

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BOĞAZINDAN GEÇEN TİCARİ GEMİLERDEN KAYNAKLANAN
EMİSYONUN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Cenk AY

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL BOĞAZINDAN GEÇEN TİCARİ GEMİLERDEN KAYNAKLANAN
EMİSYONUN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Cenk AY
(512171018)**

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Elif BAL BEŞİKÇİ

HAZİRAN 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 512171018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Cenk AY, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İSTANBUL BOĞAZINDAN GEÇEN TİCARİ GEMİLERDEN KAYNAKLANAN EMİSYONUN İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Elif BAL BEŞİKÇİ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Tanzer SATIR**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Elif BAL BEŞİKÇİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Görkem KÖKKÜLÜNK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 28 Mayıs 2020
Savunma Tarihi : 02 Haziran 2020





B.B. 'ye,



ÖNSÖZ

Sorun kelimesinin Türk Dil Kurumu'nun Güncel Türkçe Sözlük'ündeki ilk anlamı: Araştırıp öğrenilmesi, düşünülüp çözümlenmesi, bir sonuca bağlanması gereken durum, mesele ve problem olarak yer almaktadır. Bu çalışmada, hava kirliliği sorunu hakkında araştırmalar yapılmış ve çözümleri üzerine düşünülmüştür.

Bir denizci olarak gemi kaynaklı hava kirliliğinin boyutlarını gözler önüne serebilmek ve somut bir sonuç elde edebilmek adına, Türkiye'nin en yoğun nüfus popülasyonunun yaşadığı İstanbul'a, İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilere dikkat çekilmiştir. Denizcilik, mevcut dünya düzeninin ve ticaretinin devamı için günümüzdeki en etkili ve ekonomik yoldur ancak denizciliğin de hatırı sayılır bir pay sahibi olduğu artan hava kirliliği ise tüm canlı yaşamını olumsuz etkilemektedir. Mevcut düzenin sorunları ile ilgili çalışmalar yapıldıkça dünyamızın iyileşeceğine ve temiz hava solumanın herkesin en doğal hakkı olduğuna olan inancım bu tezin temelini oluşturmaktadır.

Bu tezin oluşturulmasında danışmanlığımı üstlenip bana destek veren ve beni hep daha iyiye yönlendiren saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Elif BAL BEŞİKÇİ'ye sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım. Ne olursa olsun sadece benim mutluluğumu düşünen, isteyen ve bunun için çabalayan canım aileme, benim ben olmama imkân verdikleri için çok teşekkür ederim. Sevincimde de hüznümde de yanı başımda oluveren, en zor süreçlerimde bana kol kanat geren, sıcak yuvasını açan, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, lisans hayatımın ilk gününden bu yana her daim yanımda olan, ailem gibi diyemeyeceğim doğrudan ikinci ailem olan, canlarım Alper ve Banu SEYHAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Onu, ona olan hislerimi ve bu tezin oluşmasındaki hatta bu mesleğe adım atışımdaki katkılarını anlatmaya kelimelerim yetmiyor. Tanıdığım günden bu yana aldığım her nefeste bana sonsuz destek veren, en basitinden en zoruna almam gereken kararlarda beni yüreklendiren, aldığım kararlarda beni sonsuz destekleyen, hayatımın merkezinde yer alan, yaşadığım her anımı paylaştığım ve kalan ömrümün tamamını paylaşmak istediğim, güzeller güzeli sevgilim, her şeyim Buse BABAOĞLU'na tarifsiz teşekkür ederim. Sensiz olmazdı.

Haziran 2020

Cenk AY
(Uzakyol Birinci Zabiti)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Tezin Kısıtları ve Limitleri.....	5
2. İSTANBUL VE BOĞAZLAR BÖLGESİ.....	9
2.1 İstanbul'a Genel Bakış	9
2.2 İstanbul Boğazı'nın Yapısal Özellikleri ve Seyire Etkisi.....	10
2.3 Türk Boğazları'nın Deniz Hukuku Açısından Değerlendirilmesi.....	14
2.3.1 Ulusal ve uluslararası boğaz tanımları	15
2.3.2 Deniz hukuku konferanslarında boğazlardan geçiş önerileri.....	16
2.3.3 Montrö Boğazlar Sözleşmesi	19
3. HAVA KİRLİLİĞİ VE GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLAR	21
3.1 Hava Kirliliği.....	21
3.2 Çevresel Performans İncelemelerinin Türkiye Açısından Değerlendirmesi	21
3.3 Hava Kirliliğinin Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	31
3.3.1 Partikül maddelerin sağlık üzerindeki etkileri	31
3.3.2 Hava kirliliğinin çocuk sağlığı üzerindeki etkileri.....	33
3.3.3 Türkiye'de 2017 yılı PM _{2.5} kirliliğinin sağlık etkileri	34
3.4 Hava Kirliliğinin İklim Değişikliği Üzerindeki Etkileri	35
3.4.1 Hava kirliliğinin Arktik Bölge üzerindeki etkileri	35
3.4.2 Hava kirliliğinin Türkiye'deki etkileri	36
3.5 Deniz Taşımacılığının Dünya Hava Kirliliğine Etkisi	38
3.5.1 Karbondioksit (CO ₂)	39
3.5.2 Azot oksitler (NO _x).....	39
3.5.3 Sülfür oksitler (SO _x)	40
3.5.4 Partikül madde (PM).....	40
3.6 Deniz Taşımacılığından Kaynaklı Hava Kirliliğinin Azaltılması	40
3.6.1 Enerji kaynakları	41
3.6.2 Gemi değişiklikleri.....	42

3.6.3 Operasyonel verimlilik	44
4. GEMİ KAYNAKLI EMİSYONUN HESABI VE TAHMİNİ.....	47
4.1 Metodoloji	47
4.1.1 ENTEC metodolojisi	48
4.1.2 EPA metodolojisi	49
4.1.3 Tahmin Metodolojisi	50
4.2 Gemi Tiplerinin Sınıflandırılması	51
4.2.1 Gemi sayısının tespiti	52
4.2.2 Gemi yaşının tespiti	55
4.2.3 Sürenin belirlenmesi	55
4.3 Makine Özellikleri ve Yakıt Tipi	58
4.3.1 ENTEC metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesi	59
4.3.2 EPA metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesi	60
4.3.3 Makine güç biriminin çevrilmesi	60
4.3.4 ENTEC metodolojisinde yardımcı makine gücünün belirlenmesi	61
4.3.5 EPA metodolojisinde yardımcı makine gücünün belirlenmesi	62
4.4 Yük Faktörü (Load Factor, LF)	62
4.4.1 ENTEC metodolojisinde ana makine yük faktörü	63
4.4.2 EPA metodolojisinde ana makine yük faktörü	64
4.4.3 ENTEC metodolojisinde yardımcı makine yük faktörü	66
4.4.4 EPA metodolojisinde yardımcı makine yük faktörü	66
4.5 Emisyon Faktörü (Emission Factor, EF)	67
4.5.1 ENTEC metodolojisinde ana makine emisyon faktörü	67
4.5.2 EPA metodolojisinde ana makine emisyon faktörü	68
4.5.3 ENTEC metodolojisinde yardımcı makine emisyon faktörü	69
4.5.4 EPA metodolojisinde yardımcı makine emisyon faktörü	69
5. YÖNTEMLERİN UYGULANMASI VE DEĞERLENDİRME.....	71
5.1 Emisyon Türüne Göre Değerlendirme	71
5.1.1 Karbondioksit (CO ₂) kirleticisinin değerlendirilmesi	73
5.1.2 Azot oksit (NO _x) kirleticisinin değerlendirilmesi	76
5.1.3 Sülfür oksit (SO ₂) kirleticisinin değerlendirilmesi	80
5.1.4 Partikül madde (PM) kirleticisinin değerlendirilmesi	82
5.1.5 Uçucu Organik Bileşik (VOC) ve Hidrokarbon (HC) değerlendirilmesi	84
5.1.6 Karbonmonoksit (CO) kirleticisinin değerlendirilmesi	86
5.2 Boğazdaki Trafik Yönüne Göre Değerlendirme	88
5.2.1 Kullanılan hesaplama yöntemine göre değerlendirme	88
5.2.2 Seneler ile ilişkili trafik yönüne göre değerlendirme	91
5.2.3 Gemi tipi ile ilişkili trafik yönüne göre değerlendirme	98
5.3 Tahmin Yönteminin Uygulanması ve Değerlendirilmesi	114
5.3.1 Kullanılacak verilerin belirlenmesi	114
5.3.2 Doğrulama modelinin seçilmesi	115
5.3.3 Regresyon modelinin belirlenmesi	118
5.3.4 Belirlenen regresyon modelinin tahmin verilerine uygulanması	120
5.3.5 Tahmin değerlerinin emisyon türüne göre değerlendirilmesi	123
6. TARTIŞMA.....	129
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	133
KAYNAKLAR.....	137
EKLER.....	151
EK A: EPA metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesi	151
ÖZGEÇMİŞ.....	161

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
AE	: Auxiliary Engine
BMDHS	: Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi
CO	: Carbon Monoxide
COLREG	: Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü
CO₂	: Carbon Dioxide
ÇPI	: Çevresel Performans İncelemeleri
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
EC	: European Commission
ECA	: Emission Control Area
ECSA	: European Community Shipowners' Associations
EEA	: European Environment Agency
EU	: European Union
GBD	: Global Burden of Disease Study 2016
GRT	: Gross Registered Tonnes
GT	: Gas Turbine
HC	: Hidrokarbon
HFO	: Heavy Fuel Oil (Residual Oil)
HSD	: High Speed Diesel
ICJ	: International Court of Justice
IEA	: International Energy Agency
IMO	: International Maritime Organization
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
KBBS	: Karasuları ve Bitişik Bölge Sözleşmesi
kW	: Kilowatt
LMIU	: Lloyd's Marine Intelligence Unit (also known as Lloyd's List)
MCR	: Maximum Continuous Rating
MDO	: Marine Diesel Oil (a blend of Heavy Fuel Oil and Marine Gas Oil)
MGO	: Marine Gas Oil
ME	: Main Engine
MEPC	: Marine Environment Protection Committee
MEU	: Ministry of Environment and Urbanization
MSD	: Medium Speed Diesel
MoD	: Ministry of Development
NO_x	: Nitrogen oxides
OECD	: The Organization for Economic Co-operation and Development
PM	: Particulate Matter
PM₁₀	: Particulate Matter with an aerodynamic diameter of less than 10 µm
PM_{2.5}	: Particulate Matter with an aerodynamic diameter of less than 2.5 µm
RO	: Residual Oil
RPM	: Revolutions per Minute

RSZ	: Reduced Speed Zone
SECA	: Sulphur Emission Control Area
SFC	: Specific Fuel Consumption
SO_x	: Sulphur oxides
SO₂	: Sulphur dioxide
SSD	: Slow Speed Diesel
ST	: Steam Turbine
TBDTDT	: Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü
THHP	: Temiz Hava Hakkı Platformu
TSMS	: Turkish State Meteorological Service
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UAB	: Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
UCL-CRED	: United Nations Conference on Trade and Development
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
UNICEF	: United Nations International Children's Emergency Fund
UN	: United Nations
US EPA	: United States Environmental Protection Agency
VOC	: Volatile Organic Compounds
WHO	: World Health Organization

SEMBOLLER

AE_{kw}	: Auxiliary engine power, yardımcı makine gücü
CF	: Conversion factor, dönüşüm faktörü
D	: Distance, mesafe
E	: Emission, emisyon miktarı
EF	: Emission factor, emisyon faktör
h	: Hour, saat
HP	: Horse power, beygir gücü
kW	: Kilowatt, kilovat
LF	: Load factor, yük faktörü
MCR	: Maximum Continuous Rating, makinenin kullandığı kapasite
ME_{kw}	: Main engine power, ana makine gücü
P	: Power, güç
SFC	: Specific Fuel Consumption, özel yakıt tüketimi
t	: Time, zaman
V	: Velocity, hız



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Türkiye’de hava kalitesi ölçüm istasyonlarının durumu.	28
Çizelge 3.2 : Hava kirliliklerinin sağlık üzerindeki etkileri.	32
Çizelge 3.3 : İstanbul için dış ortam partikül madde kirliliği kaynaklı ölümler.....	35
Çizelge 4.1 : ENTEC (2010) ve EPA (2009) metodolojileri ile tezde gemilerin sınıflandırılması.	51
Çizelge 4.2 : SECA dışında kullanılan yakıt tipi (ENTEC, 2010).	59
Çizelge 4.3 : Makine tipinin belirlenmesi (ENTEC, 2010).	59
Çizelge 4.4 : Derin su limanlarına gelen “Barge Carrier” tipi gemi verileri (EPA, 2009).	60
Çizelge 4.5 : Yardımcı makine gücünün ana makine gücüne oranı (ENTEC, 2010).	61
Çizelge 4.6 : Yardımcı makine gücünün ana makine gücüne oranı (EPA, 2009).	62
Çizelge 4.7 : Farklı faaliyetlerde ana makine yük faktörü (ENTEC, 2010).	63
Çizelge 4.8 : Seyir hızında ana makine yük faktörü (EPA, 2009).	65
Çizelge 4.9 : Farklı faaliyetlerde yardımcı makine yük faktörü (ENTEC, 2002).	66
Çizelge 4.10 : Farklı faaliyetlerde yardımcı makine yük faktörü (EPA, 2009).	66
Çizelge 4.11 : “Seyir” için ana makine emisyon faktörleri (g/kWh) (ENTEC, 2010).	68
Çizelge 4.12 : Ana makine emisyon faktörleri (g/kWh) (EPA, 2009).	68
Çizelge 4.13 : Yardımcı makine emisyon faktörleri (g/kWh) (ENTEC, 2010).	69
Çizelge 4.14 : Yardımcı makine emisyon faktörleri (g/kWh) (EPA, 2009).	70
Çizelge 5.1 : ENTEC ile hesaplanan toplam emisyon miktarı (ton) (2010-2017). ...	72
Çizelge 5.2 : EPA ile hesaplanan toplam emisyon miktarı (2010-2017).	72
Çizelge 5.3 : Gemi tipine göre CO ₂ salınımı (2010-2017).	74
Çizelge 5.4 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam CO ₂ miktarı.	75
Çizelge 5.5 : NO _x Teknik Kodu gereklilikleri.	77
Çizelge 5.6 : Gemi türüne göre NO _x salınımı (2010-2017).	78
Çizelge 5.7 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam NO _x miktarı.	80
Çizelge 5.8 : Gemi türüne göre SO ₂ salınımı (2010-2017).	80
Çizelge 5.9 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam SO ₂ miktarı.	82
Çizelge 5.10 : Gemi türüne göre PM salınımı (2010-2017).	83
Çizelge 5.11 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam PM miktarı.	84
Çizelge 5.12 : Gemi türüne göre VOC ve HC salınımı (2010-2017).	85
Çizelge 5.13 : Toplam VOC ve HC emisyon miktarları.	86
Çizelge 5.14 : Gemi türüne göre CO salınımı (2010-2017).	87
Çizelge 5.15 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam CO miktarı.	88
Çizelge 5.16 : ENTEC’e göre trafik yönüne bağlı toplam emisyon miktarları.	89
Çizelge 5.17 : EPA’ya göre trafik yönüne bağlı toplam emisyon miktarları.	90
Çizelge 5.18 : 2010 yılı toplam emisyon miktarları (ton).	91
Çizelge 5.19 : 2011 yılı toplam emisyon miktarları (ton).	92
Çizelge 5.20 : 2012 yılı toplam emisyon miktarları (ton).	93

Çizelge 5.21 : 2013 yılı toplam emisyon miktarları (ton).....	93
Çizelge 5.22 : 2014 yılı toplam emisyon miktarları (ton).....	94
Çizelge 5.23 : 2015 yılı toplam emisyon miktarları (ton).....	95
Çizelge 5.24 : 2016 yılı toplam emisyon miktarları (ton).....	96
Çizelge 5.25 : 2017 yılı toplam emisyon miktarları (ton).....	97
Çizelge 5.26 : “Barge” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	99
Çizelge 5.27 : “Bulk Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	100
Çizelge 5.28 : “Cement Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	101
Çizelge 5.29 : “Chemical Tanker” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).....	102
Çizelge 5.30 : “Container” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton). ...	103
Çizelge 5.31 : “Ferry” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	104
Çizelge 5.32 : “General Cargo” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	105
Çizelge 5.33 : “LPG Tanker” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	106
Çizelge 5.34 : “Livestock Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).....	107
Çizelge 5.35 : “Passenger Ship” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	108
Çizelge 5.36 : “Refrigerated Cargo” kaynaklı toplam emisyon miktarı (ton).	109
Çizelge 5.37 : “Ro-Ro” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	110
Çizelge 5.38 : “Tanker” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	111
Çizelge 5.39 : “Vehicle Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).	112
Çizelge 5.40 : “Others”, diğer tipteki gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).....	113
Çizelge 5.41 : Geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarı.	115
Çizelge 5.42 : Emisyon türüne göre belirlenen regresyon modeli.	120
Çizelge 5.43 : 2018-2019 NO _x miktarının tahmini için hazırlanan veri.	121
Çizelge 5.44 : Regresyon analizi ile elde edilen tahmin değerleri.....	122
Çizelge 5.45 : NO _x emisyon miktarı (ton).....	123
Çizelge 5.46 : SO ₂ emisyon miktarı (ton).....	124
Çizelge 5.47 : CO ₂ ve CO emisyon miktarları (ton).	125
Çizelge 5.48 : VOC ve HC emisyon miktarları (ton).....	126
Çizelge 5.49 : PM, PM ₁₀ ve PM _{2.5} emisyon miktarları (ton).	127
Çizelge A.1 : Derin su limanlarına gelen “Auto Carrier” tipi gemi verileri.	153
Çizelge A.2 : Derin su limanlarına gelen “Barge Carrier” tipi gemi verileri.	153
Çizelge A.3 : Derin su limanlarına gelen “Bulk Carrier” tipi gemi verileri.	153
Çizelge A.4 : Derin su limanlarına gelen “Container Ship” tipi gemi verileri.	154
Çizelge A.5 : Derin su limanlarına gelen “General Cargo” tipi gemi verileri.....	155
Çizelge A.6 : Derin su limanlarına gelen “Miscellaneous” tipi gemi verileri.	155
Çizelge A.7 : Derin su limanlarına gelen “Passenger” tipi gemi verileri.	155
Çizelge A.8 : Derin su limanlarına gelen “Reefer” tipi gemi verileri.....	156
Çizelge A.9 : Derin su limanlarına gelen “Ro-Ro” tipi gemi verileri.....	156
Çizelge A.10 : Derin su limanlarına gelen “Tanker” tipi gemi verileri.	157
Çizelge A.11 : “Great Lake” için “Bulk Carrier” verileri.....	158

Çizelge A.12 : “Great Lake” için “Self Unloading Bulk Carrier” verileri.	158
Çizelge A.13 : “Great Lake” için “General Cargo” verileri.	158
Çizelge A.14 : “Great Lake” için “Tanker” verileri.	159





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Çalışmanın akış şeması.	5
Şekil 2.1 : İstanbul Boğazı.	11
Şekil 2.2 : İstanbul Boğazı'ndaki akıntılar.	12
Şekil 2.3 : İstanbul Boğazı'ndaki yüzey akıntısı ve orkoz akıntısı.	13
Şekil 2.4 : İstanbul boğazı gemi trafik hizmeti alanı ve sektörler.	14
Şekil 3.1 : Emisyonların ekonomik büyümeden nispi olarak ayrışması.	22
Şekil 3.2 : Hava emisyonlarının yıllara göre değişimi.	23
Şekil 3.3 : SG emisyon eğilimleri.	23
Şekil 3.4 : Yoğunluk, 2005-16 yüzde değişimi.	24
Şekil 3.5 : Kaynağa göre toplam birincil enerji arzı.	24
Şekil 3.6 : Hava kirliliği ile ilişkili artan ölüm oranları ve geçim maliyeti.	26
Şekil 3.7 : Sera gazı emisyonlarının dağılımı.	27
Şekil 3.8 : SG emisyonunun sektörel bazda üretim kıyaslaması.	27
Şekil 3.9 : İllere göre hava kalitesi (2018).	29
Şekil 3.10 : 2016 – 2018 yılı İstanbul ili yıllık PM ₁₀ ortalamaları.	29
Şekil 3.11 : Partikül madde yıllık ortalama limit karşılaştırması.	30
Şekil 3.12 : Türkiye açısından 2019 yılı OECD çevresel performans incelemeleri.	37
Şekil 3.13 : Türkiye'de bir yıl içinde görülen olağanüstü hava olayları sayısı.	37
Şekil 4.1 : Geçiş yapan gemilerin aylık dağılımı.	53
Şekil 4.2 : Boğazdaki trafik yönüne göre geçen gemi sayısı (2016 – 2017).	53
Şekil 4.3 : Gemi tiplerinin geçiş istatistiği (2010 – 2017).	54
Şekil 4.4 : Taşınan yük, geçen gemi sayısı ve gros tonaj karşılaştırması.	54
Şekil 4.5 : Gemi tipine göre ortalama yaş dağılımı.	55
Şekil 4.6 : Güney – Kuzey yönlü trafik için ortalama geçiş süreleri.	57
Şekil 4.7 : Kuzey – Güney yönlü trafik için ortalama geçiş süreleri.	57
Şekil 5.1 : ENTEC metodolojisindeki hesaba göre 2010- 2017 yılları arasındaki toplam emisyon miktarının emisyon türleri arasındaki dağılımı.	72
Şekil 5.2 : EPA metodolojisindeki hesaba göre 2010- 2017 yılları arasındaki toplam emisyon miktarının emisyon türleri arasındaki dağılımı.	73
Şekil 5.3 : CO ₂ emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.	75
Şekil 5.4 : NO _x emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.	79
Şekil 5.5 : SO ₂ emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.	81
Şekil 5.6 : PM emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.	83
Şekil 5.7 : VOC ve HC emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.	85
Şekil 5.8 : CO emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.	87
Şekil 5.9 : Trafik yönüne bağlı ENTEC'e göre hesaplanan emisyon miktarlarının yüzdelik karşılaştırılması.	89
Şekil 5.10 : Trafik yönüne bağlı EPA'ya göre hesaplanan emisyon miktarlarının yüzdelik karşılaştırılması.	90
Şekil 5.11 : 2010 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	91

Şekil 5.12 : 2011 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	92
Şekil 5.13 : 2012 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	93
Şekil 5.14 : 2013 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	94
Şekil 5.15 : 2014 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	95
Şekil 5.16 : 2015 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	96
Şekil 5.17 : 2016 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	97
Şekil 5.18 : 2017 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	98
Şekil 5.19 : “Barge” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	99
Şekil 5.20 : “Bulk Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	100
Şekil 5.21 : “Cement Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	101
Şekil 5.22 : “Chemical Tanker” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	102
Şekil 5.23 : “Container” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	103
Şekil 5.24 : “Ferry” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	104
Şekil 5.25 : “General Cargo” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	105
Şekil 5.26 : “LPG Tanker” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	106
Şekil 5.27 : “Livestock Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	107
Şekil 5.28 : “Passenger Ship” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	108
Şekil 5.29 : “Refrigerated Cargo” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	109
Şekil 5.30 : “Ro-Ro” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	110
Şekil 5.31 : “Tanker” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	111
Şekil 5.32 : “Vehicle Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	112
Şekil 5.33 : “Others”, diğer tipteki gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.	113
Şekil 5.34 : Regresyon modelin oluşturulması.	114
Şekil 5.35 : Veri girişi ve doğruluk değerinin belirlenmesi.	116
Şekil 5.36 : Çapraz doğrulama prosedürü.	117
Şekil 5.37 : Dağıtım doğrulama prosedürü.	117
Şekil 5.38 : Regresyon modeli seçimi.	119
Şekil 5.39 : NO _x emisyonunun tahmin sonuçları.	121
Şekil 5.40 : NO _x emisyon miktarının senelere göre dağılımı.	123
Şekil 5.41 : SO ₂ emisyon miktarının senelere göre dağılımı.	124
Şekil 5.42 : CO ₂ emisyon miktarının senelere göre dağılımı.	125
Şekil 5.43 : CO emisyon miktarının senelere göre dağılımı.	126
Şekil 5.44 : VOC ve HC emisyon miktarının senelere göre dağılımı.	127
Şekil 5.45 : PM, PM ₁₀ ve PM _{2.5} emisyon miktarlarının dağılımı.	128

İSTANBUL BOĞAZI'NDAN GEÇEN GEMİLERDEN KAYNAKLANAN EMİSYONUN İNCELENMESİ

ÖZET

Hava kirliliği, insan sağlığına ve bir bütün olarak tüm gezegene zararlı olan kirleticilerin havaya salınmasını ifade etmektedir. Hava kirliliğine sebep olan kirleticilerden bazıları; karbon oksitler, azot oksitler, sülfür oksitler, hidrokarbon bileşikleri, uçucu organik bileşikler ve partikül maddelerdir. Hava kirleticileri; solunum sistemi rahatsızlıklarına, dolaşım sistemi rahatsızlıklarına, kalp hastalıklarına, kansere, göz ve burunda irritasyona, otizme, zekâ geriliğine ve benzeri birçok sağlık problemlerine sebep olarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir. Ayrıca bu kirleticiler, sera gazı ve yer seviyesinde ozon oluşumuna, iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya sebep olarak tüm ekolojik dengeyi tehdit etmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde yaşanan olağan üstü hava olaylarında ve yıllık sıcaklık ortalamalarında artışlar ve hava kirliliği sebebiyle oluşan asit yağmurları ile tarım arazilerinde verim düşüklüğü gibi çok sayıda olumsuz sonuç gözlenmektedir. Hava kirliliği volkanik patlamalar gibi doğa kaynaklı veya insan aktivitelerine bağlı olarak suni kaynaklı meydana gelebilir. İnsan aktivitelerine bağlı suni hava kirliliği, genel olarak iç mekân ve açık hava kirliliği olmak üzere iki sınıfta incelenmektedir. Açık hava veya dış ortam hava kirliliği olarak adlandırılan hava kirliliğinin temel sebebi sanayi ile ulaştırma sektörü faaliyetleri olup genel hava kirliliğinin büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır.

Ulaştırma faaliyetleri arasında karayolu taşımacılığının hava kirliliğindeki payı diğer taşımacılık türlerine göre daha yüksek olsa da seneler içerisinde azalan bir ivme ile bu değerin alçaldığı görülmektedir. Ancak ulaşım türleri arasında denizciliğin her yıl artan bir ivme ile hava kirliliğindeki payını arttırdığı yapılan hesaplamalar neticesinde görülmüştür. Günümüzde denizcilik; gemiler vasıtasıyla tek seferde, bir noktadan diğerine, daha çok yükü daha az maliyetle taşıyabilmesi özelliği ile küresel ekonomi faaliyetlerinin sürdürülebilmesi için son derece önemli bir taşımacılık türüdür. Fakat dünya genelinde artan gemi sayısı, gemi kapasitelerinin, boyutlarının ve makinelerinin büyümesi ile denizcilik sektörünün hava kirliliğine sebebiyet veren fosil yakıt kullanım ihtiyacı büyümektedir. Bu büyüme kontrol altına alınmadığı takdirde hava kirliliğinin de artarak devam etmesi kaçınılmaz olacaktır. Elbette ki Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün bu konuda almış olduğu önlemler bulunmaktadır. Emisyon Kontrol Alanları, Sülfür Emisyon Kontrol Alanları, Azot oksit Teknik Kodu ile azot oksit salınımının sınırlandırılması bu önlemlere örnek gösterilebilirken bu önlemlerin yeterliliği ise küresel hava kirliliğinin artmaya devam etmesi sebebi ile tartışılmalıdır.

Ülkemizdeki gemilerden kaynaklı hava kirlilik boyutlarına somut örnek oluşturmak gerekirse, İstanbul Boğazı'na odaklanmak adresleme bakımından uygun olacaktır. İstanbul kenti, barındırdığı 15 milyonu aşkın nüfus ile Birleşmiş Milletlerin 2018 yılı verilerine göre; nüfus sayısı bakımından dünya üzerindeki en kalabalık on dördüncü, şehir sınırlarına göre barındırdığı nüfusa göre ise en yoğun beşinci şehirdir. Bu

kalabalık şehir aynı zamanda, İstanbul Boğazı vasıtasıyla Asya ile Avrupa kıtalarını ve Akdeniz ile Karadeniz'i birleştirmesi vesilesi ile çok önemli bir jeopolitik konuma sahiptir. İstanbul Boğazı'nın sahip olduğu bu özel konum, çağlar boyunca çeşitli devletler arasında savaş konusu olmuş ve İstanbul Boğazı'ndan gemilerin geçiş rejimi, boğazlar üzerinde menfaatleri olan ülkelerin çıkar çatışmaları sebebiyle küresel bir gündem haline gelmiştir. Boğazlar bölgesinden gemilerin geçiş rejimi tarihsel süreçte o bölgede üstünlüğü sağlayan devletlerin çıkarları gözetilerek sürekli değişmiştir. Günümüzde Türk Boğazları olarak adlandırılan Çanakkale Boğazı, Marmara Denizi ve İstanbul Boğazı'ndan oluşan bölgede, 1936 yılında imzalanan Montrö Boğazlar Sözleşmesine bağlı olarak "serbest uğraksız" geçiş rejimi uygulanmakta olup 1998 yılında kabul edilen "Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü" ile gemi trafiği düzenlenmektedir. İstanbul Boğazı stratejik konumu ve doğal yapısı sebebi ile yoğun bir deniz trafiğine ev sahipliği yapmaktadır. İstanbul Boğazı'ndan, 2010-2017 yıllarını kapsayan verilere göre, senelik ortalama 47000 gemi geçmektedir. Bu yoğun deniz trafiğinin karşılığında ise boğazdan geçiş yapan gemilerden kaynaklı yoğun bir emisyon salınımı bulunmaktadır. İstanbul'da ikamet eden 15 milyonu aşkın insanın sağlığını direkt etkileyen bu emisyon salınımının boyutlarının tespit edilmesi ve gemi kaynaklı bu hava kirliliğinin azaltılmasına yönelik alınabilecek tedbirler konusunda öneriler geliştirmek düşüncesi ile bu tez çalışması yapılmaya başlanmıştır.

İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerden kaynaklanan emisyon salınımının hesaplanabilmesi için Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden boğazdan geçiş yapan gemiler hakkında veri talebinde bulunulmuş ve elde edilen veriler seçilen emisyon hesaplama metodolojisine göre sınıflandırılarak işlenmiştir. Günümüzde gemi emisyon envanterleri oluşturmak amacıyla "top-down" (yukarıdan aşağıya) ve "bottom-up" (aşağıdan yukarıya) yaklaşımları kullanılmaktadır. Top-down yaklaşımı, yakıt bazlı; bottom-up yaklaşımı ise gemi aktivitelerine dayalı emisyon hesabında kullanılan yöntemlerdir. Bu çalışmada, elde edilen verilerin gemi aktivitelerine dayanması sebebi ile bottom-up yaklaşımı temelinde ENTEC ve EPA isimli iki metodolojiden yararlanılmıştır. ENTEC UK Limited, İngiltere'nin Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Departmanı (Defra) tarafından; Kuzey Denizi, İngiliz Kanalı, İrlanda Denizi ve Kuzeydoğu Atlantik dahil olmak üzere İngiltere'yi çevreleyen sulardaki gemi hareketlerinden, sistemli bir atmosferik emisyon envanteri geliştirmek üzere atanan kurumdur. Bu kurumun gemi emisyonlarına dair yayınlamış olduğu son rapor 2010 tarihli'dir. Tezdeki emisyon hesabında kullanılan metodolojilerden biri için, ENTEC'in 2010 yılında yayınlamış olduğu "UK Ship Emissions Inventory Final Report" isimli raporu referans alınmıştır. US EPA; Amerika Birleşik Devletleri federal hükümetinin, bireylerin ve çevrenin sağlığını destekleyen standartlar ve yasalar oluşturmaktan sorumlu Çevre Koruma Ajansı (EPA) kuruluşudur. Bu tez çalışmasında emisyon hesabı konusunda referans alınan diğer metodoloji için ise EPA'nın 2009 yılında yayınladığı "Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories, Final Report" isimli raporu referans alınmıştır.

ENTEC metodolojisi ile NO_x, SO₂, CO₂, VOC ve PM emisyon türleri hesaplanmış olup bu emisyon türleri arasında %96'lık oran ile CO₂ oranının oldukça yüksek bir seviyede olduğu görülmüştür. CO₂'yi takiben NO_x ve SO₂ emisyonları dikkat çekmektedir. EPA metodolojisi ile ise NO_x, SO₂, CO, HC, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyon türleri hesaplanmış olup bu türler arasında NO_x ve SO₂'nin diğer emisyon türlerine nazaran daha yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. Her iki metodoloji ile hesaplanan ortak emisyon türleri olan NO_x ve SO₂'nin değerleri karşılaştırılmış olup bu iki yöntem ile ayrı ayrı hesaplanan değerler arasında büyük bir fark olmadığı

görülmüştür. Çalışmadaki bir diğer dikkat çekici unsur ise boğazdan geçiş yapan gemi sayısı ile salınan emisyon miktarı arasında herhangi bir doğru ya da ters orantı kurulamamasıdır. Geçiş yapan gemi sayısı azalsa bile emisyon miktarlarında artmalar olduğu da belli seneler arasında yapılan kıyaslama sonucu görülmüştür. Daha doğru bir yaklaşım kurulabilmesi açısından tezdeki değerlendirmelerde; gemi sayısı ile birlikte, gemilerin kapasiteleri ve makine güçleri ile doğrudan ilişkili olan senelik geçiş yapan toplam gros tonaj miktarları kullanılmıştır. Gemi sayısı ve gros tonaj miktarı ile hesaplanan emisyon miktarları kullanılarak 2018 ve 2019 yıllarındaki emisyon miktarlarının bulunabilmesi için ise Matlab programı üzerinden regresyon analizi ile tahmin metodundan yararlanılmıştır.

Regresyon analizi ile bulunan tahmini emisyon miktarları ile hesaplanan emisyon miktarları arasında anlamlı bir ilişki tespit edilmiş olup boğazdan geçen gemi sayısında genel olarak bir azalma görülmesine karşın gemi kaynaklı üretilen emisyon miktarında beklenen şekilde bir düşüş görülmemiştir. Bunun da bir sebebi geçen yıllar içerisinde gemilerin; kapasitelerinin, boyutlarının, makine güçlerinin, yakıt tüketimlerinin ve dolayısıyla da emisyon salım miktarlarının artmasıdır ki senelik geçiş yapan toplam gros tonaj miktarlarındaki artış bu durumu desteklemektedir. Bu veriler ışığında, iyimser bir tablo ile boğazdan geçiş yapan gemi sayısının devamlı düşeceği varsayılrsa bile, gemi kaynaklı emisyon miktarında aynı şekilde azalma olacağı söylenemez. Bu sebeple, ülkemizde öncelikle Türk Boğazları Bölgesi gibi uluslararası deniz ticaretine bağlı yoğun deniz trafiğinin bulunduğu alanlarda, emisyon kontrol alanı ilan edilmesine yönelik çalışmalar yapılarak, halk sağlığını yakından tehdit eden bu hava kirliliğinin azaltılması gereklidir. Emisyon hesaplarında kullanılmak üzere veri saklama ve istatistik işlemleri geliştirilmeli ve bu işlemin yapılabilmesi ve sürdürülebilmesi için İngiltere ve Amerika örneğinde olduğu gibi milli bir çevre koruma ajansı belki de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na bağlı olarak kurulmalıdır. Bu şekilde ülkemiz denizlerinde seyir yapan her bir gemiye özgü, emisyon hesaplarında doğrudan kullanılabilecek gemilerin kapasite, boyut, makine, yardımcı makine ve yakıt bilgisi envanteri de oluşturulmuş olacaktır. Emisyon hesaplamalarında kullanılan emisyon faktörleri ENTEC ve EPA'nın kendi veri tabanlarına göre yapmış oldukları hesaplamalara dayanmaktadır. Milli bir çevre koruma ajansı vasıtasıyla ülkemiz denizlerinde seyreden gemi profiline dayanan emisyon faktörleri geliştirmek, hesaplanan emisyon miktarlarının gerçekçiliği ve alınacak önlemlerin belirlenmesi üzerinde oldukça önemlidir.



ANALYSIS OF THE EMISSIONS FROM THE SHIPS PASSING THROUGH THE ISTANBUL STRAIT

SUMMARY

Air pollution refers to the release of pollutants that are harmful to human health and the entire planet as a whole. Some of the pollutants that cause air pollution are; carboxides, nitrogen oxides, sulfur oxides, hydrocarbon compounds, volatile organic compounds, and particulate matter. Air pollutants; affect human health negatively by causing respiratory system disorders, circulatory system disorders, heart diseases, cancer, irritation of the eyes and nose, autism, mental retardation, and many other health problems. In addition, these pollutants threaten the entire ecological balance by causing greenhouse gas and ground-level ozone formation, climate change, and global warming. As a result of the researches, many negative results are observed in extraordinary weather events and annual temperature averages and acid rains caused by air pollution and low yields in agricultural lands. Air pollution can occur due to nature or artificial origin depending on human activities such as volcanic eruptions. Artificial air pollution due to human activities is examined in two classes as indoor and outdoor pollution in general. The main reason for air pollution, called open-air or outdoor air pollution, is industry and transportation sector activities and constitute the majority of general air pollution.

Although the share of road transport in air pollution among transport activities is higher than other types of transport, it is observed that this value decreases with a decreasing momentum over the years. However, it has been observed as a result of calculations that the maritime shipping has increased its share in air pollution with an increasing momentum every year. Maritime today; is an extremely important form of transportation for sustaining global economic activities, with the ability to transport more cargo from one point to another at a lower cost by means of ships. However, the need for fossil fuels, which causes air pollution in the maritime sector, is growing with the increasing number of ships worldwide, the growth of ship capacities, sizes, and machinery. If this growth is not taken under control, it will be inevitable that air pollution will continue to increase. Of course, there are measures taken by the International Maritime Organization on this issue. Emission Control Areas, Sulfur Emission Control Areas, the restriction of the release of nitrogen oxide with the NOx Technical Code can be cited as an example of these measures, and the adequacy of these measures should be discussed as the global air pollution continues to increase.

If we need to set a concrete example for the air pollution dimensions caused by the ships in our country, it will be appropriate to focus on the İstanbul Strait in terms of addressing. According to 2018 data of the city of Istanbul with a population of more than 15 million; It is the fourteenth most populous city in the world in terms of population and the fifth busiest city according to its population. This crowded city has a very important geopolitical position on the occasion of connecting the Asian and European continents, the Mediterranean and the Black Sea from the İstanbul Strait.

This special position of the İstanbul Strait has been the subject of war between various states throughout the ages and the regime of the ships' passage from the straits has become a global agenda due to the conflicts of interest of the countries interested in the straits. The regime of the ships' passage at the Straits region has changed constantly, taking into account the interests of the states that have taken advantage in that region. The vessel traffic in the region consisting of the Çanakkale Boğazı, the Marmara Sea and the İstanbul Strait, which is called the Turkish Straits, is regulated by the "Turkish Straits Maritime Traffic Regulation" adopted in 1998 and in accordance with the Montreux Straits Convention signed in 1936. İstanbul Strait hosts intense sea traffic due to its strategic location and natural structure. According to data covering the years 2010-2017, an average of 47000 ships pass through the İstanbul Strait. In accordance with the vessel traffic, there is an intense emission from the ships passing through the İstanbul Boğazı. This thesis started with the idea of determining the dimensions of this emission, which directly affects the health of more than 15 million people living in Istanbul, and developing suggestions on measures to reduce this air pollution from ships.

In order to calculate the emission from the ships crossing the İstanbul Strait, data was requested from the General Directorate of Coastal Safety about the vessels crossing the İstanbul Strait, and the data obtained were classified and processed according to the selected emission calculation methodology. Today, "top-down" and "bottom-up" approaches are used to create ship emission inventories. The top-down approach, fuel-based; The bottom-up approach is the methods used to calculate emissions based on ship activities. In this study, two methodologies named ENTEC and EPA were used on the basis of the bottom-up approach since the data obtained was based on ship activities. ENTEC UK Limited, by Britain's Department of Environment, Food and Rural Affairs (Defra); It is the agency appointed to develop a systematic atmospheric emission inventory from ship movements in the waters surrounding England, including the North Sea, the English Channel, the Irish Sea, and the Northeast Atlantic. The last report published by this institution on ship emissions is from 2010. For one of the methodologies used in the emission calculation in the thesis, ENTEC's report "UK Ship Emissions Inventory Final Report" published in 2010 was taken as reference. US EPA; It is the agency of the Environmental Protection Agency (EPA) of the United States federal government responsible for establishing standards and laws that support the health of individuals and the environment. In this thesis, for the other methodology that is taken as reference in terms of emission calculation, EPA's report titled "Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories, Final Report" was taken as reference.

With the ENTEC methodology, NO_x, SO₂, CO₂, VOC, and PM emission types have been calculated and it has been observed that the ratio of CO₂ with a rate of 96% among these emission types is quite high. Following CO₂, NO_x and SO₂ emissions draw attention. With the EPA methodology, NO_x, SO₂, CO, HC, PM₁₀, and PM_{2.5} emission types were calculated, and it was observed that NO_x and SO₂ were higher than other emission types. The values of NO_x and SO₂, which are the common emission types calculated by both methodologies, were compared and it was observed that there was no big difference between the two methods calculated separately. Another striking factor in the study is that no correct or inverse ratio can be established between the number of ships passing through the İstanbul Strait and the amount of emissions released. Even if the number of passing ships decreases, there is an increase in the amount of emissions as a result of the comparison between certain years. In order to

establish a more accurate approach, in the evaluations in the thesis; Together with the number of ships, the annual gross tonnage amounts, which are directly related to the capacities of the ships and the machine powers, were used. In order to find the emission amounts in 2018 and 2019 by using the emission amounts calculated with the number of ships and gross tonnage amount, the regression analysis and the prediction method were used on the Matlab program.

A significant correlation was found between the estimated emission amounts found by the regression analysis and the calculated emission amounts, and although there was a general decrease in the number of ships passing through the strait, there was not an expected decrease in the amount of emissions generated from the ship. One reason for this is the fact that ships over the past years; This is due to the increase in their capacity, size, machine power, fuel consumption, and thus emission emissions, and the increase in the total gross tonnage that passes annually supports this situation. In the light of these data, even if it is assumed that the number of ships passing through the İstanbul Strait will decrease continuously with an optimistic picture, it cannot be said that there will be a decrease in the amount of emissions originating from the ship in the same way. For this reason, it is necessary to reduce this air pollution, which threatens public health closely, by conducting studies to declare an emission control area in areas where there is intense marine traffic related to international maritime trade, such as the Turkish Straits Region. Data retention and statistical processes should be developed for use in emission accounts, and a national environmental protection agency may be established under the Ministry of Environment and Urbanization, as in the case of England and America, in order to carry out and maintain this process. In this way, an inventory of capacity, size, machine, auxiliary machinery, and fuel information of ships that can be used directly in emission calculations will be created for each ship cruising in the seas of our country. Emission factors used in emission calculations are based on the calculations made by ENTEC and EPA according to their own databases. Developing emission factors based on the ship profile navigating the seas of our country through a national environmental protection agency is crucial for the realism of the calculated emission amounts and the determination of the measures to be taken.

1. GİRİŞ

Taşımacılık sektörü küresel sera gazı emisyonlarının yaklaşık %24.3'ünü oluşturmaktadır. Avrupa Birliği'ndeki (AB) 1990-2007 yılları arasındaki toplam sera gazı emisyonları %15 azalsa da ulaştırma sektörünün emisyonları %36 artmıştır (EC, 2016). Çevre uzmanları, atmosferdeki mevcut CO₂ konsantrasyonunun doğal sınırları aştığını vurgulamaktadır. Dünya genelinde yaşanan nüfus artışı, gelişmekte olan ülkelerin artan sanayi faaliyetleri ve yakıt tüketimi fazla olan motorlu araçların mevcudiyeti ile sıkı önlemler alınmadığı takdirde atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun seviyesi önümüzdeki yıllar boyunca artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir (OECD, 2009). 2009 yılında havacılık ve denizcilik dahil Avrupa ulaştırma sektörü, toplam sera gazı emisyonunun %24'ünden sorumlu iken karayolu taşımacılığı baskınlığını korumasına rağmen denizcilik ve havacılık sektörü en yüksek büyüme oranlarını göstermiştir (Maragkogianni ve diğ, 2013). 2012 yılında ise ulaştırma sektörü toplam sera gazı emisyonlarının %24.3'ünden sorumlu olduğu görülmüştür. Karayolu taşımacılığı 2009-2012 yılları arasında %0.5 artış gösterirken uluslararası havacılık % 3.1 ve uluslararası denizcilik sektörü ise % 3.4 artmıştır (EC 2016). Ulaşım sektörünün enerji sektöründen sonra ikinci en büyük sera gazı emisyonu üreticisi olması ve denizciliğin ulaştırma sektörünün diğer kollarına kıyasla daha yüksek oranda artış göstermesi sebebiyle küresel düzeyde uzun vadeli çevre politikalarının geliştirilmesi ve azaltıcı önlemlerin ivedilikle alınması gerekliliğine olan inanç bu tezin konusunu oluşturmuştur.

Denizyolu taşımacılığı küresel ekonomi için, karayolu veya demiryoluna kıyasla dökme yükleri uzak mesafelere taşımak için en uygun maliyetli araçları sağlayan taşımacılık türüdür. Gıda ve yakıttan inşaat malzemeleri, kimyasallar ve ev eşyalarına kadar her şey dahil olmak üzere uluslararası mal ticaretinin %80'inden fazlası, deniz yoluyla taşınmaktadır ve 90.000'den fazla ticari gemi, 1.86 milyarlık bir ölü tonaj (deadweight) ile dünya denizlerinde seyretmektedir (UNCTAD, 2017). Dünya ticareti ve deniz taşımacılığı, ekonomik büyümenin sürdürülmesi ve refahın dünyaya yayılması için temeldir, böylece kritik bir sosyal ve ekonomik işlevi yerine

getirmektedir. Bununla birlikte, gemilerden kaynaklanan emisyonlar uluslararası nakliye endüstrisinin diğer taşımacılık türlerine kıyasla daha büyüktür. Bu emisyonların yerel liman ve kıyı hava kalitesi ve dolayısıyla insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri olduğu, bölgesel asitleşmeye ve küresel iklim değişikliğine sebebiyet verdiği görülmektedir.

Bu tez çalışmasında gemilerden kaynaklanan emisyonun azaltılması gerekliliğine katkıda bulunulmak amacıyla, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) 'nın “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi” 2019 yılı verilerine göre 15 milyon 519 bin 267 kişilik nüfus ile, TÜİK (2019), Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'u doğrudan etkileyen ve hava kirliliğinde önemli bir pay sahibi olan İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan ticari gemilerden kaynaklanan emisyon miktarının hesaplamaları üzerinde durulmuştur.

Hesaplamalarda gemi faaliyetlerine dayalı “bottom-up” yaklaşım modeli benimsenerek ENTEC ve EPA metodolojilerinden yararlanılmıştır. Bu metodolojilerin uygulanmasında ENTEC'in 2010 yılında yayınlamış olduğu “UK Ship Emissions Inventory Final Report” isimli raporu ile US EPA'nın 2009 yılında yayınladığı “Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-Related Emission Inventories, Final Report” isimli raporu referans alınmıştır. 2020 yılında sunulan bir tez çalışmasının temel kaynaklarının 2009 ve 2010 tarihli olması eleştirilebilir. Ancak gemi emisyonları konusunda literatürde yaygın bir şekilde referans olarak alınan temel kaynaklardan ENTEC ve EPA'nın bu konu hakkındaki son raporları 2009 ve 2010 tarihlerinde yayınlanmıştır. Gemi kaynaklı emisyonları konu alan güncel çalışmalarda; Goldsworthy ve Goldsworthy (2019) ENTEC 2000 ve EPA 2009, Issa ve diğ. (2019) ENTEC 2005 ve EPA 2009, Cao ve diğ. (2019) EPA 2000 ve 2009, Papaefthimiou ve diğ. (2016) ENTEC 2002 ve 2007, örneklerinde olduğu gibi ENTEC ve EPA'nın geçmiş yıllara ait çalışmalarının referans alındığı görülebilmektedir. Ayrıca Nunes ve diğ. (2017)'nin derleme türündeki “The activity-based methodology to assess ship emissions-A review” isimli makalesinde emisyon hesabı için gemi faaliyetlerine dayalı yaklaşımı benimseyen 2017 yılına kadar yayınlanmış bir dizi makalede referans alınan kaynaklar verilmiş olup bu kaynaklar incelendiğinde yine benzer raporların ve yayınların referans alındığı görülmektedir.

ENTEC ve EPA metodolojilerinden yararlanılarak yapılan, 2010-2017 yıllarını kapsayan 8 senelik emisyon hesabında kullanılan veriler Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü tarafından sağlanmıştır. Ancak daha sonra ülkemizde ve dünya genelinde

hızla yayılan Corona (Covid-19) virüs salgını sebebiyle bu kurum ile etkili iletişim kurulamamış ve 2018-2019 yıllarına ait veriler elde edilememiştir. Bu yıllara ait emisyon miktarının tahmini için, T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı web sitesi üzerinden 2018 ve 2019 yıllarında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarı bilgisi indirilmiştir. Hesaplanan emisyon miktarları ile Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın web sitesinden indirilen bilgiler kullanılarak Matlab üzerinden Regresyon Analizi metodu uygulanarak 2018 ve 2019 yıllarına ait toplam emisyon miktarının tahmini yapılmıştır.

Literatürde gemilerden kaynaklanan emisyonun hesabına dayanan başka tez çalışmaları ve yayınlar mevcuttur. Yapılan araştırmalar neticesinde; İstanbul Boğazı özelinde tek bir feribot ya da İDO deniz otobüsü üzerinden yapılan çalışmalara rastlanılmıştır. Bunun yanı sıra, sadece yerel trafiği konu edinen, tek bir gemi tipi özeline indirgenen ya da Marmara Denizi gibi daha geniş bir çalışma alanında A, B, C gibi gemi türleri oluşturularak yapılan çalışmalar da incelenmiştir. Ancak bu tez çalışması, emisyon hesabında ENTEC ve EPA gibi iki temel metodolojinin aynı anda kullanılarak çıkan sonuçları karşılaştırma imkânı vermesi, gemi sınıflandırmasının detaylıca yapılması, hesaplamalarda İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan tüm ticari gemileri kapsaması ve boğazdaki trafik yönüne bağlı olarak ayrı bir değerlendirmenin yapılması özellikleri ile emisyon hesabı konusunda önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Ayrıca bu tez, ENTEC ve EPA metodolojilerine ilave olarak bir makine öğrenmesi yöntemi olan regresyon analizi metodu ile emisyon tahmini yapılması nedeniyle özgünlük kazanmış olup bu konuda literatüre öncülük etmiş olacaktır.

Bu çalışmada, bulunan emisyon miktarları değerlendirilerek İstanbul Boğazı'ndaki gemi trafiğinden kaynaklı hava kirliliğinin boyutları ve seneler içerisindeki değişimi gösterilmiştir. Bu kirliliğinin azaltılmasına yönelik teknolojik gelişmelerden bahsedilmiş ve alınabilecek önlemler üzerine öneriler sunulmuştur. Türk Boğazları Bölgesi'nin emisyon kontrol alanı ilan edilmesi, bu tez çalışmasında olduğu gibi hava kirliliğinin azaltılması konusundaki farklı çalışmalarda da getirilen önerilerden biridir. Ancak bu tez çalışmasında, getirilen önerilerin uygulanabilirliği de sorgulanarak eleştirel bir bakış açısına yer verilmiştir. Türk Boğazları Bölgesi'nin ya da Türkiye'nin etrafını çevreleyen denizlerin ve Marmara Denizi'nin tamamının ya da bir bölümünün özel alan ilan edilmesi durumunda Türkiye'nin mevcut durumu sorgulanmış ve sahip

olunan rafineri kapasitesi, yerel trafikte ve kabotaj hatlarında seyreden Türk Bayraklı gemilerin özel alan sebebi ile artması muhtemel maliyetlerle başa çıkabilme durumu gibi olası etkiler değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, yatırım alanlarının belirlenmesi, teknolojik gelişmelerin izlenmesi, gemi emisyon envanterlerinin oluşturulması ve sadece hava kirliliği özelinde çalışan uzmanlaşmış bir kurumun oluşturulması gerekliliği öncelikli öneri olarak sunulmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Canlı hayatını ve ekolojik dengeyi olumsuz etkileyen hava kirliliğinin oluşmasında deniz trafiği oldukça önemli bir pay sahibidir. Bu çalışmada ülkemizde küresel deniz ticareti için yoğun bir deniz trafiği barındıran Türk Boğazları bölgesinde, hava kirliliğinin azaltılmasını sağlamaya yönelik tedbirlerin alınması gerekliliğine dikkat çekilmiştir.

