gaz	Dökme Yükler	Diğer Kuru Yükler	Toplam (Tüm Yükler)
1970	1.440	448	717	2.605
1980	1.871	608	1.225	3.704
1990	1.755	988	1.265	4.008
2000	2.163	1.295	2.526	5.984
2005	2.422	1.709	2.978	7.109
2006	2.698	1.814	3.188	7.700
2007	2.747	1.953	3.334	8.034
2008	2.742	2.065	3.422	8.229
2009	2.642	2.085	3.131	7.858
2010	2.772	2.335	3.302	8.409
2011	2.796	2.477	3.475	8.748

Uluslararası Deniz Ticaret Odası'nın (ICS) 2010 verilerine göre dünya üzerinde 16.224'ü genel kargo gemisi, 8.687'si dökme yük gemisi, 4.831'i konteyner gemisi, 13.175'i tanker ve 6.597'si yolcu gemisi olmak üzere toplam 50.054 kayıtlı gemi bulunmaktadır [39]. Bir diğer çalışmada ise 2001 yılının sonunda dünyadaki toplam gemi sayısının 43.967'si yük gemisi, 45.096'sı yolcu gemisi, balıkçı gemisi ve römorkör, 1.300'ü ise askeri gemi olmak üzere toplam 90.363 olduğu tespit edilmiştir [9]. 1996-2000 yıllarını kapsayan bir başka çalışmada ise dünyadaki toplam gemi sayısının 87.546 olduğu hesaplanmıştır [5]. 1950'den 2001 yılının başına kadar dünyadaki gemi sayısının artışı da aşağıdaki Çizelge 2.2'deki gibi verilmiştir.

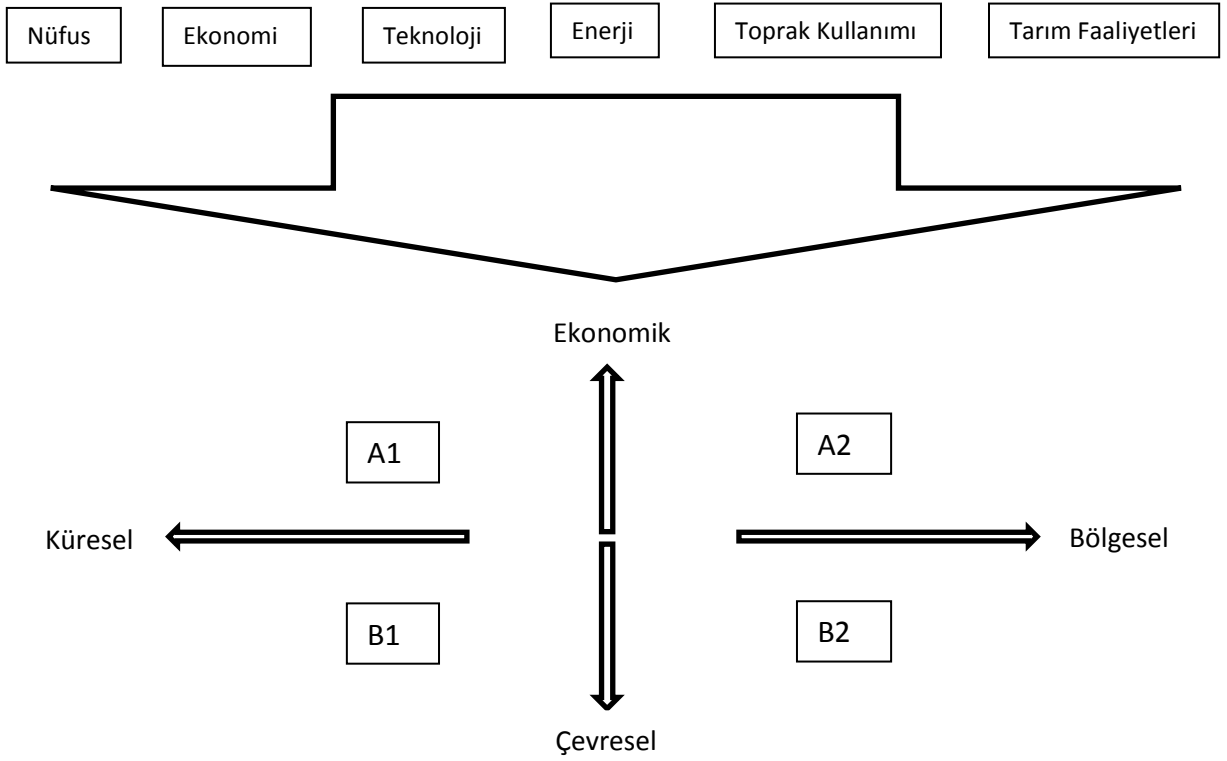
Çizelge 2.2 1950-2001 Yılları arasında ticari gemi sayısındaki değişimler (100 GT ve üzeri) [9]

	1950	1960	1970	1980	1995	2001
Gemi Sayısı	30.844	36.344	52.444	81.000	87.600	89.063

Buna göre 1950-2001 yılları arasında toplam gemi sayısı yıllık ortalama 3,7 %'lik bir artış göstermiştir.

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından 2000 yılında yayınlanan Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES) kitapçığında 1990-2050 yılları arasındaki

ekonomik gelişmeyi incelemiştir. Bu kitapçıkta SRES senaryoları adı verilen ve tahmini ekonomik, sosyal ve teknolojik gelişmeler ışığında dört farklı gelecek senaryosu belirlenmiştir: A1, A2, B1 ve B2. Bu dört senaryo, nüfus, ekonomi, teknoloji, enerji, toprak kullanımı ve tarım faaliyetleri olmak üzere altı farklı kaynaktan elde edilen bilgiler birleştirilerek oluşturulmuştur. Şekil 2.1, SRES senaryolarını açıklayıcı bir şekilde özetlemiştir.



Şekil 2.1 SRES senaryoları

A1 senaryosu, hızlı bir ekonomik gelişim, düşük nüfus artışı, yeni ve daha verimli teknolojilere hızlı bir geçişi öngörmektedir. A2 senaryosu yüksek nüfus artışı ve diğer senaryolara göre daha parçalı ve yavaş bir ekonomik gelişimi öngörmektedir. B1 senaryosu, A1 senaryosuna yakın bir nüfus artış hızı öngörmekle beraber ekonomik yapılarıdaki değişimler daha hızlıdır. B2 senaryosunda ise ortalama bir nüfus artış hızı ve ekonomik büyüme öngörülmektedir. Bu senaryoda ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirlik ön plandadır. Bu senaryolarda 1990-2050 yılları arasında gerçekleşmesi öngörülen yıllık gayri safi yurt içi hâsıla (GSYH) artış hızı A1 senaryosu için 3,6 %; A2 senaryosu için 2,3 %; B1 senaryosu için 3,1 %; B2 senaryosu için 2,8 % olarak belirlenmiştir [40].

Eyring vd, bu verilere dayanarak 2005 yılında yaptıkları bir çalışmada dört farklı gemi trafik talep senaryosu (DS) geliştirmişlerdir. Buna göre DS1 senaryosu A2 senaryosunu; DS2 senaryosu B2 senaryosunu; DS3 senaryosu B1 senaryosunu ve DS4 senaryosu A1 senaryosunu baz almaktadır [41]. Deniz ticaret hacmi, GSYH'deki dalgalanmalarla doğru orantılı bir hareket seyri izlemekle birlikte yükseliş/düşüş oranı GSYH oranlarıyla aynı olmak zorunda değildir. Uluslararası Para Fonu (IMF)'nun verilerine göre geçtiğimiz yirmi yılda ortalama GSYH artışı 2,8 % olmasına karşın aynı dönemdeki deniz ticaret hacmi artışı 6,4 % civarında olmuştur [42]. Gemi ticaret hacmi 1985'ten beri hacim bazında yıllık ortalama 3,3 % ; ton-mil bazında ise yıllık ortalama 3,6 % oranında artış göstermiştir [43].

Gemi talep senaryoları (DS) haricinde daha çok teknolojik gelişmeleri esas alan teknoloji senaryoları (TS) da Eyring vd, 2005b [41] tarafından geliştirilen tahmin yönteminde kullanılmaktadır. Bu senaryolar GSYH hareketlerinden bağımsız olup teknolojik yeniliklere bağlıdır.

TS1 senaryosu 'temiz senaryo' olarak adlandırılır ve gelecekte çok düşük kükürt içerikli yakıtlar kullanılacağını ve NO_x emisyonlarında büyük bir düşüş olacağını kabul eder. TS2 senaryosu 'ortalama dizayn' olarak adlandırılmıştır ve görece düşük kükürt içeren yakıtların kullanılacağını ve TS1'e göre daha az NO_x azalması gerçekleşeceğini kabul eder. TS3 senaryosu Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) düzenlemeleriyle uyumludur. Gelecekte yakıtların kükürt içeriğinin hala yüksek olacağını ve NO_x azaltımı yönündeki tedbirlerin sadece IMO standartlarıyla – daha fazlası değil – uyumlu olacağını kabul eder. TS4 senaryosu yakıt kükürt içerikleri ve NO_x azaltma tedbirleri konusunda TS3 ile benzerlik gösterir ancak alternatif tedbirlerin olmayacağını kabul eder [41].

Bu bilgiler ışığında Eyring vd, (2005b) [41], geliştirdikleri tahmin yöntemiyle, 2001 yılının verilerini kullanarak çeşitli senaryolara göre 2020 ve 2050 yıllarındaki gemi sayısı, gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü ve yakıt tüketimi oranlarını elde etmişlerdir. Bu amaçla çeşitli lineer olmayan formüller kullanmışlardır. Bu formüller aşağıda ayrıntılı olarak tanıtılmıştır.

Ekonomik büyüme ile toplam deniz ticareti arasındaki bağıntı;

$$TST_{f,DS} = -1.081 + 0,76 * GDP_{f,DS} \quad (2.1)$$

Burada TST , milyon ton cinsinden toplam deniz ticaret hacmini; f , gelecekteki herhangi bir yılı; DS ise kullanılacak olan senaryoyu ifade eder.

Gemi sayısı ile toplam deniz ticareti arasındaki bağıntı;

$$N_{gemi,f,DS} = 74.983 + 2,62 * TST_{f,DS} \quad (2.2)$$

Burada N , gemi sayısını; f , gelecekteki herhangi bir yılı; DS ise seçilen senaryoyu ifade eder.

Gelecekteki toplam güç tahmini için bağıntı;

$$P_{tot,f,DS} = P_{MW,ship,f} * N_{ship,f,DS} + P_{tot,aux,f,DS} + P_{MW,mil,2001} * N_{ship,mil,2001} \quad (2.3)$$

Burada f alt indisi gelecekteki herhangi bir yılı; DS incelenecek senaryoyu; $P_{MW,ship}$ ticari gemilerin toplam makine gücünü; $P_{tot,aux}$ toplam yardımcı makine gücünü; $P_{MW,mil}$ ise askeri gemilerin toplam makine gücünü ifade eder. Ticari gemilerin toplam makine gücü, 1990-2003 arası verilerden yola çıkılarak 2020 ve 2050 için lineer olarak hesaplanmıştır. Toplam yardımcı makine gücü de benzer şekilde gemi sayısındaki artışa göre lineer olarak tahmin edilmiştir. Askeri gemilerin toplam makine gücü ise sabit olarak kabul edilmiştir.

Gelecekteki toplam yakıt tüketimi için bağıntı;

$$FC_{2020,DS} = FC_{2001} * P_{tot,2020,DS} / P_{tot,2001} \quad (2.4a)$$

$$FC_{2050,DS,TS} = (1 - \rho_{TS}) * (FC_{2001} * \frac{P_{tot,2050,DS}}{P_{tot,2001}}) \quad (2.4b)$$

Görüldüğü gibi 2020 ve 2050 için kullanılan tahmin yöntemleri farklıdır. 2020'deki toplam yakıt tüketimi hesabında 2020 yılı için öngörülen toplam makine gücü verisi kullanılır. 2050'deki toplam yakıt tüketimi hesabında ise ρ_{TS} faktörü devreye girer. Bu faktör, sadece dizel makine kullanılan bir teknolojiyen 2050 yılında alternatif enerji yöntemlerine geçişi ve dolayısıyla yakıt tüketimindeki azalmaları ifade eder.

Gelecek tahminleri Çizelge 2.3'te ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.

Çizelge 2.3 2001 Yılındaki 100 GT ve üzeri gemi sayısı (askeri gemiler dâhil), gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü, yakıt tüketimi ve 2020/2050 tahminleri [41]

	YIL	DS1	DS2	DS3	DS4
Gemi Sayısı	2001	90.363	90.363	90.363	90.363
	2020	100.400	103.000	104.700	107.700
	2050	126.800	141.200	151.600	172.400
Gemi Başına Ortalama Makine Gücü (MW)	2001	3,8	3,8	3,8	3,8
	2020	4,7	4,7	4,7	4,7
	2050	5,2	5,2	5,2	5,2
Toplam Makine Gücü (MW)	2001	343.384	343.384	343.384	343.384
	2020	468.900	480.800	488.500	502.200
	2050	657.400	730.800	783.800	890.300
Yakıt Tüketimi (Mt)	2001	280	280	280	280
	2020	382	392	398	409
	2050	402/536	446/595	479/638	543/725

¹2001 yılı için gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü ve yakıt tüketim verileri Eyring vd (2005a)'dan alınmıştır. 2050 yılına ait yakıt tüketim verisinde birinci sayı TS1, TS2, TS3 senaryolarını; ikinci sayı ise TS4 senaryosunu ifade etmektedir.

Gemi trafik talep senaryolarında öngörülen yıllık deniz ticaret hacmi artışı DS1 senaryosu için 2,6 %; DS2 senaryosu için 3,1 %; DS3 senaryosu için 3,4 %; DS4 senaryosu için 4,0 % olarak belirlenmiştir. Buna göre, en iyimser senaryoda bile 2020 ve 2050 yıllarındaki toplam gemi sayısının sırasıyla 100.400 ve 126.800 olacağı tahmin edilmektedir. Gemi sayısı, gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü ve yakıt tüketimindeki tahmini artışlar yüzde cinsinden Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.4 2020 ve 2050 Yıllarındaki gemi sayısı, gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü ve yakıt tüketimi artış yüzdeleri

	YIL	DS1	DS2	DS3	DS4
Gemi Sayısı	2020	11,1 %	13,9 %	15,8 %	19,1 %
	2050	40,3 %	56,2 %	67,7 %	90,7 %
Gemi Başına Ortalama Makine Gücü	2020	23,6 %	23,6 %	23,6 %	23,6 %
	2050	36,8 %	36,8 %	36,8 %	36,8 %
Toplam Makine Gücü	2020	36,5 %	40,0 %	42,2 %	46,2 %
	2050	91,4 %	112,8 %	128,2 %	159,2 %
Yakıt Tüketimi	2020	36,4 %	40,0 %	42,1 %	46,0 %
	2050	43,5 %/91,4 %	59,2 %/112,5 %	71,0 %/127,8 %	93,9 %/158,9 %

¹Tüm yüzde hesaplamaları Çizelge 1.3'te verilen 2001 verilerine göre yapılmıştır.

Çizelge 2.4 incelendiğinde en iyimser senaryoda bile 2020 ve 2050 yılları için gemi sayısındaki artış sırasıyla 11,1 % ve 40,3 % olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde toplam makine gücünün 2020 yılında 36,5 %; 2050 yılında ise 91,4 % civarında artış göstereceği öngörülmektedir. Yakıt tüketimi ise 2020 yılında 36,4 %; 2050 yılında 43,5 % artacaktır. Çizelge 2.4, aynı zamanda gemi sayısındaki artış ile toplam makine gücü ve yakıt tüketimi artışı arasındaki lineer olmayan bağlantıyı da göstermektedir.

Eyring vd (2005b) [41], olası değişik senaryoları göz önüne alarak gelecekteki gemi sayısı, toplam makine gücü ve yakıt tüketimi tahminlerini ayrıntılı olarak kapsayan ilk çalışmadır. Bir sonraki bölümde incelenecek olan diğer çalışmalar genellikle sadece emisyon üzerine yapılan tahmin yöntemlerini içermektedir.

Bütün bu veriler göz önüne alındığında denizcilik sektörünün gelecek yıllarda önlenemez bir yükseliş içinde olacağı söylenebilir. Gemilerin başlıca yakıt kaynağını fosil yakıtların oluşturduğu ve gemi sevk cihazlarının çoğunun içten yanmalı motorlar olduğu hesaba katılırsa, son elli yılda ciddi bir problem olarak yükselen ve günümüzde önlenmesi gereken bir tehdit haline gelen gemi emisyonlarının, gelecekte dünya denizlerinde daha fazla sayıda geminin dolaşacağından, çok daha büyük sorunlara yol açacağı açıktır.

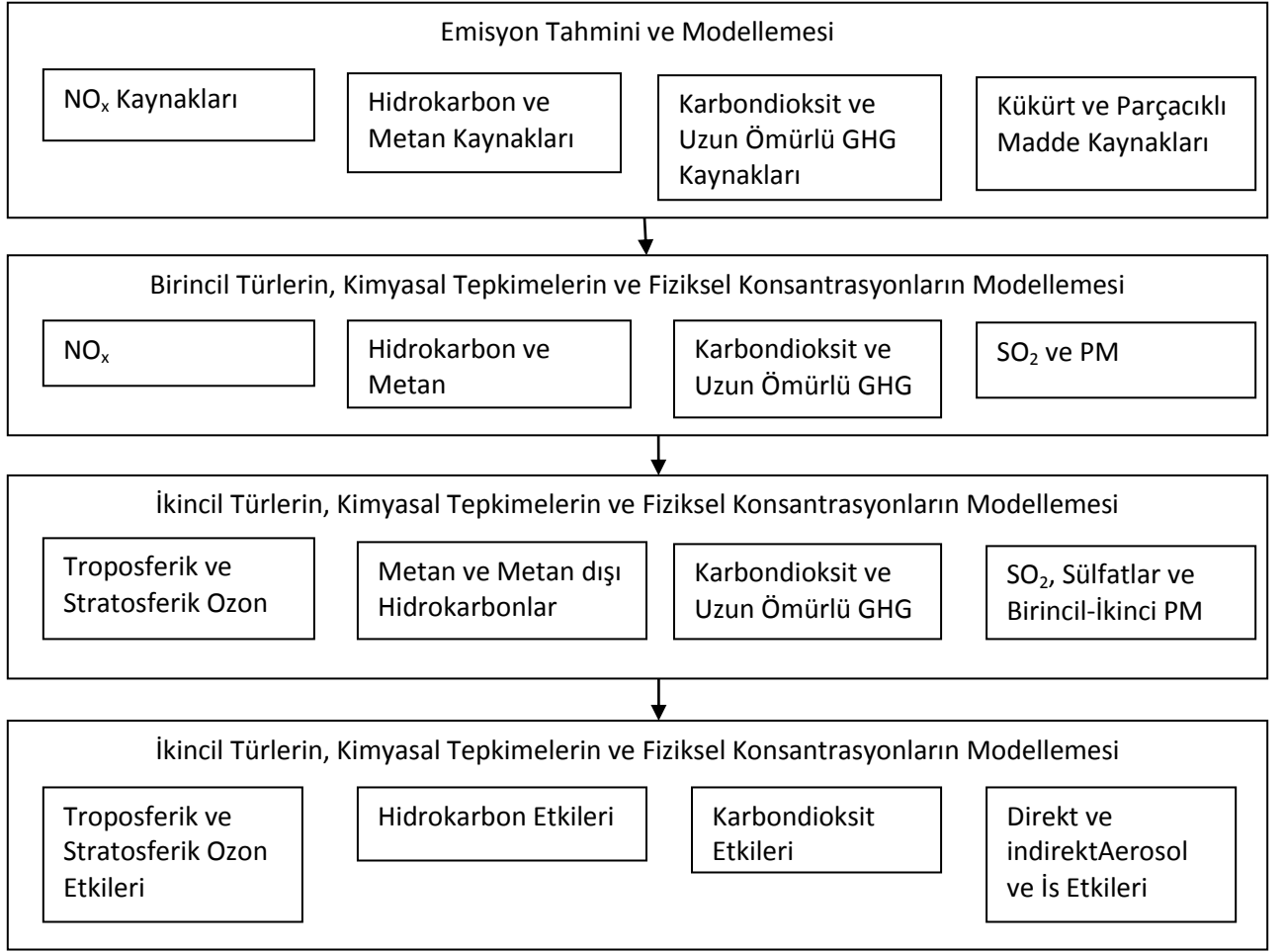
Fosil yakıtların yoğun olarak kullanılmaya başlanmasıyla birlikte dünya ikliminde şiddetli değişimler gözlenmeye başlanmıştır. Yakıtların içeriğindeki çeşitli bileşikler, yanma sonucu gaz formunda atmosfere karışmakta ve küresel ısınma ya da küresel soğuma gibi olumsuz etkilere neden olmaktadır.

Küresel ısınma, sera gazı adı verilen gazların bir tabaka oluşturarak dünyaya ulaşan güneş ışığının dünyanın katı ya da sıvı yüzeyinden yansıyarak uzaya geri gönderilmesini engellemesi sonucu meydana gelir. Küresel soğuma ise aerosol benzeri gazların atmosferde fazlaca birikmesiyle yeteri kadar güneş ışığının yeryüzüne ulaşamaması sonucu gerçekleşir ve her iki olayın da uzun vadeli etkileri oldukça zararlıdır.

Gazların küresel ısınmaya ya da küresel soğumaya katkıları ışıınım etkisi (RF) ile ölçülür. Işıınım etkisi, [44] tarafından atmosferdeki net ışıınım akışının değişimi olarak tanımlanır. Yine bu tanıma göre pozitif RF atmosferde ve dünya yüzeyinde ısınmaya; negatif RF ise soğumaya neden olur [45].

Işıınım etkisine benzer bir diğer olay da albedo adı ile anılır. Albedo, bir yüzeyin yansıtma gücü ya da kapasitesi olarak tanımlanır ve ekosistemi fiziksel ve biogeokimyasal olarak etkiler. Bu etkiler arasında yüzey sıcaklığı ve enerji dengesi de bulunur [46]. Atmosfere karışan bazı parçacıkların yüzeye inmeleri sebebiyle yüzeyin yansıtıcılığındaki değişim, küresel ısınma ya da küresel soğuma gibi olaylara etki etmektedir.

Şekil 2.2, küresel ısınma tahmin sürecini özetlemektedir.



Şekil 2.2 Küresel iklim etkilerinin tahmini için genel modelleme süreci [12]

2.2 Yakıtlar ve Gemi Emisyonları

Gemi emisyonlarının oluşma sebebi kullandıkları yakıtlardır. Fosil yakıtlar olarak adlandırılan ve karbon bazlı olan gemi yakıtları, modern yanma teknikleriyle yakılıp kullanıldıklarında pek çok etkene bağlı olarak çeşitli gaz emisyonları açığa çıkmasına neden olurlar. Gemi emisyonlarını hesaplayabilmek için gemilerin yakıt tüketim verilerine ihtiyaç duyulur. Bu veriler, emisyon faktörü adı verilen ve harcanan ton yakıt başına oluşan kilogram emisyon miktarını veren değerlerle çarpıldıklarında istenen sonuçlara ulaşılmış olur.

2.2.1 Yakıtlar ve Yakıt Tüketimi

Özellikle yakıt tüketimi konusunda referans olarak kabul edilen pek çok çalışma mevcuttur [5; 6; 9; 47; 48; 49]. Bu çalışmaların bulgusu olan yakıt tüketim miktarları

Çizelge 2.5'te açıklanmıştır. IEA, (2000) [47] ve IEA, (2005) [48] çalışmaları dünya genelindeki enerji ihtiyacına bağlı olarak gemicilik dahil fosil yakıt tüketilen tüm çalışma alanlarını da incelemiş, diğer çalışmalar ise çoğunlukla gemiler üzerinde hesaplamalar yapmıştır.

Çizelge 2.5 Çeşitli çalışmalara göre yakıt tüketim tahminleri

Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl	Yakıt Tüketim Miktarı (milyon ton)
Endresen vd, (2003)	1996; 2000	145; 158
Corbett ve Köhler, (2003)	2001	289
Eyring vd, (2005a)	2001	280
IMO, (2007)	2007	369

Yakıt tüketiminin doğru tahmin edilmesinde sıkıntılar bulunmaktadır. Çizelge 2.6'da yakıt tüketim miktarının bulunması konusundaki yöntemler ve bu yöntemlerin güvenilirliği gösterilmiştir.

Çizelge 2.6 Ana ve yardımcı makinelerin yakıt tüketimlerinin bulunmasında güvenilirlik [13]

Makine Türü	Bilgi Kaynağı	Güvenilirlik
Ana Makine Yardımcı Makine	Toplam Gemi Sayısı	Çok Yüksek
	Ortalama Makine Gücü	Çok Yüksek/Yüksek
	Ortalama Operasyon Günü	Ortalama
	Ortalama Makine Yüğü	Ortalama
	Ortalama SFOC	Yüksek
Ana Makine	Ortalama Görev Dışı Günler	Ortalama ²
Ana Makine	AIS ¹ arası Mesafe Hesapları	Ortalama
Ana Makine	Tekne Dizayn Hızı	Ortalama

¹AIS: Automatic Identification System

²Ortalama Operasyon Günü verisine etki eder

Bir geminin yakıt tüketimini kesin olarak hesaplayabilmek için aslında Çizelge 2.6'da sayılan verilerin hemen hepsine birden ihtiyaç vardır. Dünya çapındaki toplam yakıt sarfiyatını hesaplayabilmek için öncelikle toplam gemi sayısına, hesaplama yöntemine göre bu gemilerin tek tek ya da ortalama makine güçlerine (ana ve yardımcı makineler), yine hesaplama yöntemin göre gemilerin tek tek ya da ortalama operasyon günü verisine, makine yüküne, özgül yakıt tüketimi verilerine (SFOC) ihtiyaç duyulmaktadır. Kesin yakıt tüketim miktarı ancak bütün bu veriler sağlıklı bir şekilde elde edildiğinde hesaplanabilir ancak bütün verilerin toplanması ve değerlendirilmesi zor ve uzun soluklu bir süreç olduğundan tümdengelim ya da tümevarım gibi yöntemler geliştirilmiştir.

Gemilerin kullandığı yakıtlar temelde iki tip olarak incelenir: Damıtılmış yakıtlar ve fueloil (mazot). Fueloil, petrolün rafinasyon işlemi sonucunda arta kalan en ağır maddedir. Gemilerin kullandığı yakıt, ağır fuel oil (HFO) ya da Bunker C olarak adlandırılır.

HFO, tüm gemi yakıtları arasındaki en ağır yakıttır ve yüksek oranda kükürt içerir. HFO'nun içerdiği kükürt miktarı $2,7 \%_{\text{mass}}$ olarak tespit edilmiştir ve bu miktar normal dizel yakıtın içerdiği kükürttten 90 % daha fazla bir miktara denk gelir [50]. HFO'nun içine bir miktar distile edilmiş yakıt karıştırılmış türüne orta fuel oil (IFO) olarak adlandırılır [51]. HFO yakıtları daha çok gemi ana makinesi tarafından kullanılır.

Deniz tipi gazoil (MGO), bünyesinde sadece hafif aromatik hidrokarbonlar bulunduran ve hiç çökelti petrol türevi içermeyen hafif bir yakıttır. MGO daha çok gaz türbinleri tarafından kullanılır ve A seviyesindeki MGO, en fazla $1,5 \%_{\text{mass}}$ oranında kükürt içerir. 2006-2007 yılları arasında dünyada satılan MGO'ların ortalama kükürt içeriği ise $0,38 \%_{\text{mass}}$ olarak verilmiştir. Deniz tipi dizel oil (MDO) ise kullanılan bir diğer yakıt türü olup jeneratör türü yardımcı makinelerde kullanılır ve MGO'ya göre daha az oranda distile edilmiş yakıt içerir [51; 52]. Çizelge 2.7'de yukarıda sayılan yakıt türlerinin özet bilgileri yer almaktadır.

Çizelge 2.7 Gemilerde kullanılan yakıt türleri ve özellikleri [51]

Yakıt Türü	Özellikler
Ağır fuel oil (HFO)	En düşük saflık derecesindeki ve en yüksek viskoziteye sahip çökelti yakıt
Orta fuel oil (IFO)	Distile edilmiş yakıt içeren HFO
Deniz tipi dizel oil (MDO)	Daha çok distile ve daha az çökelti yakıt içeren IFO
Deniz tipi gazoil (MGO)	En düşük viskoziteye ve en yüksek saflık oranına sahip, hafif, distile edilmiş yakıt

Çizelge 2.8'de 1950'den 2001'e kadar olan süreçte on yıllık dönemler halinde hesaplanan yakıt tüketimleri görülmektedir.

Çizelge 2.8 1950-2001 Yılları arasındaki yakıt tüketimi değişimi [9]

	1950	1960	1970	1980	1995	2001
Yakıt Tüketimi (Mt)	64,5	77	124	213	240	280

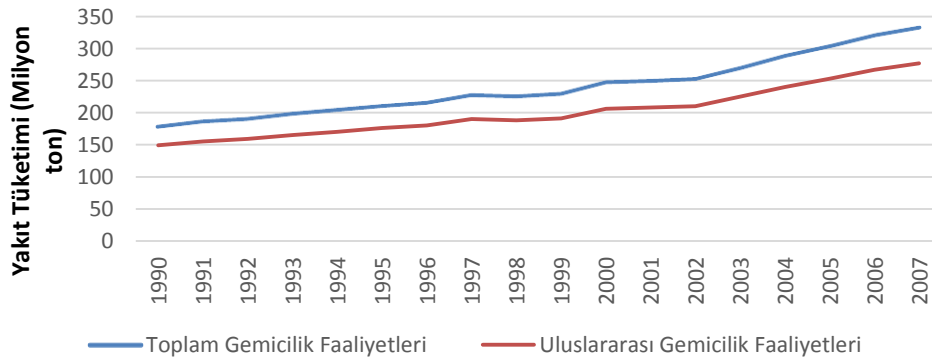
Bu çizelgeye göre gemilerin yakıt tüketimi 1950-2001 yılları arasında yıllık ortalama $6,5 \%$ civarında bir artış göstermiştir ki bu artış Çizelge 1.2'de görülen gemi sayısındaki artış oranından bağımsız ve daha fazladır. Yakıt tüketim artış hızının gemi sayısındaki artış hızından daha fazla olmasının nedeni yeni yapılan gemilere daha büyük ve güçlü makineler yerleştirilmesidir. Böylece gemi başına düşen makine gücü artmakta ve buna

bağlı olarak da emisyon miktarı da yükselmektedir ve bu da gelecek için tedirginlik yaratacak sorunlara yol açmaktadır. Çizelge 2.9'da MO'nun yaptığı çalışmalara göre 1990-2007 yılları arasındaki yakıt tüketim miktarları gösterilmektedir. IMO'nun konuyla ilgili daha güncel bir çalışması bulunamadığından 2007 yılına kadar yapılan hesaplamalar kullanılmıştır.

Çizelge 2.9 1990-2007 Yılları arasında hesaplanan yakıt tüketim miktarları [13]

Yıl	Toplam Gemicilik Faaliyetleri (Mt)	Uluslararası Gemicilik Faaliyetleri (Mt)
1990	179	149
1991	187	155
1992	191	159
1993	199	165
1994	205	170
1995	211	176
1996	216	180
1997	228	190
1998	226	188
1999	230	191
2000	248	206
2001	250	208
2002	253	210
2003	270	225
2004	289	240
2005	304	253
2006	321	267
2007	333	277

Çizelge 2.9'da, toplam gemicilik faaliyetlerindeki yıllık ortalama artışın 9,05 milyon ton olduğu görülebilmektedir. Bölüm-1'de bahsedildiği gibi yakıt tüketimindeki bu artış gelecek yıllarda daha da büyük bir sorun haline gelecektir. Çizelge 2.9'da verilen 1990-2007 yılları arasındaki yakıt tüketim artışı, daha iyi anlaşılabilmesi için grafik şeklinde Şekil 2.3'te yeniden düzenlenmiştir.



Şekil 2.3 1990-2007 Yılları arasındaki yakıt tüketim artışı grafiği

Toplam gemicilik faaliyetleri ile uluslararası gemicilik faaliyetlerinin yakıt artış hızları yaklaşık olarak aynıdır. Bunun nedeni uluslararası gemicilik faaliyetlerinin toplam gemicilik faaliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturuyor olmasıdır.

2.2.2 Gemi Emisyonları

Sanayi Devrimi'ni gemi emisyonlarının bugün anladığımız anlamda ortaya çıkmasını sağlayan olay olarak kabul edersek, İkinci Dünya Savaşı sonrası ekonomik anlayışın tetiklediği hızlı ekonomik büyümenin de gemi emisyonlarını ciddi ve üzerinde durulması gereken bir sorun olarak açığa çıkardığı süreç olarak kabul edebiliriz.

Gemi kökenli emisyonlar, incelenecek kaynağa ve etkiye göre veya incelemede izlenecek yola göre çeşitli alt kısımlara ayrılabilirler. Emisyon ve atıklar temel olarak iki şekilde ele alınabilir:

1. Bırakıldıkları Ortama göre Gemi Emisyon ve Atıkları
 - a. Havaya Bırakılan Emisyon ve Atıklar
 - b. Suyu Bırakılan Emisyon ve Atıklar
 - c. Karaya Bırakılan Emisyon ve Atıklar
2. Gemi Yaşam Döngüsündeki Süreçlere göre Gemi Emisyon ve Atıkları
 - a. Üretim Sürecinde Ortaya Çıkan Emisyon ve Atıklar
 - b. Operasyon Sürecinde Ortaya Çıkan Emisyon ve Atıklar
 - c. Söküm/Geri Dönüşüm Sürecinde Ortaya Çıkan Emisyon ve Atıklar

Bu çalışmada daha çok operasyon aşamasında havaya bırakılan emisyon ve atıklar üzerinde durulmuştur. Değişik çevre türlerine ve ekosistemlere olan tüm gemi kaynaklı emisyonlar, Çizelge 2.10'da ayrıntılı olarak sunulmuştur.

		Hava					Su		Toprak				Ekosistem		Diğer	
	Aktiviteler-Etkiler	Yerel Hava Kirliliği	Gürültü	Titreşim	Koku	Küresel Hava Kirliliği	Su Kirliliği	Bulanıklık	Toprak Kirliliği	Asidifikasyon	Erozyon	Toprak Kaybı	Çeşitlilik Kaybı	Habitat Kaybı	Yoğunluk	Atık Oluşumu
Limanda	Manevra	X	X	X		X		X		X	X					
	Yükleme/Boşaltma	X	X	X	X	X	X		X	X						X
	Limanda Bekleme	X	X	X		X				X			X	X		X
	Tarama	X	X			X	X	X		X			X	X		X
	Kara Trafığı	X	X	X		X	X		X	X			X	X	X	
	Yasal Olmayan Çöp Boşaltımı	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X	X		X
	Altyapı İnşa/Bakım	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
	Yakıt Çökeltileri				X		X		X			X	X	X		X
	Balast Suyu Boşaltımı						X	X	X				X	X		X
	Siyah/Gri Su Boşaltımı				X		X	X	X							X
	Yük Dağıtımı	X	X	X	X	X	X		X	X			X	X	X	X
	Endüstriyel işlemler	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
Denizde	Sızıntılar				X		X	X	X				X	X		X
	Seyir	X	X			X		X		X			X	X		
	Yasal Olmayan Boşaltımlar						X	X	X				X	X		X
	Siyah/Gri Su Boşaltımı				X		X	X	X				X	X		X
İnşa/Bakım/Söküm	Sızıntılar				X		X		X				X	X		X
	Boya	X			X		X		X	X			X	X		X
	Metal Temizleme	X			X		X		X	X			X	X		X
	Söküm/İmha	X	X		X	X	X		X	X			X	X		X

Gemi kaynaklı hava emisyonlarının tahmini zorlu bir süreçtir. Tahminin gerçekçi olması her şeyden önce incelenecek gemi sayısının kesine yakın şekilde bulunmasına bağlıdır. Bunun yanında çevresel bir analiz, dolayısıyla gemi emisyonlarının nerelerde yoğunlaştığı gibi bir inceleme yapılacaksa gemi rotalarının da bilinmesi gerekir. Kesin bir gemi emisyon tahmin hesabı yapılması için ise aşağıda sıralanan 10 bilgiye ihtiyaç duyulur.

1. Gemi tipi
2. Geminin ana ve yardımcı makine gücü
3. Ana makinenin yaşı
4. Gemi servis hızı
5. Makinelerin spesifik yakıt tüketimleri (g/kWh)
6. Makine toplam çalışma saati
7. Makine yükü
8. Yakıt türü
9. Emisyon faktörleri ($g_{kirletici}/g_{yakıt}$) ya da ($g_{kirletici}/kWh$)
10. Rotalar

Gemilerden havaya karışan emisyonlar temelde iki önemli gemi yaşam döngüsü aşamasından kaynaklanır: Gemi üretim ve bakım/onarım süreci, gemi operasyon süreci. Bu iki süreçte ortaya çıkan emisyonların bazıları aynı veya benzerken bir kısmı oldukça farklıdır. İki süreçte oluşan emisyonlar arasındaki temel fark, emisyonların meydana geliş şekilleridir. Tersane süreçlerinde oluşan emisyonlar raspa, kaynak ve boya gibi üretim süreçlerinde meydana gelirken operasyon sırasında meydana gelen emisyonlar büyük ölçüde makine dairesi süreçlerinden kaynaklanır. Her iki süreçte de havaya salınan çeşitli gaz ya da parçacıklı madde türünden kirleticiler gerek insan sağlığına gerekse çevreye ciddi zararlar vermektedir.

Gemi üretim, bakım/onarım sürecinde ortaya çıkan emisyonları raspa işleminden kaynaklanan çeşitli gaz emisyonları, parçacıklı maddeler ve boya parçaları; boya işleminden kaynaklanan uçucu organik bileşikler (VOC's) – toluen, etil benzen, ksilen, metil etil keton, etilen glikol, n-hekzan ve aseton-; kaynak işlemi sonucu oluşan kadmiyum, krom, krom (+6), kurşun, mangan, nikel, VOC's, parçacıklı madde, karbondioksit ve karbon monoksit olarak sıralayabiliriz [54]. Yüzey temizleme, boya

temizleme ve boya süreci sonucu çeşitli maddeler içeren tozlar ve VOC's ile tehlikeli hava kirletici (HAP's) açığa çıkmaktadır [55].

Gemi operasyonu sürecinde ortaya çıkan emisyonların toplam sayısı 450'yi bulur [4]. Bunlar arasında oluşum süreçleri ve insan sağlığı ile çevreye verdikleri zarar açısından en fazla bilgi sahibi olunan, aynı zamanda en çok üretilen emisyonlar, karbon dioksit (CO_2), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO), metan (CH_4), uçucu organik bileşikler (metan içermeyen) (VOC's), kükürt oksitler (SO_x) ve parçacıklı maddeler (PM) olarak sıralanabilir. Kükürt dioksitlerin (SO_2) atmosfer ortamında sülfat parçacıklarına (SO_4) dönüşmesinin yanı sıra gemiler siyah karbon (BC) ve parçacıklı organik madde (POM) üretiminde de bulunur.

Gemi operasyonu sonucunda ortaya çıkan emisyonların oluşumunu; yakıtın türü ve özellikleri, makineler ve özellikleri, yanmanın karakteristik verimi, yanma verimi, silindir yağlaması ve yağlama yağı özellikleri, geminin operasyon durumu, gemi yapısı, makine ve donanımların verimleri etkilemektedir [56].

Henüz gemi kökenli hiçbir emisyon hakkında zorlayıcı tedbirden bahsedilmemiş olsa da [41] havaya olan gemi emisyonlarından bir kısmı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi içinde 1997 yılında imzalanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren Kyoto Protokolü'nün kapsamındadır. Bu gazlar, CO_2 , CH_4 , nitroz oksit (N_2O), kükürt hekzaflorid (SF_6), hidroflorokarbonlar (HFC's), kloroflorokarbonlar (CFC's) olarak gösterilebilir. Bu gazların yanında gemilerdeki çeşitli süreçler sonucu oluşan ve ozon (O_3) öncülleri olan, NO_x , VOC's, CO; küresel ısınma ve soğumada rol oynayan BC, sülfatlar ve organik karbon (OC) Kyoto Protokolü kapsamında değerlendirilmemiştir.

Havaya olan gemi emisyonları oluşum süreçlerine göre de iki ayrı sınıfta incelenebilir: Doğrudan emisyonlar, dolaylı emisyonlar. Doğrudan emisyonlar içten yanmalı motor süreçleri sonucunda oluşurken dolaylı emisyonlar yanma süreci haricinde veya çeşitli kaçak ve sızıntılar sonucu oluşur. Doğrudan emisyonlardaki en büyük pay, aynı zamanda önemli bir sera gazı olan CO_2 'nindir. Dolaylı emisyonlara ise yükleme/boşaltma ya da ham petrolün taşınması sırasında oluşan uçucu organik bileşikler örnek gösterilebilir [2]. Soğutucu gazlar olarak kullanılan R-717 (amonyak) [13], hidrokloroflorokarbon-22 (HCFC-22), CFC's ve çeşitli halonlar sayılabilir [57].

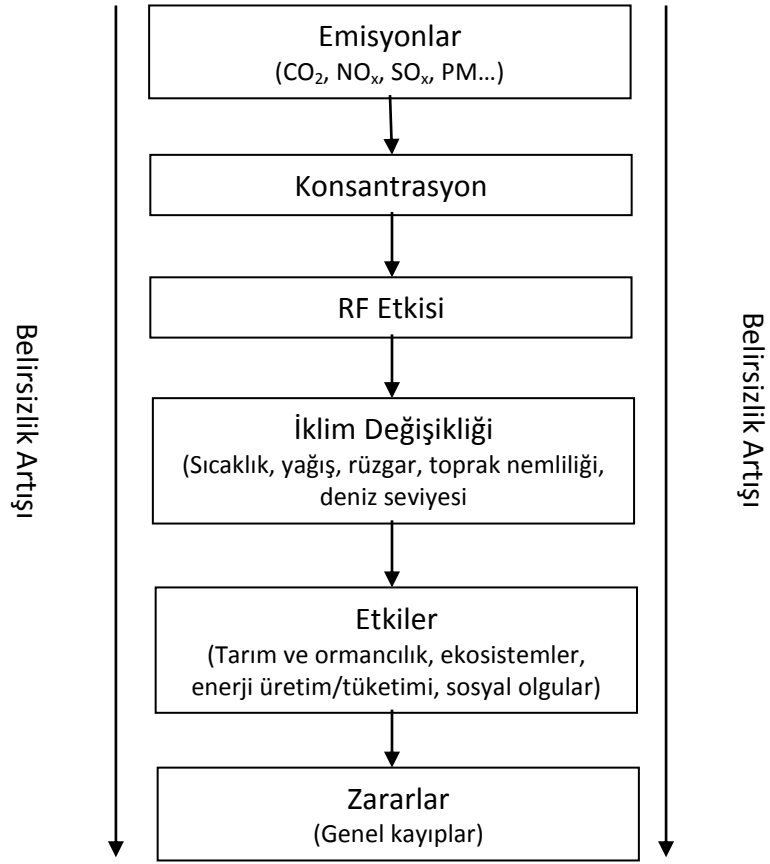
Ortaya çıkan bu çeşitli zararlı kirleticilerin çevreye ve insan sağlığına yaptıkları etkiler iyi araştırılmıştır. SO₂ ve NO_x sırasıyla sülfat ve nitrat parçacıklarına dönüşebilmektedir. Mikron düzeyindeki parçacıklara solunum yoluyla maruz kalmanın ölüm ve hastalık oranlarıyla bağlantılı olduğu bilinmektedir. Gemicilik faaliyetleri özellikle Akdeniz havzasında tarım ve insan sağlığı açısından zararlı olan yer seviyesi ozonu oluşmasına yol açmaktadır. Kükürt ve azotun aşırı şekilde birikmesi asitliğin artmasına neden olmaktadır. Azot oksitler, kıyılarda ve karada bio-çeşitliliği etkileyen ötrofikasyon olayına neden olmaktadır. Gemi emisyonları tüm bunların yanında iklim değişikliği konusunda da zararlı etkilere sahiptir [3]. Liman şehirlerindeki kirliliğin önemli nedenlerinden biri gemi emisyonlarıdır [58; 59]. 2009 yılında yapılan bir çalışmaya göre gemi emisyonları 2012 yılında kardiyopulmoner rahatsızlıklar ve akciğer kanserine bağlı olarak 90.000 insanın ölümünden sorumlu olduğu tahmin edilmiştir [17].

Gemi operasyonu sırasında gerçekleşen emisyonların 70 % kadarı kıyıya 400 km ve daha yakın yerlerde gerçekleşir. Bu emisyonlar, gemilerin sık olarak kullandıkları rotalarda da yoğun şekilde birikme eğilimi göstermektedir [5; 16; 60]. Bir başka çalışmada ise gemi emisyonlarının 85 %'inin kuzey yarımkürede ve Kuzey Denizi'ndeki gemi emisyonlarının da 90 %'inin kıyıya 90 km mesafe içinde gerçekleştiği belirtilmiştir [61]. Çizelge 2.11'de belli başlı emisyonların oluşma yolları özet olarak sunulmuştur.

Çizelge 2.11 Gemi operasyonundan kaynaklanan hava kirleticilerinin oluşma yolları [4]

Emisyon	Kaynak
SO _x	Fueloil sülfür içeriği
NO _x	En üst yanma sıcaklığı, oksijen içeriği, kalma süresi
CO ₂	Yanma süreci
CO	Fazla hava oranı, yanma sıcaklığı, hava/yakıt karışımı
Duman/Parçacıklar	Tam yanmayan yakıt, yakıt ve yağdaki kül içeriği

Şekil 2.4'te ise gemi emisyonlarının çevreye olan etkileri bir sıra halinde gösterilmiştir. Gemi kökenli emisyonların 1950'den 2001 yılına kadar gerçekleşen artışları Çizelge 2.12'de özet olarak sunulmuştur.



Şekil 2.4 Gemi emisyonu sebep-sonuç zinciri [3]

Çizelge 2.12 1950-2001 Yılları arasındaki gemi kökenli emisyon artışı [9]

Emisyon Türü/Yıl	1950	1960	1970	1980	1995	2001
NO _x (Tg NO ₂)	5,4	6,6	10,7	18,5	20,8	21,4
CO ₂ (Tg)	187	224	360	619	697	813
CO (Tg)	0,30	0,36	0,58	0,99	1,12	1,31
SO ₂ (Tg)	2,77	3,31	5,33	9,16	10,32	12,03
PM (Tg PM ₁₀)	0,39	0,46	0,74	1,27	1,43	1,67
CH ₄ (Tg)	0,12	0,14	0,23	0,40	0,45	0,52
NMHC (Tg)	0,78	0,84	1,51	2,58	2,91	3,40
Toplam HC (Tg)	0,90	1,08	1,74	2,98	3,36	3,92

Bu artışları daha iyi anlayabilmek için yüzde olarak vermek istersek şu sonuçlara ulaşırız: 1950-2001 yılları arasında 1950 yılındaki duruma göre; NO_x emisyonları 5,81 %, CO₂ emisyonları 6,56 %, CO emisyonları 6,6 %, SO₂ emisyonları 6,55 %, PM emisyonları 6,44 %, CH₄ emisyonları 6,54 %, NMHC emisyonları 6,59 % ve toplam HC emisyonları 6,58 % artış göstermiştir. NO_x emisyonları haricindeki tehlikeli emisyonların yıllık ortalama 6,5 % civarında bir artış gösterdiği görülmektedir.

Görüldüğü gibi günümüzde zaten ciddi bir tehdit oluşturan gemi kökenli emisyonların gelecekteki miktarları, Eyring vd, (2005b) [41] çalışmasında SRES senaryolarına dayanarak incelenmiş ve ortaya Çizelge 2.13'teki sonuçlar çıkmıştır.

Çizelge 2.13 Farklı senaryolara ait 2020 ve 2050 gemi emisyon miktarı tahminleri [41]¹

	DS1 Senaryosu (GSYH Büyümesi 2,3 %)						DS2 Senaryosu (GSYH Büyümesi 2,8 %)					
2020	CO ₂	NO _x	SO _x	HC	PM	CO	CO ₂	NO _x	SO _x	HC	PM	CO
TS1	1110	8,8	6,9	4,1	1,8	1,6	1138	9,0	7,1	4,2	1,9	1,7
TS2	1110	14,6	12,3	4,4	2,1	1,7	1138	15,0	12,6	4,4	2,1	1,7
TS3	1110	23,4	13,6	4,5	2,2	1,8	1138	23,9	14,0	4,6	2,2	1,8
TS4	1110	23,4	13,6	4,5	2,2	1,8	1138	23,9	15,9	4,8	2,4	2,1
2050												
TS1	1109	3,1	3,6	3,7	1,5	1,5	1232	3,4	4,0	3,8	1,6	1,7
TS2	1109	9,2	8,6	4,2	1,9	1,7	1232	10,2	9,6	4,5	2,1	1,9
TS3	1109	23,4	14,3	4,5	2,2	1,9	1232	23,9	15,9	4,8	2,4	2,1
TS4	1478	23,4	19,1	5,3	2,2	2,5	1643	31,8	21,4	5,7	3,2	2,8
	DS3 Senaryosu (GSYH Büyümesi 3,1 %)						DS4 Senaryosu (GSYH Büyümesi 3,6 %)					
2020	CO ₂	NO _x	SO _x	HC	PM	CO	CO ₂	NO _x	SO _x	HC	PM	CO
TS1	1156	9,1	7,2	4,2	1,9	1,7	1188	9,4	7,4	4,3	2,0	1,7
TS2	1156	15,2	12,8	4,5	2,2	1,8	1188	15,6	13,2	4,5	2,2	1,8
TS3	1156	24,3	14,2	4,6	2,3	1,9	1188	25,0	14,6	4,7	2,3	1,9
TS4	1156	24,3	14,2	4,6	2,3	1,9	1188	25,0	14,6	4,7	2,3	1,9
2050												
TS1	1321	3,7	4,3	4,0	1,7	1,8	1501	4,2	4,9	4,2	2,0	2,0
TS2	1321	11,0	10,3	4,6	2,3	2,0	1501	12,5	11,7	5,0	2,6	2,3
TS3	1321	25,6	17,1	5,0	2,6	2,2	1501	29,1	19,4	5,4	2,9	2,5
TS4	1762	34,1	22,8	6,0	3,5	3,0	2001	38,8	25,9	6,5	3,9	3,4

¹CO₂Tg/yıl; NO_xTg NO₂/yıl; SO_x Tg SO₂/yıl; HC Tg/yıl; PM Tg/yıl; CO Tg/yıl olarak hesaplanmıştır.

Eyring vd, (2005a) [9] çalışmasında 2001 yılına ait verilerle Çizelge 2.16'deki veriler kıyaslandığında 2020 yılında CO₂ için minimum 26,8 %; CO için minimum 18,12 %; PM için minimum 7,22 % artış beklenmektedir. Bu artışların 2050 yılında CO₂ için minimum 26,72 %; CO için minimum 12,66 % düzeyinde olması beklenmektedir.

Diğer emisyon türlerindeki olası azalmalar, teknoloji senaryolarının varsayımlarına dayanılarak tahmin edilmiştir. TS1 senaryosunda yakıtların çok düşük kükürt içereceği ve NO_x emisyonlarında büyük azalmalar olacağı kabul edilmiştir. TS2 senaryosunda yakıtın içerdiği kükürt miktarı görece düşük olup TS1'e göre daha az NO_x azalması olacağı varsayılır. TS3 senaryosu, IMO düzenlemeleriyle örtüşür ve yakıt kükürt içeriklerinin yüksek olacağını, NO_x azalması konusunda da IMO düzenlemelerinin üstüne bir şey katılmayacağını varsayar. TS4 senaryosunda ise alternatif tedbirlerin olmayacağı varsayılır. Buna göre Çizelge 1.21'den de anlaşılacağı gibi TS4 senaryosu en tehlikeli senaryodur. Bununla beraber fosil yakıtların kullanılmasına devam edildiği sürece CO₂ emisyonlarındaki artışın da süreceği, yalnızca bu artış hızının azaltılabileceği sonucuna ulaşılabilir. NO_x ve SO_x miktarlarında azalmalar olacağı, olası artışların da TS4 senaryosu haricinde ciddi artışlar olmadığı söylenebilir. HC ve CO miktarları, CO₂ gibi fosil yakıtların kullanılmasıyla çok yakından ilgili olduğundan bu emisyonların

miktarlarında da azalma görülmemektedir. PM konusunda ise sadece DS1 ve TS1 senaryolarının 2050 tahminlerinde bir azalma görülmektedir. Tüm bu bilgiler göz önüne alındığında günümüzde zaten ciddi bir sorun teşkil eden ve iyiden iyiye irdelenmeye başlayan gemi kökenli emisyonlar, yakın ve orta vadeli süreçlerde dünya için daha da etkili ve önemli sorunlara yol açabilecektir. Özellikle liman şehirlerinde ya da İstanbul gibi çok önemli ve etkin su yollarının yakınına kurulmuş şehirlerde yaşayan insanlar için bu emisyonlar, gelecekte günümüzdekinden daha büyük riskler oluşturacaktır. Geçtiğimiz yüzyılda gelişen teknoloji ile birlikte tüm endüstrilerde atık ve emisyon çeşitleri ve miktarları hızlı bir artış göstermiştir. Gemicilik sektöründe de kullanılan yakıt türünün değişmesi, gemi sevki için kullanılan makine güçlerinin artması, seyir sürelerinin uzaması gibi etkenlerden dolayı hava emisyonları ciddi bir artış gözlenmiştir. Bu durum Çizelge 1.20’de açık bir şekilde görülmektedir. Çizelge 1.21’den ayrıca görüldüğü gibi gemi kökenli hava emisyonlarının önümüzdeki yıllarda daha da artış gösterebileceği öngörülmektedir.

2.2.2.1 Azot Oksitler

Azot oksitler, çeşitli miktarlarda azot ve oksijen içeren ve yüksek reaktivite özellik gösteren gazlara verilen genel bir isimdir. Azot oksitler, azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) bileşiklerini içerir [4]. Oluşan NO_2 ’nin çoğu NO gazlarının foto-oksidasyona uğramasıyla meydana gelir [62]. Azot oksit oluşumu tümüyle yanma süreci sırasında gerçekleştiği için oluşan azot oksit miktarı yanma sıcaklığına, oksit konsantrasyonuna ve kullanılan yakıt tipine bağlıdır [4]. Bunların yanı sıra makine tipi, makine yaşı ve kullanılan teknolojiler de azot oksit miktarı üzerinde doğrudan etkiye sahiptir.

Azot oksitler yer seviyesi ozonu (duman/sis) oluşmasında oldukça etkilidir. Fotokimyasal duman, azot oksitlerin uçucu organik bileşikler ve yanmamış hidrokarbonlarla gün ışığında tepkimeye girmesi sonucu oluşur. Oluşan bu ozon tabakası, rüzgâr gibi hava akımlarıyla olduğu yerden çok uzaklara sürüklenebilir ve insan sağlığı ile tarıma büyük ölçüde zarar verir. Yer seviyesi ozonu bağışıklık sistemine ciddi zararlar vererek amfizem ve bronşit rahatsızlıklarına yol açar ve gözlerde tahriş meydana getirir. Oluşan bu ozon dumanı aynı zamanda is şeklinde parçacıklı madde içerdiğinden kalp ve akciğer hastalıklarına da yol açmaktadır. Yer seviyesi ozonu, göğüs

ağrısı, öksürük, yetersiz nefes alma, akciğer fonksiyonlarında azalma, akciğer dokusunda iltihaplanma, bağışıklık sisteminde zayıflama gibi pek çok rahatsızlığa neden olabilmektedir. Azot oksitler atmosferde su ve kükürt oksitlerle birleşerek asit yağmurlarını meydana getirir. Asit yağmurları tarıma, binalara ve canlılara büyük zararlar verdiği gibi bu yağmurların kronik hale gelmesi durumunda toprağın verimliliğini azaltarak yeni ormanların ve dolayısıyla ekosistemlerin oluşmasını engeller [4; 63; 64]. Bu asit yağmurlarının yanı sıra azot oksitler havadaki asitliği de arttırarak çeşitli malzemelerin korozyona uğramasına ve zarar görmesine yol açar [65]. Yapılan bir diğer çalışmada azot oksitlerin küresel ısınmaya en az karbondioksit gazı kadar hatta belki de daha fazla düzeyde katkı sunuyor olabileceği tahmin edilmiştir [66]. Azot oksitlerin bir diğer zararı da ötrofikasyon adı verilen olaydır. Havadaki azot, azot çevrimi vasıtasıyla suda veya toprakta yetişen bitkilere ulaşır ve bitkiler için çok önemli bir besin kaynağı olarak karşımıza çıkar. Bununla birlikte havadaki azotun belli bölgelerde aşırı şekilde artması, sudaki ya da topraktaki azot oksitlerin de artmasına yol açar. Bu şekilde aşırı zenginleşen su ya da toprak ekosistemindeki bitki varlığı aşırı şekilde artma eğilimi gösterir. Bu durum özellikle sudaki çözünmüş oksijeni azaltarak balık ve diğer su canlılarının popülasyonunda azalmalar meydana getirir. Bunların yanında azot oksitler, asidifikasyon adı verilen bir olaya da neden olarak okyanuslarda, tatlı su kaynaklarında ve topraktaki asitlik oranının yükselmesine neden olur [67].

Azot oksitler ayrıca sera gazı etkisi göstererek pozitif RF etkisine sebep olur ve böylece küresel ısınmaya da katkıda bulunur [2]. Yüksek dozlarda azot oksit solunmasının doğrudan doku zehirlenmesine yol açtığı, diyabet, multiple skleroz, artrit ve bazı kanser türlerine neden olduğu; akciğer fonksiyonlarında azalma gerçekleştirdiği ve solunum sistemi hastalık riskini arttırdığı düşünülmektedir [68].

2.2.2.2 Kükürt Oksitler

Kükürt oksitler yakıtın içindeki kükürtün, yanma süreci sonucu oksidasyona uğrayarak SO_2 ve SO_3 bileşiklerine dönüşmesiyle oluşur. Kükürt oksitlerin oluşum miktarı büyük ölçüde yakıttaki içeriğe bağlıdır [69; 70]. Kükürt oksitler, atmosferde su ve azot oksitlerle birleşerek asit yağmurlarını oluşturur. Bu asit yağmurlarının bitkiler, tarım ve binalar üzerinde olumsuz etkileri olduğu gibi göl ve akarsu gibi su kütlelerinde asitliği

arttırıcı etkisi de bulunmaktadır [4]. Asit yağmurlarının yanı sıra kükürt oksitler havadaki asitliği de arttırarak çeşitli yapıların zarar görmesine neden olur [65]. Kükürt oksitlerin negatif RF etkisi göstererek küresel soğuma üzerinde etkileri olduğu da bilinmektedir [2].

Kükürt oksitlerin insan sağlığı üzerindeki etkisi de iyi araştırılmıştır. Yüksek miktarlarda kükürt oksit solunumu gerçekleştiğinde soluk almada problemler, akciğer savunma sisteminde zayıflama ve var olan solunum ve dolaşım problemlerinde kötüye gidiş gözlenmiştir [71].

Kükürt oksitler, tıpkı azot oksitler gibi okyanuslarda, tatlı su kaynaklarında ve topraktaki asitliğin artmasına neden olur. SO_2 ve SO_4 parçacıkları, sülfürik asit şeklinde çeşitli sistemlere karıştığında bu sistemlerin asitliğini arttırır ve böylece sistemlerdeki verimliliği ve besleyici öğeleri azaltarak çeşitli canlı türlerinin popülasyonunda azalmalara yol açar. Toprak asidifikasyonu ayrıca topraktaki metallerin açığa çıkmasına neden olarak bu metallerin besin zincirine geçmesine neden olur [67].

2.2.2.3 Parçacıklı Maddeler

Parçacıklı madde, çeşitli kimyasal bileşiklere sahip ve çok çeşitli ebatlarda olabilen parçacıklar için kullanılan genel bir terimdir. Üretilen parçacıklı madde miktarı ve bu maddelerin özellikleri büyük ölçüde yakıt tipine bağlı olmakla birlikte yanma sisteminin özellikleri de oluşan maddeler üzerinde etkilidir. Gemi makinelerinde kullanılan yakıtın yanması sonucu oluşan parçacıklı maddelere, karbonlu maddeler (is/kurum), kül, metaller, oksitler, sülfat karışmış su, sülfatlar ve dumana karışmış yakıt parçacıkları örnek gösterilebilir [51]. Parçacıklı maddenin grafitleşmiş kurum ve yüksek oranda karbon içeren yanma artığı (kömür) yanı sıra kalsiyum, vanadyum, nikel, demir ve nitrat gibi maddeler içerdiği de bilinmektedir [72]. Parçacıklı maddenin bir kısmı pozitif RF etkisine sahipken bir kısmı da negatif RF etkisine sahiptir [5; 73; 74]. Bu sebeple parçacıklı madde, hem küresel ısınma hem de küresel soğuma üzerinde etkiye sahiptir. Parçacıklı maddenin yoğun olarak olduğu gemi rotaları üzerindeki alçak bulutların da bu maddelerden etkilenip özellik değiştirmeleri iyi incelenmiş bir konudur. Yapılan araştırmalarda aerosol etkisi adı verilen bu etkiye rastlanmıştır. Buna göre gemilerden salınan parçacıklı maddeler, bulut yoğunlaşma çekirdeği şeklinde davranarak güneşten

gelen enerjiyi uzaya geri göndererek küresel soğuma etkisi yapmaktadır [74; 75; 76; 77; 78].

Parçacıklı maddenin çevreye olan bu zararlarının yanı sıra yapılan bir başka çalışmada gemi kaynaklı parçacıklı madde salınımının çoğunluğu Asya ve Avrupa'da olmak üzere küresel çapta 60.000 insanın ölümünden sorumlu olduğu düşünülmektedir [71].

Parçacıklı maddelerin genel sınıflandırılması parçacık boyutuna göre yapılır. Boyutu 10 mikrondan küçük olan parçacıklı maddeler PM10, boyutu 2,5 mikrondan küçük olan parçacıklı maddeler PM2,5 olarak adlandırılır.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nın yaptığı çalışmaya göre PM2,5 parçaları, büyük olanlara göre çok daha zararlıdır [68].

Gemi kaynaklı parçacıklı maddelerin türleri ve bu türlerin toplam üretilen parçacıklı maddeler içindeki yüzdeleri Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.14 Gemi kaynaklı parçacıklı maddelerin türleri ve dağılımları [62]

Tür	Toplamdaki Yüzde	PM2,5 içinde Yüzde	PM10 içinde Yüzde
Arsenik	0,03	0,04	0,05
Baryum	0,05	0,05	0,05
Kalsiyum	0,55	0,55	0,55
Krom	0,55	0,55	0,55
Kobalt	0,05	0,05	0,05
Bakır	0,05	0,05	0,05
Karbon	22,76	20,18	6,0
Demir	2,83	3,17	4,0
Mangan	0,05	0,05	0,05
Molibden	0,05	0,05	0,05
Nikel	0,55	0,55	0,55
Nitratlar	0,05	0,05	0,05
Potasyum	0,36	0,42	0,55
Selenyum	0,04	0,05	0,05
Stronsiyum	0,05	0,05	0,05
Sülfatlar	44,12	50,26	65,0
Titanyum	0,05	0,05	0,05
Vanadyum	0,55	0,55	0,55
Diğer	27,25	23,28	21,75

Parçacıklı maddeler, gemi üretim ve bakım/onarım süreçlerindeki raspa işlemi sonucu da oluşabilmektedir [54].

2.2.2.4 Karbondioksit

Karbondioksit, fosil yakıtlarda doğal olarak bulunan karbonun, yanma sürecinde oksijenle birleşmesiyle oluşan, atmosferde azot ve oksijenden sonra en bol bulunan,

ancak solunumla aşırı dozda alınması durumunda zehirli etki gösteren ve küresel ısınmaya en çok katkı sağlayan gazdır. Karbondioksitin meydana getirdiği sera gazı etkisi gezegenin ısınmasında önemli rol oynar. Karbondioksit, fosil yakıtlardan tamamen vazgeçilmediği sürece salınımı devam edecek olan bir gaz türüdür. Küresel ısınmaya karşı eylem planı hazırlayan her organizasyon ya da kuruluş, öncelikli olarak karbondioksit salınımını kontrol altına almaya çalışır.

Gemiler en kirli yakıtı kullandıklarından karbondioksit salınımları da yoğun ve çok olur [79]. Oluşan karbondioksit miktarı, makine verimliliği tarafından belirlenen bir özellik olan yakıt tüketimiyle doğrudan alakalıdır. Ek olarak, yakıt içeriğindeki karbon-hidrojen oranı da oluşan karbondioksit miktarının belirlenmesinde rol oynar [51]. Karbondioksitin küresel ısınmaya pozitif RF sonucuyla ciddi katkıda bulunduğu bilinmektedir [2]. Küresel ısınmanın yanı sıra karbondioksit, okyanus asitliğinin artmasına da ciddi katkı sağlamaktadır. İnsan üretimi olan karbondioksitin 30-40 %'ı okyanuslar tarafından absorbe edilmektedir [80]. Suyu tepkimeye giren karbondioksitin bir kısmı karbonik asit (H_2CO_3) formuna dönüşerek okyanusların asitlik oranının artmasına neden olur. Okyanus asitliğinin artması mercan kayalıkları ve kalsiyum karbonat bazlı dış iskeletlere sahip canlıları tehdit ederek okyanus ekosistemine zarar vermektedir. Bunun yanında diğer okyanus canlıları da bu asitlik artışından ciddi anlamda zarar görmektedir [81; 82]. Okyanus asitliğinin artması aynı zamanda dolaylı olarak küresel ısınmaya da katkı sunmaktadır; çünkü okyanuslar devasa CO_2 depoları gibi davranarak atmosfere daha fazla CO_2 salınımı yaparlar [83].

2.2.2.5 Karbon Monoksit

Karbon monoksit de tıpkı karbondioksit gibi karbon bazlı fosil yakıtların yanmasıyla oluşan bir gazdır. Yakıt içindeki karbonun yanma sırasında havadaki oksijenle birleşmesiyle meydana gelir.

Karbon monoksit, karbondioksitin aksine az miktarda bulunduğu bile zehirli etki gösterir. Karbon monoksit solunumu doku ve organlara oksijen gitmesini engeller ve kardiyovasküler sistem üzerinde kalp krizine kadar giden etkiler meydana getirir. Aşırı dozda karbon monoksit, merkezi sinir sistemine zarar vererek öğrenme güçlüğü, görme ve yetenek kaybı gibi sonuçlar doğurur [3]. Karbon monoksitin yer seviyesi ozonu

oluşmasında etkili olduğu [67; 3] ve pozitif RF etkisiyle küresel ısınmaya katkı sunduğu bilinmektedir [2].

2.2.2.6 Uçucu Organik Bileşikler

Uçucu organik bileşikler, gemi operasyonu sırasında yakıtın yanmasıyla ve gemi üretim aşamasında özellikle boyama ve raspa sürecinde oluşur.

Uçucu organik bileşikler, alifatik veya aromatik yapıda, kaynama sıcaklığı 250°C'ye kadar olan ve atmosferik fotokimyasal reaksiyon ile hava kirliliğine neden olan hidrokarbonlardır. Uçucu organik bileşikler, fosil yakıtlarla çalışan motorların egzozları, solventler ve benzinin buharlaşması, kimyasal madde üretimi, petrol rafinasyonu, atık giderme sahaları ve atık su arıtma tesislerinden yapılan emisyonlar ve buharlaşma yolu ile atmosfere yayılır [54]. Metal temizleme ve yağlama süreçlerinde de VOC's olduğu bilinmektedir [84]. Petrol ve türevlerinin yükleme/boşaltma süreçlerinde uçucu organik bileşikler atmosfere karışmaktadır [85]. Çeşitli VOC's formları, akciğer hasarları başta olmak üzere pek çok solunum hastalığına neden olmaktadır. Yüksek miktarda uçucu organik bileşiğe maruz kalınması durumunda göz, burun ve deride rahatsızlık, kan, kalp ve böbreklerde ise hasar meydana gelebilmektedir. Kısa süreli maruz kalınması durumlarında ise geçici rahatsızlıklar oluşabilmektedir [54]. Uçucu organik bileşikler, güneş ışığında azot oksitlerle birleşerek yer seviyesi ozonu oluşmasında da etkilidir. Yer seviyesi ozonu, akciğerlerde geri dönüşü olmayan hasarlara yol açabilmekte ve kanserojen etki göstermektedir [47]. Uçucu organik bileşikler aynı zamanda pozitif RF etkisi göstererek küresel ısınmaya da katkıda bulunur [2].

Çizelge 2.15'te çeşitli uçucu organik bileşik türlerinin oluşan toplam VOC's içindeki kesir olarak miktarı gösterilmektedir.

Çizelge 2.15 Çeşitli uçucu organik bileşik kesirleri

Tür	Kesir ¹	Kesir (Yakıt Tüketimi) ²	Kesir (Tanker Yükleme) ²
Metan	0,116	-	-
Etan	0,028	-	0,093
Etilen	0,287	-	-
Propilen	0,173	-	-
Asetilen	0,113	-	-
1-Bütan	0,134	-	0,272 (Toplam bütan)
1,3-Bütadiyen	0,070	-	-
Benzen	0,079	0,093	0,001
Propan	-	-	0,258
Pentan	-	-	0,146
Hekzanlar ve daha yüksek Alkanlar	-	0,302	0,056
Eten	-	0,209	-
Propen	-	0,229	-
Etin	-	0,006	-
Diğer Alkenler	-	0,022	-
Toluen	-	0,052	0,002
Ksilen	-	0,043	0,006
Trimetilbenzen	-	0,037	-
Diğer Aromatikler	-	-	0,076
Diğer NMHC	-	0,006	0,091

¹Tüm veriler [62]'ten alınmıştır.

²Tüm veriler [9]'ten alınmıştır. Bu çalışmada değerlendirilen uçucu organik bileşikler Metan Olmayan Hidrokarbonlar (NMHC) olduğundan metan gazı hesaba katılmamıştır.

2.2.2.7 Siyah Karbon

Siyah karbon, genellikle is ya da kurum olarak adlandırılan ve fosil yakıtlar ile bio-yakıtların yanması sonucu tam yanmamış karbon içeren, aerosol sınıfına dâhil edilen bir emisyonudur. Siyah karbonun asıl kaynağı dizel yakıtlar ve kömür gibi katı, karbon bazlı yakıtlardır [86; 87]. Gemi kaynaklı siyah karbonun kaynağı ise düşük kaliteli yakıtlardır [88]. Siyah karbonun iklim etkisi konusunda belirsizlikler olsa da [87] pozitif RF etkisi göstererek küresel ısınmaya katkı sunduğu düşünülmektedir [2; 72; 89]. Bir başka çalışmada ise siyah karbonun pozitif RF etkisinden çok atmosfere enerji eklemek ve bu enerjiyi yeryüzüne aktarmak gibi bir işleve sahip olduğundan bahsedilmiştir [2; 90]. Bir diğer çalışmada ise siyah karbonun küresel ısınma üzerinde karbondioksitten üç kat daha etkili olduğu belirtilmiştir [91]. Siyah karbon, güneşten gelen ısıyı tutarak özellikle Arktik bölgede atmosferde ısı artışına neden olur ve bu da kalıcı buz erimesini hızlandırarak küresel ısınmaya pozitif yönde katkı sağlar [90; 91; 92].

Karbondioksitin atmosferdeki ömrü 100 yıl kadarken siyah karbon atmosferden yağmur ve kar yağışı yoluyla yeryüzüne indiğinden atmosferdeki yaklaşık ömrü 1 hafta kadardır [90]. Siyah karbonun bu şekilde yeryüzüne inişi, Arktik bölgedeki kar

kütlelerinin rengini koyulaştırır ve yansıtma katsayısını (albedo) azaltarak ısıyı yansıtmalarına engel olur ve böylece küresel ısınmaya pozitif katkı sunar. Ayrıca bu renk değişimi, kar kütlelerinin ısı tutmasına neden olur ve erimeyi hızlandırır [91; 92; 93]. Aynı etki, siyah karbonun diğer aerosollerle, sülfatlarla, nitratlarla, kül ve diğer bazı maddelerle birleşmesiyle meydana gelen atmosferik kahverengi bulutlar (ABC's) sebebiyle de gerçekleşir [90].

Gemi faaliyetlerinin yoğun olduğu kıyı bölgelerinde ve sık kullanılan gemi rotalarında siyah karbon varlığı yüksek düzeylerde ve bu bölgelerdeki siyah karbon, bulut yoğunlaşma çekirdeği şeklinde davranır [76; 94].

Siyah karbonun insan sağlığı üzerinde de etkileri olduğu, erken ölümlere yol açtığı bilinmektedir [71; 95]. Siyah karbon salınımının azaltılmasının insan sağlığı açısından pozitif etkileri olacağı tahmin edilmektedir [96].

2.2.2.8 Organik Karbon

Organik karbon (OC) ise değişik organik bileşenler içeren bir parçacık türü olarak tanımlanır ve OC de tıpkı BC gibi atmosferde kısa süreli bir ömre sahiptir [97]. Organik karbon, siyah karbonun aksine atmosferde negatif RF etkisi göstererek küresel soğumaya katkı sunar [88].

2.2.2.9 Hidrokarbonlar

Hidrokarbonlar, sadece karbon ve hidrojenden oluşan bileşiklerin genel adıdır. Çok çeşitli hidrokarbon tipleri vardır ve bunlardan bazıları uçucu organik bileşik sınıfına da dâhil edilir. Hidrojene doymuşluk olarak sınıflandırılırlar ve beş çeşide ayrılırlar: Alkanlar, alkenler, aklınler, sikloalkinler, alkadienler.

Gemilerde hidrokarbon oluşumunun iki temel kaynağı vardır: Yakıt ve yağlama yağları. Hidrokarbonlar, yakıtın eksik yanması sonucu oluşabilirler [51]. Benzen, toluen, bütilasetat, oktan, etil-benzen, ksilen, nonan uçucu hidrokarbonlara verilebilecek örneklerdir [72].

2.2.3 Gemi Emisyonları Azaltma Tedbirleri

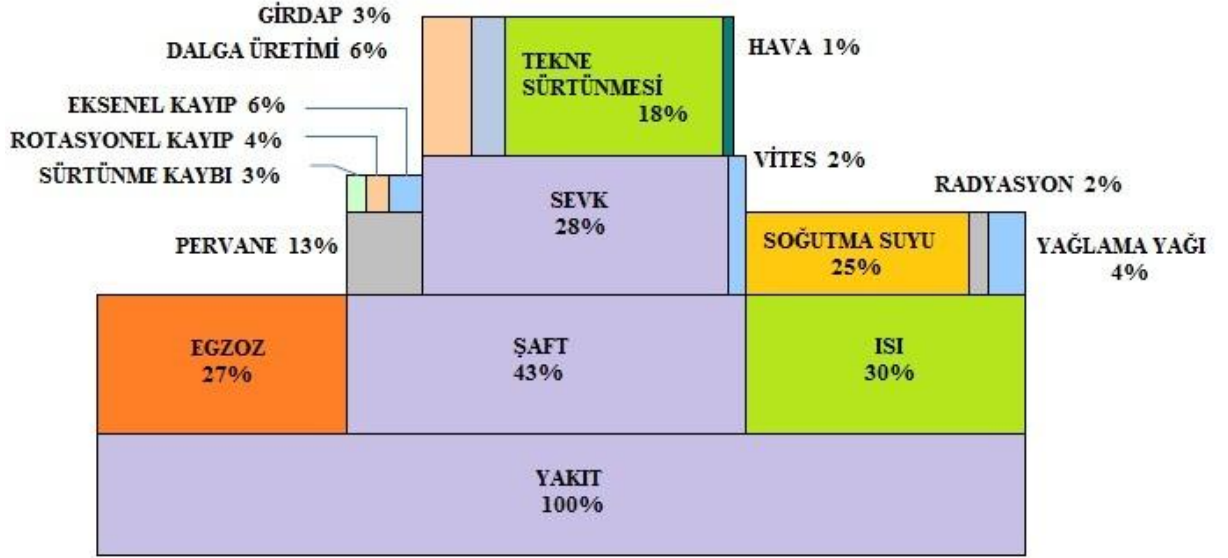
Gemi kökenli hava emisyonlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkiler göz önüne alındığında bu konuda ciddi ve acil önlemler alınması gerektiği aşîkârdır. Özellikle son yıllarda IMO gibi yetkili ve etkin kurumların baskısı ve desteğıyle gemi kökenli hava emisyonları konusunda önemli çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonucunda dünya çapında çeşitli şirketlerin geliştirdiğı ve uluslararası alanda kabul görmüş emisyon azaltma çalışmaları mevcuttur. Bu yeni teknolojiler, ulusal ve uluslararası yetkili kuruluşların getirdiğı yeni düzenlemelerle paralel gelişmektedir. Gemi kökenli hava kirliliğinin azaltılması konusundaki çalışmaların önceliğı her zaman için kirliliğın azaltılması ve çevresel performansın arttırılması olsa da mühendislik disiplini içerisinde bir maliyet-fayda optimizasyonu, uzun vadeli yarar-zarar ilişkileri hesabı, kullanım kolaylığı gibi özellikler de çalışma bünyesinde dikkatlice değerlendirilmelidir. Bu çalışmalar temelde birkaç soruya cevap arar. Çizelge 2.16'da bu sorular özet halinde verilmiştir.

Çizelge 2.16 Kirlilik kontrol araçlarının seçim kriterleri [3]

Kriter	Kısa Bilgi
Maliyet Verimliliğı	Araçlar hedefe en düşük maliyetle ulaşabiliyor mu?
Uzun Vadeli Etki	Araçların etkisi zaman içinde artış/azalma mı gösteriyor?
Dinamik Verimlilik	Araçlar kirlilik azaltma sürecinde devamlı bir etkiye sahip mi?
Yan Faydalar	Araçlar kirlilik azaltma haricinde başka yararlar sağlıyor mu?
Net Değer	Araçların kullanımı gelir/gider dağılımına nasıl etki ediyor?
Güvenilirlik	Hedefe ulaşma konusunda araca duyulan güven ne boyutta?
Esneklik	Araç; hedeflerin ve durumun değışmesi gibi durumlara ucuz ve hızlı bir şekilde uyum sağlayabilme yetisine sahip mi?
Belirsizlik Durumunda Maliyet	Yanlış bilgilendirme ve kullanım durumunda aracın neden olacağı kayıp miktarı ne boyutta?
Bilgi Gereksinimleri	Aracın kullanımı için gerekli bilgi ve bu bilgiye ulaşma maliyeti ne düzeyde?

Emisyon azaltıcı tedbir ve teknolojilerin tüm bu sorulara tatmin edici cevaplar vermesi, yarar-zarar dengesini iyi bir biçimde kurması ve nihai sonuç olarak uygun ve kabul edilebilir bir maliyetle kirlilik oluşumunu mümkünse sıfırlaması ya da olabilecek en az seviyeye indirmesi beklenir ve istenir.

Tipik bir küçük kargo gemisinin makine dairesinde üretilen enerjinin sadece 28 % kadarı sevk sistemine aktarılabilir. Geri kalan enerjinin bir kısmı sürtünme gibi dış etkenleri yok etmekte kullanılırken bir kısmı da ısı şeklinde atık enerji olarak harcanır. Şekil 2.5'te gemide üretilen gücün harcandığı etkenler yüzde olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.5 Tipik bir küçük kargo gemisinde üretilen enerjinin harcaması [2]

Görüldüğü gibi üretilen enerjinin büyük bölümü sevk harcindeki çeşitli amaçlara harcanır. Bundan dolayı yenilikçi teknolojiler, geminin asıl amacı olan sevk harcindeki diğer amaçlara harcanan bu enerjiyi azaltmayı hedef alır. Geminin gücünü arttırmak, sadece daha fazla yakıt tüketimine ve emisyon üretim artışına neden olacağından gemide hali hazırda var olan enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılmasını sağlamak esastır.

Çizelge 2.17, NO_x azaltımı için yapılan çalışmaları, Çizelge 2.18 ise SO_x için yapılan çalışmaları ve bu çalışmalar sonucunda elde edilebilecek emisyon azalma oranlarını özetlemektedir.

Çizelge 2.17 NO_x azaltma yöntemleri ve başarı yüzdeleri

Önlem	Yöntem Tipi	Yöntem	% NO _x Azalması
Ön-Uygulama	-	-	Yakıtın azot içeriğine bağlı
Birincil Yöntemler	Yanma Modifikasyonları	Enjeksiyon Geciktirme	30 %
		Püskürtme Basınç Artışı	N/A
		Sıkıştırma Oranı Modifikasyonu	35 %
		Emme Girdabı Optimizasyonu	N/A
		Enjektör Modifikasyonu	30 %
		Enjektör Sayısında Değişim	30 %
		Besleme Havaşı Soğutması	40 %
		Besleme Havaşı Basınç Artışı	10-40 %
	Su Püskürtme	Su Püskürtme	50-60 %
		Su Püskürtme + EGR	70 %
İkincil Yöntemler	-	EGR	35 %
	-	Yaş Hava Motoru	80 %
	-	Yeniden Yanma	N/A
	-	SCR	90-95 %
	-	SNCR	50 %
	-	Plazma Azaltma Sistemleri	97 %
	-	WiFE	30 %

Çizelge 2.18 SO_x azaltma yöntemleri ve başarı yüzdeleri

Önlem	% SO _x Azalması
Yanma Modifikasyonları	50-60 %
Yakıt Kükürt İçeriği Değişimi (2.7 %-1.5 %)	44 %
Yakıt Kükürt İçeriği Değişimi (2.7 %-0.5 %)	81 %
Kükürtsüzleştirme	N/A
Enerji Sistemi Değişimi	N/A
Deniz Suyu Yıkayıcıları	95 %
Tatlı Su Yıkayıcıları	90 %

Bu konuyla ilgili yapılan çalışmaları beş ana grupta inceleyebiliriz:

1. Gemi Dizaynı
2. Sevk
3. Makine
4. Operasyon
5. Yakıt

2.2.3.1 Gemi Dizaynı

Gemi inşaatı mühendisliğinin esas amacı olan gemi dizaynının iyileştirilmesi, üzerinde sürekli olarak çalışılan bir konudur. Yeni bir gemi üretilirken gemi formu düzenli olarak kontrol edilir ve amaca uygun olarak tekrar tekrar değiştirilir.

Teorik olarak bir gemi ne kadar büyükse verimlilik verileri de o kadar iyi olur. Gemi büyüklüğünü arttırarak verimi arttırmak, genelde zaten diğer gemilerden büyük üretilen tanker, konteyner ve feribot gibi gemilerde uygulanır ve 4-5 % civarında transport verimlilik artışı sağlar. Balast suyunun gemi stabilitesi açısından kabul edilebilir minimum seviyeye düşürülmesi de geminin su altında kalan alanını

azaltacağından su direncini azaltır ve 7 % civarında bir yakıt tasarrufu sağlar [3]. Üst yapının optimizasyonu hava direncini azaltacağından 2-5 % civarında bir enerji tasarrufu sağlayacaktır [2]. Teknenin altında bir hava yatağı oluşturup bu sayede tekne yüzeyi ile su arasında bir bölge meydana getirmek ve dolayısıyla sürtünmeyi azaltmak da bir diğer tasarruf yöntemidir. Bu sisteme hava yastığı sistemi (ACS) adı verilir ve sistem sayesinde hareket temelli direnç ciddi oranda azalma gösterir. Bu sistem minimum etkiyi feribotlarda (3,5 %), maksimum etkiyi ise tankerlerde (15 %) gösterir [3]. Sistemin dezavantajı ise sadece 225 m ve daha büyük gemilere uygulanması durumunda istenen etkiyi gösterebilmesidir [13]. ACS sisteminin 2020 yılında toplam emisyonlarda 0,9-1,9 % arasında bir azalma meydana getirebileceği tahmin edilmektedir. Bu miktar, 7,5 ile 24,4 Mt arasında bir emisyon azalmasına denk gelmektedir.

2.2.3.2 Sevk

Sevk sistemindeki emisyon azaltıcı tedbirlerin odaklandığı yapı pervanedir. Pervane üzerinde emisyon azaltıcı olarak gerçekleştirilen en geleneksel çalışma, pervane yarıçapının artırılması, pervanenin dönüş hızının azaltılması ve pervane yüzeyinin pürüzlülüğün giderilmesidir. Pervanenin yanı sıra yeni ve pervanenin sağladığı itişe destek olan bazı elemanlar sayesinde de yakıt tüketimi ve emisyon salınımlarında azalma sağlanabilir.

Ortak eksenli zıt hareketli pervane sistemi, tek bir eksene biri önde biri arkada olacak şekilde yerleştirilen iki pervaneden meydana gelir. Rotasyonel hareket sonucunda kaybolan enerjinin bir kısmını geri alabilmeyi sağlayan bu sistem sayesinde enerji tüketiminde 6-20 % arasında bir iyileşme sağlandığı bildirilmiştir. Nozullu pervaneler bir diğer çok yaygın pervane çeşididir. Pervane çevresine yerleştirilen iki ucu açık bir silindir şeklindeki nozul sayesinde bu tip pervanelere geleneksel nozulsuz pervanelere göre daha fazla miktarda su akışı sağlanmakta ve böylece pervanenin daha ideal bir koşulda çalışma imkânı oluşmaktadır. Nozul, direnç artışı meydana getirirse de 5-20 % oranında bir enerji tüketim iyileştirmesi gerçekleştirmektedir [2].

Pervane sistemi üzerindeki değişikliklerin yanı sıra pervane itmesine yardımcı olarak tasarlanan ve gemiye ek itme sağlayarak pervane üzerindeki yükü azaltan sistemler de

mevcuttur. Bunlar, güneş ve rüzgar enerjisi gibi doğadan karşılanan ve hiçbir emisyon meydana getirmeyen teknolojilerdir. Güneş enerjisi henüz tam istenen verime ulaşmadığından kullanımı yaygınlaşmamıştır. Rüzgâr enerjisi ise çok eski çağlardan beri kullanılmakta olup günümüzde de bazı yeniliklerle gemi sevkine yardımcı olarak kullanılmaktadır. Geminin önüne bir paraşüt yerleştirip bu paraşütün rüzgârın kıçtan gelmesi durumunda kullanılmasıyla gemiye ek bir itme gücü sağlanabilir ve bu sayede 20 % civarında bir enerji tasarrufu gerçekleştirildiği görülmüştür [3]. Bu paraşütlerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi için geminin en az 30 m. boy ve 16 knots hıza sahip olması gerekmektedir [13]. Gemi üzerine yerleştirilebilen rotorlar sayesinde de enerji tasarrufu yoluna gidilebilir. Rotorların üstlerindeki silindirleri döndürmesiyle bu silindirlere gelen rüzgâr hızlı bir şekilde geriye doğru savrulur ve böylece ek bir itiş gücü sağlanır. Bu etkiye Magnus etkisi adı verilir [2]. Bu ek itiş gücü sayesinde 30 % kadar bir enerji tasarrufu elde edilebilir [3]. Bir çalışmaya göre güverteye yerleştirilen bu rotorlar sayesinde 200.000 DWT'den küçük boyutlu ham petrol tankerleri için 3,6 %; 99.000 DWT'den küçük boyutlu dökme yük gemileri için ise 12,4 % civarında bir yakıt tasarrufu elde edilebilmektedir [26].

2.2.3.3 Makine

Yakıt tüketimini ve emisyon üretimini azaltmak için günümüzde en çok yatırım yapılan alan, makinelerde değişim yapmaktır. Yeni geliştirilen teknolojiler sayesinde diğer tüm tedbirlerden daha yüksek miktarda azalma sağlanabilmektedir. Makine üzerinde yapılan değişiklikler, geniş çaplı bir sektör olup yüksek ekonomik rekabet de içermektedir.

Yardımcı makineler üzerinde yapılan çalışmalardan birisi, hibrit makineler kullanımı üzerinedir. Dizel yakıt ile birlikte yakıt hücrelerinin kullanımı genel verimliliği ancak 2 % civarında arttırsa da NO_x ve PM emisyonlarında 60 %; CO₂ emisyonunda ise 30 % azalma görülebilmektedir [3]. Gemi limana bağlıyken ihtiyaç duyulan elektriğin jeneratörlerden değil de kıyıdaki santrallerden çekilmesi de bir diğer tasarruf yöntemidir. Bu sayede en azından gemi kıyıda demirliyken yakıt tüketimi azaltılmış ya da sıfırlanmış olur. Bu sayede elde edilen emisyon azalması Çizelge 2.19'da görülebilmektedir.

Çizelge 2.19 Kıyı elektriği kullanımı ile elde edilebilecek potansiyel emisyon azalması [98]

Kirletici	Jeneratör Emisyonu (g/kWh)	Elektrik İstasyonu Emisyonu (g/kWh)	Azalma (%)
NO _x	14,1	1,2	91,6
CO	0,9	0,2	75,6
SO ₂	2,2	1,2	45,8
CO ₂	718,6	542,6	24,5

Makine iç değişikliği (IEM) olarak nitelendirilen teknolojiler NO_x, VOC ve PM emisyonlarında azalma sağlar. Bu teknolojiler yanma sürecine müdahale ederek yakıt ve hava püskürtme sistemlerini geliştirmeyi ve yanma sürecinin optimizasyonunu sağlamayı amaçlar. IEM teknolojileri temel ve ileri olmak üzere ikiye ayrılır [99]. Temel IEM teknolojisi, yakıt valflerini düşük NO_x emisyonuna sahip sürgülü valflerle değiştirmeye dayanır. Bu sayede püskürtülen karışımın dağılımı optimize edilmiş olur. Temel IEM teknolojisi günümüzde sadece iki zamanlı yavaş hızlı makinelere uygulanabilmektedir. İleri IEM uygulaması ise gecikmeli püskürtme, yüksek basınçlı püskürtme, sıkıştırma oranında değişim, turbo veriminde artış ve değişik nozullar kullanma gibi çeşitli yöntemlerin bir araya gelmesiyle uygulanan karmaşık bir yöntemdir. 30-40 % civarında bir NO_x azalması sağlar [3]. Su püskürtme yöntemiyle yanma sıcaklığının düşürülmesi amaçlanır. Su, bir valf yardımıyla yanma öncesi ya da sonrasında yanma odasına gönderilerek sıcaklık azaltılır [100]. 50-60 %'lık bir NO_x azalması elde edebilmek için 40-70 %'lik bir su/yakıt oranına ulaşmak gerekmektedir [4]. Su püskürtme yöntemine benzer olarak yağ hava motoru (HAM) kullanımı da bir diğer yöntemdir. Bu yöntem sayesinde NO_x emisyonunda 80 %'e varan azalmalar gerçekleşmektedir [41]. Egzoz gazı çevrimi (EGR), sık kullanılan bir başka yöntemdir. Çevrim süreci sayesinde egzoz gazının bir kısmı filtreden geçirilir, soğutulur ve makine besleme havası olarak yeniden kullanılır. Bu sayede silindirlerin üst ısı değerleri düşer ve 35 % civarında bir NO_x emisyonu azalması meydana gelir [99]. Seçkili katalitik indirgeme (SCR) yönteminde NO_x emisyonlarını su ve azot moleküllerine ayırarak havaya bırakılan NO_x miktarını 90-95 %'lere varan oranlarda azalma sağlar [65].

SO_x ve PM emisyonlarının azaltılması konusundaki en önemli araçlardan biri yıkayıcılardır (scrubbers). Yıkayıcılar iki türdür: Deniz suyu kullananlar ve tatlı su kullananlar. Deniz suyu kullanan yıkayıcılar kükürt oksitleri nötralize etmek için alkalınlar kullanır ve bu oksitler böylece sülfat şeklinde suya aktarılır [101]. Yıkayıcı kullanımı sayesinde SO_x emisyonları 94 %'e varan oranlarda azalma göstermiştir [4].

2.2.3.4 Operasyon

Operasyon aşaması gemi ömrünün büyük bölümünü kapsadığı için bu aşamada yapılacak olan düzenlemeler emisyon oluşumunu ciddi ölçüde azaltabilir. Bu başlıkta makine ve diğer teknolojilerin haricinde operasyon aşamasına özel olarak alınabilecek tedbirler incelenmiştir.

Geminin limanda bekleme ve manevra süresinin azaltılması üzerinde ciddiyetle durulan önemli bir çalışmadır ve bu sayede 10 % civarında bir emisyon azalması sağlanabilir. Gemi yüzeyinin sürekli olarak temizlenmesi de ayrıca önemlidir. Gemi yüzeyine yapışan çeşitli deniz canlıları direnci arttırarak yakıt tüketimini, dolayısıyla oluşan emisyonu arttırır. Düzenli temizlik gemi verimliliğinde 3 % civarında bir artış meydana getirir. Gemi hızını azaltmak da eskiden beri bilinen geleneksel bir emisyon azaltma yöntemidir. Gemi hızındaki azalma genellikle CO₂ emisyonlarına etki eder ve hızdaki 1 knot düşüş, verimliliği 11 % civarında arttırır. Hızın yarı yarıya azaltılmasının CO₂ emisyonunu 70 % oranında düşürdüğü bilinmektedir. Geminin en uygun hava şartında seyredebilmesi için rota düzenlemeleri de emisyon azaltımı için uygulanan bir diğer yöntemdir. Gemi triminin optimum hale getirilmesi durumunda da 5 % civarında verimlilik artışı sağlanabilmektedir [3].