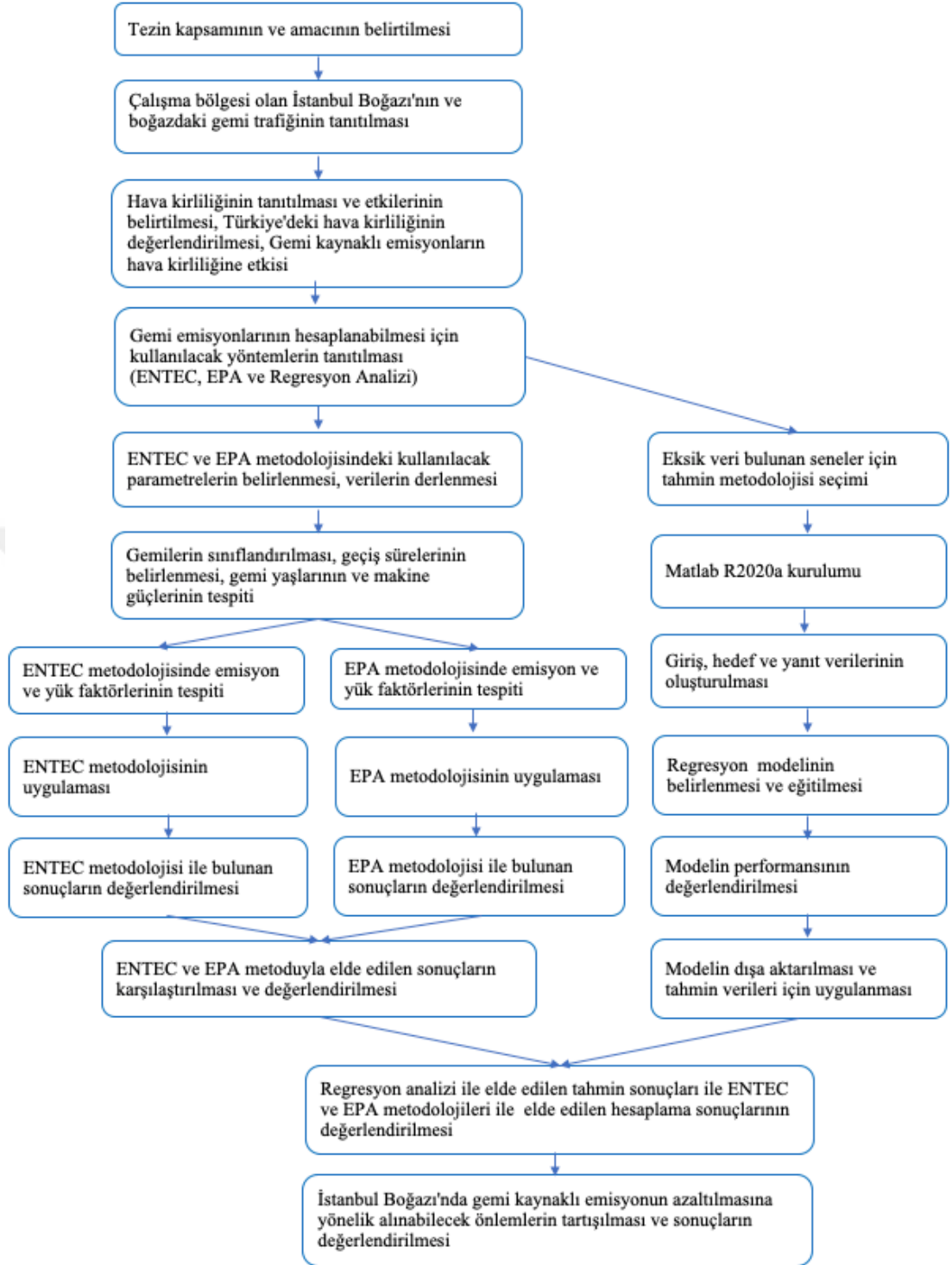
Çalışmanın amacı; İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerden kaynaklanan emisyon salınımının tahmini değerini hesaplamak ve yoğun bir nüfus popülasyonunun etkilendiği gemi kaynaklı bu hava kirleticilerinin azaltılmasına yönelik alınabilecek önlemler üzerine öneriler geliştirmektir.

Boğazlar bölgesinde ya da daha geniş çerçeveli emisyon hesapları, çeşitli tez ve yayınlarda daha önce de yapılmıştır. Tüm canlıların hayatı için temiz hava solumanın önemi son derece açıktır. Bu bağlamda, ülkemizin hava kalitesini artırabilmesi için bu konudaki yayınların sayısının artarak politikacıların bu konuya gereken özeni göstermeleri konusunda gerekli hassasiyeti oluşturabilmelerini sağlayacağına olan inanç bu tezin oluşturulmasındaki temel amaçtır.

Bu tez çalışmasında 2010-2017 yıllarını kapsayan emisyon hesaplarında, ENTEC ve EPA isimli iki farklı metodoloji kullanılarak çıkan sonuçların kendi aralarında karşılaştırılması imkanının oluşması sağlanmıştır.

Emisyon hesabı için detaylı verisi elde edilemeyen 2018 ve 2019 yıllarındaki boğazdaki gemi trafiğinden kaynaklanan emisyonun tahmini için ise Matlan R2020a programında yer alan “Regression Learner” uygulanması aracılığıyla bir makine öğrenmesi metodu olan regresyon analizi yönteminden yararlanılmıştır.

Tez çalışmasında izlenen yol Şekil 1.1'deki akış şemasında verilmiştir.



Şekil 1.1 : Çalışmanın akış şeması.

1.2 Tezin Kısıtları ve Limitleri

Emisyon hesabının yapılabilmesi için boğazdan geçiş yapan gemilere özgü bilgilere ihtiyaç duyulmuştur. İhtiyaç duyulan bu verilerin temini için Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM) yetkilileri ile fakülte aracılığıyla yapılan iki resmi yazışmadan

birinin sonucunda yeterli bilgi edinilememiş, gönderilen verilerin yetersiz olduğunu ve imkanlar dahilinde istenen detayların yinelenmediği diğer dilekçeye ise cevap alınamamıştır. Bunun üzerine şahsi olarak yapılan yüzyüze görüşmeler ve telefon görüşmeleri neticesinde 2010-2017 yıllarına ait yine yetersiz fakat bir öncekine nazaran daha detaylı veriye ulaşılmıştır. Kurumlar arası bürokrasi ve bu bürokrasinin kurumlara değil kişilere bağlı oluşu elde edilen verilerin detaydan uzak kalmasına ve dolayısıyla tezde detaylı hesap yapılması üzerinde kısıt oluşturmuştur. Bu sebeple, tezdeki ENTEC ve EPA yöntemleri ile hesaplamalar 2010-2017 yıllarını kapsayan 8 sene ile sınırlı kalmıştır.

Tezde emisyon hesabı için elde edilen veriler her bir gemiye özgü değildir. Gemilerin sınıflandırılması, KEGM'nin kendi sınıflandırma yöntemine göre yapılmıştır. KEGM'nin yapmış olduğu sınıflandırmadaki veriler ise hesaplamalar için ortalama değerler vermekte olup hesaplama sonuçlarının gerçekçiliği üzerinde kısıt oluşturmuştur. Bu çalışmada; yerel trafikte seyreden motorlar ve yatlar, römorkörler, balıkçılıkla uğraşan gemiler ve savaş gemileri hakkında emisyon hesabı için elde edilen verilerin yetersiz olması sebebi ile bu tipteki deniz araçları hesaplamalar için yapılan sınıflandırmanın ve dolayısıyla emisyon hesabının dışında bırakılmıştır.

Verilerde makine yaşı bulunmamaktadır, bunun yerine hesaplamalarda ENTEC çalışması referans alınarak gemi yaşı verisi kullanılmıştır. Gemi yaşının tespiti için elde edilen veriler gemi tipine göre sınıflandırılmış olup verilerde kullanılan yaş aralığı "N/A, <5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30, 30-40 ve >40" şeklindedir. Burada tezin kısıtını oluşturan faktörler şunlardır: Yaş bilgisi olmayan gemiler (N/A), kullanılan yaş aralığının geniş olması (5, 10 ve daha büyük), gemi tipine göre sınıflandırma yapıldığı için (Barge, Bulk Carrier, Container gibi) hangi yaş aralığındaki geminin hangi gros tonaj, deadweight tonaj ya da boyda olduğunun bilinmemesidir. Yaş bilgisi bulunmayan gemiler yüzde olarak anlamlı sonuç veriyorsa gemi tipi içerisinde (filo) dağıtılmış, anlamsız sonuçlarda sonucu etkilememesi için hesaba dahil edilmemiştir. Uygun ortalama değer bulunabilmesi amacıyla verilen yaş aralıklarının ortalaması baz alınarak işlem yapılmıştır. Bu işlemlere bağlı olarak, gemi tipine göre filo yaş ortalamaları bulunmuştur. Özellikle azot oksit emisyonunun hesabında kullanılacak olan makine yaşı konusunda kritik yıl olan 2000 yılı düşünülerek filo ortalama yaşları kontrol edilmiştir. Kritik değerdeki filolarda bulunan 40 yaş üzeri gemiler için 100 yaşına kadar değerler girilerek kritik değeri etkileyip etkilemediği denenmiş ve

etkilemesi durumunda ortalama için en uygun değer tespit edilerek alınmıştır. Yaş verisi ile gemilerin kapasite veya boyutları konusunda bir oran elde edilemediği için hesaplarda bulunan bu filo ortalama yaş değerleri kullanılmıştır.

Elde edilen verilerde her gemiye özgü makine gücü bilgisi yer almamakta olup bunun yerine beygir gücü birimi üzerinden “N/A, <1, 1-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40, 40-60, >60” şeklinde, gemi boyları ile ilişkilendirilen (<100m, 100-150m, 150-200m, 200-250m, 250-300m, >300m) gemi türüne göre yapılmış bir sınıflandırma mevcuttur. Gemi tipine göre boy bilgisi sayesinde gemi kapasiteleri (gros tonaj) için, kullanılan metodolojilerin veri tabanları aracılığıyla tahminde bulunulmuştur. Ancak kullanılan sınıflandırmada makine gücü aralığının fazla olması ve makine gücü bulunmayan gemi sayısı tezde yapılan hesaplamalarda ortalama değerlerin alınmasına sebep olarak kısıt oluşturmuştur.

Gemilerin geçiş sürelerinin bulunmasında da benzer şekilde sınıflandırmanın emisyon hesabı için yetersiz olması sebebi ile ortalama değerler tespit edilerek işlemlerde uygulanmış ve bu da tezin bir diğer kısıtını oluşturmuştur. Süre bilgisi belli olmayan gemiler için değerler yüzdelerle karşılaştırma ile tahmin edilerek hesaba dahil edilmiştir.

Tezdeki hesaplamalarda kullanılan verilerde, yardımcı makine bilgisi bulunmamaktadır. Bu durum tezin kısıtı olsa da kullanılan metodolojilerin referans oran değerleri üzerinden tahmini yardımcı makine güç bilgisi hesaplanmıştır. Elde edilen verilerin içerisinde, gemilerin kullandığı makine ve yakıt tipi ile ilgili herhangi bir bilginin olmayışı sorunu, hesaplamalarda kullanılan metodolojilerin referanslarının kabulü ile çözülsede tezin bir diğer kısıtını oluşturmaktadır.

Küresel bir su yolu olması, yoğun bir trafik bulundurması, gemilerin geçiş kayıtlarının tutulması, yoğun bir nüfus popölasyonunu doğrudan etkilemesi, bölgesel olarak geniş alanları kapsayan yerler için yaşanan veri elde etme güçlüğü ve hesaplamalarda gerçekçilikten uzaklaşmamak nedenleri ile emisyon hesabı için seçilen alan İstanbul Boğazı ile sınırlandırılmıştır. Tezdeki hesaplamalar, İstanbul Boğazı’ndan geçen gemiler ile limitlidir.



2. İSTANBUL VE BOĞAZLAR BÖLGESİ

2.1 İstanbul'a Genel Bakış

İstanbul; Asya ve Avrupa kıtalarının buluşma noktasında, 28° 01' ve 29° 55' Doğu boylamları ile 41° 33' ve 40° 28' Kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Tayanç, 2000; Gürel ve Gündüz, 2011). İstanbul'un da içerisinde bulunduğu bölgede Akdeniz iklimi ile ılıman iklim arasında bir geçiş iklimi görülür (Tayanç ve diğ., 1998). En soğuk ve en yağışlı aylar Ocak ve Şubat olup en sıcak aylar ise Temmuz ve Ağustos'tur. Yıllık ortalama sıcaklık ve toplam yağış miktarı sırasıyla 13.7°C ve 734 mm'dir. (Tayanç, 2000).

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde hızlı nüfus artışı ve şehirleşme, nüfusu 10 milyonu bulan veya aşan metropollerin oluşmasına sebep olmuştur. Artan nüfus ile birlikte ülkelerin sanayileşme ve ticaret hacimleri de artmıştır (Baykara ve diğerleri, 2019). Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'da Türkiye nüfusunun %18.4'ü, 15 milyon 519 bin 267 kişi ikamet etmektedir (TÜİK, 2019). İstanbul nüfus bakımından dünyadaki en büyük on dördüncü şehirdir (UN, 2018). İstanbul'un toplam yerleşim alanı yaklaşık 5712 km²'dir (Gürel ve Gündüz, 2011). Şehir sınırları içindeki nüfus bakımından ise Avrupa'daki en büyük ve dünyadaki beşinci en büyük şehirdir (UN, 2018).

Ekonomi ve nüfus bakımından dünyanın en hızlı büyüyen şehirlerden biri olan ve Türkiye'de endüstriyel faaliyetlerin en yoğun yaşandığı yer konumundaki İstanbul, 1980'lerden bu yana sanayileşmenin de artmasıyla birlikte kirletici konsantrasyonlara kontrolsüz bir şekilde maruz kalarak önemli derecede hava kirliliği sorunları yaşamaktadır (Tayanç, 2000; Karaca ve diğ., 2005). İstanbul için hava kirliliği sorununun potansiyeli, büyük sanayi kuruluşları ile şehir merkezlerinin yakınlığı ve yüksek emisyonlar sebebiyle oldukça fazladır. İstanbul ve çevresinde oluşan yoğun hava kirliliğinin önemli sebeplerinden biri de İstanbul Boğazı'ndaki gemi trafiğidir. (Şimşek ve Çolak, 2017). 2017 yılı küresel sera gazı emisyonlarının önemli bir bölümü %28.9 oranla, içerisinde deniz taşımacılığını da barındıran ulaşım sektöründen

kaynaklanmaktadır (US EPA, 2017). Küresel ticaret hacmi arttıkça deniz taşımacılığındaki yoğunluk da artış göstermektedir. Deniz taşımacılığı var olabilmek için küresel ticarete ihtiyaç duyar, küresel ticaret ise etkili bir deniz taşımacılığı olmadan var olamaz (ECSA, 2017). İstanbul Boğazı'ndaki gemi trafiğindeki yoğunluk da İstanbul'un ve Karadeniz ülkelerinin ticari hacminin artışı ile doğru orantılıdır.

İstanbul Boğazı kuzeyde Anadolu Fenerini Türkeli Fenerine, güneyde Ahırkapı Fenerini Kadıköy İnciburnu/Mendirek Fenerine birleştiren çizgiler arasında sınırlandırılmıştır (TBDTDT, 1998b).

Marmara Denizi'ni Karadeniz ve Ege Denizi'ne, Asya ve Avrupa kıtalarını birbirine bağlayan İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi ile birlikte Türk Boğazlar Bölgesi (Turkish Straits Region, TSR)'ni oluşturmakta olup bu bölgedeki gemi trafiği ulusal ve uluslararası sözleşmelerle düzenlenmiştir (Akten, 2003).

Türk Boğazlarından geçiş yapmak isteyen tüm gemilerin geçişi 1936 yılından beri Montrö Boğazlar Sözleşmesi ile düzenlenmiştir (Montrö Boğazlar Sözleşmesi, 1936). 1998 yılında, Türk Boğazları'nda seyir, can, mal ve çevre güvenliğini sağlamak amacıyla deniz trafik düzenlemesini gerçekleştirmek için Türk Boğazları'nda seyir yapacak tüm gemileri kapsayan Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü (TBDTDT) yürürlüğe girmiştir (TBDTDT, 1998a). Bu Tüzük ile birlikte Türk Boğazları'nda Denizde Çatışmayı Önleme Sözleşmesi'nin, COLREG (1972), 10. kuralına göre trafik ayırım düzenleri belirlenmiş ve Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından da kabul edilmiştir (Ece, 2011). Günümüzde Montrö Boğazlar Sözleşmesi ve Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü'ne bağlı olarak Türk Boğazları'nda “serbest uğraksız geçiş” rejimi uygulanmaktadır.

2.2 İstanbul Boğazı'nın Yapısal Özellikleri ve Seyire Etkisi

Coğrafi konum olarak İstanbul Boğazı, 40°58'.67 ve 41°14'.90 Kuzey enlemleri ile 28°57'.00 ve 29°11'.00 Doğu boylamları arasında yer almaktadır. Asya ile Avrupa kıtalarını birbirinden ayıran tek su yolu ve Karadeniz'i Marmara Denizi vasıtasıyla Akdeniz'e bağlayan iki dar su yolundan biri olan İstanbul Boğazı yaklaşık 17 deniz mili bir uzunluğa sahiptir. Boğazın genişliği bulunulan konuma göre değişiklik göstermektedir. Kuzey girişinde genişlik yaklaşık 3600 metre iken boğazın en dar yeri olan Anadolu Hisarı ile Rumeli Hisarı arasında 698 metredir. Boğazda derinlik de

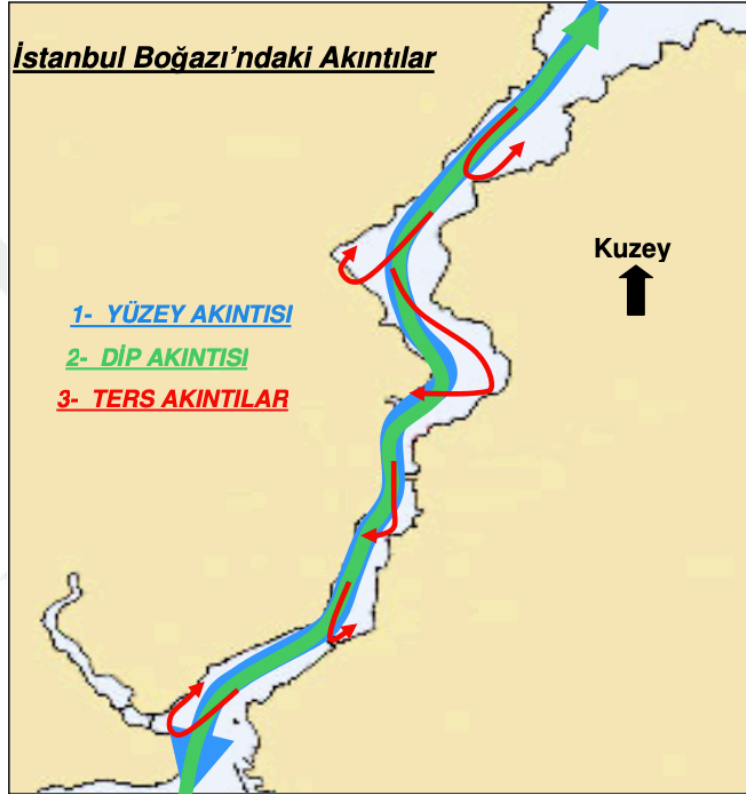
genişlik gibi değişkenlik göstermekte olup ortalama derinlik 50 metredir. Şekil 2.1’de İstanbul Boğazı’nın harita üzerindeki genel görüntüsü verilmiştir.



Şekil 2.1 : İstanbul Boğazı.

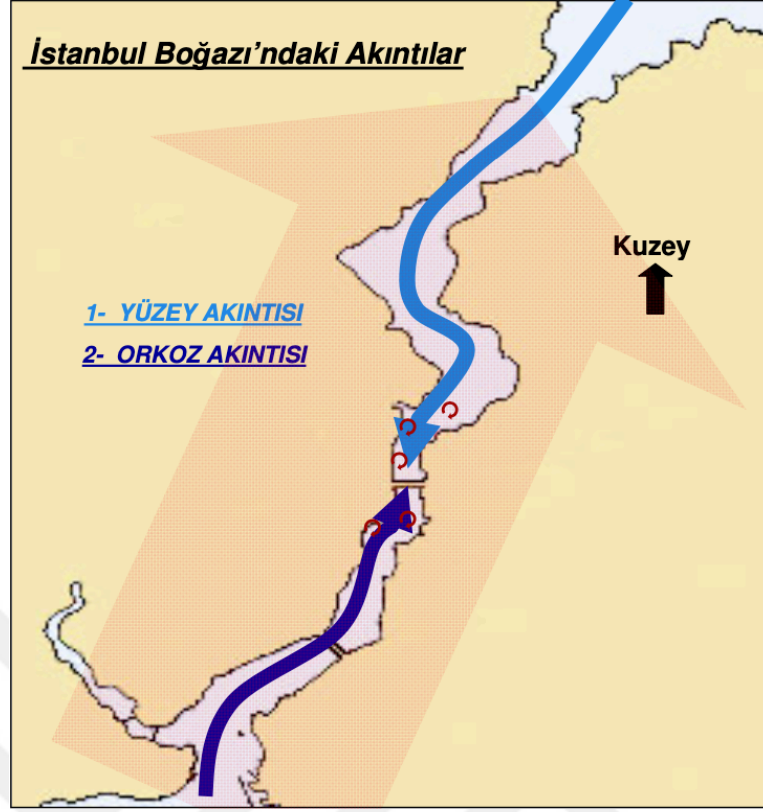
Ayrıca boğazda gemilerin seyri için tehlike oluşturabilecek Umuryeri, Kandilli, Yeniköy, Kanlıca ve Kızkulesi gibi keskin rota değişikliği gerektiren dönüşlerin yanı sıra ada ve banklar da bulunmaktadır. Salacak açıklarında Kızkulesi adacığı ve bankı, Defterdar Burnu’nun kuzeyinde üzerinde Kuruçeşme Feneri bulunan bir ada, Kuruçeşme açıklığında Kuruçeşme Adası ve bankları, Bebek Koyu’nda Bebek Feneri’ni taşıyan ada ve Bebek bankları, Rumelikavağı açıklarında Dikilikaya bankı ile bu bankın üzerinde yer alan Dikilikaya Adası, Anadolu Yakası’nın sahile yakın kısımlarında Göksu, Macar Bankı, Paşabahçe, Poyraz ve İncirköy bankları ile Avrupa Yakası kıyılarında Sarayburnu, Ortaköy, Yeniköy, Balta Limanı, Sarıyer ve Büyükdere bankları yer almaktadır. Boğaz sularında gelgit pek hissedilmemekle birlikte 5-10 santimetrelilik genliğe sahip gelgit hareketleri oluşmaktadır fakat İstanbul Boğazı akıntı yönünden oldukça zengin bir su yoludur. Birbirine bağladığı Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki yoğunluk, tuzluluk ve seviye farkı Boğazda iki yönlü bir akıntı oluşmasına neden olmaktadır. Karadeniz, Marmara Denizine kıyasla daha az tuzlu ve yoğunluğu daha azdır. Bununla birlikte bu iki deniz arasındaki seviye farkı

ise yaklaşık 25 santimetredir. İki deniz arasındaki bu farklılıklar nedeniyle daha hafif olan Karadeniz'in suyu Marmara Denizi'ne doğru giderek incelen bir tabakalaşma ile hızı saatte 8 mil/saat'e kadar ulaşabilen üst akıntıyı oluştururken, yoğunluğu daha fazla olan Marmara'nın suları da kuzeye doğru incelen bir tabakalaşma ile alt akıntıyı oluşturmaktadır. Bu iki akıntı arasındaki sınır aylara ve rüzgâr durumuna göre değişiklik göstermektedir. Şekil 2.2 ve 2.3'te İstanbul Boğazı'ndaki akıntı sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : İstanbul Boğazı'ndaki akıntılar.

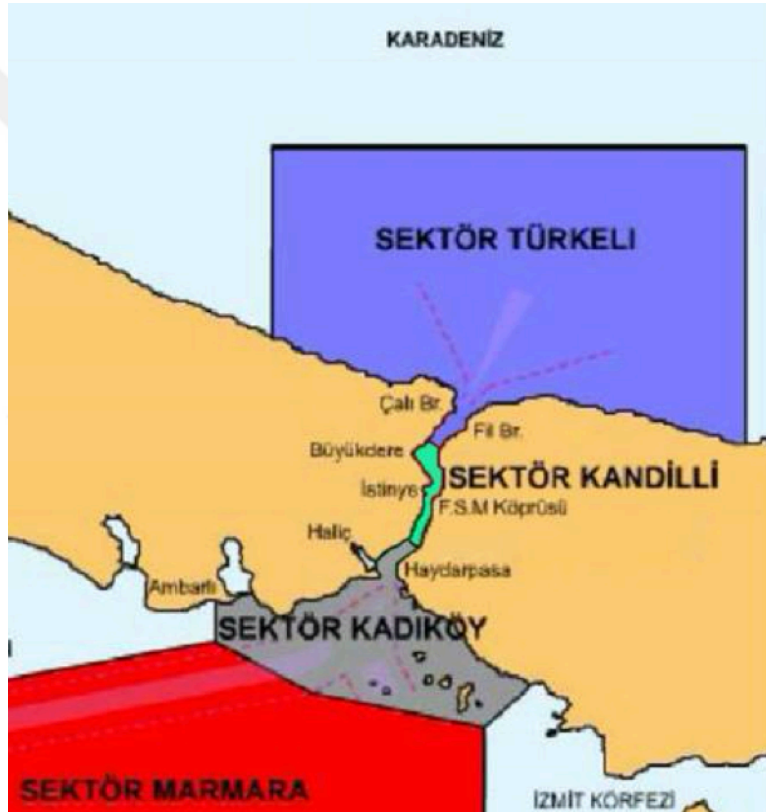
Kuvvetli lodosun etkin olduğu durumlarda yüzey akıntısı tersine dönerek ters akıntılarının oluşmasına sebep olabilmektedir. Boğazda oluşan bu ters akıntılara “Orkoz” adı verilmektedir. Orkoz’ un oluşması durumunda özellikle derin su çekimli gemiler için seyir tehlikesi olabilecek şekilde, boğazın güney girişinde üst akıntı ile alt akıntı arasındaki seviye farkı da artmaktadır. Ters yönde kıyıda ilerleyen akıntı, büyük koy ve kıvrımlarda “anafor” lar oluşturarak seyir tehlikesine yol açmaktadır.



Şekil 2.3 : İstanbul Boğazı’ndaki yüzey akıntısı ve orkoz akıntısı.

İstanbul Boğazı’ndan günde geçen gemi sayısı Montrö Boğazlar Sözleşmesi’nin imzalandığı 1936 yılında 17 iken günümüzde bu sayı ortalama 130’a yükselmiştir (Url-1). Ayrıca seneler içerisinde gemilerin büyüklük ve kapasiteleri ile taşınan yüklerin çeşitliliği de artış göstermiştir. Tüm bu artışlar sebebi ile İstanbul Boğazı’ndaki riskler ve kaçınılmaz olarak kazalar da artmıştır. Montrö Boğazlar Sözleşmesi’nin imzalanmasından bu yana boğazda gerçekleşen kazalara; 1960 yılındaki M/T World Harmony ile M/T Peter Zoranic, 1966 yılındaki M/T Lutsk ile M/T Cransky Oktiabr, 1979 yılındaki M/T Independenta ile M/V Evriyalı ve 1990 yılındaki M/T Jambur ile M/V Datton Shang aralarındaki çatışmalar örnek gösterilebilir (Bayar ve diğ, 2017). Yaşanan kazaları ve risk faktörlerini azaltabilmek amacıyla Türkiye Cumhuriyeti ilk olarak 1994 yılında kabul ettiği “Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Hakkında Tüzük” ve daha sonra bu tüzüğün yeniden değerlendirilmesi neticesinde oluşturulan ve 1998 yılında kabul edilen “Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü” ile boğazlar bölgesindeki gemi trafiğini düzenlemiştir. 1994-1998 Tüzükleri ile Türkiye ulaşım ve ticarete boğazlar bölgesini kullanan devletlerin ve çevrenin güvenliğini sağlama hakkını kullanmakta ve yükümlülüğünü yerine getirmektedir. 1994-1998 Tüzükleri sayesinde gemi geçişleri

düzene girmiş, boğazlar bölgesi Denizde Çatışmayı Önleme Tüzüğü'nün onuncu kuralı kapsamına alınarak bu bölgede Trafik Ayrım Düzenleri oluşturulmuş ve geçiş yapan gemilerin tipleri, boyutları ve yükleri de dikkate alınarak bir raporlama sistemi geliştirilmiştir. Şekil 2.4 üzerinde İstanbul Boğazı için gemi trafik hizmet alanı sektörleri gösterilmiştir. Montrö Boğazlar Sözleşmesi'ne sadık kalarak iç hukuk düzenlemeleri ile yürürlüğe konulan bu Tüzükler vasıtası ile boğazlar bölgesinde can, çevre, ulaşım ve mal güvenliğini sağlamayı hedefleyen Türkiye Cumhuriyeti'nin 1994-1998 Tüzüklerinin yürürlüğe girmesinden sonra yapılan istatistiki analizlerden de anlaşılabacağı üzere bu amacına ulaştığı görülmektedir (Yel, 2015). Tüzükler ve Boğazlar Sözleşmesi ile ilgili detaylı bilgi Bölüm 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.4 : İstanbul boğazı gemi trafik hizmeti alanı ve sektörler.

2.3 Türk Boğazları'nın Deniz Hukuku Açısından Değerlendirilmesi

Türk Boğazlar Bölgesi bulunduğu coğrafi konumu nedeniyle küresel bir öneme sahiptir. Tarih boyunca bu stratejik lokasyona hükmetmek isteyen devletler arasında birçok savaş meydana geldiği görülmüştür. 1453 yılında İstanbul'un fethi ile birlikte Boğazlar, Osmanlı İmparatorluğunun egemenliğine geçmiş ve 1484 yılında Karadeniz'in batı sahillerinin de fethedilmesiyle Karadeniz tamamıyla Osmanlı

İmparatorluğu'na ait olmuştur (Baltalı, 1959). Boğazlar, 1774 yılında imzalanan Küçük Kaynarca Antlaşması'na kadar yabancı devlet gemilerine kapalı tutulmuştur (İnan, 1995). Bu dönemde istisna olarak çeşitli tarihlerde Fransa, İngiltere, Hollanda ve Rusya gibi devletlere tek taraflı ayrıcalıklar tanınmıştır (Meray, 1968).

1809 yılına kadar, müttefik sıfatı alan Rusya ile birlikte çeşitli düzenlemeler yapılsa da boğazlardan diğer yabancı gemilerin geçişine izin verilmemiştir (Armaoğlu, 1973). Karadeniz'deki egemenliğini kaybetmeye başlayan Osmanlı İmparatorluğu tarafından, 1809'dan 1841 yılına kadar Boğazların hukuki statüsü iki taraflı antlaşmalarla düzenlenmiştir (Belik, 1962). 1841 sonrası dönemde ise bu statü çok taraflı antlaşmalarla belirlenmiştir (Erim, 1953).

Türkiye Cumhuriyeti döneminde ise Boğazların hukuksal statüsünün belirlenmesi ilk olarak 1923 yılında Lozan Boğazlar Sözleşmesi aracılığıyla olmuştur (Berber, 2006). Türkiye'nin 1930'lu yıllarda yaşanan olumsuz gelişmeler karşısında başlattığı diplomatik süreç neticesinde 20 Temmuz 1936 tarihinde Montrö Boğazlar Sözleşmesi imzalanmıştır. Bu sözleşme günümüzde de hala geçerliliğini korumaktadır (Soysal, 1989). Türkiye, 1994 yılında "Boğazlar ve Marmara Bölgesi Deniz Trafik Düzeni Hakkındaki Tüzük" ile Liman Kanunu ve liman tüzükleri aracılığıyla almış olduğu önlemleri genişletmiştir (Güneş, 2007). 1994 yılında kabul edilen bu düzenlemeye yapılan itirazların değerlendirilmesiyle günümüzde de hala geçerli olan "Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü" 1998 yılında kabul edilmiştir. Bu Tüzük ile birlikte Türk Boğazları'nda Uluslararası Denizcilik Örgütü tarafından kabul edilen, Denizde Çatışmayı Önleme Sözleşmesi'nin 10. kuralında ele alınan Trafik Ayrım Düzeni kuralı uygulanmaya başlanmıştır (Taşlıgil, 2004).

2.3.1 Ulusal ve uluslararası boğaz tanımları

Boğazlar hukuksal statülerine göre "Ulusal Boğaz" ve "Uluslararası Boğaz" olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır (Doğru, 2013).

Ulusal boğaz tanımında boğazın genişliği ve kıyı devleti önem arz etmektedir. Kıyıları sadece bir devlete bağlı olan ve genişliği kıyı devletinin karasuları genişliğinin iki katından az olan boğaz tipine Ulusal boğaz denmektedir. Ulusal boğazlarda uygulanan geçiş rejimleri kıyı devletinin kendi hukuksal düzenlenmesine bağlıdır. Karadeniz'i Azak Denizi'ne bağlayan Kerç Boğazı'nın Sovyetler Birliği döneminde bu tanıma uyduğu görülmektedir. Tanımlamada dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli husus

ise; her bakımdan ulusal boğaz özelliklerini gösteren bir boğazın, bir antlaşmanın konusunu oluşturması durumunda uluslararası boğaz niteliği kazandığıdır (İnanç ve Yazıcı, 2018).

Uluslararası boğaz statüsünün belirlenmesinde ise boğazın coğrafi konumu önem kazanmaktadır. İki açık denizi birbirine bağlayan bir su yolu uluslararası boğaz niteliğini kazanmaktadır (Pazarcı, 2003). Uluslararası Adalet Divanı'nın 1959 yılında Korfu Boğazı kararında da görüldüğü gibi; bir boğazın coğrafi konumu ve uluslararası ulaşımında kullanılabilir olması kriterlerine uyduğu takdirde, o boğaz uluslararası boğaz statüsü taşımaktadır (ICJ, 1949).

Münhasır Ekonomik Bölge kavramı, 1982 tarihli Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (BMDHS) ile ortaya çıkmıştır. Böyle bir kavram ile birlikte uluslararası boğaz kavramında da değişikliğe gidildiği görülmüştür (Doğru, 2013). Sözleşme'nin 37. maddesinde: "...açık denizin veya bir münhasır ekonomik bölgenin bir bölümü ile açık denizin veya bir münhasır ekonomik bölgenin diğer bölümü arasından uluslararası seyrüsefer için kullanılan boğazlara uygulanır." şeklinde belirtildiği gibi tanımlanan boğazların, uluslararası boğaz olarak nitelendirildiği görülmektedir (BMDHS, 1982).

2.3.2 Deniz hukuku konferanslarında boğazlardan geçiş önerileri

19. yüzyılın ikinci yarısına kadar örf ve âdet hukuku şeklinde işleyen deniz hukuku kurallarını yazılı hale getirmek ve birleştirmek amacıyla ilk çalışmalar, 1873 yılında kurulan Uluslararası Hukuk Derneği ve Uluslararası Hukuk Enstitüsü tarafından yapılmıştır. Sonraki yıllarda gerçekleştirilen La Haye Kodifikasyon Konferansı ve Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Konferansları bu konudaki önemli çalışmalardır (Güneş, 2007).

Uluslararası boğazlardan geçiş rejimleri ve bu boğazların hukuksal statüleri Deniz Hukuku konferanslarında gündeme gelmiştir. Birleşmiş Milletler'in önderliğinde günümüze kadar üç tane Deniz Hukuku Konferansı gerçekleşmiştir. Bunlardan ilki 1958 yılında Cenevre'de gerçekleşmiştir. Türkiye, bu konferans ile kabul edilen sözleşmeler olan "Balıkçılık ve Açık Denizlerin Canlı Kaynaklarının Korunması Hakkında Sözleşme", "Karasuları ve Bitişik Bölge Sözleşmesi", "Kıta Sahaneliği Sözleşmesi" ve "Açık Deniz Sözleşmesi" nin hiçbirini kabul etmemiştir (Aslan, 1998). Birleşmiş Milletler İkinci Deniz Hukuku Konferansı ise 1960 yılında yine Cenevre'de

gerçekleşmiş fakat karasularının genişliği gibi toplanma amacını oluşturan konularda herhangi bir karara varılamadığı için başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Üçüncü Deniz Hukuku Konferansı 1973-1982 tarihleri arasında gerçekleştirilmiş ve Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi (BMDHS)'nin kabulü ile sonuçlanmıştır. Bu konferansta da aktif bir katılımcı olarak yer alan Türkiye BMDHS'yi kabul etmemiştir (Bozkurt, 2007).

Uluslararası boğazlardan geçiş ile ilgili Birinci Deniz Hukuku Konferansı'nda "zararsız geçiş" rejimi tanımlanmıştır. Önceleri sadece örf ve âdet kuralları çerçevesinde uygulanan "zararsız geçiş" kavramı, Korfu davası ile birlikte gündeme gelmiş ve davada geçiş özgürlüğü ilke alınarak her geminin "zararsız geçiş" hakkı olduğu vurgulanmıştır. Birinci Deniz Hukuku Konferansı'nda yapılan "zararsız geçiş" tanımlamasıyla da bu örf ve âdet kuralı ilk olarak yazılı bir madde haline gelmiştir. 1958 yılında yapılan Karasuları ve Bitişik Bölge Sözleşmesi'nin 16. maddesinde kendine yer bulan "zararsız geçiş" kavramı, bir devletin karasularından zararsız geçiş ve uluslararası boğazlardan zararsız geçiş olarak iki kısımda değerlendirilmelidir. Karasularında güvenliğin korunması söz konusu olduğunda kıyı devletinin yabancı gemilerin geçişini erteleyebilme hakkı bulunmakta iken uluslararası boğazlarda ise böyle bir hakkı bulunmamaktadır (Lütem, 1959). 1958 Konferansı'nda tanımlanan "zararsız geçiş" kavramına göre açık deniz koridorları açık kalmakta, kıyı devletine güvenliği söz konusu olsa dahi uluslararası boğazlardan yabancı gemilerin geçişini erteleme yetkisi verilmemekte ve zararsızlığın tanımı açıkça yapılmamaktadır (KBBS, 1958).

Türk Boğazları açısından KBBS'de tanımlanan zararsız geçiş kavramı yukarıdaki sebeplerle kabul edilebilir bulunmamıştır. Yine aynı Sözleşmenin 24. ve 25. maddelerinde yer alan; KBBS'nin hükümlerinin halen yürürlükte olan milletlerarası antlaşmaları ve sözleşmeleri etkilemeyeceği, şeklinde ifade edilen hükümleri bu konu hakkında dayanak olarak gösterilmiştir (Aslan, 1998).

Birleşmiş Milletler Birinci Deniz Hukuku Konferansı sonrasında; ortaya çıkan menfaat çatışmaları, yaşanan teknolojik gelişmeler ve bağımsızlığını yeni kazanmış olan devletlerin durumu küresel bir çözüm geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur (Rowny, 1987). Ancak 1960 yılında gerçekleştirilen İkinci Deniz Hukuku Konferansı mevcut sorunlara bir çözüm getirememiş ve başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Caminos, 1987).

Uluslararası boğazlardan ve kıyı devletlerinin karasularından zararsız geçiş kavramı; hem boğaz devletleri ile gelişmekte olan kıyı devletleri hem de denizcilik konusunda üstünlük sağlamış olan ve gelişmiş deniz donanmaları bulunan devletler için kabul edilebilir bulunmamıştır (Symonides, 1988). Boğaz devletleri ile kıyı devletleri; tanımı muğlak bu geçişi milli güvenliklerine ve gelişmelerine bir tehlike olarak görürken, deniz donanmaları güçlü devletler tarafından ise; bu geçiş şekli gelecekteki stratejik kazanımlar için bir tehlike olarak görülmüş ve uluslararası boğazlardan herhangi bir sınırlama olmaksızın geçiş yapılabilmesi için yeni bir geçiş rejimi geliştirilmesi gerekliliği savunulmuştur (Butler, 1987).

Birinci Deniz Hukuku Konferansı'nda önceleri genel bir kabul ve kullanım şekli olan zararsız geçiş kavramı altında, karasuları ve boğazlar birbirinden ayrılmaksızın birlikte ele alınırken, 1982 Konferansı'nda ise uluslararası boğazlardan geçiş rejimi ayrıntılı bir çerçeve geliştirilerek farklı bir bölüm olarak ele alınmıştır (Dupuy ve Vignes, 1991). 1982 yılında gerçekleştirilen Birleşmiş Milletler Üçüncü Deniz Hukuku Konferansı'nda deniz hukuku için yeni bir geçiş rejimi olan “transit geçiş” rejimi getirilmiştir (Baykal, 1998). Transit geçiş rejiminin zararsız geçişe nazaran çok daha hafifletilmiş kurallar içerdiği görülmektedir. Transit geçiş rejimi; denizaltılara su altından geçebilme ve hava araçlarına gemilerde olduğu gibi boğazların üzerindeki hava sahasını kullanma hakkı vermektedir.

1982 Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi'nde uluslararası boğazlardan geçiş rejimleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Sözleşmenin ikinci kısmında zararsız geçiş kavramındaki zararsızlıktan kasıt detaylandırılmış ve geçişi zararlı kılacak durumlar sıralanarak tanımdaki boşluk doldurulmuştur (Toluner, 1995). Sözleşmenin üçüncü kısmın birinci bölümünde kapsam, tanımlamalar ve sınırlamalardan; ikinci bölümünde transit geçiş rejiminin tanımlanmasından ve bu geçiş rejiminin uygulanacağı boğazlar ile ilgili detaylardan; üçüncü bölümde ise zararsız geçiş rejiminin uygulanacağı boğazlardan bahsedilmektedir. Sözleşmenin 35. maddesinde üçüncü kısımda yer alan hükümlerin hiçbirinin, uzun bir geçmişe sahip uluslararası sözleşmelerle düzenlenen boğazlardaki geçiş rejimlerini etkilemeyeceği belirtilmektedir (JIA, 1998). Bu maddede belirtilen özellikteki istisnai boğazların listesi sözleşmede ayrıca yer almasa da Türk Boğazları'nın bu durumu karşıladığı açıktır (Schachte, 1993).

Geçiş rejimleri yapılan sözleşmeler ile artık günümüzde her ne kadar pozitif hukukun bir parçası olsa da hakkında yapılan tartışmalar halen devam etmektedir. Sözleşmeyi farklı hükümler sebebi ile imzalamadığı halde transit geçiş rejiminin sözleşmeye dahil edilmesi için büyük bir gayret gösteren Amerika Birleşik Devletleri ile İngiltere, Finlandiya, Avusturalya gibi devletler ABD'nin öncülüğünde transit geçiş rejiminin artık gelenekselleştiğini ve artık sözleşmeden bağımsız olarak örf ve âdet hukuku kuralları gereğince uygulanması gerektiğini savunmaktadırlar. Bunun yanı sıra uluslararası boğazlara kıyısı olan Japonya, Mısır, Kore, Yunanistan ve Hollanda gibi devletler ise bu geçiş rejiminin sadece Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi'nin hükümleri olarak bir anlamı olduğu fikrini savunmaktadırlar (Ünlü, 2002).

2.3.3 Montrö Boğazlar Sözleşmesi

Birinci Dünya Savaşı sonrası dönemde oluşan yeni dünya düzeninde dengelerin bozulmaya başlamasıyla küresel bir güvensizlik ortamı başlamıştır. Bu dönemde Hitler ve Mussolini gibi liderlerin izlediği dış siyaset, Milletler Cemiyeti'nin etkisizleşmesi ve devletlerin yeniden silahlanmaya başlamaları küresel gerginliğin sebeplerindendir (Erkin, 1968). Bu güvensiz ve gergin yeni dünya düzeninde Türkiye Cumhuriyeti, başta kendi güvenliğini sonra Karadeniz'e kıyıdaş devletlerin Karadeniz'deki güvenliğini sağlayacak boğazlar üzerinde yeni bir düzenleme getirilmesi amacıyla girişimlerde bulunmuş ve 20 Temmuz 1936 tarihinde Türkiye Cumhuriyeti, Sovyetler Birliği, Büyük Britanya, Yugoslavya, Fransa, Yunanistan, Bulgaristan, Romanya, Japonya ve Avustralya tarafından Montrö Boğazlar Sözleşmesi imzalanmıştır.

Montrö Boğazlar Sözleşmesi ile birlikte Türk Boğazlar Bölgesi'nden geçiş, Ticaret ve Harp gemileri olmak üzere gemi türüne ve barış ya da savaş durumu olmak üzere zamana göre ayrı ayrı düzenlenmiştir. Savaş zamanında Türkiye'nin savaştan taraf olması ile tarafsız olması durumları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bunların yanı sıra Türkiye'nin kendisini pek yakın bir savaş tehdidi altında kabul ettiği zamanlarda geçiş düzeni ise ayrıca düzenlenmiş ve çeşitli kısıtlamalar getirilmiştir.

Boğazlardan Montrö Boğazlar Sözleşmesi ile uygulanan geçiş rejimi, gerek örf ve âdet hukuku kurallarında genel bir kabul olarak, gerekse 1958 konferansında yazılı olarak kendine yer bulan zararsız geçiş rejimi temelinde düzenlenen fakat Türkiye'ye zararsız

geçiş rejiminin kıyı devletlerine verdiği yetkilerden daha fazlasını sağlayan bir rejim olması dolayısıyla kendine özgüdür, bir farklı deyiş ile sui generis'tir.



3. HAVA KİRLİLİĞİ VE GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLAR

3.1 Hava Kirliliği

Hava Kirliliği; kirletici olarak tanımlanan ve havada bulunan katı, sıvı ve gaz şeklindeki zararlı maddelerin miktarlarının artarak insan sağlığına, canlı hayatına ve ekolojik dengeye zarar verecek seviyelere ulaşmasıdır.

Havayı kirletmesi için kaynağından çıkış yapması yeterli olan kirleticiler bulunduğu gibi iki farklı kirleticinin sıcaklık ve nem gibi meteorolojik koşulların da etkisi ile atmosferde tepkimeye girerek de yeni bir kirletici oluşabilmektedir. Partikül maddeler (PM), kükürt dioksit (SO₂), azot oksitler (NO_x), ozon (O₃) gibi gazlar havayı kirleterek canlı hayatı için büyük tehlike oluşturmaktadırlar.

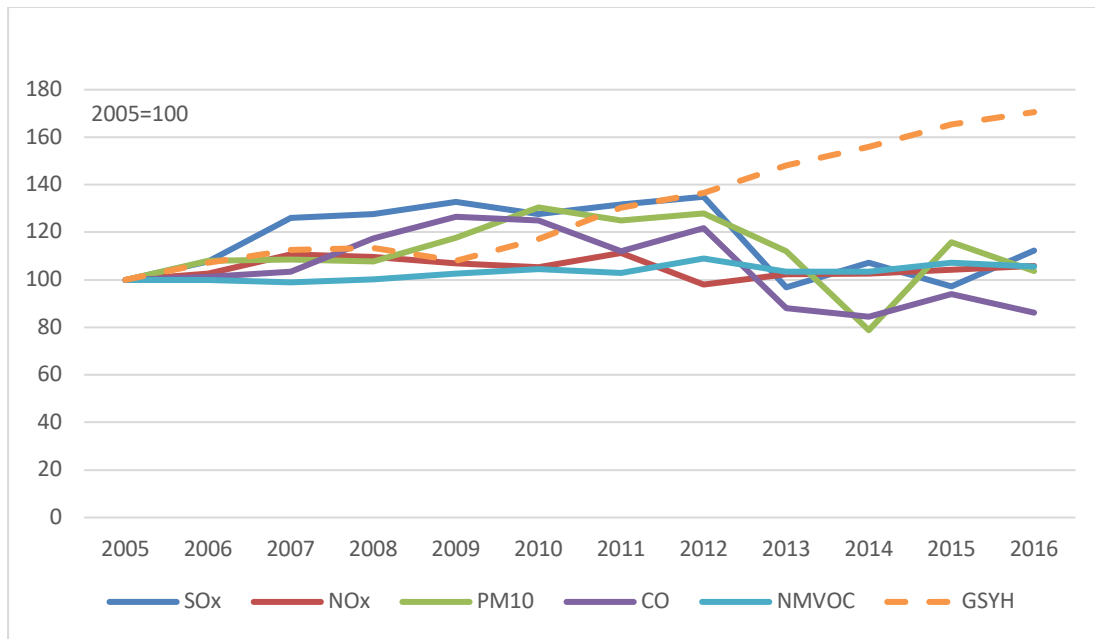
Hava Kirliliği; tabii veya suni kaynaklardan ortaya çıkmaktadır. Volkanik patlamalar ve çöl tozunun rüzgâr aracılığıyla taşınması hava kirliliğinin tabii kaynaklarına; ulaşım, sanayi ve santrallerde enerji üretimi, ısınmak ve yemek yapmak için fosil yakıt kullanılması, atık ve anızların yakılması ve endüstriyel tarım faaliyetleri gibi insan faaliyetlerine bağlı olarak gelişen kirleticiler ise hava kirliliğinin suni kaynaklarına örnek olarak gösterilebilir.

3.2 Çevresel Performans İncelemelerinin Türkiye Açısından Değerlendirmesi

Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü (OECD), hükümetlerin küreselleşme ile ortaya çıkan ekonomik, sosyal ve çevresel zorlukları ele almak için birlikte çalıştığı tek forum olma özelliğine sahiptir. Örgüt, yetkililerin siyasi deneyimlerini karşılaştırabilecekleri, ortak sorunlara cevap arayabilecekleri, iyi uygulamaları belirleyebilecekleri ve hem yerel hem de uluslararası politikaları koordine edebilecekleri bir ortam sunmaktadır. Günümüze kadar OECD tarafından Türkiye özelinde üç adet “Çevresel Performans İncelemesi” (ÇPİ) yapılmış olup bu incelemelerin ilki 1999, ikincisi 2008 ve üçüncüsü 2019 yılında yayınlanmıştır. 2019 yılında yayınlanan üçüncü ve güncel inceleme raporu Türkiye’nin 2008 yılındaki ikinci rapordan bu yana göstermiş olduğu gelişme ve gerilemeleri istatistiki olarak

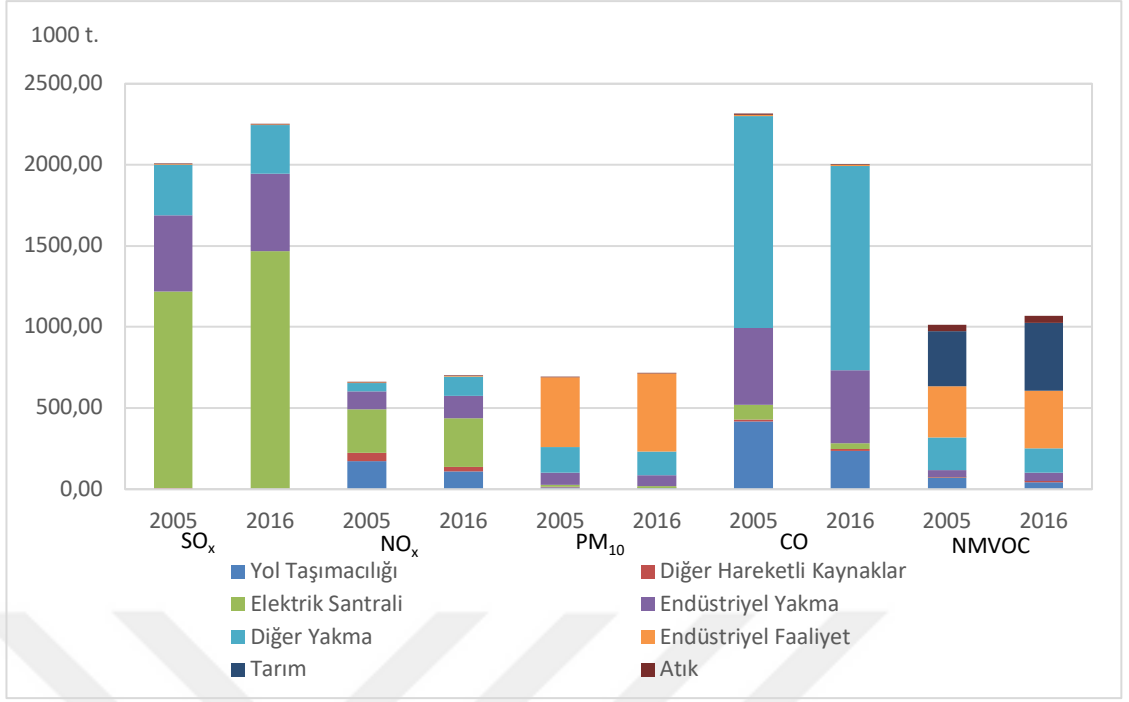
gözler önüne sermekte olup öngörülen tehlikeler konusunda ise Türkiye'ye çeşitli öneriler (36 adet öneri) sunmaktadır.

Türkiye, OECD bünyesinde sekizinci en büyük ve en hızlı büyüyen ekonomidir. 2005 ve 2017 arasında Türkiye'de reel kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasıla (GSYH) % 83 artmıştır (ÇPI, 2019). GSYH'deki artış ile emisyonlardaki artış genel olarak birbirini takip etmektedir. 2005 yılında baş gösteren küresel ekonomik kriz döneminde emisyon oranlarında azalmalar gözlemlenmişken 2014 ile 2015 yıllarında yeniden artışlar gözlenmiştir. Şekil 3.1'de GSYH'nin 2010 yılı ABD doları dikkate alınarak ifade edildiği bildirilmektedir (OECD, 2018d).



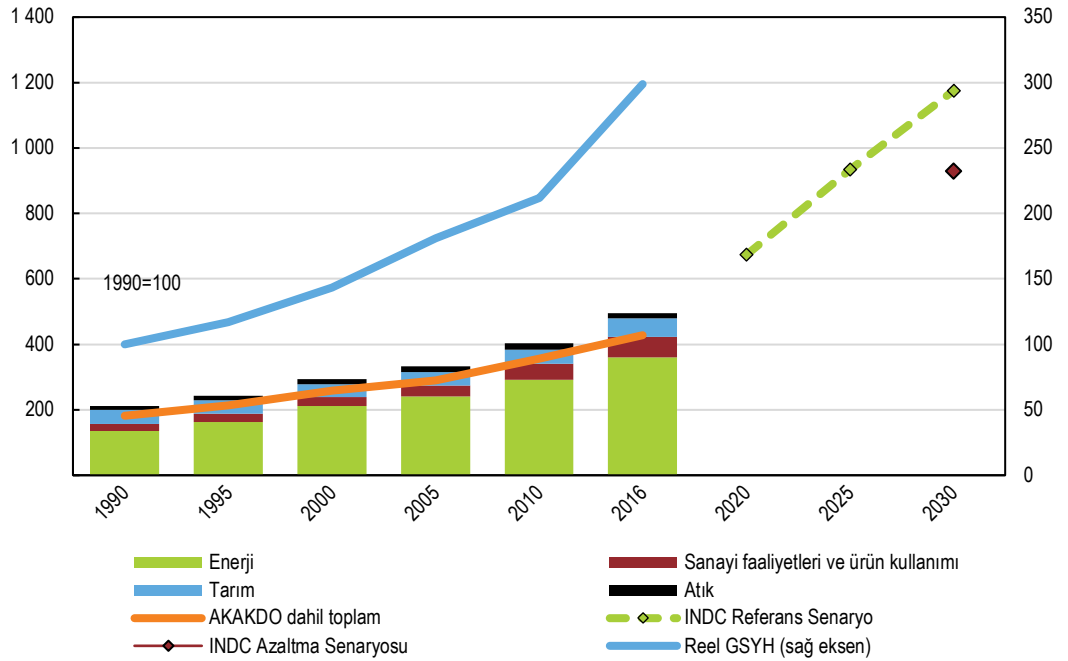
Şekil 3.1 : Emisyonların ekonomik büyümeden nispi olarak ayrışması.

Şekil 3.2'de büyüyen ekonominin negatif yansıması olarak hava kirliliğinin de artış göstermesinin vurgulanması amacıyla 2005 ile 2016 yılları kıyaslanmıştır. Sera gazı ve havayı kirleten emisyonların artmasının ana sebepleri: Ulaşımında fosil yakıtların kullanılması, ısıtma sistemlerinde kömür kullanılması, sanayi ve taşıt emisyonlarıdır.



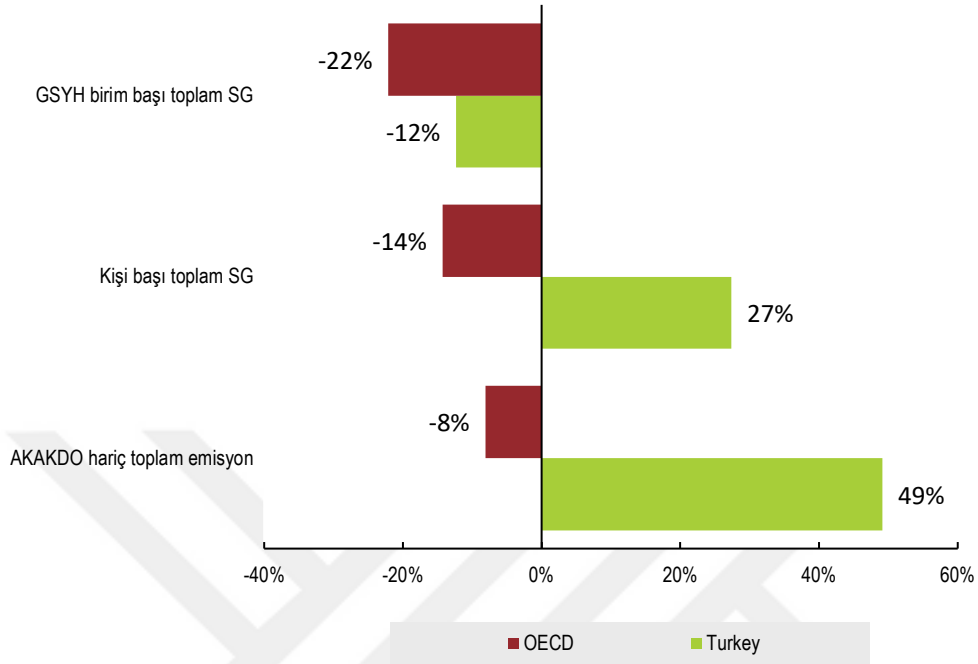
Şekil 3.2 : Hava emisyonlarının yıllara göre değişimi.

Şekil 3.3’de Niyet Edilen Ulusal Olarak Belirlenmiş Katkı (INDC)’ya ve 2005 – 2016 kıyaslamasına göre sektörel bazda emisyon eğilim tahmini grafiğe dökülmüştür. Tahminlerde; AKAKDO olarak ifade edilen “arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık” tan kaynaklı emisyonlar dahil edilmemiş olup GSYH, 2010 dolar kuru üzerinden hesaplanmıştır (ÇŞB, 2016).



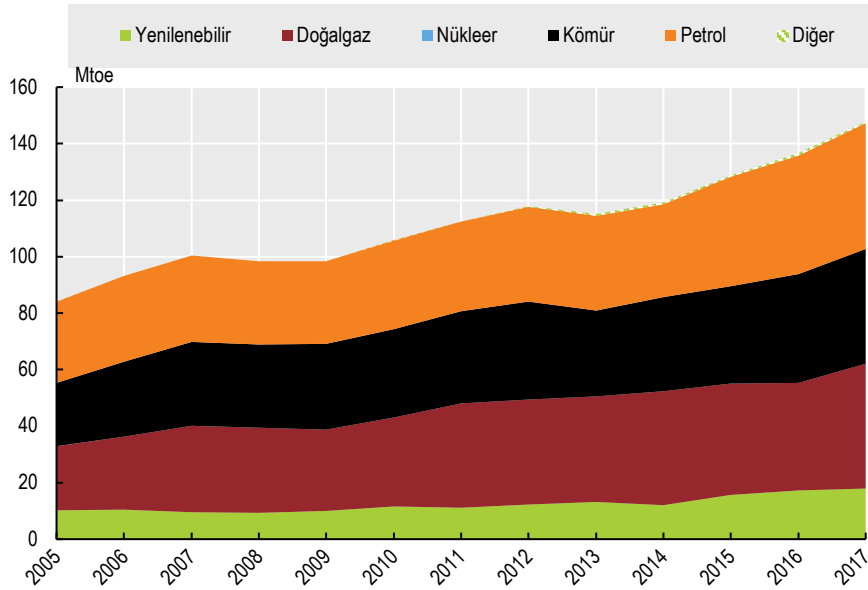
Şekil 3.3 : SG emisyon eğilimleri.

OECD Milli Gelir Hesaplamalar veri tabanına göre Türkiye ile OECD üyesi diğer ülkelerin ortalamasının kıyaslanması Şekil 3.4'te gösterilmiştir (OECD, 2018f).



Şekil 3.4 : Yoğunluk, 2005-16 yüzde değişimi.

Şekil 3.5'te kaynağa göre toplam birincil enerji arzının senelere göre dağılımı görülmektedir (IEA, 2018).



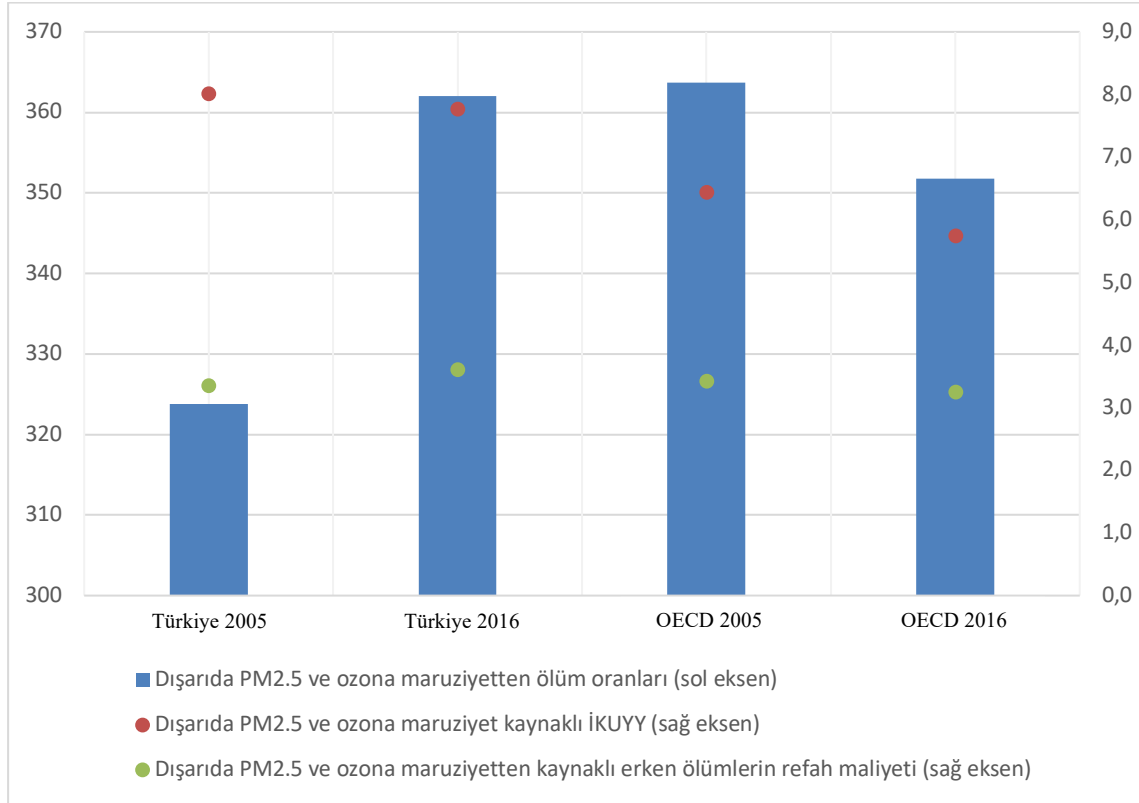
Şekil 3.5 : Kaynağa göre toplam birincil enerji arzı.

Hava kirliliği ve kalitesi özellikle nüfus popülasyonunun yoğun olduğu büyük şehirlerde ve sanayileşmenin artış gösterdiği bölgelerde önemli bir sorun teşkil etmektedir. OECD'nin 2019 yılında yayınlanan Çevresel Performans İncelemesi'ne göre Türkiye'de halkın, partikül maddelere (PM) Avrupa Birliği (AB) ve Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün yayınladığı referans değerlerden daha fazla maruz kaldığı görülmektedir (OECD, 2018b). Özellikle endüstriyel kirleticiler; iklim değişikliğine ve asit yağmuruna ek olarak, ciddi sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Bacalardan çıkan ve görünemeyecek kadar ince yapıya sahip olan partikül maddeler kolayca kana karışıp sağlık sorunlarına sebep olmaktadır. Partikül maddeler doğrudan kirletici kaynaklardan havaya yayılabilir ya da diğer endüstriyel gazlarla birleşerek atmosferik olayların bir sonucu olarak ikincil partikül maddeler ortaya çıkabilmekte ve hava yoluyla kilometrelerce taşınabilmektedir. Ana kaynakları kömür ve petrol gibi fosil yakıt kullanımı, sanayi bölgelerinden çıkan endüstriyel toz, tarım ve madencilik gibi sebeplerle ortaya çıkan toprak tozu, okyanus spreyi ve biyolojik kaynaklar olan 2.5-10 mikrometre çapındaki partikül maddeler boyutlarına göre isimlendirilir (MEU, 2016). Partikül maddelerin boyutlarının anlaşılabilmesi için bir kıyaslama yapılacaktır; insan saçının çapı yaklaşık 70 µm (mikrometre), kum tanesinin çapı yaklaşık 50 µm, PM₁₀ kirleticisinin çapı yaklaşık 10 µm'den az ve PM_{2.5} çapı ise yaklaşık 2,5 µm'den azdır.

Türkiye'de diğer üye ülkelerden farklı olarak 2005 yılından itibaren PM_{2.5} ve ozon emisyonlarının sebep olduğu erken ölümlerin maliyeti artmaktadır. Şekil 3.6'da hava kirliliği ile ilişkili ölüm oranlarının artışı ile geçim maliyeti gösterilmiştir. DALY (Disability Adjusted Life Year), yaşamdan kaybedilmiş bir sağlıklı yıl olarak ifade edilmiş olup bin başına, ölüm oranı milyon başına ve refah maliyeti ise GSYH yüzdesi olarak ifade edilmiştir (OECD, 2018c).

2015 yılında AB tarafından PM_{2.5} kaynaklarının araştırılmasına dair yapılan ve 19 ülke ve bölgeyi kapsayan bir incelemenin sonuçlarına göre Türkiye'nin %29'luk oran ile bu olumsuz tabloda ilk sırada olduğu görülmektedir (EU, 2015). Türkiye'de PM_{2.5} maruziyeti için yapılan analiz çalışmalarında dağılımın özellikle sanayi bölgelerinde yüksek olduğu ve geçen yirmi yıllık zaman diliminde tatmin edici ilerleme sağlanamadığı görülmektedir (OECD, 2016). Uluslararası Enerji Ajansı'nın 2016 yılında yayınlamış olduğu raporda, yapılan hava kalitesi ölçümlerine göre Türkiye'de termik santrallerin bulunduğu ve fosil yakıt tüketiminin yoğun olduğu Doğu Anadolu

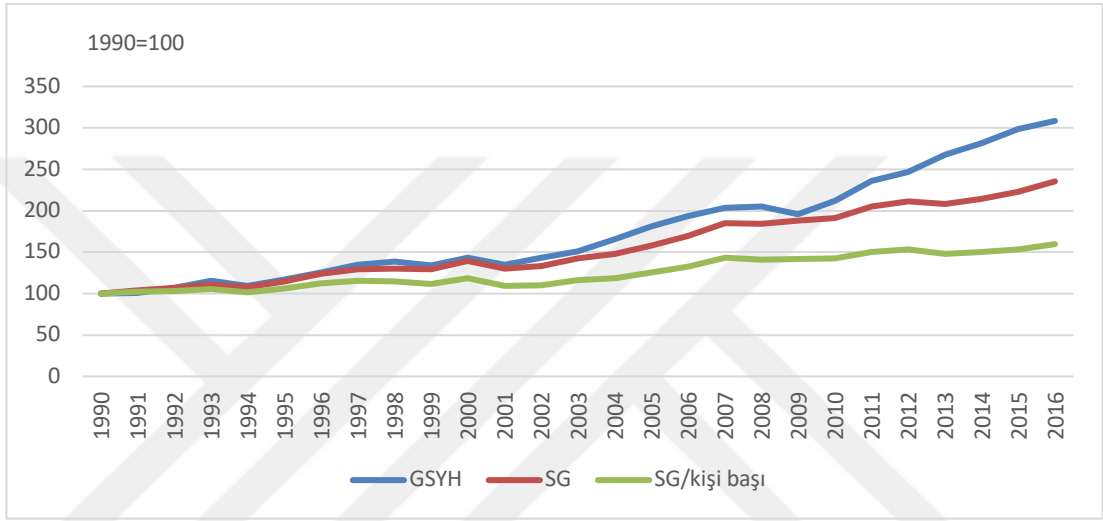
Bölgesi ile Çanakkale, İzmir ve Tekirdağ gibi iller hava kirlilik oranının yüksek olduğu alanlar olarak belirlenmiştir (IEA, 2016).



Şekil 3.6 : Hava kirliliği ile ilişkili artan ölüm oranları ve geçim maliyeti.

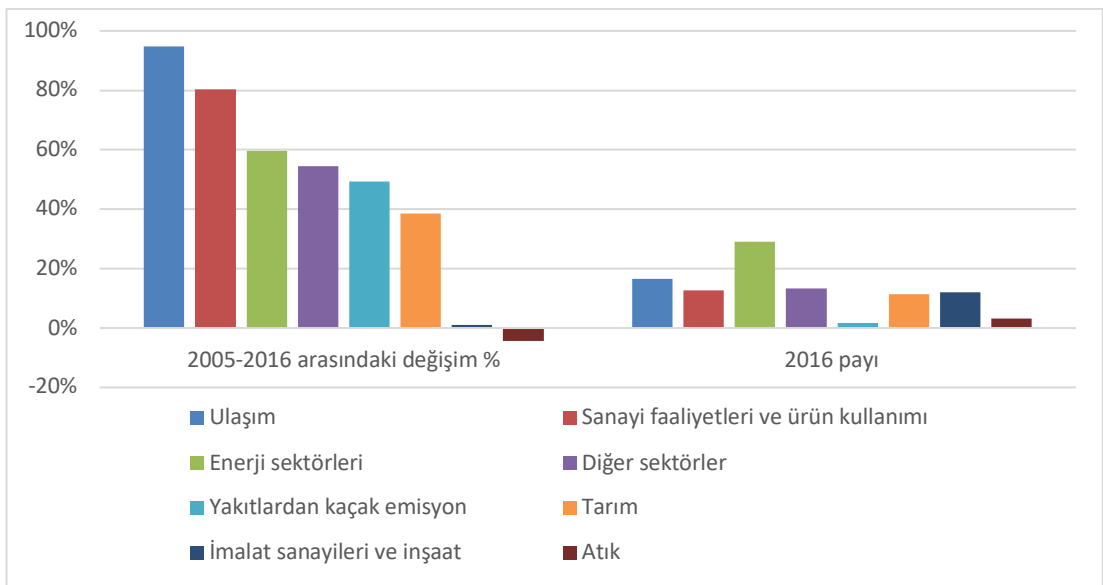
OECD üye ülkeleri arasında en hızlı büyümeye sahip olan Türkiye ekonomisi sera gazı emisyonlarının da hızlı artışına engel olamamaktadır. Türkiye'nin ekonomisine bağlı olarak artan enerji ihtiyaçları büyük ölçüde petrol ve kömür gibi fosil yakıtlar ile karşılanmaktadır. Hızlı ekonomik büyüme ve artan nüfus ile birlikte fosil yakıtlara bağımlı hale gelinmiştir. 2005 ile 2016 yılları arasındaki dönemde AKAKDO hariç sera gazı emisyon artışı +%49 ile OECD ülkeleri arasından en fazla Türkiye'de ortaya çıkmıştır (Mackie, Hašćić ve Cárdenas rodríguez, 2016). Enerji sektöründen ve ulaşımdan kaynaklanan partikül madde emisyonları sağlık konusunda ciddi kaygıların oluşmasına sebep olmaktadır. Türkiye'de yenilenebilir enerji ve verimlilik konularında gelişmeler olmasına karşın emisyon azaltımı bakımından diğer üye ülkeler kadar ilerleme kat edilemediği ve kişi başına maruz kalınan sera gazı (SG) emisyon oranının hızla arttığı görülmektedir. Gerekli önlemlerin alınmaması durumunda emisyon miktarlarının 2015-2030 yılları arasında en az iki kat artış göstereceği tahmin edilmektedir. 2016 yılında yapılan hesaplamalarda Türkiye'nin

yaklaşık olarak 500 milyon ton CO₂ salınımına sebep olduğu ve bu değer ile de emisyon oranının çokluğu bakımından OECD ülkeleri arasında ilk ona girdiği görülmektedir. Türkiye, SG emisyonlarındaki devamlı artışa rağmen 2020 yılı hedefleri içerisinde emisyon azaltma konusunu koymayan tek ülke konumundadır. İzlenen politika neticesiyle Türkiye'nin CO₂ salınımını azaltması öngörülmemektedir (UNFCCC, 2016). Şekil 3.7'de SG emisyonunun GSYH'ye göre kişi başına dağılım oranları verilmiş olup SG'ye AKAKDO dahil edilmemiş ve GSYH 2010 verilerine göre değerlendirilmiştir (OECD, 2018a).



Şekil 3.7 : Sera gazı emisyonlarının dağılımı.

OECD (2018) raporuna göre SG emisyon üretiminin sektörel bazda dağılımı ise şekil 3.8'de paylaşılmıştır (OECD, 2018e).



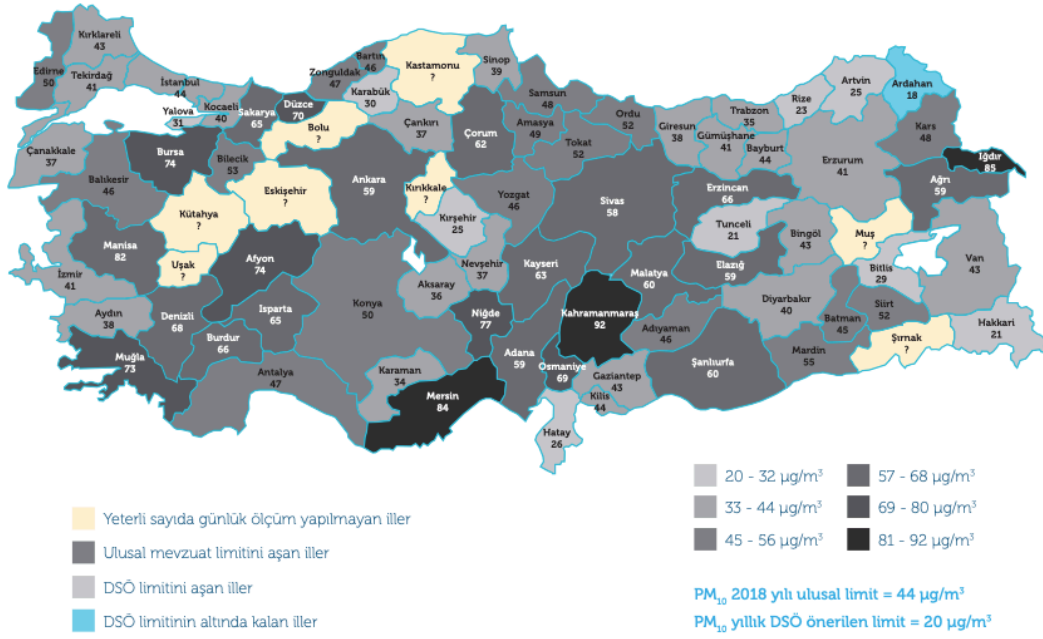
Şekil 3.8 : SG emisyonunun sektörel bazda üretim kıyaslaması.

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından toplam Hava Kalitesi İzleme İstasyonu sayısı 330 adet olarak bildirilmiştir. PM₁₀'un 24 saatlik ortalamasında, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği'nde, belirtilen limit değerin (50 µg/m³) senede 35 defadan fazla aşamayacağı belirtilmektedir (28898 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği. 2008). Mevzuata göre aynı zamanda izleme istasyonundan sağlıklı bir şekilde veri analizi yapılabilmesi için istasyonun yılda en az bir yılın %75'inde veri sağlaması gerekmektedir. %75'lik bu oranın altında kalan istasyonlar bu çalışma içerisinde “yetersiz ölçüm yapılan istasyon” olarak sınıflandırılmış olup değerlendirmeye alınmamıştır. Sayıları 330 olarak bildirilen Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının yalnızca 211 tanesinin (%63.94) verilerinin paylaşımı kamuoyuna aktarılmaktadır. Yeterli ve yetersiz ölçüm yapılan istasyon sayıları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Türkiye’de hava kalitesi ölçüm istasyonlarının durumu.

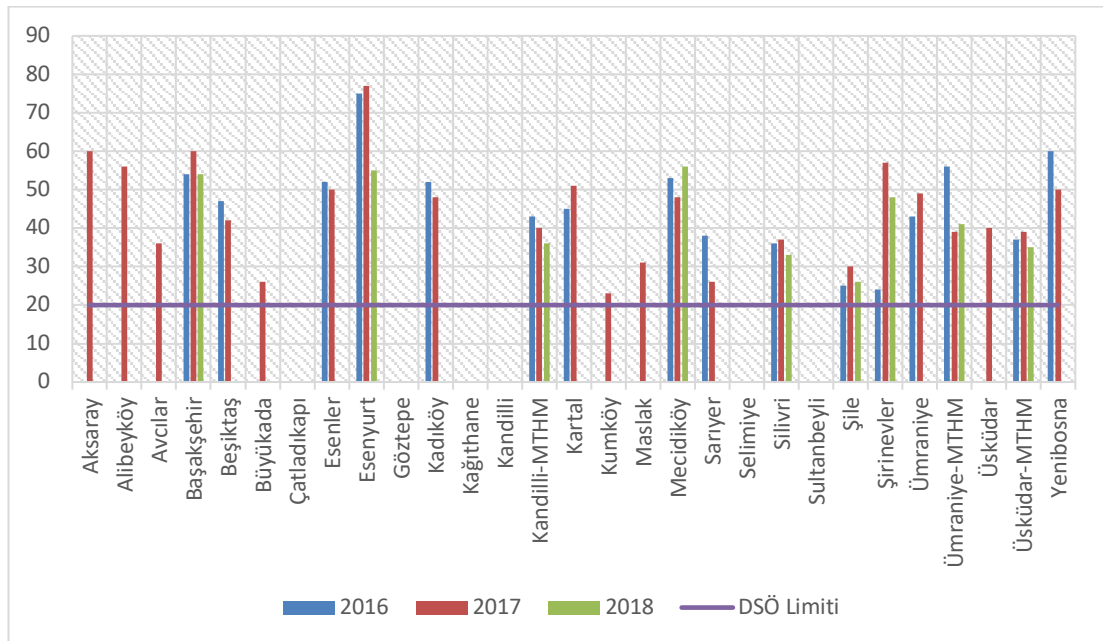
Yıl	Yeterli Ölçüm yapılan	Yetersiz Ölçüm	Toplam İstasyon Sayısı
	İstasyon Sayısı ve Yüzdesi	Yapılan İstasyon Sayısı ve Yüzdesi	
2016	167 (%79)	44 (%21)	211
2017	185 (%88)	26 (%12)	211
2018	163 (%77)	48 (%23)	211

Türkiye’de 2018 yılında yeterli ölçüm yapılan istasyon sayısı 163 olduğu görülmektedir. Bu 163 istasyonun yıllık PM₁₀ ortalamalarına bakıldığında %96.3’ünün Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) limitlerinin üzerinde olduğu görülmektedir. PM₁₀ için DSÖ limiti 20 µg/m³, ulusal mevzuat limiti ise 44 µg/m³ olarak belirtilmiştir. 2018 yılı hava kalitesi değerlendirmesinde PM₁₀ ölçümü için 73 ilde toplam 163 istasyonda yeterli ölçüm yapılabilmiş DSÖ limiti altında sadece 1, Ulusal mevzuat limiti üzerinde olan ise toplam 44 il tespit edilmiştir. Türkiye’de 17 sivil toplum kurumunun bir araya gelmesi ile oluşturulan bir platform olan “Temiz Hava Hakkı Platformu” (THHP) ’nun OECD 2018 raporunun verileri ile yaptıkları ülke değerlendirmesi neticesinde Şekil 3.9’daki haritada sunulduğu üzere ülkenin genelinin hava kirliliğine maruz kaldığı görülmektedir (THHP, 2019).



Şekil 3.9 : İllere göre hava kalitesi (2018).

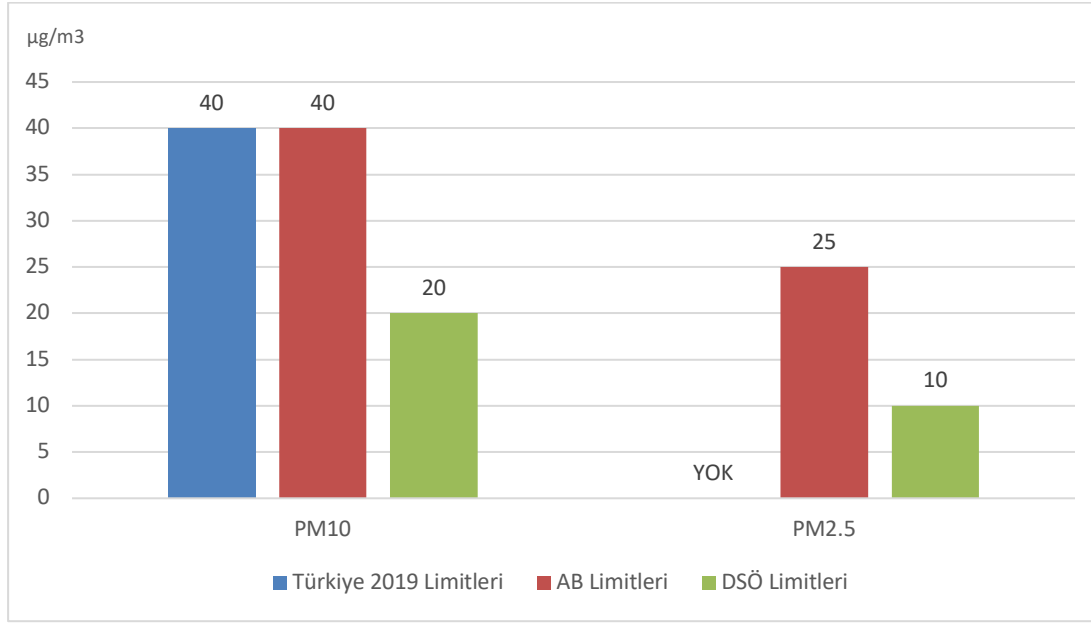
Türkiye’de nüfus bakımından en kalabalık il olan İstanbul’da hava kalitesini izleme noktasında eksiklikler bulunmaktadır. 39 ilçesi olan İstanbul’un sadece 20 ilçesinde toplam 30 hava kalitesi ölçüm istasyonu ile izleme yapılmaktadır. 2016-2018 dönemi incelendiğinde bu üç yılda ise yalnızca 8 ilçesinde düzenli ölçüm yapılabildiği görülmektedir (Url-2). Şekil 3.10’da bu seneler için İstanbul PM₁₀ ortalamaları verilmiştir.



Şekil 3.10 : 2016 – 2018 yılı İstanbul ili yıllık PM₁₀ ortalamaları.

Şekil 3.10'daki grafikte görüldüğü üzere asgari iki sene yeterli ölçüm yapılan istasyonlardan sadece Kandilli ve Sarıyer ilçelerinde düzenli bir kirlilik azalması olduğu görülmektedir.

Türkiye'de hava kirleticileri ile ilgili olarak belirlenmiş olan sınır değerler AB esas alınarak oluşturulmuştur (28898 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği, 2008). Ancak Şekil 3.11'de gösterildiği üzere bu eşik değerlerin DSÖ değerlerine çekilmesi halk sağlığı açısından oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 3.11 : Partikül madde yıllık ortalama limit karşılaştırması.

AB “Directive 2008/50/EC (2008 Directive) yönetmeliği ile AB üyesi ülkeleri üzerinde hava kirleticilerinin salınımı konusunda yaptırıcı önlemler aldığı görülmektedir (Url-3). Yönetmeliğe uymayarak hava kalitesini düşürücü salınımlar yapan AB üyesi ülkeler AB Komisyonu aracılığıyla Adalet Divanı'nda yargılanabilmektedir. PM₁₀ emisyon değerlerinin sistematik olarak aşılması sebebiyle 5 Nisan 2017 tarihinde görülen Bulgaristan Davası ile yine aynı sebeple 22 Şubat 2018 tarihinde görülen Polonya Davası bu yargılanmalara örnek teşkil etmektedir (Url-5). Ayrıca komisyonun 19 Ocak 2018 tarihinde toplam 9 ülkenin ilgili bakanlarının sınır değerlerin üzerinde salınım yapılması sebebiyle çağrılmasını onayladığı ve Kasım 2018'de ise hava kirliliği ihlalleri sebebiyle hukuksal inceleme yapılması için Fransa, Almanya, Macaristan, İtalya, Romanya ve İngiltere için Adalet Divanı'na başvuru yaptığı görülmektedir.

3.3 Hava Kirliliğinin Sağlık Üzerindeki Etkileri

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre dünyada, sağlık için bilinen önlenabilir çevresel riskler sebebiyle her yıl en az 12.6 milyon kişi hayatını kaybetmektedir (WHO, 2019). Hava kirliliği birçok sağlık sorununu tetiklediği için DSÖ tarafından insanlar için en büyük çevresel sağlık riski olarak tanımlanmaktadır (Landrigan ve diğ., 2018). 2012 yılında dünya genelinde yaklaşık 3,7 milyon ölüm çevresel hava kirliliğinden kaynaklanmıştır (Perera, 2017).

17 Ekim 2013 tarihinde Dünya Sağlık Örgütü (World Health Organization, WHO) ve Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı (International Agency for Research on Cancer, IARC) tarafından yapılan açıklamaya göre, yapılan bilimsel çalışmalarla dış ortam hava kirliliğinin akciğer ve mesane kanserine yakalanma riskini arttırdığı kanıtlanmış ve hava kirliliği kanser yapıcı etkenler Grup 1 listesine alınmıştır (IARC ve WHO, 2013).

2008 ile 2013 yılları arasında Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan incelemelerde küresel düzeyde dış ortam hava kirliliği seviyelerinin yaklaşık %8 oranında arttığı tespit edilmiştir (WHO, 2013). Hava kirliliği kaynaklı ölümlerin maliyetinin küresel ekonomiye yansması, Dünya Bankası'nın 2013 yılı verilerine göre, ABD doları bazında, 225 milyar dolar işgücü kaybı ve 5 trilyon dolardan fazla refah zararına sebep olmuştur (Unicef, 2016).

3.3.1 Partikül maddelerin sağlık üzerindeki etkileri

Uluslararası Kanseri Araştırmaları Ajansı 2013 yılında partikül madde kirliliğini özel olarak kanser yapıcı etkenler listesinde sınıflandırdığını açıklamıştır (IARC, 2013). PM kirliliği solunum, dolaşım ve nörolojik sistemde ciddi tahribatlara yol açmaktadır. PM₁₀ kirliliğindeki 10 µg/m³'lük artışın dolaşım sistemi üzerinde %0.7 ve solunum yolu hastalıklarında ise %1.4 artışa sebep olabilmektedir (Perez ve diğ., 2015). PM kirliliği bir bütün olarak halk sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir fakat etkilenme oranı kişiden kişiye değişiklik gösteren genetik faktörler, sağlık sorunları, yaş ve yaşam tarzı gibi bireysel faktörlere bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle hava kirliliği konusunda canlı sağlığını etkilemediği iddia edilebilecek herhangi bir eşik değeri bulunmamaktadır. Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan bilimsel çalışmaların sonucunda PM_{2.5} kirliliği için sağlık sorunlarına yol açabilecek değeri aralığı 3-5 µg/m³ ve uzun vadeli limit değeri için ise yıllık ortalama 10 µg/m³ olarak

tahmin edilmekte olup uzun süreli PM_{2.5} maruziyeti ile canlı hayatının sona ermesi arasında güçlü bir bağlantı olduğu bildirilmektedir (WHO, 2006).

Yaşam kalitesini düşüren hastalık ya da bozukluklar sebebiyle insan ömründen kaybedilen seneleri değerlendiren mutlak bir sağlık kaybı ölçütü olan DALY, engelliliğe ayarlanmış yaşam yılı olarak ifade edilmekte olup halk sağlığı için önemli bir özet göstergedir (Erbaydar, 2009). Çizelge 3.2’de dış ortam PM kirliliğinin sebep olduğu çeşitli sağlık sorunlarına bağlı olarak hesaplanmış DALY tablosu paylaşılmıştır. (GBD, 2017)

Çizelge 3.2 : Hava kirliliklerinin sağlık üzerindeki etkileri.

	2016 yılı ölüm oranı (x1000)	2016 yılı DALY (x1000)
Alt solunum yolu enfeksiyonu	653	28517
Bronş ve akciğer kanseri	280	6200
İskemik kalp hastalığı	1576	34934
İskemik inme	348	7387
Hemorajik inme	448	11480
Kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA)	789	17156
Toplam	4093	105674

Hava kirliliğinin sorumlu olduğu hastalıkların başında alt solunum yolu enfeksiyonları ile kronik obstrüktif akciğer hastalığı (KOA) gelmektedir ve dış ortam havasındaki partikül maddeler dünyadaki alt solunum yolu enfeksiyonlarına bağlı ölümlerin %27.5’i ile KOA sebepli ölümlerin %26.8’inden sorumlu olduğu görülmektedir (GBD, 2017).

Hava kirliliğinin insan üreme sisteminde de ciddi sorunlara yol açtığı görülmektedir. Çek Cumhuriyeti’nin Teplice bölgesinde 2 yıl boyunca genç erkeklerle yapılan çalışmalar sonucunda hava kirliliğine aralıklı maruz kalmanın spermde DNA hasarı, sperm hareketliliği ve sayısında azalma ve böylece erkek kaynaklı kısırlık ile diğer olumsuz üreme sonuçlarının oranlarını artırabileceği belirlenmiştir (Rubes, Selevan ve diğ, 2005). İspanya Barselona’da PM üzerine yapılan bir çalışmada ulaşım kaynaklı hava kirliliği seviyelerindeki artışla birlikte kadınlarda doğurganlığın azalması arasında ilk defa anlamlı bir ilişki olduğu gösterilmiştir. (Nieuwenhuijsen, Basagaña ve diğ, 2014).

3.3.2 Hava kirliliğinin çocuk sağlığı üzerindeki etkileri

Hava kirleticilerinin göbek kordon bağı ve plasenta yoluyla fetüse ulaşabildiğini ve fetüsün kan akışını olumsuz yönde etkileyebildiğini gösteren birçok araştırma yapılmıştır (Salvi, 2007). Çocuklarda metabolizma hızı ve oksijen tüketiminin yetişkinlere göre yüksek olması, çocukların hava yollarının daha dar, organlarının gelişme aşamasında ve küçük olması, dışarıda daha fazla vakit geçirmeleri, bedenlerinde koruma mekanizmalarının tam gelişmemiş olması ve solunum sistemlerindeki olumsuz belirtileri anlayabilecek bilişsel düzeyde olmamaları gibi etkenlerle çocukların maruz kaldıkları hava kirliliğinin etkisi daha kalıcı ve şiddetli olmaktadır. Hava kirliliğinin genel olarak bebek ve çocuklarda kalp, beyin, hormon ve bağışıklık sistemleri üzerinde olumsuz etkiler yarattığı kanıtlanmıştır (Suwanwaiphatthana ve diğ, 2010; Schwartz, 2004). Büyüme, zekâ, beyin gelişimi ve koordinasyon üzerindeki hava kirliliğinin olumsuz etkilerini kanıtlayan çalışmalar ise gün geçtikçe artmaktadır (Peled, 2011; WHO, 2005). Dış ortam kirliliği, düşük doğum ağırlığı ve erken doğuma sebep olarak ileride önemli halk sağlığı sorunlarına yol açabilecek gelişimsel sorunlar ve kronik akciğer hastalıkları gibi olumsuz etkenlerin oluşmasının önüne açmaktadır (Brauer ve diğ, 2008). Hava kirliliğinde gözlenen küresel artış ile birlikte Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu (UNICEF)’nin 2016 yılında yapmış olduğu bir çalışmaya göre dünyadaki koçuların 1/7’si DSÖ’nün hava kalitesi konusunda belirlediği eşik değerlerin üzerinde kirli hava solumaktadır.

Hava kirliliğinin çocuklar üzerindeki etkilerine bağlı olarak ortaya çıkan sağlık sorunlarının bazıları: “Düşük doğum ağırlığı”, Mathiesen (2015); “Otizm”, Roberts ve diğ. (2013), Volk ve diğ. (2013); “Diyabet (Tip 1)”, Wain (2016), Ritz ve diğ. (2008), Stepanova ve diğ. (2018); “Ani Bebek Ölümü Sendromu”, Tong ve Colditz (2004); “Astm, KOAH, bronşiolit ve bronşit gibi solunum hastalıkları”, Salvi (2007), WHO (2005), Schwartz (2004), Jung ve diğ. (2014), WHO (2005); “Zatürre”, UNICEF (2016a); “Bebek ölümü”, Ritz ve Wilhelm (2008) ve “Zekâ geriliği”, Calderón-Garcidueñas ve diğ. (2014) olarak belirtilebilir.

Yapılan çalışmalar otizm ile hava kirliliği arasında bir ilişki olduğunu göstermekte olup özellikle yoğun PM maruziyeti ve ana caddelere yakın oturma gibi etkenlerin riski arttırdığı bildirilmiştir (Roberts ve diğ, 2013; Volk ve diğ, 2013). Ayrıca 2015 yılında; kirliliğe gebelik öncesi, sırası ve sonrasındaki maruziyetin etkisini incelemek amaçlı Amerika’daki 50 eyaleti kapsayan bir çalışmanın sonucunda gebelik

döneminde maruz kalınan hava kirliliğinin otizm riskini artırdığı ortaya konulmuştur (Autism Speaks, 2014, 2016). OECD verilerine göre çevresel hava kirliliği sebebiyle 5 yaşından daha küçük çocukların ölüm hızının 2050 yılında %50 daha fazla olacağı tahmin edilmiştir (UNICEF, 2016b). Beyin gelişimi konusunda 2014 yılında Harvard Üniversitesi'nde yapılmış bir çalışmada kirli havanın içindeki toksik maddelerin nörolojik fonksiyonları ve fetüsü etkilediği belirtilmiştir (Warnock, 2014). Barselona'da 39 okuldan yaşları 7 ile 10 arasında 2715 çocuk ile yürütülen 12 aylık bir çalışmada, çocuklara üç ayda bir yapılan testler ile okulda yüksek ve düşük trafik kirliliği maruziyetine bağlı olarak beyin gelişimleri, bellek ve dikkat durumları değerlendirilmiş ve sonuç olarak yoğun trafiğe bağlı kirliliğe maruz kalan çocukların bilişsel düzeyi 12 aylık çalışma süresi sonunda %7.5 gelişme gösterirken trafik yoğunluğu az olan bölgelerdeki çocuklarda ise bu gelişmenin %11.5 olduğu görülmüştür (Sunyer ve diğ, 2015).

3.3.3 Türkiye'de 2017 yılı PM_{2.5} kirliliğinin sağlık etkileri

Türkiye'de henüz PM_{2.5} kirliliği hakkında herhangi bir yasal düzenleme bulunmamaktadır. Yasal zorunluluk olmamasından Türkiye'de PM_{2.5} ölçümleri çok az ilde yapılmaktadır. Ölçüm yapılmayan yerler için ise PM₁₀ ölçümlerinin kıyaslanması ile PM_{2.5} değerleri tahmin edilebilmektedir.

DSÖ Avrupa Bölge Ofisi tarafından, belirli bir nüfusta hava kirliliğinin sağlık etkilerinin hesaplanması amacıyla geliştirilmiş bir program olan AirQ+ ile İstanbul'da 2017 yılı verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar ile ortaya çıkan hava kirliliğine bağlı ölümlerin oranı (30 yaş üzeri kazalar haricindekiler) hesaplanmıştır (Mudu ve diğ, 2018). Yapılan hesaplamalar neticesinde 2017 yılında Türkiye'de meydana gelen ölümlerin %13'ünün hava kirliliği sebebiyle gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca 2017 yılında Türkiye'de kazalar ve dışsal yaralanmalar haricindeki meydana gelen 30 yaş üstü toplam ölüm sayısı 399.025 olup bu ölümlerin en az 34.544 ve en çok 66.381'i hava kirliliğine atfedilmiştir.

Çizelge 3.3'de görüldüğü üzere, İstanbul'un toplam 5851 ölüm sayısı ile Türkiye'de en fazla hava kirliliğine atfedilen ölüm sayısına sahip il olduğu görülmüştür (THHP, 2019).

Çizelge 3.3 : İstanbul için dış ortam partikül madde kirliliği kaynaklı ölümler.

PM _{2.5} Düzeyi	28.0
Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm Sayısı	5851
Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm Sayısı (En Düşük)	3887
Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm Sayısı (En Yüksek)	7623
Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm %	10.3
Hava Kirliliğine Atfedilen Ölüm Sayısı	63.3

3.4 Hava Kirliliğinin İklim Değişikliği Üzerindeki Etkileri

Bilimsel kanıtlar açık bir şekilde göstermektedir ki dünya iklimi değişmekte ve ısınmaktadır. 1950’li yıllardan bu yana gözlemlenen iklimsel değişikliklerin birçoğu geçen binlerce yılda dahi eşi görülmemiş bir boyuttadır. İklim değişikliğinin temel sebebi olarak insan faaliyetlerine dayalı sera gazları gösterilmektedir. 2014 yılında Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)) “20. yüzyılın ortalarından beri gözlenen ısınmanın baskın nedeninin çok büyük bir olasılıkla insan etkisinden kaynaklandığı” sonucuna varmıştır (IPCC, 2014).

İklim değişikliğinin insan sağlığı ve güvenliği, ekonomi, doğal kaynaklar ve dünyadaki ekosistemler üzerinde etkileri olacağı öngörülmektedir. İklim değişikliği, küresel bir çözüm gerektiren küresel bir sorundur. 2016 yılından bu yana yürürlükte olan Paris Anlaşması, küresel sıcaklık artışlarını bu yüzyılın sanayi öncesi seviyelerinin 2 katından daha azına sınırlayarak iklim değişikliğine küresel tepkiyi güçlendirmeyi amaçlamaktadır (UNFCCC, 2018). Paris Anlaşması ile tüm ülkelerin mevcut 2020 emisyon azaltma taahhütleri tam olarak karşılanırsa bile, küresel ortalama sıcaklığın yüzyılın sonuna kadar sanayi öncesi seviyelerin en az 3°C üzerine çıkacağı tahmin edilmektedir. Paris Anlaşması’nda belirlenen sınırlar aşılsa, ortalama küresel sıcaklığın 2100 yılına kadar 5.6 °C artacağı ve özellikle Kuzey Kutup bölgesinde insanlar ve çevre üzerindeki potansiyel yıkıcı etkileri olacağı tahmin edilmektedir (Environment and Climate Change Canada, 2015).

3.4.1 Hava kirliliğinin Arktik Bölge üzerindeki etkileri

İklim değişikliğinden yoğun bir şekilde ve gözle görülür derecede etkilenen bölge olan Arktik Bölgede, buzulların erimeye başlaması ile birlikte bölgenin ekosisteminde ciddi değişimler meydana gelmektedir. Kuzey Kutbu içinde ve dışında deniz

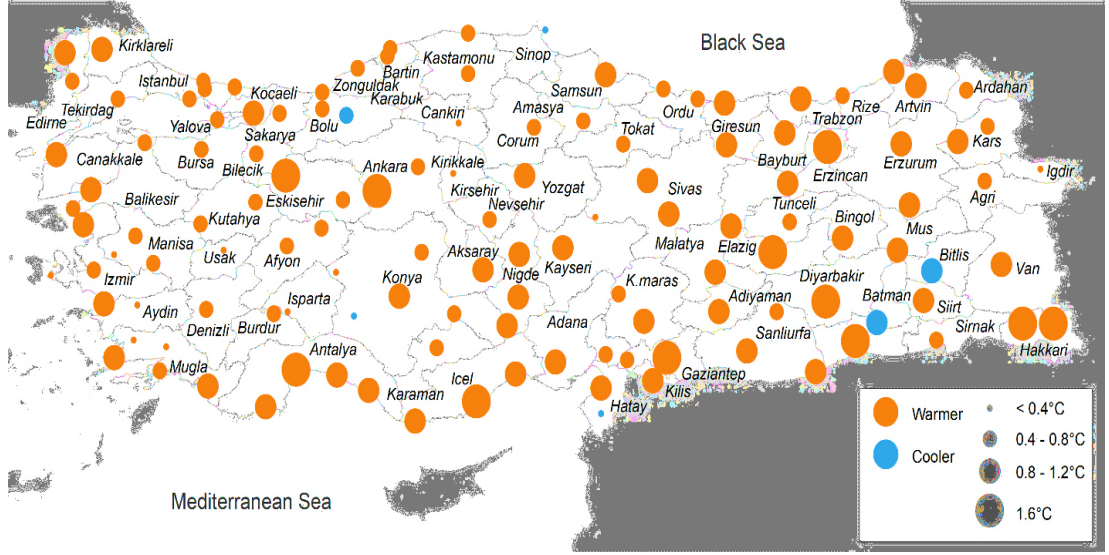
taşımacılığın kaynaklanan hava kirliliğinin iklim değişikliğini ve Kuzey Kutbu'ndaki insanların ve ekosistemlerin sağlığını etkilediği gözlenmektedir. Bununla birlikte günümüzde bu bölgeyi kullanan gemi sayısının düşük olmasına rağmen Kuzey Kutbu'ndan geçen gemi sayısının gelecek yıllarda artacağı öngörülmektedir (Arnold ve diğ. 2016).

Kuzey Kutbu'nda faaliyet gösteren gemiler tarafından tüketilen yakıtın çoğunluğu (% 57) ağır yakıttır (HFO). HFO'nun gemilerde yakıt olarak kullanılması, arktik bölgedeki buzların erimesine sebebiyet veren partikül madde emisyonunun oluşmasına sebep olmaktadır (Comer ve diğ, 2017). Nisan 2018'de Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO), ağır yakıt tüketiminin etkilerinin değerlendirilmesine dayanarak Kuzey Kutbu'nda HFO kullanımının yasaklanması da dahil olmak üzere HFO ile ilişkili riskleri azaltmak için önlemler almaya yönelik çalışmayı taahhüt etmiştir (IMO MEPC, 2018c). Antarktika'da, HFO'nun kullanımı ve taşınması 2011'den beri yasaklanmıştır (IMO, 2011).