2.2.3.5 Yakıt

Kullanılan yakıtın değiştirilmesi SO_x emisyonlarının miktarını etkiler ve SO_x emisyonlarının değişimi genellikle PM emisyonları ile paralellik gösterir. Gemiler genellikle en ağır yakıtları kullandığından ve bu yakıtların içerdiği kükürt oranı oldukça yüksek olduğundan SO_x emisyonları gemi kökenli hava kirlenmesinin önemli bir ayağını oluşturur. ENTEC, (2005c) [102] çalışmasına göre PM emisyonları, yakıttaki kükürt içeriğinin 2.7 %'den 1.5 %'e düşürülmesi durumunda 18 %; 0.5 %'e düşürülmesi durumunda ise 20 %'den fazla bir azalma gösterir. Yakıt türünün değiştirilmesi SO_x ve PM emisyonlarında azalma sağlayabilir. Bioyakıt kullanımı SO_x ve PM emisyonlarında 50 %'ye varan azalmalar sağlayabilir. Doğal gaz ve hidrojen kullanımı da emisyon azaltıcı tedbir olarak kullanılabilir [4]. Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG) kullanımı sonucu CO₂ emisyonlarında 25 %, NO_x emisyonlarında 90 % bir azalma meydana gelirken LNG, SO_x emisyonlarına etki etmez. Distile edilmiş yakıtlar SO_x emisyonlarında 80 %, PM

emisyollarında 35 % azalma sağlar. Yakıtın sulandırılması da emisyon azaltılmasına katkı sunabilir [3].

2.2.4 Gemi Emisyonlarıyla İlgili Uluslararası Kurallar

Gemicilik endüstrisinden kaynaklanan kirliliği düzenleme ve gemicilik kökenli okyanus kirliliğini engelleme fikri ilk olarak 1954 yılında düzenlenen bir konferansta ortaya atılmıştır. Bu konferans, yalnızca petrol kirliliği üzerine yapılmış olup Denizlerin Petrol ile Kirlenmesini Önlemeye İlişkin Uluslararası Sözleşme (OILPOL) sözleşmesi ile sonuçlanmıştır. Bu sözleşme, yalnızca gemi kökenli petrol kirliliği üzerine düzenlemeler getirmiş olup zaman içinde daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaca paralel olarak IMO'nun bir alt kuruluşu olan Deniz Çevresini Koruma Komitesi (MEPC) tarafından 2 Ekim 1983'te yürürlüğe girecek şekilde 1973'te hazırlanıp 1978'te çeşitli eklerle genişletilen Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi(MARPOL 73/78) sözleşmesi düzenlenmiştir.

IMO, Birleşmiş Milletler (BM) tarafından denizde güvenlik ve kirlilik konularında uluslararası alanda yetkili kılınmıştır. IMO'nun amacı, kazalardan, kirlletici emisyonlarından ve istilacı türlerin yayılmasından kaynaklanan çevre kirliliğini azaltma yolunda üye devletleri bağlayıcı standart kurallar getirmektir. Bu hususta MARPOL, hali hazırdaki en güçlü sözleşmedir.

MARPOL, her biri farklı bir kirlilik türünü incelemek üzere, altı adet ekten meydana gelmektedir: Ek1, petrol kökenli deniz kirliliğini; Ek2, dökme olarak taşınan zehirli yüklerden ve çeşitli boşaltımlardan kaynaklanan kirliliği; Ek3, zararlı yüklerin paketlenme ve etiketlenme kriterlerini; Ek4, sintine suyu kirliliğini; Ek5, kıyıdan uzakta boşaltımı yapılan çöp ve plastik gibi katı atık kirliliğini; Ek6 ise havaya olan gemi emisyon kirliliğini düzenleme görevini üstlenmiştir [3]. Ek6'nın 14 numaralı düzenlemesi SO_x emisyonları için hazırlanmıştır. Günümüzde gemiler tarafından kullanılan yakıtın içerdiği kükürt oranı ortalama 4.50 %'dir. Düzenleme 14 ile, yakıt kükürt içeriğinin 1 Ocak 2012'den itibaren 3.50 %'yi; 1 Ocak 2020'den itibaren ise 0.50 %'yi aşmaması gerektiğini yönünde bir çalışma yapılmıştır. Bunun yanında, Kükürt Emisyon Kontrol Bölgeleri (SECA) adı verilen bölgelerde hizmet gösterecek gemiler için

yakıt kükürt içerikleri 1 Mart 2010'dan önce 1.50 % ile 1 Mart 2010'dan itibaren 1.0 % ile ve 1 Ocak 2015'ten itibaren 0.1 % ile sınırlandırılmıştır [4].

Ek6'daki 13 numaralı düzenleme ise NO_x emisyonlarını ilgilendirmektedir. Çizelge 2.20 makine güçlerine göre Ek6'da belirlenen NO_x emisyon limitlerini özetlemektedir.

Çizelge 2.20 NO_x emisyon limitleri [103]

Düzenleme	NO _x Limit	RPM (n)
Tier I 1 Ocak 2001 ile 1 Ocak 2011 arasında yerleştirilen dizel motorlar (> 130 KW)	17 g kWh ⁻¹ 45 x n-0.2 g kWh ⁻¹ 9.8 g kWh ⁻¹	n<130 130<n<2000 n>2000
Tier II 1 Ocak 2011'den sonra yerleştirilen dizel motorlar (> 130 KW)	14.4 g kWh ⁻¹ 44 x n-0.23 g kWh ⁻¹ 7.7 g kWh ⁻¹	n<130 130<n<2000 n>2000
Tier III 1 Ocak 2016'dan sonra yerleştirilen dizel motorlar (> 130 KW)	3.4 g kWh ⁻¹ 9 x n-0.2 g kWh ⁻¹ 3 g kWh ⁻¹	n<130 130<n<2000 n>2000

Buna göre NO_x emisyonu azaltma çalışmaları üç aşamalıdır. Birinci aşama 2011 yılında tamamlanmıştır. Günümüzde ikinci aşamaya uymak zorunda olan gemiler, 2016'dan sonra üçüncü ve son aşamaya uygun hale getirilmek zorundadır. Çizelgeden NO_x emisyonlarının makine devrine göre değişim gösterdiği ve düzenlemenin de bu bilgiye göre yapıldığı görülmektedir.

SO_x ve NO_x emisyonları konusundaki ciddi çalışmalara rağmen gemi kökenli CO₂ salınımı konusunda kapsamlı bir çalışma henüz mevcut değildir. Konu ile MEPC tarafından kısa ve uzun vadeli bazı öneriler yapılmıştır; fakat gerçek anlamda kısıtlayıcı ve zorlayıcı çalışmalar yoktur. Gemi kökenli sera gazları konusu Kyoto Protokolü'nde de ele alınmamış olup yine özellikle CO₂ emisyonu konusunda IMO haricinde herhangi bir uluslararası veya Avrupa mevzuatı da bulunmamaktadır [4]. Çizelge 2.21, 2005-2010 yılları arasında gemi kökenli emisyonların azaltılması konusundaki çalışmaları özetlemektedir.

Çizelge 2.21 2005'ten 2010'a Gemi kökenli emisyon azaltma düzenlemeleri [4]

2004	MARPOL Ek 6 Onayı
2005	14 Nisan 2005: AB Parlamentosu 1999/32/EC no'lu kükürt düzenlemesini yasalaştırdı 19 Mayıs 2005: Küresel kükürt limiti 4.5 % 22 Temmuz 2005: 2005/33/EC no'lu kükürt düzenlemesinin yayımlanması
2006	19 Mayıs 2006: Baltık Denizi SECA kükürt oranı 1.5 % 11 Ağustos 2006: Baltık SECA bölgesinde 1.5 % kükürt oranı; AB limanları arasında seyreden tüm yolcu gemileri için 1.5 % kükürt oranı; 1.5 % kükürt içeren yakıtlara alternatif emisyon azaltma tedbirleri
2007	11 Ağustos 2007: Kuzey Denizi SECA 1.5 % kükürt oranı Kasım 2007: Kuzey Denizi SECA 1.5 % kükürt oranı MARPOL Ek6 gözden geçirme
2008	AB Komisyonu gözden geçirme raporu: 0.5 % kükürt oranına ulaşmak için ileri kısıtlamalar; yeni SECA bölgeleri; ekonomik önerileri de kapsayan alternatif önlemler
2010	Ocak 2010: AB limanlarında kullanılan yakıtlar için 0.1 % kükürt oranı sınırlaması

2.2.5 Emisyon Tahmin Modelleri

Gemi emisyonları tahmininde iki temel yöntem kullanılır: Tümevarım ve tümdengelim yöntemleri. Her iki yöntemi de tanıtan çalışmalardan Wang vd, (2008) [1]'e göre Tümdengelim yönteminde toplam emisyonlar, belli parametrelere göre parçalara ayrılmış olan birimlerden elde edilen verilerle hesaplanır. Tümdengelim yöntemi bir envanter çıkarmak için hızlı bir yöntem olmasına karşın belirsizliklerden dolayı güvenilir bir yöntem değildir. Tümevarım yönteminde ise ayrıntılı gemi hareketi verileri kullanılır. Bu yöntem de seçilen zaman diliminin yıllık verilere ulaşmakta kullanılması halinde oluşabilecek hatalardan dolayı sınırlı kesinliğe sahiptir. Miola vd, (2010) [3], bu iki yöntemin birleştirildiği yöntemleri de açıklamaktadır. Toplam emisyon hesabında tümevarım, coğrafi nitelemede tümdengelim yönteminde tek bir geminin emisyon hesabı yapılır ancak bu geminin konumu bilinmemektedir. Yapılan bazı kabuller ve bazı kriterler vasıtasıyla bölgesel tahminler üretilebilir. Toplam emisyon hesabında tümdengelim, coğrafi nitelemede tümevarım yönteminde ise analize belli bir rota ya da bölge üzerinde başlanır ve bu aşamada emisyonu hangi geminin yaptığıyla ilgilenilmez. Sonraki aşamada ise bu rotaları ya da bölgeleri kullanan gemiler için kabuller yapılır.

Tümevarım yönteminde öncelikle tek bir geminin spesifik makine emisyon modeli, küresel dağılım yöntemi ve geminin operasyon verileri birleştirilerek istenen bir zaman dilimindeki emisyon hesaplanır. Geminin enerji harcamı, önceden belirlenmiş bir emisyon faktörü ile çarpılır ve böylece her bir emisyon türü için salınım bulunmuş olur. İstenildiği takdirde bulunan bu değer, dünyadaki toplam gemi emisyonlarının miktarını bulmakta kullanılabilir. Bu yöntem, gemileri tek tek incelediğinden tümdengelim yöntemine göre çok daha ayrıntılıdır. Tümdengelim yönteminde ise satılan ve

tüketildiği varsayılan toplam yakıt miktarına göre, ton cinsinden tüketilen yakıt başına kilogram cinsinden emisyon miktarı hesaplanır. Bu sayede belli bir bölgede ve belli tipteki gemilerde ne kadar emisyon salındığı öğrenilebilir. Dolayısıyla tümdengelim yönteminde gemi trafik yoğunluğu önemli bir bilgi olarak kullanılır ve bu yoğunluğu hesaplayabilmek için dünya küçük dilimlere ayrılır. Tümdengelim yöntemi, atmosferik modelleme yapanlar ve yasa koyucular için daha tatmin edici sonuçlar verebilmektedir [1; 2; 3; 4].

Endresen vd, (2003) [5] çalışmasında, gemiler tiplerine göre sınıflara ayrılmış ve her geminin yakıt tüketimine bağlı olarak, emisyon faktörleri kullanılarak toplam emisyon miktarları hesaplanmıştır. Yakıt tüketim miktarları özgül yakıt tüketimi verileri, ortalama makine yükü, ortalama makine gücü ve ortalama operasyon süresi bilgileriyle bulunmuştur. Bu verilerden yola çıkılarak toplam emisyon miktarına ulaşılmıştır. Önerilen emisyon tahmin formülü şu şekildedir:

$$M_{g,i,k,s} = c_{g,s}^f F_{i,k,s} = c_{g,s}^f b_s m_{i,k} t_{i,k} p_{i,k} n_{i,k} e_{i,k,s} \quad (2.5)$$

M , toplam emisyon miktarını; g alt indisi emisyon tipini; i alt indisi gemi tipini; k alt indisi gemi boyutunu; s alt indisi makine tipini; c emisyon faktörünü; F yakıt tüketimini; b makine tipi için özgül yakıt harcamasını; m ortalama makine yükünü; t ortalama seyir süresini; p makine gücünü; n gemi sayısını; e gemi tipi sıklığını ifade eder.

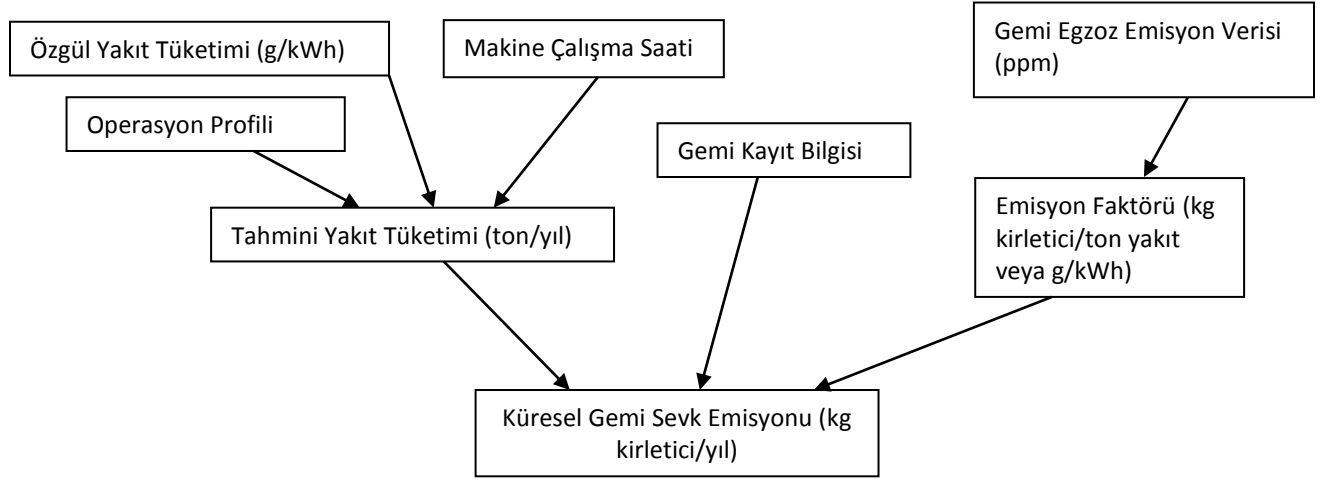
Corbett ve Köhler, (2003) [6] çalışması öncesinde yapılan bazı araştırmalarda bir ana makinenin yıllık 6500, yardımcı makinenin ise yıllık 3500 saat çalıştığı, ana makine çalışma yükünün 80 % ve yardımcı makine çalışma yükünün 50 % olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada önerilen yakıt tüketimi ve emisyon miktarı oluşum formülleri şu şekildedir:

$$Yakıt\ Tüketimi_{Metrik\ Ton/Yıl} = \sum_{i=1}^n P_{MW} * F_{\%MCR} * \frac{t_{saat}}{yıl} * SFOC_{\frac{g}{kWh}} * 1/1000 \quad (2.6)$$

$$Emisyon_{Metrik\ Ton/Yıl} = \sum_{i=1}^n P_{MW} * F_{\%MW} * \frac{t_{saat}}{yıl} * E_{\frac{g}{kWh}} * 1/1000 \quad (2.7)$$

P_{MW} her bir gemi tipi için makine gücünü; $F_{\%MCR}$ gemi profiline göre makine yükü faktörünü; $SFOC_{g/kWh}$ özgül yakıt harcamasını; $t_{saat/yıl}$ gemi tipi için ortalama operasyon

süresini; E_g/kWh her bir kirletici için emisyon miktarını ifade eder. Kullanılan yöntem, şematik olarak Şekil 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.6 Küresel gemi emisyon hesaplamalarında kullanılan yöntem [6]

Winther, (2008) [10], emisyon miktarı hesaplanmasında şu formülü önerir:

$$E(X) = \sum_i EC_{i,k} EF_{k,l,y} \quad (2.8)$$

E yakıt tüketimi/emisyon miktarını; EC enerji tüketimini; EF yakıt tüketimi/emisyon faktörünü; i gemi tipini; k yakıt tipini; l makine tipini; y ortalama makine yaşını ifade eder.

Endresen vd, (2007) [11] çalışması, 1925’ten günümüze kadar olan süreçteki gemi yakıt tüketimlerini ve gemi kökenli emisyonları hesaplama yoluna gittiği için oldukça önemlidir. 1925’ten 2002’ye kadar olan süreç CO_2 ve SO_2 emisyon envanteri açısından ve yakıt temelli hesap yöntemiyle, 1970’ten 2000’e kadar olan süreç ise aktivite temelli bir hesap yoluyla incelenmiştir. Yakıt temelli hesap yöntemiyle incelenen süreçte emisyon tahmini için aşağıdaki formül önerilmiştir:

$$E_{g,j} = S_j * e_{g,j} \quad (2.9)$$

E , emisyon miktarını; g alt indisi emisyon türünü (CO_2 veya SO_2); j yakıt tipini (dizel, ağır fuel ya da kömür); S , incelenecek olan yakıt tipinin satış miktarını; e , ilgili yakıt ve emisyon türü için emisyon faktörünü ifade eder.

Aktivite temelli hesap yöntemindeyse yakıt tüketimi için aşağıdaki formül önerilmiştir:

$$F_{i,s} = (b_{i,s} * t * p * m) * (n_{i,s} * N) \quad (2.10)$$

F , toplam yakıt tüketimini; i alt indisi makine tipini; s alt indisi yakıt tipini; b , özgül yakıt harcamını; t , ortalama operasyon süresini; p , ortalama makine gücünü; m , ortalama makine yükünü; n , belli bir tip geminin tüm gemilere oranını; N , aktif haldeki toplam gemi sayısını ifade eder.

Georgakaki vd, (2005) [14] çalışması Ulaşım ve Çevre Veritabanı Sistemi(TRENDS) projesi kapsamında özellikle Danimarka ve çevresi için, gemi tiplerine göre düzenlenmiş bir emisyon ve yakıt tüketim veri tabanı oluşturulmuştur.

ENTEC, (2005a) [18], emisyon oluşan bölgeler, bayrak ülkeleri, yakıt satış verileri, yakıt tüketim verileri gibi bilgiler kullanılmıştır. Rapor, bu bilgileri kullanarak farklı şekillerde emisyon hesabı yapmıştır. Rapor tarafından önerilen emisyon hesaplama formülü aşağıdaki gibidir:

$$E = \frac{D}{v} * [ME * LF_{ME} + AE * LF_{AE}] * EF \quad (2.11)$$

D , emisyon hesaplanan alanda geminin aldığı yolu; v , geminin ortalama hızını; ME , ana makine gücünü; LF , makine yükünü; AE , yardımcı makine gücünü; EF ise emisyon faktörünü ifade eder.

Limanda oluşan emisyon miktarı ise;

$$E = T * [ME * LFP + AE * LFP] * EF \quad (2.12)$$

T , demirli halde ya da manevrada harcanan süreyi ifade eder. Diğer ifadeler (2.11)'deki ifadelerle aynıdır.

IIASA, (2007) [19] çalışmasında Avrupa ülkelerinin ulusal ve uluslar arası emisyon envanteri çıkarılmış ve bu emisyonlar atmosferik dispersiyon modelleriyle de incelenmiştir. IIASA, bu atmosferik verileri işleyebilmek için Kuzeydoğu Atlantik, Karadeniz ve Akdeniz (EMEP) modelini kullanmıştır.

Schrooten vd, (2009) [23] çalışmasında Avrupa için filo, nakliye aktiviteleri ve emisyon olmak üzere üç farklı konuda modelleme yapılmıştır ve emisyon modülünde 2005 yılı için Avrupa Birliği'nde ülke başına salınan emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Jalkanen vd, (2009) [24], yaptığı çalışmada da benzer şekilde hem emisyon ölçümü hem de emisyonların coğrafi dağılımlarının incelenmesi konusunda tümevarım yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın bir diğer önemli kısmı da deniz dalgalarının emisyon oluşumuna etkisinin de hesaba katılmasıdır. Yapılan çalışma bu anlamda ilk olma özelliğini de taşımaktadır. Seyir halindeki bazı gemilerden doğrudan alınan bilgiler de yine ilk olarak bu çalışmada gerçekleştirilmiştir.

Paxian vd, (2010)[25] ve Faber vd, (2009)[26], yöntemlerinin dezavantajı ise toplam gemi hareketinin yalnızca 50 % kadarının gözlenmesidir. Bu yüzden daha ayrıntılı bilgiye ihtiyaç duyulabilir.

Amann vd, (2004) [28], yaptığı çalışmada Avrupa Komisyonu'nun geliştirdiği Avrupa için Temiz Hava (CAFE) programı kullanılmış ve 2000-2020 arasındaki emisyon miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 2.22, bugüne kadar yapılmış değişik çalışmalar sonucunda elde edilmiş emisyon tahminlerini göstermektedir. Çizelge, yalnızca dünya çapındaki tüm gemicilik faaliyetleri sonucu oluşan emisyonları içermektedir

Çizelge 2.22 Çeşitli emisyonlar için yapılmış tahminlerin kıyaslanması (Tg)

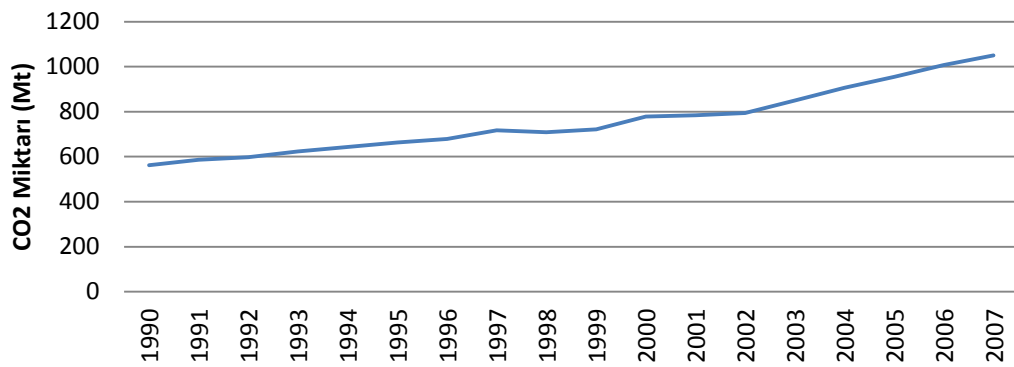
Çalışma	Bilgi	NO _x (NO ₂)	CO ₂	CO	SO _x (SO ₂)	PM ₁₀	CH ₄	NMHC
Endresen vd, (2003)	2000 yılı için, 100 GT ve üzeri yük ve yolcu gemileri	11,92	557,32	1,12	6,82	0,912	0,046	0,359
Corbett ve Köhler, (2003)	2001 yılı için, tüm gemiler	22,57	912,37	-	12,98	1,64	-	-
Eyring vd, (2005a)	2001 yılı için, 300 GT ve üzeri tüm gemiler	21,38	812,63	1,31	12,03	1,67	0,223	1,737

Çizelge 2.22'de açıklanan üç çalışma, emisyon tahmini konusunda kendilerinden sonra gelen çalışmaları etkileyen çalışmalar olduklarından oldukça önemlidirler. Çizelge 2.23 ise IMO tarafından hazırlanan ve 1990-2007 yılları arasında toplam gemicilik faaliyetlerinden kaynaklanan hava emisyonlarını göstermektedir.

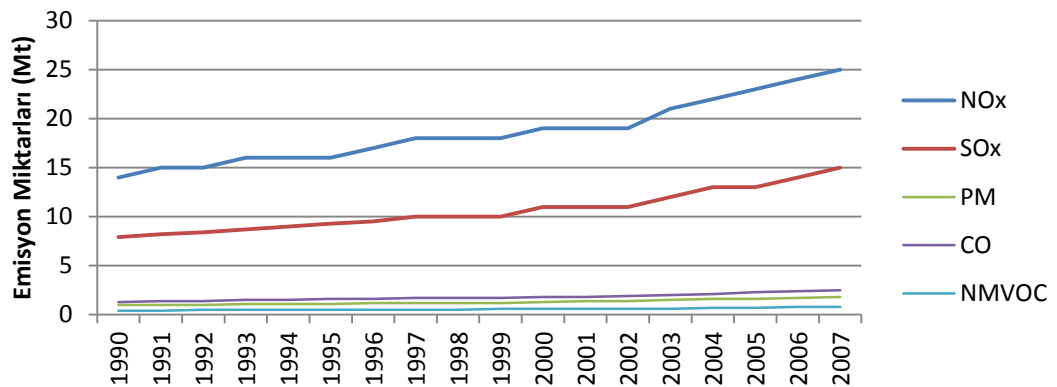
Çizelge 2.23 1990-2007 Yılları arasında havaya olan gemi emisyon miktarları [13]

Yıl	NO _x (Mt)	SO _x (Mt)	PM (Mt)	CO (Mt)	NMVOC (Mt)	CO ₂ (Mt)
1990	14	7,9	1,0	1,3	0,4	562
1991	15	8,2	1,0	1,4	0,4	587
1992	15	8,4	1,0	1,4	0,5	598
1993	16	8,7	1,1	1,5	0,5	624
1994	16	9,0	1,1	1,5	0,5	644
1995	16	9,3	1,1	1,6	0,5	663
1996	17	9,5	1,2	1,6	0,5	679
1997	18	10	1,2	1,7	0,5	717
1998	18	10	1,2	1,7	0,5	709
1999	18	10	1,2	1,7	0,6	722
2000	19	11	1,3	1,8	0,6	778
2001	19	11	1,4	1,8	0,6	784
2002	19	11	1,4	1,9	0,6	794
2003	21	12	1,5	2,0	0,6	849
2004	22	13	1,6	2,1	0,7	907
2005	23	13	1,6	2,3	0,7	955
2006	24	14	1,7	2,4	0,8	1.008
2007	25	15	1,8	2,5	0,8	1.050

Çizelge 2.23'ün bir özeti şeklinde hazırlanan Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de yıllara göre gemi emisyonlarının artışı görülmektedir.



Şekil 2.7 1990-2007 Yılları arasındaki CO₂ artış grafiği



Şekil 2.8 1990-2007 Yılları arasındaki NO_x, SO_x, PM, CO ve NMVOC artış grafiği

Çizelge 2.24, bugüne kadar gemi kökenli CO₂ salım miktarları üzerine yapılan önemli çalışmaların bir özetini sunmaktadır.

Çizelge 2.24 Değişik çalışmalara göre gemi kökenli CO₂ salım miktarları [3]

Çalışma Alanı	Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl	CO ₂ (Mt)
Uluslararası Gemicilik Faaliyetleri	Corbett vd, (1999)	1993	453
	Skjølsvik vd, (2000)	1996	430
	Endresen vd, (2003)	2001	557
	Corbett ve Köhler, (2003)	2001	805
	Eyring vd, (2005)	2001	812
	Endresen vd, (2007)	2000	625
	Wang vd, (2008)	2001	650
	Edgar, (2009)	2001	440
	IEA	2001	550
	EIA	2001	610
	IMO, (2009)	2001	652
	Eyring vd, (2009)	2000	780
	Edgar, (2009)	2004	520
	Dalsoren vd, (2008)	2004	654
	IMO, (2009)	2004	755
	Eyring vd, (2009)	2005	960
Toplam Gemicilik Faaliyetleri	Corbett ve Köhler, (2003)	2001	912
	Eyring vd, (2005)	2001	887
	IMO, (2009)	2001	784
	Paxian vd, (2010)	2006	695
	IMO, (2009)	2006	1.008
AB 200nm ¹	Wang vd, (2008)	2001	90
	Edgar, (2009)	2001	62
	ENTEC, (2005)	2000	121
AB Toplam	Paxian vd, (2010)	2006	112
	Schrooten vd, (2009)	2005	77

¹AB ülke kıyılarından 200 deniz mili uzaklığa kadar olan sularda ölçülen değerler

Çizelge 2.25'te ise bugüne kadar gemi kökenli SO_x salımı üzerine yapılmış önemli çalışmaların bulgularının özeti görülmektedir.

Çizelge 2.25 Değişik çalışmalara göre gemi kökenli SO_x salım miktarları [4]

Çalışma Alanı	Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl	SO _x (Tg)
Dünya Çapı	Endresen vd, (2005)	2001	6,3
	Corbett ve Köhler, (2003)	2001	13,0
	Endresen vd, (2003)	2000	6,8
	Skjølsvik vd, (2000)	1996	5,8
	Olivier ve Berdowski, (2001)	1995	7,3
	Corbett vd, (1999)	1993	8,5
Kuzey Denizi/Baltık	Whall vd, (2002)	2000	0,76
EMEP (Kuzeydoğu Atlantik/Akdeniz/Karadeniz)	Whall vd, (2002)	2000	2,58
Kuzeydoğu Atlantik	LR, (1995)	1990	1,37
Baltık	LR, (1998)	1990	0,23
Akdeniz/Karadeniz	LR, (1999)	1990	1,25
Asya Denizleri	Streets vd, (2000)	1995	0,82

Çizelge 2.26'da bugüne kadar yapılmış değişik çalışmalardan elde edilen gemi kökenli NO_x miktarları özetlenmiştir.

Çizelge 2.26 Değişik çalışmalara göre gemi kökenli NO_x salım miktarları [6; 29]

Çalışma	Hesaplara Esas Alınan Yıl	NO _x
Corbett ve Köhler, (2003)	2001	6,87 Tg
Endresen vd, (2003)	2000	3,45 Tg
Skjölsvik vd, (2000)	1996	3,06 Tg/10,3 Mt-Yakıt bazlı/9,8 Mt-İstatistik model
Corbett vd, (1999)	1992/1993	3,08 Tg/10,12 Mt
Olivier ve Berdowski, (2001); Olivier ve Peters, (1999)	1990/1995	2,77 Tg
Benkovitz vd, (1996)	1990	1,60 Tg
UNFCCC, (1997)	1994	9,3 Mt

Dünya gemicilik faaliyetleri, dünyadaki toplam CO₂ salımının 2-4 %'sinden [103]; NO_x salımının 15 %'inden [9]; SO_x salımının 5-8 %'inden [6]; BC salımının 1,7 %'sinden [9] sorumludur. Uluslararası gemicilik faaliyetleri dünyadaki toplam atmosferik kirlilik yoğunluğu içinde kara araçlarından ve diğer endüstriyel işlemlerden kaynaklanan kirliliğe kıyasla küçük bir paya sahiptir. MEPC (1998) verilerine göre gemiler dünyadaki toplam ticaretin 80 %'inden sorumlu olmalarına karşın toplam CO₂ emisyonlarının 2 %'sinden sorumludurlar [104].

2.2.6 Gemi Emisyonları için Yaşam Döngüsü Analizi

LCA yöntemi, bütünsel bir yaklaşım olduğundan geminin dizayn, üretim, operasyon, bakım/onarım, söküm/geri dönüşüm aşamalarının tümünü ele almalıdır. Gemi dizaynı sırasında uygulanacak LCA yöntemleri, geminin tüm ömrü boyunca çevresel ve çalışma performansına etki edecektir. Bu yüzden her gemi için doğru tipte bir analiz gerçekleştirilmelidir. Dizayn aşaması, diğer tüm aşamalar üzerinde etkiye sahip olan ve yapılan hataların geri döndürülebileceği tek aşama olduğundan özellikle üzerinde durulmalıdır. Doğru dizayn, daha az enerji sarfiyatı, daha verimli operasyon ve daha iyi bir geri dönüşüm demektir.

Üretim aşaması, dizayn aşamasından sonra gelen ve geminin armatör ya da şirketlerin isteklerine uygun olarak imal edilmesi sürecini içeren aşamadır. Üretim aşamasındaki çevresel performans, tersanenin aldığı önlemlere ve uyguladığı teknolojilere bağlıdır. Gemi üretim süreci, katı, sıvı ve gaz olmak üzere çok çeşitli atıkların oluşmasına neden olur. Özellikle yüzey hazırlama, raspa, kaynak ve boya süreçleri ciddi miktarda tehlikeli atık oluşan süreçlerdir. Bu süreçler aynı zamanda gemi üretim aşamasının en önemli

kısımlarını oluşturur. Operasyon aşaması geminin en uzun süre içinde bulunduğu ve esas üretim amacını gerçekleştirdiği aşamadır. Uzun vadeli ve pek çok işlemin aynı anda sürdürülmesi gereken bir süreç olmasından dolayı en çok emisyon ve atık üretilen aşamadır. Operasyon aşamasında emisyon azaltıcı yöntemler daha çok dizayn aşamasında alınan tedbirlere bağlıdır. Operasyon sırasında yenilikçi teknolojilerin kullanımı sayesinde emisyon ve atıklarda ciddi azalmalar görülebilir. Bunun yanı sıra, operasyon sürecini yönetecek mürettebatın da konuyla ilgili eğitimi, emisyon azaltma yöntemlerinden birisidir. Söküm/geri dönüşüm aşaması ise gemi yaşam döngüsünün sonu olmakla birlikte düzgün bir şekilde gerçekleştirildiğinde başka pek çok ürünün ilk aşaması haline gelir. Söküm/geri dönüşüm sürecinin belli sıralara göre yapılması, çevreyi ve işçiyi koruyucu önlemler alınması ve geri dönüştürülebilir malzemelerin iyi tespit edilip olası atık ve emisyonların sıfıra indirgenmesi bu süreci daha verimli kılar.

Yaşam Döngüsü Analizi, gemiyi tüm yönleriyle ele alır ve mevcut geleneksel süreçlerin alternatif malzemeler ve alternatif üretim yöntemleri ile değiştirilerek çevreye ve insana karşı etkilerin azaltılmasını amaçlar. Bu sayede çevresel performans arttırılırken verimlilikte yükselme, maliyetlerde ve üretim süresinde azalma sağlanarak ekonomik anlamda da kazanç elde edilmesi hedeflenmektedir.

ÜÇ KURU YÜK GEMİSİNİN YILLIK EMİSYON AYAKİZİ HESABI İÇİN DEĞİŞİK YÖNTEMLERİN KIYASLANMASI

Yakıt tüketim bilgisi elde edilmiş olsun ya da olmasın, emisyon miktarını bulabilmek için emisyon faktörü adı verilen bir veriye de ihtiyaç duyulur. Emisyon faktörleri, her bir kirletici emisyon türü için, baca gazı ölçümü ya da bazı deneysel veriler yoluyla elde edilen değerlerdir. Yakıt tüketim bilgisi mevcut değilse genellikle makine gücüne bağlı olarak bulunurlar ve g/kWh birimiyle kullanılırlar. Yakıt tüketim bilgisi mevcutsa yakıtın içeriğine göre değerlendirilir ve g/ton yakıt birimiyle kullanılırlar. Emisyon faktörleri, yakıt türü, emisyon türü, makine tipi ve kirletici tipi parametrelerinin her biri için ayrı ayrı hesaplanır.

3.1 Yakıt Tüketim Yöntemi

Yakıt tüketimi yöntemi için (1.1) numaralı denklemden faydalanılır. Buna göre emisyon faktörleri ve harcanan yakıt miktarlarının bilinmesi yeterlidir. Bu yöntem için kullanılacak olan emisyon faktörleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de sırasıyla [35] ve [9] için verilmiştir.

Çizelge 3.1 g/ton yakıt cinsinden emisyon faktörleri [35]

	CH ₄	CO	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	SO _x	NMVOC	NH ₃	TSP	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se	Zn	N ₂ O
Ana Mak.	30,8	2545	3179000	87136	6667	6667	46000	1525	27	6667	0,15	0,013	0,003	0,85	1,23	2	34	0,02	1,4	159
Yardımcı Mak.-HFO	17,6	3924	3179000	61728	2203	2203	46000	871	27	2203	0,15	0,013	0,003	0,85	1,23	2	34	0,02	1,4	137
Yardımcı Mak.-MDO	18,4	4127	3179000	62440	922	922	8000	916	21	922	0,15	0,005	0,00005	0,03	0,05	1,7	1	0,00005	1	143

Çizelge 3.2 g/ton yakıt cinsinden emisyon faktörleri [9]

	NO _x	CO ₂	CO	PM	SO _x	HC
Ana Makine	74	2880	4,72	6,1	44,7	6,6
Yardımcı Makine	48	2950	4,72	5,7	40,2	8,5

İki yöntemin ele aldığı emisyon türleri için de hesaplama yapılmış ve gemileri yıllık toplam emisyon ayak izleri bulunmuştur. Kıyaslama yapılırken ise iki yöntemin de ortak olarak hesapladığı emisyon türleri kullanılmıştır.

Her üç gemi de seyir halindeyken hem ana makineyi hem de yardımcı makineleri çalıştırmışlardır. Limanda bekleme süresinde ise her üç gemi de yalnızca yardımcı makineleri faaliyete geçirmiştir. Kullanılan yakıt türleri ise gemilere göre farklılık göstermiştir. Gemi A ve Gemi B'nin ana makinesi sadece HFO kullanırken yardımcı makineleri hem HFO hem de MDO kullanmıştır. Bu yüzden gemi seyir halindeyken harcanan MDO'nun tamamının yardımcı makineler tarafından kullanıldığı bilinmesine rağmen kullanılan HFO'nun ne kadarının ana makine ne kadarının yardımcı makineler tarafından harcandığını bulabilmek için bir sayısal analiz yapılmıştır. Makine türlerinin seyir sırasında harcadıkları yakıt miktarlarının toplanıp bu verinin harcanan toplam yakıt miktarına oranlanmasıyla elde edilen bilgiye göre Gemi A'nın ana makinesi seyir halinde harcanan HFO'nun 86.08 %'inden; yardımcı makineleri ise 13.92 %'sinden sorumludur. Gemi B'de ise ana makine seyir esnasında kullanılan HFO'nun 89.44 %'ünü; yardımcı makineleri 10.56 %'sini harcamıştır. Yapılan hesaplarda, ana ve yardımcı makinelerin seyir esnasındaki HFO harcamaları bulunurken (1.1) numaralı denkleme ek olarak bu katsayılar da ilgili makine türleri için çarpan olarak kullanılmış, böylece kesin verilere ulaşım sağlanmıştır. Gemi C'de ise durum farklı olup ana makine yalnızca HFO, yardımcı makine ise yalnızca MDO harcamıştır. Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] çalışmasında yardımcı makinelerin HFO kullanması durumundaki emisyon faktörlerini vermiş olduğundan bu yöntemdeki liman hesaplamaları kısmında ana makinenin susturulduğu varsayılmış; Eyring vd, (2005a) [9] yönteminde ise sadece ana makinenin HFO kullandığı bilindiğinden liman sürecinde de ana makinenin az da olsa çalıştığı kabul edilmiş ve hesaplar da bu bilgiye göre yapılmıştır. Emisyon türünden bağımsız olarak yöntemlere göre gemilerin toplam emisyon miktarları Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

İki yöntemin de ortak olarak hesap yapabildiği emisyonlar; CO, CO₂, NO_x, SO_x ve PM'den ibarettir. Sadece bu emisyonlar düşünüldüğünde toplam emisyon miktarları Çizelge 3.3'teki gibi olmaktadır.

Çizelge 3.3 Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık toplam emisyonlar

	Cooper ve Gustafsson, (2004)	Eyring vd, (2005a)
Gemi A	14393,23 ton	13111,20 ton
Gemi B	20126,28 ton	18427,53 ton
Gemi C	10114,49 ton	9213,70 ton

Bu yeni hesaplama iki yöntemin sonuçları arasındaki fark azalmış olmasına karşın Gemi A ve Gemi B için halen bin tonun üzerindedir. Bu farklar, kullanılan emisyon faktörleri arasındaki farkların bir sonucudur. Çizelge 3.4, her emisyon türünün toplam miktarını göstermektedir.

Çizelge 3.4 Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık emisyon türleri

ton	Cooper ve Gustafsson, (2004)					Eyring vd, (2005a)				
	CO	CO ₂	NO _x	SO _x	PM	CO	CO ₂	NO _x	SO _x	PM
Gemi A	12,47	13807,59	352,72	196,15	24,30	20,50	12580,04	294,99	189,58	26,09
Gemi B	32,56	19458,02	365,77	249,59	20,32	28,89	17640,19	448,37	272,81	37,26
Gemi C	8,59	9712,80	253,32	122,36	17,43	14,42	8832,77	213,65	134,42	18,45

Görüldüğü gibi toplam emisyonlar içindeki en büyük pay ortalama 95,12 % ile CO₂'nindir. Diğer tüm emisyonların toplam payı ortalama 4,08 %'de kalmaktadır.

3.2 Makine Gücü Yöntemi

Makine gücü yönteminde (1.2) numaralı formül kullanılmaktadır. Bu formülün uygulanabilmesi için makinenin saat cinsinden çalışma süresi, makine gücü, ilgili emisyon türü ve makine tipi için uygun emisyon faktörü ve makinenin çalışma yükü bilinmelidir. Bu yöntem için kullanılacak emisyon faktörleri Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da sırasıyla [35] ve [9] için verilmiştir.

Çizelge 3.5 g/kWh cinsinden emisyon faktörleri [35]

	CH ₄	CO	CO ₂	NO _x	PM ₁₀	PM _{2,5}	SO _x	NMVOC	NH ₃	TSP	Pb	Cd	Hg	As	Cr	Cu	Ni	Se	Zn	N ₂ O
Ana Mak.	0,006	0,5	620	18,1	1,3	1,3	9	0,3	0,003	1,3	0,00003	0,00000254	0,0000006	0,0002	0,0002	0,00039	0,0066	0,0000039	0,0003	0,031
Yardımcı Mak.-HFO	0,004	0,9	722	14,5	0,5	0,5	10,4	0,2	0,003	0,5	0,005	0,00000295	0,0000007	0,0002	0,0003	0,00045	0,0077	0,00000454	0,0003	0,031
Yardımcı Mak.-MDO	0,004	0,9	690	13,8	0,2	0,2	1,7	0,2	0,003	0,2	0,005	0,00000109	0,00000001	0,000007	0,00001	0,00037	0,0002	0,0000000109	0,0002	0,0031

Çizelge 3.6 g/ton yakıt cinsinden emisyon faktörleri [9]

	NO _x	CO ₂	CO	PM	SO _x	HC
Ana Makine	13,85	610	1	1,3	9,47	1,4
Yardımcı Makine	8,9	625	1	1,2	8,52	1,8

Üç yöntemin ele aldığı emisyon türleri için de hesaplama yapılmış ve gemileri yıllık toplam emisyon ayak izleri bulunmuştur. Kıyaslama yapılırken ise üç yöntemin de ortak olarak hesapladığı emisyon türleri kullanılmıştır.

Her üç gemi de seyir halindeyken hem ana makineyi hem de yardımcı makineleri çalıştırmışlardır. Limanda bekleme süresinde ise her üç gemi de yalnızca yardımcı makineleri faaliyete geçirmiştir. Kullanılan yakıt miktarları önemsiz olduğundan seyir esnasında makine tipine göre yapılan yüzdelik hesap bu yöntemde işlevselliğini yitirmektedir. Öte yandan makine gücü yöntemi ile yapılan hesaplar, zaten yakıt verileri olmadığı durumlarda yapıldığından bu verilerin bilinmediği durum göz önüne alınmalı ve hesap da buna göre yapılmalıdır. Makine gücü yöntemi yalnızca makine ve çalışma verileri ile uygulanır. Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] çalışması, ana makinenin yanı sıra, HFO ve MDO kullanan yardımcı makinelerin de emisyon faktörlerini verdiği için her üç geminin emisyonları da buna göre hesaplanmıştır. Her üç gemi için de seyir aşamasında ana makinenin HFO, yardımcı makinenin ise hem HFO hem MDO yaktığı, limanda bekleme süresinde ise sadece yardımcı makinenin çalışır vaziyette olduğu ve bu esnada Gemi A ve Gemi B'nin hem HFO hem de MDO, Gemi C'nin ise sadece MDO kullandığı kabul edilmiştir. Eyring vd, (2005a) [9] çalışması ise diğerlerinden farklı olarak yakıt tüketiminden bağımsız bir şekilde emisyon faktörü önerdiği için her üç gemide de seyir aşamasında ana ve yardımcı makineler, limanda bekleme aşamasında ise yalnızca yardımcı makineler aktif kabul edilmiştir. Çizelge 3.7, her yöntem için bu beş emisyonun toplam miktarını vermektedir.

Çizelge 3.7 Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık toplam emisyonlar

	Cooper ve Gustafsson, (2004)	Eyring vd, (2005a)
Gemi A	18809,92 ton	16627,49 ton
Gemi B	24454,77 ton	23872,98 ton
Gemi C	12000,24 ton	11192,31 ton

Bu beş emisyon haricinde kalan emisyonlar, toplam emisyon içinde çok az yer kapladığından beş temel emisyonun toplam değeri, toplam emisyon miktarına yakın değerler vermektedir. Çizelge 3.8, her bir emisyon türünün toplam miktarını göstermektedir.

Çizelge 3.8 Gemi A, Gemi B ve Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemleri ile hesaplanan yıllık emisyon türleri

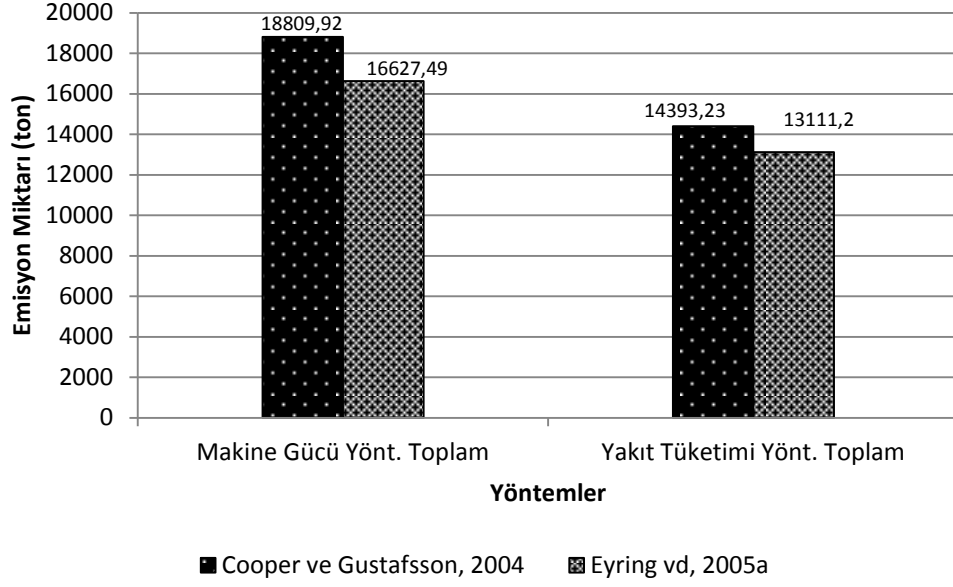
		Gemi A	Gemi B	Gemi C
Cooper ve Gustafsson, (2004)	CO	15,96	19,45	23,88
	CO ₂	18019,56	23379,31	14597,66
	NO _x	498,10	673,67	320,30
	SO _x	243,41	333,29	224,13
	PM	32,89	49,02	30,83
Eyring vd, (2005a)	CO	24,55	37,54	17,59
	CO ₂	11494,22	22915,38	10751,35
	NO _x	321,34	516,42	235,65
	SO _x	178,59	354,88	165,02
	PM	24,87	48,73	22,70

Çizelge 3.8 göstermektedir ki tüm emisyonların 95,55 %'ini CO₂ emisyonları meydana getirmektedir. Geri kalan emisyon tipleri toplam emisyonların ancak 4,45 %'ini oluşturmaktadır.