3.4.2 Hava kirliliğinin Türkiye'deki etkileri

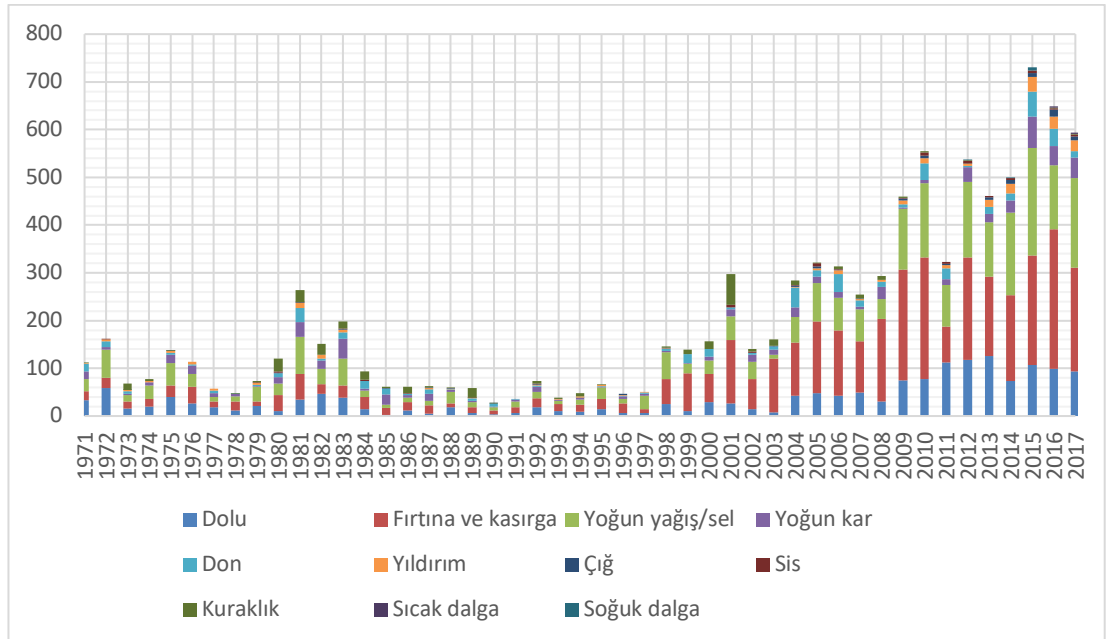
Türkiye'de ise yıllık ortalama sıcaklık artışı, ülke genelinde değişen mevsim ve yağış düzenleri gibi iklim değişikliği etkileri görülmeye başlanmıştır (TSMS, 2018). Türkiye'nin 2016- 2017 yıllarındaki yıllık ortalama sıcaklık değeri 1981-2010 yılları arası dönem ile kıyaslandığında 1°C artış yaşandığı ve yağış düzenlerinin de bozulmaya başladığı tespit edilmiştir. 2016 yılında ülkenin kuzeyinde normalin üzerinde yağışlar görülürken güney kesiminde ise yağışlar normalin altında kalmıştır (TSMS, 2018, 2017). Yaşanan son yüzyılda Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinde deniz seviyesinde yaklaşık 12 cm yükselme görülmüştür (OECD, 2013).

Şekil 3.12'deki haritada Türkiye'de değişen ortalama sıcaklık değerlerine vurgu yapılmıştır. Şekildeki harita üzerindeki baloncuklar hava ölçüm istasyonlarına göre haritaya yerleştirilmiş olup baloncunun büyüklüğü ile doğru orantılı olarak turuncu renkliler ısınmayı, mavi renkliler ise soğumayı temsil etmektedir (OECD, 2019a). Türkiye açısından 2019 yılı OECD çevresel performans incelemelerinde Türkiye'nin büyük bir bölümünde ortalama sıcaklıklarda artışlar görülmüştür.



Şekil 3.12 : Türkiye açısından 2019 yılı OECD çevresel performans incelemeleri.

İklim değişikliği ile ilişkili sıcak hava dalgaları, taşkınlar, toprak kaymaları, orman yangınları, fırtına ve dolu gibi afetlerden Türkiye sıklıkla etkilenmekte olup 1971 – 2017 yılları arasındaki döneme ait Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü verileri incelendiğinde özellikle son on yılda olağan dışı meteorolojik olayların sayılarında artış olduğu kaydedilmiştir (Demircan ve diğ, 2017). Şekil 3.13’te Türkiye’de bir yıl içerisinde görülen olağanüstü hava olayları sayısının senelere göre dağılımı gösterilmiştir (OECD, 2019b).



Şekil 3.13 : Türkiye’de bir yıl içinde görülen olağanüstü hava olayları sayısı.

Türkiye'nin iklim değişikliğinin olası maliyetlerini henüz detaylı olarak değerlendirmedeği görülmektedir (MoD, 2014). Sıcak hava dalgaları, taşkınlar, toprak kaymaları, orman yangınları ve fırtınalar gibi iklim ile ilgili risklerin nüfus ve ekonomik faaliyetler üzerinde büyük ölçüde doğrudan ve dolaylı etkileri bulunmaktadır (OECD, 2013). 2000-2009 yılları arasında yaşanan deprem harici doğal afetlerin sebep olduğu zararların tahmini maliyetinin toplam 1 milyar dolara ulaştığı görülmektedir. Yaşanan bu afetlerden birçok insan ölüm, yaralanma, evsiz kalma vb. şekilde etkilenmiştir (UCL-CRED, 2018).

3.5 Deniz Taşımacılığının Dünya Hava Kirliliğine Etkisi

Dünya ekonomisi ve refahı için elzem olsa da ticari deniz taşımacılığı endüstrisi küresel hava kirliliğinde önemli bir pay sahibi olduğu ve herhangi bir değişiklik yapılmazsa endüstrinin emisyonlarının artması beklenmektedir. Dünya üzerinde üretilen ürünlerin yaklaşık %80'i gemiler ile taşınmaktadır (UNCTAD, 2015). Diğer taşımacılık türleri ile kıyaslandığında, deniz taşımacılığının büyük hacimli kargoların taşınmasında en enerji tasarruflu yol olduğu görülmektedir (Council of Canadian Academies, 2017). Enerji için hidrokarbon yakıtları yakan diğer tüm ulaşım türleri gibi, gemiler de hava kalitesini düşüren, insan sağlığını olumsuz yönde etkileyen ve iklim değişikliğinin geniş kapsamlı etkilerine sebep olan hava kirliliği yaratmaktadır. 2013 yılında Kanada'nın Great Lakes ve St. Lawrence Seaway Region bölgelerinde yapılan bir araştırmanın sonuçları göstermiştir ki 1-ton yük 1 litre yakıt ile kamyon vasıtası ile 49 km, tren ile 226 km ve gemi ile ise 394 km uzaklığa taşınabilmektedir (English ve Hackston, 2013). Deniz taşımacılığı, diğer taşımacılık türlerinden ton olarak kilometre başına daha az sera gazı (SG) salınmasından sorumlu olsa da gemiler 2012 yılında dünyadaki toplam CO₂ emisyonlarının % 2.2'sinde pay sahibidir (IMO MEPC, 2018b). Önümüzdeki yıllarda küresel deniz trafiğinin artan ticarete yanıt olarak büyümesi beklenmektedir. Gemilerden kaynaklanan emisyonları sınırlamak için ek önlemler alınmadığı takdirde, deniz koşullarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının ekonomik koşullara bağlı olarak 2050 yılına kadar % 20'den % 120'ye kadar artış göstereceği tahmin edilmektedir (Lee, 2018).

Ticari gemiler de diğer ulaşım araçları gibi enerji elde edebilmek için yakmış oldukları yakıt sonucu çeşitli hava kirliliklerini sebep olan yan ürünler de üretilmektedir. İklim değişikliği ve halk sağlığı ile yakından bağlantılı olan gemi kaynaklı kirleticiler

arasında karbondioksit (CO₂), azot oksitler (NO_x), sülfür oksitler (SO_x) ve partikül maddeler bulunmaktadır (WHO, 2018b). IMO'nun 2014 yılında sera gazı emisyonları ile ilgili üçüncüsünü yapmış olduğu çalışmaya göre (IMO Third GHG Study), küresel ölçekte deniz taşımacılığı endüstrisinden kaynaklanan senelik toplam emisyon payı; CO₂'de %2.2, NO_x'de %15 ve SO_x'de ise %13 olarak hesaplanmıştır (IMO, 2015b).

3.5.1 Karbondioksit (CO₂)

İklim değişikliğine ve okyanus asitlenmesine sebebiyet veren büyük bir sera gazı olan CO₂, güneşin sıcaklığını yakalayarak ortalama hava sıcaklıklarında artış, yağmur düzenlerinin değişimi ve olağan dışı tehlikeli hava olaylarında artış gibi yaygın iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Sıcak hava dalgaları, seller ve büyük fırtınalar gibi iklim değişikliğine bağlı tehlikeli hava olayları insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir ve dünya çapında beklenmedik ölümlere sebep olmaktadır. CO₂ deniz suyu tarafından emilerek suyun asit oranını artırmaktadır ve bu artış, deniz yaşamı ve ekosistemler üzerinde olumsuz etki etmektedir (Environment and Climate Change Canada, 2015).

3.5.2 Azot oksitler (NO_x)

Çeşitli azot ve oksijen kombinasyonlarından oluşan bir gaz kümesi olan NO_x solunduğunda akciğer iltihabına neden olmakta ve astımı olan kişilerde alerjenlerden zarar görme duyarlılığını artırmaktadır. NO_x kan dolaşımına girebilmekte ve uzun süreli maruz kalma sonucunda kalp ve akciğer yetmezliğine yol açabilmektedir (WHO, 2018d). NO_x; göz, burun ve boğaz tahrişlerine, nefes darlığı, solunum koşullarının kötüleşmesi, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, astım ve alerjiler, kardiyovasküler hastalık ve erken ölüme sebebiyet veren uçucu organik bileşiklerle (VOC) etkileşime girerek yer seviyesinde ozon oluşturmaktadır (Environment and Climate Change Canada, 2017). Toprak ve suyun asitlenmesine (asit yağmuru) de sebep olan NO_x, yer seviyesindeki ozon sebebiyle de mahsul ve bitki verimliliğini düşürerek gıda güvenliğini tehdit etmektedir. Aşırı azotlu besin maddelerine sahip ekosistemlerde, kıyı sularında ve iç göllerde toksik alg çiçeklerine yol açmakta ve su oksijen seviyelerinin düşmesine sebep olmaktadır (US EPA, 1999).

3.5.3 Sülfür oksitler (SO_x)

Çeşitli sülfür ve oksijen kombinasyonlarından oluşan bir gaz kümesi olan SO_x, solunduğunda akciğer iltihabına neden olmakta ve özellikle astımı olan kişilerde alerjenlere karşı duyarlılığı artırmaktadır. SO_x kan dolaşımına girebilmekte ve uzun süreli maruz kalma sonucunda ise kalp ve akciğer yetmezliğine yol açabilmektedir. SO_x'in göz tahrişlerine sebep olduğu, solunum yolu enfeksiyonlarına karşı duyarlılığı arttırdığı ve kalp hastalıklarına sebebiyet verdiği bilinmektedir (WHO, 2018e). NO_x gibi SO_x'ler de toprak ve suyun asitlenmesine (asit yağmuru) sebep olmaktadır (Government of Canada, 2018a).

3.5.4 Partikül madde (PM)

Partikül madde, yakıtın yanması sırasında oluşan katı ve sıvı parçacıklardan oluşan bir kümedir. İnsanların akciğerlerine solunarak ve kan dolaşımına katılarak kanserler de dahil olmak üzere birçok kalp ve akciğer sorunlarına neden olmaktadır (Landrigan ve diğ., 2018). Partikül maddeler yer seviyesindeki ozonla birlikte dumanın önemli bir bileşenidir (Government of Canada, 2018b). CO₂'den sonra iklim değişikliğine en büyük ikinci katkıda bulunan “siyah karbon” u oluşturur (WHO, 2018c). Havadan taşınırken, siyah karbon güneş enerjisini emer ve kar ve buz yüzeylerini koyulaştıran yağış olarak yeryüzüne düşmeden önce atmosferik ısınmaya katkıda bulunur (Cho, 2016). Buz ve kar üzerindeki yüksek siyah karbon konsantrasyonları uzaya yansıyan güneş enerjisini önemli ölçüde azaltarak- albedo etkisi- erimeyi hızlandırır (Hansen ve Nazarenko, 2004).

3.6 Deniz Taşımacılığından Kaynaklı Hava Kirliliğinin Azaltılması

IMO, Gemilerden Kaynaklanan Kirliliği Önleme Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) aracılığıyla gemilerden kaynaklanan kirliliği düzenlemektedir. Hava kirliliği ile ilişkili düzenlemeler ise Sözleşme'nin altıncı ekinde yer almaktadır. Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi Yönetmeliği (MARPOL Ek VI), gemilerden kaynaklanan hava emisyonlarını (SO_x, NO_x, ozon tabakasına zarar veren maddeler ve VOC'ler) ve bunların yerel ve küresel hava kirliliğine, insan sağlığı sorunlarına ve çevre sorunlarına etkilerini kontrol etmeyi amaçlamaktadır (IMO, 2018). İlk olarak 1997'de kabul edilen ve 19 Mayıs 2005'te yürürlüğe giren MARPOL Ek VI, sülfür oksitler (SO_x) ve azot oksitler (NO_x) dahil olmak üzere gemi egzoz

gazında bulunan ana hava kirleticilerini sınırlamakta ve ozon tabakasına zarar veren maddelerin kasıtlı emisyonlarını yasaklamaktadır.

Gözden geçirilmiş Ek VI, 1 Temmuz 2010'da yürürlüğe girmiş, gemi egzozlarından ve partikül maddeden kaynaklanan sülfür oksit ve azot oksit emisyonları üzerinde sınırlamalar getirmekte ve hidrokloroflorokarbonlar gibi ozon tüketen maddelerin kasıtlı emisyonlarını yasaklamaktadır. IMO (Baltık Denizi, Kuzey Denizi ve Kuzey Amerika) tarafından belirlenen Emisyon Kontrol Alanları için daha katı standartlar belirlenmiştir. MARPOL Ek VI'daki ana değişiklikler, SO_x, NO_x ve partikül madde emisyonlarında küresel olarak aşamalı bir azalma ve belirlenen hava alanlarında bu hava kirleticilerinin emisyonlarını daha da azaltmak için emisyon kontrol alanlarının (ECA) getirilmesidir. Gözden geçirilen tedbirlerin, özellikle liman kentlerinde ve kıyı topluluklarında yaşayan insanlar için, atmosferik çevre ve insan sağlığı üzerinde önemli bir yararlı etkisi olması beklenmektedir. Nisan 2018'de IMO, 2050 yılına kadar toplam yıllık emisyonları (2008 seviyelerine kıyasla) en az %50 azaltmayı amaçlayan gemi kaynaklı SG'yi azaltmak için bir başlangıç stratejisi benimsemiştir (IMO MEPC, 2018).

Deniz taşımacılığında kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için, armatörler ve işletmeciler alternatif enerji kaynakları, gemi bileşenlerindeki değişiklikler ve operasyonel verimlilik gibi pratik önlemler almaktadır (Winnes ve diğ, 2015).

3.6.1 Enerji kaynakları

Sahil gücü: Kıyı gücü, bir iskelede iken kıyıda bir gemiye elektrik enerjisi sağlama ve geminin yardımcı makinelerini kapatma işlemidir. Sahil gücü, limandayken SO_x, NO_x ve partikül madde emisyonlarını %88 veya daha fazla azaltabilmekte ve ayrıca CO₂ emisyonlarını da düşürmektedir (Wang ve diğ, 2015).

Düşük Kükürtlü Yakıtlar: SO_x emisyonlarını azaltmak için gemiler, düşük kükürtlü yakıtı veya partikül madde emisyonlarını azaltmanın ilave faydasına sahip alternatif yakıtı geçebilir ya da rafine işlemleri ile kükürt oranı düşürülebilir. Gemilerin bunker yakıt talebi arttıkça, daha yüksek talebi karşılamak için bunker yakıt harmanlama bileşenlerini kükürtten arındırmak için rafineri yatırımlarına ihtiyaç duyulduğu için üretim maliyetlerinin artacağı öngörülmektedir (EC, 2003). Mevcut rafinaj sistemi içinde RO'nun kükürtten arındırılması için yeniden harmanlanmaya geçmesi, rafineri işlemlerindeki maliyetin ve aynı zamanda düşük ve yüksek kükürtlü akaryakıt

arasındaki fiyat farkının artışına sebep olmaktadır. Bu nedenle, bunker yakıt talebi tahmininin gerçekçi bir şekilde yapılması, yapılacak çalışmaların temel gereksinimini oluşturmaktadır.

Denizcilikte kullanılan dizel yakıt (MDO): Öncelikli olarak denizcilik amacıyla kullanılan ağır gaz yağı olan bu yakıt, değişen kükürt içeriğiyle yeniden rafine edilerek üretilir (Environment Canada, n.d.).

Sıvılaştırılmış doğal gaz (LNG): Sıvılaştırılmış doğal gaz geleneksel deniz yakıtları ile karıştırılarak kullanılabilir.

Metanol: Oda sıcaklığında sıvı olan metanolün depolanması ve dağıtılması LNG'den daha kolaydır, ancak SG emisyonlarını geleneksel deniz yakıtlarına kıyasla % 12-15 artırmaktadır. (Gilbert ve diğ, 2018).

Alternatif enerji kaynakları: Günümüzde gemilere güç sağlamak için rüzgâr ve güneş enerjisi, piller, biyoyakıtlar ve hidrojen yakıt hücreleri alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi için test edilmektedir (Cotorcea ve diğ, 2014).

3.6.2 Gemi değişiklikleri

Egzoz Temizleme: Kurulan yıkayıcı sistemlerle (scrubber) gemilerde oluşan egzoz gazı kostik soda veya su ile yıkanarak, yüksek kükürtlü yakıttan % 99'a kadar SO_x ve % 98'e kadar partikül madde ayrışması sağlanabilmektedir (Exhaust Gas Cleaning Systems Association, n.d.). SO_x emisyonunun azaltılmasına yönelik kullanılmaya başlanılan baca gazını su ile yıkama sistemleri, kargo tankları için kazanlardan üretilen baca gazını temizlemek için petrol tankerlerinde uzun yıllardır kullanılmakta olan metotlardan biridir. Deniz suyu yıkayıcısından (scrubber) çıkan atık su son derece asidiktir, ancak denize tahliye edildiğinde olumsuz çevresel veya ekolojik etkiler vermeden hızla dağılabilmektedir (ENTEC, 2005c). Deniz suyunun sahip olduğu doğal alkalilik nedeniyle, sıcak egzoz gazları içeriğinde bulunan SO₂ ve PM'lerden arındırılmak için deniz suyu ile karıştırılır. SO₂ okyanusa geri atılan deniz suyuna emilir. Kül içeren PM, bertaraf edilmek üzere toplandığı çökeltme tanklarında tutulur. Normal yük koşullarında bu sistem sayesinde, sülfür giderme oranları %70-90 arasındadır ve gaz yıkayıcı optimizasyonları ile bu oran daha da iyileştirilebilmektedir. Sülfür giderme oranı en düşük %65 ve en yüksek (2006 başlarında bir Avrupa Feribotu denemesi) %99 olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemin PM azaltma oranının %25 veya daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir (ENTEC, 2005c). Yıkama sonrası tahliye

suyunun kalitesi, IMO OILPOL tarafından 25 ppm hidrokarbon ile sınırlıdır ve denemeler bunun başarılabilirliğini göstermiştir. IMO henüz SO_x'in yıkama suyunun tahliyesi için bir sınır koymamıştır. Ancak bununla birlikte, devletler UNCLOS kapsamında, limanlarındaki, iç sularındaki ve karasularındaki gemilerden deniz ortamının kirlenmesini azaltmak ve kontrol altına almak için kendi yasalarını ve önlemlerini alma hakkına sahiptir. Bu bağlamda, ABD'de EPA'nın bunlar hakkında çeşitli düzenlemeleri vardır.

Bunker yakıtındaki azot, potansiyel olarak kontrol edilebilen bir parametreyi temsil eden NO_x emisyonunun önemli bir kaynağıdır. IMO'nun NO_x emisyon azaltımı için 2008 yılında yayınlamış olduğu NO_x Teknik Kodu ile gemilerin makinelerinde uygulanmasını istediği bir dizi uygulama yürürlüğe girmiştir. Yeni üretilen ya da hali hazırda var olan eski gemi makineleri üzerinde yapılan geliştirmeler ve çeşitli modifikasyonlarla NO_x salınımının azaltılması sağlanmaktadır.

Aşağıda ENTEC tarafından 2005 yılında yayınlanan bir rapora göre, NO_x emisyonlarını azaltmaya yönelik temel önlemler ve bunların NO_x azaltma verimliliği ile yatırım ve operasyonel harcama maliyetleri aşağıdaki tahmin edilmiştir (ENTEC, 2005b).

- Temel Dahili Makine Değişiklikleri: %20 NO_x azaltma / 9 euro / ton NO_x
- Gelişmiş Dahili Makine Değişiklikleri: %30 NO_x azaltma / 19 euro / ton NO_x
- Doğrudan Su Enjeksiyonu: %50 NO_x azaltma / 345 euro / ton NO_x
- Nemli Hava Motorları: %70 NO_x azaltma / 263 euro / ton NO_x
- Egzoz Gazı Sirkülasyonu: %35 NO_x azaltma / na euro / ton NO_x
- Seçici Katalizör Azaltma: %90 NO_x azaltma / 358 euro / ton NO_x

Bu hususta, gemi makineleri teknolojileri yakından takip edilmeli ve düşük emisyon salınımı ve enerji verimi üzerine uygulamalı çalışmalar yapılmalıdır.

Motor Değişiklikleri: Dahili motor modifikasyonları- su eklenmesi, egzoz gazı sirkülasyonu, soğutma suyu sıcaklıkları veya örtüşme zamanlaması veya emme valfi kapanmasının değiştirilmesi- NO_x emisyonlarını % 100'e kadar azaltabilmektedir (Lamas ve diğ, 2013).

Seçici katalitik azaltma, NO_x emisyonlarını % 95 oranında azaltmak için egzoz gazının salınımından önce işleme tabi tutan bir sistemdir (Komar ve diğ, 2007).

Nemli hava motoru, NO_x emisyonlarını % 70 oranında azaltmak için motor yanma odasına su buharı ekleyen bir sistemdir (Riom ve diğ, 2002).

Gaz yakıtlı motorlar, NO_x emisyonlarını % 90'a kadar azaltmak için yakıt olarak LNG veya metanol HFO ile karşılaştırıldığında SO_x ve partikül maddeleri % 95 ile % 100 oranında azalabilmektedir (Æsøy ve Stenersen, 2013).

Verimli Tasarım: IMO, yeni gemiler için enerji verimliliği standartları sağlamak amacıyla 2011 yılında tanıtımını yaptığı “Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi” ni 2013 yılında yürürlüğe koymuştur. IMO’nun Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı, tüm gemiler için Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergelerini izlemek ve gemi operatörlerine filo CO₂ emisyonlarını değerlendirmede yardımcı olmak amacıyla kabul edilmiştir (IMO, 2009). Enerji verimliliğini artıran gemi tasarım alanları, gövde, pervane ve dümenin şeklini içermektedir. Tekne şeklinin ve gemi üst yapısının optimize edilmesinin, 5.000 gros tonun üzerindeki tüm gemi tipleri için yakıt tüketimini % 15 oranında azalttığı tahmin edilmektedir (Winnes ve diğ, 2015).

3.6.3 Operasyonel verimlilik

Hız Sınırlandırması (Slow Steaming): Hız azaltma, yakıt tüketimini ve dolayısıyla hava kirleticilerini etkili bir şekilde azaltmaktadır. Açık deniz koşullarında % 5'lik bir hız azalması, dökme yük gemileri veya tankerler için yaklaşık % 13 ve konteyner gemileri için % 16-19 oranlarında yakıt tasarrufu sağlamaktadır (Hochkirch ve Bertram, 2010).

Gemi Temizleme ve Kaplama: Yosun ve mikroplardan deniz yıldızlarına ve yengeçlere kadar değişen canlı organizmaları, kendilerini biyolojik kirlenme olarak bilinen bir süreçte gemi gövdelerine, pervanelerine ve diğer su altı bileşenlerine bağlayabilmektedir. Bu biyolojik katman, bir geminin suya karşı direncini artırır ve temiz bir gemiye kıyasla eşdeğer bir mesafeye gitmek için kullanması gereken yakıt miktarını artırır. Araştırmalar, biyolojik katmanın kalınlığına bağlı olarak, bir geminin yakıt tüketiminin % 18 ile % 38 oranında arttığını göstermektedir. Kirlenme önleyici kaplamalar bu biyolojik birikmeyi engelleyebilir ve gövde temizleme sıklığını azaltabilir (Demirel ve diğ, 2017).

Trim ve Draft Optimizasyonu: Gemilerde taşın yükün yüklenmesine bağı olarak oluşan trim ve draft, geminin seyri sırasında gösterdiği direnç miktarını etkileyebilmektedir. Uygun yükleme planının yapılması ile gemi tipine bağı olarak % 0.5 ile % 5 oranında yakıt verimliliğinin sağlanması mümkündür. Uygun yükleme planının yapılması için ek yazılımlar da bulunmaktadır (GloMEEP, n.d.).

Seyir Verimliliği: Gemi makinesinde oluşabilecek keskin yük artışlarını önlemek için gelgit ve akıntı bilgileri kullanarak hazırlanan uygun bir sefer planı ile gemilerde daha az yakıt tüketimi sağlanabilmektedir (Winnes ve diğ, 2015).





4. GEMİ KAYNAKLI EMİSYONUN HESABI VE TAHMİNİ

4.1 Metodoloji

Gemi emisyon envanterleri oluşturmak için günümüzde kullanılan mevcut yaklaşımlar “top-down” (yukarıdan aşağıya) ve “bottom-up” (aşağıdan yukarıya) yaklaşımlarıdır (Ortega Piriş ve diğ, 2018).

“Top-down” yaklaşımı yakıt bazlı yöntemlerdir: Rapor edilen miktarlara veya deniz bunker yakıt satışlarına dayanarak yayılan hava kirleticileri tahmininde bulunulur (Maragkogianni ve Papaefthimiou, 2015). “Top-down” yaklaşımı Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) için yurtiçi ve uluslararası denizcilik kaynaklı emisyon bilgisi sağlayan birkaç ülke tarafından uygulanmaktadır. Bu yaklaşım, toplam emisyon miktarını tahmin etmek için bunker yakıt istatistiklerini teknoloji tabanlı emisyon faktörü ile birleştirmektedir (EEA, 2013).

“Bottom-up” yaklaşımı ise filo faaliyetine dayalı hesaplamalar olarak adlandırılmaktadır. Bu hesaplamalar; liman çağrıları ve tahmini gemi operasyon bilgileri veya gemilerin geçiş izleri ve gerçek zamanlı gemi operasyonları kullanılarak yapılabilmektedir.

“Bottom-up” yaklaşımının “top-down” yaklaşımına göre hesaplamalarda genellikle daha doğru bilgi verdiği ancak özellikle büyük ölçekli çalışmalarda uygulanmasının veri toplama ve analizi bakımından güçlükler ortaya çıkardığına dair yorumlamalar mevcuttur (Buhaug ve diğ, 2009; Miola ve Ciuffo, 2011; Tzannatos, 2010). Ayrıntılı faaliyet tabanlı bottom up modellemesi; aynı karakteristik özelliği bulunan, farklı tipteki ve boyuttaki gemiler gibi, çeşitli giriş değişkenlerinde kategoriler oluşturmak için daha başarılı bir uygulama olarak görülmektedir. Ancak küresel ölçekli çalışmalarda kullanılan bottom up modellemelerinde; seçilen gemi tipi sınıflarında ana makine yük faktörü, çalışma süresi, yakıt tüketim oranı ve emisyon faktörü gibi gemilerin boyutlarına, yaşlarına, makine tiplerine ve seferlerine göre değişkenlik gösteren veriler için ortalama giriş parametreleri kullanılmasından dolayı hesaplanan

emisyon toplamalarında belirsizlikler ortaya çıkmaktadır (ICF Consulting, 2005; Eyring ve diğ, 2010). Hava emisyonlarının tahmini için metodolojinin seçimi çalışmanın konusuna bağlı olarak değişmektedir. Rafine edilmiş trafik bilgisi mevcut olmadığında, hesaplamalarda yakıt satışlarına dayalı “top-down” yaklaşımı kullanılırken; gemi seferlerinden, AIS (Automatic Identification System) verilerinden, liman veya gemi trafiği kontrol operatörlüğü aracılığıyla elde edilen gemi tipi, konumu, boyutu ve teknik ayrıntılar gibi giriş parametreleri ile ise gemi aktivitelerine dayalı “bottom-up” yaklaşımı kullanılmaktadır.

Tezin bu bölümünde; 2010 ve 2017 yıllarını kapsayan İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan gemilerin teknik özelliklerinin, İstanbul Boğazı geçişi süresince seyir hızlarının, seyir sürelerinin ve tüm bunlara bağlı olarak oluşturdıkları emisyonun ayrıntılı bir analizine dayanan bir “Bottom-up” yaklaşım çalışması sunulmaktadır. Bu yaklaşım temelinde hesaplamalarda ENTEC ve EPA isimli iki yöntemden faydalanılmıştır. Gemilerin teknik ve operasyonel verileri ise Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü (KEGM) tarafından sağlanmıştır.

2018 ve 2019 yıllarına ait istenen gemi verilerinin KEGM tarafından sağlanamaması sebebiyle, bu yıllarda geçiş yapan gemilerin salınımindan kaynaklı emisyonun hesabı ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanamamıştır. Tez çalışmasının güncelliğini koruyabilmesi için; 2018 ve 2019 yıllarına ait emisyon miktarı, MATLAB programlama dilinden faydalanılarak, 2010-2017 yıllarını kapsayan ve bu tez çalışmasında hesaplanan emisyon miktarları, geçiş yapan toplam gemi sayıları ve geçiş yapan toplam gros tonaj miktarlarının kıyaslanması ile tahmin edilmiştir.

4.1.1 ENTEC metodolojisi

ENTEC yöntemi, ENTEC UK Ltd. (2010), Llorca ve diğ. (2012) birbirini takip eden birkaç yıldır Avrupa düzeyinde “bottom-up” verisi geliştirmek için kullanılmıştır (Whall ve diğ, 2010). ENTEC envanterlerinde emisyonlar, ağırlıklı emisyon faktörleri kullanılarak her bir gemi için ayrı ayrı tahmin edilmekte olup gemi hareketlerini doğrulamak için Lloyd’s Marine Intelligence Unit (LMIU) veri tabanı kullanılmaktadır. LMIU, gemilerin tüm hareketlerinin tek ticari veri tabanı olmasının yanı sıra gemi tipi ve hız gibi verileri de kaydetmektedir. Gemi verileri esas olarak, kullanılan yakıt tipi veya makinelerin özellikleri gibi genel verilere bir yaklaşım elde etmek için kullanılmaktadır.

ENTEC 2010 raporunda emisyon hesabı için kullanılan formül (4.1), aşağıda verilmiştir:

$$E(g) = t(h). [(ME(kW).LF(ME \%).EF(g/kWh) + (AE(kW).LF(AE \%).EF(g/kWh)] \quad (4.1)$$

- E (Emission), gram cinsinden hesaplanan gemi emisyon miktarıdır.
- t (time), saat cinsinden manevrada geçen zamandır.
- ME (kW), kilovat cinsinden ana makine gücüdür.
- LF (ME %), ana makine yük faktörüdür, yüzde olarak ifade edilir.
- EF (Emission Factor), hem ana hem de yardımcı makine için kirleticinin emisyon faktörüdür ve g / kWh (üretilen enerji birimi başına yayılan gram kirleticisi madde) cinsinden ölçülür. Bu faktör aşağıdaki algoritma uygulanarak elde edilir:

$$EF = CF \times SFC \quad (4.2)$$

- CF (Conversion Factor), karbon içeriğine bağlı olarak CO₂ emisyonları ve tüketilen yakıtın ağırlığı arasındaki ilişkiyi gösteren boyutsuz bir dönüşüm faktörüdür.
- SFC (Specific Fuel Consumption), g / kWh cinsinden ölçülen makinelerin onaylı özel yakıt tüketimidir.
- AE (kW), kilovat cinsinden yardımcı makine gücüdür.
- LF (AE %), yardımcı makine yük faktörüdür, yüzde olarak ifade edilir.

4.1.2 EPA metodolojisi

EPA metodolojisi, Radiation (2000)'e göre üç hesaplama aşamasına dayanan bir metodoloji kullanan matematiksel bir modeldir. EPA metodolojisinin birinci aşamasında, geminin farklı çalışma modları için geçen süre ölçülmektedir. İkinci aşamada, yakıt tüketimi her çalışma modu için hesaplanır ve üçüncü aşamada emisyonlar her yakıtın özgül emisyon tüketim faktörü verileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplamalar, gemi tipi ve makine gücünün bir fonksiyonu

olarak yapılmaktadır. EPA yönteminde emisyon hesabı için kullanılan formül (4.3) aşağıda verilmiştir:

$$E(g) = EF(g/kWh). MCR(\%). P(kW). t(h) \quad (4.3)$$

Formül 4.1 ile birlikte E, emisyon miktarı; EF, emisyon faktörü ve t, zaman ifadeleri açıklanmıştır. EPA emisyon hesabı ile ilgili bunlar haricindeki diğer kavramlar aşağıda açıklanmıştır.

- MCR (Maximum Continuous Rating), yüzde (%) olarak ifade edilen ve aynı zamanda yük faktörü (Load Factor, LF) olarak adlandırılan, makinenin manevrayı üstlenmesi sırasında kullandığı kapasitedir.
- P (Power), kilovat olarak ölçülen ana ve yardımcı makinelerin gücüdür.

4.1.3 Tahmin Metodolojisi

Yapay zekâ teknolojileri, çeşitli programlama dilleri ve yazılımlar sayesinde regresyon analizi, yapay sinir ağları ve medyan parlatma gibi çeşitli yöntemler ve algoritmalar kullanılarak geçmiş yıllara ait eldeki veriler ile gelecek yıllar hakkında tahminde bulunulabilmektedir. 2018 ve 2019 yıllarına ait emisyon miktarının tahmini için bu tez çalışmasında, Matlab R2020a programı aracılığıyla regresyon analizi yöntemi kullanılmıştır.

Regresyon Analizi, ilgili bir değişken ile bu değişkeni etkilemesi beklenen bir veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi uygun bir şekilde özetlemenin bir yolunu sunan istatistiksel bir tekniktir (Schroeder, L. D. ve diğ, 2016). Regresyon modelleri, bir yanıt (çıktı) değişkeni ile bir veya daha fazla yordayıcı (girdi) değişkeni arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Matlab R2020a içerisinde yer alan “İstatistikler ve Makine Öğrenimi Araç Kutusu” (Statistics and Machine Learning Toolbox™) kademeli modeller ve karışık efekt modelleri dahil olmak üzere doğrusal, genelleştirilmiş doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon modellerine uyulmasını sağlamaktadır. Verilerin bir modele uyum sağlamasından sonra, yanıtları tahmin etmek veya simüle etmek, hipotez testlerini kullanarak model uyumunu değerlendirmek veya teşhis, kalıntı ve etkileşim efektlerini görselleştirmek için grafik kullanmak mümkün hale gelmektedir. İstatistikler ve Makine Öğrenimi Araç Kutusu ayrıca, yanıt ile önceden belirlenmiş bir regresyon fonksiyonuna sahip öngörücüler arasındaki ilişkiyi belirtmeden daha karmaşık regresyon eğrilerini barındırmak için parametrik olmayan regresyon

yöntemlerini de sağlamaktadır. Bu da eğitilmiş model kullanılarak yeni verilerin yanıtlarının tahmin edebilmesini sağlamaktadır. (The Mathworks Inc., n.d.b). Bu yöntemin uygulanması ile ilgili detaylar ve çıkan tahmini sonuçlar üzerinden yapılan değerlendirme bölüm 5.3’te verilmiştir.

4.2 Gemi Tiplerinin Sınıflandırılması

ENTEC ve EPA Metodolojilerinde formüllerin uygun bir şekilde kullanılabilmesi için öncelikle aynı karakteristik özelliğe sahip gemiler gemi tipine göre kategorize edilmiştir. İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan gemi tipleri incelendiğinde dünya denizlerinde seyreden gemi türlerinin İstanbul Boğazı’nda da aynı şekilde bulunduğu görülmektedir. Çizelge 4.1’de, kullandıkları veri tabanı ile ilişkilendiren, ENTEC ve EPA metodolojilerinin gemi tipleri için yapmış olduğu sınıflandırma ile KEGM’den sağlanan verilerle tezdeki hesaplamalar için yapılan sınıflandırma tablo şeklinde verilmiştir.

Çizelge 4.1 : ENTEC (2010) ve EPA (2009) metodolojileri ile tezde gemilerin sınıflandırılması.

ENTEC (2010)	EPA (2009)	TEZ
Bulk Carrier	Bulk Carrier	Barge
Container Ship	Container Ship	Bulk Carrier
General Cargo	General Cargo	Cement Carrier
Passenger	Passenger	Chemical Tanker
Tanker	Tanker	Container Ship
Ro-Ro	Ro-Ro	Ferry
Others	Miscellaneous	General Cargo
Fishing	Refrigerated	LPG Tanker
	Auto Carrier	Livestock Carrier
		Passenger
		Refrigerated Cargo
		Ro-Ro Cargo
		Tanker
		Vehicle Carrier
		Other

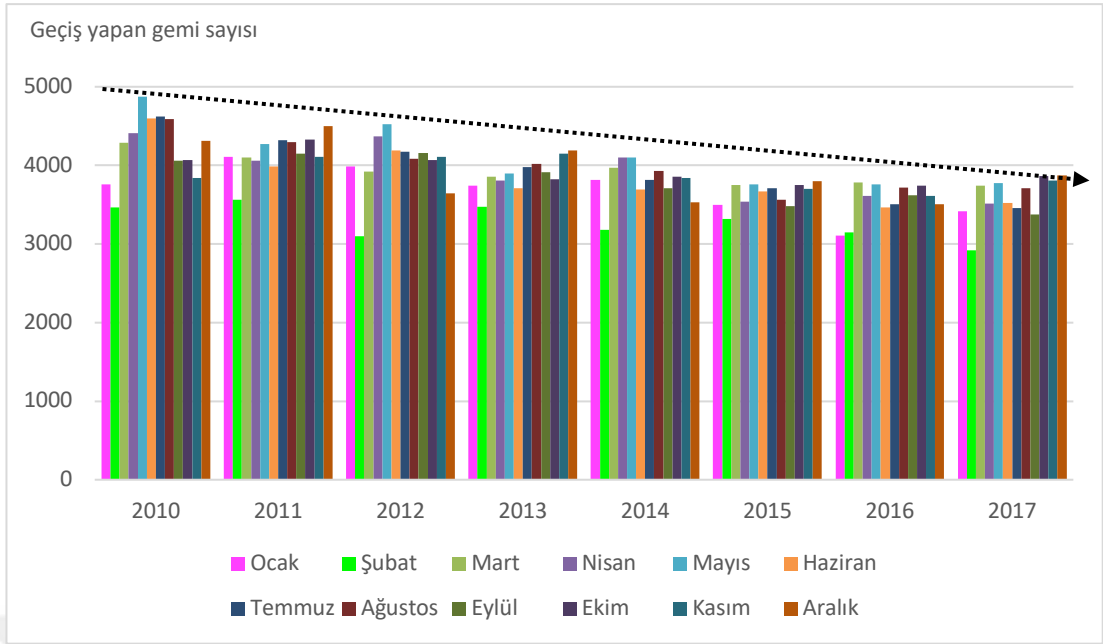
Gemilerin tiplerine göre sınıflandırılmasından sonra, hesaplamalarda daha doğru sonuçlar elde edebilmek adına kategorize edilen bu gemiler boyut, yaş ve makine güçleri dikkate alınarak kendi aralarında yeniden sınıflandırılmıştır.

Buna göre bu tez çalışmasındaki emisyon hesaplarında gemiler, tiplerine göre; “Barge”, “Bulk Carrier”, “Cement Carrier”, “Chemical Tanker”, “Container Ship”, “Ferry”, “General Cargo”, “LPG Tanker”, “Livestock Carrier”, “Passenger”, “Refrigerated Cargo”, “Ro-Ro Cargo”, “Tanker”, “Vehicle Carrier” ve “Other” boylarına göre; “100 metreden küçük”, “100 – 150 metre aralığı”, “150 – 200 metre aralığı”, “200 – 250 metre aralığı”, “250 – 300 metre aralığı” ve “300 metreden büyük” makine güçlerine göre ise 1000 HP (Beygir Gücü) ile çarpımı üzerinden; “1’den küçük”, “1 – 5”, “5 – 10”, “10 – 20”, “20 – 30”, “30 – 40”, “40 – 60” ve “60’den büyük” olarak sınıflandırılmıştır. Talep edilmesine rağmen elde edilemeyen veriler sebebi ile yerel trafikte seyreden motorlar ve yatlar, römorkörler, balıkçılıkla uğraşan gemiler ve savaş gemileri yapılan sınıflandırmanın ve dolayısıyla emisyon hesabının dışında bırakılmıştır.

4.2.1 Gemi sayısının tespiti

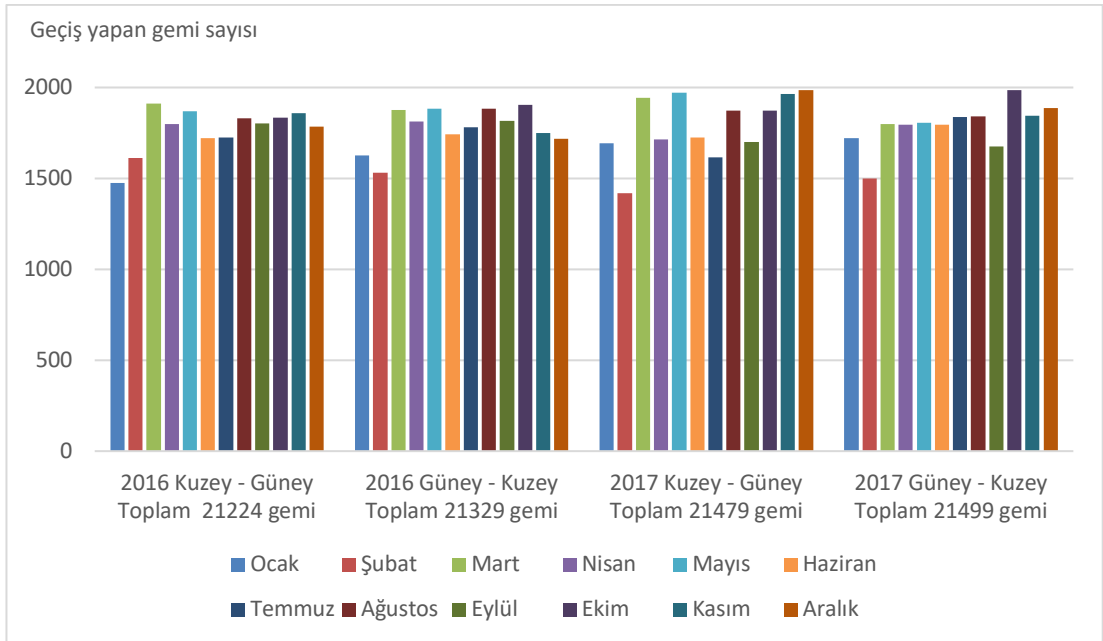
İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan gemi sayısının tespiti için KEGM’den elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Son on yılda (2008 – 2018) boğazdan geçen yapan gemi sayıları incelendiğinde, farklı tip ve boyutta yılda ortalama yaklaşık 47000 geminin geçiş yaptığı görülmektedir. Bu durum, Türkiye’nin en kalabalık nüfusunu barındıran ve büyük sanayi kentlerinden biri olan İstanbul’daki hava kirliliğinin artmasında önemli bir etken oluşturmaktadır. Aşağıdaki grafiklerde İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan gemilerin senelere, aylara, boğazdaki trafik yönüne ve gemi tipine göre dağılımları, İstanbul Boğazı’ndaki gemi trafiği hakkında bir izlenim oluşturmak amacı ile gösterilmiştir.

Şekil 4.1’e göre İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan gemi sayılarının analiz yapılan her sene içerisinde Ocak ve şubat aylarında asgari düzeye indiği görülmektedir. En yüksek geçiş sayısının yakalandığı 2010 yılının mayıs ayı değeri, o seneki toplam geçişin yaklaşık % 9.6’sını oluştururken; en az geçişin olduğu 2016 yılı ocak ayı değeri, o seneki toplam geçişin % 7.3’ünü oluşturmaktadır. Grafikte küçük dalgalanmalar olsa da aylık geçiş oranları arasında çok büyük farklılıklar görülmemekte olup her senenin kendi içerisinde aylara göre dengeli bir dağılımı olduğu tespit edilmiştir.



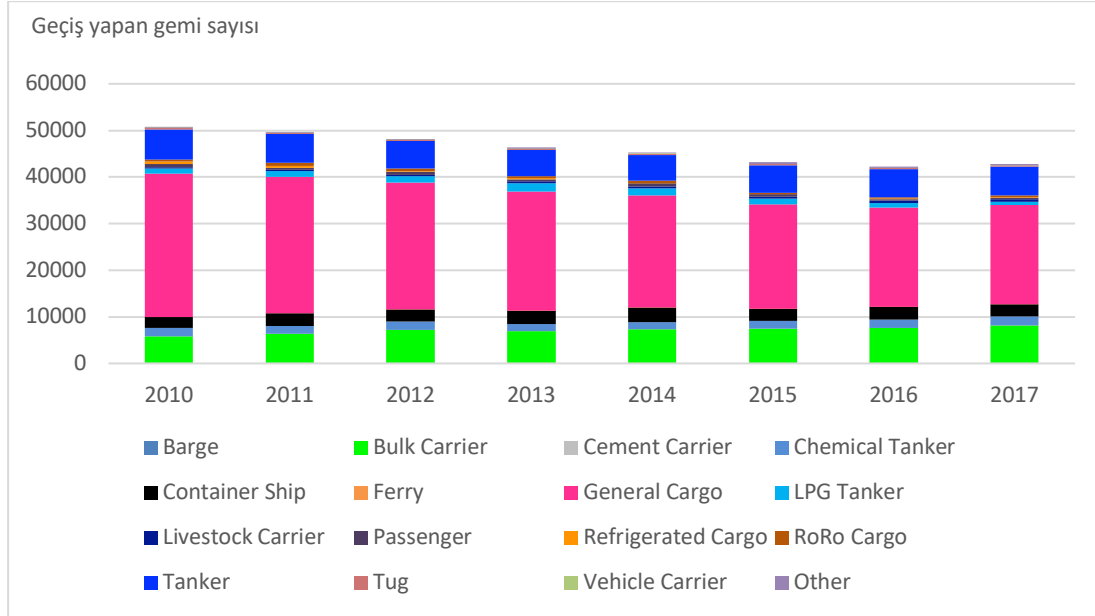
Şekil 4.1 : Geçiş yapan gemilerin aylık dağılımı.

2016 ve 2017 yıllarına ait Kuzey-Güney (K-G) ve Güney-Kuzey (G-K) yönlü boğaz trafiğine göre geçiş yapan gemi sayıları Şekil 4.2’de incelendiğinde 2016 yılında G-K yönünde geçiş yapan gemilerin o seneki toplam geçişe oranı % 49.88, K-G yönünde ise % 50.12’dir. 2017 yılında ise bu oran G-K için % 49.98 iken K-G için % 50.02’dir. Grafikte de görüldüğü üzere trafik yönündeki değişim gemi geçiş dağılımı üzerinde dengelidir. Bölüm 5.2’de trafik yönüne bağlı emisyon değişimi hesaplamalar sonucunda ayrıca gösterilmiştir.



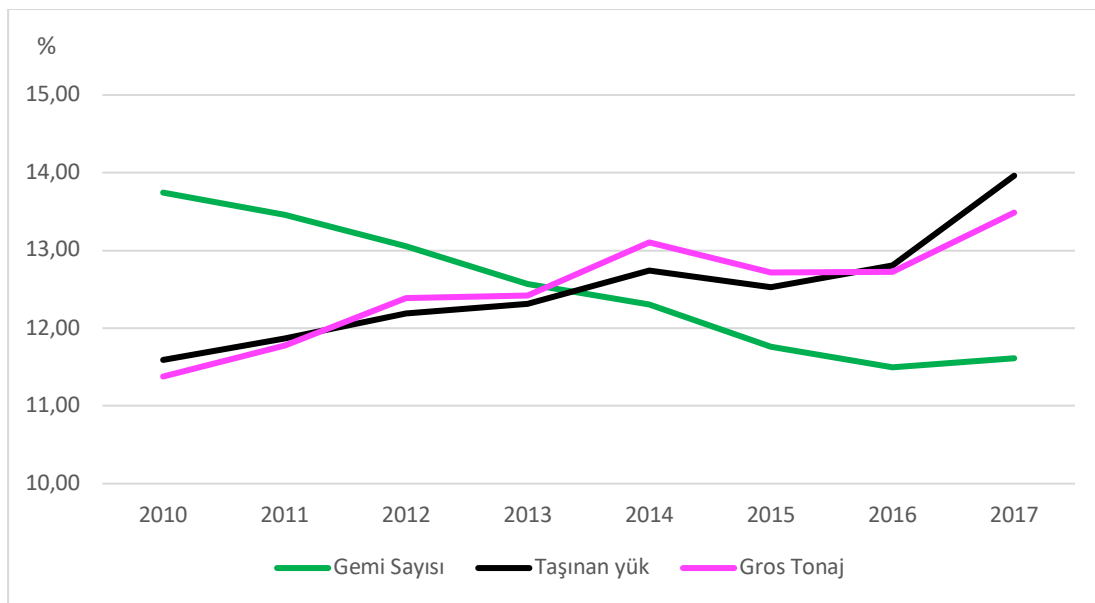
Şekil 4.2 : Boğazdaki trafik yönüne göre geçen gemi sayısı (2016 – 2017).

Şekil 4.3'te ilk olarak, 2010 yılından 2017 yılına doğru geçiş yapan gemi sayılarında belirgin bir düşüş yaşandığı, 2016 ile 2017 yılları toplam geçiş sayılarının ise birbirine çok yakın değerler olduğu görülmektedir. Boğazdan geçiş yapan gemi tiplerinde ise “General Cargo”, “Bulk Carrier”, “Tanker”, “Chemical Tanker” ve “Container Ship” tipi gemilerin ön plana çıktığı söylenebilmektedir.



Şekil 4.3 : Gemi tiplerinin geçiş istatistiği (2010 – 2017).