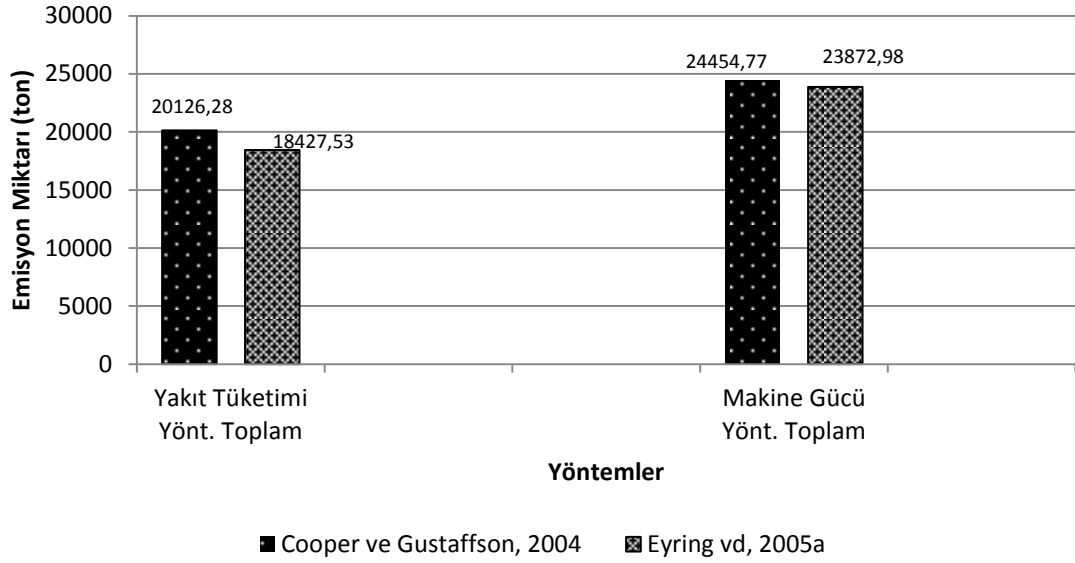
3.3 Emisyon Tahmin Yöntemlerinin Sonuç Kıyaslamaları ve Emisyon Yoğunluğu Tahminleri

Yakıt tüketimi ve makine gücü yöntemleri çeşitli çalışmalarda, gerek dünya çapında gerekse yerel düzeyde gemi emisyonlarını hesaplamak için sıklıkla kullanılır. Gemi emisyonları söz konusu olduğunda hesaplardan elde edilecek sonuçlar emisyon faktörlerine ve gemi ile ilgili verilere bağlıdır. Farklı deneysel ya da nümerik çalışmalar sonucunda elde edilen emisyon faktörleri birbirinden farklı olabilir ve bu da emisyon hesaplarında farklılıklar meydana getirebilir. Bunun yanında yakıt tüketimi ve makine gücü yöntemleri birbirinden oldukça farklı verileri kullandığı için sonuçlar arasında ciddi bir farklılık meydana gelmektedir. Yakıt tüketimi yönteminde doğrudan kullanılan yakıt miktarı göz önüne alındığından elde edilecek sonuçların da daha kesin olması beklenir. Bununla birlikte makine gücü yönteminde kullanılan emisyon faktörlerinin gerçeğe daha yakın olması durumunda bu yöntemle yapılan hesaplar daha gerçekçi olabilir. Sağlıklı bir emisyon tahmini için her iki yöntemin de kullanılması yerinde bir karar olacaktır.

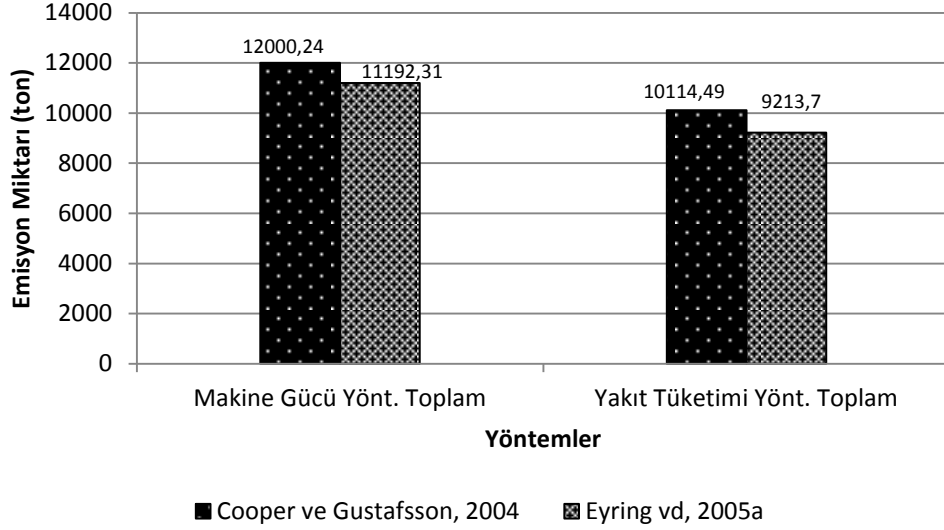
Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3, sırasıyla Gemi A, Gemi B ve Gemi C için her iki yöntem sonucunda elde edilen toplam emisyon miktarlarının kıyasını içermektedir.



Şekil 3.1 Gemi A için Cooper ve Gustafsson, (2004) ile Eyring vd, (2005a) hesaplarına ve makine gücü ile yakıt tüketimi yöntemlerine göre toplam emisyonlar



Şekil 3.2 Gemi B için Cooper ve Gustafsson, (2004) ile Eyring vd, (2005a) hesaplarına ve makine gücü ile yakıt tüketimi yöntemlerine göre toplam emisyonlar



Şekil 3.3 Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) ile Eyring vd, (2005a) hesaplarına ve makine gücü ile yakıt tüketimi yöntemlerine göre toplam emisyonlar

Şekillerden görülebildiği gibi her iki çalışmadan elde edilen sonuçlar oldukça farklı olmakla birlikte yöntemler arası farklılık da azımsanmayacak boyuttadır. Bununla beraber emisyon hesaplarının hepsi henüz tahmin aşamasında olup kesin verilere ulaşmak oldukça zor olduğundan farklı yöntemlerle elde edilen sonuçların hepsi doğru kabul edilebilir. Hangi yöntemin seçileceği eldeki verilere bağlıdır. Kullanılan emisyon faktörleri her geçen gün geliştirilmektedir. yeni yakıt türleri, yeni geliştirilen makine tipleri, emisyon azaltıcı sistemlerin geliştirilmesi, gemi formundaki yenilikçi düzenlemeler ve deniz şartları gibi dış etkenler nedeniyle emisyon faktörleri sürekli değişmektedir. Bu yüzden bugün hesaplanan emisyon miktarları yarın için geçerliliğini yitirebilmektedir ve bu durum da kesin sonuçlara ulaşılmasını zorlaştırmaktadır. Emisyon tahminlerinin düzenli olarak yapılması, en sağlıklı sonuç alınması için zaruridir. Emisyon miktarı kadar bu emisyonların hangi bölgelerde yoğunlaştığı verisi de önem taşımaktadır. Gemi emisyonlarının zararları iyi bilindiğinden daha kapsamlı önlemler alınabilmesi için toplam emisyon miktarının yanı sıra bölgesel yoğunlaşmalar da dikkate alınmalıdır. Bu amaçla eldeki gemi rotası verileri ve seyir aşaması emisyonları dikkate alınarak, rotalar üzerindeki emisyonlar ton/deniz mili (nm) birimiyle hesaplanmış ve hangi rotada daha fazla emisyon birikimi olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.9, Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11 sırasıyla Gemi A, Gemi B ve Gemi C için rota bilgilerini ve limanlar arası mesafeleri vermektedir.

Çizelge 3.9 Gemi A'nın bir yıllık rotası ve limanlar arası mesafeler

Kalkış Limanı	Varış Limanı	Mesafe (deniz mili)
Kore	Kanada	4263
Kanada	Çin	5497
Çin	Singapur	1653
Singapur	G. Afrika	5076
G. Afrika	Meksika	7895
Meksika	ABD	723
ABD	G. Afrika	8277
G. Afrika	İtalya	6759
İtalya	Slovenya	921
Slovenya	Türkiye	1186
Türkiye	G. Afrika	5761
G. Afrika	Namibya	1116
Namibya	İspanya	4915
İspanya	Hollanda	1811

Çizelge 3.10 Gemi B'nin bir yıllık rotası ve limanlar arası mesafeler

Kalkış Limanı	Varış Limanı	Mesafe (deniz mili)
Hindistan	Ukrayna	5819
Ukrayna	ABD	5348
ABD	Norveç	3766
Norveç	Almanya	1080
Almanya	ABD	4725
ABD	Belçika	4522
Belçika	S. Arabistan	6509
S. Arabistan	Hindistan	1461
Hindistan	Katar	1300
Katar	Madagaskar	3099
Madagaskar	Mozambik	1245
Mozambik	Çin	6930
Çin	Kanada	5110
Kanada	Hindistan	9513
Hindistan	S. Arabistan	1461
S. Arabistan	Cibuti	1964
Cibuti	Ürdün	1230
Ürdün	Hindistan	4544

Çizelge 3.11 Gemi C'nin bir yıllık rotası ve limanlar arası mesafeler

Kalkış Limanı	Varış Limanı	Mesafe (deniz mili)
Yunanistan	Kongo	5324
Kongo	Arjantin	4536
Arjantin	Cebelitarık	5491
Cebelitarık	Türkiye	1641
Türkiye	Kongo	5351
Kongo	Türkiye	5732
Türkiye	Gine	3956
Gine	Türkiye	3734

Şekil3.4'te her üç geminin rotaları dünya haritası üzerinde görülmektedir. Gemi A'nın rotası kırmızı, Gemi B'nin rotası mavi ve Gemi C'nin rotası yeşil renkte gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Gemilerin yıllık rotaları

Her bir rota için hesaplanan emisyon miktarları elde edilen sonuçlar Gemi A, Gemi B ve Gemi C için sırasıyla Çizelge 3.12 ve Çizelge 3.13, Çizelge 3.14 ve Çizelge 3.15, Çizelge 3.16 ve Çizelge 3.17’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12 Gemi A için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)

Kalkış	Varış	CO	CO ₂	NO _x	PM	SO _x	Toplam
Kore	Kanada	1.04	1206.14	31.68	2.29	17.39	1258.55
Kanada	Çin	1.33	1539.97	40.41	2.91	22.14	1606.76
Çin	Singapur	1.35	1561.08	41.04	2.96	22.56	1628.99
Singapur	Güney Afrika	1.27	1464.85	38.46	2.77	21.09	1528.44
Güney Afrika	Meksika	1.65	1912.77	50.24	3.62	27.57	1995.86
Meksika	ABD	0.21	245.04	6.42	0.46	3.51	255.64
ABD	Güney Afrika	2.25	2611.05	68.56	4.94	37.60	2724.40
Güney Afrika	İtalya	1.77	2049.37	53.87	3.89	29.61	2138.52
İtalya	Slovenya	0.29	301.66	7.49	0.47	3.57	313.47
Slovenya	Türkiye	0.24	278.04	7.31	0.53	4.02	290.14
Güney Afrika	Namibya	1.00	1131.60	29.33	2.05	15.61	1179.59
Namibya	İspanya	0.24	278.61	7.33	0.53	4.03	290.73
İspanya	Hollanda	0.88	1022.05	26.88	1.94	14.79	1066.54

Çizelge 3.13 Gemi B için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)

Kalkış	Varış	CO	CO ₂	NO _x	PM	SO _x	Toplam
Hindistan	Ukrayna	2.60	1505.89	27.19	1.26	19.80	1556.75
Ukrayna	ABD	2.07	1199.75	22.15	1.12	15.07	1240.17
ABD	Norveç	0.42	354.77	8.14	0.73	4.99	369.07
Norveç	Almanya	0.55	349.69	6.82	0.48	3.52	361.07
Almanya	ABD	0.50	505.46	12.52	1.24	6.55	526.30
ABD	Belçika	0.54	562.68	14.27	1.34	7.68	586.52
Belçika	S. Arabistan	3.47	2268.21	43.69	2.19	31.73	2349.32
S. Arabistan	Hindistan	0.74	403.73	7.11	0.33	4.92	416.84
Hindistan	Katar	0.54	273.39	4.66	0.24	2.96	281.81
Katar	Madagaskar	0.87	508.64	9.20	0.39	6.88	526.00
Madagaskar	Mozambik	1.08	524.53	8.79	0.49	5.49	540.40
Mozambik	Çin	1.74	981.35	17.54	0.81	12.62	1014.08
Çin	Kanada	3.29	1913.75	35.59	1.81	24.45	1978.91
Kanada	Hindistan	5.52	3579.23	68.80	3.43	51.49	3708.49
Hindistan	S. Arabistan	2.07	972.77	16.05	1.16	7.86	999.92
S. Arabistan	Cibuti	1.63	903.47	16.02	0.75	11.37	933.26
Cibuti	Ürdün	1.04	499.10	8.29	0.51	4.79	513.75
Ürdün	Hindistan	3.81	2151.54	38.81	1.97	27.35	2223.53

Çizelge 3.14 Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)

Kalkış	Varış	CO	CO ₂	NO _x	PM	SO _x	Toplam
Yunanistan	Kongo	1.19	1324.37	34.33	2.32	16.12	1378.32
Kongo	Arjantin	0.72	859.92	23.07	1.69	11.68	897.07
Arjantin	Cebelitarık	0.99	1183.54	31.75	2.32	16.06	1234.67
Cebelitarık	Türkiye	0.47	558.23	14.97	1.09	7.56	582.32
Türkiye	Kongo	0.99	1184.65	31.75	2.32	16.03	1235.75
Kongo	Türkiye	1.02	1214.06	32.57	2.38	16.48	1266.51
Türkiye	Gine	1.58	1826.65	48.21	3.40	23.57	1903.42
Gine	Türkiye	0.79	927.31	24.69	1.78	12.30	966.86

Çizelge 3.15 Gemi A için Eyring vd, (2005a) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)

Kalkış	Varış	CO	CO ₂	NO _x	PM	SO _x	Toplam
Kore	Kanada	1.79	1092.81	28.03	2.31	16.95	1141.90
Kanada	Çin	2.29	1395.40	35.75	2.95	21.64	1458.02
Çin	Singapur	2.32	1414.31	36.32	3.00	21.95	1477.88
Singapur	Güney Afrika	2.17	1327.27	34.03	2.81	20.58	1386.87
Güney Afrika	Meksika	2.84	1733.06	44.45	3.67	26.88	1810.91
Meksika	ABD	0.36	222.06	5.68	0.47	3.44	232.01
ABD	Güney Afrika	3.88	2365.81	60.65	5.01	36.69	2472.04
Güney Afrika	İtalya	3.04	1856.69	47.68	3.93	28.81	1940.16
İtalya	Slovenya	0.45	274.75	6.48	0.57	4.15	286.39
Slovenya	Türkiye	0.41	251.88	6.47	0.53	3.91	263.21
Güney Afrika	Namibya	1.68	1026.58	25.82	2.16	15.82	1072.06
Namibya	İspanya	0.41	252.41	6.48	0.53	3.92	263.76
İspanya	Hollanda	1.52	925.92	23.79	1.96	14.37	967.56

Çizelge 3.16 Gemi B için Eyring vd, (2005a) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)

Kalkış	Varış	CO	CO ₂	NO _x	PM	SO _x	Toplam
Hindistan	Ukrayna	2.23	1364.80	34.85	2.88	21.13	1425.91
Ukrayna	ABD	1.78	1087.52	27.69	2.29	16.83	1136.13
ABD	Norveç	0.52	321.66	8.16	0.67	4.97	336.00
Norveç	Almanya	0.51	318.69	7.43	0.66	4.79	332.10
Almanya	ABD	0.75	459.32	11.24	0.96	7.01	479.29
ABD	Belçika	0.83	510.6	12.78	1.07	7.85	533.15
Belçika	S. Arabistan	3.36	2056.87	52.05	4.34	31.76	2148.40
S. Arabistan	Hindistan	0.59	365.9	9.34	0.77	5.66	382.28
Hindistan	Katar	0.40	247.82	6.31	0.52	3.83	258.89
Katar	Madagaskar	0.75	460.8	11.84	0.97	7.15	481.52
Madagaskar	Mozambik	0.77	475.2	12.21	1.00	7.37	496.57
Mozambik	Çin	1.45	889.26	22.76	1.88	13.78	929.15
Çin	Kanada	2.84	1734.04	44.44	3.67	26.89	1811.88
Kanada	Hindistan	5.31	3243.01	83.16	6.86	50.30	3388.65
Hindistan	S. Arabistan	1.44	883.94	21.65	1.85	13.50	922.39
S. Arabistan	Cibuti	1.34	818.63	20.97	1.73	12.69	855.38
Cibuti	Ürdün	0.74	452.58	11.46	0.95	6.99	472.72
Ürdün	Hindistan	3.19	1949.52	49.95	4.12	30.23	2037.03

Çizelge 3.17 Gemi C için Eyring vd, (2005a) yöntemine göre rota bazında emisyonlar (ton)

Kalkış	Varış	CO	CO ₂	NO _x	PM	SO _x	Toplam
Yunanistan	Kongo	1.97	1205.41	28.75	2.51	18.26	1256.89
Kongo	Arjantin	1.28	780.45	19.49	1.64	12.00	814.86
Arjantin	Cebelitarık	1.76	1074.18	26.82	2.26	16.52	1121.54
Cebelitarık	Türkiye	0.83	506.68	12.64	1.07	7.79	529.00
Türkiye	Kongo	1.76	1075.27	26.82	2.26	16.53	1122.64
Kongo	Türkiye	1.80	1101.87	27.52	2.32	16.94	1150.45
Türkiye	Gine	2.71	1660.11	40.57	3.47	25.35	1732.21
Gine	Türkiye	1.38	842.16	20.82	1.77	12.91	879.03

Bu çizelgelerde gösterilen emisyon miktarlarının Çizelge 3.9, Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'den yararlanılarak mesafe bilgilerine bölünmesi sonucunda da emisyon yoğunlukları bulunmuş ve sonuçlar Çizelge 3.18 ve Çizelge 3.19, Çizelge 3.20 ve Çizelge 3.21, Çizelge 3.22 ve Çizelge 3.23'te sırasıyla Gemi A, Gemi B ve Gemi C için gösterilmiştir. Hesaplamalar sadece yakıt tüketimi verilerine göre yapılmış olup Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] ile Eyring vd, (2005a) [9] yöntemleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.18 Gemi A için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)

Kalkış	Varış	CO/nm	CO ₂ /nm	NO _x /nm	PM/nm	SO _x /nm	Toplam/nm
Kore	Kanada	0.00024	0.28	0.0074	0.00054	0.0041	0.30
Kanada	Çin	0.00024	0.28	0.0074	0.00053	0.0040	0.29
Çin	Singapur	0.00081	0.94	0.0248	0.00179	0.0136	0.99
Singapur	Güney Afrika	0.00025	0.29	0.0076	0.00055	0.0042	0.30
Güney Afrika	Meksika	0.00021	0.24	0.0064	0.00046	0.0035	0.25
Meksika	ABD	0.00029	0.34	0.0089	0.00064	0.0049	0.35
ABD	Güney Afrika	0.00027	0.32	0.0083	0.00060	0.0045	0.33
Güney Afrika	İtalya	0.00026	0.30	0.0080	0.00058	0.0044	0.32
İtalya	Slovenya	0.00031	0.33	0.0081	0.00051	0.0039	0.34
Slovenya	Türkiye	0.00020	0.23	0.0062	0.00045	0.0034	0.24
Güney Afrika	Namibya	0.00017	0.20	0.0051	0.00036	0.0027	0.20
Namibya	İspanya	0.00021	0.25	0.0066	0.00047	0.0036	0.26
İspanya	Hollanda	0.00018	0.21	0.0055	0.00040	0.0030	0.22

Çizelge 3.19 Gemi B için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)

Kalkış	Varış	CO/nm	CO ₂ /nm	NO _x /nm	PM/nm	SO _x /nm	Toplam/nm
Hindistan	Ukrayna	0.00044	0.25	0.0046	0.00021	0.0034	0.26
Ukrayna	ABD	0.00038	0.22	0.0041	0.00021	0.0028	0.23
ABD	Norveç	0.00011	0.09	0.0021	0.00019	0.0013	0.09
Norveç	Almanya	0.00051	0.32	0.0063	0.00045	0.0032	0.33
Almanya	ABD	0.00010	0.10	0.0026	0.00026	0.0013	0.11
ABD	Belçika	0.00012	0.12	0.0031	0.00029	0.0017	0.12
Belçika	S. Arabistan	0.00053	0.34	0.0067	0.00033	0.0048	0.36
S. Arabistan	Hindistan	0.00050	0.27	0.0048	0.00023	0.0033	0.28
Hindistan	Katar	0.00041	0.21	0.0035	0.00018	0.0022	0.21
Katar	Madagaskar	0.00028	0.16	0.0029	0.00012	0.0022	0.16
Madagaskar	Mozambik	0.00087	0.42	0.007	0.00039	0.0044	0.43
Mozambik	Çin	0.00025	0.14	0.0025	0.00011	0.0018	0.14
Çin	Kanada	0.00064	0.37	0.0069	0.00035	0.0047	0.38
Kanada	Hindistan	0.00058	0.37	0.0072	0.00036	0.0054	0.38
Hindistan	S. Arabistan	0.00141	0.66	0.010	0.00079	0.0053	0.68
S. Arabistan	Cibuti	0.00083	0.46	0.0081	0.00038	0.0057	0.47
Cibuti	Ürdün	0.00085	0.40	0.0067	0.00041	0.0038	0.41
Ürdün	Hindistan	0.00084	0.47	0.0085	0.00043	0.0060	0.48

Çizelge 3.20 Gemi C için Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)

Kalkış	Varış	CO/nm	CO ₂ /nm	NO _x /nm	PM/nm	SO _x /nm	Toplam/nm
Yunanistan	Kongo	0.00022	0.25	0.0064	0.00044	0.0030	0.26
Kongo	Arjantin	0.00016	0.19	0.0051	0.00037	0.0026	0.20
Arjantin	Cebelitarık	0.00018	0.22	0.0058	0.00042	0.0029	0.22
Cebelitarık	Türkiye	0.00029	0.34	0.0091	0.00067	0.0046	0.35
Türkiye	Kongo	0.00019	0.22	0.0059	0.00043	0.0030	0.23
Kongo	Türkiye	0.00018	0.21	0.0057	0.00042	0.0029	0.22
Türkiye	Gine	0.00040	0.46	0.0122	0.00086	0.0060	0.48
Gine	Türkiye	0.00021	0.25	0.0066	0.00048	0.0033	0.26

Çizelge 3.21 Gemi A için Eyring vd, (2005a) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)

Kalkış	Varış	CO/nm	CO ₂ /nm	NO _x /nm	PM/nm	SO _x /nm	Toplam/nm
Kore	Kanada	0.00042	0.26	0.0066	0.00054	0.0040	0.27
Kanada	Çin	0.00042	0.25	0.0065	0.00054	0.0039	0.27
Çin	Singapur	0.00140	0.86	0.0220	0.00181	0.0133	0.89
Singapur	Güney Afrika	0.00043	0.26	0.0067	0.00055	0.0041	0.27
Güney Afrika	Meksika	0.00036	0.22	0.0056	0.00046	0.0034	0.23
Meksika	ABD	0.00050	0.31	0.0079	0.00065	0.0048	0.32
ABD	Güney Afrika	0.00047	0.29	0.0073	0.00061	0.0044	0.30
Güney Afrika	İtalya	0.00045	0.27	0.0071	0.00058	0.0043	0.29
İtalya	Slovenya	0.00049	0.30	0.0070	0.00062	0.0045	0.31
Slovenya	Türkiye	0.00035	0.21	0.0055	0.00045	0.0033	0.22
Güney Afrika	Namibya	0.00029	0.18	0.0045	0.00038	0.0027	0.19
Namibya	İspanya	0.00037	0.23	0.0058	0.00048	0.0035	0.24
İspanya	Hollanda	0.00031	0.19	0.0048	0.00040	0.0029	0.20

Çizelge 3.22 Gemi B için Eyring vd, (2005a) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)

Kalkış	Varış	CO/nm	CO ₂ /nm	NO _x /nm	PM/nm	SO _x /nm	Toplam/nm
Hindistan	Ukrayna	0.00038	0.23	0.005	0.00049	0.0036	0.24
Ukrayna	ABD	0.00030	0.20	0.005	0.00043	0.0031	0.21
ABD	Norveç	0.00009	0.085	0.002	0.00018	0.0013	0.08
Norveç	Almanya	0.00008	0.29	0.006	0.00061	0.0044	0.30
Almanya	ABD	0.00012	0.097	0.002	0.00020	0.0014	0.10
ABD	Belçika	0.00014	0.11	0.002	0.00023	0.0017	0.11
Belçika	S. Arabistan	0.00057	0.31	0.007	0.00066	0.0048	0.33
S. Arabistan	Hindistan	0.00010	0.25	0.006	0.00053	0.0038	0.26
Hindistan	Katar	0.00007	0.19	0.004	0.00040	0.0029	0.19
Katar	Madagaskar	0.00013	0.14	0.003	0.00031	0.0023	0.15
Madagaskar	Mozambik	0.00013	0.38	0.009	0.00080	0.0059	0.39
Mozambik	Çin	0.00025	0.12	0.003	0.00027	0.0019	0.13
Çin	Kanada	0.00048	0.33	0.008	0.00071	0.0052	0.35
Kanada	Hindistan	0.00091	0.34	0.008	0.00072	0.0052	0.35
Hindistan	S. Arabistan	0.00024	0.60	0.014	0.00126	0.0092	0.63
S. Arabistan	Cibuti	0.00023	0.41	0.010	0.00088	0.0064	0.43
Cibuti	Ürdün	0.00012	0.36	0.009	0.00077	0.0056	0.38
Ürdün	Hindistan	0.00054	0.42	0.010	0.00090	0.0066	0.44

Çizelge 3.23 Gemi C için Eyring vd, (2005a) yöntemi emisyon bilgilerine göre emisyon yoğunlukları (ton/nm)

Kalkış	Varış	CO/nm	CO ₂ /nm	NO _x /nm	PM/nm	SO _x /nm	Toplam/nm
Yunanistan	Kongo	0.00037	0.23	0.0054	0.00047	0.0034	0.24
Kongo	Arjantin	0.00028	0.17	0.0043	0.00036	0.0026	0.18
Arjantin	Cebelitarık	0.00032	0.20	0.0049	0.00041	0.0030	0.20
Cebelitarık	Türkiye	0.00051	0.31	0.0077	0.00065	0.0047	0.32
Türkiye	Kongo	0.00033	0.20	0.0050	0.00042	0.0031	0.21
Kongo	Türkiye	0.00031	0.19	0.0048	0.00040	0.0030	0.20
Türkiye	Gine	0.00069	0.42	0.0103	0.00088	0.0064	0.44
Gine	Türkiye	0.00037	0.23	0.0056	0.00047	0.0035	0.24

Emisyon yoğunluğu katsayısı olarak adlandırabileceğimiz bu veri sayesinde herhangi bir rotadaki gemi kökenli hava emisyon yoğunluğu, diğer rotalarla kıyaslanabilir hale gelir. Nüfus yoğunluğu ve çevresel değerler nedeniyle, emisyonların olduğu rotalar

emisy on miktar ı kadar önem arz eder. En uzun ya da en çok emisy on oluşan rota emisy on yoğunluğu en yüksek olan rota olmayabilir. Emisy on yoğunluğu ne kadar yüksekse o bölgedeki sağlık riski ve çevresel riskler o kadar artacaktır. Emisy on yoğunluğu, aynı uzunluktaki iki farklı rota için çok farklı değerler alabilir. Bunun pek çok nedeni olabilir. Adaların varlığı, hava şartları ve geminin demirleyeceği limanın bağlı olduğu devlete ya da yöreye ait olan kurallar bunlardan en önde gelenleridir. Adaların varlığı, geminin daha çok manevra yapmasına neden olacağından daha fazla emisy on oluşmasına yol açabilir. Hava şartlarının sert olduğu bölgelerde gemi yüksek dalgalarla mücadele edeceğinden daha fazla yakıt harcamak zorunda kalabilir ve bu da emisy on miktar ını kayda değer miktarda arttırabilir. Tam tersi durum da geçerlidir. Sakin suda seyreden gemi, normalde harcayacağından daha az yakıt harcar ve bu da emisy on miktar ında azalma sağlar. Liman açıklarında geminin tabi olduğu kurallar da bir diğer önemli faktördür. Liman devleti, gemiyi açıkta beklemeye, yakıt değişimine ya da balast suyunu pompalamaya zorlayabilir. Ek kurallar sebebiyle gemi limanda öngörülenden daha uzun süre bekleyebilir. Tüm bunlar daha fazla emisy on olarak geri dönecektir. Kıyının olası girintili çıkıntılı yapısı da emisy on miktar ında artış meydana getirebilir.

Grafikler Gemi A için incelendiğinde en uzun rotanın 8277 millik ABD-Güney Afrika rotası olduğu görülmektedir. Bu rotanın emisy on yoğunluğu Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre 0.33 ton/nm, Eyring vd, (2005a) yöntemine göre ise 0.30 ton/nm düzeyindedir. Bununla birlikte Çin-Singapur rotası, Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] yöntemine göre 0.99 ton/nm; Eyring vd, (2005a) [9] yöntemine göreyse 0.89 ton/nm değerlerine sahiptir. Çin-Singapur rotasının 1653 deniz mili uzunluğunda olduğu dikkate alınırsa bu bölgedeki emisy on yoğunluğu çok yüksek düzeydedir. Bunun nedeni bu rotanın çok yoğun olması sebebiyle geminin fazla manevra yapması olabileceği gibi bölgedeki coğrafi şartlar, seyir sürecindeki hava durumu gibi faktörler de emisy on yoğunluğunun artmasına etki etmiş olabilir.

Gemi B için en uzun rota 9513 millik Kanada-Hindistan rotasıdır. Bu rotadaki emisy on yoğunluğu değerleri Cooper ve Gustafsson, (2004) yöntemine göre 0.38 ton/nm, Eyring vd, (2005a)yöntemine göre ise 0.35 ton/nm seviyesindedir. En yoğun emisy on değerine sahip rota ise Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] yöntemine göre 0.68 ton/nm, Eyring

vd, (2005a) yöntemine göre 0.63 ton/nm yoğunluk ile Hindistan-Suudi Arabistan rotasıdır.

Gemi C incelendiğinde ise en uzun rotanın 5732 millik Kongo-Türkiye rotası olduğu görülür. Bu rotadaki emisyon yoğunlukları Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] yöntemine göre 0.22 ton/nm, Eyring vd, (2005a) [9] yöntemine göre ise 0.20 ton/nm'dir. Bununla birlikte en yoğun rota Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] yöntemine göre 0.48 ton/nm; Eyring vd, (2005a) [9] yöntemine göre 0.44 ton/nm değerlerine sahip Türkiye-Gine rotasıdır.

Emisyon yoğunluğu bilgisinin daha kapsamlı olarak faal durumdaki tüm gemiler için elde edilmesi, dünya üzerindeki hangi bölgelerin daha yoğun bir şekilde gemi emisyonuna maruz kaldığını göstermekte yardımcı olacaktır.

3.4 Gemi Ana Karakteristik Özelliklerine ve Gemi Emisyon Miktarlarına Göre Emisyon-Ana Karakteristik Bağlılıklarının Elde Edilmesi

Altbölüm 3.1 ve 3.2'de de bahsedildiği gibi gemi emisyonlarının tahmini yoğunlukla yakıt tüketimi ya da makine gücü yöntemlerine dayanır. Bu yöntemlere ek olarak farklı şekillerde türetilen formüller yardımıyla da gemi emisyon miktarlarına ait değerler elde edilebilir. Bu çalışmada gemi emisyon değerlerinin bulunabilmesi için gemilerin deniz mili cinsinden rota bilgilerine bağlı olarak formüller geliştirilmiştir.

Formüller, Cooper ve Gustafsson, (2004) [35] ve Eyring vd, (2005a) [9] tarafından önerilen emisyon faktörlerine ve emisyon hesaplamalarında kullanılan yakıt tüketimi ile makine gücü yöntemlerine göre elde edilen CO₂, SO_x, NO_x, CO, PM ve toplam emisyon miktarlarına ve gemilerin karakteristik özellikleri olan L/B, DWT ve C_B değerlerine bağlı olarak geliştirilmiştir.

Bu amaçla öncelikle gemilerin L/B oranları ve C_B katsayıları hesaplanmıştır. Bunun için Çizelge 1.5'te verilen gemilerin teknik özellikleri kullanılmıştır. Gemilerin blok katsayılarının bulunabilmesi için çok çeşitli ampirik formüller geliştirilmiş ve önerilmiştir. Bununla birlikte bu formüllerden sadece birkaçı her bir gemi tipi için farklı değerler önermiştir. Bu çalışmada blok katsayısının bulunabilmesi için Katsoulis'in önerdiği formül [104] kullanılmıştır. Katsoulis'in formülü aşağıdaki şekildedir:

$$C_B = k * f * L^a * B^b * T^c * V^d \quad (3.1)$$

Burada;

$$a = 0.42$$

$$b = -0.3072$$

$$c = 0.1721$$

$$d = -0.6135$$

$$k = 0.8127$$

$$f = 0.99 \text{ (Kuru yük gemisi için)}$$

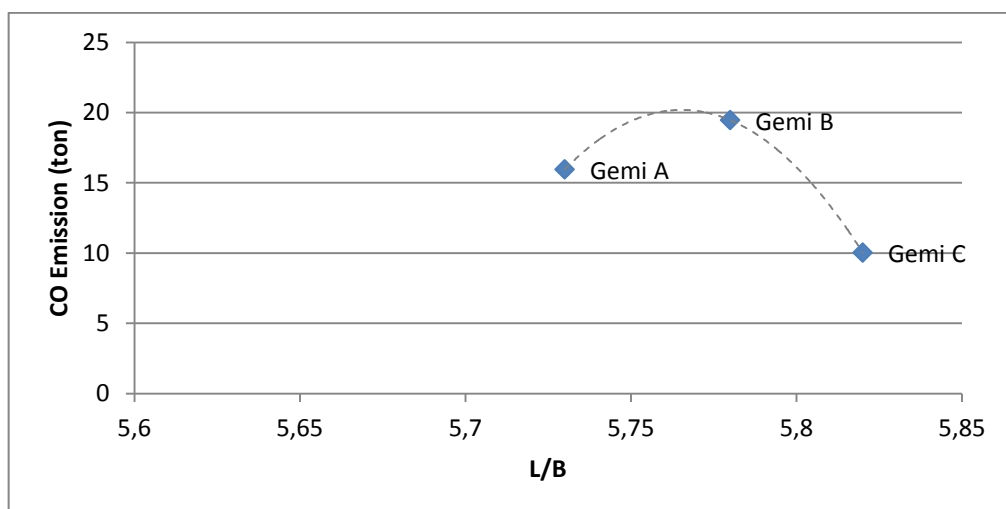
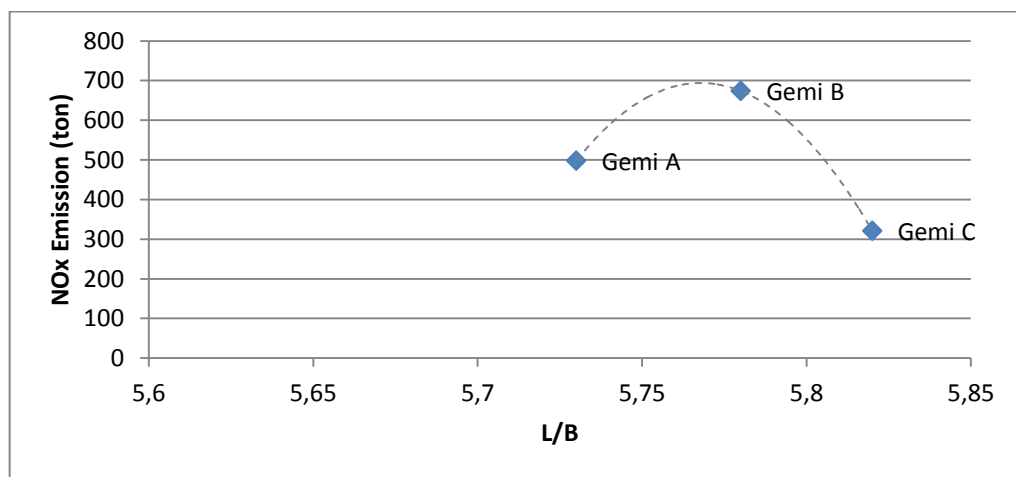
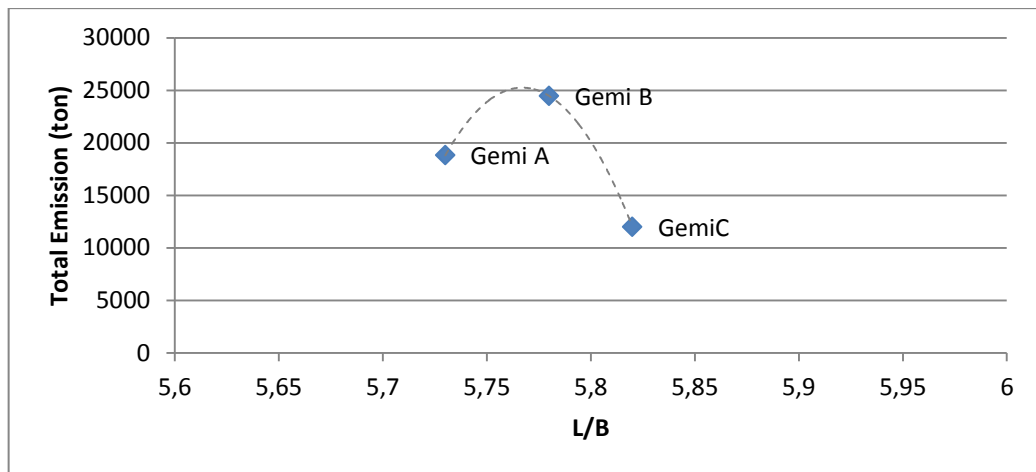
Çizelge 1.5'teki değerler (3.1) formülünde yerine konulduğunda Gemi A, Gemi B ve Gemi C için bulunan C_B değerleri sırasıyla 0.78, 0.76 ve 0.82'dir. Çizelge 3.24, Gemi A, Gemi B ve Gemi C için L/B, DWT ve C_B değerlerini göstermektedir.

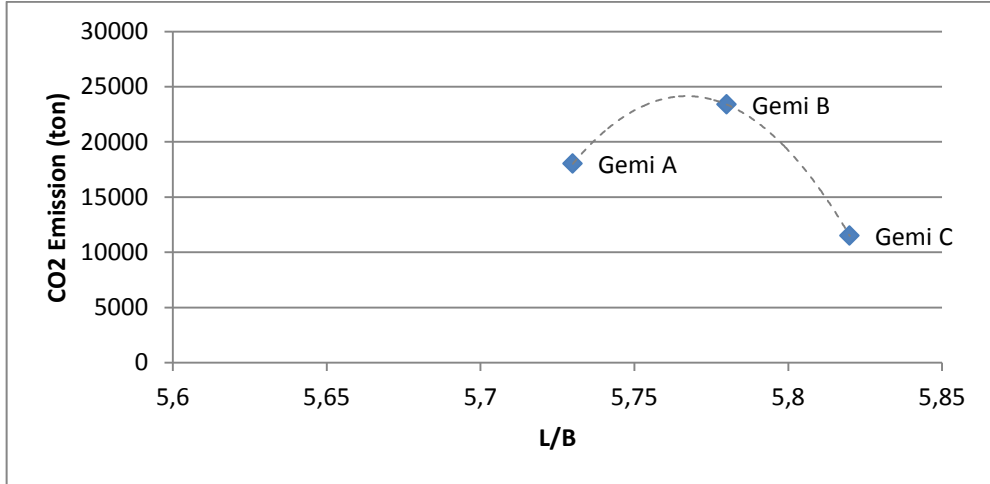
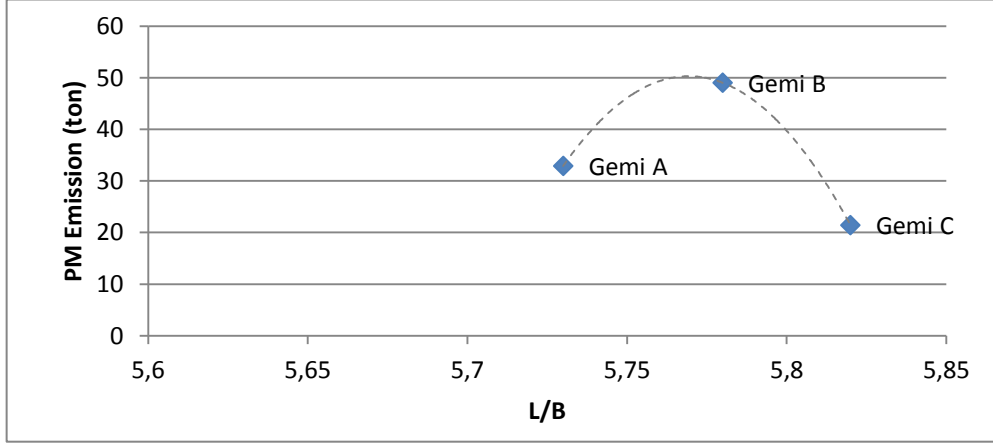
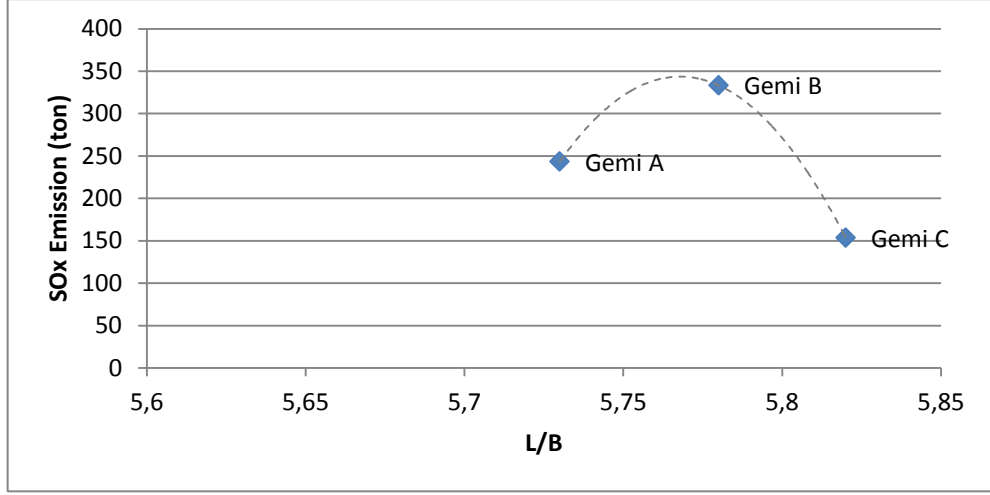
Çizelge 3.24 Gemiler için L/B, DWT ve C_B değerleri

	Gemi A	Gemi B	Gemi C
L/B	5.73	5.78	5.82
DWT	35364	55881	41540
C_B	0.78	0.76	0.82

Gemi emisyonları Çizelge 4, Çizelge 5, Çizelge 10 ve Çizelge 11'den alınmış, Çizelge 3.27'den ise gerekli ana karakteristik değerler alınmıştır. Bu değerler ayrı ayrı regresyon analizi ile incelenmiş ve emisyon miktarı ile karakteristik özelliklere bağlı grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler, emisyon miktarı ile ana karakteristik özellikler arasındaki bağıntıyı göstermesi açısından önemlidir. Grafikler, CO, CO₂, PM, NO_x, SO_x ve toplam emisyon değerleri ile L/B, DWT ve C_B bilgileri için ayrı düzenlenmiş olup aşağıdaki sayfalarda sunulmuştur.