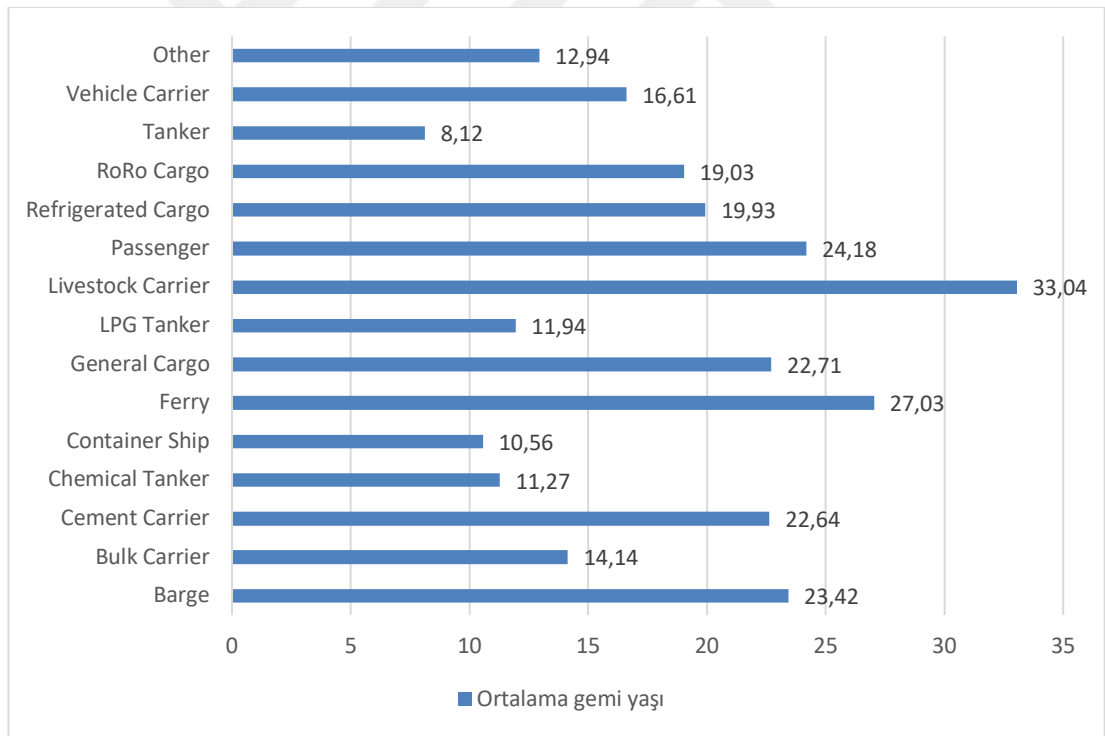
Boğazdan geçiş yapan gemi sayısı seneler içerisinde azalırken Şekil 4.4'te görüldüğü üzere, taşınan yük ve geçiş yapan toplam gros tonaj miktarlarında artış gözlenmektedir. Bu durum ancak gemi kapasitelerinin artışı ile mümkündür.



Şekil 4.4 : Taşınan yük, geçen gemi sayısı ve gros tonaj karşılaştırması.

4.2.2 Gemi yaşının tespiti

Gemilerden kaynaklı emisyon salınımını etkileyen unsurlardan biri de makine yaşıdır. Makine yaşının tespiti için eldeki veriler gemi tiplerine göre sınıflandırılmış ve her tipteki aynı karakteristik özelliğe sahip gemiler için ortalama gemi yaşları bulunmuştur. Tezde yapılan emisyon hesaplarında bulunan bu gemi yaşları, ENTEC raporunda olduğu gibi aynı zamanda makine yaşı olarak da kabul edilmiştir. Ancak KEGM’den sağlanan verilerde yaş ile ilgili eksiklikler de mevcuttur. Bu eksikliğin giderilmesi için yapılan yüzdelik çalışmalarla, bilinmeyen değerlerdeki eksiklikler anlamlı sonuçlar ile tamamlanmış fakat anlamsız çıkan sonuçlar ise ortalama yaş bulunurken hesaba dahil edilmemiştir. Yapılan bu hesaba göre, boğazdan geçen gemi tipine göre ortalama yaş dağılımı Şekil 4.5’te verilmiştir. Bu dağılıma göre boğazdan geçen en genç gemi tipinin “tanker”, en yaşlı gemi tipinin ise “livestock carrier” olduğu ve bununla birlikte verilerin sağlandığı 2010 – 2017 yıllarında yaş ortalaması yüksek bir gemi topluluğunun boğazdan geçiş yaptığı söylenebilmektedir.



Şekil 4.5 : Gemi tipine göre ortalama yaş dağılımı.

4.2.3 Sürenin belirlenmesi

ENTEC ve EPA metodolojilerinin her ikisinde de gemi emisyonlarının hesaplanabilmesi için sürenin belirlenmesi gereklidir. Tezin konusunu oluşturan İstanbul Boğazi’ndan geçiş yapan gemilerin emisyon hesabında süre, kuzeyde

Anadolu Fenerini Türkeli Fenerine birleştiren çizgi ile güneyde Ahırkapı Fenerini Kadıköy İnciburnu/Mendirek Fenerine birleştiren çizgi arasında tanımlanan, yaklaşık 17.1 deniz mili (rotalara göre küçük farklılıkların olması mümkündür) uzunluğundaki İstanbul Boğazını geçerken harcadığı zaman olarak belirlenmiştir.

1998 yılında yayımlanan “Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü (TBDDT)” nde gemilerin İstanbul Boğazı’ndan geçiş hızı karaya göre saatte 10 deniz mili olarak belirtilmiştir (TBDDT, 1998).

Süre, sürtünme gibi etkiler ihmal edilirse fiziğin temel kurallarından biri olarak yolun hıza bölünmesi ile kabaca bulunabilmektedir.

$$t = D/V \quad (4.4)$$

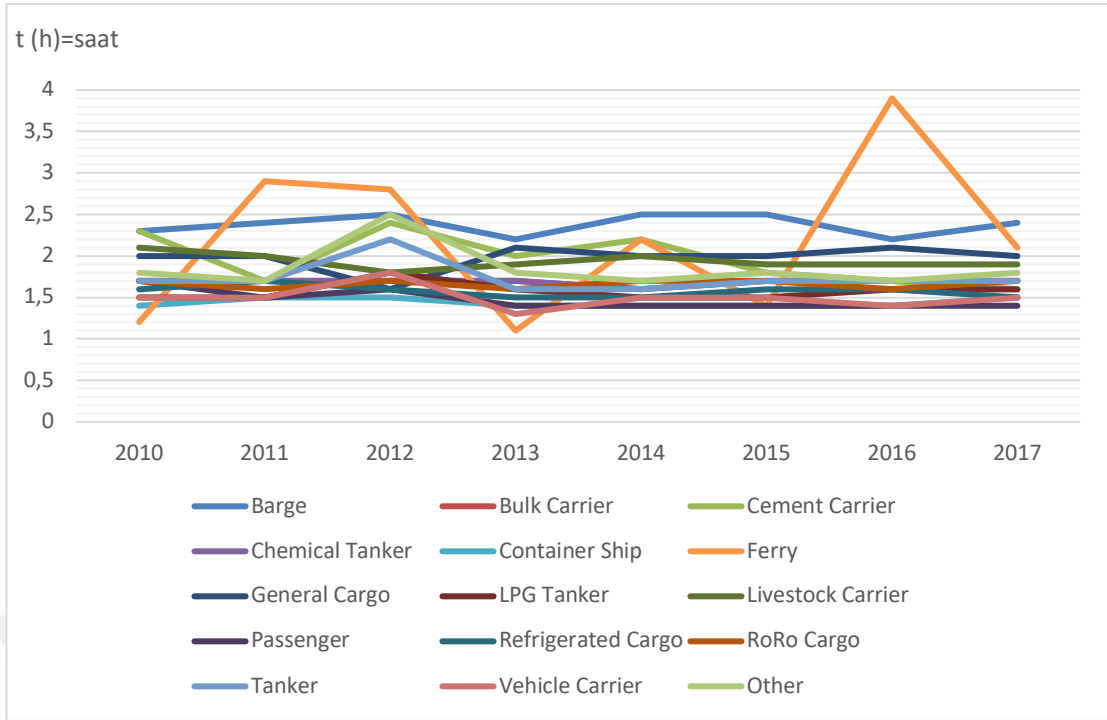
- t: saat cinsinden zaman,
- D: mil cinsinden mesafe ve
- V: deniz mili / saat (knots) cinsinden hızı ifade etmektedir.

Eldeki verilere göre 17.1 deniz mili uzunluğundaki İstanbul Boğazı’nın 10 deniz mili/saat hız ile geçiş süresi normal şartlar altında yukarıdaki formüle göre;

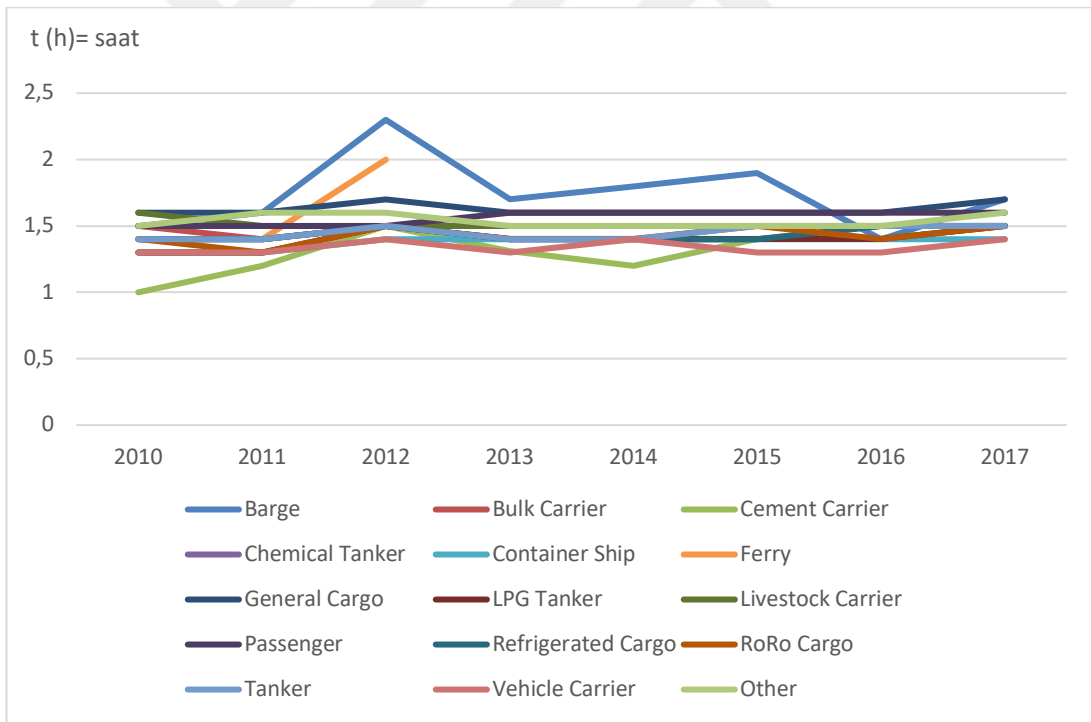
17.1 (deniz mili) / 10 (deniz mili/saat) = 1.71 saat sürmesi beklenmektedir.

Ancak akıntı, rüzgâr ve sıcaklık gibi doğa faktörleri ile gemilerin karakteristiği, ana ve yardımcı makine durumları, yaşları, boyutları ve kullanılan yakıtın kalitesi gibi teknik faktörler gemiler için bu formülün uygulanmasını mümkün kılmamaktadır. Dolayısıyla boğazın geçiş süresi de birçok değişkene bağlı olarak gemiler arasında farklılık göstermektedir. Tezde KEGM’den alınan veriler kullanılarak, aynı karakteristiğe sahip gemiler sınıflandırılmış olup bu sınıflandırmalarda da senelik ortalama geçiş süreleri belirlenmiştir.

Şekil 4.6 ve 4.7’de senelere göre Güney-Kuzey ve Kuzey-Güney yönlü olmak üzere ortalama boğaz geçiş sürelerinin gemilerin tipine göre çizgisel dağılımı gösterilmiştir. Bu grafiklerle aynı gemi tiplerinde dahi sabit bir mesafe olan İstanbul Boğazı’nın geçiş sürelerinde ciddi farklılıklar olduğunun gösterilmesi hedeflenmektedir.



Şekil 4.6 : Güney – Kuzey yönlü trafik için ortalama geçiş süreleri.



Şekil 4.7 : Kuzey – Güney yönlü trafik için ortalama geçiş süreleri.

Şekil 4.6 ve 4.7’de görüldüğü üzere sadece gemi tiplerine göre sınıflandırma yapılması çok farklı değerlerin ortaya çıkmasına sebebiyet verdiği için süre analizi için yeterli değildir. Gemilerin boy, yaş, draft, ana ve yardımcı makine gücü ve sayısı da boğaz geçiş süresini ve emisyon miktarını etkilemektedir. Bu sebeple hesaplamalarda daha

doğru sonuçlar elde edebilmek için gemilerin boyutlarının ve makine gücü verilerinin de içinde olduğu bir sınıflandırma yapılmıştır.

4.3 Makine Özellikleri ve Yakıt Tipi

Gemiler temel olarak ana ve yardımcı makineler vasıtasıyla hareket etmektedir. Makinelerin kapasiteleri kilovat (kW) ve beygir gücü (Horse Power, HP) gibi güç birimleri ile ifade edilmektedir. Gemilere donatılan makinelerin sayısı ve tipi gemilerin karakteristik özelliklerine göre değişiklik gösterse de genellikle aynı karakteristik özelliğe sahip gemilerin birbirine benzer makineler ile donatıldığı görülmektedir. Bu benzerlikten yola çıkarak hem ENTEC hem de EPA metodolojilerinde, emisyon hesaplamalarında zaman zaman eksik kalabilen ana ve/veya yardımcı makine bilgileri için veri tabanlarındaki aynı karakteristik özelliğe sahip gemilerin ortalama değerlerinin kullanıldığı görülmektedir. Tez için ulaşılabilen bilgilerde de özellikle ana makine tipi verisi hesaplamalar için eksik kalmıştır ve bu eksikliğin giderilmesi için ENTEC ve EPA'nın Çizelge 4.3 ve 4.4'te verilen referans tablolarından yararlanılmış olup hem tablolarda hem de tezin bundan sonraki kısımlarında makine tipi için kullanılan kısaltmaların açılımı şu şekildedir:

- HSD: High Speed Engine (Yüksek Hızlı Makine), hızları 1000 – 3000 RPM arasındaki dizel makinelerdir.
- MSD: Medium Speed Engine (Orta Hızlı Makine), hızları 300 – 1000 RPM arasındaki dizel makinelerdir.
- SSD: Slow Speed Engine (Yavaş Hızlı Makine), hızları 60 – 300 RPM arasındaki dizel makinelerdir.
- ST: Steam Turbine (Buhar Türbinli Makine)
- GT: Gas Turbine (Gaz Türbinli Makine)

Farklı tip makinelerde farklı tipte yakıtlar kullanılmaktadır, özellikle emisyon faktörün bulunabilmesi için kullanılan yakıt tipinin bilinmesi gerekmektedir. Çizelge 4.2'de gemi ve makine tipine göre gemilerin kullandığı yakıt tipleri gösterilmektedir. Söz konusu çizelgede, tez çalışması İstanbul Boğazı ile sınırlı olduğu için ve İstanbul Boğazı'nın da "Kükürt Emisyon Kontrol Alanı" (Sulfur Emission Control Area,

SECA) dışında kalması sebebiyle, sadece SECA dışında seyir yapan gemilerin kullandığı yakıt tipleri verilmiştir.

Çizelge 4.2 : SECA dışında kullanılan yakıt tipi (ENTEC, 2010).

Gemi Tipi	Ana Makine	Yardımcı Makine
	Yakıt Tipi	Yakıt Tipi
Bulk C.	RO	MGO
Container S.	RO	RO
General C.	RO	MGO
Passenger S.	MDO	MDO
Ro-Ro	RO	RO
Tanker	RO	MGO
Others	MGO	MGO
Fishing	MGO	MGO

Çizelge 4.2’de yer alan RO, MDO ve MGO kısaltmalarının açılımı şu şekildedir: RO: Residual Oil, MDO: Marine Distille Oil ve MGO: Marine Gas Oil.

4.3.1 ENTEC metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesi

ENTEC metodolojisinin uygulanabilmesi için İstanbul Boğazı’ndan geçiş yapan gemilerin ana makine tipi verilerinin bulunması gerekmektedir. Ancak makine tipi verisi, direkt olarak KEGM’den sağlanamadığı için ENTEC 2010 raporunda yayınlanan; gros tonaj, gemi ve ana makine tipine göre makine devri istatistikleri kullanılarak oluşturulan ve Çizelge 4.3’te gösterilen tablo referans alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3 : Makine tipinin belirlenmesi (ENTEC, 2010).

Gemi Tipi	5000 GRT			5000 – 25000 GRT			> 25000 GRT		
	High	Medium	Slow	High	Medium	Slow	High	Medium	Slow
Bulk Carrier	-	44	4	-	29	633	1	11	1094
Container S.	-	67	-	1	233	161	-	2	634
Fishing	27	256	4	-	8	1	-	-	-
General C.	129	1494	121	-	298	510	-	-	82
Tanker	28	348	91	5	238	558	3	12	901
Passenger	37	28	5	8	60	8	1	41	14
Ro-Ro	8	31	2	2	154	38	-	22	286
Others	295	546	23	5	90	7	-	1	6

Çizelge 4.3'te sarı renkli işaretlenen yerlerin sütun başlığı makine tipini vermektedir. Örneğin; 5000 gros tonaja kadar olan “Bulk Carrier” tipi gemilerde “Medium Speed Diesel Engine” makine tipi bulunduğu kabul edilmektedir.

4.3.2 EPA metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesi

EPA metodolojisinin uygulanabilmesi için ENTEC metodunda olduğu gibi ana makine tipi verilerinin bulunması gerekmektedir. Fakat, yukarıda da bahsedildiği gibi bu verilere ulaşılamaması, tezin kısıtlarından birini oluşturmaktadır. Bu sebeple, eksik kalan ana makine verisi; DWT, gemi ve ana makine tipine göre limana yapılan çağrılar dikkate alınarak oluşturulan ve EPA 2009 raporunda yayınlanan tablolar referans alınarak belirlenmiştir. Söz konusu tablolar, tezin “Ekler” bölümünde “Ek A: EPA metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesi” adıyla paylaşılmış olup iki tip su yolu için gemi istatistiği sunmaktadır. Bunlardan ilki; derin su (deep water ports), diğeri ise; “Great Lake” limanlarına gelen gemilerin verileridir. EPA metodolojisinde ana makine tipinin belirlenmesinde referans alınan tablolara örnek oluşturması amacıyla Çizelge 4.4'te derin su limanlarına gelen “Barge Carrier” tipi gemiler için kullanılan referans tablo paylaşılmıştır.

Çizelge 4.4 : Derin su limanlarına gelen “Barge Carrier” tipi gemi verileri (EPA, 2009).

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
	MSD	<25000	1	4461	1200	13,3	4393
	MSD Toplam		1	4461	1200	13,3	4393
		<25000	1	3916	1053	14	11783
Barge	SSD	35000- 45000	20	19463	5236	18	44799
Carrier		45000- 90000	19	25041	6736	20	48093
	SSD Toplam		40	21724	5844	18,9	45538
	ST	35000- 45000	5	24196	6509	21,7	41294
	ST Toplam		5	24196	6509	21,7	41294
	Barge Carrier Toplam		45	21779	5859	19,1	44657

4.3.3 Makine güç biriminin çevrilmesi

Tez için elde edilen verilerde ana makine gücü için beygir gücü (HP) isimli güç birimi kullanılmıştır. “Beygir Gücü” kavramı 1736 – 1819 yılları arasında yaşamış olan İskoçyalı mühendis, mucit ve bilim insanı James Watt tarafından buhar makinelerinin

iş yapabilme yeteneklerini kolay ifade edebilmek için bu makinelerin iş yapabilme güçlerinin dönemin yük taşıma araçları olarak kullanılan atların güçleri ile kıyaslaması sonucu bulunmuştur (Muirhead, 1854). Tezdeki ana makine gücü birimi olan HP'yi formüllerde kullanılacak bir diğer güç birimi olan kilovat (kW)'a çevirmek için aşağıdaki denklikten yararlanılmıştır.

$$1 \text{ HP} = 0.7457 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1.3410 \text{ HP}$$

Kullanılan bu birim çevirme metodu, Ulaştırma Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu "Gemi Cinslerine Göre Yakıt Tüketim Kapasitelerinin Tespiti" isimli kaynakla da kıyaslanarak doğrulanmıştır (UAB, n.d.a).

4.3.4 ENTEC metodolojisiinde yardımcı makine gücünün belirlenmesi

Yardımcı Makineler (AE) genellikle yüksek hızlı 4 zamanlı veya orta hızlı 4 zamanlı olmak üzere jeneratör ünitesini çalıştıran dizel makinelerdir. Hız, krank milindeki makine devrini dakikadaki devir sayısı (Revolutions Per Minute, RPM) cinsinden ifade eder. Gemi emisyonlarına AE katkısını hesaplamak için AE gücü gereklidir. LMIU veri seti, gemilerin yaklaşık %36'sı için AE gücünü içerir. Ayrıca LMIU yardımcı makine verilerine ilişkin belirsizliğin ana makinelerdekinden daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bu belirsizlik ve eksikliğin giderilmesi için tam verisi bulunan gemiler kullanılarak ME ile AE gücü arasındaki oran her bir gemi tipi için ($AE_{kW} > ME_{kW}$ olan gemiler hariç) hesaplanarak Çizelge 4.5'teki tablo oluşturulmuştur (ENTEC, 2010).

Çizelge 4.5 : Yardımcı makine gücünün ana makine gücüne oranı (ENTEC, 2010).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Toplam AE Gücü (kW)	Toplam ME Gücü (kW)	Toplam AE / Toplam ME Oranı	Her Gemi için Ortalama AE/ME Oranı
Bulk C.	846	1,627,555	7,595,982	0.23	0.21
Container S.	521	2,822,373	12,611,795	0.28	0.22
Fishing	86	105,685	165,481	0.57	0.64
General C.	1811	1,777,232	5,467,977	0.37	0.33
Others	250	152,445	522,972	0.31	0.29
Passenger	37	58,431	166,526	0.45	0.35
Ro-Ro	211	532,972	1,765,660	0.34	0.30
Tanker	1118	2,736,512	10,115,796	0.35	0.27

Bu tez çalışmasında ENTEC metodolojisi ile emisyon hesabında yardımcı makine belirsizlikleri için ENTEC 2010 raporunda yayınlanan ve Çizelge 4.5'te verilen tablo referans alınmıştır.

4.3.5 EPA metodolojisinde yardımcı makine gücünün belirlenmesi

EPA metodolojisinde, Lloyd veri tabanında yardımcı makinelerle dair veriler genellikle bulunmadığı için gerekli değerlerin tahmininde alternatif bir teknik olarak STEEM (Waterway Network Ship Traffic, Energy, and Environmental Model) kullanılmış ve her bir gemi tipi için yardımcı makine güç değerlerinin ana makine güç değerlerine oranı bulunmuştur (US EPA, 2009). Tezde EPA metodolojisi ile emisyon hesabında, yardımcı makine belirsizlikleri için bu oranların bulunduğu Çizelge 4.6'daki değerler referans olarak alınmıştır.

Çizelge 4.6 : Yardımcı makine gücünün ana makine gücüne oranı (EPA, 2009).

Gemi Tipi	Ortalama Ana Makine Gücü (kW)	Ortalama Yardımcı Makine Gücü (kW)	AE / ME Oranı
Bulk C.	7,954	1,169	0.147
Container S.	30,885	5,746	0.186
General C.	9,331	1,777	0.190
Passenger S.	39,563	39,563	1.000
Refrigerated C.	9,567	3900	0.136
Ro-Ro	10,696	2156	0.202
Tanker	9,409	1985	0.211
Miscellaneous	6,252	1680	0.269

4.4 Yük Faktörü (Load Factor, LF)

Yük Faktörü kavram olarak, bir makinenin iş yaparken güç kapasitesinin ne kadarını kullandığını ya da farklı bir ifadeyle makinenin üzerine düşen yük miktarını ifade etmek için kullanılan bir terimdir. Gemilerden kaynaklanan emisyonun hesabında ise ana ve yardımcı makine yük faktörleri kullanılmaktadır. Yük faktörleri geminin toplam gücünün yüzdesi olarak ifade edilir. Gerek ana makine yük faktörünü gerekse yardımcı makine yük faktörünü belirlemek için farklı metodolojilerde farklı hesaplama ve kabuller bulunmaktadır. Ana makine yük faktörü geminin, yükleme ve tahliye gibi operasyonlarına ve limanda, demirde, manevrada ve seyirde bulunması gibi geminin içinde bulunduğu özel operasyonel moda göre değişkenlik gösterebilir (Moreno-

Gutiérrez ve diğ., 2015). Ana makinelerin yük faktörlerindeki belirsizlikler IMO tarafından “bottom-up” emisyon tahminlerinde güveni etkileyen ikinci en önemli parametre olarak bildirilmiştir (IMO, 2015a). Gemilerin makine detaylarının kesin olarak bilinmesi, manevra içi gemi faaliyetleri için ana ve yardımcı makine yük faktörlerinin belirlenmesini sağlayamamaktadır. Bu değer genel olarak belirsizdir ve geminin bulunduğu coğrafi konumun özelliklerinden, limana özgü karakteristiklerden ve özellikle yardımcı makineye binecek yük için yerel iklim koşullarından etkilenmektedir.

4.4.1 ENTEC metodolojisinde ana makine yük faktörü

Gemi operasyonları seyir için “denizde”, limanda bekleme, yükleme veya tahliye için “limanda” ve limana giriş ve çıkışta olduğu gibi değişken makine yükü kullandığı durumlar için ise “manevrada” olmak üzere üç temel çalışma türü ile sınıflandırılmıştır. Bu çalışma türlerine göre, ENTEC (2002) tarafından belirlenen ana makine yük faktörleri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu çizelgede gösterilen varsayımlar ENTEC tarafından, MAN ve B&W gibi makine üreticilerinin görüşlerine, “IVL Swedish Environmental Research Institute”nin gemiler üzerindeki emisyon ölçüm tecrübelerine ve Alexandersson ve diğ. (1993) ve Flodström (1997) gibi diğer deniz emisyonu çalışmalarına dayanarak hazırlanmış olup ENTEC 2010 raporunda da aynı şekilde kullanılmıştır.

Çizelge 4.7 : Farklı faaliyetlerde ana makine yük faktörü (ENTEC, 2010).

	Ana makine çalışması için yük faktörü (% load of MCR for ME operation)	Tüm ana makinelerin çalıştığı zamanın yüzdesi (% of time all MEs operating)
Denizde (at sea)	80	100
Manevrada (manoeuvring)	20	100
Limanda (at berth)	20	0

Buradaki değerlerde öncelikle göze çarpan, gemilerin liman periyodunda %20’lik bir ana makine gücü ile çalışmasıdır. Bu konu hakkında ENTEC 2010 raporunda şu şekilde bir açıklama yapılmıştır: Liman periyodundaki tanker tipi gemilerin ana makinelerinin çalıştığı varsayılmıştır. Bu durum tanker tipi tüm gemilerin liman periyodunda her zaman %20 ana makine yük faktörü ile çalışır şeklinde yorumlanabilir fakat gerçekte bu doğru değildir. Özellikle dizel elektrik tahriki kullanmayan tankerler ana makinelerini limanda çalıştırmayacaktır, ancak bu gemiler de limanda ek yardımcı

makine güçlerini devreye alacak ve dolayısıyla toplam makine yükleri %20'yi aşacaktır. Bu nedenle, yukarıdaki değerler rapordaki çalışmanın kısıtlamaları dahilinde makul bir yaklaşım getirmek amacıyla kabul edilmiştir. (ENTEC, 2010). Tezdeki emisyon hesabı yapılacak olan gemiler İstanbul Boğaz seyri durumunda olacağı için yapılan hesaplamalarda “denizde” operasyonel modundaki ana makine yük faktörü değerleri kullanılmıştır.

4.4.2 EPA metodolojisinde ana makine yük faktörü

EPA metodolojisinde yük faktörü ve emisyon faktörü gibi değerler, “STEEM waterway network model” ismindeki bir veri ağı modeli ile hesaplanmaktadır. STEEM, her bir geminin hareketini tanımlamak için gemi niteliklerini ve emisyon faktörü bilgilerini de içeren bir dizi veri girdisine dayanır. Amerika için USACE raporu ve Kanada ile Meksika için LMIU kullanılarak elde edilen gemilerin çalışma faaliyetleri ve rota verileri, gemilerin hareketleri ve seferleri hakkında veri tabanına bilgi sağlar. Veri tabanı daha sonra her gemi, her liman çifti (uğranan son liman ile bir sonraki varılacak liman) ve sonuçta ortaya çıkan her sefer için birbirinden bağımsız kimlik numaraları oluşturur. “STEEM interport” modeli gemilerin her bir seferi ile ilişkili emisyon hesaplaması için gerekli olan bilgileri bir veri seti olarak kaydeder ve verilen kimlik numarası ile eşleştirir. USACE’de yer alan giriş-çıkış raporlarından gemi tipi, gros tonaj ve net tonaj; Lloyd’s Register-Fairplay’den ana makine beygir gücü, seyir hızı ve gemi büyüklüğü bilgilerini veri setine işler. Bu veri toplama işleminde emisyon hesabında gerekli olan gemilerin hız, ana makine ve yardımcı makine gücü bilgisi gibi girdilere erişilemediği durumlarda, veri tabanında toplam dokuz sınıfa ayrılmış her bir gemi tipindeki her bir gemiye uygun bir değer geliştirilerek uygulanır. Tüm bu uygulamaların neticesinde model, emisyon hesaplamasında gerekli olan emisyon faktörü ve yük faktörü değerlerini sağlar. Sağlanan bu değerlerin, Avrupa Komisyonu için ENTEC tarafından yapılan çalışma ile uyumlu olduğu da görülmüştür. Bu sebeple, tezde yapılan hesaplamalarda KEGM’den elde edilen ancak emisyon hesaplaması için yetersiz veya eksik olan bilgiler, STEEM modeli aracılığıyla hesaplanan ve EPA tarafından yayınlanan veriler referans alınarak tamamlanmış olup bu referans veriler Çizelge 4.8’de gösterilmiştir.

Gemilerin seyir hızı bilgisi yük faktörünün seçilmesinde önem arz etmektedir. Gemilerin düşük hızlarda seyretmesi durumunda yük faktörü “Pervane Yasası”

(Propeller Law)’na göre belirlenmektedir. “Pervane Yasası”na göre yük faktörü aşağıda gösterilen formülün uygulanması ile hesaplanmaktadır.

$$LF = (AS / MS)^3 \quad (4.4)$$

- LF: Yük Faktörü (Load Factor) (%)
- AS: Gerçek Sürat (Actual Speed) (deniz mili/saat)
- MS: Azami Sürat (Maximum Speed) (deniz mili/saat)

Fakat yapılan çalışmalar gemilerin özellikle yanaşma manevralarında 5.8 deniz mili / saat hızın altında herhangi bir değere hız ayarlaması yapmak için makinelerini manevra süresinin yaklaşık % 25 ile % 50’sinde durduğunu ve bu sebeple hesaplanan yük faktörünün daha da düşük olabileceğini göstermiştir (Starcrest Consulting Group LLC, 2005; ENVIRON International Corporation, 2002; SENES Consultants Limited, 2004.).

Bu tez çalışmasında, gemilerin İstanbul Boğaz seyri üzerinden hesaplamalar yapıldığı için, EPA 2009 raporunda yayınlanmış olan ve Çizelge 4.8 olarak paylaşılan, “gemilerin tipine göre seyir hızında ana makine yük faktörü” tablosu EPA metodolojisinin uygulamasındaki hesaplamalarda referans olarak alınmıştır.

Çizelge 4.8 : Seyir hızında ana makine yük faktörü (EPA, 2009).

Gemi Tipi (Ship Type)	Ana Makine Ortalama Yük Faktörü (% Average Main Engine Load Factor)
Bulk Carrier	75
Container Ship	80
General Cargo	80
Passenger Ship	55
Refrigerated Cargo	80
Roll On – Roll Off	80
Tanker	75
Miscellaneous	70

4.4.3 ENTEC metodolojisiinde yardımcı makine yük faktörü

ENTEC metodolojisiinde ana makine yük faktörünün belirlenmesinde izlenen yol ile aynı şekilde üç temel çalışma türü için yardımcı makine yük faktörleri de 2002 yılındaki ENTEC raporunda Çizelge 4.9'deki gibi verilmiş olup yapılan hesaplamalarda bu oranlardan yararlanılmıştır.

Çizelge 4.9 : Farklı faaliyetlerde yardımcı makine yük faktörü (ENTEC, 2002).

Yardımcı makine için yük faktörü (% load of MCR for AE operation)	
Denizde (at sea)	30
Manevrada (manoeuvring)	50
Limanda (at berth)	40

4.4.4 EPA metodolojisiinde yardımcı makine yük faktörü

Yardımcı makineler için yük faktörü gemi tipine ve operasyonel moda göre değişiklik göstermektedir. Çizelge 4.10'da yardımcı makineler için yük faktörü varsayımları gösterilmiştir (Starcrest Consulting Group LLC, 2004b).

Çizelge 4.10 : Farklı faaliyetlerde yardımcı makine yük faktörü (EPA, 2009).

Gemi Tipi (Ship Type)	Seyir (Cruise) (%)	Azaltılmış Hız Bölgesi (Reduced Speed Zone (RSZ)) (%)	Manevra (Maneuver) (%)	Liman Periyodu (Hotel) (%)
Auto Carrier	13	30	67	24
Bulk Carrier	17	27	45	22
Container Ship	13	25	50	17
Cruise Ship	80	80	80	64
General Cargo	17	27	45	22
Miscellaneous	17	27	45	22
OG Tug	17	27	45	22
Ro-Ro	15	30	45	30
Reefer	20	34	67	34
Tanker	13	27	45	67

İstanbul Boğazı'nın seyir için risk oluşturabilecek dönüşlerinden, akıntı sisteminden, sıklık ve banklarından tezin ikinci bölümünde bahsedilmiştir. İstanbul Boğazı'nın gerek doğal yapısı gerekse barındırdığı trafik yoğunluğundan kaynaklı ortaya çıkan

riskler ve TBDDT'nin boğazda kazaların önlenmesine yönelik belirlemiş olduğu hız kısıtlaması sebebi ile İstanbul Boğazı'nda seyir yapan gemilerin ana makinelerinin “seyir”, yardımcı makinelerinin ise genellikle “manevra” modunda çalıştığı görülmektedir. Bu nedenle, bu tez çalışmasındaki hesaplamalarda yardımcı makine yük faktörü için Çizelge 4.8'in manevra bölümündeki değerler referans alınmıştır.

4.5 Emisyon Faktörü (Emission Factor, EF)

Emisyon faktörleri geliştirmek için emisyon testleri uygulanmakta olup emisyon faktörleri, emisyonları tahmin etmek için enerji ve yakıt tüketimi ile birlikte kullanılmaktadır. Emisyon faktörleri makine tipine (ana makine, yardımcı makine, kazan), makine gücüne (SSD, MSD, HSD), geminin operasyonel moduna ve kullanılan yakıta göre değişkenlik göstermektedir (IMO, 2014).

ENTEC ve EPA metodolojilerinin her ikisinde de ana makine ve yardımcı makineler için her bir emisyon türüne özgü farklı emisyon faktörleri kullanılmakta olup söz konusu emisyon faktörleri bu bölüm altında açıklanmış ve tezde yapılan hesaplamalarda kullanılan referans tablolar Çizelge 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'te ilgili konu başlığının altında paylaşılmıştır.

4.5.1 ENTEC metodolojisinde ana makine emisyon faktörü

ENTEC Metodolojisinde ana makine emisyon faktörü, gemilerin üç temel operasyonel çalışma modu (denizde, limanda, manevrada) için ayrı ayrı tablolar halinde verilmiştir. Tezde 2010 yılında yayınlanan son ENTEC çalışmasında kullanılan 2007 yılı verileri referans alınmış olup tez konusunda ana makinelerin seyir kondisyonu ele alınacağı için aşağıda gemilerin seyir kondisyonu için ana makine emisyon faktörü tablosu gösterilmiştir. Çizelge 4.11'deki veriler, ENTEC tarafından 2002 yılında kullanılan temel emisyon faktörlerinin yeniden gözden geçirilerek güncellenmesi ile oluşturulmuştur. Bu verilerin oluşturulmasında gözden geçirilmiş MARPOL Ek VI düzenlemelerinin muhtemel etkileri ile ilgili tahminler sağlamak için ağırlıklı emisyon faktörü ayarlamaları geliştirmeye yönelik daha basit bir “top-down” yaklaşımı uygulanmıştır (ENTEC, 2010).

Çizelge 4.11 : “Seyir” için ana makine emisyon faktörleri (g/kWh) (ENTEC, 2010).

Makine Tipi	Yakıt Tipi	NO _x 2000		NO _x filo ort.	SO ₂	CO ₂	VOC	PM
		öncesi makine	sonrası makine					
SSD	MGO	17.0	14.1	16.0	0.7	588	0.6	0.3
SSD	MDO	17.0	14.1	16.0	5.6	588	0.6	0.3
SSD	RO	18.1	15.0	17.0	10.5	620	0.6	1.7
MSD	MGO	13.2	11.0	12.4	0.8	645	0.5	0.3
MSD	MDO	13.2	11.0	12.4	6.2	645	0.5	0.4
MSD	RO	14.0	11.6	13.1	11.5	677	0.5	0.8
HSD	MGO	12.0	10.0	11.3	0.8	645	0.2	0.3
HSD	MDO	12.0	10.0	11.3	6.2	645	0.2	0.4
HSD	RO	12.7	10.5	11.9	11.5	677	0.2	0.8
GT	MGO	5.7	4.7	5.3	1.2	922	0.1	0.0
GT	MDO	5.7	4.7	5.3	8.7	922	0.1	0.0
GT	RO	6.1	5.1	5.7	16.5	970	0.1	0.1
ST	MGO	2.0	1.7	1.9	1.2	922	0.1	0.3
ST	MDO	2.0	1.7	1.9	8.7	922	0.1	0.4
ST	RO	2.1	1.7	2.0	16.5	970	0.1	0.8

4.5.2 EPA metodolojisi ana makine emisyon faktörü

Emisyon faktörü verileri, çeşitli kirleticiler için kilovat-saat başına gram kirletici (g/kWh) cinsinden emisyon oranlarını içermektedir. EPA metodolojisi (2009) kabul edilen ana makine emisyon faktörü değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Ana makine emisyon faktörleri (g/kWh) (EPA, 2009).

Makine Tipi	Yakıt Tipi	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	CO	SO ₂
Slow Speed	Residual Oil	18.1	1.5	1.4	0.6	1.4	10.5
Medium Speed	Residual Oil	14.0	1.5	1.4	0.5	1.1	11.5
Composite EF	Residual Oil	17.9	1.5	1.4	0.6	1.4	10.6

Çizelge 4.12’deki emisyon faktörleri EPA tarafından belirlenirken; NO_x, HC ve SO₂ için hıza özgü faktörler, ABD, Kanada ve Avrupa’daki son gemi emisyonu analizlerinden alındığı bildirilmektedir (ENTEC UK Limited, 2002; California Air Resources Board, 2005a; ICF, 2005; Corbett ve Koehler, 2003; Levelton Consultants Ltd, 2006). PM faktörü, California Hava Kaynakları Kurulu (Air Resources Board, ARB) personeli ile yapılan görüşmelere dayandırılmaktadır (California Air Resources Board, 2005b). Yakıtı özgü CO emisyon faktörünün ise ENVIRON International

isimli bir şirket tarafından hazırlanan bir rapordan alındığı EPA 2009 raporunda yer almaktadır (ENVIRON International Corporation, 2002). STEEM çalışması, tabloda gösterilen kompozit emisyon faktörlerini kullanmıştır, çünkü modelde kullanılan gemilerin seferlerinden elde edilen veriler ile ana makine devir hızı veya yardımcı makine yakıt tipi tanımlanmamaktadır.

4.5.3 ENTEC metodolojisinde yardımcı makine emisyon faktörü

ENTEC Metodolojisinde yapılan çalışmada kullanılan gemi veri tabanı yardımcı makineler için makine tipini belirtmemektedir. Üretici kataloglarının incelenmesi sonucu yardımcı makine tiplerinin MSD veya HSD olduğu görülmektedir. Referans alınan bu ENTEC çalışmasında, Lloyd's Register Fairplay (LRF)'den sağlanan verilerin faydalı varsayımlar ortaya çıkarmak için eksik olduğundan ve bir diğer veri sağlayıcısı IVL'den elde edilen %58 MSD, %42 HSD bölünmesinin küçük bir örneklemden elde edilen bir çıkarım olmasından dolayı, orta ve yüksek hızlı makinelerin eşit bir dağılımının olduğu ve bu nedenle emisyon faktörünün buna göre ağırlıklandırıldığı varsayılmaktadır (ENTEC, 2010). Bu varsayıma dayalı yardımcı makine emisyon faktörü verileri Çizelge 4.13'de gösterilmektedir. Bu çizelgedeki varsayımlar gemilerin "Seyir", "Manevra" ve "Liman" operasyonel modlarının üçü için de geçerlidir.

Çizelge 4.13 : Yardımcı makine emisyon faktörleri (g/kWh) (ENTEC, 2010).

Makine Tipi	Yakıt Tipi	NO _x 2000 öncesi	NO _x 2000 sonrası	NO _x filo	SO ₂	CO ₂	VOC	PM
		makine	makine	ort.				
M/H SD	MGO	13.9	11.5	13.0	0.9	690	0.4	0.3
M/H SD	MDO	13.9	11.5	13.0	6.5	690	0.4	0.4
M/H SD	RO	14.7	12.2	13.8	12.3	722	0.4	0.8

4.5.4 EPA metodolojisinde yardımcı makine emisyon faktörü

Gemi ve yakıt tipine göre yardımcı makineler için emisyon faktörleri Çizelge 4.14'de gösterilmektedir. NO_x ve HC için yakıtı özgü ana emisyon faktörleri, yukarıda ana makine yük faktörleri için atıfta bulunulan ABD, Kanada ve Avrupa'daki son gemi emisyonu analizlerinden alınmıştır. Rafine edilmiş gemi yakıtı (Marine Distillate Oil) için PM faktörü, ENVIRON International tarafından yukarıda belirtilen rapordan alınmıştır. Residual oil için PM faktörü, California Hava Kaynakları Kurulu (ARB)

personeli ile yapılan görüşmelere dayanmaktadır. CO faktörleri Los Angeles Limanı'nın Starcrest Danışmanlık çalışmasından alınmıştır (Starcrest Consulting Group LLC, 2004a). SO₂ için yakıtı özgü emisyon faktörleri ENTEC, Corbett ve Koehler'den temin edilmiştir (ENTEC UK Limited, 2002; Corbett ve Koehler, 2003).

Çizelge 4.14 : Yardımcı makine emisyon faktörleri (g/kWh) (EPA, 2009).

Makine Tipi	Yakıt Tipi	NO _x	PM ₁₀	PM _{2.5}	HC	CO	SO ₂
Medium Speed	Marine Distillate	13.9	0.3	0.3	0.4	1.1	4.3
Medium Speed	Residual Oil	14.7	1.5	1.4	0.4	1.1	12.3
Composite EF	Residual Oil	14.5	1.2	1.1	0.4	1.1	**

5. YÖNTEMLERİN UYGULANMASI VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında, Kıyı Emniyeti ve Genel Müdürlüğü tarafından sağlanan veriler yardımıyla 2010-2017 yıllarını kapsayan İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerin İstanbul Boğazı bölgesinde sebep olduğu emisyon salınımı hesabı yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde elde edilen sonuçların kendi aralarında karşılaştırılabilmesi, amacıyla, hesaplamalarda ENTEC ve EPA olmak üzere iki farklı metodolojiden yararlanılmıştır.

5.1 Emisyon Türüne Göre Değerlendirme

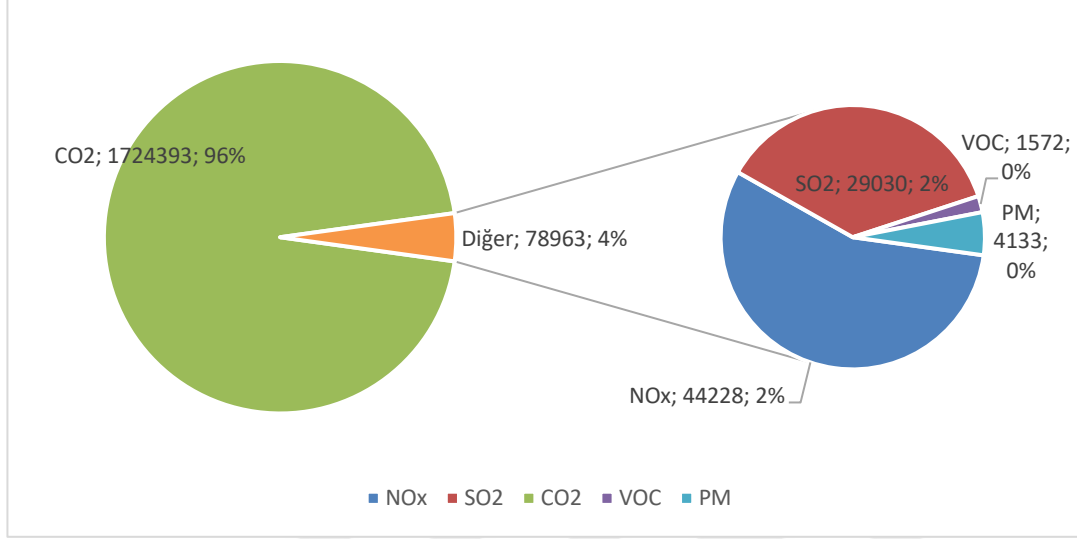
ENTEC metodolojisinde ele alınan emisyon türleri NO_x , SO_2 , CO_2 , VOC ve PM iken, EPA metodolojisinde ele alınan emisyon türleri ise NO_x , SO_2 , CO, HC, PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ 'dir. Burada NO_x ve SO_2 her iki metotta da ele alınan ortak emisyon türü iken diğerlerinin farklılık gösterdiği görülmektedir. ENTEC metodunda Partikül Madde kirleticisi genel olarak PM şeklinde alınırken EPA metodunda ise detaylandırılarak PM_{10} ve $\text{PM}_{2.5}$ olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. ENTEC metodunda CO_2 kirleticisi hesaplanırken EPA'da bunun karşılığı olarak CO yer almaktadır. Benzer şekilde ENTEC'te VOC (Uçucu organik bileşik) yer alırken EPA'da HC (Hidrokarbon) yer almaktadır.

Genel bir değerlendirme ile başlanacak olursa aşağıdaki tablo ve grafiklerde 2010-2017 yıllarını kapsayan toplam emisyon değerleri ENTEC ve EPA metodolojilerine göre yapılan hesaplamaların sonuçları ayrı ayrı gösterilmiş olup emisyon miktarları için kullanılan birim tondur.

Çizelge 5.1 ve Şekil 5.1'de görüldüğü üzere ENTEC ile hesaplanan emisyon tiplerinden CO_2 salınımının diğer kirleticilere göre çok daha yoğun olduğu söylenebilmektedir. Salınan toplam emisyon miktarının yaklaşık %96'sını CO_2 oluştururken geriye kalan %4'lük payda en yüksek salınım oranlarının NO_x ve SO_2 'de olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1 : ENTEC ile hesaplanan toplam emisyon miktarı (ton) (2010-2017).

Trafik Yönü	Geçen gemi sayısı	NOx (ton)	SO ₂ (ton)	CO ₂ (ton)	VOC (ton)	PM (ton)
G-K	183144	23429,8229	15373,8306	911490,1176	831,3286	2187,8362
K-G	183246	20798,4083	13656,3138	812902,9854	740,9016	1944,7064
Toplam	366390	44228,2312	29030,1444	1724393,1030	1572,2301	4132,5426



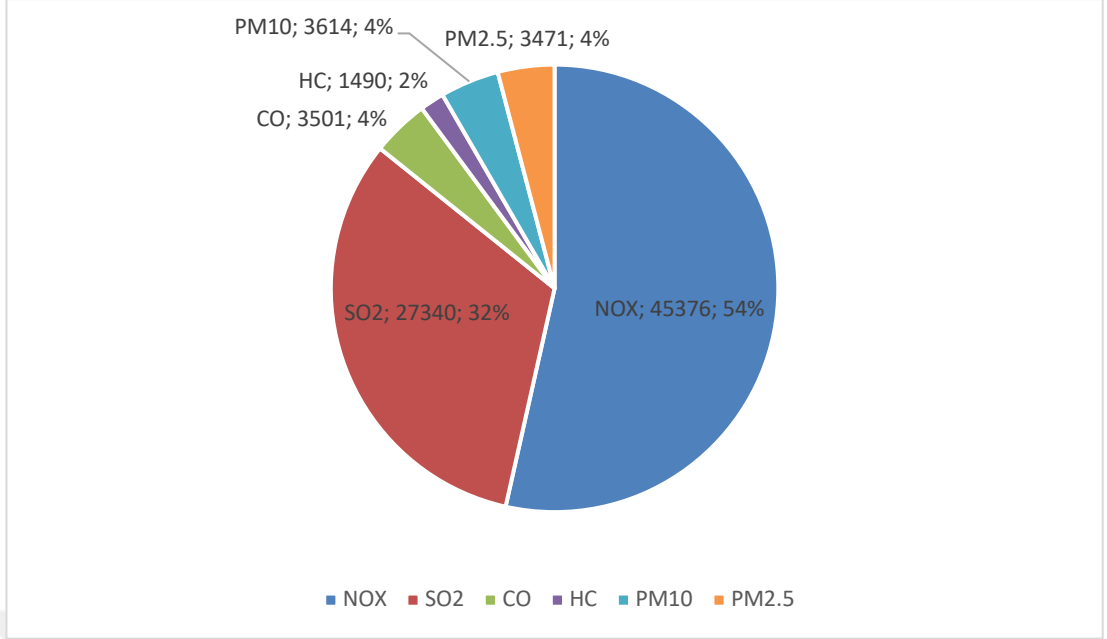
Şekil 5.1 : ENTEC metodolojisindeki hesaba göre 2010- 2017 yılları arasındaki toplam emisyon miktarının emisyon türleri arasındaki dağılımı

Çizelge 5.2’de, bu tez çalışmasında EPA metodolojisine göre hesaplanan 2010 ile 2017 yıllarını kapsayan 8 sene için toplam emisyon miktarları ton cinsinden verilmiştir.

Çizelge 5.2 : EPA ile hesaplanan toplam emisyon miktarı (2010-2017).

Trafik Yönü	Geçen gemi sayısı	NOx (ton)	SO ₂ (ton)	CO (ton)	HC (ton)	PM ₁₀ (ton)	PM _{2.5} (ton)
G-K	183144	23985,9773	14470,6354	1850,6635	787,4829	1911,1509	1831,8983
K-G	183246	21389,7405	12869,3688	1650,5177	702,2066	1702,9549	1639,5004
Toplam	366390	45375,7177	27340,0042	3501,1813	1489,6895	3614,1058	3471,3987

Çizelge 5.2 ve Şekil 5.2’de görüldüğü üzere EPA ile yapılan hesaplamalar sonucu, salınan toplam emisyon miktarının yaklaşık %54’ünü NO_x oluştururken yaklaşık %32’sini ise SO₂ oluşturmaktadır.



Şekil 5.2 : EPA metodolojisindeki hesaba göre 2010- 2017 yılları arasındaki toplam emisyon miktarının emisyon türleri arasındaki dağılımı

5.1.1 Karbondioksit (CO₂) kirleticisinin değerlendirilmesi

IMO gemilerden kaynaklanan CO₂ emisyon salınımının azaltılması amacıyla 2011 yılında Marpol Ek VI’da değişiklik yaparak bir dizi enerji verimliliği düzenlemeleri getirmiştir. Getirilen bu düzenlemeler 1 Ocak 2013 tarihinden itibaren uygulanmaktadır. Uygulanan bu düzenlemelerle gemiler için, “Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi” (Energy Efficiency Design Index, EEDI) ve “Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı” (Ship Energy Efficiency Management Plan, SEEMP) zorunlu hale getirilmiştir. SEEMP, bir geminin enerji verimliliğini düşük maliyetli bir şekilde artıracak bir mekanizma oluşturan operasyonel bir önlemdir. SEEMP aynı zamanda denizcilik şirketlerine, örneğin Enerji Verimliliği Operasyonel Göstergesi (Energy Efficiency Operational Indicator, EEOI)’ ni izleme aracı olarak kullanarak gemi ve filo verimlilik performansını zaman içinde yönetmeleri için bir yaklaşım sunmaktadır. EEOI, basit bir tanımlama ile birim taşıma işi başına salınan CO₂ kütle oranı olarak tanımlanmaktadır (IMO, n.d.). 2013 yılından itibaren uygulamada olan bu yükümlülüklerin İstanbul Boğazı üzerindeki etkisi de bu bölümde değerlendirilmektedir.