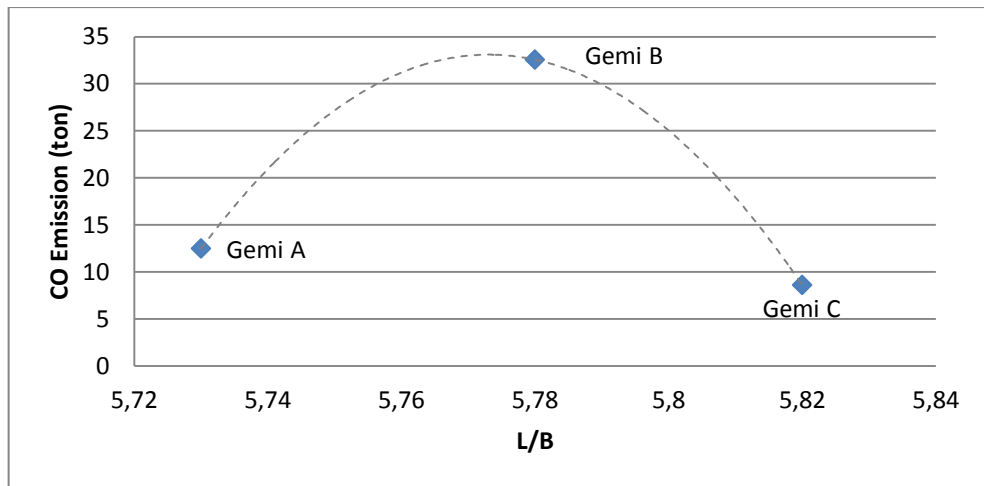
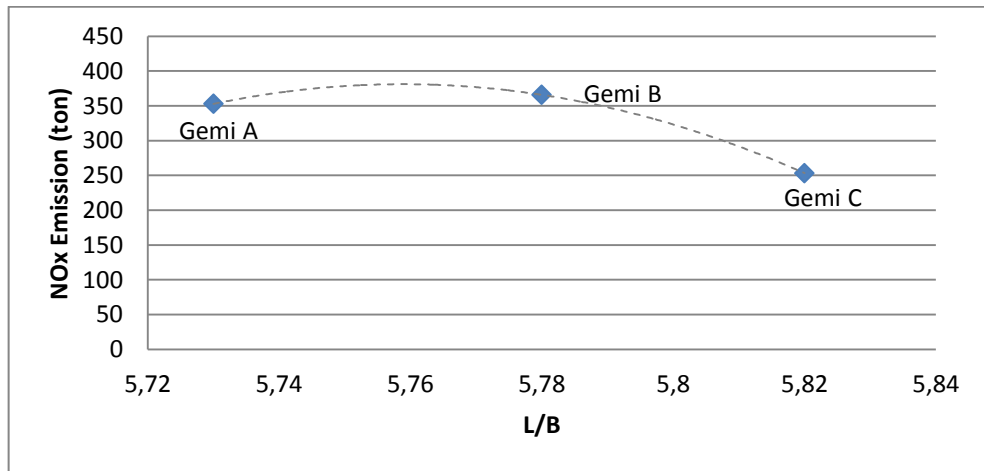
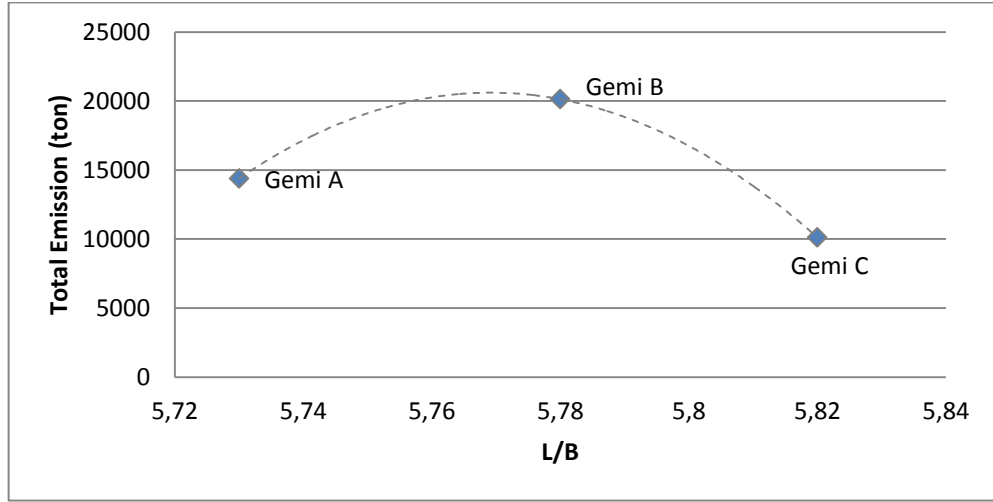
Şekil 3.5, Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve L/B oranına göre elde edilmiş grafikleri göstermektedir.

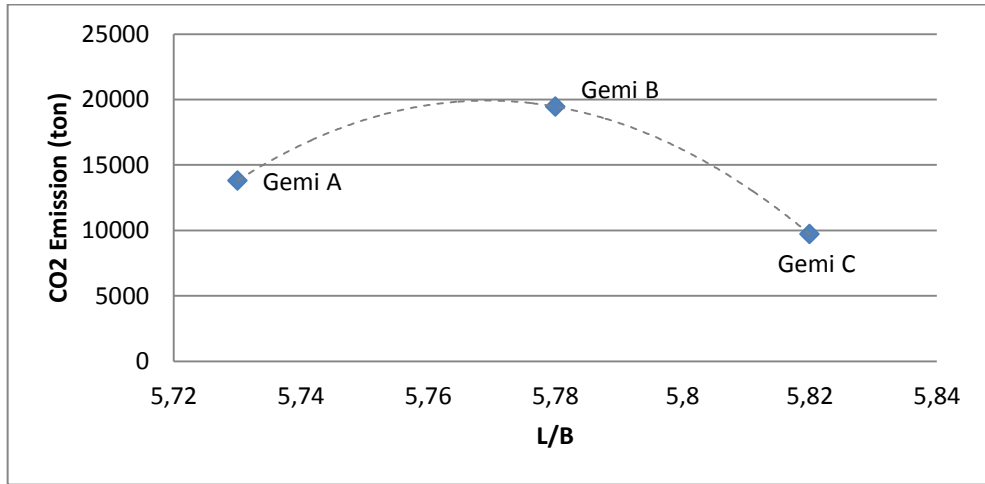
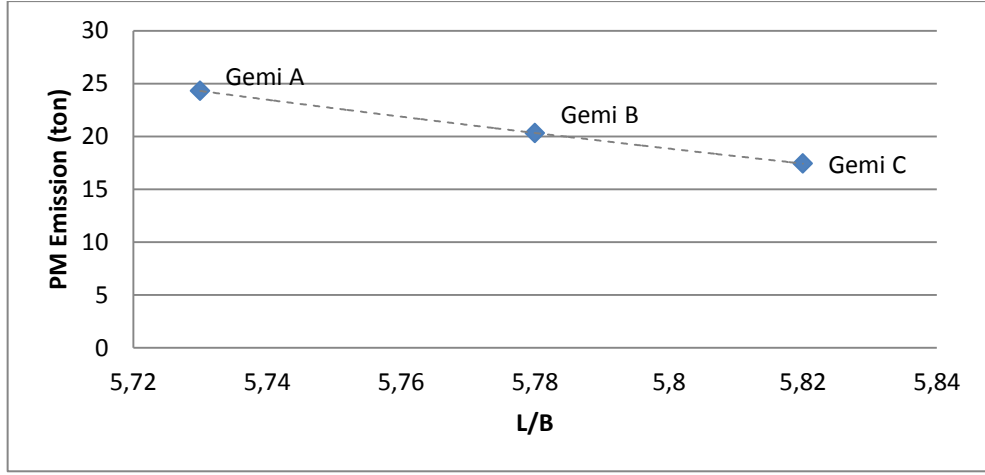
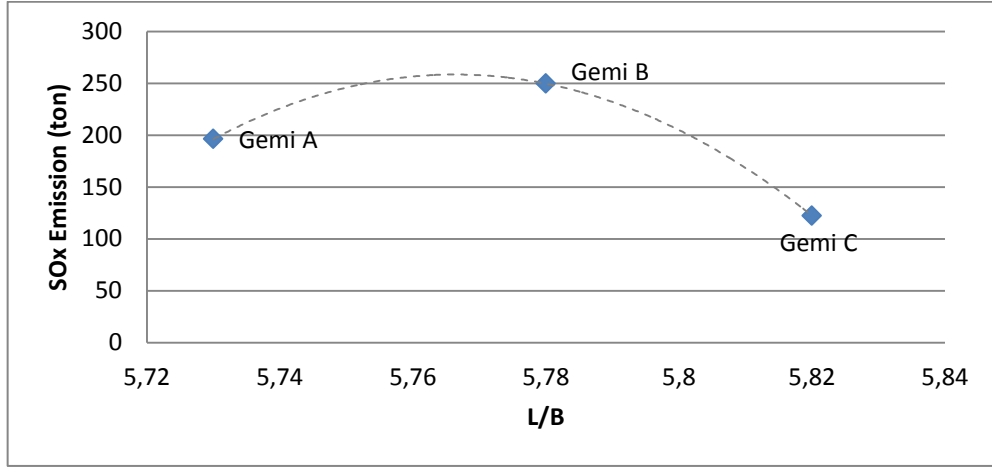




Şekil 3.5 Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları

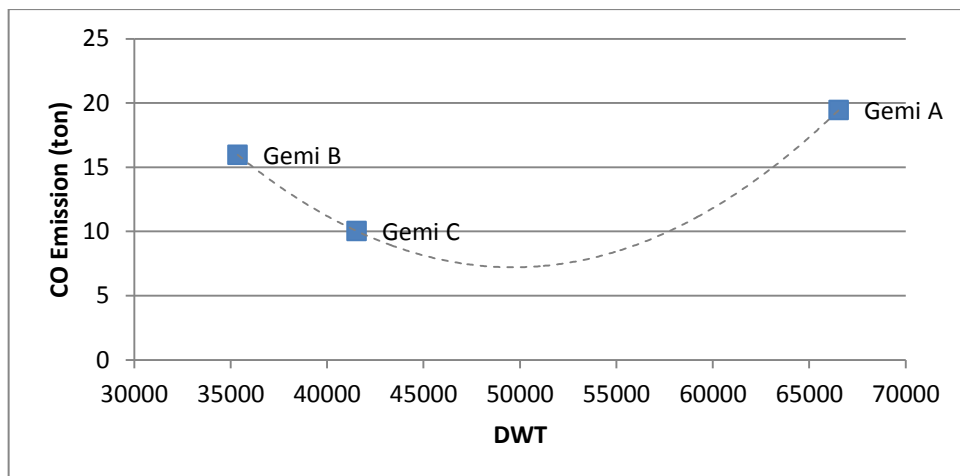
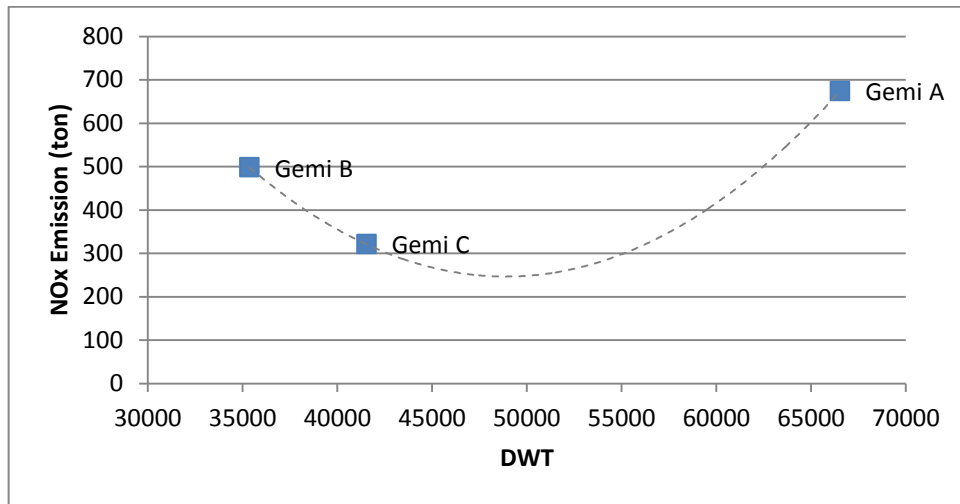
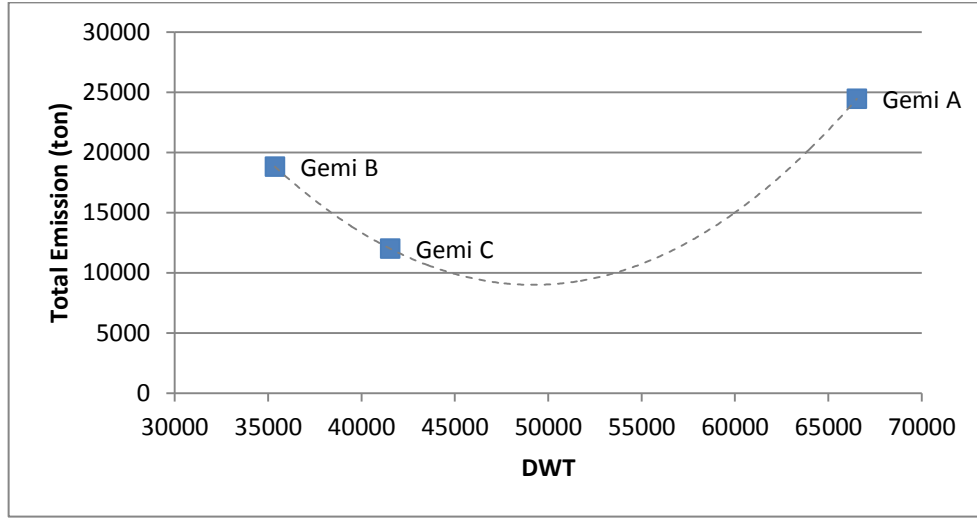
Şekil 3.6'te ise Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketimi emisyon faktörlerine ve L/B oranına göre elde edilen grafikler görülmektedir.

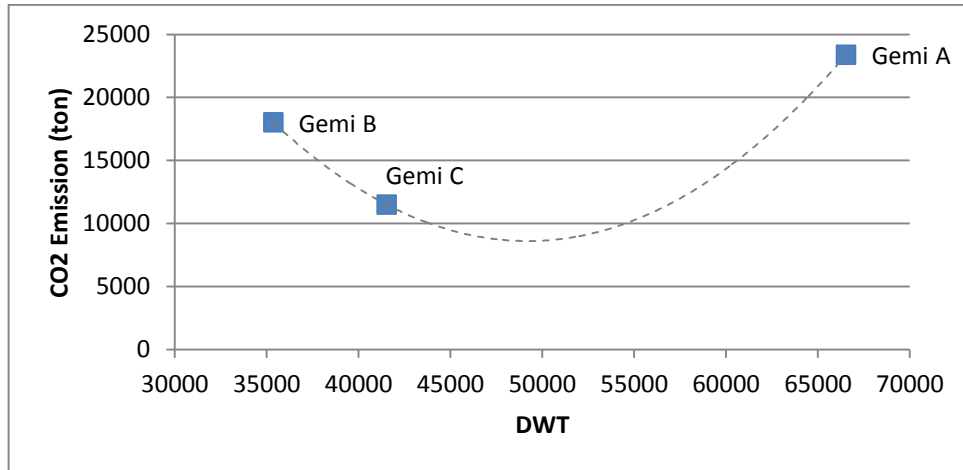
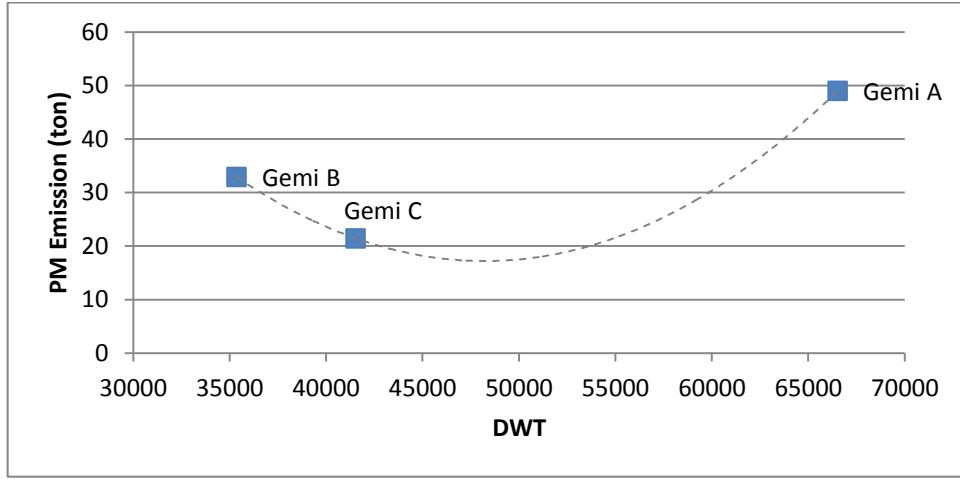
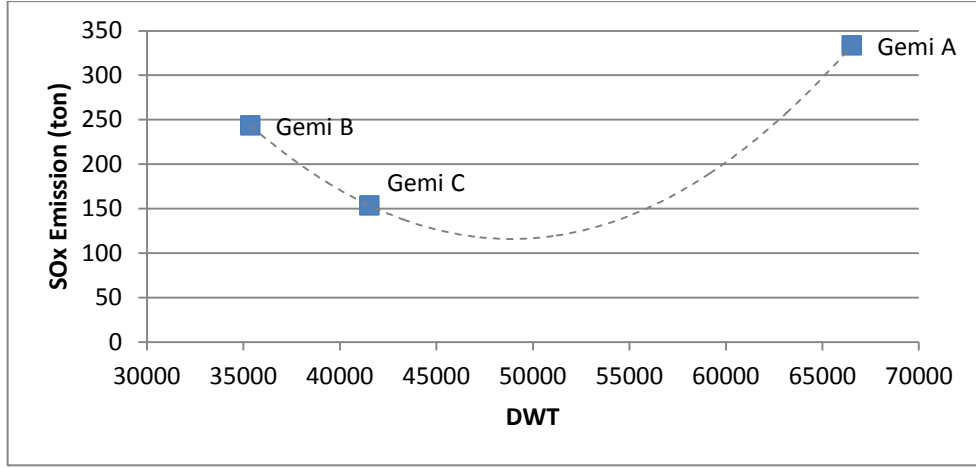




Şekil 3.6 Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketimi emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları

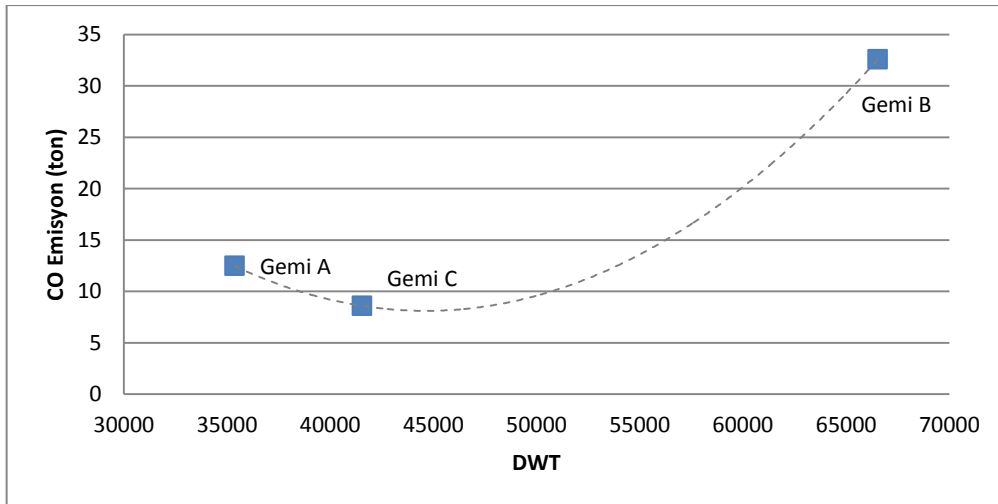
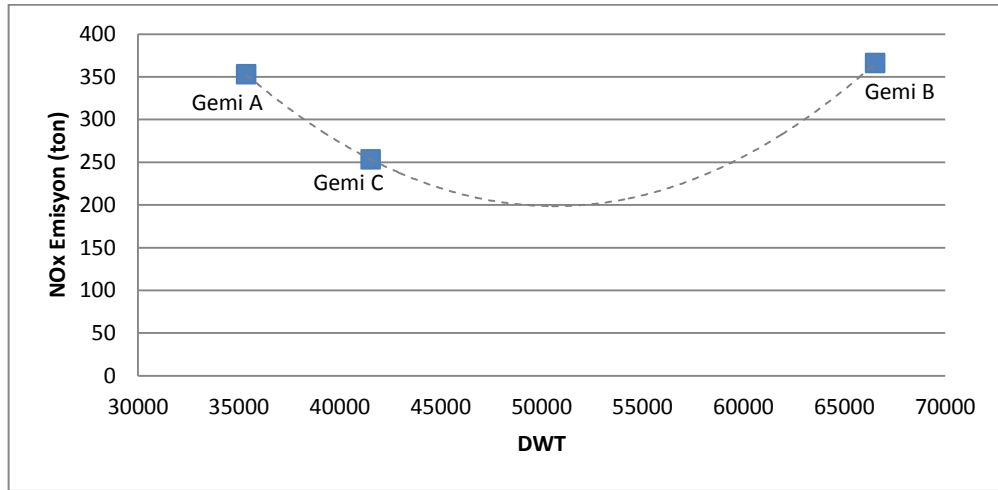
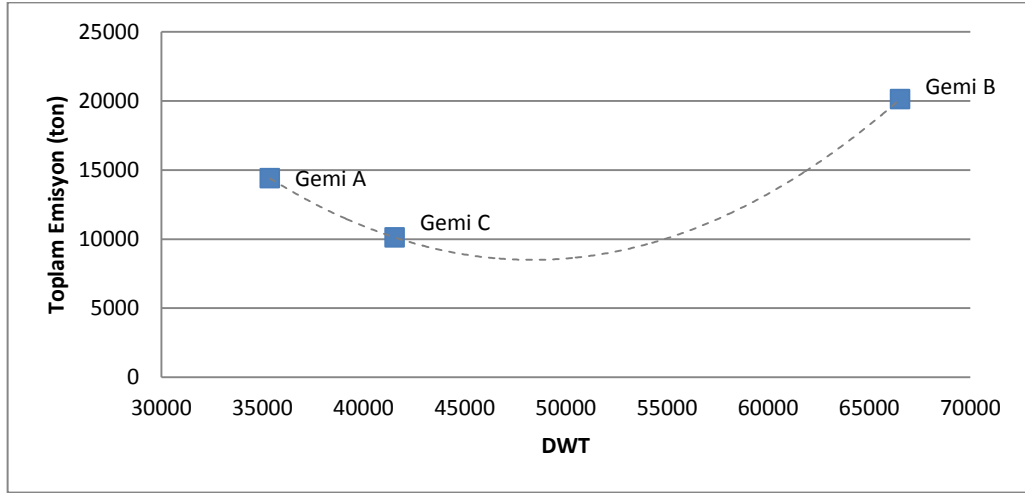
Şekil 3.7’de ise Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine göre elde edilmiş emisyon miktarlarıyla DWT değerlerinin oranı görülmektedir.

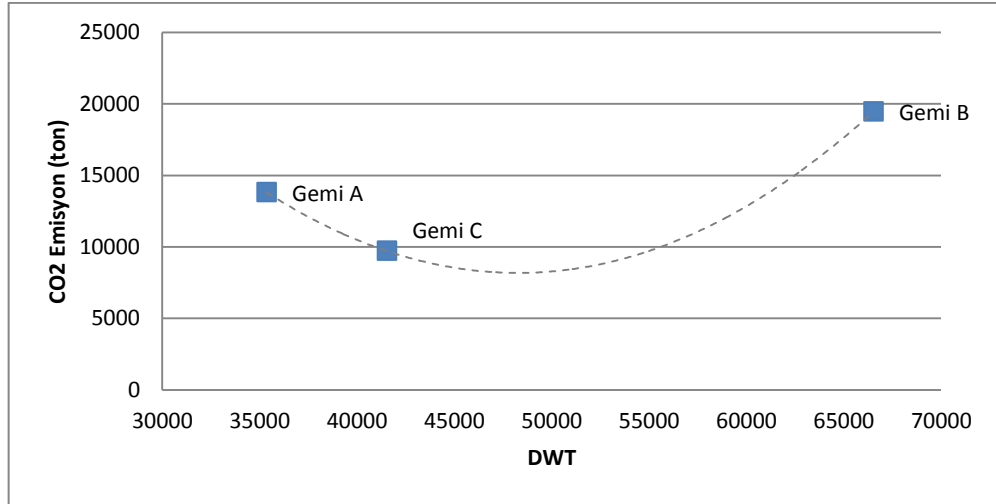
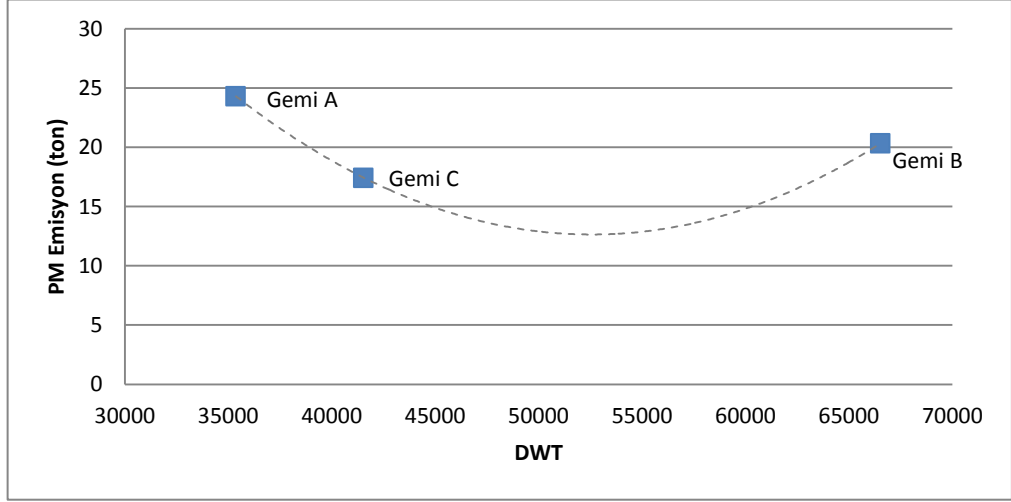
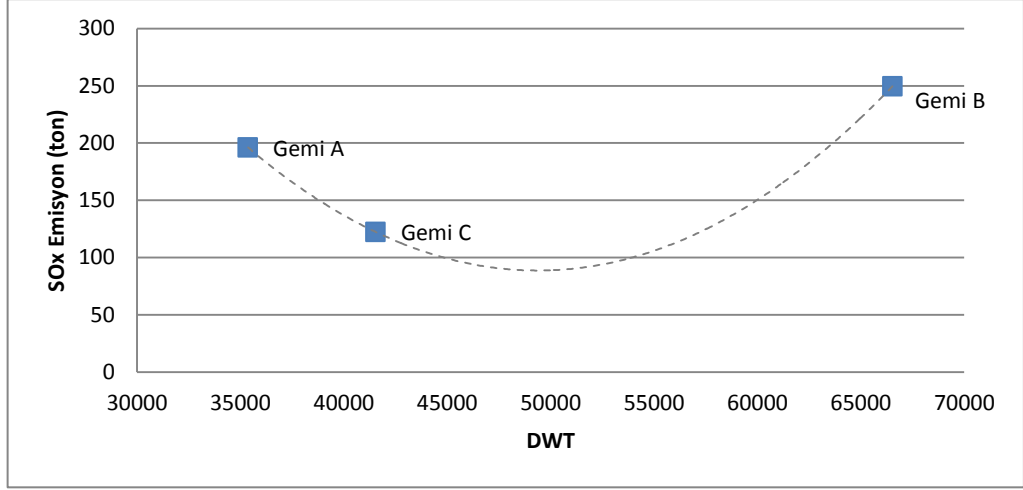




Şekil 3.7 Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları

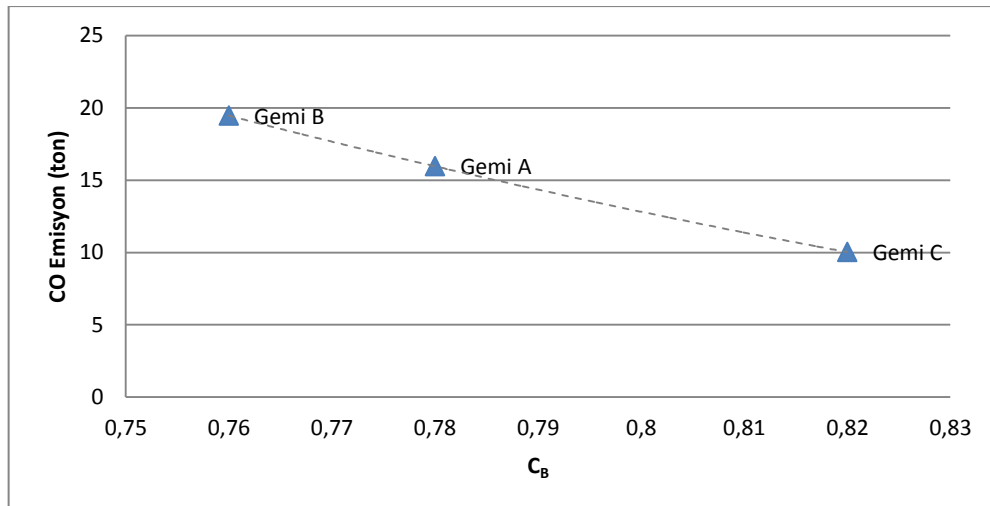
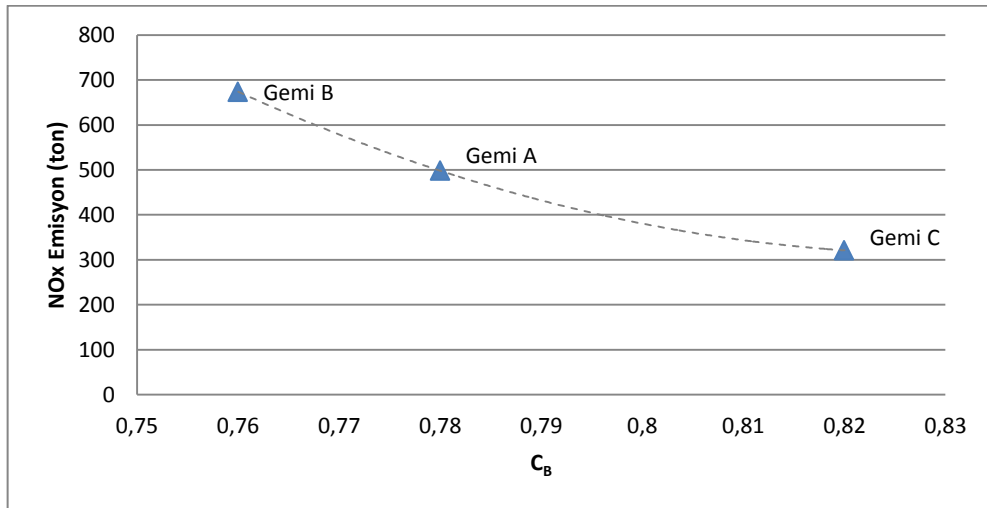
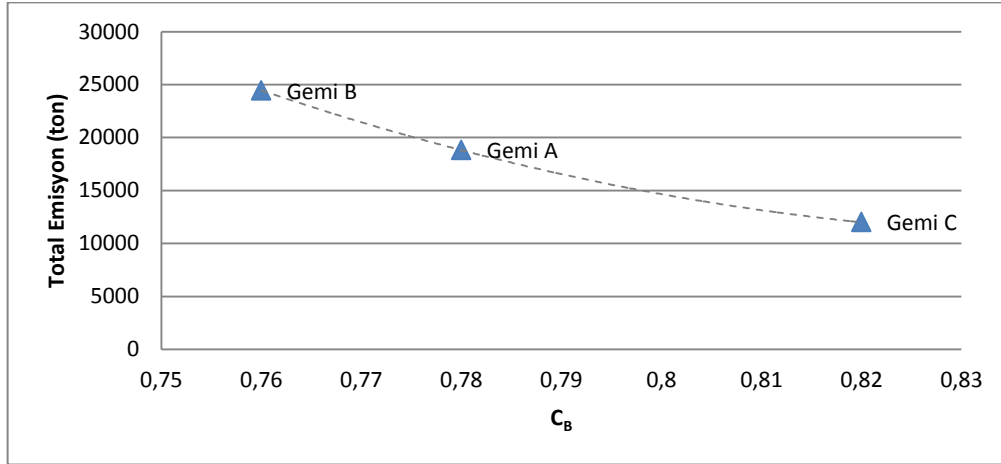
Şekil 3.8, Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre elde edilen grafikleri göstermektedir.

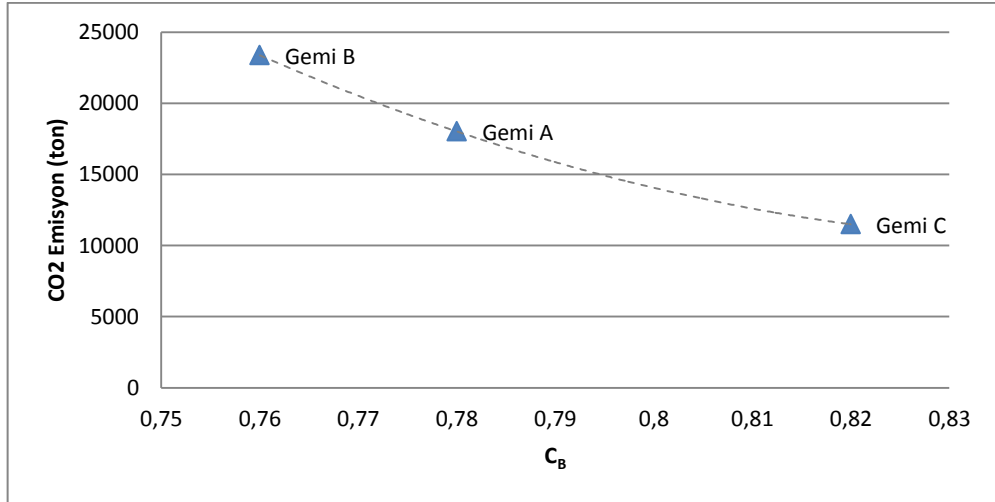
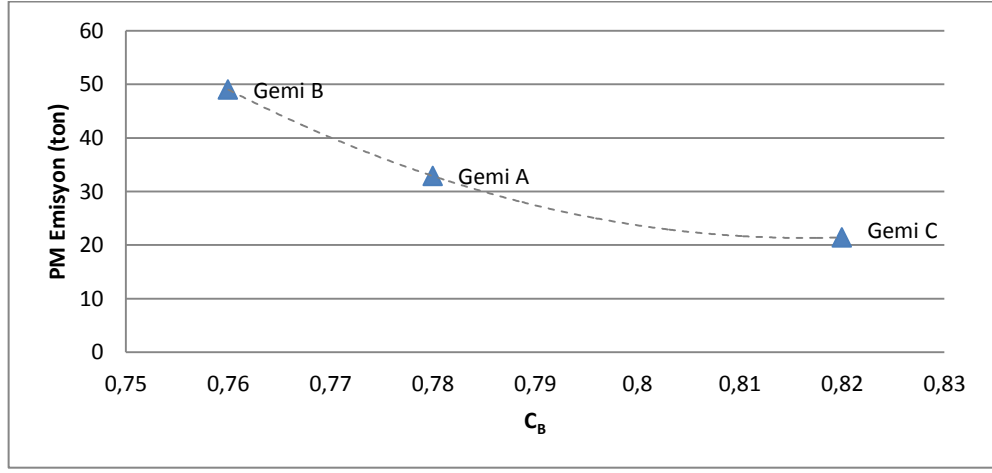
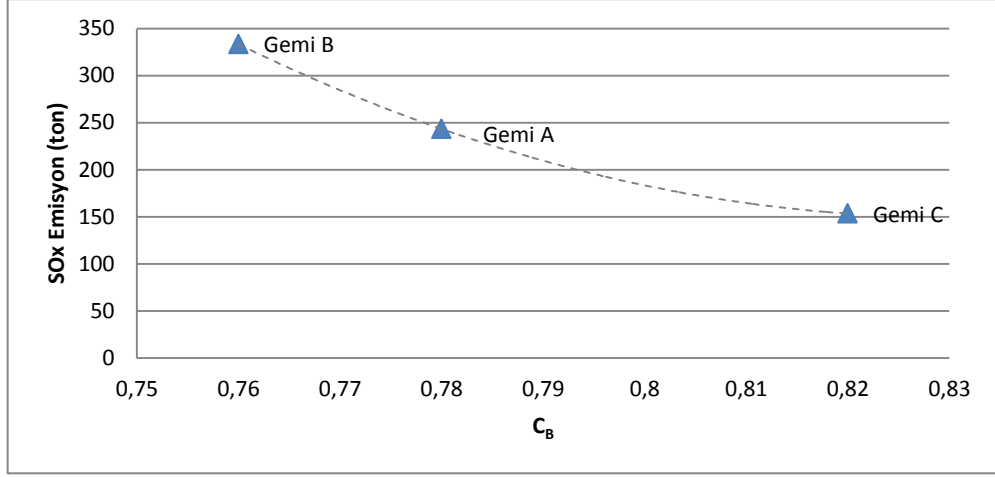




Şekil 3.8 Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları

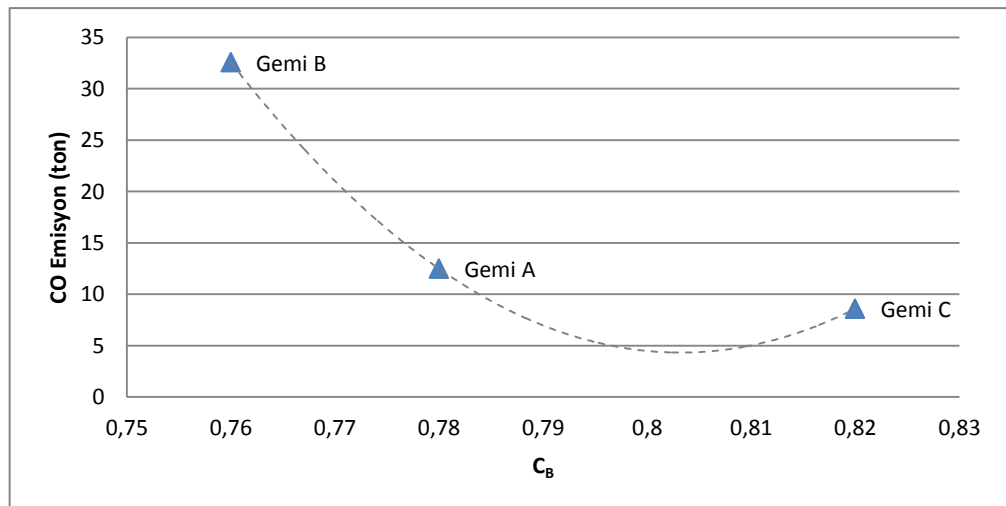
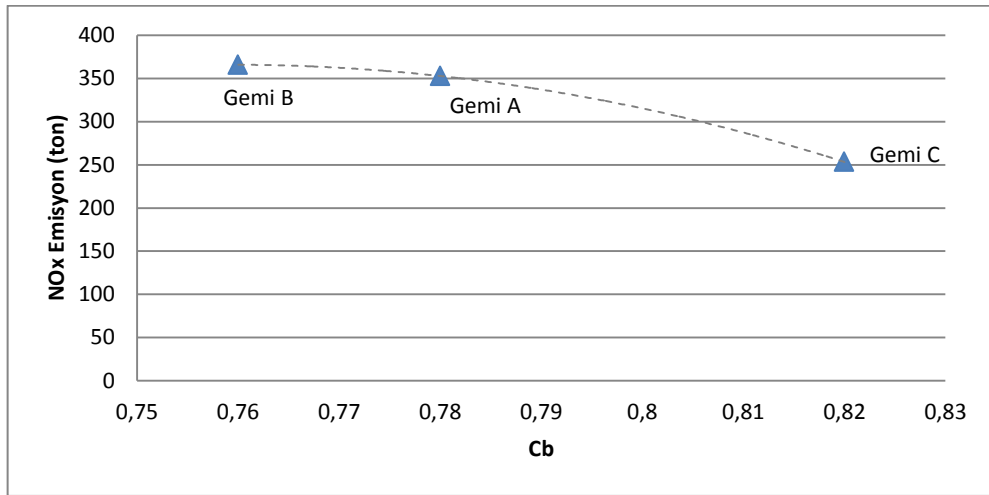
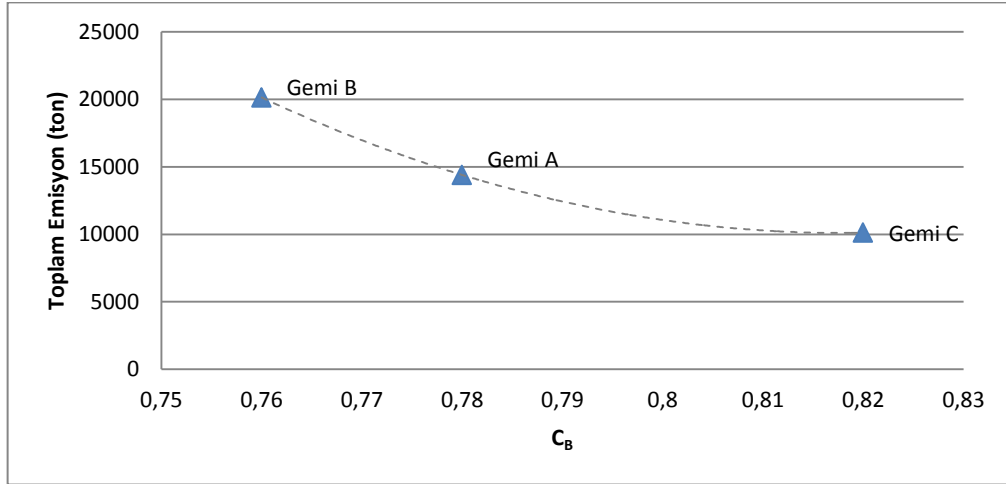
Şekil 3.9, Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörleri ve C_B değerlerine göre elde edilen grafikleri göstermektedir.

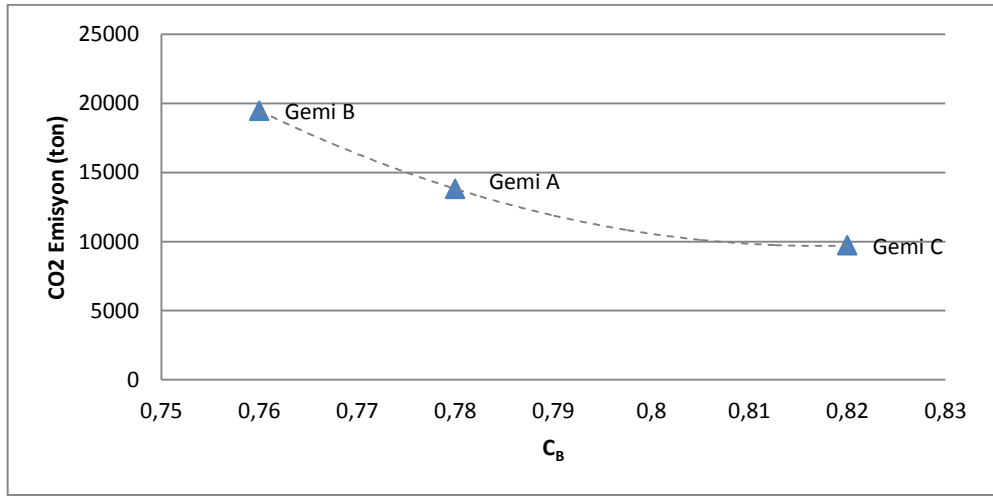
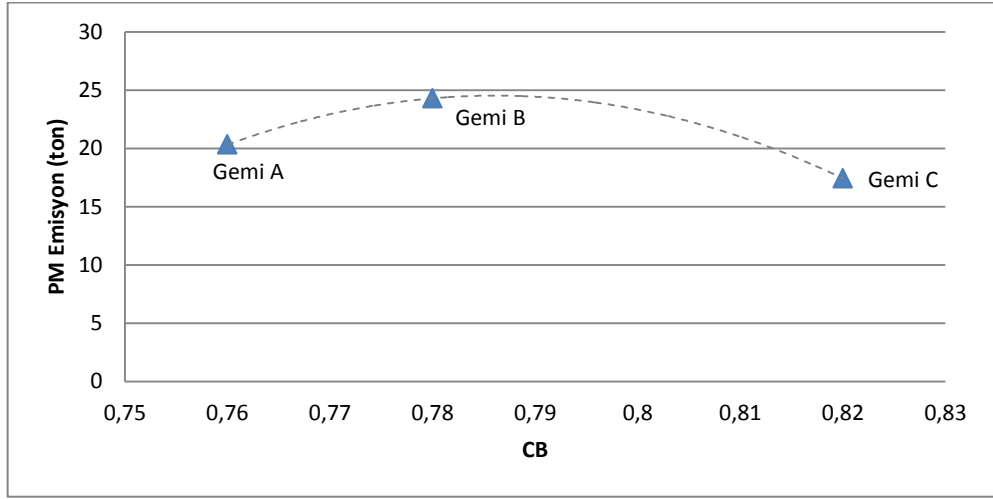
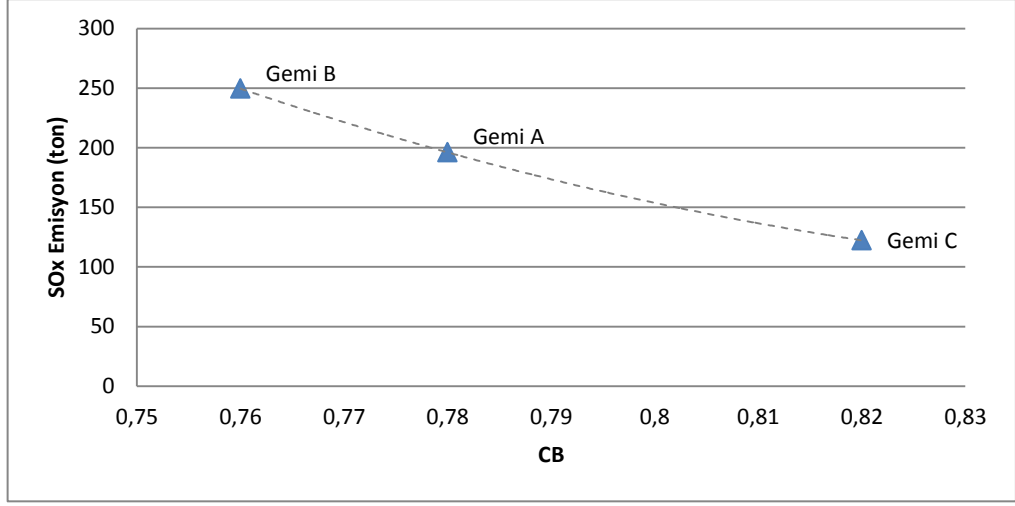




Şekil 3.9 Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve C_B 'ye göre emisyon oranları

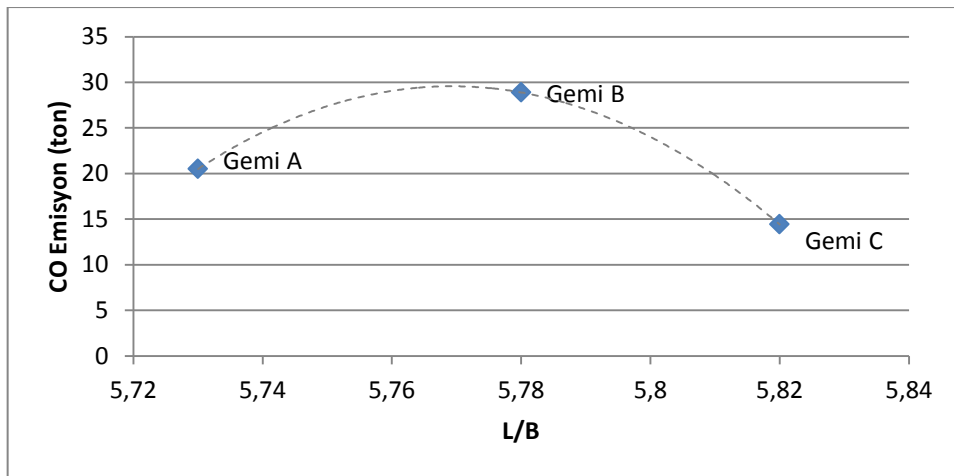
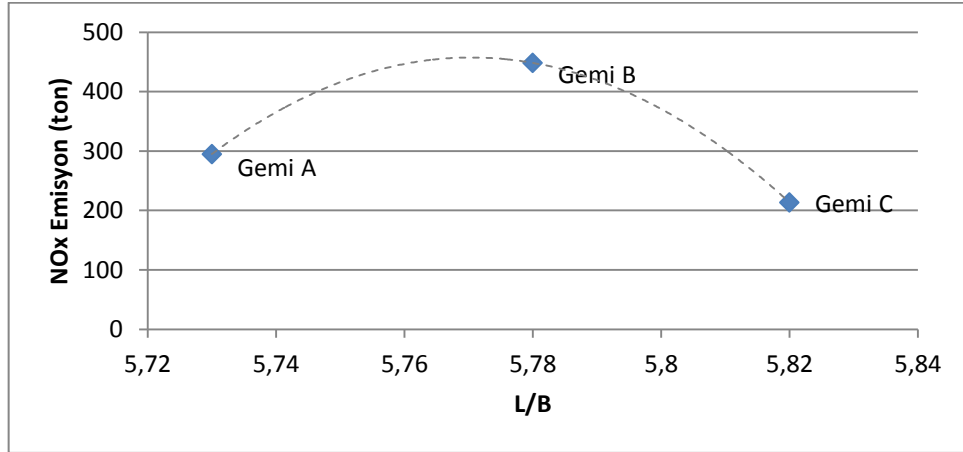
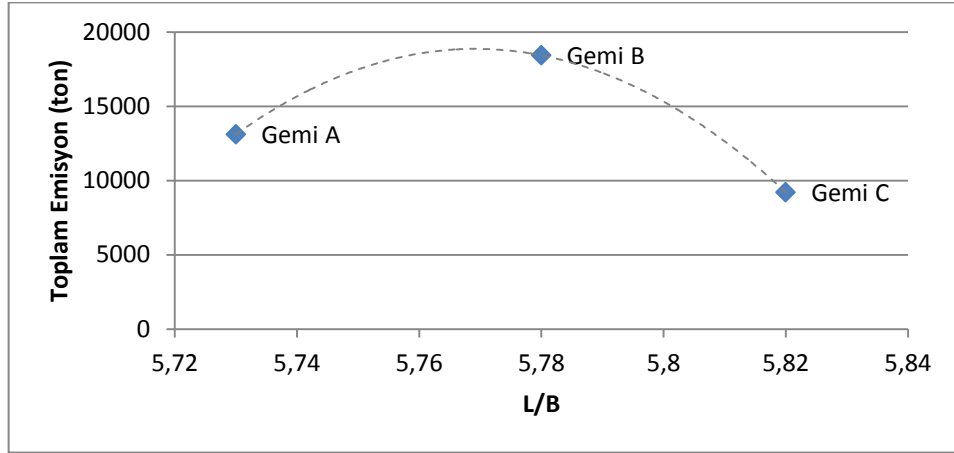
Şekil 3.10 ise Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörleri ve C_B 'ye göre elde edilen grafikleri göstermektedir.

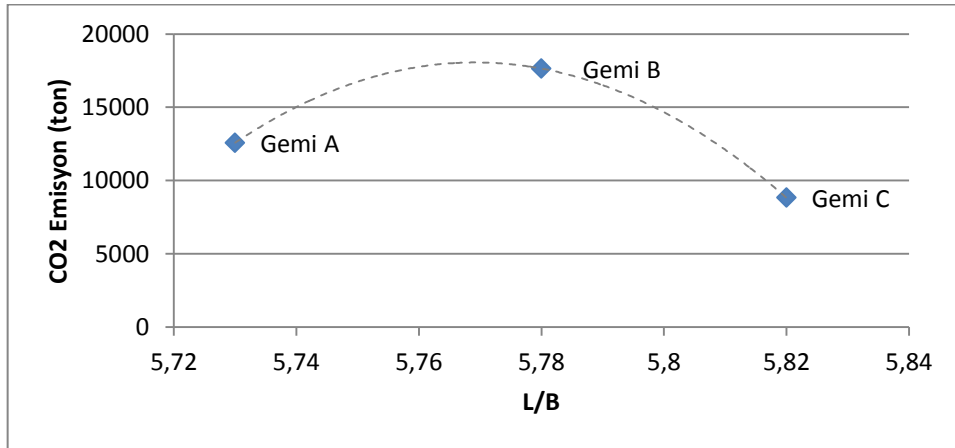
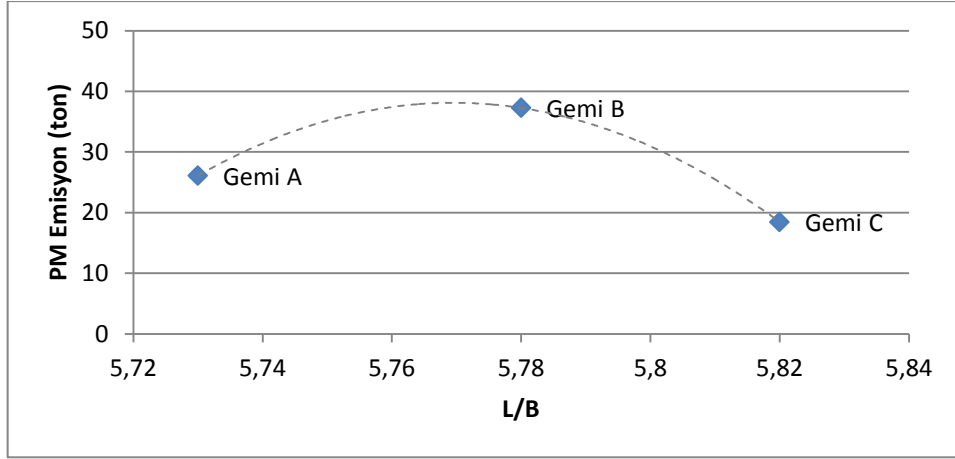
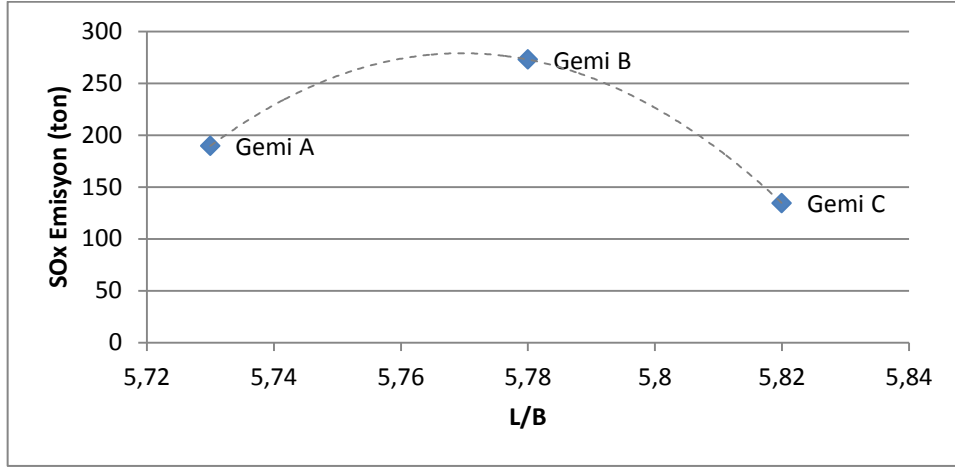




Şekil 3.10 Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve C_B 'ye göre emisyon oranları

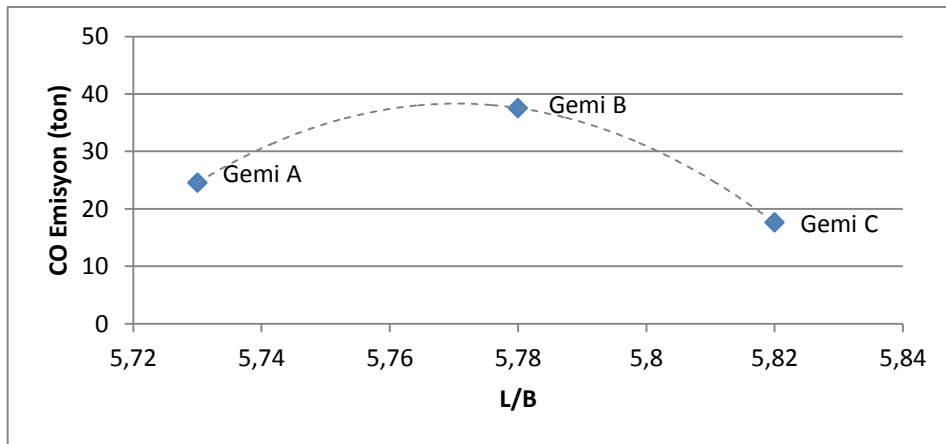
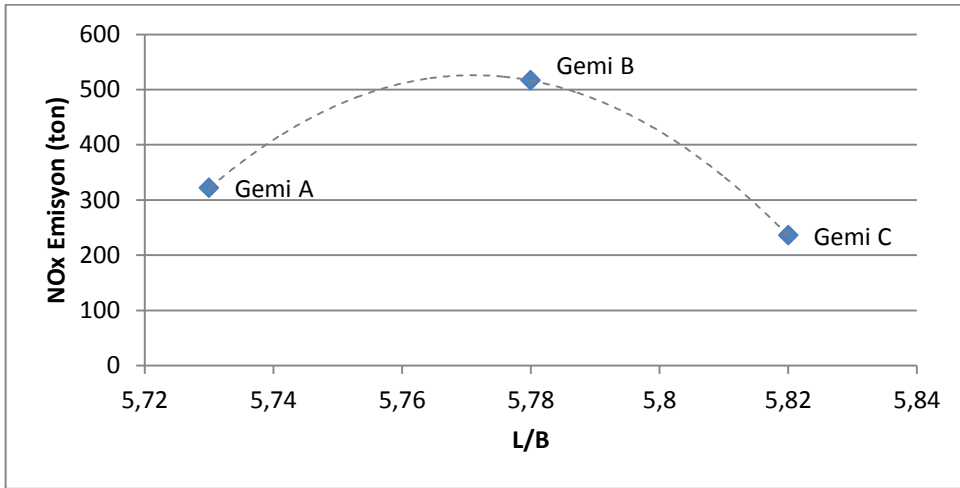
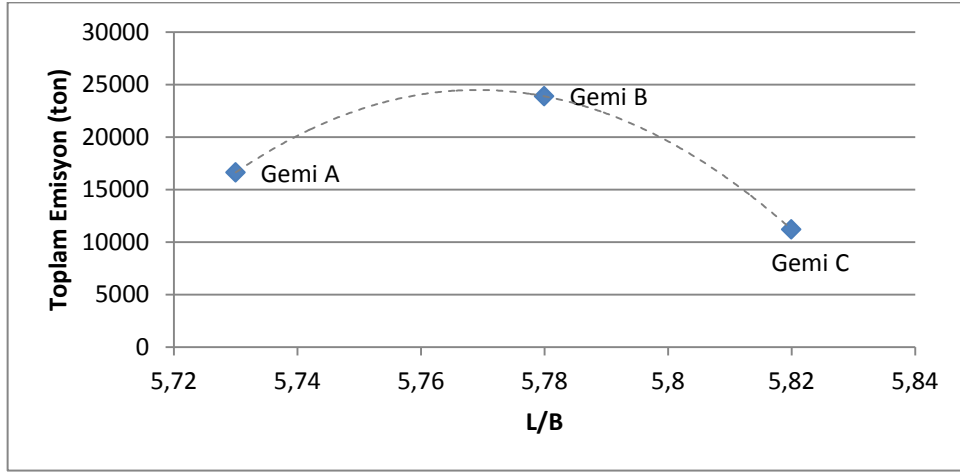
Şekil 3.11’de Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve L/B oranına göre elde edilmiş grafikleri görülmektedir.

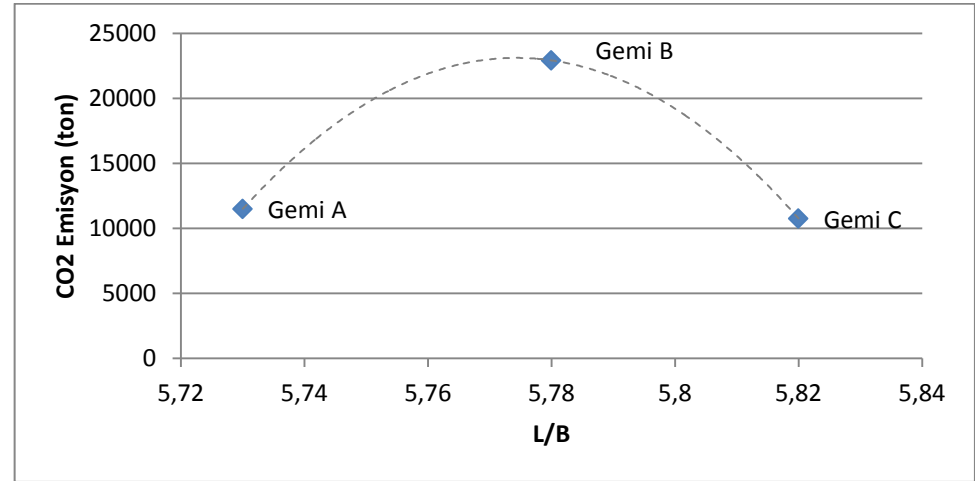
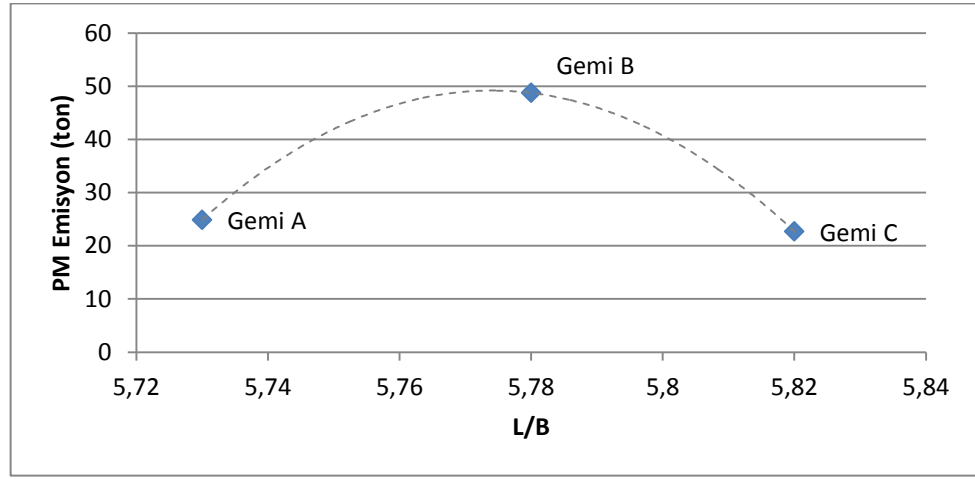
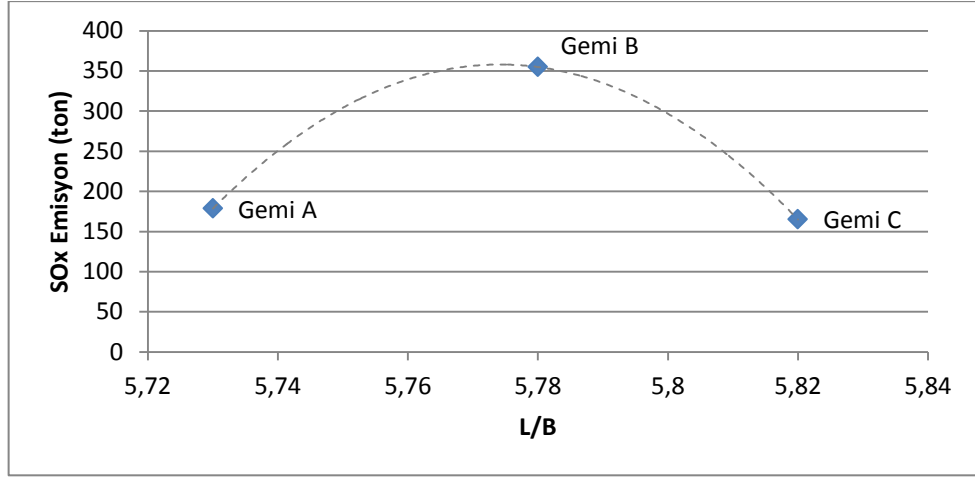




Şekil 3.11 Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları

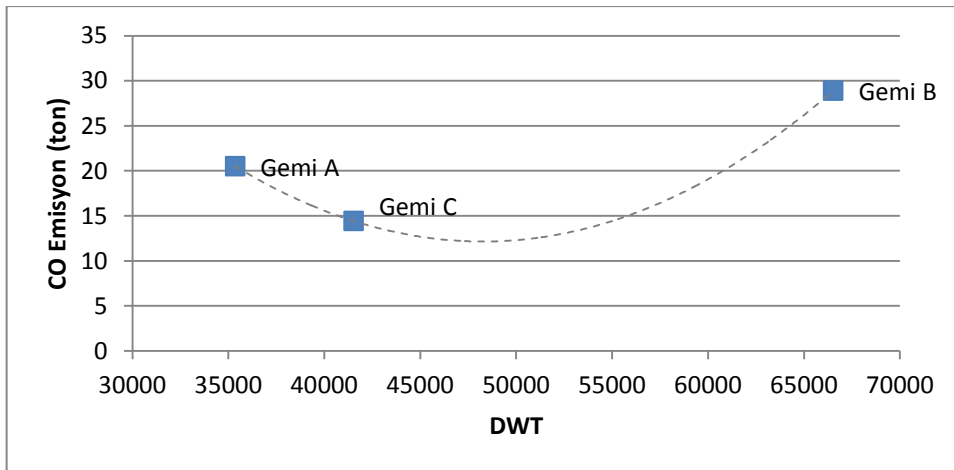
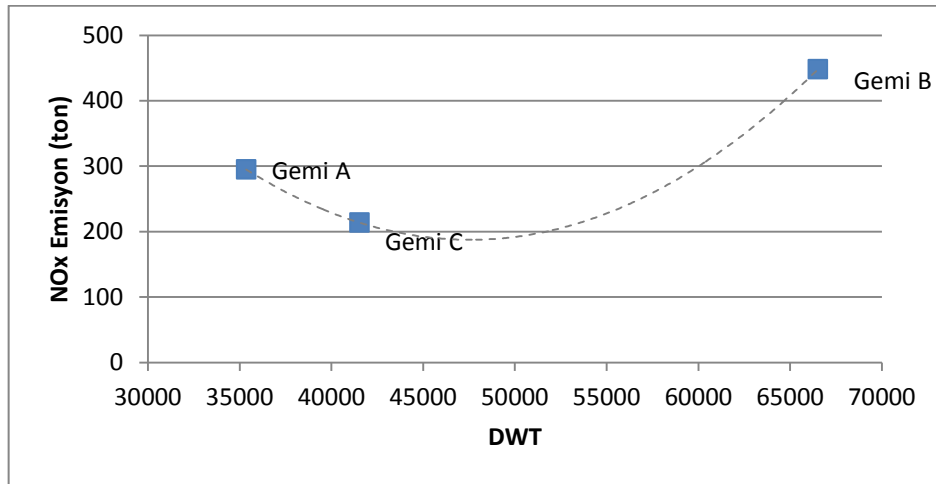
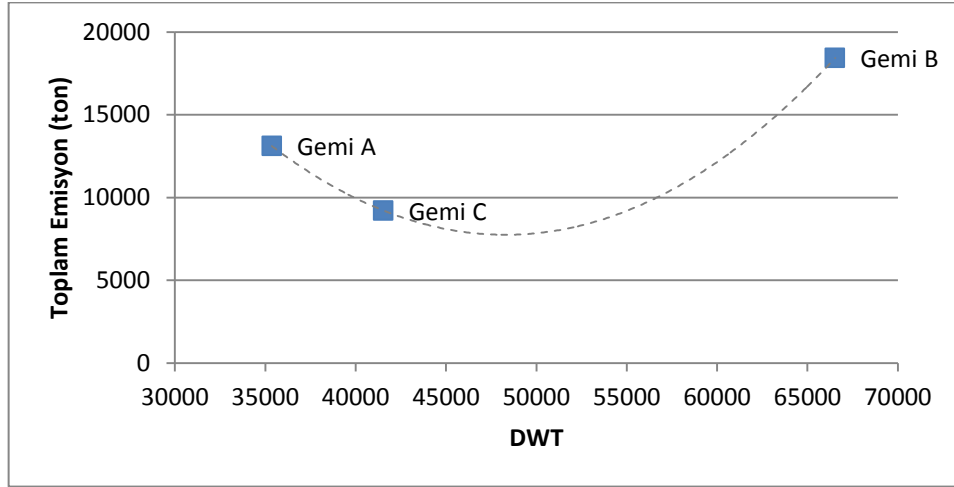
Şekil 3.12, Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörleri ve L/B'ye göre emisyon oranlarını göstermektedir.

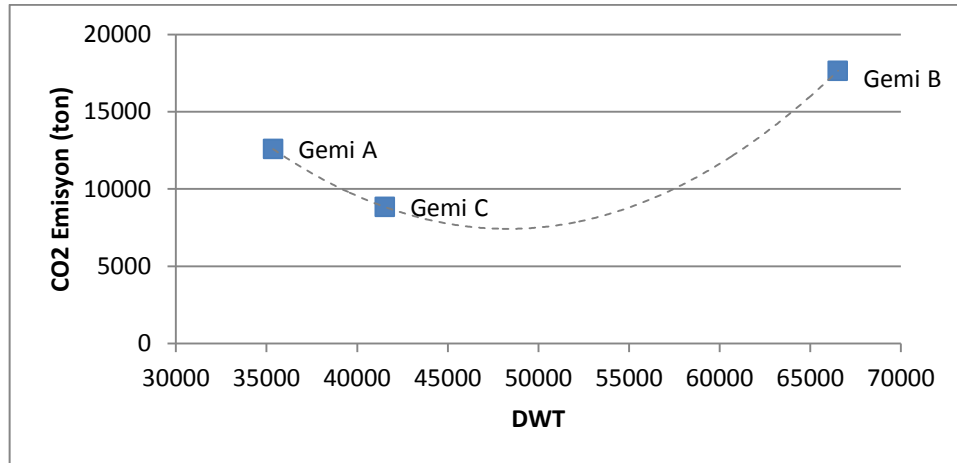
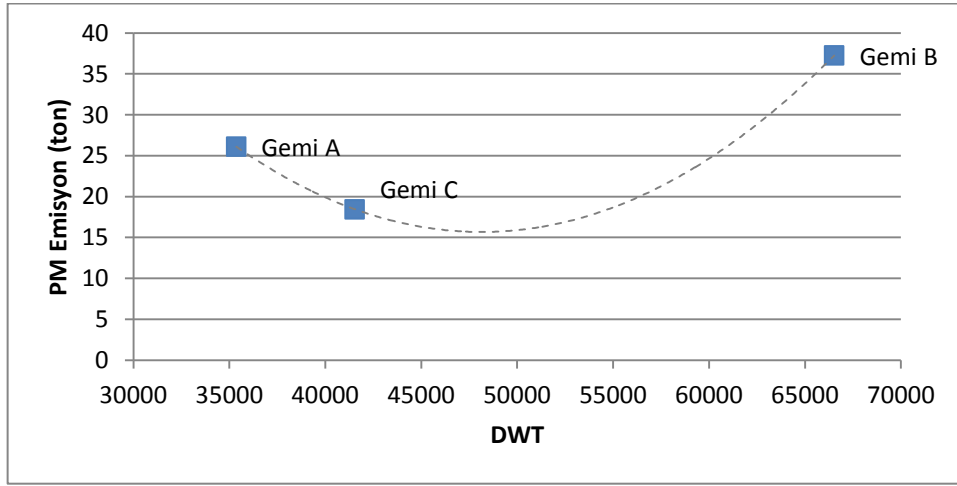
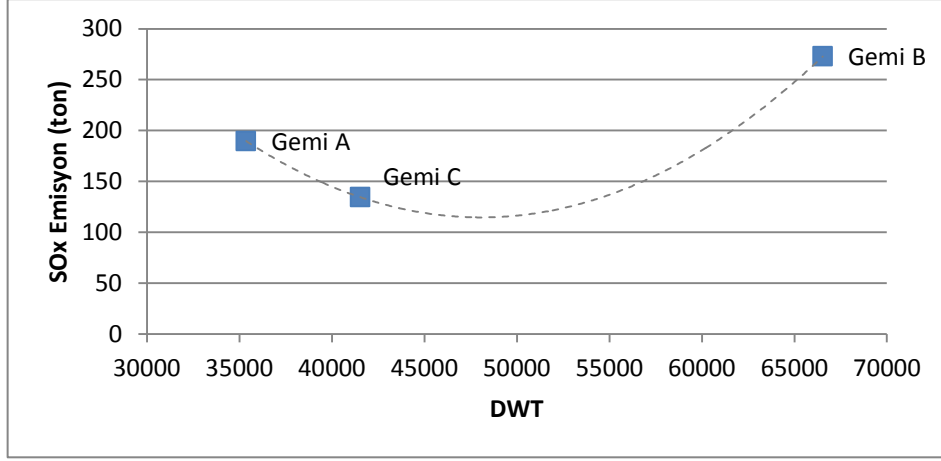




Şekil 3.12 Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve L/B'ye göre emisyon oranları

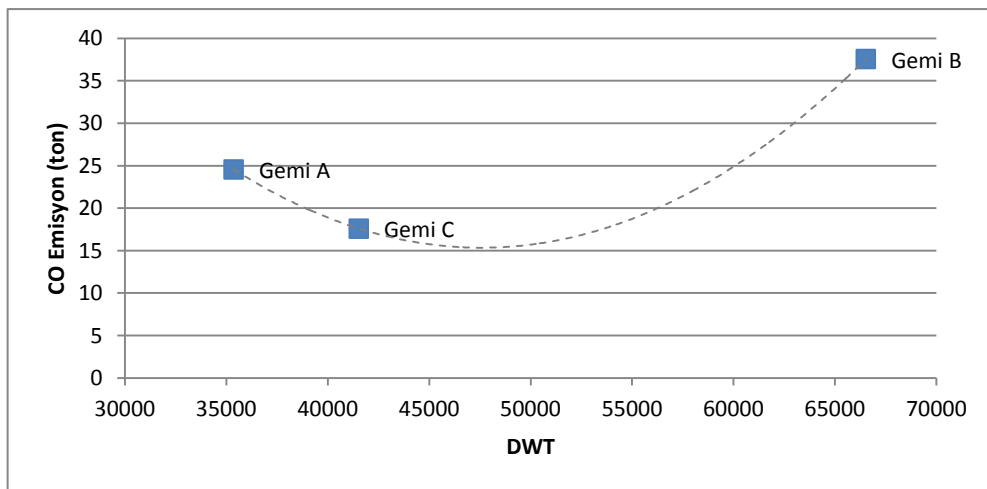
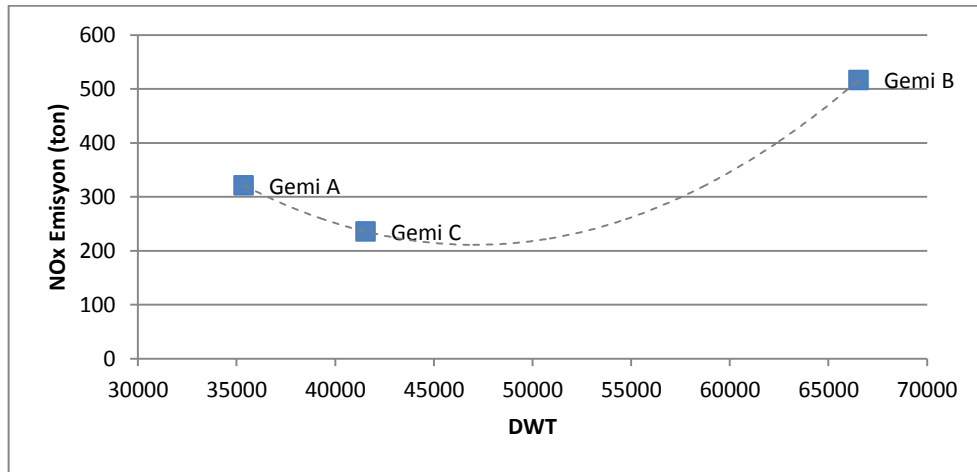
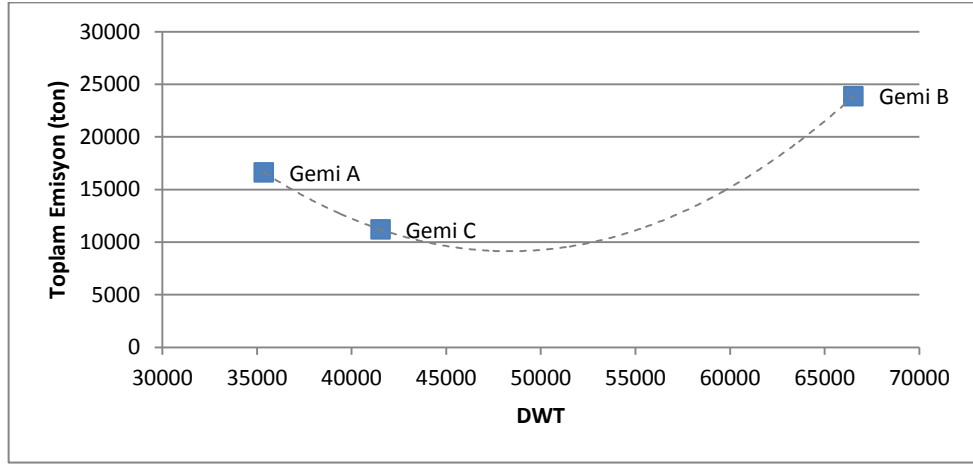
Şekil 3.13'te Eyring vd, (2005a) yakıt tüketimi emisyon faktörleri ve DWT'ye bağlı emisyon oranları verilmiştir.

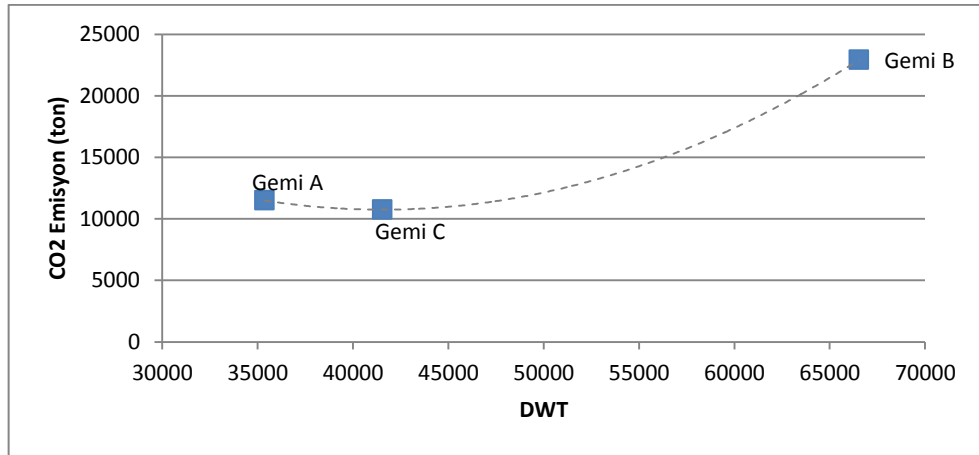
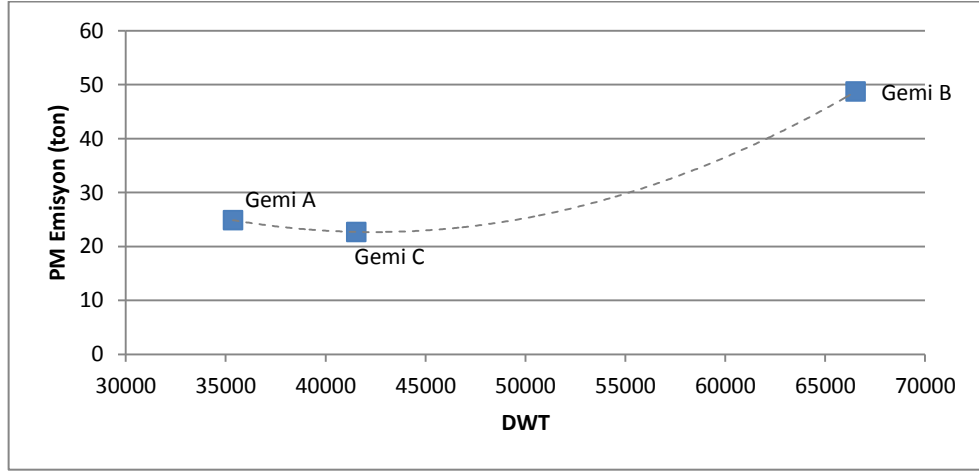
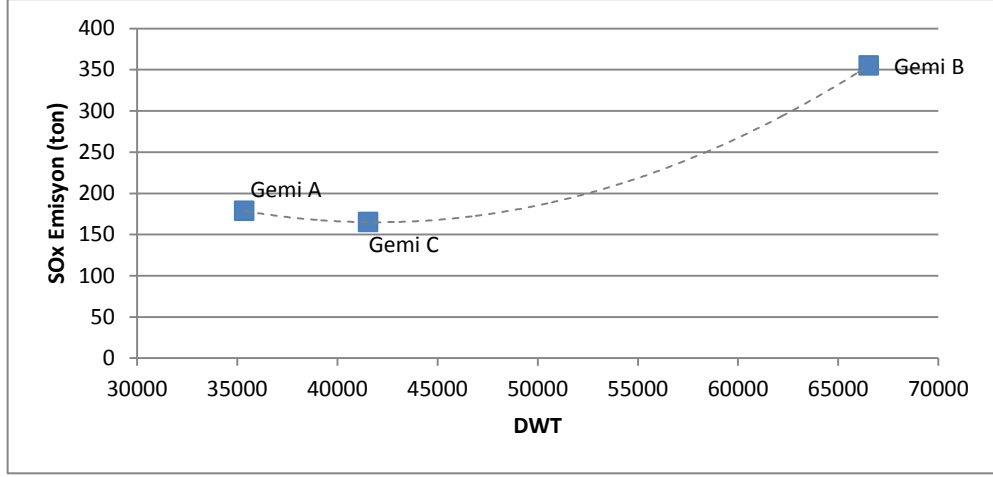




Şekil 3.13 Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları

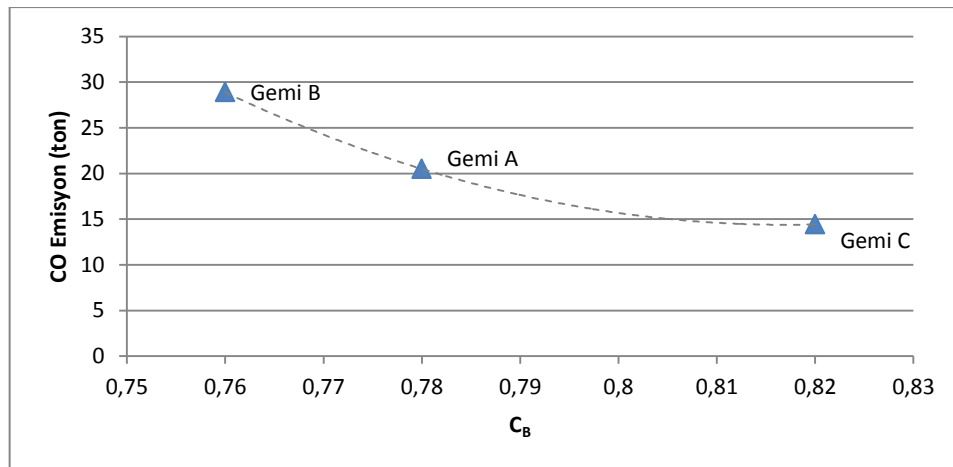
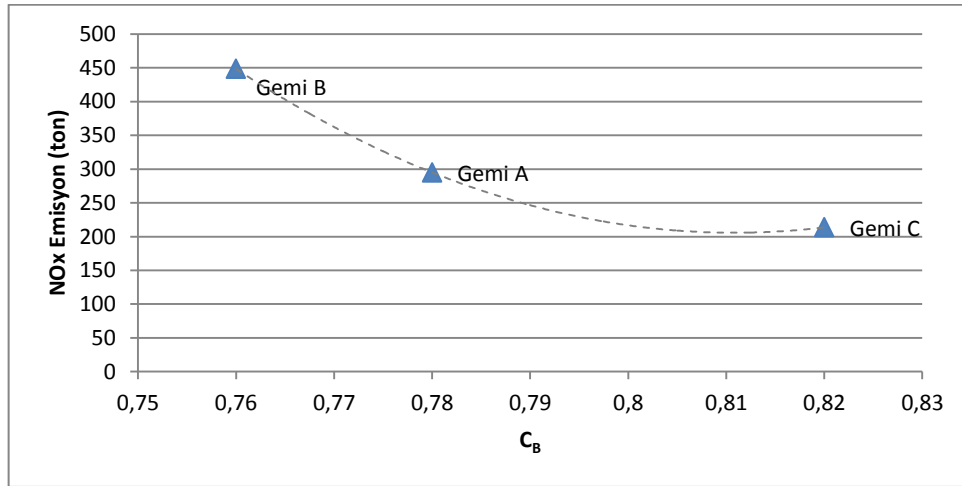
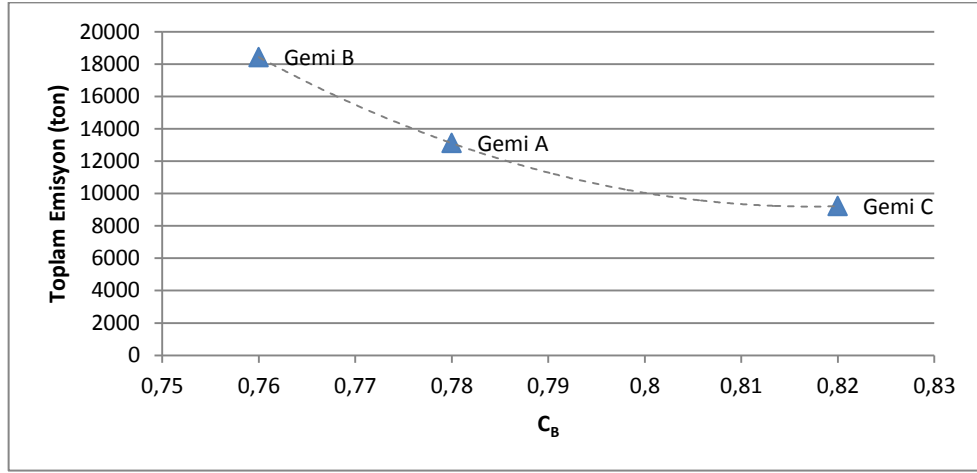
Şekil 3.14'te Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörleri ve DWT'ye göre emisyon oranları görülmektedir.

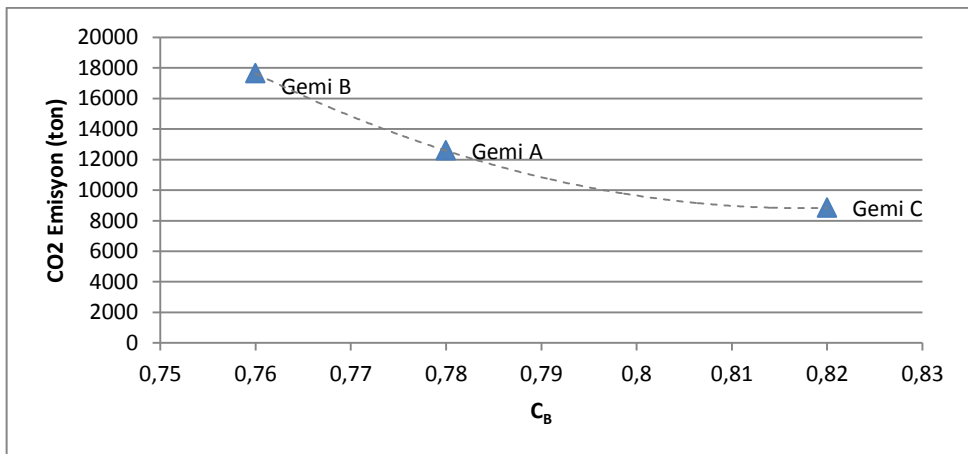
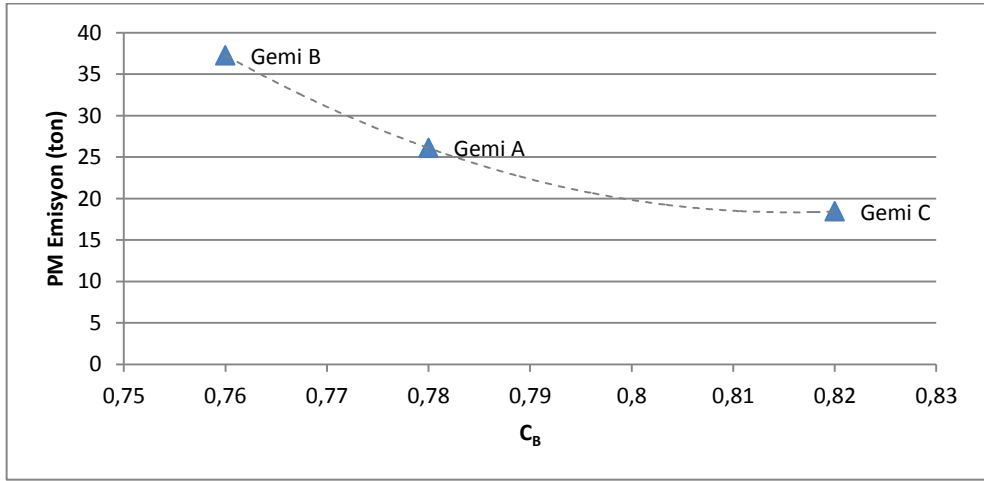
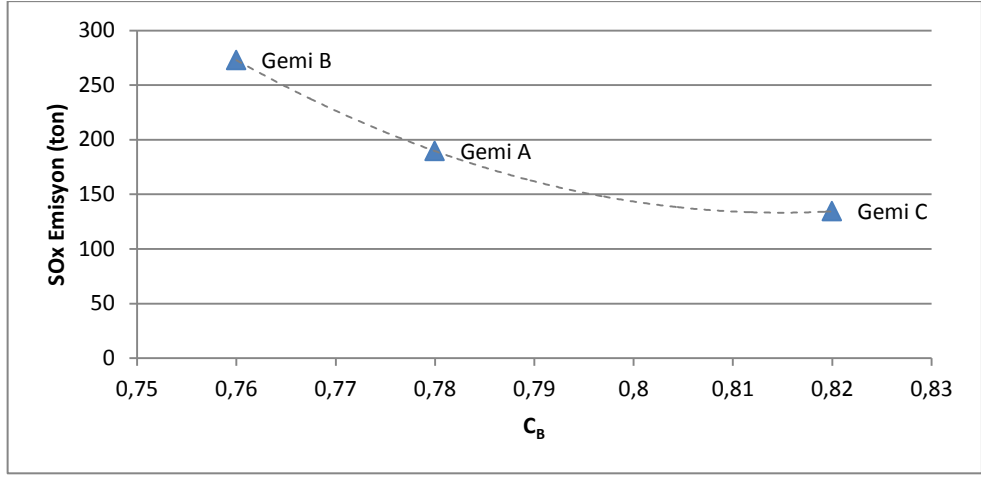




Şekil 3.14 Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT'ye göre emisyon oranları

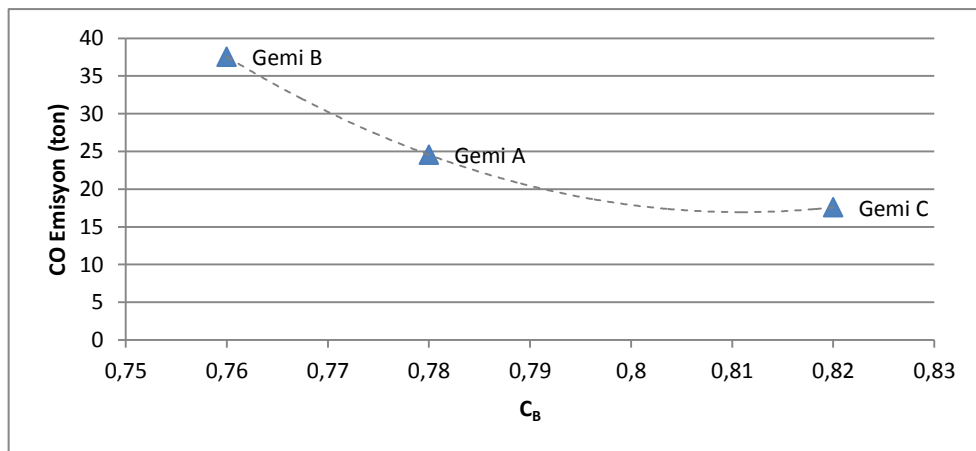
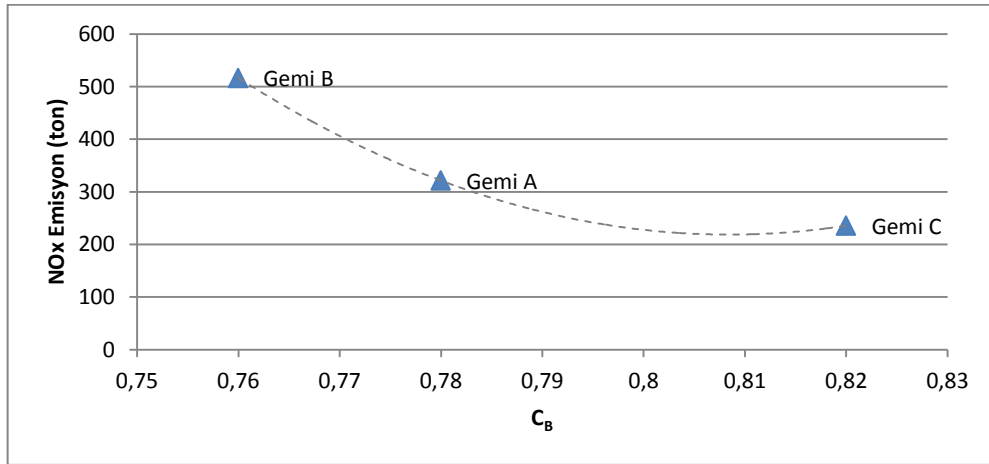
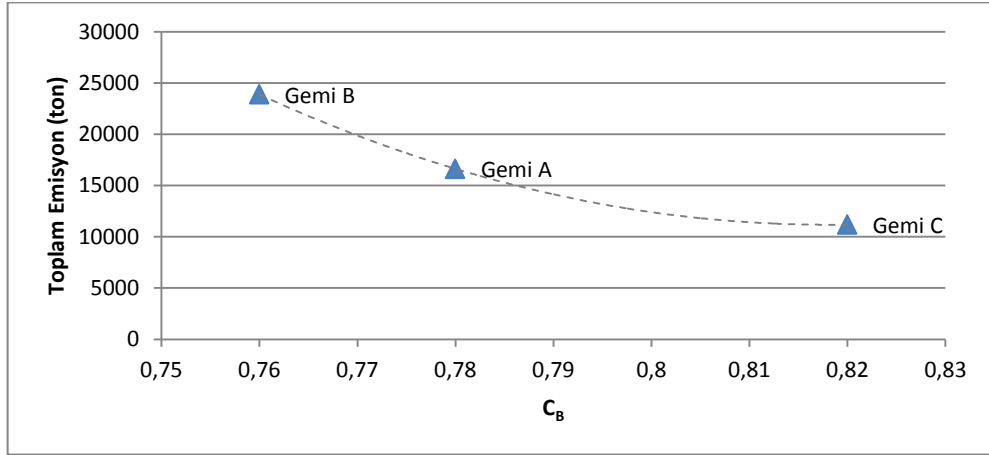
Şekil 3.15, Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörleri ve C_B 'ye göre elde edilen emisyon oranlarını göstermektedir.