CO₂ kirleticisinin emisyon salınım değerleri ENTEC ve EPA metodolojilerinde aynı emisyon faktörlerin kullanılması sebebi ile sadece ENTEC ile uygulanan hesaplamalardan elde edilmiştir. CO₂, Şekil 5.1’de görüldüğü üzere tüm emisyon

türleri içerisinde 2010-2017 yıllarını kapsayan 8 senede 1724393 tonluk değer ile salınımı en fazla yapılan kirletici konumundadır.

Yanma sırasında PM ve VOC olarak yayılan karbon içeriği asgari düzeyde olduğu için, hesaplamalarda yakıttaki tüm karbonun CO₂'ye dönüştürüldüğü varsayılmaktadır. CO₂'ye özgü emisyonlar doğrudan spesifik yakıt tüketimi ile ilgilidir ve kullanılan fosil yakıt miktarı azaltılmadığı müddetçe bu değer azaltılması mümkün değildir.

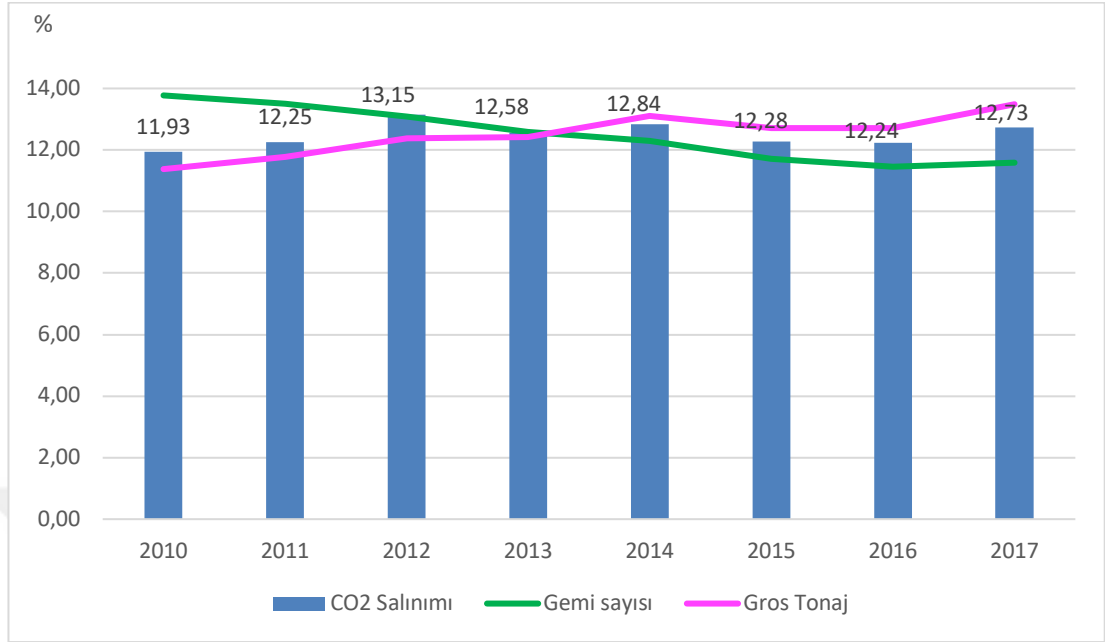
CO₂ emisyon salınımı ile ilgili gemi türlerine göre yapılan değerlendirme Çizelge 5.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 5.3 : Gemi tipine göre CO₂ salınımı (2010-2017).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Yıl	Yön	CO ₂ (ton)	Gemi başına ortalama
Barge	115	2010-2017	Toplam	81	0.708
Bulk C.	56907	2010-2017	Toplam	387801	6.815
Cement C.	32	2010-2017	Toplam	107	3.329
Chemical T.	13464	2010-2017	Toplam	47000	3.491
Container S.	21715	2010-2017	Toplam	283209	13.042
Ferry	14	2010-2017	Toplam	31	2.238
General C.	201824	2010-2017	Toplam	501556	2.485
LPG T.	9925	2010-2017	Toplam	44685	4.502
Livestock C.	3257	2010-2017	Toplam	7410	2.275
Passenger S.	3889	2010-2017	Toplam	41855	10.762
Refrigerated C.	1670	2010-2017	Toplam	10158	6.083
Ro-Ro C.	3510	2010-2017	Toplam	22170	6.316
Tanker	47934	2010-2017	Toplam	367392	7.665
Vehicle C.	344	2010-2017	Toplam	2183	6.346
Others	1790	2010-2017	Toplam	8756	4.891

Çizelge 5.3'te görüldüğü üzere İstanbul Boğazı'ndan diğerlerine nazaran daha çok geçiş yapan "General Cargo" tipi gemiler 8 senelik veriye göre toplam 501556 ton ile en yüksek CO₂ salınımı üreticisi konumundadır. General Cargo tipi gemileri takiben boğazı geçiş yolu olarak daha çok kullanan sırasıyla Bulk Carrier, Tanker ve Container tipi gemilerin diğer büyük CO₂ salınımı üreticileri oldukları görülmektedir. Geçen gemi sayısı ile CO₂ salınımı arasında bir doğru orantı varmış gibi düşünülebilir ancak

Şekil 5.3 ve Çizelge 5.4 incelendiğinde geçiş yapan gemi sayısının en fazla olduğu 2010 yılında, gemilerden kaynaklı CO₂ emisyon salınımı en düşük orandadır.



Şekil 5.3 : CO₂ emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.

CO₂ emisyon salınımı doğrudan gemilerin yakıt tüketimi ile ilgilidir ve bu yüzden gemi başına düşen ortalama CO₂ salınım değerlerine bakıldığında ise CO₂ salınımı konusunda sıralamanın Container, Passenger, Tanker... olarak değiştiği görülmektedir. Dolayısıyla CO₂ salınımını azaltmaya yönelik alınacak herhangi bir tedbir, tüm gemi tiplerini içine almalı ve doğrudan gemilerin yakıt tüketimini azaltmaya yönelik olmalıdır.

Çizelge 5.4 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam CO₂ miktarı.

Yıl	Gemi Sayısı	CO ₂ (ton)
2010	50464	205793
2011	49459	211272
2012	47926	226751
2013	46090	216861
2014	45061	221375
2015	42938	211804
2016	41973	210984
2017	42479	219553

Çizelge 5.4'te tezde uygulanan ENTEC yöntemine göre hesaplanan senelik toplam CO₂ emisyon miktarları verilmiştir ve bu 8 sene içerisinde en fazla CO₂ salınımı 2012

yılında gerçekleşmiştir. EEOI açısından eldeki verilerle kesin bir karara varmak oldukça güçtür. Ancak bu bağlamda gemi kapasitelerini de dikkate almak doğru bir yaklaşım olacaktır. Geçiş yapan gemi sayısının en fazla olduğu 2010 yılında salınan CO₂ emisyon miktarının yüzdelik ifadesi, aynı sene geçiş yapan toplam gros tonaj miktarının oransal değerinin üstündedir. 2011 ve 2012 yıllarında da benzer durum göze çarpmaktadır. Enerji verimliliği konusunda düzenlemelerin zorunlu hale getirildiği 2013 yılından itibaren ise üretilen emisyon miktarının geçiş yapan gros tonaj miktarının altında kaldığı, dolayısıyla alınan önlemlerin olumlu etkilerinin gözlemlendiği söylenebilmektedir.

5.1.2 Azot oksit (NO_x) kirleticisinin değerlendirilmesi

NO_x kirleticisinin EPA metodolojisinde sınıflandırılan emisyon türleri arasında en yüksek, ENTEC metodolojisindeki hesaplamalara göre ise CO₂'den sonra en yüksek değere sahip emisyon türü olduğu Şekil 5.1 ve 5.2'de görülmektedir. NO_x emisyonu ise makineden geçen havada azot oksidasyonunu aktive eden yüksek makine sıcaklıklarının yanı sıra yakıttaki azot bileşiklerinden meydana gelmektedir. Sonuç olarak NO_x emisyon seviyesi, farklı makine tiplerindeki yanma işlemine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. SSD makineler daha yüksek sıcaklıklarda daha uzun süre çalışmaktadırlar, bu da daha iyi yanma verimliliği sağlarken, aynı zamanda daha yüksek NO_x emisyonuna sebep olmaktadır.

Bu sebeple IMO tarafından, MARPOL Ek 6, Kural 13.8'de belirtildiği üzere, 2008 yılında çıkarılan Deniz Dizel Makinelerinden Azot oksit Emisyonlarının Kontrolü ile ilgili Teknik Kodu (NO_x Teknik Kodu) ile 1 Ocak 2000 tarihinde veya sonrasında inşa edilen gemilere veya 1 Ocak 2000'de veya daha sonra büyük bir dönüşüm geçiren makinelerle monte edilen makinelerin aşağıdaki Çizelge 5.5'de gösterildiği üzere NO_x Teknik Kodu karşılması gerekmektedir (IMO NO_x Technical Code, 2008). Çizelgedeki Tier III, Emisyon Kontrol Alanları (Emission Control Areas, ECA)'nda çalışacak gemiler için geçerli olup diğer gemiler için ise Tier I ve II geçerlidir. NO_x Teknik Kodu kapsamında izin verilen dizel makineler için azami NO_x emisyon sınırları, makinenin nominal hızı ile doğrudan ilişkilidir. Gereksinimleri karşılamak için mevcut makineler, makine hızına ve yaşına bağlı olarak çeşitli modifikasyonlardan birine ihtiyaç duyabilmektedir.

Çizelge 5.5 : NO_x Teknik Kodu gereklilikleri.

Tier	Ship construction date on or after	Total weighted cycle emission limit (g/kWh)		
		n = engine's rated speed (rpm)		
		n < 130	n = 130 - 1999	n ≥ 2000
I	1 January 2000	17.0	$45 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 12.1	9.8
II	1 January 2011	14.4	$44 \cdot n^{(-0.23)}$ e.g., 720 rpm – 9.7	7.7
III	1 January 2016	3.4	$9 \cdot n^{(-0.2)}$ e.g., 720 rpm – 2.4	2.0

ENTEC'in Avrupa Komisyonu (2005) için yaptığı çalışmada, NO_x Teknik Kodunun gereksinimlerini karşılayan yeni bir makinenin 2000 öncesi bir makineye göre yaklaşık %17 daha düşük NO_x emisyonuna sahip olduğu varsayılmıştır. Makinenin yaşı, ana makinelerin yaklaşık %79'u için Lloyd'un veri tabanında tanımlanmaktadır ve bu nedenle 2007 için 2000 emisyon faktörü güncellenirken; 2000 öncesi, 2000 sonrası ve yaşı bilinmeyen makineler için bilinen yaştaki makinelerin ortalaması olmak üzere üç set NO_x emisyon faktörü hesaplanmıştır. Tezde yapılan NO_x hesaplamalarında ENTEC metodolojisi uygulanırken bu üç set emisyon faktörü ana makine yaşı dikkate alınarak uygulanmıştır. EPA metodolojisi uygulanırken ise tek bir NO_x emisyon faktörü kullanılmıştır. Ayrıca tezde belirli bir gemi için ana makine yaşı ile yardımcı makine yaşının ENTEC'in çalışmasında olduğu gibi aynı olduğu varsayılmıştır.

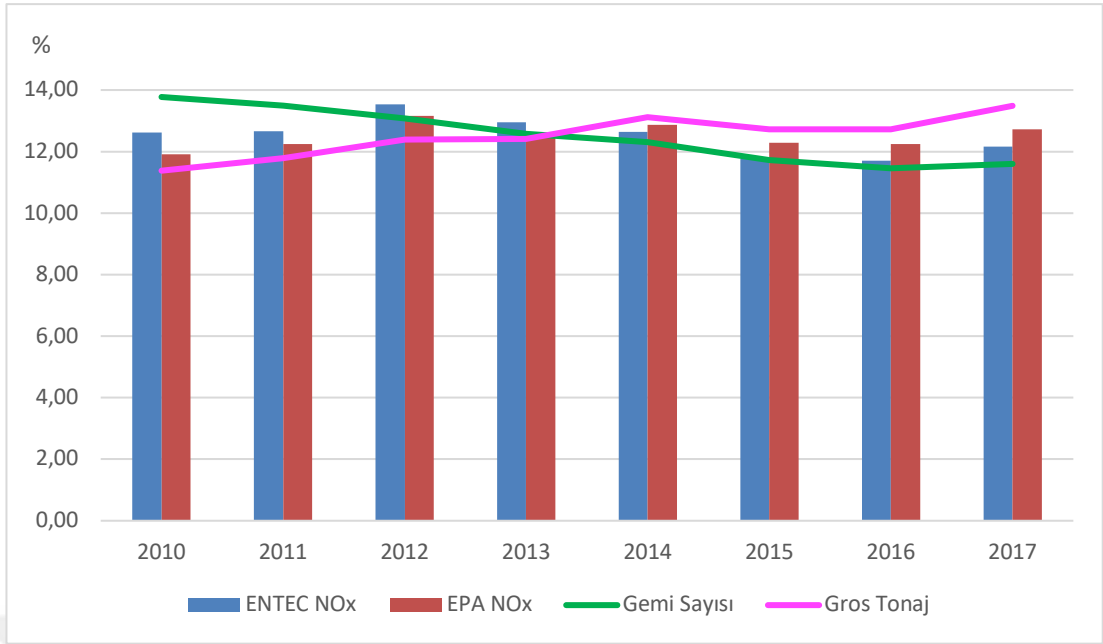
NO_x emisyon salınımı ile ilgili gemi türlerine göre yapılan değerlendirme Çizelge 5.6'da görüldüğü üzere CO₂ salınımında olduğu gibi İstanbul Boğazı'ndan diğerlerine nazaran daha çok geçiş yapan "General Cargo" tipi gemiler 8 senelik veriye göre yaklaşık 13-14 bin tonluk değer ile en yüksek NO_x salınımı üreticisi konumundadır. General Cargo tipi gemileri takiben boğazı geçiş yolu olarak daha çok kullanan sırasıyla Bulk Carrier, Tanker ve Container tipi gemilerin diğer büyük NO_x salınımı üreticileri oldukları görülmektedir. Ancak bu noktada yanılığa düşmemek adına Şekil 5.4 ile Çizelge 5.7 incelendiğinde, boğazdan en çok geçiş yapılan yıl olan 2010'da en yüksek NO_x oranına ulaşılmadığı görülecektir çünkü geçiş yapan gemi sayısının yanı sıra NO_x emisyon hesabındaki diğer önemli faktörler; geçiş yapan gemilerin makine tipi, makine yaşı ve kullanılan yakıt tipidir.

Çizelge 5.6 : Gemi türüne göre NO_x salınımı (2010-2017).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Yıl	Yön	ENTEC NO _x (ton)	EPA NO _x (ton)
Barge	115	2010-2017	Toplam	1.855	1.781
Bulk C.	56907	2010-2017	Toplam	10124.271	10108.347
Cement C.	32	2010-2017	Toplam	2.982	2.845
Chemical T.	13464	2010-2017	Toplam	1185.249	1217.112
Container S.	21715	2010-2017	Toplam	6884.934	7739.979
Ferry	14	2010-2017	Toplam	0.638	0.676
General C.	201824	2010-2017	Toplam	13968.751	13323.583
LPG T.	9925	2010-2017	Toplam	1150.069	1157.346
Livestock C.	3257	2010-2017	Toplam	205.664	196.141
Passenger S.	3889	2010-2017	Toplam	854.388	1060.010
Refrigerated C.	1670	2010-2017	Toplam	284.346	272.186
Ro-Ro C.	3510	2010-2017	Toplam	569.108	548.239
Tanker	47934	2010-2017	Toplam	8728.431	9507.375
Vehicle C.	344	2010-2017	Toplam	58.451	57.936
Others	1790	2010-2017	Toplam	209.094	182.162

Çizelge 5.6’da görüldüğü üzere CO₂ salınımında olduğu gibi İstanbul Boğazı’ndan diğerlerine nazaran daha çok geçiş yapan “General Cargo” tipi gemiler 8 senelik veriye göre yaklaşık 13-14 bin tonluk değer ile en yüksek NO_x salınımı üreticisi konumundadır.

General Cargo tipi gemileri takiben boğazı geçiş yolu olarak daha çok kullanan sırasıyla Bulk Carrier, Tanker ve Container tipi gemilerin diğer büyük NO_x salınımı üreticileri oldukları görülmektedir. Ancak bu noktada yanılığa düşmemek adına Şekil 5.4 ile Çizelge 5.7 incelendiğinde, boğazdan en çok geçiş yapılan yıl olan 2010’da en yüksek NO_x oranına ulaşılmadığı görülecektir çünkü geçiş yapan gemi sayısının yanı sıra NO_x emisyon hesabındaki diğer önemli faktörler; geçiş yapan gemilerin makine tipi, makine yaşı ve kullanılan yakıt tipidir.



Şekil 5.4 : NO_x emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.

Geçiş yapan toplam gros tonaj miktarındaki artış gemilerin makine kapasitelerinin yıllar içinde arttığını göstermektedir. Fakat bu artış gemi sayısındaki düşüş ile bir nebze tolere edilmiş ve NO_x emisyon miktarında ciddi yükselmeler görülmemiştir. Ancak gelecek yıllarda boğazdan geçiş yapan gemi sayısının artması durumunda bu emisyon miktarında da artış gözlenmesi kaçınılmaz olacaktır.

Çizelge 5.6, 5.7 ve Şekil 5.4'te ENTEC ve EPA metodolojilerine göre yapılan hesaplamalar da kıyaslanabilmektedir. Bu karşılaştırmada biri diğerinden daha az ya da daha fazla gibi bir çıkarım yapmak mümkün değildir. Bazı yıllar ENTEC metodolojisiindeki hesaba göre salınan NO_x emisyon değeri daha fazla iken bazı yıllar EPA metodolojisiindeki hesaba göre daha yüksek çıkmıştır. Burada hesaplamada kullanılan emisyon faktörleri değerler arasında farklılığa yol açmaktadır. ENTEC'te makine yaşına bağlı olarak değişen üç set emisyon faktörü (2000 yılı öncesi, sonrası ve filo ortalaması) kullanılırken EPA'da sadece bir set emisyon faktörü uygulanmaktadır. NO_x emisyon salınımını azaltabilmek adına belli bir gemi tipi yerine tüm gemi tiplerini kapsayacak şekilde gemilerde kullanılan makinelerin NO_x Teknik Kodunun gereksinimlerini karşılaması ve Tier III'teki ECA için belirlenen düşük değerlerin uygulanması gerekmektedir.

Çizelge 5.7'de gösterildiği üzere her iki yönetime göre de bu 8 sene içerisinde en fazla NO_x salınımı 2012 yılında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.7 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam NO_x miktarı.

Yıl	Gemi Sayısı	ENTEC NO _x (ton)	EPA NO _x (ton)
2010	50464	5583	5403
2011	49459	5597	5559
2012	47926	5985	5969
2013	46090	5725	5710
2014	45061	5587	5836
2015	42938	5199	5575
2016	41973	5177	5554
2017	42479	5375	5770

5.1.3 Sülfür oksit (SO₂) kirleticisinin değerlendirilmesi

Tezde SO₂ emisyon salınımı, NO_x'te olduğu gibi ENTEC ve EPA metodolojilerinin ikisinde de ayrı ayrı hesaplanarak bulunan sonuçlar karşılaştırılmıştır. SO₂ emisyon salınımı ile ilgili gemi türlerine göre yapılan değerlendirme Çizelge 5.8'de gösterilmektedir.

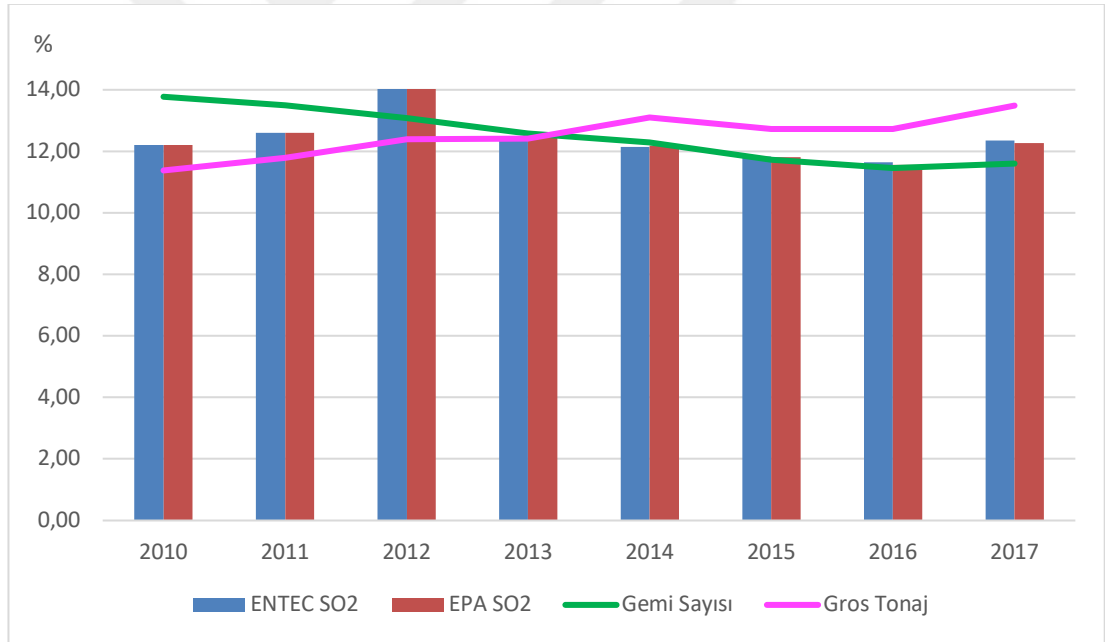
Çizelge 5.8 : Gemi türüne göre SO₂ salınımı (2010-2017).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Yıl	Yön	ENTEC SO ₂ (ton)	EPA SO ₂ (ton)
Barge	115	2010-2017	Toplam	1.315	1.195
Bulk C.	56907	2010-2017	Toplam	6308.980	5745.861
Cement C.	32	2010-2017	Toplam	1.698	1.610
Chemical T.	13464	2010-2017	Toplam	755.413	684.937
Container S.	21715	2010-2017	Toplam	4604.514	4497.223
Ferry	14	2010-2017	Toplam	0.300	0.334
General C.	201824	2010-2017	Toplam	8401.192	7989.675
LPG T.	9925	2010-2017	Toplam	719.395	652.314
Livestock C.	3257	2010-2017	Toplam	118.129	112.055
Passenger S.	3889	2010-2017	Toplam	401.297	604.654
Refrigerated C.	1670	2010-2017	Toplam	161.897	153.837
Ro-Ro C.	3510	2010-2017	Toplam	356.056	341.218
Tanker	47934	2010-2017	Toplam	7023.776	6400.530
Vehicle C.	344	2010-2017	Toplam	35.035	34.043
Others	1790	2010-2017	Toplam	141.149	120.518

SO₂ emisyon seviyesi doğrudan yakıtın sülfür içeriğine bağlıdır ve yakıttaki tüm sülfürün yanma durumunda SO₂'ye dönüştüğü genel olarak kabul edilebilir bir varsayım olarak görülmektedir (ENTEC, 2010).

Bu çizelgeye göre sayıca geçiş üstünlüğüne sahip “General Cargo” tipi gemilerin en fazla SO₂ üreticisi konumunda olduğu görülmektedir. Fakat, NO_x salınımında olduğu gibi SO₂'de de gemi sayısı ile salınan emisyon miktarı arasında doğrudan bir orantı kurulabilmenin mümkün olmadığı şekil 5.5'teki senelere göre gemi sayısı ile SO₂ salınımı arasındaki yüzdelik dağılımdan görülebilmektedir çünkü daha önce de ifade edildiği üzere SO₂ salınımını doğrudan etkileyen en önemli faktör gemilerin kullandığı yakıtın içerisindeki sülfür oranıdır.

Gemi sayısının düşmesine rağmen artış gösteren gros tonaj miktarları, gemi makine kapasitelerinin arttığını dolayısıyla daha az gemi ile yine benzer emisyon değerlerinin yakalandığını göstermektedir.



Şekil 5.5 : SO₂ emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.9'da ise tezde yapılan hesaplamalar neticesinde senelere göre geçen toplam gemi sayısı ile salınan toplam SO₂ emisyon miktarı verilmiştir. Ayrıca kullanılan formülasyonlardaki farklı emisyon faktörleri, değerler arasındaki farklılığa yol açsa da değerler arasında büyük farklılıklar bulunmadığı görülmektedir.

Her iki yöntemle de bu 8 sene içerisinde en fazla SO₂ salınımı 2012 yılında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.9 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam SO₂ miktarı.

Yıl	Gemi Sayısı	ENTEC SO ₂ (ton)	EPA SO ₂ (ton)
2010	50464	3545	3337
2011	49459	3660	3443
2012	47926	4273	4053
2013	46090	3629	3426
2014	45061	3527	3334
2015	42938	3434	3229
2016	41973	3378	3163
2017	42479	3586	3354

5.1.4 Partikül madde (PM) kirleticisinin değerlendirilmesi

Partikül maddenin ana bileşenlerinde; sülfat, nitrat, amonyak, sodyum klorür, siyah karbon, mineral tozu ve su yer almaktadır. Havada asılı organik ve inorganik maddelerin katı ve sıvı parçacıklarının karmaşık bir karışımından oluşmaktadır. Çapı 10 mikron veya daha az olan parçacıklar (PM₁₀) insan vücudunun içine girerek akciğerlerin derinliklerine yerleşebilirken, çapı 2.5 mikron veya daha az olan parçacıklar (PM_{2.5}) akciğer bariyerlerine nüfuz edebilmekte ve kan sistemine girebilmektedir (WHO, 2018a). ENTEC metoduyla partikül madde kirleticisinin miktarı PM olarak hesaplanmışken, EPA metoduyla ise PM₁₀ ve PM_{2.5} kirleticilerinin miktarı ayrı ayrı hesaplanmıştır.

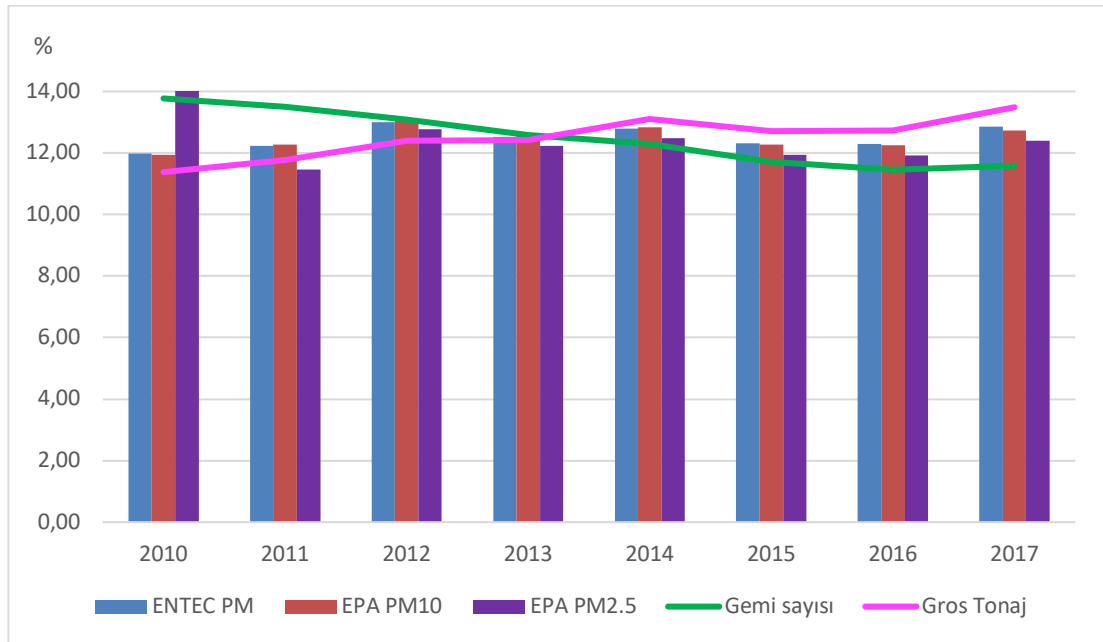
Çizelge 5.10’da 2010-2017 yıllarını kapsayan seneler içerisinde salınan PM kirleticisinin miktarı gemi türüne göre değerlendirilmiştir. ENTEC ve EPA yöntemi kullanılarak ayrı ayrı yapılan hesaba göre bu 8 sene içerisinde PM, PM₁₀ ve PM_{2.5} kirletici türlerinin hepsinde, diğer gemi tiplerine göre boğazdan daha fazla geçiş yapan “General Cargo” tipi gemilerin daha fazla salınım yaptığı görülmüştür.

Boğazdan geçiş yapan gemi sayısı ile PM emisyon miktarının senelere göre dağılımı Şekil 5.6’da gösterilmektedir. Şekildeki grafikte gösterildiği üzere geçiş yapan gemi sayısı hesaplanan emisyon miktarlarını doğrudan etkilese de boğazdan geçiş yapan gemi karakterlerinin değişmesi sebebi ile geçiş yapan gemi sayısı azaldığında emisyon miktarının hem artış hem de düşüş gösterebildiği görülmektedir. Dolayısıyla yalnızca gemi sayısı üzerinden herhangi bir yorum getirmek mümkün değildir. Makine kapasitelerin hakkında da yorum yapılabilmesini sağlayan gros tonaj miktarını

gösteren eğrideki artış, gemi sayısının düşmesine rağmen hesaplanan emisyon miktarlarını anlamlandırmaktadır.

Çizelge 5.10 : Gemi türüne göre PM salınımı (2010-2017).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Yıl	Yön	ENTEC PM (ton)	EPA PM ₁₀ (ton)	EPA PM _{2.5} (ton)
Barge	115	2010-2017	Toplam	0,140	0,160	0,149
Bulk C.	56907	2010-2017	Toplam	988,866	810,956	757,768
Cement C.	32	2010-2017	Toplam	0,262	0,328	0,212
Chemical T.	13464	2010-2017	Toplam	117,526	96,336	89,879
Container S.	21715	2010-2017	Toplam	645,896	622,397	692,134
Ferry	14	2010-2017	Toplam	0,019	0,037	0,035
General C.	201824	2010-2017	Toplam	1218,320	1065,880	995,820
LPG T.	9925	2010-2017	Toplam	111,772	91,595	85,568
Livestock C.	3257	2010-2017	Toplam	17,870	15,732	14,698
Passenger S.	3889	2010-2017	Toplam	25,757	69,116	65,007
Refrigerated C.	1670	2010-2017	Toplam	24,937	21,638	20,217
Ro-Ro C.	3510	2010-2017	Toplam	43,609	46,465	43,414
Tanker	47934	2010-2017	Toplam	918,752	752,886	687,259
Vehicle C.	344	2010-2017	Toplam	4,614	4,647	4,344
Others	1790	2010-2017	Toplam	14,202	15,934	14,896



Şekil 5.6 : PM emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.11’de tezde uygulanan her iki yönteme göre hesaplanan emisyon miktarları ayrı ayrı verilmiş olup değerler arasında büyük farklılar olmadığı görülmektedir. Her iki yönteme göre de bu 8 sene içerisinde en fazla PM ve PM₁₀ salınımı 2012 yılında iken en yüksek PM_{2.5} salınımı 2010 yılında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.11 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam PM miktarı.

Gemi Sayısı	Yıl	ENTEC PM (ton)	EPA PM10 (ton)	EPA PM2,5 (ton)
50464	2010	495	432	514
49459	2011	506	443	398
47926	2012	537	474	443
46090	2013	517	454	425
45061	2014	529	464	433
42938	2015	509	444	415
41973	2016	508	443	414
42479	2017	531	460	430

5.1.5 Uçucu Organik Bileşik (VOC) ve Hidrokarbon (HC) değerlendirmesi

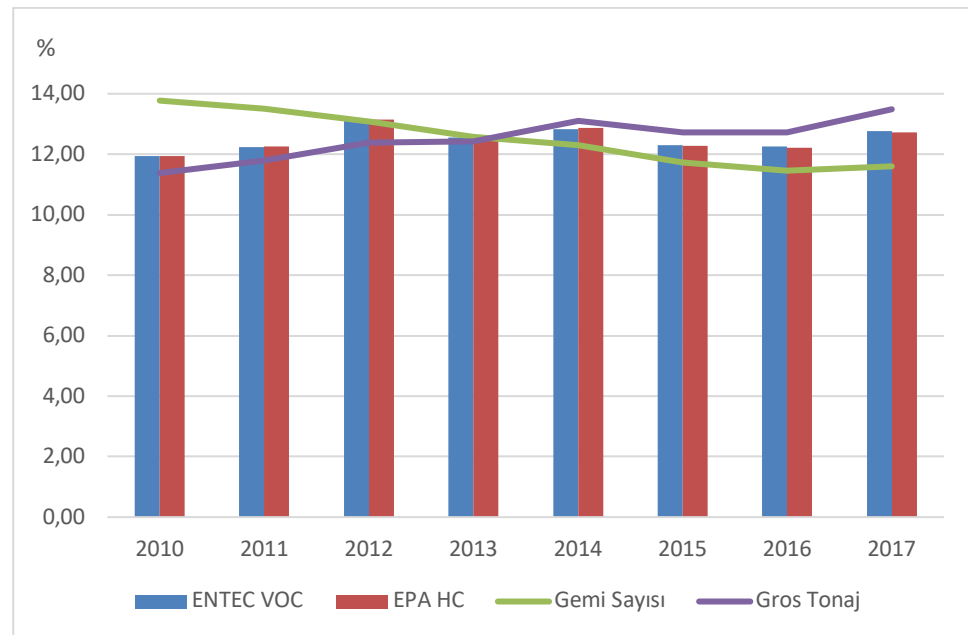
Bu çalışmada VOC emisyon seviyesi ENTEC metodolojisi kapsamında hesaplanmıştır. Bir emisyon türü olarak doğrudan HC kullanımı ise EPA metodolojisindeki emisyon sınıflandırmasında yer almaktadır. Ancak, ENTEC 2010 raporunda VOC için yapılan açıklamada, Metan-Dışı Uçucu Organik Bileşikler (Non-Methane Volatile Organic Compounds, NMVOC)’in toplam HC emisyonlarının % 99’unu içerdiği varsayımının kabul edildiği ifade edilmiştir. Bu sebeple, ENTEC çalışmasında yer alan VOC ile EPA’da yer alan HC emisyon türü birbirleri ile karşılaştırılabilmesi açısından bu başlık altında birlikte ele alınmıştır. HC emisyonları, makine egzozundaki yanmamış yakıttan ve buharlaştırılmış yakıtın kaçak emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Yapılan hesaplamalar, ham petrol tankerleri için önemli sayılabilecek yakıt ve yüklerden kaynaklanan buharlaşma kayıplarını içermemektedir.

Çizelge 5.12’de gemi türüne göre yapılan değerlendirmede boğazdan sayıca geçiş üstünlüğüne sahip “General Cargo” tipi gemilerin daha fazla VOC ve HC emisyon salınımına sebep olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.12 : Gemi türüne göre VOC ve HC salınımı (2010-2017).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Yıl	Yön	ENTEC VOC (ton)	EPA HC (ton)
Barge	115	2010-2017	Toplam	0,066	0,061
Bulk C.	56907	2010-2017	Toplam	361,930	333,175
Cement C.	32	2010-2017	Toplam	0,098	0,094
Chemical T.	13464	2010-2017	Toplam	43,449	40,023
Container S.	21715	2010-2017	Toplam	253,063	250,747
Ferry	14	2010-2017	Toplam	0,023	0,021
General C.	201824	2010-2017	Toplam	457,646	439,080
LPG T.	9925	2010-2017	Toplam	41,314	38,057
Livestock C.	3257	2010-2017	Toplam	6,742	6,468
Passenger S.	3889	2010-2017	Toplam	31,344	34,267
Refrigerated C.	1670	2010-2017	Toplam	9,307	8,957
Ro-Ro C.	3510	2010-2017	Toplam	18,746	18,145
Tanker	47934	2010-2017	Toplam	339,646	312,644
Vehicle C.	344	2010-2017	Toplam	1,893	1,878
Others	1790	2010-2017	Toplam	6,964	6,070

Şekil 5.7’de gemi sayısı ile emisyon miktarı arasında yapılan kıyaslamada ise sadece gemi sayısı ile oluşan emisyon miktarı hakkında yorumlama yapmanın yanlış değerlendirmelere sebep olacağı görülmektedir. Makine kapasitelerinin hakkında da yorum yapılabilmesini sağlayan gros tonaj miktarını gösteren eğrideki artış gemi sayısının düşmesine rağmen hesaplanan emisyon miktarlarını anlamlandırmaktadır.



Şekil 5.7 : VOC ve HC emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.13’de tezde uygulanan her iki yönteme göre hesaplanan emisyon miktarları ayrı ayrı verilmiş olup değerler arasında büyük farklılar olmadığı görülmektedir. Her iki yönteme göre de bu 8 sene içerisinde en fazla VOC ve HC salınımı 2012 yılında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.13 : Toplam VOC ve HC emisyon miktarları.

Gemi Sayısı	Yıl	ENTEC VOC (ton)	EPA HC (ton)
50464	2010	188	178
49459	2011	192	183
47926	2012	206	196
46090	2013	197	187
45061	2014	202	192
42938	2015	193	183
41973	2016	193	182
42479	2017	201	189

5.1.6 Karbonmonoksit (CO) kirleticisinin değerlendirilmesi

Karbonmonoksit (CO), kan dolaşımında kritik organlara taşınan, oksijen miktarını bozarak insanlara zararlı olabilen renksiz ve kokusuz bir gazdır. CO havadaki diğer moleküllerle tepkimeye girerek yer seviyesinde ozon oluşturabilir. Karbonmonoksit de CO₂ gibi fosil yakıt kullanımından kaynaklanmaktadır. CO oluşumunun ana kaynakları; motorlu taşıt egzozu ve fosil yakıtları yakan makinelerdir (WHO, 2018a).

CO₂, yakıttaki karbonun tamamen oksidasyonu ile oluşurken CO, hava kaynağı yetersizliği sebebiyle yakıtın eksik yanmasından kaynaklanmaktadır.

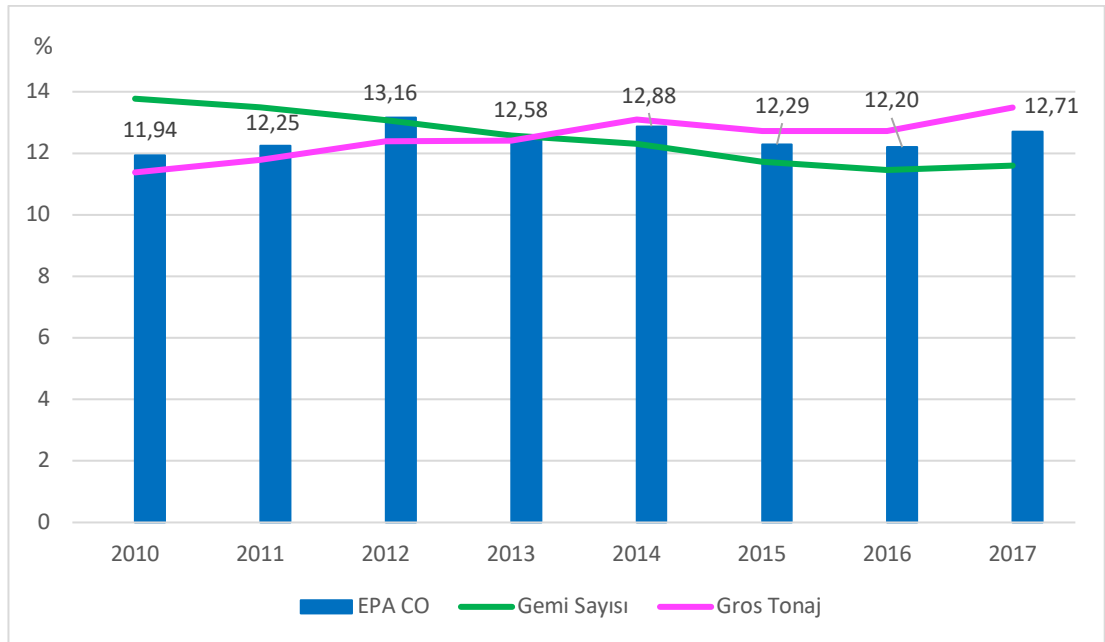
Bu çalışmada, CO emisyon miktarı EPA metodolojisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.14’te gemi türüne göre salınımı yapılan CO miktarının kıyaslaması görülmektedir. “General Cargo” tipi gemilerin, boğazdan geçiş yapan diğer gemi tiplerine kıyasla, belirgin bir şekilde daha fazla geçiş yapmasından ötürü, hesaplanan diğer emisyon türü miktarlarında olduğu gibi, CO emisyon türünde de daha fazla salınım yaptığı görülmektedir.

Çizelge 5.14 : Gemi türüne göre CO salınımı (2010-2017).

Gemi Tipi	Gemi Sayısı	Yıl	Yön	EPA CO (ton)
Barge	115	2010-2017	Toplam	0,139
Bulk C.	56907	2010-2017	Toplam	782,643
Cement C.	32	2010-2017	Toplam	0,220
Chemical T.	13464	2010-2017	Toplam	94,274
Container S.	21715	2010-2017	Toplam	585,636
Ferry	14	2010-2017	Toplam	0,053
General C.	201824	2010-2017	Toplam	1032,008
LPG T.	9925	2010-2017	Toplam	89,644
Livestock C.	3257	2010-2017	Toplam	15,195
Passenger S.	3889	2010-2017	Toplam	83,622
Refrigerated C.	1670	2010-2017	Toplam	21,080
Ro-Ro C.	3510	2010-2017	Toplam	42,000
Tanker	47934	2010-2017	Toplam	736,341
Vehicle C.	344	2010-2017	Toplam	4,388
Others	1790	2010-2017	Toplam	13,938

Şekil 5.8’de gemi sayısı ile emisyon miktarı arasında yapılan kıyaslamada ise sadece gemi sayısı ile oluşan emisyon miktarı hakkında yorumlama yapmanın yanlış değerlendirmelere sebep olacağı görülmektedir. Makine kapasitelerin hakkında da yorum yapılabilmesini sağlayan gros tonaj miktarını gösteren eğrideki artış gemi sayısının düşmesine rağmen hesaplanan emisyon miktarlarını anlamlandırmaktadır



Şekil 5.8 : CO emisyon miktarının yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.15'te tezde uygulanan EPA yöntemine göre hesaplanan emisyon miktarlarının senelik değişimi geçiş yapan gemi sayısı ile birlikte verilmiş olup değerler arasında büyük farklılar olmadığı görülmektedir. Bu 8 sene içerisinde en fazla CO salınımı 2012 yılında gerçekleşmiştir.

Çizelge 5.15 : Senelere göre geçen gemi sayısı ve salınan toplam CO miktarı.

Gemi Sayısı	Yıl	EPA CO (ton)
50464	2010	418
49459	2011	429
47926	2012	461
46090	2013	440
45061	2014	451
42938	2015	430
41973	2016	427
42479	2017	445

5.2 Boğazdaki Trafik Yönüne Göre Değerlendirme

Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Yönetmeliği'ne göre Türk Boğazları Bölgesi'nde ve Türk Boğazlarının bir parçası olan İstanbul Boğazı'nda, güneyden kuzeye (G-K) ve kuzeyden güneye (K-G) olmak üzere gemilerin geçişi için çift yönlü trafik uygulanmaktadır. Tezin bu bölümünde trafik yönüne göre geçen gemi sayıları ile birlikte emisyon miktarları değerlendirilmektedir. 2010-2017 yıllarını kapsayan 8 sene içerisinde G-K yönlü toplam 183144 ve K-G yönlü toplam 183246 olmak üzere boğazdan toplam 366390 gemi geçmiştir. Oransal olarak geçen gemilerin % 49.99'u G-K, % 50.01'i K-G yönlü trafiği kullandığı, dolayısıyla trafik yönünün geçen gemi sayısı üzerinde belirgin bir fark yaratmadığı görülmektedir.

5.2.1 Kullanılan hesaplama yöntemine göre değerlendirme

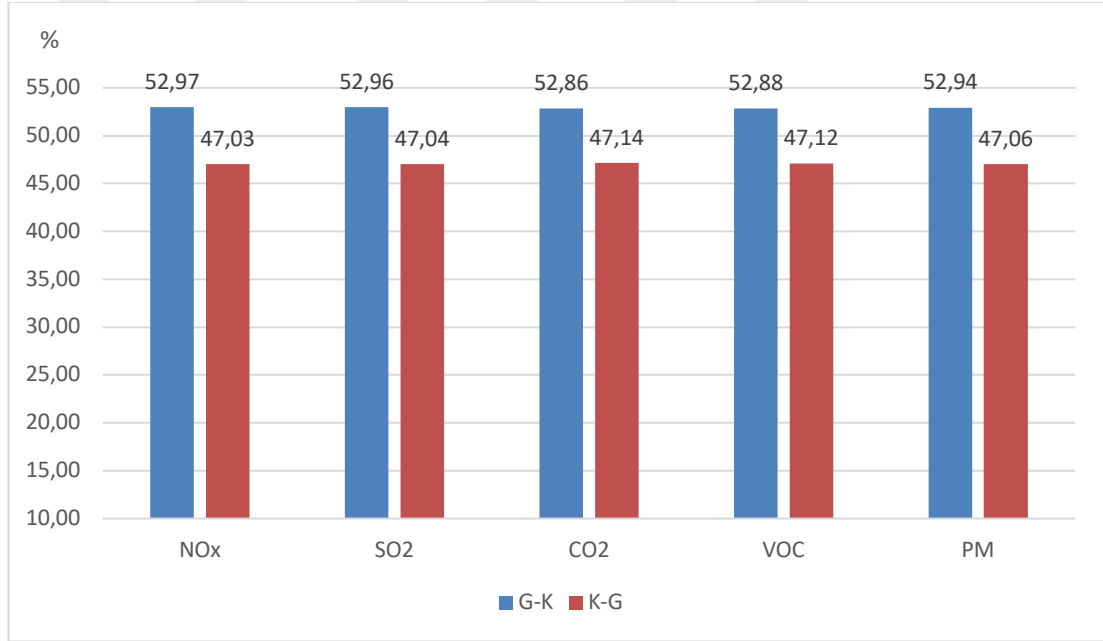
Kullanılan hesaplama yöntemine göre tahmini salınım miktarı bulunan emisyon türlerindeki değişiklikten bölüm 5.1'de bahsedilmişti. Tezin bu bölümünde bu çalışmada uygulanan iki yöntemin sonuçları G-K ve K-G yönlü trafik için ayrı ayrı değerlendirilecektir. Çizelge 5.16'da ENTEC metodolojisi uygulanarak yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan, 2010-2017 yıllarını kapsayan toplam emisyon miktarları verilmiştir. Burada, iki yönde de geçiş yapan gemi sayısı arasında belirgin

bir fark olmamasına rağmen, ENTEC yöntemi ile hesaplanan NO_x, SO₂, CO₂, VOC ve PM emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklanan emisyon miktarlarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.16 : ENTEC’e göre trafik yönüne bağlı toplam emisyon miktarları.

Yıl	Gemi Sayısı	Yön	ENTEC				
			NO _x (ton)	SO ₂ (ton)	CO ₂ (ton)	VOC (ton)	PM (ton)
2010-2017	183144	G-K	23430	15374	911490	831	2188
2010-2017	183246	K-G	20798	13656	812903	741	1945
2010-2017	366390	Toplam	44228	29030	1724393	1572	4133

Şekil 5.9’daki ENTEC ile hesaplanan emisyon miktarlarının yüzdelik olarak karşılaştırılmasında da gösterildiği üzere G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon salınımı tüm emisyon türlerinde yaklaşık % 5-6’lık oranda daha fazladır.



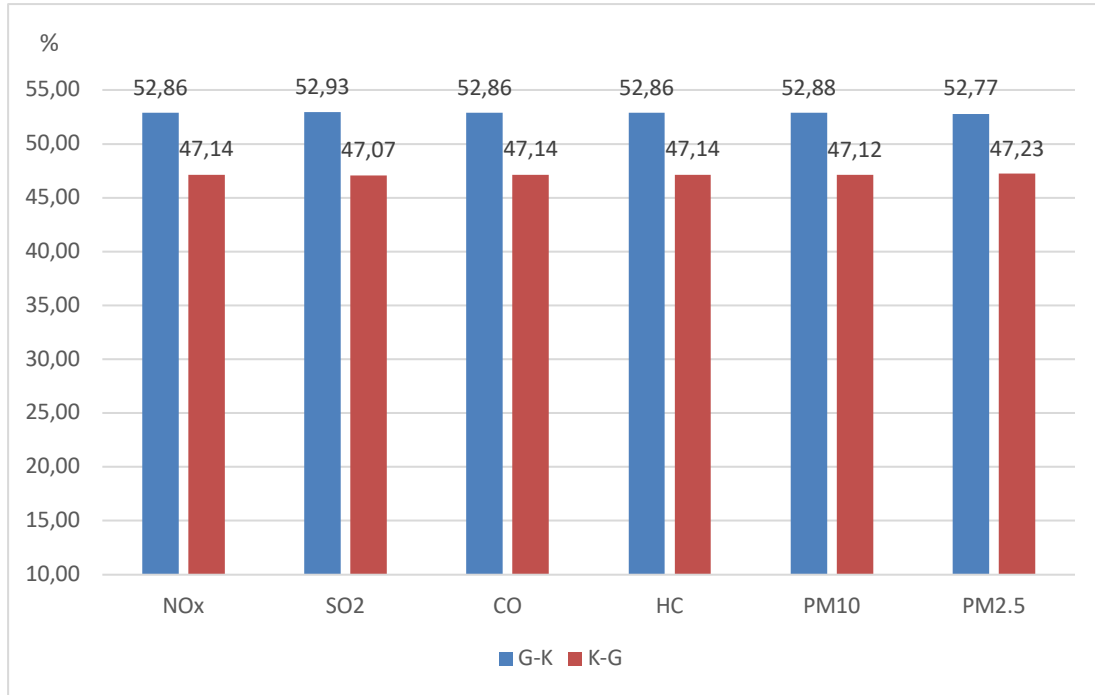
Şekil 5.9 : Trafik yönüne bağlı ENTEC’e göre hesaplanan emisyon miktarlarının yüzdelik karşılaştırılması.

Çizelge 5.17’de EPA metodolojisi uygulanarak yapılan hesaplamalar sonucunda bulunan, 2010-2017 yıllarını kapsayan toplam emisyon miktarları verilmiştir. Burada, iki yönde de geçiş yapan gemi sayısı arasında belirgin bir fark olmamasına rağmen, EPA yöntemi ile hesaplanan NO_x, SO₂, CO, HC, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklanan emisyon miktarlarının daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.17 : EPA'ya göre trafik yönüne bağlı toplam emisyon miktarları.

Yıl	Gemi Sayısı	Yön	EPA					
			NOx (ton)	SO ₂ (ton)	CO (ton)	HC (ton)	PM ₁₀ (ton)	PM _{2.5} (ton)
2010-2017	183144	G-K	23986	14471	1851	787	1911	1832
2010-2017	183246	K-G	21390	12869	1651	702	1703	1640
2010-2017	366390	Toplam	45376	27340	3501	1490	3614	3471

Şekil 5.10'da da ENTEC hesaplamalarının yüzdelik dağılımına çok benzer bir şekilde EPA'ya göre hesaplanan emisyon miktarlarının yüzdelik grafiği görülmektedir. Grafiğe göre, G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon salınımının tüm emisyon türlerinde yaklaşık % 5-6'lık oranda daha fazla olduğu görülmektedir.



Şekil 5.10 : Trafik yönüne bağlı EPA'ya göre hesaplanan emisyon miktarlarının yüzdelik karşılaştırılması.

ENTEC ve EPA metodolojilerine göre yapılan hesaplamaların sonucunda bulunan emisyon seviyeleri arasında farklılıklar olsa da özellikle bölüm 2.3.4'te daha önce bahsedilen boğazdaki akıntı sistemi sebebi ile her iki yöntemde de tüm emisyon türlerinde G-K yönlü trafik kaynaklı emisyon miktarının K-G yönlü trafiğe nazaran daha fazla olduğu görülmektedir.