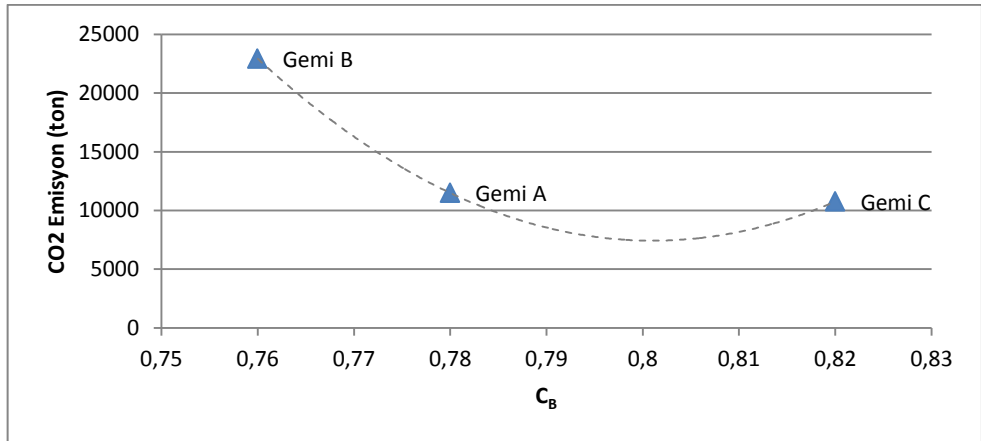
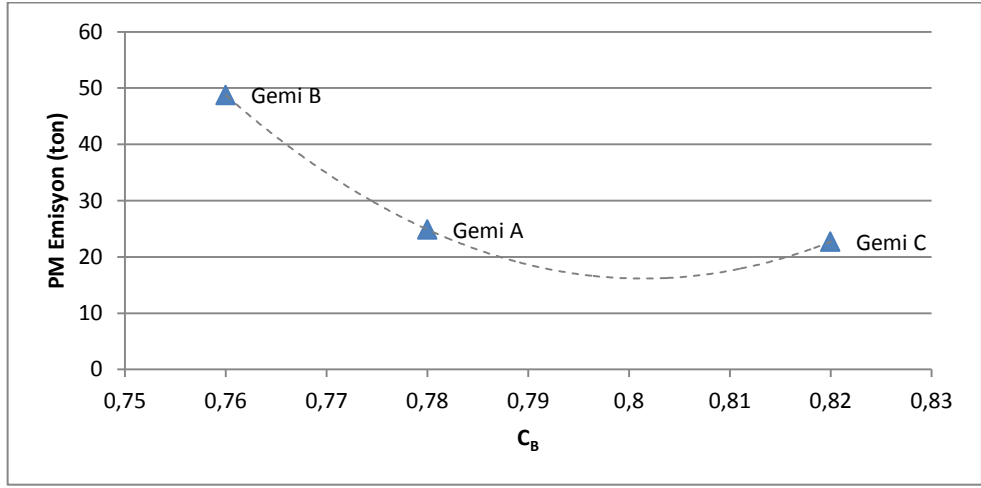
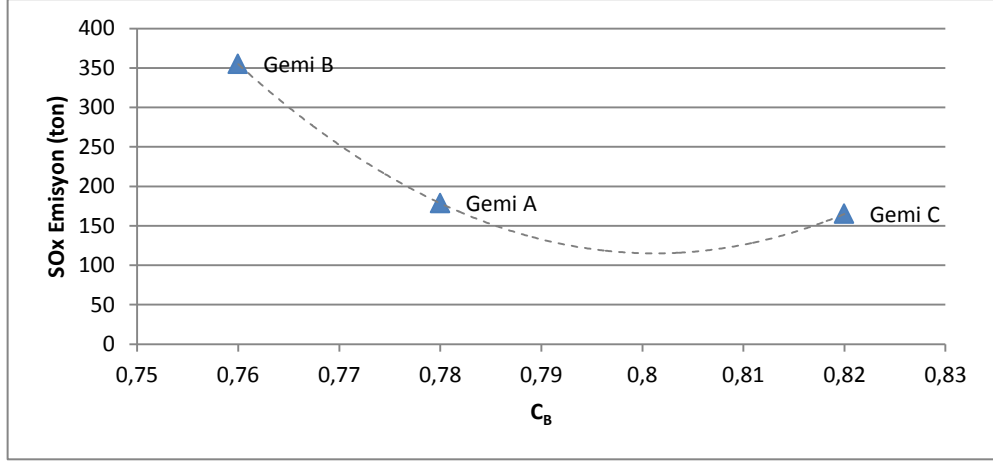




Şekil 3.15 Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve C_B 'ye göre emisyon oranları

Şekil 3.16'da ise Eyring vd, (2005) makine gücü emisyon faktörleri ve C_B 'ye bağlı emisyon oranları görülmektedir.





Şekil 3.16 Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve C_B 'ye göre emisyon oranları

Elde edilmiş olan bu grafikler, gemi ana karakteristik özelliklerinin gemi emisyonlarıyla ilişkisini açıklamaktadır. Bu grafiklere uygulanan regresyon analizi sonucunda karakteristik özellikler ile gemi emisyonları arasında bağıntılar elde edilmiş ve bu sayede gemi emisyonlarının gemi inşasından önce hesaplanabilmesi amaçlanmıştır. Çizelge 3.25 ve Çizelge 3.26, sırasıyla Cooper ve Gustafsson, (2004) ve Eyring vd, (2005a) yöntemlerinden elde edilen bağıntıları vermektedir.

Tahmin Yöntemi	Kirletici Tipi	L/B	DWT	C _B
Makine Gücü Yöntemi	NO _x	$y = -1,3696990 \times 10^5 (L/B)^2 + 1,5800351 \times 10^6 (L/B) - 4,5559841 \times 10^6$	$y = 1,3725615 \times 10^{-6} (DWT)^2 - 1,3422774 \times 10^{-1} (DWT) + 3,5284171 \times 10^3$	$y = 7.2544737 \times 10^4 (C_B)^2 - 1.2049783 \times 10^5 (C_B) + 5.0350189 \times 10^4$
	CO	$y = -3,3949982 \times 10^3 (L/B)^2 + 3,9146341 \times 10^4 (L/B) - 1,1282493 \times 10^5$	$y = 4,2909814 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 4,2602646 \times 10^{-3} (DWT) + 1,1295744 \times 10^2$	$y = 4.4212667 \times 10^2 (C_B)^2 - 8.5565267 \times 10^2 (C_B) + 4.1437922 \times 10^2$
	SO _x	$y = -6,9919244 \times 10^4 (L/B)^2 + 8,0656827 \times 10^5 (L/B) - 2,3257412 \times 10^8$	$y = 6,9794934 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 6,8235525 \times 10^{-2} (DWT) + 1,7836421 \times 10^3$	$y = 3.7444574 \times 10^4 (C_B)^2 - 6.2159069 \times 10^4 (C_B) + 2.5946205 \times 10^4$
	PM	$y = -1,1245663 \times 10^4 (L/B)^2 + 1,2976019 \times 10^5 (L/B) - 3,7426525 \times 10^5$	$y = 9,4895147 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 9,1520856 \times 10^{-3} (DWT) + 2,3786927 \times 10^2$	$y = 8.6710125 \times 10^3 (C_B)^2 - 1.4159870 \times 10^4 (C_B) + 5.8021446 \times 10^3$
	CO ₂	$y = -4,4924706 \times 10^6 (L/B)^2 + 5,1815531 \times 10^7 (L/B) - 1,4938414 \times 10^8$	$y = 4,9160335 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 4,8373681 (DWT) + 1,2760881 \times 10^5$	$y = 1.7475686 \times 10^6 (C_B)^2 - 2.9592432 \times 10^6 (C_B) + 1.2630085 \times 10^6$
	Total	$y = -4,7140004 \times 10^6 (L/B)^2 + 5,4371041 \times 10^7 (L/B) - 1,5675295 \times 10^8$	$y = 5,1368651 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 5,0532437 (DWT) + 1,3327170 \times 10^5$	$y = 1.8666710 \times 10^6 (C_B)^2 - 3.1569156 \times 10^6 (C_B) + 1.3455215 \times 10^6$
Yakıt Tüketimi Yöntemi	NO _x	$y = -3,4136560 \times 10^4 (L/B)^2 + 3,9317283 \times 10^5 (L/B) - 1,1317253 \times 10^6$	$y = 6.6080043 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 6.6915389 \times 10^{-2} (DWT) + 1.8927268 \times 10^3$	$y = -3.0540918 \times 10^4 (C_B)^2 + 4.6380469 \times 10^4 (C_B) - 1.7242951 \times 10^4$
	CO	$y = -1,1123135 \times 10^4 (L/B)^2 + 1,2842910 \times 10^5 (L/B) - 3,7068148 \times 10^5$	$y = 5.0930685 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 4.5451348 \times 10^{-3} (DWT) + 1.0951036 \times 10^2$	$y = 1.5125595 \times 10^4 (C_B)^2 - 2.4297953 \times 10^4 (C_B) + 9.7624608 \times 10^3$
	SO _x	$y = -4,7221826 \times 10^4 (L/B)^2 + 5,4459221 \times 10^5 (L/B) - 1,5698877 \times 10^6$	$y = 5.4672452 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 5.3995165 \times 10^{-2} (DWT) + 1.4219069 \times 10^3$	$y = 1.3795174 \times 10^4 (C_B)^2 - 2.3917028 \times 10^4 (C_B) + 1.0458448 \times 10^4$
	PM	$y = 7,8923617 \times 10 (L/B)^2 - 9,8790111 \times 10^2 (L/B) + 3,0936821 \times 10^3$	$y = 3.9410931 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 4.1434056 \times 10^{-3} (DWT) + 1.2154069 \times 10^2$	$y = -6.1745949 \times 10^3 (C_B)^2 + 9.7076019 \times 10^3 (C_B) - 3.7910059 \times 10^3$
	CO ₂	$y = -3,9626583 \times 10^6 (L/B)^2 + 4,5723205 \times 10^7 (L/B) - 1,3187460 \times 10^8$	$y = 3.3785120 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 3.2613411 (DWT) + 8.6890267 \times 10^4$	$y = 3.0025318 \times 10^6 (C_B)^2 - 4.9064207 \times 10^6 (C_B) + 2.0140754 \times 10^6$
	Total	$y = -4,0551111 \times 10^6 (L/B)^2 + 4,6788989 \times 10^7 (L/B) - 1,3494546 \times 10^8$	$y = 3.5083051 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 3.3909468 (DWT) + 9.0436104 \times 10^4$	$y = 2.9947329 \times 10^6 (C_B)^2 - 4.8985412 \times 10^6 (C_B) + 2.0132598 \times 10^6$

Tahmin Yöntemi	Kirletici Tipi	L/B	DWT	C _B
Makine Gücü Yöntemi	NO _x	$y = -1,2134278 \times 10^5 (L/B)^2 + 1,4005570 \times 10^6 (L/B) - 4,0408348 \times 10^6$	$y = 7,2392662 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 6,8845492 \times 10^{-2} (DWT) + 1,8243045E+03$	$y = 1,2686250 \times 10^5 (C_B)^2 - 2,0512225 \times 10^5 (C_B) + 8,3133550 \times 10^4$
	CO	$y = -8,4283333 \times 10^3 (L/B)^2 + 9,7269917 \times 10^4 (L/B) - 2,8060545 \times 10^5$	$y = 5,0164811 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 4,8424995 \times 10^{-3} (DWT) + 1,2901446E+02$	$y = 7,9250000 \times 10^3 (C_B)^2 - 1,2854000 \times 10^4 (C_B) + 5,2291000 \times 10^3$
	SO _x	$y = -9,1914444 \times 10^4 (L/B)^2 + 1,0614611 \times 10^6 (L/B) - 3,0641755 \times 10^6$	$y = 4,6424452 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 4,4635148 \times 10^{-2} (DWT) + 1,1874769E+03$	$y = 1,4125417 \times 10^5 (C_B)^2 - 2,2634592 \times 10^5 (C_B) + 9,0789370 \times 10^4$
	PM	$y = -1,2532778 \times 10^4 (L/B)^2 + 1,4472947 \times 10^5 (L/B) - 4,1778757 \times 10^5$	$y = 6,3841326 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 6,1469129 \times 10^{-3} (DWT) + 1,6362998E+02$	$y = 1,8979167 \times 10^4 (C_B)^2 - 3,0420917 \times 10^4 (C_B) + 1,2206260 \times 10^4$
	CO ₂	$y = -5,9169328 \times 10^6 (L/B)^2 + 6,8332319 \times 10^7 (L/B) - 1,9726263 \times 10^8$	$y = 3,0775465 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 2,9736010 (DWT) + 7,9250886E+04$	$y = 9,2081042 \times 10^6 (C_B)^2 - 1,4751538 \times 10^7 (C_B) + 5,9154836 \times 10^6$
	Toplam	$y = -5,1325172 \times 10^6 (L/B)^2 + 5,9220183 \times 10^7 (L/B) - 1,7079960 \times 10^8$	$y = 3,2077915 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 3,0981001 (DWT) + 8,2556039E+04$	$y = 3,7732500 \times 10^6 (C_B)^2 - 6,1730795 \times 10^6 (C_B) + 2,5359842 \times 10^6$
Yakıt Tüketimi Yöntemi	NO _x	$y = -9,9284444 \times 10^4 (L/B)^2 + 1,1458316 \times 10^6 (L/B) - 3,3055236 \times 10^6$	$y = 1,4397636 \times 10^{-6} (DWT)^2 - 1,2389680 \times 10^{-1} (DWT) + 2,8759078 \times 10^3$	$y = 9,3925000 \times 10^4 (C_B)^2 - 1,5231350 \times 10^5 (C_B) + 6,1955550 \times 10^4$
	CO	$y = -5,8838889 \times 10^3 (L/B)^2 + 6,7891361 \times 10^4 (L/B) - 1,9581186 \times 10^5$	$y = 9,7168986 \times 10^{-8} (DWT)^2 - 8,4573464 \times 10^{-3} (DWT) + 1,9806613 \times 10^2$	$y = 4,4583333 \times 10^3 (C_B)^2 - 7,2853333 \times 10^3 (C_B) + 2,9906100 \times 10^3$
	SO _x	$y = -5,6937222 \times 10^4 (L/B)^2 + 6,5701203 \times 10^5 (L/B) - 1,8950752 \times 10^6$	$y = 9,0572710 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 7,8587280 \times 10^{-2} (DWT) + 1,8360386 \times 10^3$	$y = 4,6375000 \times 10^4 (C_B)^2 - 7,5579000 \times 10^4 (C_B) + 3,0926650 \times 10^4$
	PM	$y = -7,7072222 \times 10^3 (L/B)^2 + 8,8933528 \times 10^4 (L/B) - 2,5651257 \times 10^5$	$y = 1,2423251 \times 10^{-7} (DWT)^2 - 1,0791285 \times 10^{-2} (DWT) + 2,5234789 \times 10^2$	$y = 6,1250000 \times 10^3 (C_B)^2 - 9,9910000 \times 10^3 (C_B) + 4,0926200 \times 10^3$
	CO ₂	$y = -3,5709972 \times 10^6 (L/B)^2 + 4,1203382 \times 10^7 (L/B) - 1,1883660 \times 10^8$	$y = 5,9510920 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 5,1834956 (DWT) + 1,2146482 \times 10^5$	$y = 2,6554875 \times 10^6 (C_B)^2 - 4,3424607 \times 10^6 (C_B) + 1,7841008 \times 10^6$
	Toplam	$y = -3,7408039 \times 10^6 (L/B)^2 + 4,3162979 \times 10^7 (L/B) - 1,2448932 \times 10^8$	$y = 6,2078241 \times 10^{-5} (DWT)^2 - 5,4052693 (DWT) + 1,2662814 \times 10^5$	$y = 2,8063167 \times 10^6 (C_B)^2 - 4,5875442 \times 10^6 (C_B) + 1,8840326 \times 10^6$

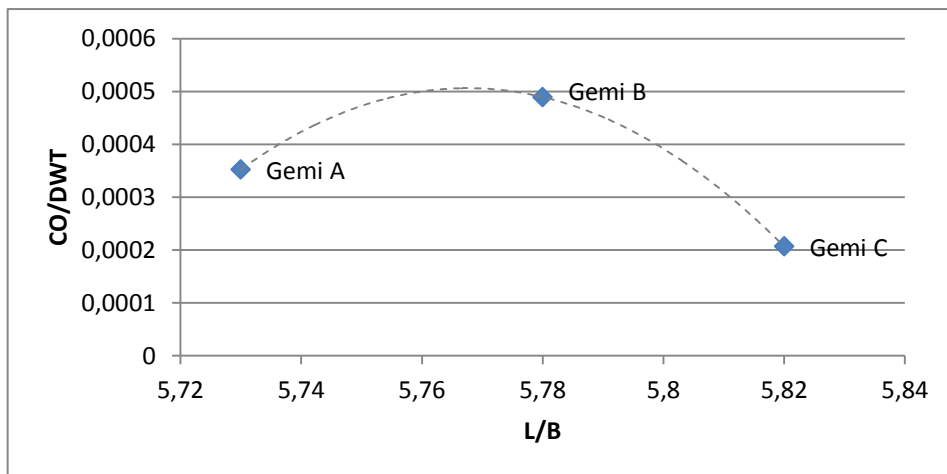
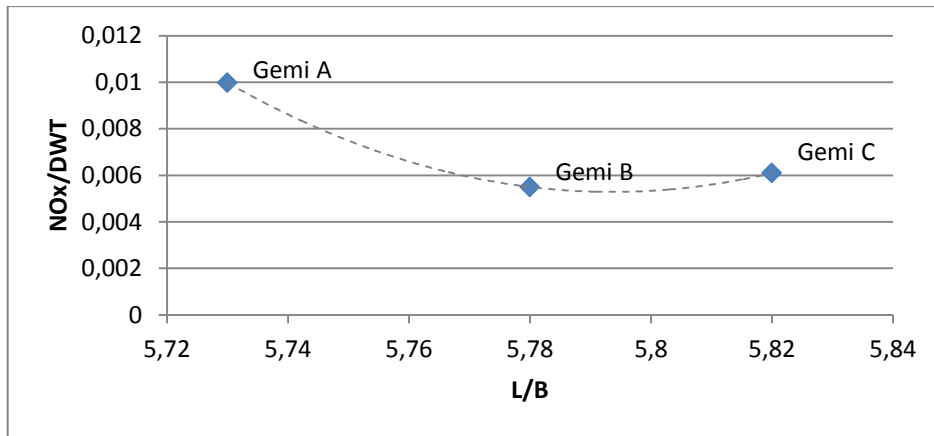
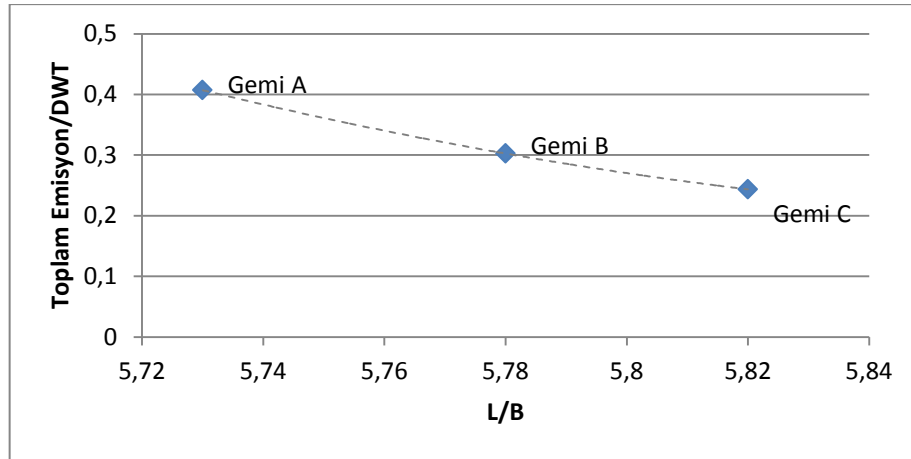
Çizelge 3.26 Eyring vd, (2005a) yöntemine göre elde edilen bağıntılar

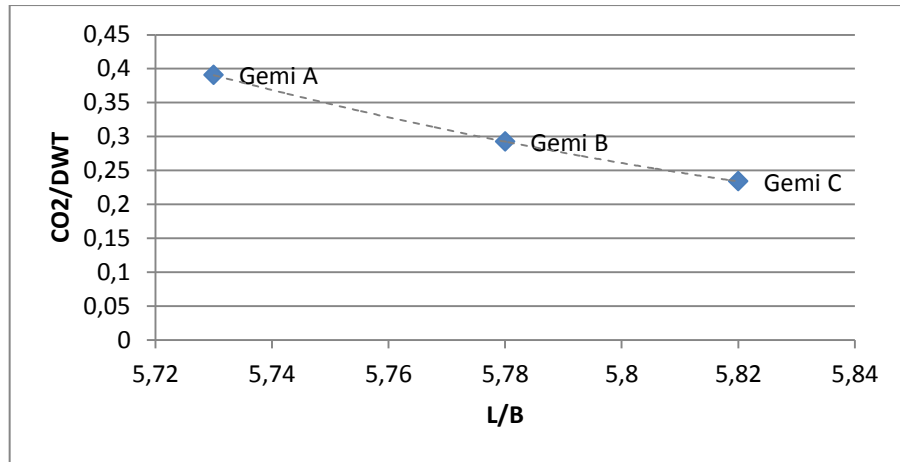
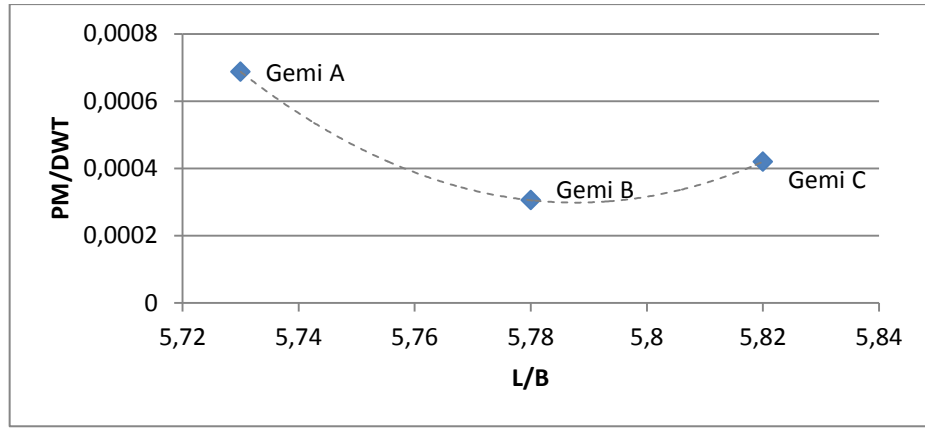
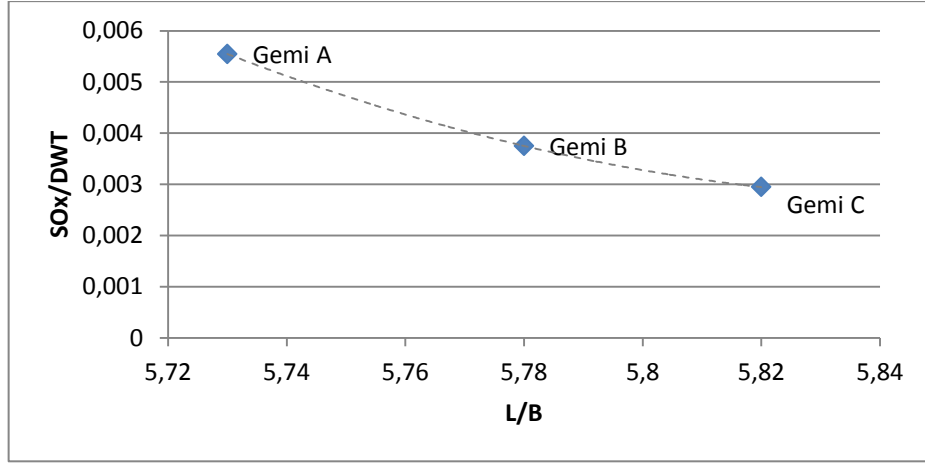
Bu bağıntıları sayesinde istenilen herhangi bir ana karakteristik seçilerek, tercih edilen emisyon tahmin yöntemine göre geminin potansiyel olarak çıkaracağı emisyon miktarları hesaplanabilir. Bu bağıntılar, çok çeşitli emisyon tahmin yöntemleri ve daha farklı ana boyut bilgisi kullanılarak da çeşitlendirilebilir.

İki çalışmadan elde edilen emisyon faktörlerinin, iki emisyon hesaplama yönteminin ve üç ana karakteristik özelliğinin kullanılması, bağıntıları kıyaslanabilir kılmaktadır. Elde edilen yaklaşık olarak aynı olmasına karşın emisyon faktörlerinin farklılığı, makine gücü ve yakıt tüketim yöntemlerinin kullandıkları parametrelerin farklılığı ve gemi karakteristik özellikleri arasındaki farklılıklar, elde edilen sonuçların birbirlerinden farklı olmasına neden olmaktadır. Makine gücü ve yakıt tüketimi yöntemleri tüm dünyada kabul görmüş emisyon tahmin yöntemleridir. Emisyon faktörleri ise genellikle kapsamlı ve detaylı deneysel çalışmalar sonucu elde edilmektedir. Bundan dolayı elde edilen tüm sonuçlar doğru kabul edilir.

Elde edilen bu sonuçlara ek olarak L/B ve DWT olmak üzere iki parametreye bağlı grafikler ve denklemler de geliştirilmiştir. Bunun için öncelikle geminin emisyon miktarları DWT'ye bölünmüş ve böylece boyutsuz bir katsayı hesaplanmıştır. Daha sonra, elde edilen bu katsayının L/B ile ilişkisi incelenmiş ve iki parametreye bağlı değerlere ulaşılmıştır.

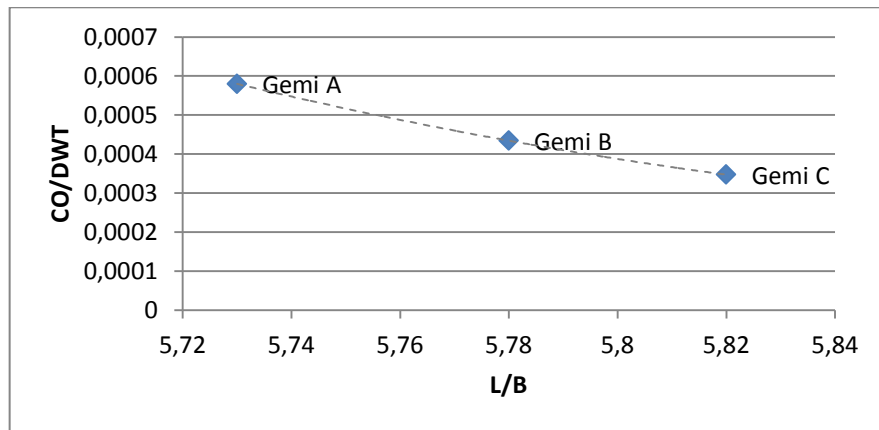
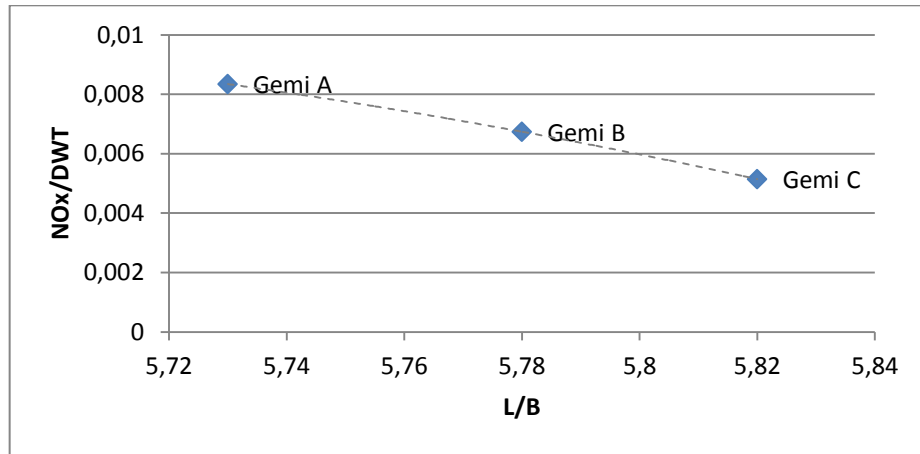
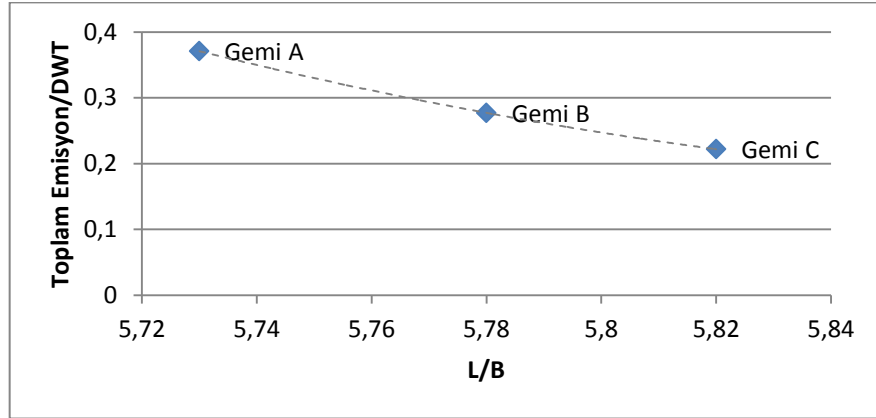
Şekil 3.17, Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine göre elde edilen grafikleri göstermektedir.

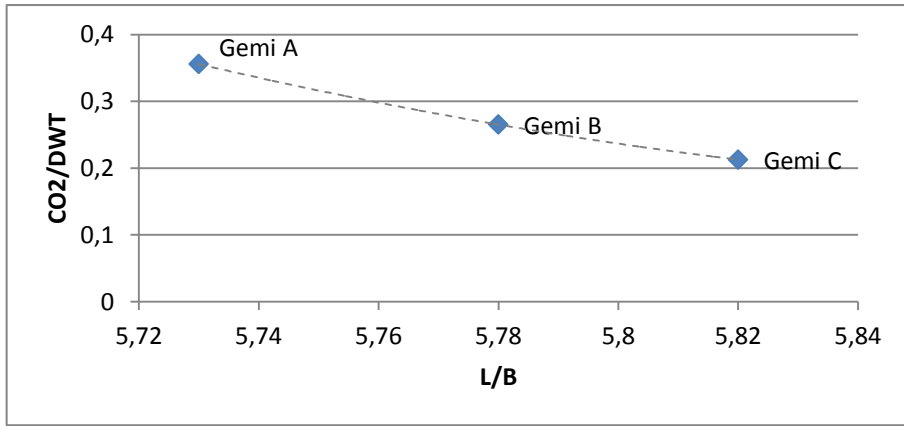
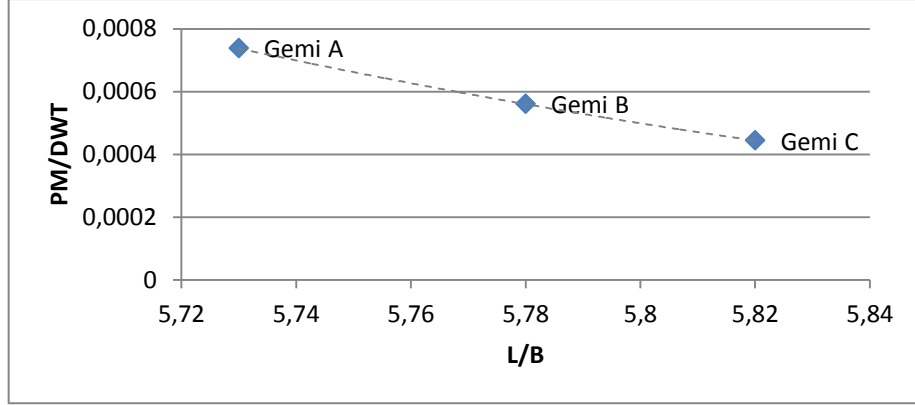
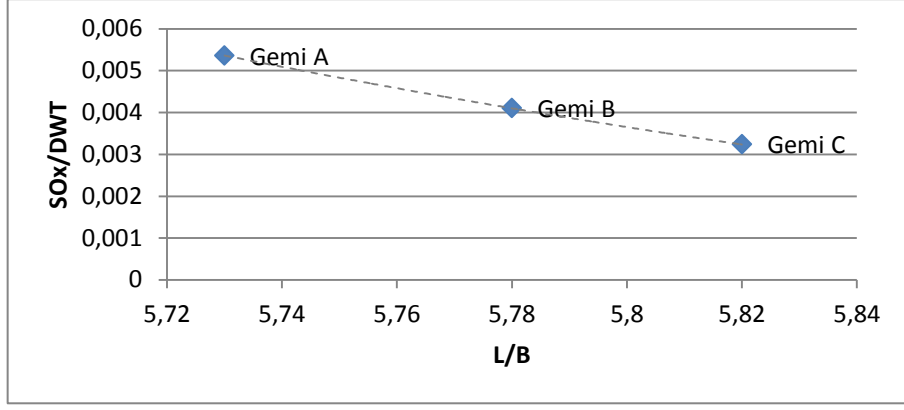




Şekil 3.17 Cooper ve Gustafsson, (2004) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları

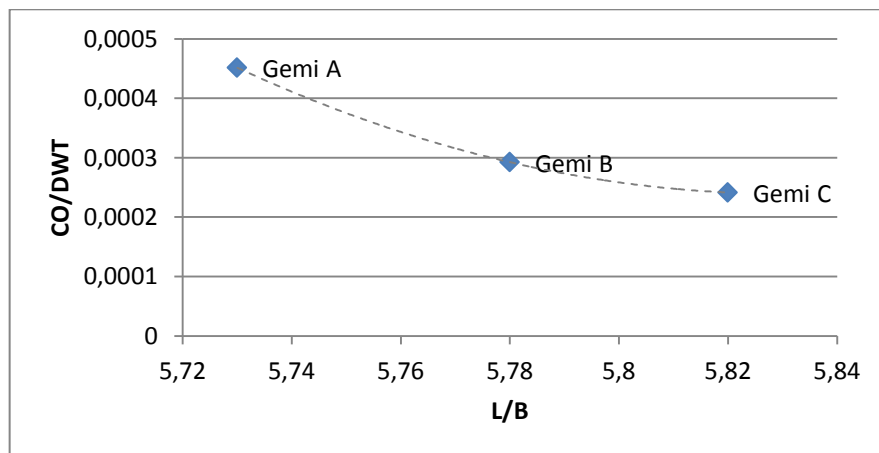
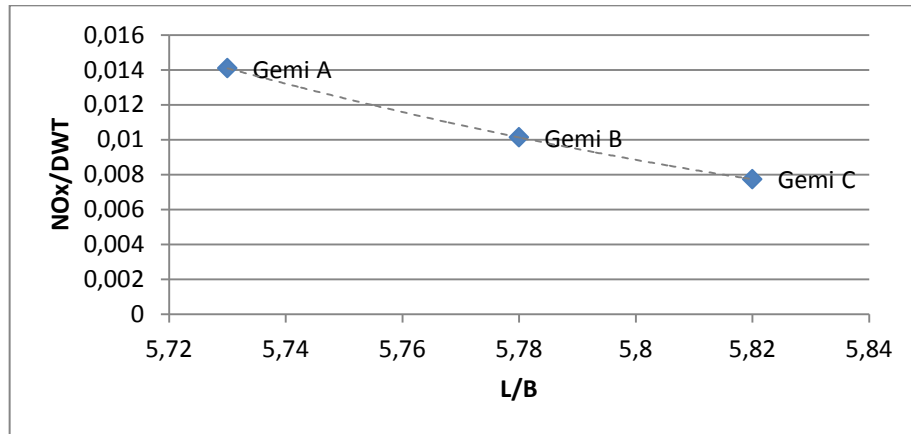
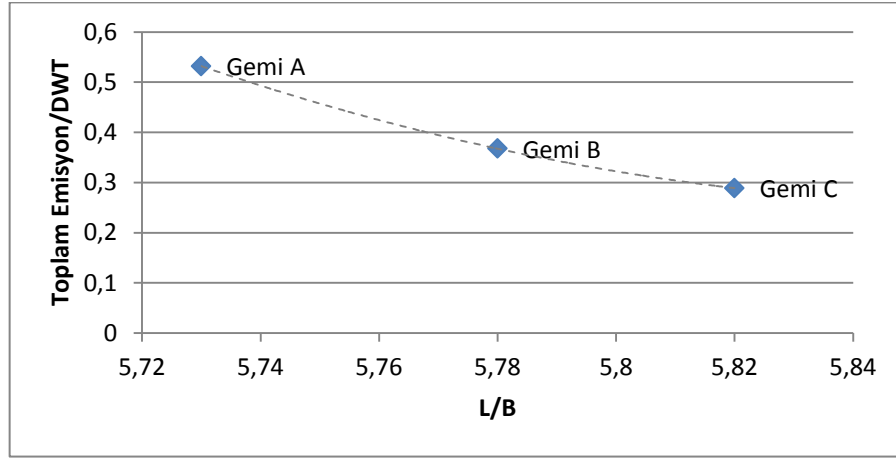
Şekil 3.18’de Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine göre elde edilen grafikler görülmektedir.

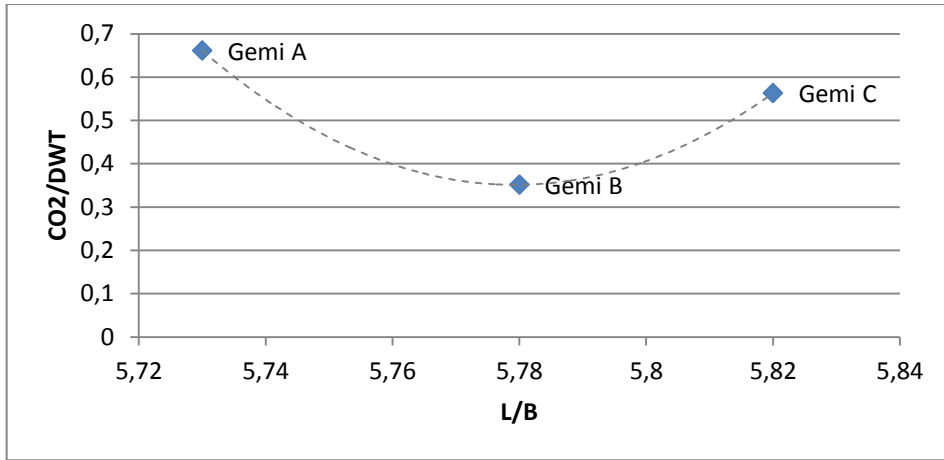
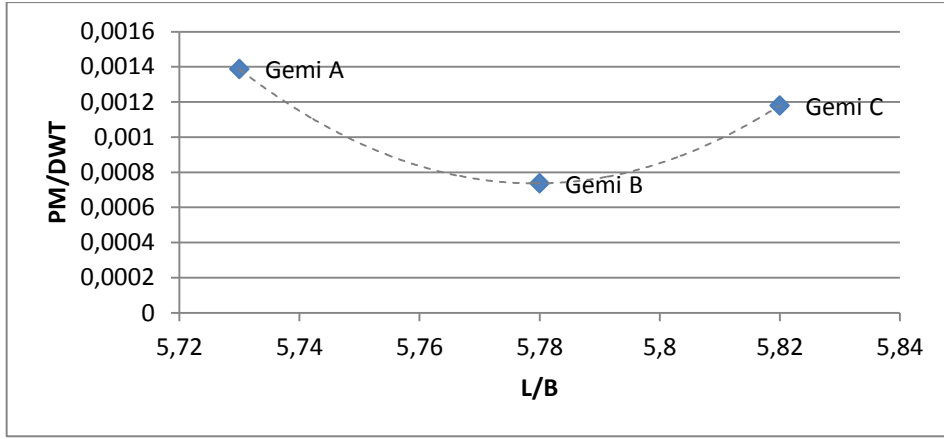
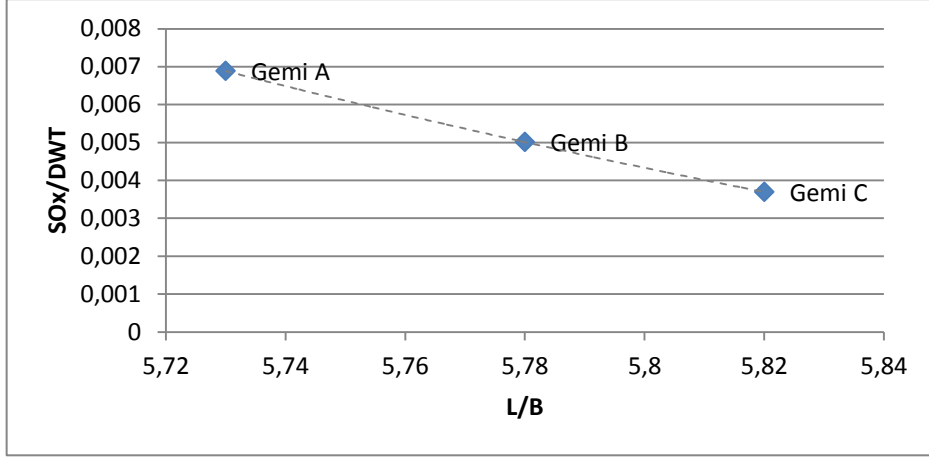




Şekil 3.18 Eyring vd, (2005a) yakıt tüketim emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları

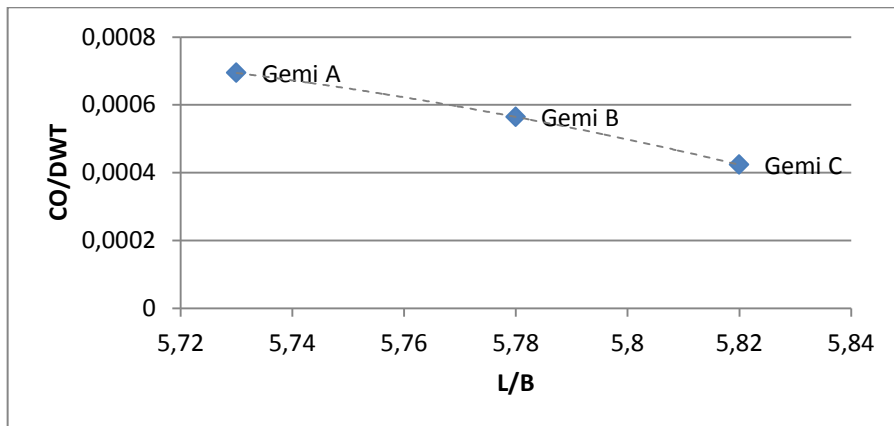
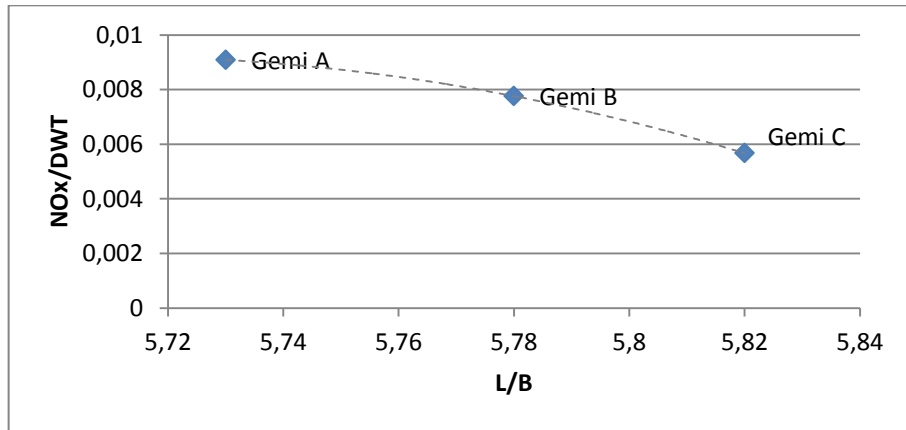
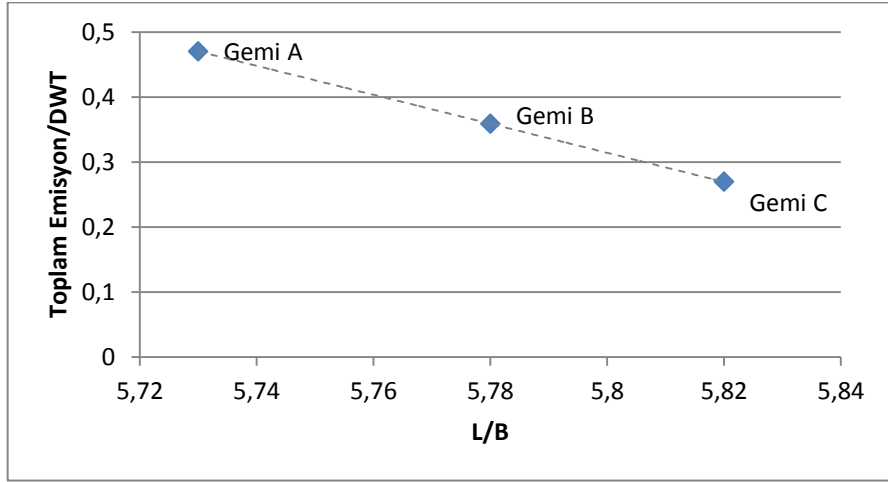
Şekil 3.19’da Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine göre elde edilen grafikler görülmektedir.

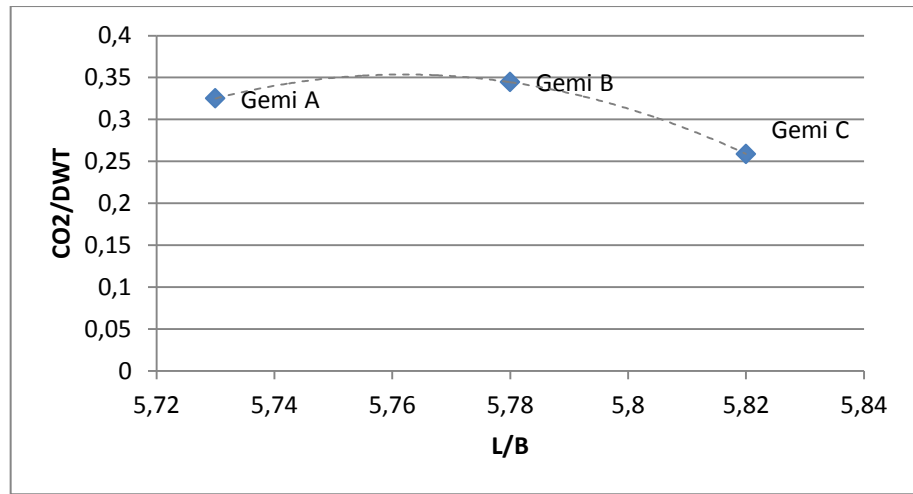
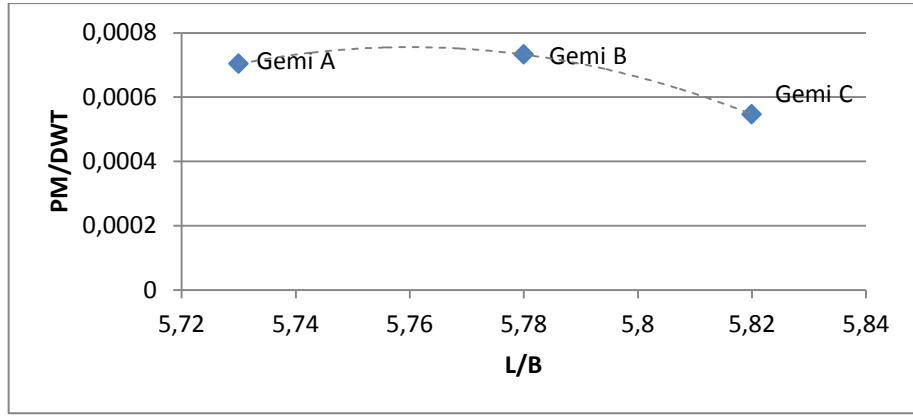
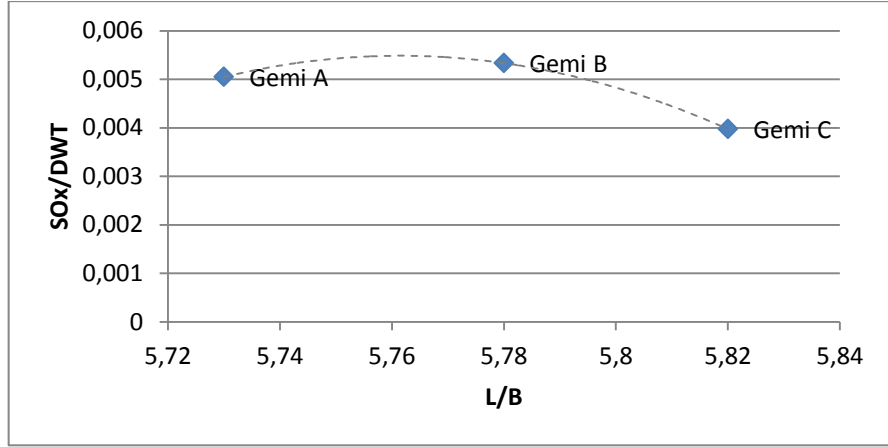




Şekil 3.19 Cooper ve Gustafsson, (2004) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları

Şekil 3.20 ise Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine göre elde edilen grafikleri göstermektedir.





Şekil 3.20 Eyring vd, (2005a) makine gücü emisyon faktörlerine ve DWT ile L/B'ye göre emisyon oranları

Bu grafikler sonucunda elde edilmiş olan denklemler, hem DWT hem de L/B ana karakteristiklerine bağlı olduğundan daha kesin ve doğru sonuçlar verecektir. Bu denklemler sayesinde geminin ön dizayn aşamasında potansiyel emisyon miktarları iki parametreye doğrudan bağlı olarak hesaplanabilecektir. Elde edilen denklemler Çizelge 3.27’de ayrıntılı olarak verilmektedir.

Çizelge 3.27 Değişik emisyon faktörleri ve emisyon tahmin yöntemlerine göre L/B ve DWT’ye bağlı olarak elde edilen bağıntılar

Emisyon Faktörü	Tahmin Yöntemi	Kirletici Tipi	L/B
Cooper ve Gustafsson, (2004)	Yakıt Tüketimi	NO _x	$y = 1,1615349(L/B)^2 - 1,3458790x10(L/B) + 3,8992277x10$
		CO	$y = -1,0889724x10^{-1}(L/B)^2 + 1,2561429(L/B) - 3,6219340$
		SO _x	$y = 1,7500894x10^{-1}(L/B)^2 - 2,0502515(L/B) + 6,0074368$
		PM	$y = 1,1650026x10^{-1}(L/B)^2 - 1,3485505(L/B) + 3,9028401$
		CO ₂	$y = 5,4835143(L/B)^2 - 6,5074734x10(L/B) + 1,9322898x10^2$
		Toplam	$y = 6,8249730(L/B)^2 - 8,0645195x10(L/B) + 2,3842030x10^2$
	Makine Gücü	NO _x	$y = 2,1401816x10^{-1}(L/B)^2 - 2,5425303(L/B) + 7,5559464$
		CO	$y = 2,1148249x10^{-2}(L/B)^2 - 2,4659382x10^{-1}(L/B) + 7,1907557x10^{-1}$
		SO _x	$y = 5,1202756x10^{-2}(L/B)^2 - 6,2680917x10^{-1}(L/B) + 1,9173644$
		PM	$y = 2,6743488x10^{-1}(L/B)^2 - 3,0911623(L/B) + 8,9330835$
		CO ₂	$y = 1,2754827x10^2(L/B)^2 - 1,4742744x10^3(L/B) + 4,2604739x10^3$
		Toplam	$y = 1,4661784x10(L/B)^2 - 1,7204355x10^2(L/B) + 5,0495256x10^2$
Eyring vd., (2005a)	Yakıt Tüketimi	NO _x	$y = -8,7232645x10^{-2}(L/B)^2 + 9,7200303x10^{-1}(L/B) - 2,6971353$
		CO	$y = 8,1315335x10^{-3}(L/B)^2 - 9,6502922x10^{-2}(L/B) + 2,8655958x10^{-1}$
		SO _x	$y = 3,9939669x10^{-2}(L/B)^2 - 4,8491152x10^{-1}(L/B) + 1,4725685$
		PM	$y = 7,3047592x10^{-3}(L/B)^2 - 8,7632023x10^{-2}(L/B) + 2,6303280x10^{-1}$
		CO ₂	$y = 5,5460439(L/B)^2 - 6,5646652x10(L/B) + 1,9441833x10^2$
		Toplam	$y = 5,5143717(L/B)^2 - 6,5345842x10(L/B) + 1,9374960x10^2$
	Makine Gücü	NO _x	$y = -2,8594423x10^{-1}(L/B)^2 + 3,2647277(L/B) - 9,3094248$
		CO	$y = -1,0227137x10^{-2}(L/B)^2 + 1,1511519x10^{-1}(L/B) - 3,2312929x10^{-1}$
		SO _x	$y = -4,4125749x10^{-1}(L/B)^2 + 5,0845535(L/B) - 1,4641678x10$
		PM	$y = -5,8139424x10^{-2}(L/B)^2 + 6,6976838x10^{-1}(L/B) - 1,9281837$
		CO ₂	$y = -2,8090446x10(L/B)^2 + 3,2370912x10^2(L/B) - 9,3223746x10^2$
		Toplam	$y = -8,2369190x10^{-2}(L/B)^2 - 1,2790074(L/B) + 1,0503300x10$

Yapılan hata analizine göre elde edilen sonuçlar hata yüzdesi olarak Çizelge 3.28’de verilmiştir.

Çizelge 3.28 Toplam emisyonlar için hata analizi

Emisyon Faktörü	Tahmin Yöntemi	Hata Yüzdesi
Cooper ve Gustafsson, (2004)	Yakıt Tüketimi	% 0,00119
	Makine Gücü	% 0,0072998
Eyring vd, (2005a)	Yakıt Tüketimi	% 0,000174
	Makine Gücü	% 0,000074

Görüldüğü gibi, elde edilen bağıntılar, oldukça düşük hata yüzdeleriyle istenilen sonuca ulaşmayı sağlamaktadır.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Gemi inşaatı sektörü ve gemicilik bilinen en eski üretim yöntemlerinden birisidir. Özellikle geçtiğimiz yüzyılda geliştirilen yeni tip makinelerin kullanımının yaygınlaşmasıyla büyük gemi motorları büyük miktarda emisyon açığa çıkarmaya başlamışlardır. Son yıllarda bu konuda kapsamlı önlemler alınmaya başlansa da dünya, gemi emisyonlarının azaltılması ve sıfırlanması hedefine henüz uzak bir noktada bulunmaktadır.

Geçmişten günümüze gemicilik faaliyetleri ekonomik verilere bağlı olarak incelendiğinde bu bilgiler ışığında gemi sayısındaki geleceğe yönelik ciddi bir artış olacağı tahmin edilmektedir. Gemi sayısındaki artışa paralel olarak, gemi ebatlarının ve makinelerinin de gittikçe büyüdüğünü ele alırsak, gelecekte daha fazla yakıt tüketimi olacağı kesindir. Yakıt tüketiminin artması emisyon artışını getirecektir.

Gemi kökenli emisyonların çevreye ve insan sağlığına olan zararları pek çok araştırmacı tarafından ayrıntılı olarak incelenmiş ve konuyla ilgili, çeşitli bilim dallarında pek çok yayın yapılmıştır. Bu emisyonlar, atmosfere yayıldıklarında küresel ısınma, küresel soğuma ve asit yağmurları gibi etkilere neden olurken bu yağmurlar vasıtasıyla kara ve su ortamına inen gazlar, canlılar için tehdit oluşturmaktadır. Gemi emisyonları dünya genelinde oluşan toplam CO₂ salınımının 2-4 %'ünden, NO_x salınımının 15 %'inden, SO_x salınımının 5-8 %'inden, BC salınımının ise 1.7 %'sinden sorumludur. Bu açıdan bakıldığında gemi emisyonlarının dünya genelinde ciddi bir öneme sahip olmadığı düşünülebilir ancak gemicilik faaliyetlerinin genellikle yoğun nüfuslu liman şehirlerinde

gerçekleştirdiği ve seyir rotalarının yine yoğun nüfuslu bölgelerde toplandığı göz önüne alınırsa insan sağlığı için oluşturdıkları tehdidin boyutu daha iyi anlaşılabilir.

Bu çalışmada üç kuru yük gemisinin bir yıllık rota bilgileri elde edilerek gemi emisyonlarını hesaplamada kullanılan iki temel yöntem olan yakıt tüketimi ve makine gücü yöntemlerine bağlı kalınarak emisyon hesabı yapılmıştır. Hesaplamalar için iki farklı çalışmadan elde edilen emisyon faktörleri kullanılmıştır.

Çalışmanın ilk aşaması ve amacı farklı yöntemleri ve farklı emisyon katsayılarını kıyaslamaktır. Görüldüğü gibi farklı çalışmalar ve yöntemler arasında ciddi farklılıklar oluşabilmektedir. Bunun nedenlerinden birisi çalışmaların yapıldığı tarihlerde kullanılan emisyon faktörlerinin farklı olmasıdır. Emisyon faktörleri çalışmadan çalışmaya ve yıldan yıla değişiklik gösterdiğinden elde edilecek sonuçların farklı olması kaçınılmazdır. Öte yandan bu farklılıklar esas anlamda çok önem arz etmemekte ve hatta emisyon tahmini yapacak kişilere alternatifler sunmaktadır. Emisyon hesabı günümüzde hala tahminlere dayalı bir çalışma alanı olduğundan üzerinde yeterli çalışma yapılmış olduğuna inanılarak seçilen tüm emisyon faktörleri yaklaşık olarak doğru sonuç verecektir. Yine de tüm bir dünya filosu göz önüne alındığında oluşabilecek büyük farklar düşünülerek mümkün olduğunca tek bir çalışmaya bağlı kalmak yararlı olacaktır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise gemilerin yıllık rota bilgilerinden yararlanılarak gemilerin bu rotalar üzerinde yaptıkları toplam emisyonlar hesaplanmış ve ton/deniz mili cinsinden deniz mili başına yayılan emisyonlara ulaşılmıştır. Emisyon yoğunluğu adı verilen bu veri, gemi emisyonlarının çokluğundan ziyade bölgesel yoğunlukları üzerinde durulmasını amaçlar. Her üç gemi için de en uzun ve en çok emisyon meydana gelen rota ile en çok emisyon yoğunluğuna sahip rota farklıdır. Toplam emisyon miktarı küresel çevresel sorunlar için daha önemliyken emisyon yoğunluğu bilgisi insan sağlığı açısından daha önemlidir.

Üçüncü ve son aşamada ise gemi ana karakteristikleri ve gemi emisyonları arasında regresyon analizi yoluyla bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılar sayesinde gemilerin oluşturabilecekleri emisyon miktarları geminin ana boyutlarına bağlı olarak gemi henüz dizayn aşamasındayken ve hızlı bir şekilde hesaplanabilir.

Gemi emisyonu konusunda dünyada ciddi çalışmalar yapılmaktadır. Bilimsel çalışmaların yanı sıra yeni uluslararası kurallar konusunda da önemli gelişmeler kaydedilmiştir ve 2020 yılına kadar gemi emisyonlarının etkili bir şekilde kontrol altına alınması beklenmektedir. Yeni teknolojilerin geliştirilmesi konusunda da çalışmalar sürmektedir ve getirilen yeni kurallarla paralel olarak önümüzdeki on yıl içerisinde gemi emisyonlarında ciddi azalmalar olması öngörülmektedir.

Bununla beraber yapılan çalışmalar halen istenen düzeyde değildir ve çalışmaların hızlandırılması ve kapsamlandırılması gerekmektedir. Gemileri daha ayrıntılı olarak sınıflandırmak, alternatif enerji yöntemlerine tam geçiş sağlamak, daha güçlü kurallar getirmek ve bu kuralları daha etkin bir şekilde uygulamaya koymak, konuyla ilgili toplumsal bilinç meydana getirmek ve bilimsel çalışmalara devam etmek yapılabilecek eylemler arasındadır.

LCA gemiler için yeni üretim yöntemlerini, yenilikçi teknolojileri ve daha sert kuralları kapsayan tümüyle yeni bir yaklaşımdır. Atık yönetimi LCA yaklaşımının zararlı atıkları minimize etme veya tümüyle önleme aşamasını kapsar. LCA yaklaşımı özellikle gemi operasyonu aşamasına odaklanmalıdır. Öte yandan, LCA yaklaşımının bütünsel bir özellik taşıdığı ve bu sebeple gemi yaşam döngüsündeki aşamaların birbirinden farklı düşünülmemeyeceği unutulmamalıdır. Ekonomik yararların yanı sıra çevresel performans da mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Yeni teknolojilerin kullanımına ağırlık verilmeli, gerekli görüldüğü takdirde daha yeni ve gelişmiş teknolojilerin üretilmesine olanak sağlanmalıdır. İşçilerin eğitimi de özellikle katı atıkların azaltılması konusunda önemli pozitif etkiler sağlayabilir. Saha sert ve kapsamlı kural ve düzenlemelerin geliştirilmesi de toplumsal farkındalığın artmasını ve kontrol mekanizmasının daha sağlıklı çalışmasını sağlayacaktır. LCA gemi yaşam döngüsünün tümünü ele aldığından yaşam sürecinin bir bütün olarak görülmesine olanak tanır. LCA yaklaşımı sürdürülebilirlik araştırmaları ve çevresel performans konularında gelecekte daha çok kullanım alanı bulacaktır.

Bu çalışma gemi emisyonları konusunda bugüne kadar yapılmış çalışmaları kapsamlı bir şekilde bir araya getirmiş ve emisyon yoğunluğu konusundaki az sayıdaki çalışmadan biri olmuştur. Bunun yanında ön dizayn aşamasında emisyon tahmini yapılması üzerine de literatürde fazla çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma sayesinde emisyonların ön

dizayn parametreleriyle bağıntıları da elde edilmiştir. Elde edilen veriler, gemi inşaatı sektörüne emisyon hesaplamada bir kolaylık olarak sunulmaktadır. Çalışma ayrıca işleyiş bakımından tümevarım yöntemi tanımına uygundur ve gerekli ileri çalışmaların yapılması sonucunda tüm dünyadaki emisyonların hesaplanması mümkün olabilir.

Türkiye, bir IMO üyesi olarak konuyla ilgili uyması gereken yükümlülüklerle sahiptir ve gerek bilimsel gerekse teknolojik anlamda gemi emisyonlarının azaltılması konusundaki çalışmalara katılmaktadır. Daha kapsamlı bilimsel çalışmalar teknolojik gelişmelere de ışık tutacaktır. Bu tezin amaçlarından birisi konuya dikkat çekip emisyon yoğunlukları incelendiğinde özellikle Akdeniz havzasının ne denli hassas bir bölge olduğunu gözler önüne sermektir. Diğer bir amaç ise emisyon tahmin yöntemlerinin kullanılmasıyla ön dizayn aşamasında, daha gemi var olmadan emisyon tahmini yapılabilmesi ve emisyon yoğun bir sonuç ortaya çıkıyor ise bunun azaltılması yönünde tasarım düzenlemesi yapılmasıdır. Bu ve benzeri çalışmalar çoğaldıkça, yeşil gemi ve yeşil tersane kavramlarının ülkemizde gelişmesi ve uygulanması sağlanacak, gelecek kuşaklara daha çevreci gemi ve tersane yapılması yolunda katkı sağlayacaktır.

- [1] Wang, C., Corbett, J.J. ve Firestone, J., (2008). "Improving spatial representation of global ship emissions inventories", *Environmental Science & Technology*, 42 (1), 193-199
- [2] AEA Energy & Environment, (2008). "Greenhouse gas emissions from shipping: trends, projections and abatement potential", Final report to the Committee on Climate Change, Restricted Commercial, ED 43808, Issue Number 4, 3 September
- [3] Miola, A., Ciuffo, B., Marra, M. ve Giovine, E., (2010). "Analytical framework to regulate air emissions from maritime transport", European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability
- [4] Andreoni, V., Miola, A. ve Perujo, A., (2008). "Cost effectiveness analysis of the emission abatement in the shipping sector emissions", European Commission Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability
- [5] Endresen, Ø., Sørsgard, E., Sundet, J.K., Dalsøren, S.B., Isaksen, I.S.A., Berglen, T.F. ve Grvir, G., (2003). "Emission from international sea transportation and environmental impact", *Journal of Geophysical Research*, 108, 4560. doi:10.1029/2002JD002898
- [6] Corbett, J.J. ve Köhler, H.W., (2003). "Updated emissions from ocean shipping", *Journal of Geophysical Research*, 108, NO. D20, 4650, doi:10.1029/2003JD003751
- [7] Endresen, Ø., Sørsgard, E., Bakke, J. ve Isaksen, I.S.A., (2004). "Substantion of a lower estimate for the bunker inventory: Comment on Updated emissions from ocean shipping by James J. Corbett and Horst W. Köhler", *Journal of Geophysical Research*, 109, D23302
- [8] Corbett, J.J. ve Köhler, H.W., (2004). "Considering alternative input parameters in an activity based ship fuel consumption and emission model: Reply comment by Øyvind Endresen et al. on Updated emissions from ocean shipping", *Journal of Geophysical Research*, 109, D23303
- [9] Eyring, V., Köhler, H.W., van Aardenne, J. ve Lauer, A., (2005a). "Emissions from international shipping: 1. The last 50 years", *Journal of Geophysical Research*, 110, D17305, doi: 10. 1029/2004JD005619
- [10] Winther, M., (2008). "New national Emission inventory for navigation in Denmark", *Atmospheric Environment*, 42, 4632-4655

- [11] Endresen, Ø., Sjørgard, E., Behrens, H.L., Brett, P.O. ve Isaksen, I.S.A., (2007). "A historical reconstruction of ships' fuel consumption and emissions", *Journal of Geophysical Research*, 112, D12301, doi: 10.1029/2006JD007630
- [12] Dalsøren, S.B., Eide, M.S., Endresen, Ø., Mjelde, A., Gravr, G. ve Isaksen, I.S.A., (2009). "Update on emissions and environmental impacts from the international fleet of ships: The contribution from major ship types and ports", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 2171-2194
- [13] IMO, (2009). Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H., Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W.Q. ve Yoshida, K., "Second IMO Greenhouse Gas (GHG) Study"
- [14] Georgakaki, A., Coffey, R.A., Lock, G. ve Sorenson, S.C., (2005). "Transport and environment database system (TRENDS): Maritime air pollutant emission modeling", *Atmospheric Environment*, 39, 2357-2365
- [15] Wang, C. ve Corbett, J.J., (2005). "Geographical characterization of ship traffic and emissions", *Transportation Research Record*, 1909
- [16] Wang, C., Corbett, J.J. ve Firestone, J., (2007a). "Improving spatial representation of global ships emission inventories", *Environmental Science & Technology*, 41 (24), 8233-8239
- [17] Winebrake, J.J., Corbett, J.J., Green, E.H., Lauer, A. ve Eyring, V., (2009). "Mitigating the health impacts of pollution from oceangoing shipping: An assessment of low-sulfur fuel mandates", *Environmental Science & Technology*, 43 (13), 4776-4782
- [18] ENTEC, (2005a). "Service contract on ship emissions: Assignment, abatement and market-based instruments, Task 1-Preliminary Assignment of Ship Emissions to European Countries", Final Report, August
- [19] IIASA, (2007). "Analysis of policy measures to reduce ship emissions in the context of the revision of the national emissions ceilings directive", Final Report, April
- [20] Wang, C., Corbett, J.J. ve Firestone, J., (2007b). "Modeling energy use and emissions from North American shipping: Application of the ship traffic, energy and environmental model", *Environmental Science & Technology*, 41 (9), 3226-3232
- [21] Wang, C., Corbett, J.J. ve Winebrake, J.J., (2007c). "Cost-effectiveness of reducing sulfur emission from ships", *Environmental Science & Technology*, 41 (24), 8233-8239
- [22] Corbett, J.J., Wang, H. ve Winebrake, J.J., (2009). "The effectiveness and costs of speed reduction on emissions from international shipping", *Transportation Research Part D*, 14 (8), 593-598
- [23] Schrooten, L., Vlieger, D.I., Panis, I.L., Chiffi, C. ve Pastori, E., (2009). "Emissions of maritime transport: A European reference system", *Science of the Total Environment*, 408, 318-323
- [24] Jalkanen, J.P., Brink, A., Kalli, P., Pettersson, H., Kukkonen, J. ve Stipa, T., (2009). "A modeling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9, 9209-9223

- [25] Paxian, A., Eyring, V., Beer, W., Sausen, R. ve Wright, C., (2010). "Present-day and future global bottom-up ship emission inventories including polar routes", *Environmental Science and Technology*, 44 (4), 1333-1339
- [26] Faber, J., Markowska, A., Nelissen, D., Davidson, M., Eyring, V., Cionni, I., Selstad, E., Kågeson, P., Lee, D., Buhaug, Ø., Lindtsad, H., Roche, P., Humpries, E., Graichen, J., Cames, M. ve Schwarz, W., (2009). "Technical support for European action to reducing greenhouse gas emissions from international maritime transport", Tender DG ENV.C3/ATA/2008/0016, Delft, CE Delft
- [27] Farrell, A.E., Keith, D.W. ve Corbett, J.J., (2003). "A strategy for introducing hydrogen into transportation", *Energy Policy*, 31 (13), 1357-1367
- [28] Amann, M., Cofala, J., Heyes, C., Klimont, Z., Mechler, R., Posch, M. ve Schöpp, W., (2004). "The RAINS model, Documentation of the model approach prepared for the RAINS peer review", International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria
- [29] Skjølsvik, K.O., Andersen, A.B., Corbett, J.J. ve Skjelvik, J.M., (2000). "Study of Greenhouse gas emissions from Ships", Final Report to the International Maritime Organization, Trondheim, Norveç
- [30] Bilgili, L. ve Çelebi, U.B., (2012a). "Gemi Yaşam Döngüsü Analizi'nde Atık Yönetimi Modeli", *Gemi İnşaatı ve Denizcilik Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı*, 525-533
- [31] Shama, M.A., (2005). "Life cycle assessment of ships, Maritime Transportation and Exploitation of Ocean and Coastal Resources", Taylor & Francis Group, London, ISBN 0 415 39036 2
- [32] Bilgili, L. ve Çelebi, U.B., (2012b). "Life cycle assessment method establishment for a green shipyard concept", *International Conference of Sustainable Intelligent Manufacturing, Proceedings*, 269-271, 26-29 June, Lisbon, Portugal
- [33] Bilgili, L. ve Çelebi, U.B., (2012c). "Life cycle assessment approach of waste management for ship operation", *International Conference of Sustainable Intelligent Manufacturing, Proceedings*, 273-276, 26-29 June, Lisbon, Portugal
- [34] CALEPA, (2011). "Emission Estimation Methodology for Ocean-Going Vessels", California Air Resources Board Planning and Technical Support Division
- [35] Cooper, D. ve Gustafsson, T., (2004). "Methodology for calculating emissions from ships: 1. Update of emission factors, Report for Swedish Methodology for Environmental Data", 2nd of February
- [36] Trozzi, C., (2010). "Emission estimate methodology for maritime navigation" 19th International Emission Inventory Conference, 27-30 September, San Antonio, ABD
- [37] Endresen, Ø., Eide, M., Dalsøren, S., Isaksen, I.S. ve Sørsgård, E., (2008). "The environmental impacts of increased international maritime shipping Past trends and future perspectives", *Global Forum on Transport and Environment in a Globalizing World*, 10-12 November, Guadalajara, Mexico
- [38] UNCTAD, (2012). "Review of Maritime Transport, United Nations Conference on Trade and Development", 2012.

[39] ICS, Number of Ships, (2010).

<http://www.ics-shipping.org/shippingfacts/worldtrade/number-of-ships.php> (19 Nisan 2013)

[40] IPCC, (2000). "Emission Scenarios: A Special Report of IPCC Working Group III", Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge Univ. Press, New York.

[41] Eyring, V., Köhler, H.W., Lauer, A. ve Lemper, B., (2005b). "Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050", Journal of Geophysical Research, 110, D17306, doi: 10.1029/2004JD005620

[42] International Maritime Fund (IMF), (2004). "World Economic Outlook", Washington D.C.

[43] Fearnresearch, (2004). "Fearnleys Review, 2003, The Tanker and Bulk Markets and Fleets", Oslo

[44] IPCC, (1996). "Climate Change 1995, The Science of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press

[45] Zhang, H., Wu, J. ve Lu, Peng, (2011). "A study of the radiative forcing and global warming potentials of hydrofluorocarbons", Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer, 112, 220-229

[46] Wang, S., (2005). "Dynamics of surface albedo of a boreal forest and its simulation", Ecological Modelling, 183, 477-494

[47] IEA, (2000). International Energy Agency, "World Energy Outlook"

[48] IEA, (2005). International Energy Agency, "World Energy Outlook"

[49] IMO, (2007). "Report on the outcome of the informal cross government/industry scientific group of experts established to evaluate the effects of the different fuel options proposed under the revision of MARPOL Annex VI", 20 December, IMO Document BLG 12/6/1

[50] Butt, N. (2007). "The impact of cruise ship generated waste on home ports and ports of call: A study of Southampton", Marine Policy, 31, 591-598

[51] Haglind, F., (2008b). "A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part III: Fuels and emissions", Energy Conversion and Management, 49, 3476-3482

[52] Wilde, H.P.J., Kroon, P., Mozaffarian, M. ve Sterker, T., (2007). "Quick scan of the economic consequences of prohibiting residual fuels in shipping". ENC-E-07-051

[53] Miola, A., Paccagnan, V., Mannino, I., Massarutto, A., Perujo, A. ve Turvani, M., (2009). "External costs of transportation case study: Maritime transport", EU-Report, Scientific and Technical Research Series. ISSN 1018-5593, Luxembourg

[54] Celebi, U.B., (2008). Gemi İnşaatında Atıklar ve Boya Emisyon Tahmini, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi

[55] Hayman, B., Dogliani, M., Kvale I. ve Fet, A.M., (2000). "Technologies for reduced environmental impact from ships: Ship building, maintenance and dismantling

aspects”, Conference Proceedings, ENSUS 2000, Marine Science and Technology for Environmental Sustainability Department of Marine Technology and Science and Coastal Management, University of Newcastle

[56] Deniz, C., (2012). “Gemi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Oluşumu Etkileri ve Azaltılması”, Gemi Kaynaklı Deniz ve Hava Kirliliği Semineri, 26 Mart, İTÜ Denizcilik Fakültesi

[57] Devotta, S., Sicars, S., Agarwal, R., Anderson, J., Bivens, D., Colbourne, D., Hundy, G., König, H., Lundqvist, P., McInerney, E. ve Nekså, P., (2005). “Refrigeration in Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System-Issues related to Hydrofluorocarbons and Perfluorocarbons, B. Metz et al. (eds)”. Intergovernmental Panel on Climate Change, Technology and Economic Assessment Panel, Cambridge University Press, UK

[58] Bailey, D. ve Solomon, G., (2004). “Pollution prevention at ports: Clearing the air”, Environmental Impact Assessment Review, 24, 749-774

[59] Lu, G., Brook, J.R., Rami, A.M., Anlauf, K., Leatich, W.R., Sharma, S., Wang, D., Worsnop, D.R. ve Phinney, L., (2006). “Identification and characterization of inland ship plumes over Vancouver”, British Columbia, Atmospheric Environment, 40, 2767-2782

[60] Corbett, J.J., Fischbeck, P.S. ve Pandis, S.N., (1999). “Global nitrogen and sulphur inventories for ocean-going ships”, Journal of Geophysics Research, 104 (3), 3457-3470

[61] Wahlström, J., Karvesenoja, N. ve Porvari, P., (2006). “Ship emissions and technical emission reduction potential in the Northern Baltic Sea”, Reports of Finnish Environment Institute, Helsinki

[62] DabDub, D. ve Vutukuru, S., (2008). “Air quality impacts of ship emissions in the south coast air basin of California”, Final Report, prepared for State of California Air Resources Board, Planning and Technical Support Division

[63] MEPC (2005). “Prevention of air pollution from ships. Reduced shipping emissions of air pollution-Feasible and cost-effective options”. International Maritime Organization (IMO), Marine Environment Protection Committee (MEPC), 53rd session, 7 April

[64] Kågesson, P., (1999). “Economic instruments for reducing emissions from sea transport”, Air Pollution and Climate Series No. 11/T & E Report 99/7, Solna, Sweden: Williamssons Offset

[65] EEB, (2004). “Air pollution from ships. A briefing document by: The European Environmental Bureau (EEB), The European Federation for Transport and Environment (T & E)”, Seas At Risk (SAR), The Swedish NGO Secretariat and Acid Rain

[66] Henningsen, R.F., (2000). “Study of greenhouse gas emissions from ships, Final report to the International Maritime Organization”, MARINTEK, Trondheim, Norway

[67] Haglind, F., (2008a). “A review on the use of gas and steam turbine combined cycles as prime movers for large ships. Part I: Background and design”, Energy Conversion and Management, 49, 3458-3467

[68] WHO, (2003). “Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide, Report on a WHO (World Health Organization) Working Group”, 13-15 January, Bonn, Germany

- [69] Lyyränen, J., Jodiniemi, J., Kauppinen, E. ve Joutsensaari, J., (1999). "Aerosol characterization in medium-speed diesel engines operating with heavy fuel oils", *Journal of Aerosol Science*, 30 (6), 777-784
- [70] Flagan, R. ve Seinfeld, J., (1998). *Fundamentals air pollution engineering*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey
- [71] Corbett, J.J., Winebrake, J.J., Green, E.H., Kasibhatla, P., Eyring, V. ve Lauer, A., (2007). "Mortality from ship emissions: A global assessment, *Environmental Science & Technology*", 41 (24), 8233-8239
- [72] Moldanová, J., Fridell, E., Popovicheva, O., Demirdjian, B., Tishkova, V., Faccineto, A. ve Focsa, C., (2009). "Characterization of particulate matter and gaseous emissions from a large ship diesel engine", *Atmospheric Environment*, 43, 2632-2641
- [73] Eyring, V., Stevenson, D.S., Lauer, A., Dentener, F.J., Butler, T., Collins W.J., Ellingsen, K., Gauss, M., Hauglustaine, D.A., Isaksen, I.S.A., Lawrance, M.G., Richter, A., Rodriguez, J.M., Sanderson, M., Strahan, S.E., Sudo, K., Szopa, S., van Noije, T.P.C. ve Wild, O., (2007). "Multi-model simulations of the impact of international shipping on atmospheric chemistry and climate in 2000 and 2030", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 757-780
- [74] Lauer, A., Eyring, V., Hendricks, J., Jöckel, P. ve Lohmann, U., (2007). "Effects on ocean-going shipping on aerosols and clouds", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 7, 5061-5079
- [75] Schreier, M., Kokhanovsky, A.A., Eyring, V., Bugliaro, L., Mannstein, H., Mayer, B., Bovensmann, H. ve Burrows, J.P., (2006). "Impact of ship emissions on the microphysical, optical and radiative properties of marine status: a case study", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 6, 4925-4942
- [76] Schreier, M., Mannstein, H., Eyring, V. ve Bovensmann, H., (2007). "Global ship track distribution and radiative forcing from 1-year of AATSR-data", *Geophysical Research Letters* 34, L17814, doi:10.1029/2007GL030664
- [77] Capaldo, K., Corbett, J.J., Kasibhatla, P., Fischbeck, P.S. ve Pandis, S.N., (1999). "Effects of ship emissions on sulphur cycling and Radiative climate forcing over the ocean", *Nature*, 400, 743-746
- [78] Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Grainger, R.G., Moldanová, J., Schlager, H. ve Stevenson, D.S., (2010). "Assessment of transport impacts on climate and ozone: Shipping", *Atmospheric Environment*, 44 (37), 4735-4771
- [79] Liquid Minerals Group Inc., Bunker Fuels, <http://liquidminerals.com/framebf.htm> (3 Mayıs 2013)
- [80] Millero, F.J., (1995). "Thermodynamics of the carbon dioxide system in the oceans", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 59 (4), 661-677
- [81] Doney, S.C., Fabry, V.J., Feely, R.A. ve Kleypas, J.A., (2009). "Ocean acidification: The other CO₂ problem", *Annual Review of Marine Sciences*, 1, 169-192, doi: 10.1146/annurev.marine.010908.163834

- [82] The Royal Society, (2005). "Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide" ISBN 0 85403 617 2
- [83] Tyrrell, T., (2008). "Calcium carbonate cycling in future oceans and its influence on future climates", *Journal of Plankton Research*, 30 (2), 141-156, doi: 10.1093/plankt/fbm105
- [84] EEA, (2002). "European Environment Agency, Annual European community CLRTAP emission inventory 1990-2000", Technical Report 91
- [85] Trozzi, C. ve Vaccaro, R., (2000). "Environmental impact of port activities, Maritime Engineering and Ports 2", *The Built Environment* 51, Edited by Brebbia, C.A. ve Olivella, J., ISBN: 1-85312-829-5, ISSN: 1743-3509
- [86] Andreae, M.O. ve Crutzen, P.J., (1997). "Atmospheric aerosols: Bio-geochemical sources and role in atmospheric chemistry", *Science*, 276, 1052-1056
- [87] Lack, D., Lerner, B., Grainer, C., Baynard, T., Lovejoy, E., Massoli, P., Ravishankara, A.R. ve Williams, E., (2008). "Light absorbing carbon emissions from commercial shipping", *Geophysical Research Letters*, 35, L13815, doi: 10.1029/2008GL033906
- [88] Bond, T.C., Streets, D.G., Yarber, K.F., Nelson, S.M., Woo, J.-H. ve Klimont, Z., (2004). "A technology-based global inventory of black carbon and organic carbon emissions from combustion", *Journal of Geophysics Research*, 109, D14203, doi: 10.1029/2003JD003697
- [89] Saikawa, E., Naik, V., Horowitz, L.W., Liu, J. ve Mauzerall, D.L., (2009). "Present and potential future contributions of sulfate, black and organic carbon aerosols from China to global air quality, premature mortality and radiative forcing", *Atmospheric Environment*, 43, 2814-2822
- [90] Ramanathan, V. ve Carmichael, G., (2008). "Global and regional climate changes due to black carbon, Review Article", *Nature Geoscience*, 1, 221-227, doi: 10.1038/ngeo156
- [91] Flanner, M.G., Zender, C.S., Randerson, J.T. ve Schwarzbard, R., (2007). "Present-day forcing and response from black carbon in snow", *Journal of Geophysics Research*, 112, doi: 10.1029/2006JD008003
- [92] IPCC, (2007). "Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change 2007: The Physical Science Basis". Contribution of Working Group 1, 4th Assessment Report
- [93] Quinn, P.K., Bates, T.S., Baum, E., Doubleday, N., Fiore, A.M., Flanner, M., Fridlind, A., Garrett, T.J., Koch, D., Menon, S., Shindell, D., Stohl, A. ve Warren, S.G., (2008). "Short-lived pollutants in the Arctic: Their climate impacts and possible mitigation strategies", *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 1723-1735
- [94] Ferek, R.J., Hegg, D.A., Hobbs, P.V., Durkee, P. ve Nielsen, K., (1998). "Measurements of ship-induced tracks in clouds off the Washington coast", *Journal of Geophysics Research*, 103 (D18), 199-206
- [95] Park, R.J., Jacob, D.J., Chin, M. ve Martin R.V., (2003). "Sources of carbonaceous aerosols over the United States and implications for natural visibility", *Journal of Geophysical Research*, 108 (D12), 4355, doi: 10.1029/2002JD003190

- [96] Smith, K.R., (2005). "National burden of disease in India from indoor air pollution", Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America, 97, 13286-13293
- [97] Winther, M. ve Nielsen, O.K., (2011). "Technology dependent BC and OC emissions for Denmark, Greenland and the Faroe Islands calculated for the time period 1990-2030", Atmospheric Environment, 45, 5880-5895
- [98] Hall, W.J., (2010). "Assessment of CO₂ and priority pollutant reduction by installation of shoreside power", Resources, Conservation and Recycling, 54, 462-467
- [99] ENTEC, (2005b). "Service contract on ship emissions: Assignment, abatement and market-based instruments, Task 2a-Shore Side Electricity Final Report", August
- [100] Wärtsilä, (2004). "Lifetime Responsibility, Annual Report 2004", Sustainability Report
- [101] Trozzi, C. ve Vaccaro, R., (1998). "Methodologies for estimating future air pollutant emissions from ships", Techne Report MEET RF98
- [102] ENTEC, (2005c). "Service contract on ship emissions: Assignment, abatement and market-based instruments, Task 2c-SO₂ Abatement Final Report", August
- [103] Tzannatos, E., (2010). "Ship emissions and their externalities for Greece, Atmospheric Environment, 44, 2194-2202
- [104] Kesgin U. and Vardar N., (2001). "A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits", Atmospheric Environment, 35, 1863-1870
- [105] Sarıöz, K. ve Sarıöz, E., (2006). Gemi Tekne Formlarının Geometrik Dizaynı, Deniz Ticaret Odası Yayınları, Yayın No: 70

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : LEVENT BİLGİLİ
Doğum Tarihi ve Yeri : 04.12.1987/BURSA
Yabancı Dili : İNGİLİZCE
E-posta : leventbilgili1661@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Bursa Anadolu Lisesi	2006

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2011-2012	Balıkesir Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2012-	Yıldız Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

YAYINLARI

Bildiri

1. Levent Bilgili, Uğur Buğra Çelebi, Gülsüm Aydın, Güler Alkan, 2011. A New Approach and Concept on Reducing the Environmental Impacts of Shipping: Green Ship, 16th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impact on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2011, 24-27 Eylül, İonia-Yunanistan
2. Levent Bilgili, Mehmet Tefvik Aydın, Hakan Demirel, Tayfun Kemer, Orhun Orhan, Uğur Buğra Çelebi, 2012. An Investigation on Emissions of Intermodal Freight Transportation, 2nd International 100 % Renewable Energy Conference and Exhibition, IRENEC-2012, 28-30 Haziran, Proceedings pp. 217-223, İstanbul, Türkiye
3. Levent Bilgili, Kaan Ünlügençoğlu, Uğur Buğra Çelebi, 2012. An Investigation on Effective Ballast Water Treatment System Management to Prevent Marine Pollution Caused by Shipping, Global Conference on Global Warming, GCGW-12, 8-12 Temmuz, Proceedings pp. 868-872, İstanbul-Türkiye
4. Levent Bilgili, Taner Coşgun, Uğur Buğra Çelebi, 2012. An Investigation on Waste Management Model of Ships with Life Cycle Assessment, Global Conference on Global Warming, GCGW-12, 8-12 Temmuz, Proceedings pp. 873-877, İstanbul-Türkiye
5. Levent Bilgili, Taner Coşgun, Gökhan Özdamar, Uğur Buğra Çelebi, 2012. Emission Reduction Methods for Environmentally Friendly Ships, Global Conference on Global Warming, GCGW-12, 8-12 Temmuz, Proceedings pp. 1014-1018, İstanbul-Türkiye
6. Levent Bilgili, Uğur Buğra Çelebi, 2012. Gemi Yaşam Döngüsü Analizinde Atık Yönetimi Modeli, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Teknik Kongresi, 13-14 Aralık, Bildiriler Kitabı pp. 525-533, İstanbul-Türkiye
7. Levent Bilgili, Damla Deli, Uğur Buğra Çelebi, 2013. An Innovative Six Sigma and Lean Manufacturing Approach for Environmental Friendly Shipyard, Sustainable Intelligent Manufacturing, SIM-2013, 26-29 Haziran, Proceedings pp. 263-268, Lizbon-Portekiz
8. Levent Bilgili, Uğur Buğra Çelebi, 2013. Life Cycle Assessment Approach of Waste Management for Ship Operation, Sustainable Intelligent Manufacturing, SIM-2013, 26-29 Haziran, Proceedings pp. 269-271, Lizbon-Portekiz
9. Levent Bilgili, Uğur Buğra Çelebi, 2013. An Innovative Method Establishment for a Green Shipyard Concept, Sustainable Intelligent Manufacturing, SIM-2013, 26-29 Haziran, Proceedings pp. 273-276, Lizbon-Portekiz
10. Levent Bilgili, Mustafa Alvar, Hüseyin Elçiçek, Zafer Aydın, Aytekin Duranay, Gökhan Karaman, Hakan Saral, Uğur Buğra Çelebi, 2013. An Investigation and Comparison on Energy Efficiency Design Index (EEDI) and Energy Efficiency Operational Indicator

(EEOI) OF Some Ships, 17th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impacts on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 Eylül-1 Ekim, İstanbul-Türkiye

11. Levent Bilgili, Abdullah Çay, Bilkutay Yılmaz, Kutsi Mert Şenöz, Erhan Aslantaş, Emre Öztürk, Uğur Buğra Çelebi, 2013. Annual Carbon Footprint Estimation of a Ship and the Comparison of the Emission Amounts with Different Transportation Modes, 17th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impacts on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 Eylül-1 Ekim, İstanbul-Türkiye

12. Levent Bilgili, İbrahim Bitikçioğlu, Abdülkadir Sarı, Sertaç Gümüştekin, Hasan Baykal, Uğur Buğra Çelebi, 2013. Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI) Calculation of Some Ships and a Life Cycle Assessment (LCA) Model to Reduce the Environmental Impacts, 17th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impacts on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 Eylül-1 Ekim, İstanbul-Türkiye

13. Tolga Mert, Levent Kuzu, Uğur Buğra Çelebi, Levent Bilgili, 2013. Investigation of Pollution from Welding Fume and Worker Exposure in Turkish Shipyards, 17th International Symposium on Environmental Pollution and Its Impacts on Life in the Mediterranean Region, MESAEP-2013, 28 Eylül-1 Ekim, İstanbul-Türkiye

Kitap Bölümü

1. Levent Bilgili, Kaan Ünlügençoğlu, Uğur Buğra Çelebi, 2013. Effective Ship Ballast Water Treatment System Management, Chapter 52 of Causes, Impacts and Solutions to Global Warming, Springer, ISBN 978-1-4614-7587-3, 2013

Proje

1. Çevreci Tersanelere İlk Adım: Gemi İmalatı Sırasında Ortaya Çıkan, Çevreye ve İnsana Zararlı Kaynak Gazlarının Ölçümü, Duman İçeriğindeki Solunabilir Partiküllerin Analizlerinin Gerçekleştirilmesi ve İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi. Proje Yürütücüsü: Y. Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi, Proje Ekibi: Doç. Dr. Serkan Ekinci, Ar. Gör. Dr. Tolga Mert, Ar. Gör. Levent Bilgili, Utku Özenir, Proje Numarası: 2013-10-01-KAP05, Kapsamlı Araştırma Projesi (KAP), Başlangıç Tarihi: 21.10.2013, Bitiş Tarihi: 21.10.2016

2. Kaynaklı İmalatta Ortaya Çıkan Zararlı Duman Miktarı Ölçümü için Kaynak Dumanı Kabini Tasarımı, İmalatı ve Emisyon Katsayısı Geliştirilmesi. Proje Yürütücüsü: Ar. Gör. Dr. Tolga Mert, Proje Ekibi: Y. Doç. Dr. Uğur Buğra Çelebi, Ar. Gör. Levent Bilgili, Ar. Gör. Kutsi Mert Şenöz, Proje Numarası: 2013-06-01-GEP01, Genç Araştırmacı Destek Projesi (GEP), Başlangıç Tarihi: 14.06.2013, Bitiş Tarihi: 14.06.2013