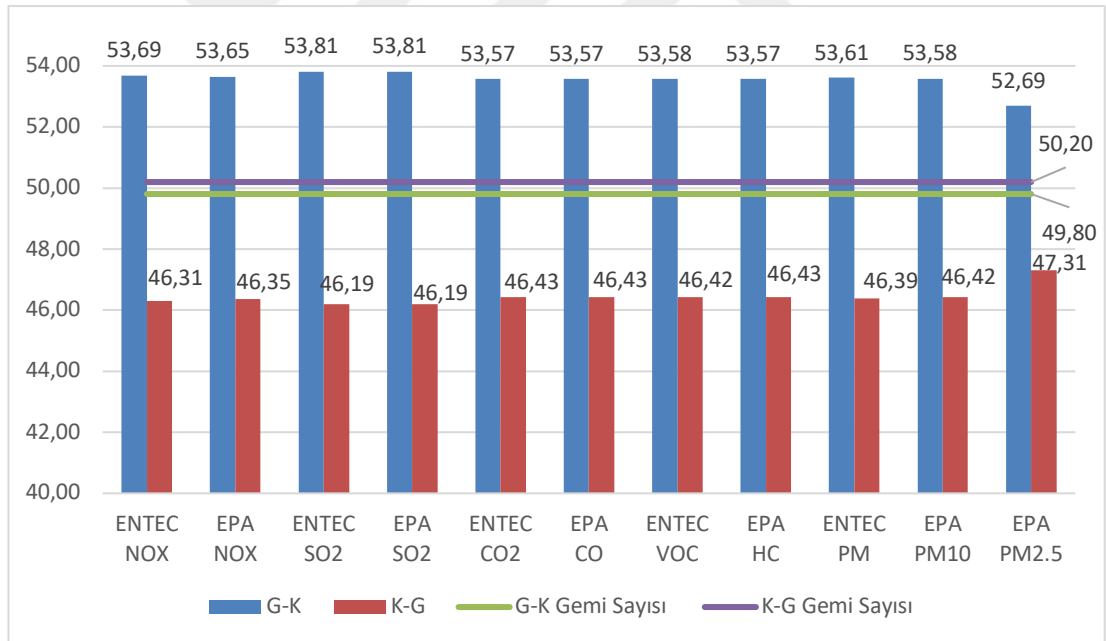
5.2.2 Seneler ile ilişkili trafik yönüne göre değerlendirme

Senelere bağlı olarak trafik yönüne göre salınan emisyon miktarları ton cinsinden aşağıdaki tablolarda verilmektedir.

Çizelge 5.18'deki 2010 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.11'deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.18 : 2010 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2010	G-K	25133	2997	1907	110240	101	265	2899	1796	224	95	231	271
	K-G	25331	2585	1637	95552	87	229	2505	1541	194	83	200	243
	Toplam	50464	5583	3545	205793	188	495	5403	3337	418	178	432	514



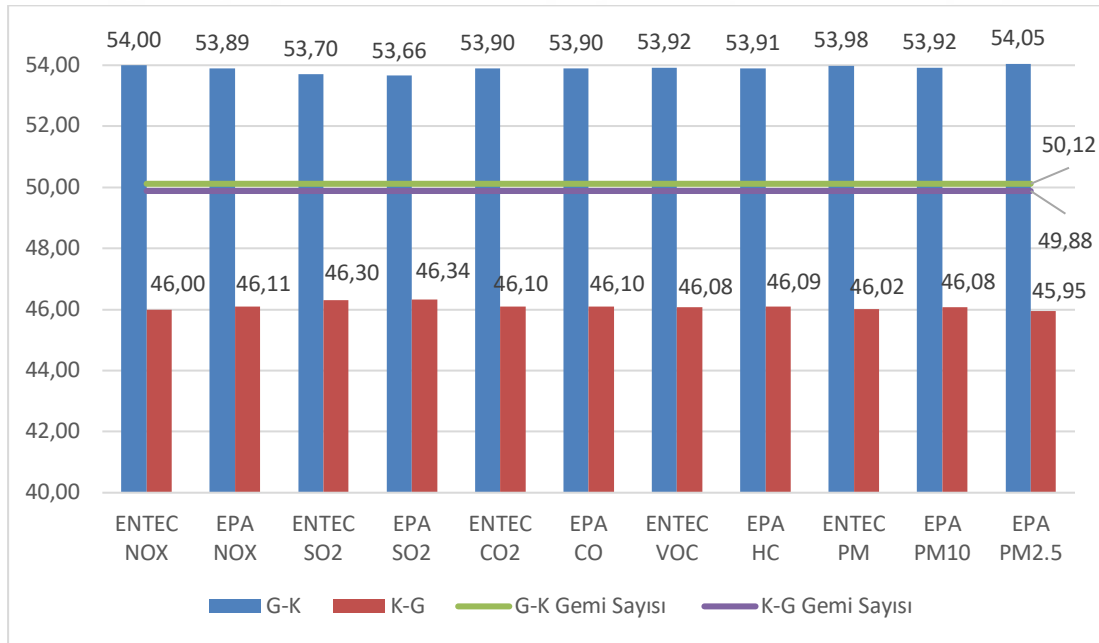
Şekil 5.11 : 2010 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.19'da 2011 yılı için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan emisyon türlerinin miktarlarının trafik yönüne göre karşılaştırması görülmektedir. Bu çizelgeye göre, G-K yönünde geçiş yapan gemi sayısının K-G'ye göre daha fazla olduğu ve hesaplanan tüm emisyon türlerinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarının K-G'ye göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.19 : 2011 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2011	G-K	24788	3022	1965	113881	104	273	2996	1848	231	98	239	215
	K-G	24671	2574	1694	97391	89	233	2563	1595	198	84	204	183
	Toplam	49459	5597	3660	211272	192	506	5559	3443	429	183	443	398

Çizelge 5.19'daki 2011 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.12'deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

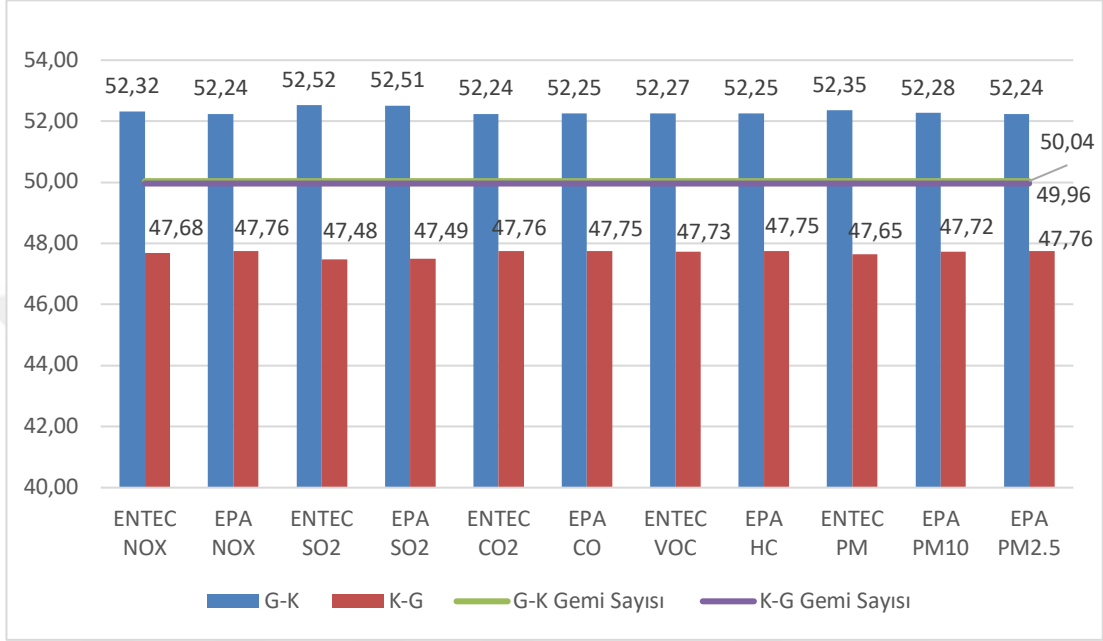


Şekil 5.12 : 2011 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.20'deki 2012 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.13'teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.20 : 2012 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2012	G-K	23982	3131	2244	118461	108	281	3118	2128	241	102	248	231
	K-G	23944	2854	2029	108289	98	256	2850	1925	220	94	226	212
	Toplam	47926	5985	4273	226751	206	537	5969	4053	461	196	474	443



Şekil 5.13 : 2012 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

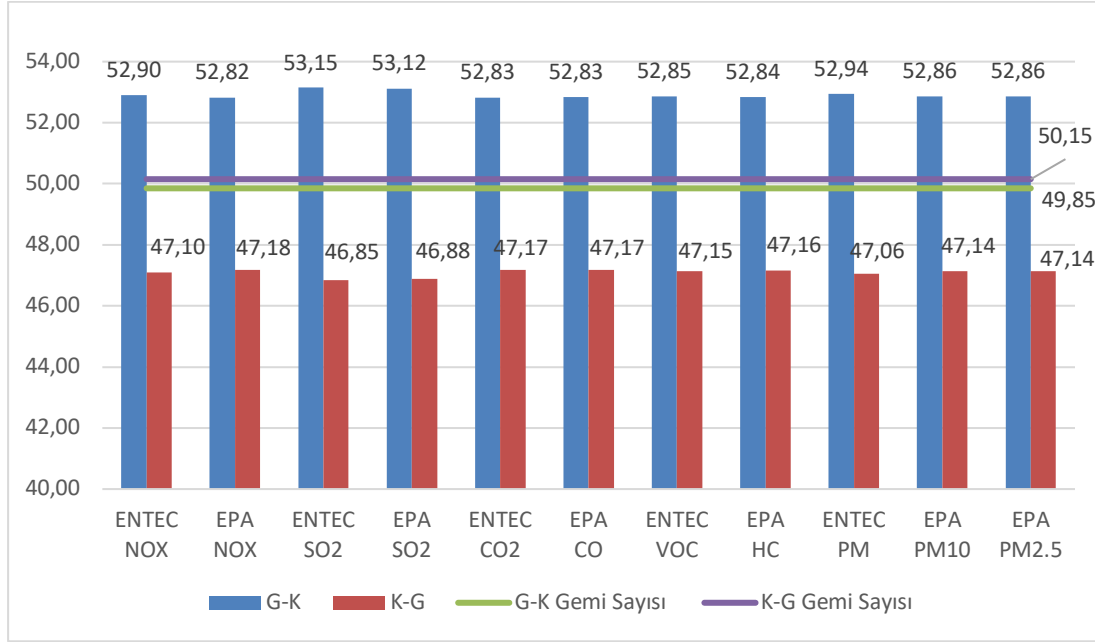
Çizelge 5.21’de 2013 yılı için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan emisyon türlerinin miktarlarının trafik yönüne göre karşılaştırması görülmektedir. Bu çizelgeye göre, K-G yönünde geçiş yapan gemi sayısının G-K’ye göre daha fazla olduğu ancak hesaplanan tüm emisyon türlerinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarının K-G’ye göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.21 : 2013 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2013	G-K	22976	3029	1929	114560	104	274	3016	1820	233	99	240	224
	K-G	23114	2697	1700	102300	93	243	2694	1606	208	88	214	200
	Toplam	46090	5725	3629	216861	197	517	5710	3426	440	187	454	425

Çizelge 5.21’deki 2013 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.14’teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü

üzere, K-G yönlü geçiş yapan gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.



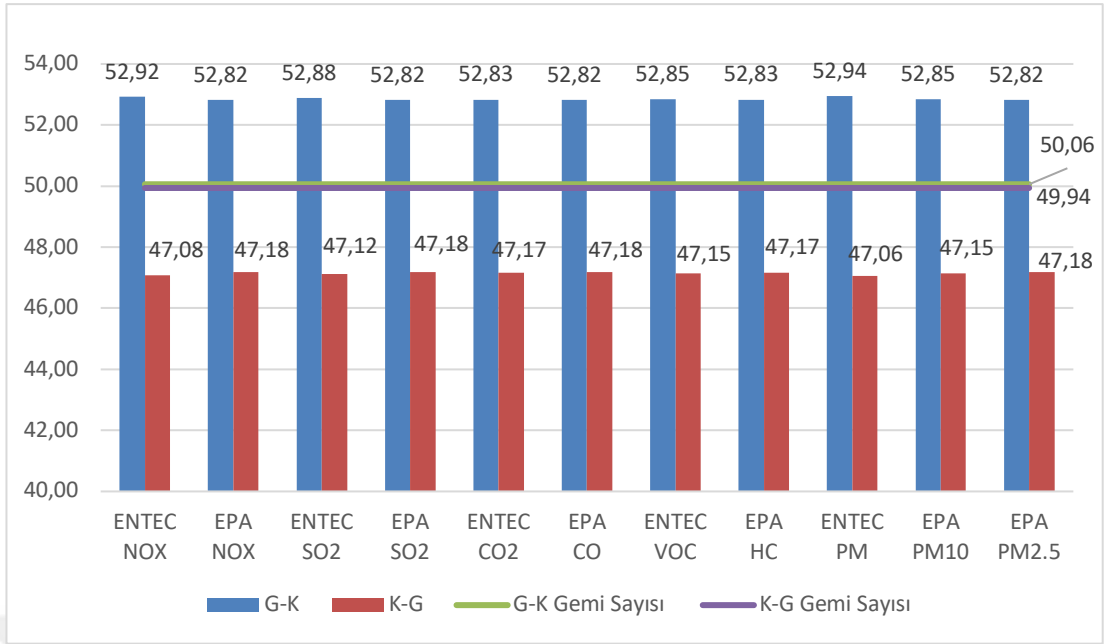
Şekil 5.14 : 2013 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.22’de 2014 yılı için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan emisyon türlerinin miktarlarının trafik yönüne göre karşılaştırması görülmektedir. Bu çizelgeye göre, G-K yönünde geçiş yapan gemi sayısının K-G’ye göre daha fazla olduğu ve hesaplanan tüm emisyon türlerinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarının K-G’ye göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.22 : 2014 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2014	G-K	22558	2957	1865	116949	107	280	3082	1761	238	101	245	229
	K-G	22503	2631	1662	104426	95	249	2753	1573	213	90	219	204
	Toplam	45061	5587	3527	221375	202	529	5836	3334	451	192	464	433

Çizelge 5.22’deki 2014 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.15’teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.



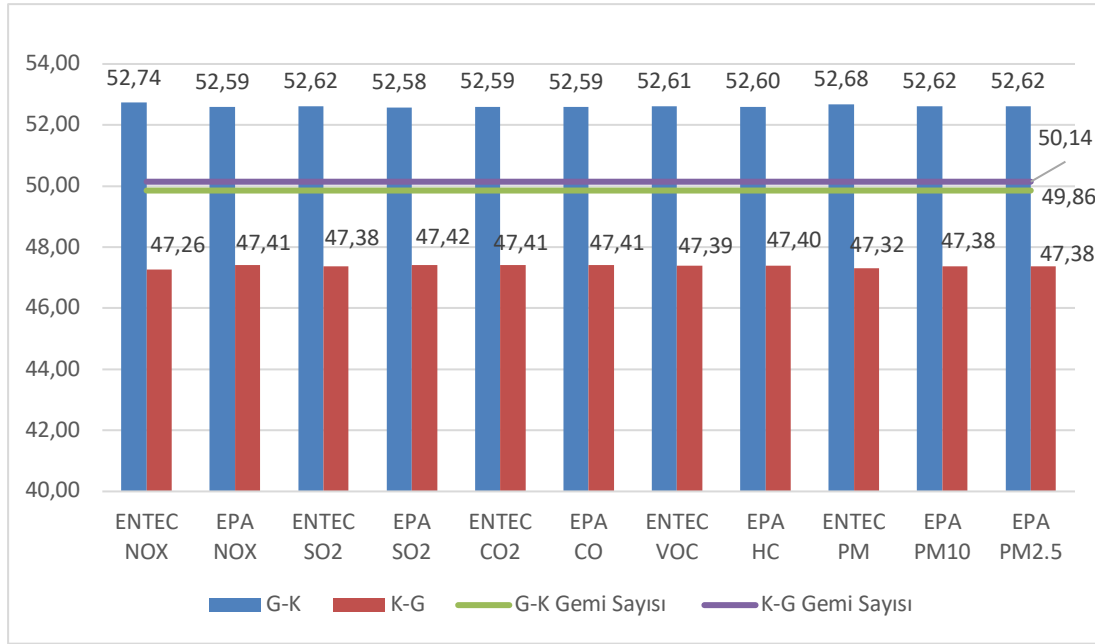
Şekil 5.15 : 2014 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.23'te 2015 yılı için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan emisyon türlerinin miktarlarının trafik yönüne göre karşılaştırması görülmektedir. Bu çizelgeye göre, K-G yönünde geçiş yapan gemi sayısının G-K'ye göre daha fazla olduğu ancak hesaplanan tüm emisyon türlerinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarının K-G'ye göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.23 : 2015 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEK					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2015	G-K	21407	2742	1807	111396	102	268	2931	1698	226	96	234	218
	K-G	21531	2457	1627	100408	92	241	2643	1532	204	87	210	197
	Toplam	42938	5199	3434	211804	193	509	5575	3229	430	183	444	415

Çizelge 5.23'teki 2015 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.16'daki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.



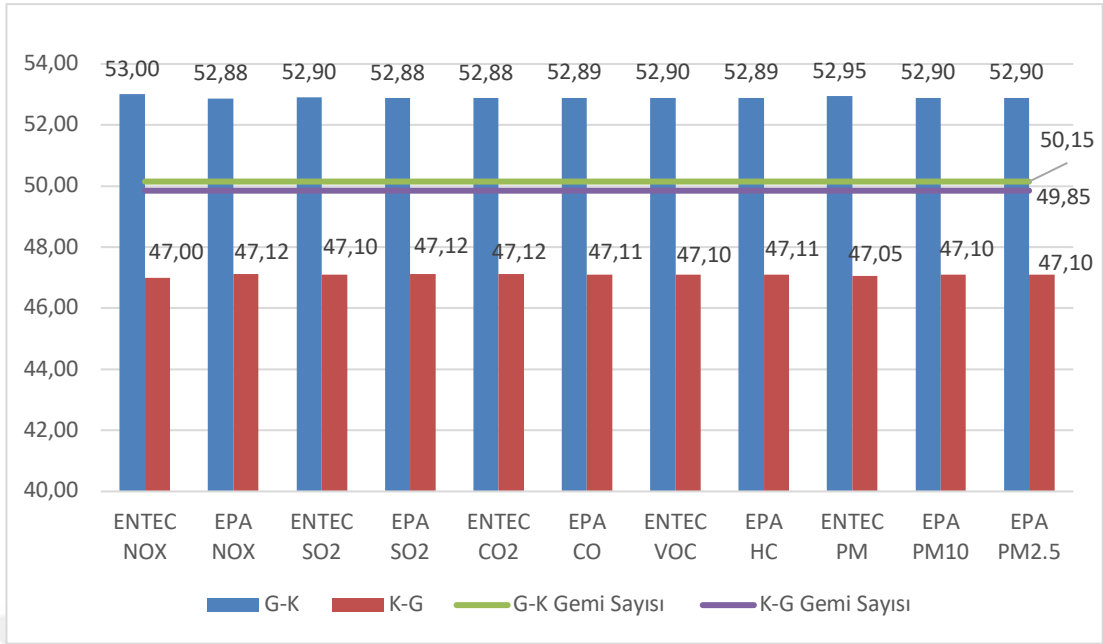
Şekil 5.16 : 2015 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.24’te 2016 yılı için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan emisyon türlerinin miktarlarının trafik yönüne göre karşılaştırması görülmektedir. Bu çizelgeye göre, G-K yönünde geçiş yapan gemi sayısının K-G’ye göre daha fazla olduğu ve hesaplanan tüm emisyon türlerinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarının K-G’ye göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.24 : 2016 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2016	G-K	21049	2744	1787	111574	102	269	2937	1673	226	96	234	219
	K-G	20924	2433	1591	99411	91	239	2617	1491	201	86	209	195
	Toplam	41973	5177	3378	210984	193	508	5554	3163	427	182	443	414

Çizelge 5.24’teki 2016 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.17’deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.



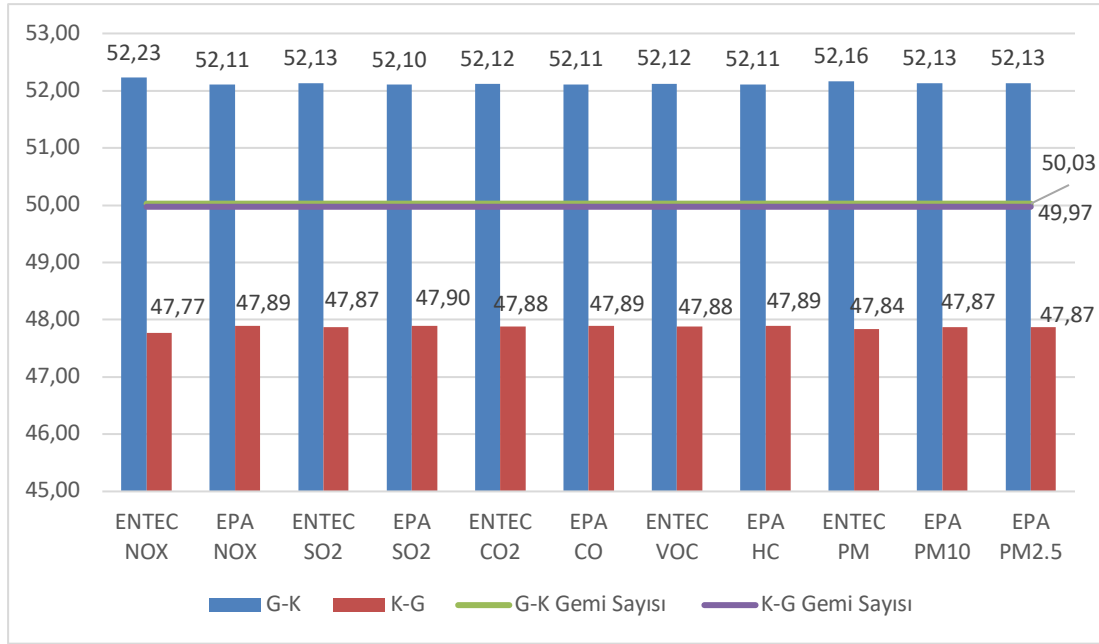
Şekil 5.17 : 2016 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.25'te 2017 yılı için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan emisyon türlerinin miktarlarının trafik yönüne göre karşılaştırması görülmektedir. Bu çizelgeye göre, G-K yönünde geçiş yapan gemi sayısının K-G'ye göre daha fazla olduğu ve hesaplanan tüm emisyon türlerinde G-K yönlü gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarının K-G'ye göre daha fazla olduğu söylenebilmektedir.

Çizelge 5.25 : 2017 yılı toplam emisyon miktarları (ton).

Yıl	Yön	Gemi Sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2017	G-K	21251	2807	1869	114428	105	277	3006	1748	232	99	240	224
	K-G	21228	2568	1716	105125	96	254	2763	1607	213	91	220	206
	Toplam	42479	5375	3586	219553	201	531	5770	3354	445	189	460	430

Çizelge 5.25'teki 2017 yılı için hesaplanan toplam emisyon miktarında ve Şekil 5.18'deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.



Şekil 5.18 : 2017 yılı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Hesabı yapılan 2010-2017 yıllarını kapsayan 8 sene için her sene; 2010, 2013 ve 2015 yıllarında K-G yönlü geçiş yapan gemi sayısı daha fazla olsa dahi, G-K yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. Geçiş yapılan yıl içerisinde trafik yönüne bağlı geçiş yapan gemi tipi ve boyutlarında belirgin bir değişiklik olmamasına rağmen sonucun bu şekilde çıkmasının temel sebebi olarak; gemilerin makinelerine binen yük miktarını ve boğaz geçiş sürelerini artıran, İstanbul Boğazı'nın sahip olduğu akıntı sistemi görülmektedir. Akıntının gemi makinelerine ve hıza etkisi hakkındaki bu görüş; Jalkanen ve diğ. (2009), Goldsworthy ve Goldsworthy (2019) ve Yang ve diğ. (2020) gibi yapılan diğer çalışmalar ile de paralellik göstermektedir.

5.2.3 Gemi tipi ile ilişkili trafik yönüne göre değerlendirme

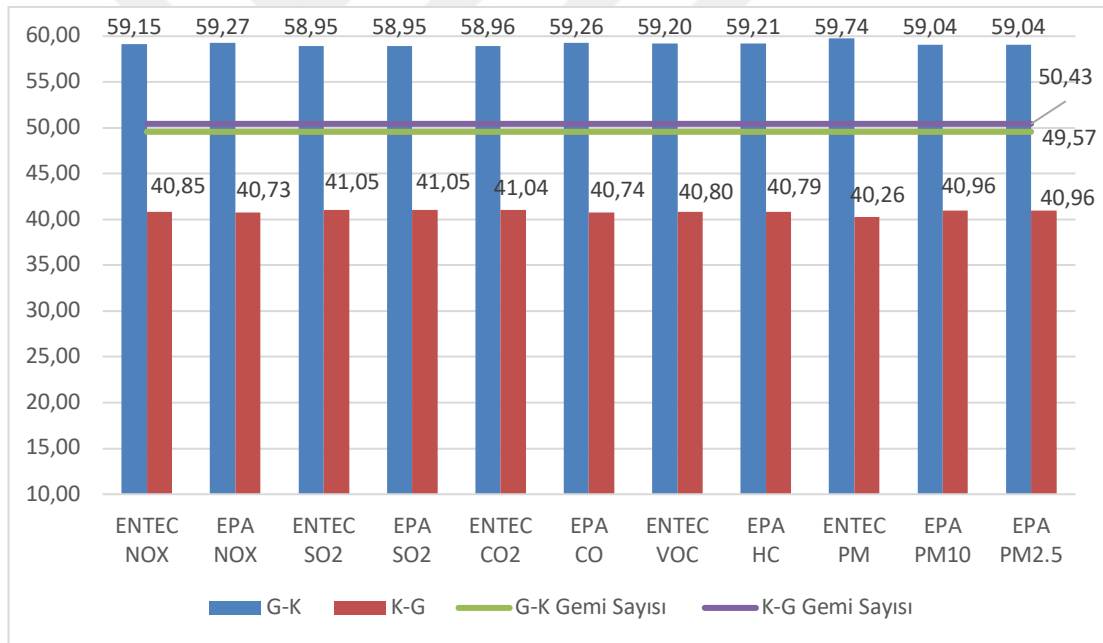
Gemi türüne bağlı olarak trafik yönüne göre salınan emisyon miktarlarının değerlendirilmesi aşağıda yer alan şekil ve çizelgeler üzerinden yapılmıştır. Değerlendirmede, 2010-2017 yıllarını kapsayan 8 sene için ENTEC ve EPA yöntemleri ile hesaplanan toplam emisyon miktarları kullanılmış olup değerler ton cinsinden verilmiştir.

Tablo ve grafiklerde yer alan “Gemi sayısı” ifadesi, her bir gemi türü için söz konusu 8 senede yapılan toplam gemi geçiş sayısını ifade etmektedir.

Çizelge 5.26'daki "Barge" tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.19'daki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan "Barge" tipi gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü "Barge" tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.26 : "Barge" tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2010-2017	G-K	57	1,097	0,775	47,989	0,039	0,083	1,056	0,704	0,082	0,036	0,094	0,088
	K-G	58	0,758	0,540	33,405	0,027	0,056	0,725	0,490	0,057	0,025	0,065	0,061
	Toplam	115	1,855	1,315	81,394	0,066	0,140	1,781	1,195	0,139	0,061	0,160	0,149

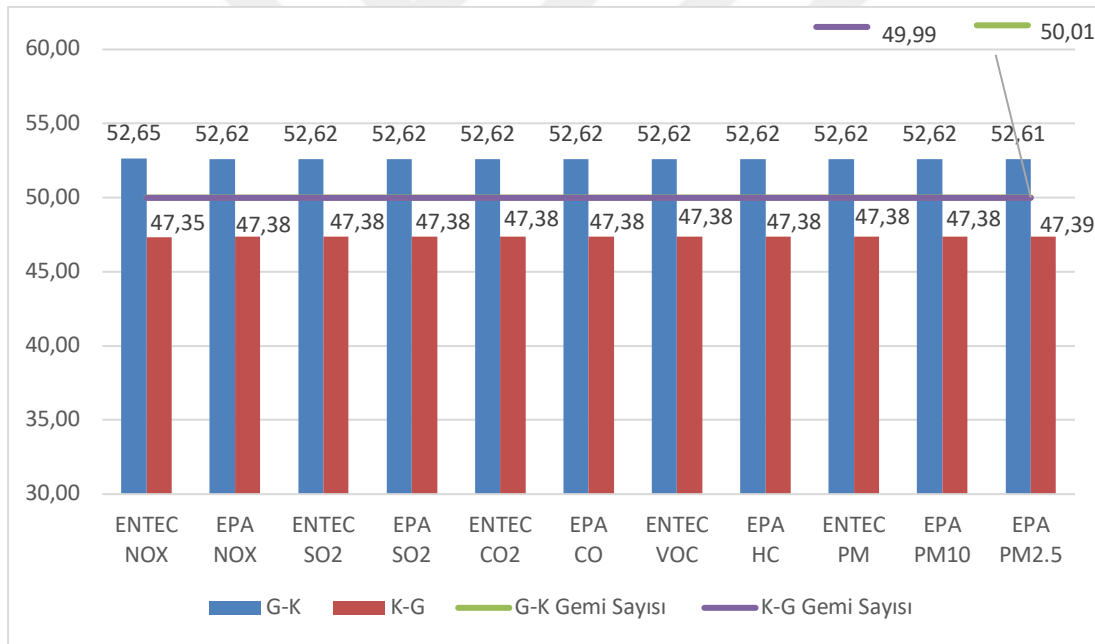


Şekil 5.19 : "Barge" tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.27’deki “Bulk Carrier” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.20’deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan “Bulk Carrier” tipi gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “Bulk Carrier” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.27 : “Bulk Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	28460	5330,2	3319,9	204070,3	190,5	520,4	5319,2	3023,6	411,8	175,3	426,7	398,6
	K-G	28447	4794,1	2989,0	183730,5	171,5	468,5	4789,1	2722,2	370,8	157,9	384,2	359,1
	Toplam	56907	10124,3	6309,0	387800,8	361,9	988,9	10108,3	5745,9	782,6	333,2	811,0	757,8

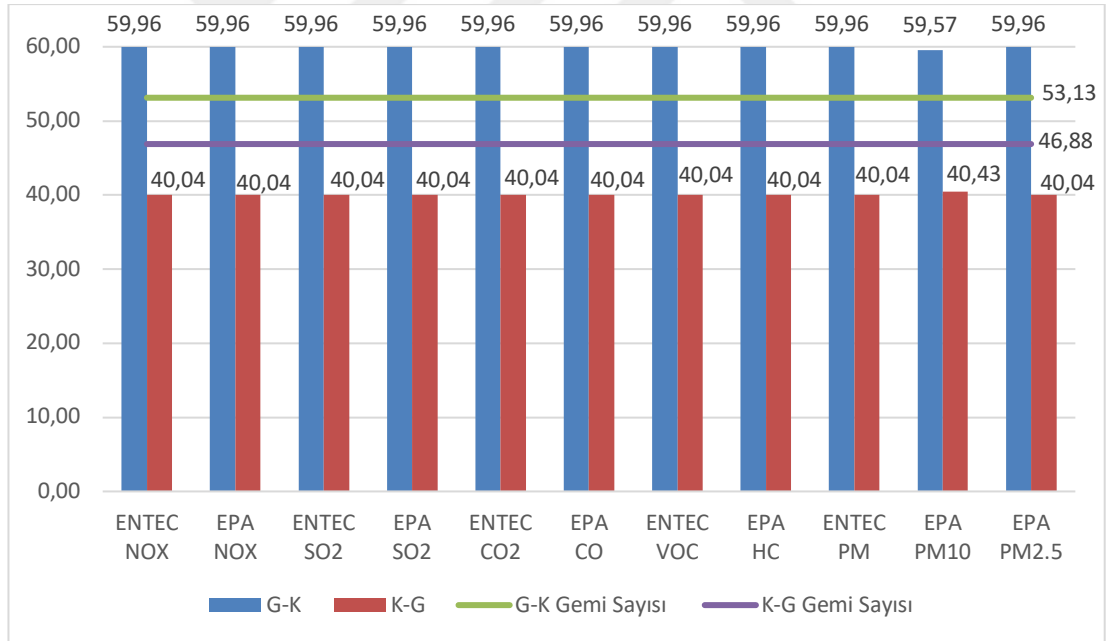


Şekil 5.20 : “Bulk Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.28’deki “Cement Carrier” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.21’deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan “Cement Carrier” tipi gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “Cement Carrier” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.28 : “Cement Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	17	1,788	1,018	63,879	0,059	0,157	1,706	0,966	0,132	0,056	0,196	0,127
	K-G	15	1,194	0,680	42,657	0,039	0,105	1,139	0,645	0,088	0,038	0,133	0,085
	Toplam	32	2,982	1,698	106,536	0,098	0,262	2,845	1,610	0,220	0,094	0,328	0,212

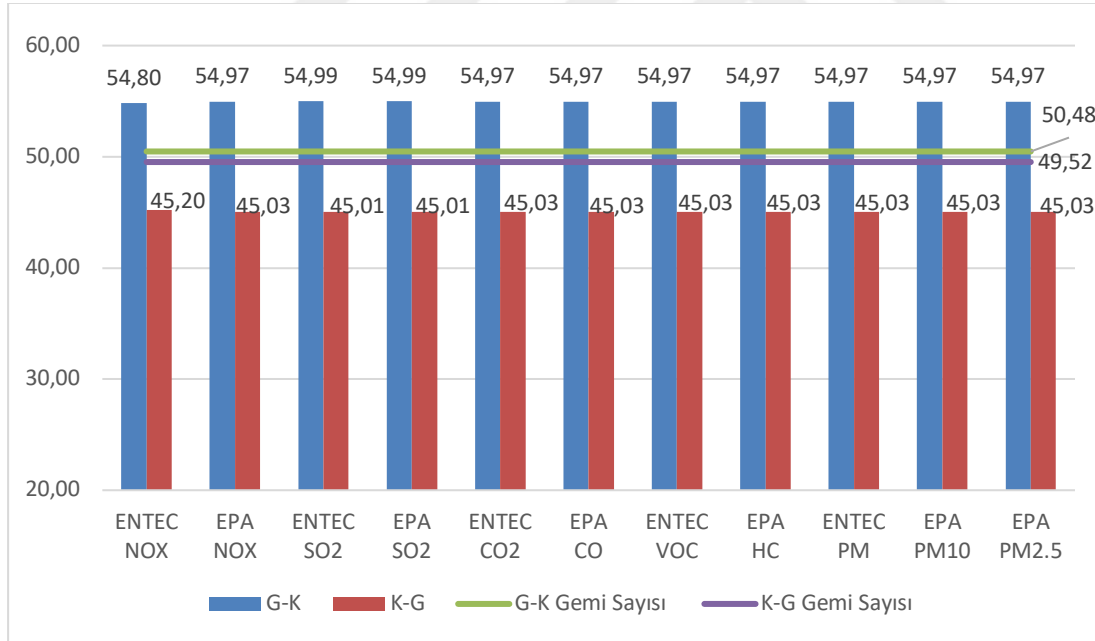


Şekil 5.21 : “Cement Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.29’daki “Chemical Tanker” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.22’deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan “Chemical Tanker” tipi gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “Chemical Tanker” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.29 : “Chemical Tanker” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	6796	649,5	415,4	25836,5	23,9	64,6	669,1	376,6	51,8	22,0	53,0	49,4
	K-G	6668	535,7	340,0	21163,2	19,6	52,9	548,0	308,3	42,5	18,0	43,4	40,5
	Toplam	13464	1185,2	755,4	46999,7	43,4	117,5	1217,1	684,9	94,3	40,0	96,3	89,9

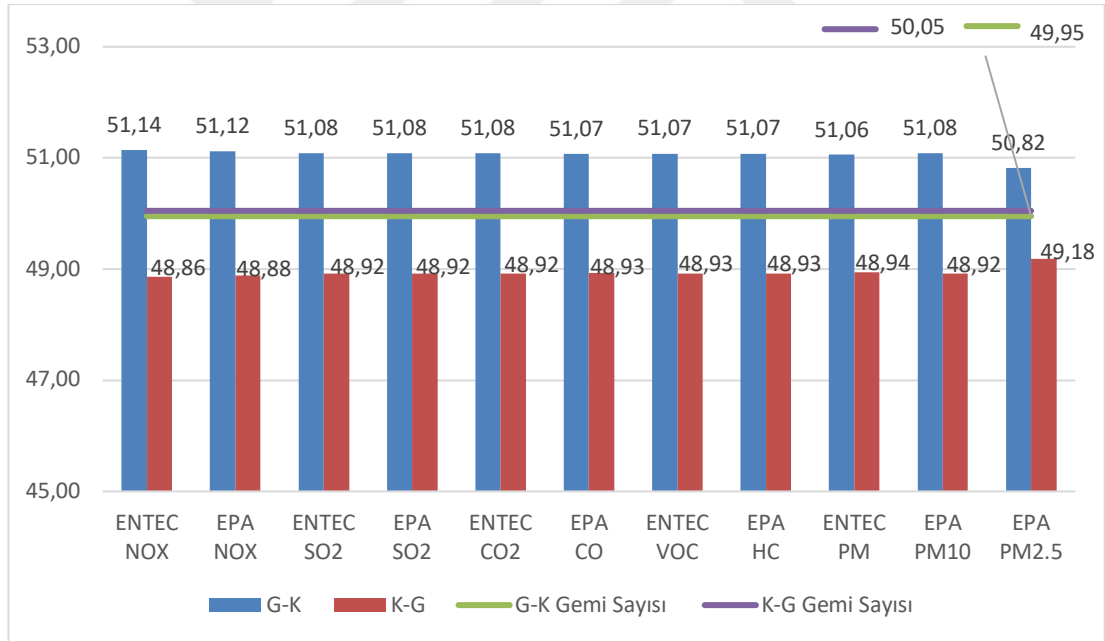


Şekil 5.22 : “Chemical Tanker” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.30'daki "Container" tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.23'teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan "Container" tipi gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü "Container" tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.30 : "Container" tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2010-2017	G-K	10847	3520,9	2352,2	144673,9	129,3	329,8	3956,6	2297,4	299,1	128,1	317,9	351,7
	K-G	10868	3364,0	2252,3	138535,0	123,8	316,1	3783,4	2199,9	286,5	122,7	304,5	340,4
	Toplam	21715	6884,9	4604,5	283208,9	253,1	645,9	7740,0	4497,2	585,6	250,7	622,4	692,1

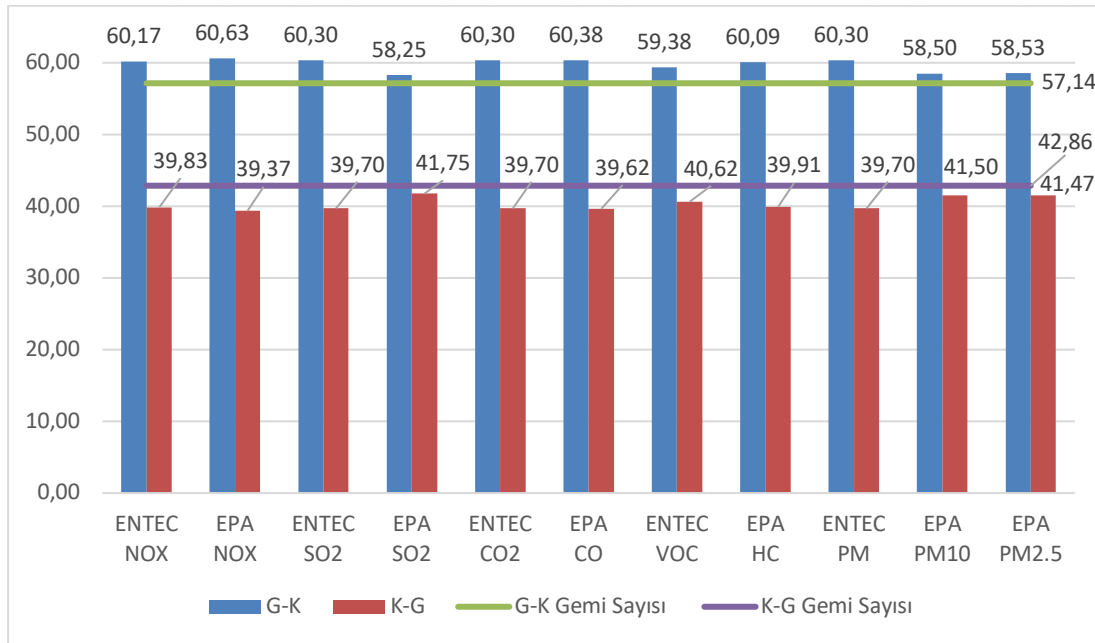


Şekil 5.23 : "Container" tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.31’deki “Ferry” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.24’teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan “Ferry” tipi gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “Ferry” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır. Geçiş yapan “Ferry” tipi gemi sayısının az olması ve daha önce Şekil 4.6’da gösterildiği üzere, bu az sayıdaki geminin sebebi öğrenilemeyen boğaz geçiş süreleri aralarındaki büyük farklılık sebepleri ile trafik yönüne bağlı emisyon miktarları arasında büyük fark yaratmıştır.

Çizelge 5.31 : “Ferry” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2010-2017	G-K	8	0,384	0,181	18,898	0,014	0,012	0,410	0,195	0,032	0,013	0,022	0,020
	K-G	6	0,254	0,119	12,440	0,009	0,008	0,266	0,139	0,021	0,008	0,015	0,014
	Toplam	14	0,638	0,300	31,338	0,023	0,019	0,676	0,334	0,053	0,021	0,037	0,035

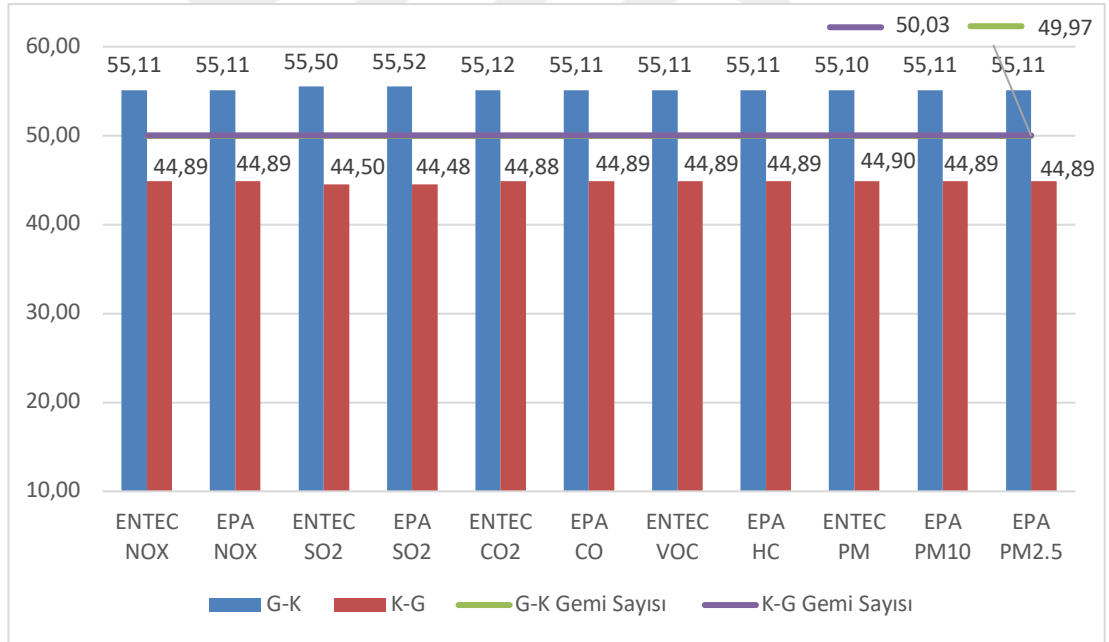


Şekil 5.24 : “Ferry” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.32’deki “General Cargo” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.25’teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan “General Cargo” tipi gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “General Cargo” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.32 : “General Cargo” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	100851	7697,8	4662,4	276435,3	252,2	671,3	7342,2	4435,6	568,7	242,0	587,4	548,8
	K-G	100973	6271,0	3738,8	225120,3	205,4	547,0	5981,4	3554,0	463,3	197,1	478,4	447,0
	Toplam	201824	13968,8	8401,2	501555,6	457,6	1218,3	13323,6	7989,7	1032,0	439,1	1065,9	995,8

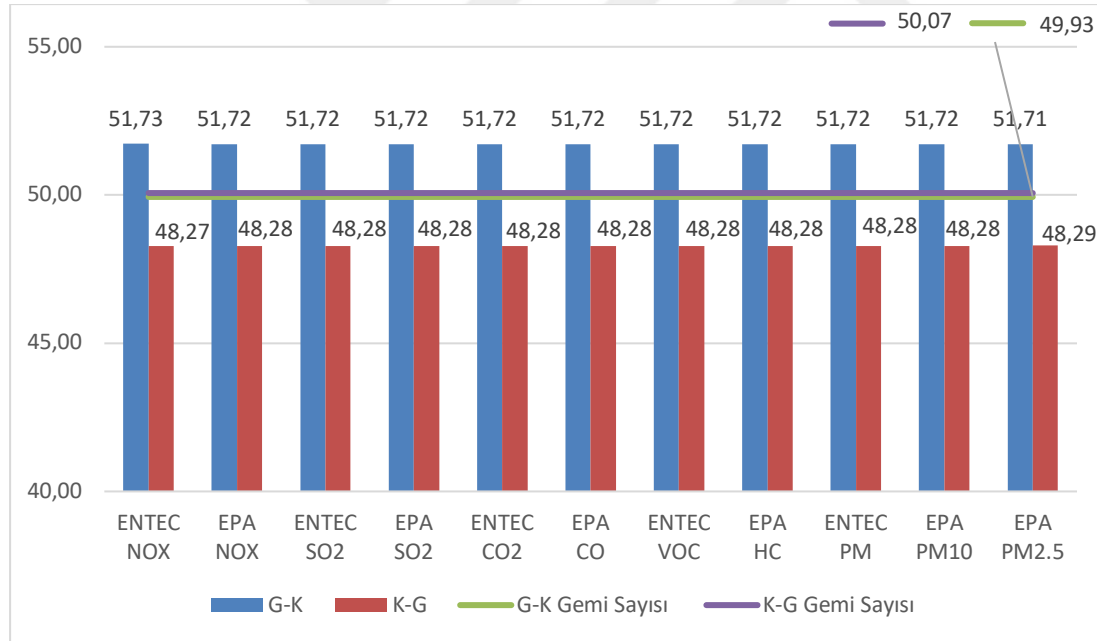


Şekil 5.25 : “General Cargo” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.33'teki "LPG Tanker" tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.26'daki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan "LPG Tanker" tipi gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü "LPG Tanker" tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.33 : "LPG Tanker" tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	4956	595,0	372,1	23110,2	21,4	57,8	598,6	337,4	46,4	19,7	47,4	44,2
	K-G	4969	555,1	347,3	21574,7	19,9	54,0	558,8	314,9	43,3	18,4	44,2	41,3
	Toplam	9925	1150,1	719,4	44684,9	41,3	111,8	1157,3	652,3	89,6	38,1	91,6	85,6

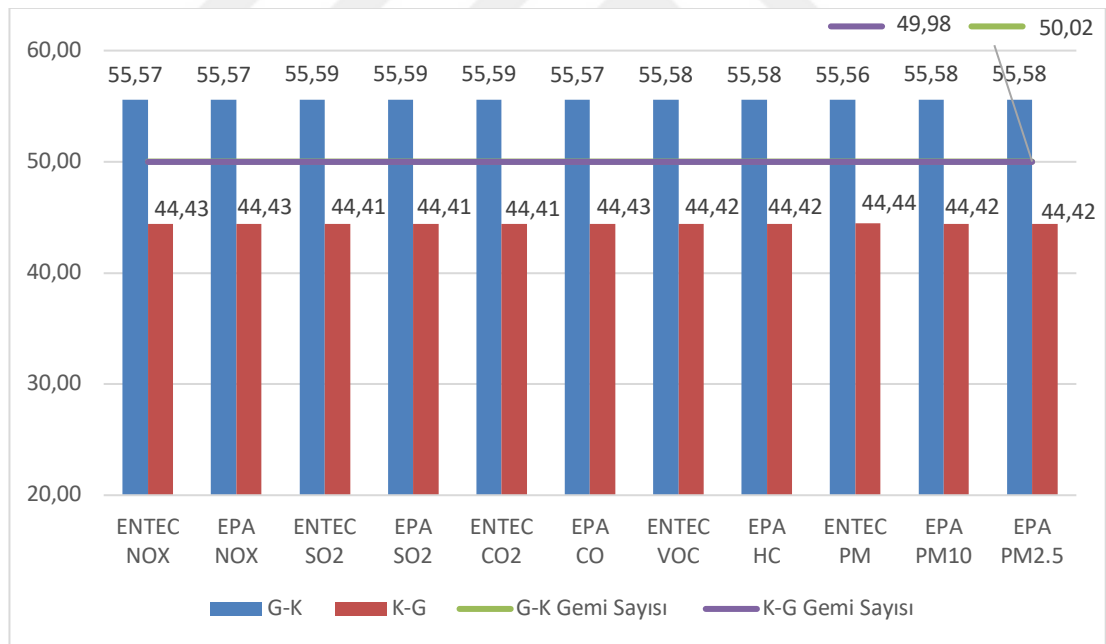


Şekil 5.26 : "LPG Tanker" tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.34’deki “Livestock Carrier” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.24’deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, Trafik yönüne göre verilen gemi sayıları arasında neredeyse bir eşitlik bulunmasına rağmen (G-K yönlü geçiş yapan “Livestock Carrier” tipi gemi sayısı sadece 1 fazladır), ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “Livestock Carrier” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.34 : “Livestock Carrier” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2010-2017	G-K	1629	114,3	65,7	4119,0	3,7	9,9	109,0	62,3	8,4	3,6	8,7	8,2
	K-G	1628	91,4	52,5	3290,9	3,0	7,9	87,1	49,8	6,8	2,9	7,0	6,5
	Toplam	3257	205,7	118,1	7410,0	6,7	17,9	196,1	112,1	15,2	6,5	15,7	14,7

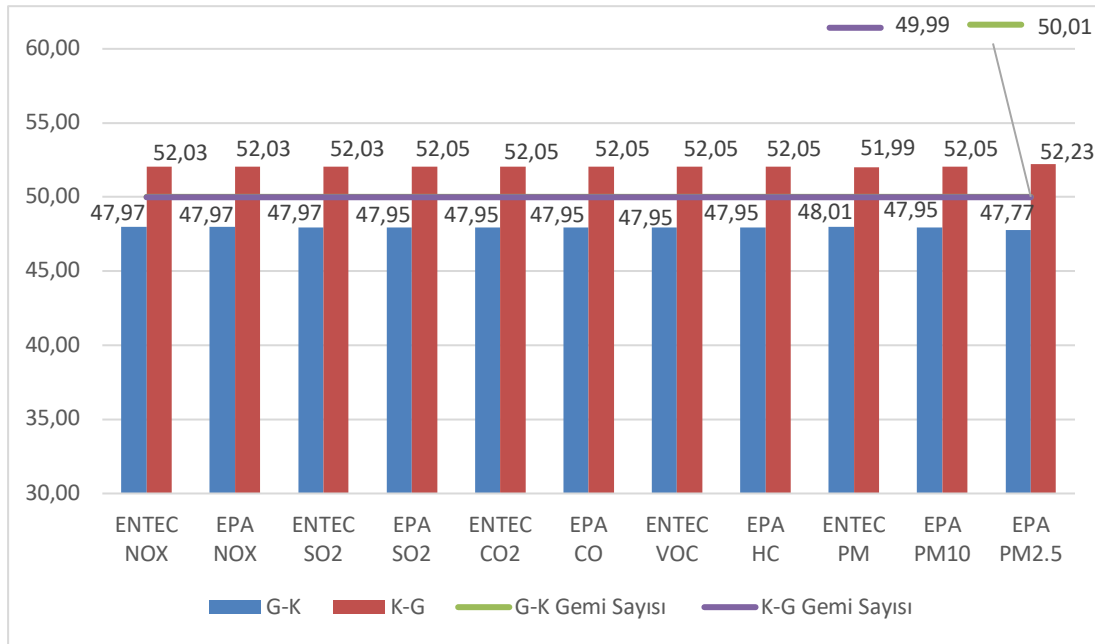


Şekil 5.27 : “Livestock Carrier” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.35’teki “Passenger Ship” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.28’deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, trafik yönüne göre verilen gemi sayıları arasında neredeyse bir eşitlik bulunmasına rağmen ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, K-G yönlü “Passenger Ship” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır. Şu ana kadar incelenen gemi tipleri arasında K-G yönlü trafiğe bağlı emisyon değeri daha yüksek çıkan tek gemi tipi “Passenger Ship”tir. Bu çalışmada, yolcu gemilerinin sahip olduğu makine güçlerinin diğer gemi tiplerine kıyasla daha fazla değişiklik gösterdiği fark edilmiştir. Geçiş yapan gemilerin makine güçleri arasındaki bu farklılık, her iki yönde geçiş yapan gemi sayısı arasında sadece 1 gemi fark bulunmasına rağmen, hesaplanan emisyon miktarları arasında farklılığa yol açmıştır.

Çizelge 5.35 : “Passenger Ship” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	1945	409,9	192,5	20068,8	15,0	12,4	508,5	290,0	40,1	16,4	33,1	31,1
	K-G	1944	444,5	208,8	21786,2	16,3	13,4	551,5	314,7	43,5	17,8	36,0	34,0
	Toplam	3889	854,4	401,3	41855,0	31,3	25,8	1060,0	604,7	83,6	34,3	69,1	65,0

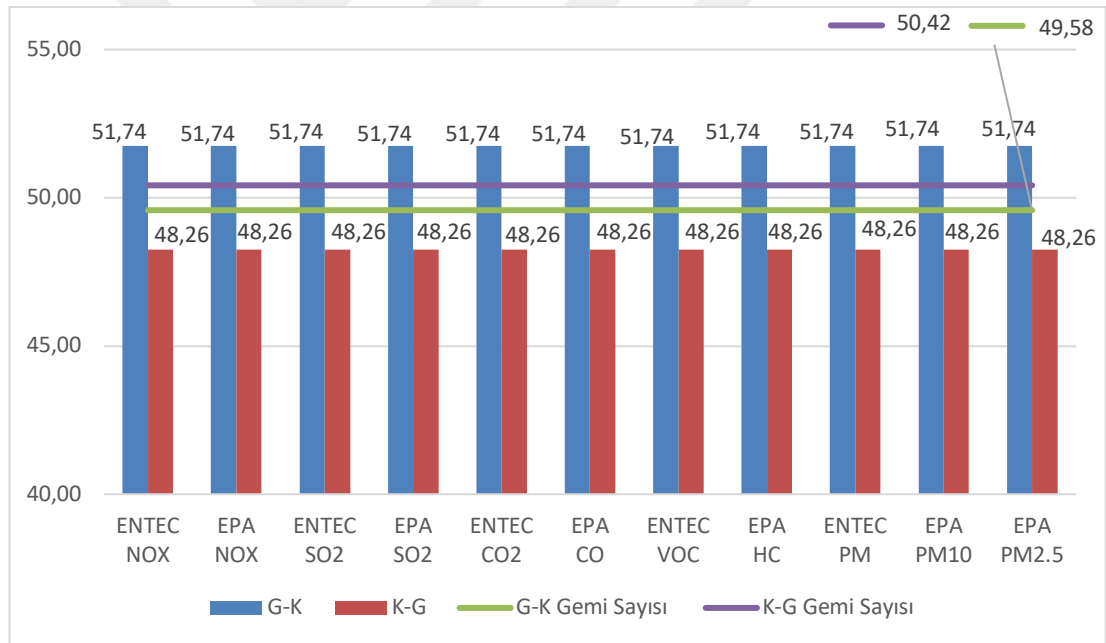


Şekil 5.28 : “Passenger Ship” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.36'daki "Refrigerated Cargo" tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.29'daki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan "Refrigerated Cargo" tipi gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü "Refrigerated Cargo" tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.36 : "Refrigerated Cargo" kaynaklı toplam emisyon miktarı (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM ₁₀	PM _{2,5}
2010-2017	G-K	828	147,1	83,8	5255,7	4,8	12,9	140,8	79,6	10,9	4,6	11,2	10,5
	K-G	842	137,2	78,1	4902,2	4,5	12,0	131,4	74,2	10,2	4,3	10,4	9,8
	Toplam	1670	284,3	161,9	10157,9	9,3	24,9	272,2	153,8	21,1	9,0	21,6	20,2

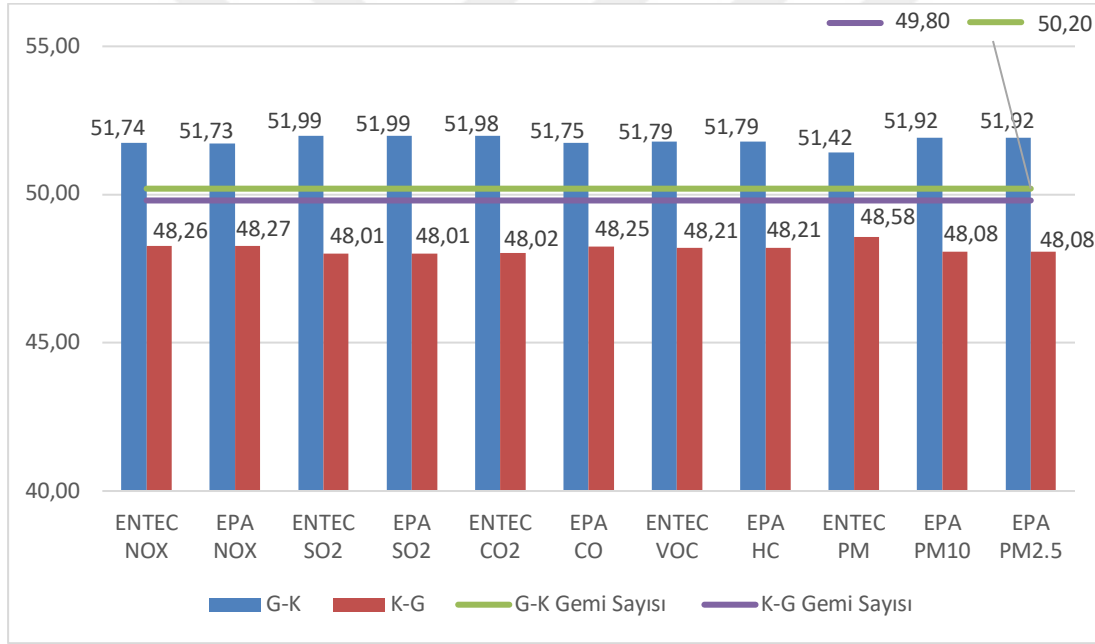


Şekil 5.29 : "Refrigerated Cargo" tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.37’deki “Ro-Ro” tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.30’daki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan “Ro-Ro” tipi gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü “Ro-Ro” tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.37 : “Ro-Ro” tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	1762	294,4	185,1	11523,7	9,7	22,4	283,6	177,4	21,7	9,4	24,1	22,5
	K-G	1748	274,7	171,0	10646,1	9,0	21,2	264,6	163,8	20,3	8,7	22,3	20,9
	Toplam	3510	569,1	356,1	22169,8	18,7	43,6	548,2	341,2	42,0	18,1	46,5	43,4

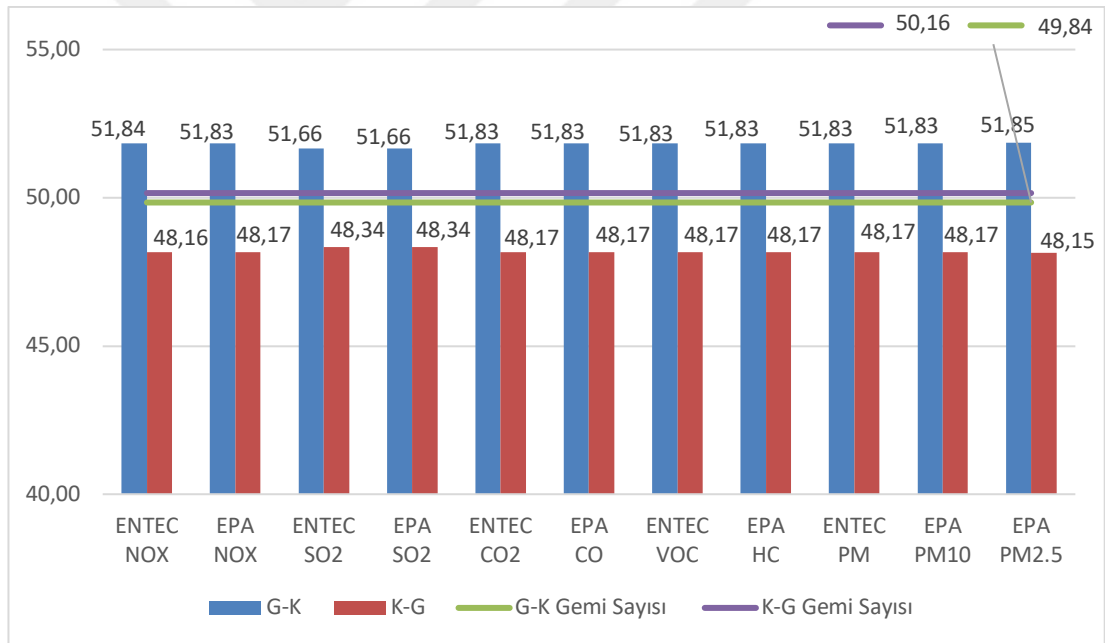


Şekil 5.30 : “Ro-Ro” tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.38'deki "Tanker" tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.31'deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G yönlü geçiş yapan "Tanker" tipi gemi sayısı daha fazla olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü "Tanker" tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.38 : "Tanker" tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	23891	4525,0	3628,6	190416,2	176,0	476,2	4927,5	3306,4	381,6	162,0	390,2	356,4
	K-G	24043	4203,4	3395,1	176976,3	163,6	442,6	4579,8	3094,2	354,7	150,6	362,7	330,9
	Toplam	47934	8728,4	7023,8	367392,5	339,6	918,8	9507,4	6400,5	736,3	312,6	752,9	687,3

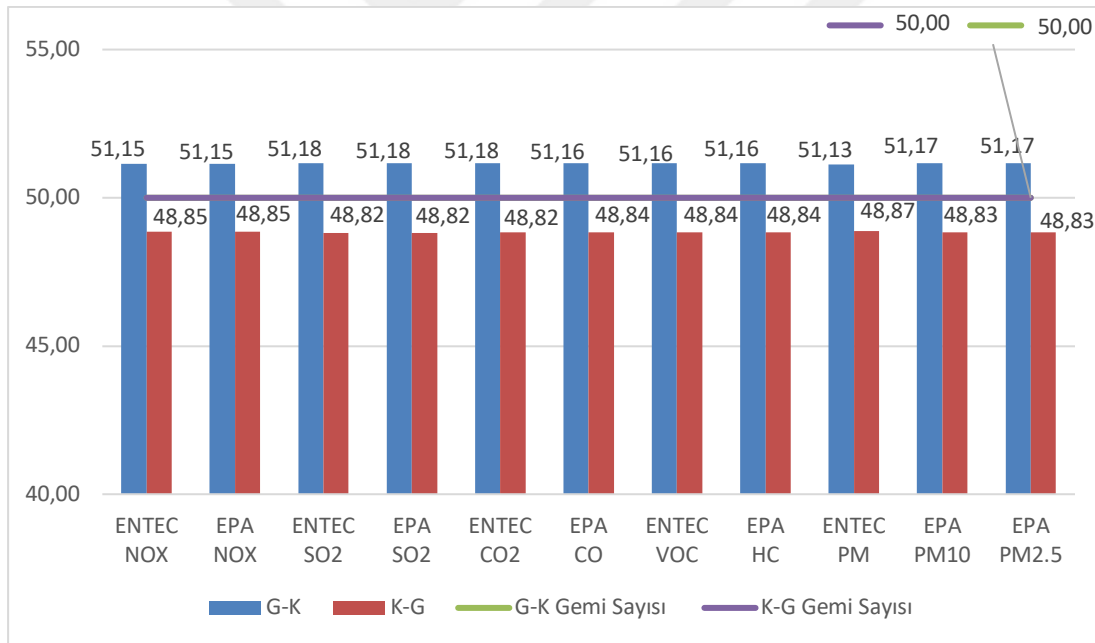


Şekil 5.31 : "Tanker" tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.39'daki "Vehicle Carrier" tipi gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.32'deki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, K-G ve G-K yönlü geçiş yapan "Vehicle Carrier" tipi gemi sayısı arasında tam bir eşitlik olmasına rağmen, ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü "Vehicle Carrier" tipi gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.39 : "Vehicle Carrier" tipi gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NOx	SO2	CO2	VOC	PM	NOx	SO2	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	172	29,9	17,9	1117,2	1,0	2,4	29,6	17,4	2,2	1,0	2,4	2,2
	K-G	172	28,6	17,1	1065,9	0,9	2,3	28,3	16,6	2,1	0,9	2,3	2,1
	Toplam	344	58,5	35,0	2183,1	1,9	4,6	57,9	34,0	4,4	1,9	4,6	4,3

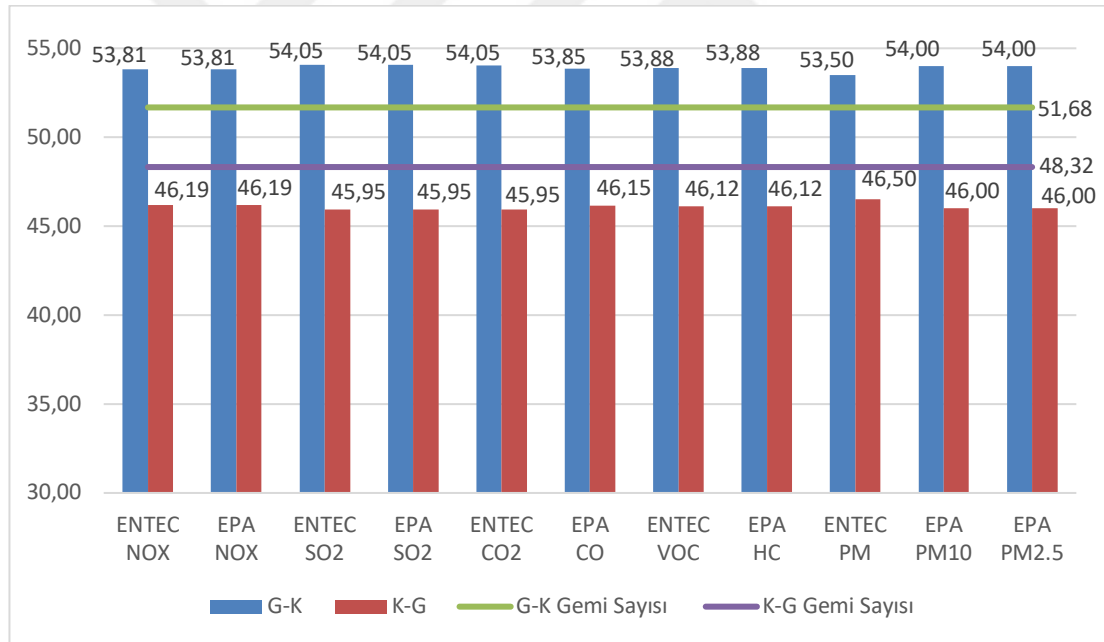


Şekil 5.32 : "Vehicle Carrier" tipi gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

Çizelge 5.40'daki "Others" olarak adlandırılan diğer tipteki gemilerin hesaplanan toplam emisyon salım miktarlarında ve Şekil 5.33'teki bu emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımında görüldüğü üzere, G-K yönlü geçiş yapan diğer tipteki gemi sayısı ile ENTEC ve EPA metodolojileri ile tahmini hesabı yapılan emisyon türlerinin hepsinde, G-K yönlü diğer tipteki gemi trafiğinden kaynaklı emisyon miktarı daha fazladır.

Çizelge 5.40 : "Others", diğer tipteki gemilerin toplam emisyon salım değerleri (ton).

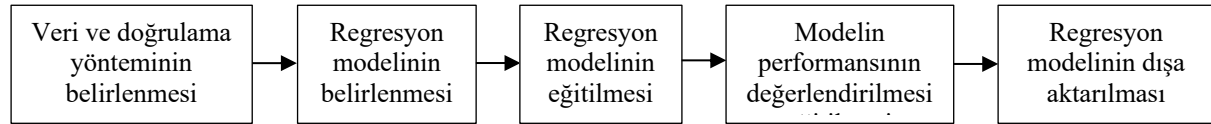
Yıl	Yön	Gemi sayısı	ENTEC					EPA					
			NO _x	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	NO _x	SO ₂	CO	HC	PM10	PM2,5
2010-2017	G-K	925	112,5	76,3	4732,5	3,8	7,6	98,0	65,1	7,5	3,3	8,6	8,0
	K-G	865	96,6	64,9	4023,2	3,2	6,6	84,1	55,4	6,4	2,8	7,3	6,9
	Toplam	1790	209,1	141,1	8755,6	7,0	14,2	182,2	120,5	13,9	6,1	15,9	14,9



Şekil 5.33 : "Others", diğer tipteki gemilerden kaynaklı emisyon miktarının trafik yönüne göre yüzdelik dağılımı.

5.3 Tahmin Yönteminin Uygulanması ve Değerlendirilmesi

Bu tez çalışmasında, 2018 ve 2019 yıllarına ait eksik veri sebebi ile bu yıllarda İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerden kaynaklanan emisyon miktarının tahmin edilebilmesi için regresyon analizi kullanılmıştır. Regresyon analizinin uygulanabilmesi için Matlab R2020a programı kullanılmış olup izlenen prosedür genel hatları ile Şekil 5.34'te verilmiştir.



Şekil 5.34 : Regresyon modelin oluşturulması.

5.3.1 Kullanılacak verilerin belirlenmesi

2018 ve 2019 yıllarına ait İstanbul Boğazı geçiş istatistikleri T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'nın web sitesinden alınmıştır (UAB, n.d.b). Bu geçiş istatistikleri, İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemi sayıları hakkında genel olarak bilgi edinilmesini sağlayan bir veri setidir. Geçiş yapan gemilerin makine gücü, gros tonaj ya da boy gibi emisyon hesabı için gereken karakteristik bilgileri veri setinde yer almamaktadır. Gemi sayısı, emisyon hesabında kullanılan önemli bir parametre olsa da yalnızca gemi sayısı üzerinden bir tahminde bulunmanın yanlış sonuçlara sebep olabileceği bölüm 5.1 ve 5.2'deki değerlendirmelerde bahsedilmiştir. Ancak bu veri setinde bulunan, istenilen yıllara ait geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarı yapılacak istatistiki analize yön vermesi açısından oldukça önem arz etmektedir. Gros Tonaj (GRT), bir geminin tüm kapalı alanlarının kalıplanmış hacminin bir fonksiyonudur (International Convention on Tonnage Measurement of Ships, 1969). Gemi makinelerinin gücünün bilinmediği ve sadece GRT bilgisinin bulunduğu durumlarda, gros tonajın bir fonksiyonu olarak makine gücü bilgisi elde edilebilmektedir (Trozzi, 2010). Gemilerin makine gücü ve kapasitesi hakkında doğrudan bir izlenim verebildiği için tahmin yöntemi için oluşturulan veride gemi sayısı ile birlikte geçiş yapan toplam gros tonaj miktarı kullanılmıştır.

Çizelge 5.41'de görüldüğü üzere diğer yıllara nazaran geçiş yapan gemi sayısı 2018 ve 2019 yıllarında daha düşükken geçiş yapan toplam gros tonaj miktarı ise daha yüksektir. Bu durum geçiş yapan gemilerin kapasitelerinin arttığını göstermektedir.

Çizelge 5.41 : Geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarı.

Yıl	Gemi Sayısı	Toplam Gros Tonaj
2010	50464	505615881
2011	49459	523543509
2012	47926	550526579
2013	46090	551771780
2014	45061	582468334
2015	42938	565216784
2016	41973	565282287
2017	42479	599324748
2018	41103	613088166
2019	41112	638892062

Çizelge 5.41’deki yıl, geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj bilgileri regresyon modelinin öngörücü (predictors) verilerini oluştururken, bölüm 5.1’de verilmiş olan emisyon türüne göre toplam emisyon miktarları modelin yanıt (response) verilerini ve 2018-2019 yılları için elde edilmek istenen tahmini toplam emisyon miktarları da modelin sonuç (output) verisini oluşturmaktadır. Veriler bu şekilde etiketlendikten sonra, oluşturulan bu veri setinin eğitim, doğruluk ve test verisi olarak üçe bölünmesi gerekmektedir. Verilerin nasıl ayrılması gerektiği kurulan modele göre değişmekte olup, en uygun seçenek ampirik şekilde bulunur. Örneğin; verilerin %70’i eğitim verisi, %15’i doğrulama verisi ve %15’i test verisi şeklinde ayrılabilir. Bu tez çalışmasındaki veri setinde, veriler 3 öngörücü üzerinde sadece 8 gözleme dayandığı için verilerin hepsi eğitime sokulmuş olup doğrulama için veri ayrılmamıştır. Doğrulama ile ilgili detaylar bölüm 5.3.2’de verilmiştir.

5.3.2 Doğrulama modelinin seçilmesi

Tahmine yönelik toplanan yeni veriler (2018-2019 geçiş istatistikleri) ile var olan eski veriler (2010-2017 verileri) değerlendirilerek oluşturulan öngörücüler, yanıtlar ve sonuç verileri tahmin yönteminde kullanılmak üzere bir excel dosyasında hazırlanmıştır. Matlab R2020a programına bu excel dosyası atıldıktan sonra, programın uygulamalar (Apps) bölümünden “Regression Learner” eklentisi çalıştırılmıştır. Regression Learner eklentisi programda “Machine Learning and Deep Learning” bölümü altında sunulmakta olup Matlab R2020a sürümü ile birlikte gelmektedir. Bu eklenti, makine öğrenmesi ve derin öğrenme ile ilgili yöntemleri tek

seferde eğiterek, kullanıcıya hata oranları ile birlikte sonuçların karşılaştırmasını sunmakta ve kullanılabilir en uygun yöntemi belirlemektedir.

Regression Learner eklentisi çalıştırıldıktan sonra öngörücü ve yanıt verileri işaretlenir. Sonraki aşamada, Şekil 5.35'te gösterildiği üzere belirlenecek uygun modelin tahmini doğruluğunu incelemek için doğruluk (validation) değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada eklenti üzerinde; çapraz doğrulama (cross-validation), dağıtım doğrulaması (holdout validation) ve doğrulama yok (no validation) seçeneklerinden birinin seçilmesi istenmektedir.

Data set

Data Set Variable

girdivehedef 8x4 table

Response

☒ From data set variable

☐ From workspace

NOXEntec double 5176.72 .. 5985.25

Predictors

	Name	Type	Range
☒	YIL	double	2010 .. 2017
☒	GS	double	41973 .. 50464
☒	TGT	double	5.05616e+08 .. 5.99325e+08
☐	NOXEntec	double	5176.72 .. 5985.25

[How to prepare data](#)

Validation

☒ **Cross-Validation**

Protects against overfitting by partitioning the data set into folds and estimating accuracy on each fold.

Cross-validation folds: 5 folds

☐ **Holdout Validation**

Recommended for large data sets.

Percent held out: 25%

☐ **No Validation**

No protection against overfitting.

[Read about validation](#)

Şekil 5.35 : Veri girişi ve doğruluk değerinin belirlenmesi.

Çapraz doğrulama için literatürde “k-fold” diye tanımlanan bir kat sayı seçilmesi istenmektedir. Bu doğrulama yöntemi, verilerin uyum sağladığı modellerin tahmini doğruluğunu incelemek için veri kümesini seçilen kat sayısı kadar bölüme ayırarak kaydırma denetimi (slidder control) kullanmaktadır.

Şekil 5.36’da k katsayısının 5 seçilmesi durumunda çapraz doğrulama prosedürünün ilerleyişi gösterilmiştir.

	Toplam Veri kümesi Sayısı				
Deneme 1	1	2	3	4	5
Deneme 2	1	2	3	4	5
Deneme 3	1	2	3	4	5
Deneme 4	1	2	3	4	5
Deneme 5	1	2	3	4	5

Eğitim
 Doğrulama Testi

Şekil 5.36 : Çapraz doğrulama prosedürü.

Dağıtım doğrulaması, çapraz doğrulamanın basitleştirilmiş hali gibi düşünülebilir. Büyük veri setlerinde çapraz doğrulama kullanılması fazla zaman gerektireceği için zaman kısıtı bulunduğu durumlarda büyük veri setlerinde dağıtım doğrulamasının kullanılması daha uygun olacaktır. Bu yöntemde doğrulama kümesi olarak kullanılacak verilerin yüzdesi seçilir ve yöntem bu oranda veriyi kaydırma denetimi kullanarak değerlendirir (The Mathworks Inc., n.d.b). Şekil 5.37’de %30’luk bir doğrulama kümesi ile dağıtım doğrulama prosedürünün ilerleyişi gösterilmiştir.

Deneme 1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Deneme 2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Deneme 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Deneme 4	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
...										

Eğitim
 Doğrulama Testi

Şekil 5.37 : Dağıtım doğrulama prosedürü.

Doğrulamanın olmayışı (no validation) ise aşırı uyum (overfitting)’a karşı korumanın olmamasına sebep olmaktadır. Aşırı uyum durumunda, model eğitim data setini çok iyi öğrenir ve eğitim performansı çok iyidir. Ancak model eğitim verileri haricinde farklı verilerle, örneğin test verileri ile denendiğinde kötü sonuçlar verebilmektedir. Bu tez çalışmasında yapılan regresyon analizi 8 gözleme dayalı küçük bir veri seti ile gerçekleştirildiğinden doğrulama seçilmemiştir. Doğrulama yöntemi seçilmediğinde, Regression Learner uygulamasının eğitim verileri için kullandığı giriş verileri ile hedef verileri arasında yakaladığı ilişki; tahmin için giriş yapılan veriler ile tahmin sonuçlarının yer aldığı yanıt verileri arasında yeniden kurulmuş olacaktır (The

Mathworks Inc., n.d.a). Analizde, öngörücü olarak kullanılan veri setinde yıl, gemi sayısı ve toplam gros tonaj değerleri yer almaktadır. Bu öngörücülerin kullanılmasının sebebi, geçiş yapılan yıla göre gemi sayısı ve toplam gros tonaj ile salınan emisyon miktarı arasında oransal bir ilişki kurulmasını sağlamaktadır. Regression learner eklentisinde doğrulama metodu seçilmeyişinin sebebi 2010-2017 yıllarını kapsayan sekiz senedeki her sene için toplam gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarı ile üretilen emisyon miktarı arasındaki bu oransal ilişkiyi 2018 ve 2019 yıllarına da uygulatılmak istenilmesidir. Bu analizde, 2018 ve 2019 yıllarına ait geçiş yapan toplam gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarları bilgisi bulunduğundan birbiri ile tutarlı tahmini sonuçlar elde edilebilmiştir. Gros tonaj miktarı geminin makine gücü ve kapasitesi ile doğrudan ilişkili olduğu için gemi sayısı azalması durumunda dahi emisyon miktarının artışı açıklayıcı olması açısından analizde belirlenen modelin seçiminde kilit role sahiptir. Doğrulama yönteminin belirlenmesinden sonra “Start Session” a basılarak regresyon modelinin belirlenmesi aşamasına geçilir.

5.3.3 Regresyon modelinin belirlenmesi

Regresyon Learner uygulamasının “Model Type” bölümünde doğrusal regresyon, regresyon ağaçları, destek vektör makineleri, Gauss süreç regresyon modelleri, topluluk öğrenimi yöntemleri ve bunların alt yöntemleri sunulmaktadır. Bu uygulama sayesinde aynı anda tüm modeller denenebilmekte, birden fazla model otomatik olarak eğitilebilmekte ve tahmin için en uygun model bulunabilmektedir. Model type bölümünde özellikle çalışılmak istenilen bir veya daha fazla model seçilebileceği gibi “All” seçeneği ile modellerin hepsi seçilip, seçilen modellerin tümü tek seferde eğitilebilmektedir. Tez çalışmasındaki bu analizde tüm modeller seçilmiş olup eğitim sonucunda ortaya çıkan hata payları değerlendirilerek uygulanacak regresyon modeli belirlenmiştir. Hataların değerlendirilmesinde RMSE (Root Mean Square Error, Kök Ortalama Kare Hata), R-Squared (R^2), MSE (Mean Squared Error, Ortalama Kare Hata) ve MAE (Ortalama Mutlak Hata, Mean Absolute Error) kavramları ile karşılaşılmaktadır.

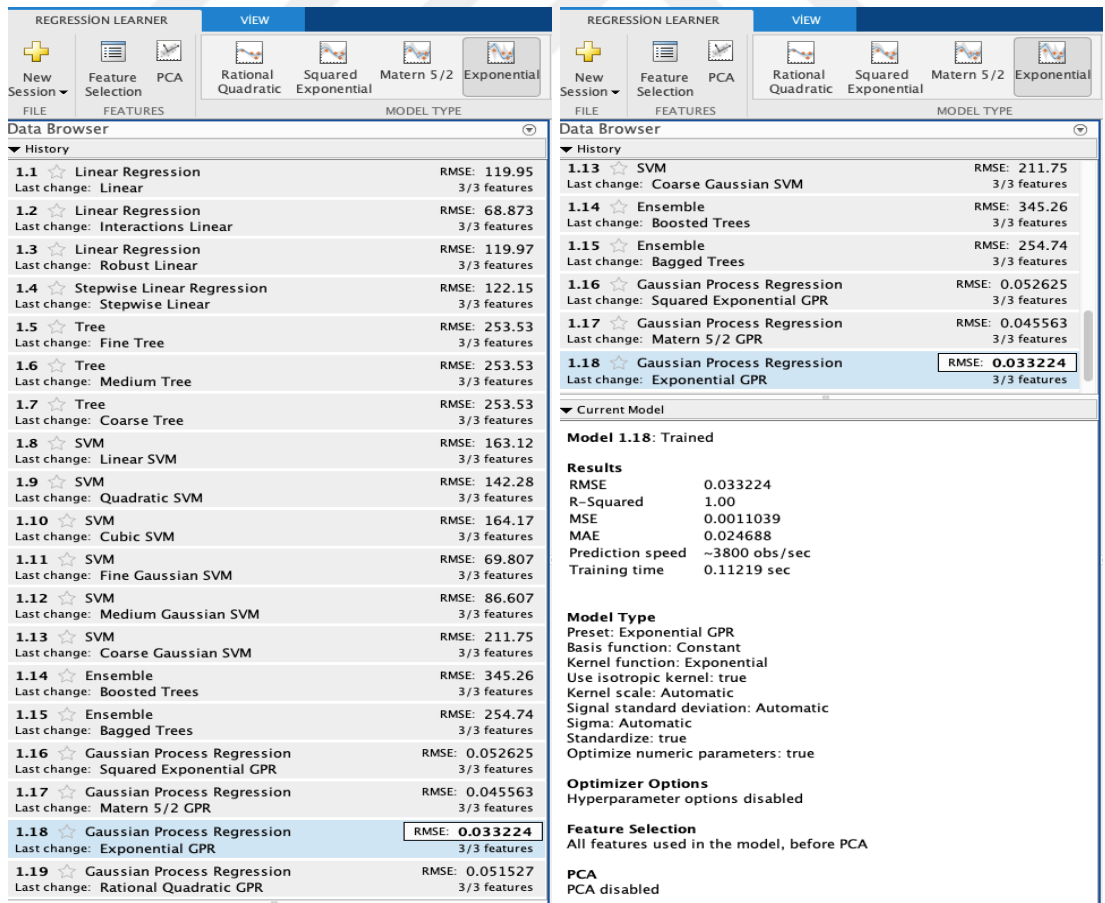
RMSE: Bir makine öğrenmesi modelinde tahmin hatalarının standart sapmasıdır. Verilerin en iyi uyum çizgisi etrafında ne kadar yoğunlaştığını göstermektedir. RMSE değerinin sıfıra yaklaşması yapılan tahmindeki hatanın daha az olduğunu göstermektedir.

R^2 : Determinasyon katsayısı olarak da bilinmektedir. Eğitilen modelin, yanıtın sabit olduğu modelle karşılaştırılması ile elde edilir ve değeri eğitilen yanıtın ortalamasına eşittir. R^2 değeri genellikle 0 ile 1 arasında bir değer almaktadır. Ancak eğer kullanıcının modeli bu sabit modelden daha kötü ise R^2 negatiftir. R^2 değerini 1'e ne kadar yakınsa yapılan tahmindeki hata da o kadar daha azdır.

MSE: Ortalama kare hatası RMSE değerinin karesidir ve bir regresyon eğrisinin bir dizi noktaya ne kadar yakın olduğunu belirtir. Her zaman pozitif değerlidir ve MSE değerinin sıfıra yakın olması yapılan tahminin doğruluğu açısından önemlidir.

MAE: Ortalama mutlak hata RMSE'ye benzer bir hata olup iki sürekli değişken arasındaki farkın ölçüsü olarak tanımlanabilir. Sıfıra yakın MAE değerleri yapılan tahmindeki hatanın daha az olduğunu göstermektedir.

NO_x emisyonu için Regression Learner kullanılarak yapılan model eğitiminin sonucunda veriler ile en iyi örtüşen model şekil 5.38'te de gösterildiği üzere "Gauss süreç regresyonu" olarak tespit edilmiştir. Bu regresyon modeline ait hata değerleri de aşağıdaki görselde gösterilmektedir.



Şekil 5.38 : Regresyon modeli seçimi.

ENTEC ve EPA yöntemleri ile hesaplanan her bir emisyon türü için regresyon modelleri ayrı ayrı değerlendirilerek verilerle en iyi örtüşen regresyon modeli belirlenmiştir. Emisyon türüne göre belirlenen regresyon modelleri ve RMSE değerleri Çizelge 5.42’de verilmiştir.

Çizelge 5.42 : Emisyon türüne göre belirlenen regresyon modeli.

Emisyon Türü	Belirlenen Yöntem	RMSE
NO _x (ENTEC)	Gauss Süreç Regresyonu	0.033224
NO _x (EPA)	Gauss Süreç Regresyonu	0.019892
SO ₂ (ENTEC)	Gauss Süreç Regresyonu	0.030352
SO ₂ (EPA)	Gauss Süreç Regresyonu	0.030013
CO ₂ (ENTEC)	Gauss Süreç Regresyonu	0.740480
CO (EPA)	Gauss Süreç Regresyonu	0.001524
VOC (ENTEC)	Gauss Süreç Regresyonu	0.000660
HC (EPA)	Gauss Süreç Regresyonu	0.000643
PM (ENTEC)	Gauss Süreç Regresyonu	0.001586
PM ₁₀ (EPA)	Gauss Süreç Regresyonu	0.001502
PM _{2.5} (EPA)	Gauss Süreç Regresyonu	0.006500

5.3.4 Belirlenen regresyon modelinin tahmin verilerine uygulanması

Regression learner eklentisi aracılığıyla uygun regresyon modeli belirlendikten sonra bu model, uygulamanın “Export” bölümünde yer alan seçeneklerden “Export Model” seçeneği ile dışa aktarılır. Dışa aktarılan model, otomatik olarak Matlab R2020a program sayfasının “Workspace” alanına kopyalanır ve bu aşamada eğer kullanılacak modelin hata değerlerinin düşürülmesi istenirse “Command Window” alanına gerekli komutlar girilerek model yeniden eğitilebilmektedir.

Bu tez çalışmasında belirlenen model üzerinde, 2018-2019 emisyon değerleri için tahmin yaptırabilmek için “Command Window” alanına aşağıdaki formül girilmiştir.

$$yfit = trainedModel.predictFcn(T) \quad (5.1)$$

- yfit: Bulunması istenen tahmin değerleri,
- trainedModel: Regression learner eklentisinden “Workspace”e aktarılan regresyon modeli,
- predictFcn: Tahmin komutu
- T: Tahmini yapılması istenen veriler.

Matlab üzerinde bu formülü işletebilmek için “T” verisinin Matlab’a girilmesi gerekmektedir.

NO_x emisyon türünün tahmini miktarının bulunması için hazırlanan “T” excel dosyasında yer alan bilgiler Çizelge 5.43’te verilmiştir. Diğer emisyon türleri için hazırlanan “T” dosyaları için ise, tahmin yaptırılmak için kullanılan veriler aynı olduğu için sadece NO_x yerine istenilen emisyon türünün adı yazılarak giriş yapılmıştır.

Çizelge 5.43 : 2018-2019 NO_x miktarının tahmini için hazırlanan veri.

Yıl	Gemi Sayısı	Toplam Gros Tonaj	NO _x
2018	41103	613088166	
2019	41112	638892062	

Yazılan formüldeki “T”nin de Matlab’a tanıtılmasından sonra formül yeniden girilir ve tahmin sonuçlarının “yfit” adı altında elde edildiği Şekil 5.39 gibi görülür.

```

Command Window
>> uiopen('/Users/cenkay/MATLAB-Drive/yanit.xlsx',1)
>> T=yanit

T =

2x4 table

    YIL      GS      TGT      NOxEntec
    ---      -
    2018    41103    6.1309e+08    {0x0 char}
    2019    41112    6.3889e+08    {0x0 char}

>> yfit = trainedModel.predictFcn(T)

yfit =

    1.0e+03 *

    5.4312
    5.4826

>> [5431.24893715726]

ans =

    5.4312e+03

>> [5482.56810386962]

ans =

    5.4826e+03

fx >>

```

Şekil 5.39 : NO_x emisyonunun tahmin sonuçları.

Tahmininin yapılması istenen diğer emisyon türleri için de benzer işlemler yapılarak regresyon analizi ile Çizelge 5.44’teki tahmin değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.44 : Regresyon analizi ile elde edilen tahmin değerleri.

Emisyon Türü	2018 tahmini (ton)	2019 tahmini (ton)
NOX (ENTEC)	5431	5483
NO _x (EPA)	5693	5677
SO ₂ (ENTEC)	3622	3630
SO ₂ (EPA)	3406	3418
CO ₂ (ENTEC)	216395	215741
CO (EPA)	439	438
VOC (ENTEC)	197	197
HC (EPA)	187	186
PM (ENTEC)	520	517
PM ₁₀ (EPA)	454	452
PM _{2.5} (EPA)	434	434

2018 yılında geçiş yapan toplam, gemi sayısı 41103 ve gros tonaj miktarı 613088166'dır. 2019 yılında ise gemi sayısı 41112, gros tonaj miktarı 638892062'dir. 2018 ve 2019 yıllarında geçiş yapan toplam gemi sayıları ile gros tonaj miktarları arasında büyük bir farklılık görülmemektedir. Nitekim, Çizelge 5.44'te bulunan tahmin değerleri her bir emisyon türü içinde değerlendirilirse 2018 ve 2019 yılı tahmini emisyon miktarı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülecektir. Bu durum tahmini değerlerin kendi içinde tutarlı olduğunu göstermektedir. Regresyon analizinde giriş verisi olarak kullanılan 2010-2017 verileri ile 2018-2019 tahmin verileri arasındaki ilişki ise emisyon türlerine göre ayrı ayrı Bölüm 5.3.5'te değerlendirilecektir.

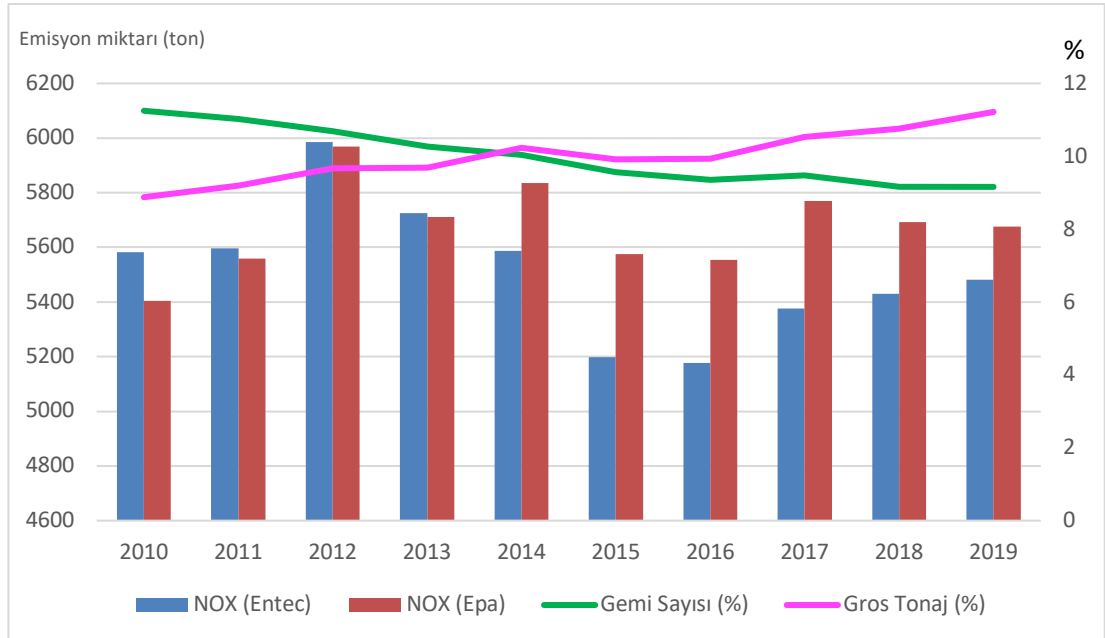
Regresyon analizi için kullanılan giriş verisinin sınırlı olması, az veri ile uygun modelleme seçilmesini zorunlu kılmıştır. Bu durum, kullanılan yöntemin kısıtını oluşturmaktadır. Ancak her bir emisyon türü için Regression Learner eklentisi ayrı ayrı çalıştırılmış ve hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörü gibi parametreler bakımından birbiri ile ilişkili olan NO_x (ENTEC) ve NO_x (EPA), VOC ve HC gibi emisyon türlerinin elde edilen tahmini sonuçlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür.

5.3.5 Tahmin değerlerinin emisyon türüne göre değerlendirilmesi

Çizelge 5.45 ve Şekil 5.40'ta 2010-2017 yılları için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan NO_x emisyon miktarları ile 2018-2019 yılları için regresyon analizi metodu ile bulunan tahmini NO_x emisyon miktarları, geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarının yüzdelik ifadesi ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.45 : NO_x emisyon miktarı (ton).

Yıl	Gemi Sayısı	Gros Tonaj	NO _x (ENTEC)	NO _x (EPA)
2010	50464	505615881	5583	5403
2011	49459	523543509	5597	5559
2012	47926	550526579	5985	5969
2013	46090	551771780	5725	5710
2014	45061	582468334	5587	5836
2015	42938	565216784	5199	5575
2016	41973	565282287	5177	5554
2017	42479	599324748	5375	5770
2018	41103	613088166	5431	5693
2019	41112	638892062	5483	5677



Şekil 5.40 : NO_x emisyon miktarının senelere göre dağılımı.

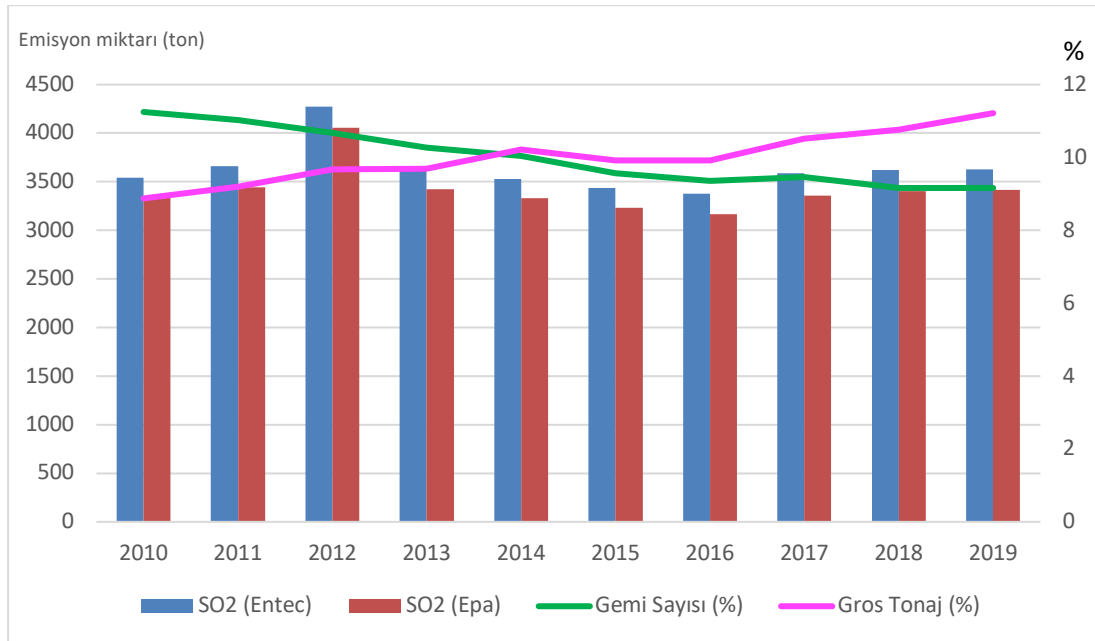
ENTEC metodu kullanılarak hesaplanan NO_x miktarının tahmin sonuçlarında artış beklenirken EPA metodu ile hesaplanan NO_x miktarında ise düşüş beklenmektedir.

Artış ve düşüş ivmelenmesindeki bu tutarsızlık NO_x için yorum yapabilmeyi zorlaştırmaktadır.

Çizelge 5.46 ve Şekil 5.41’de 2010-2017 yılları için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan SO₂ emisyon miktarları ile 2018-2019 yılları için Regresyon Analizi metodu ile bulunan tahmini SO₂ emisyon miktarları, geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarının yüzdelik ifadesi ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.46 : SO₂ emisyon miktarı (ton).

Yıl	Gemi Sayısı	Gros Tonaj	SO ₂ (ENTEC)	SO ₂ (EPA)
2010	50464	505615881	3545	3337
2011	49459	523543509	3660	3443
2012	47926	550526579	4273	4053
2013	46090	551771780	3629	3426
2014	45061	582468334	3527	3334
2015	42938	565216784	3434	3229
2016	41973	565282287	3378	3163
2017	42479	599324748	3586	3354
2018	41103	613088166	3622	3406
2019	41112	638892062	3630	3418



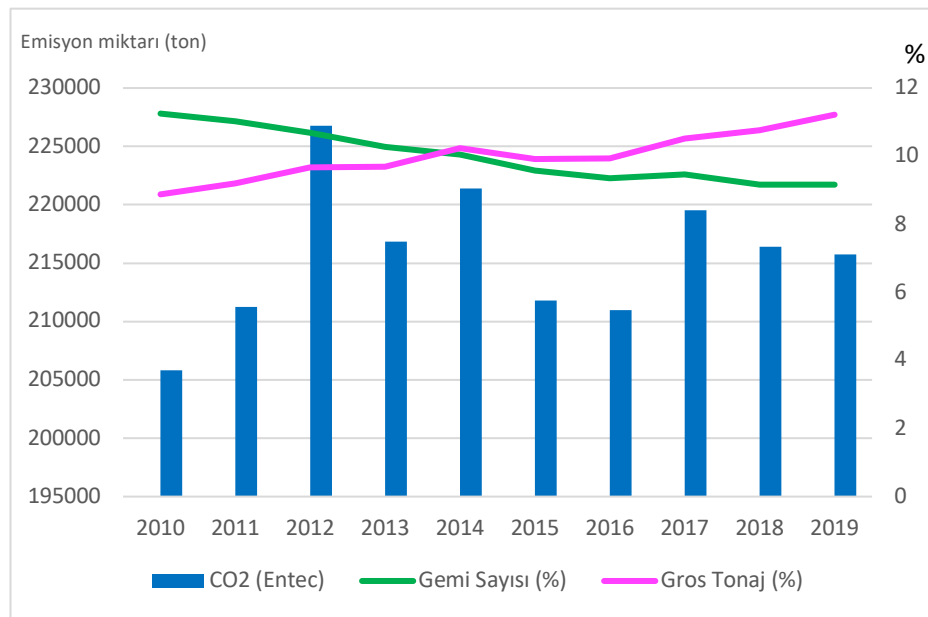
Şekil 5.41 : SO₂ emisyon miktarının senelere göre dağılımı.

Hesaplanan SO₂ (ENTEC) ve SO₂ (EPA) emisyonlarının 2018 ve 2019 yılları için yapılan tahminlerinde her iki senede de artış göstereceği öngörülmektedir.

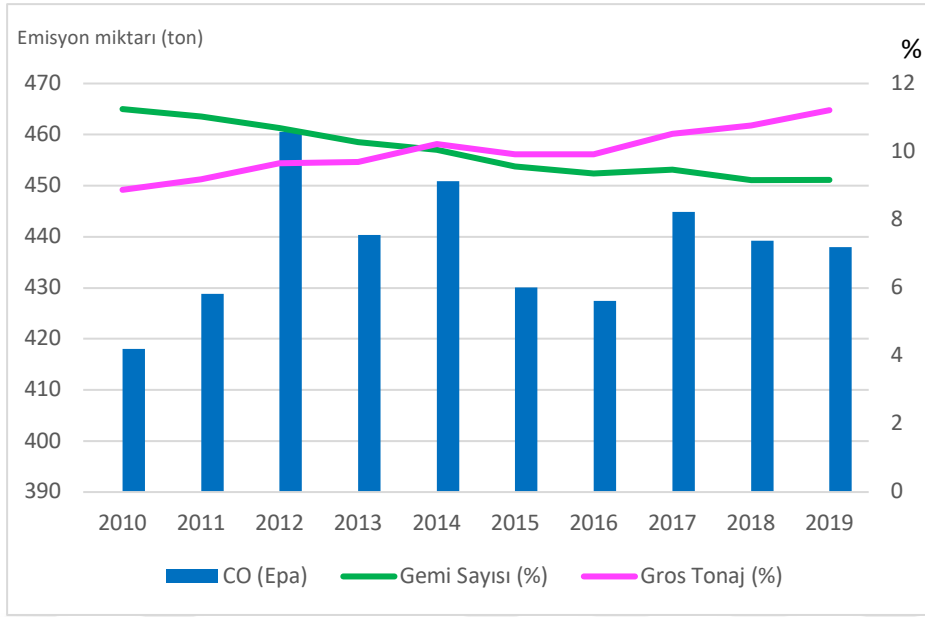
Çizelge 5.47, Şekil 5.42 ve 5.43’de 2010-2017 yılları için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan CO₂ ve CO emisyon miktarları ile 2018-2019 yılları için Regresyon Analizi metodu ile bulunan tahmini CO₂ ve CO emisyon miktarları, geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarının yüzdelik ifadesi ile birlikte verilmiştir. Hesaplanan CO₂ (ENTEC) ve CO (EPA) emisyonlarının 2018 ve 2019 yılları için yapılan tahminlerinde her iki senede de az miktarda da olsa düşüş göstereceği öngörülmektedir.

Çizelge 5.47 : CO₂ ve CO emisyon miktarları (ton).

Yıl	Gemi Sayısı	Gros Tonaj	CO ₂ (ENTEC)	CO (EPA)
2010	50464	505615881	205793	418
2011	49459	523543509	211272	429
2012	47926	550526579	226751	461
2013	46090	551771780	216861	440
2014	45061	582468334	221375	451
2015	42938	565216784	211804	430
2016	41973	565282287	210984	427
2017	42479	599324748	219553	445
2018	41103	613088166	216395	439
2019	41112	638892062	215741	438



Şekil 5.42 : CO₂ emisyon miktarının senelere göre dağılımı.

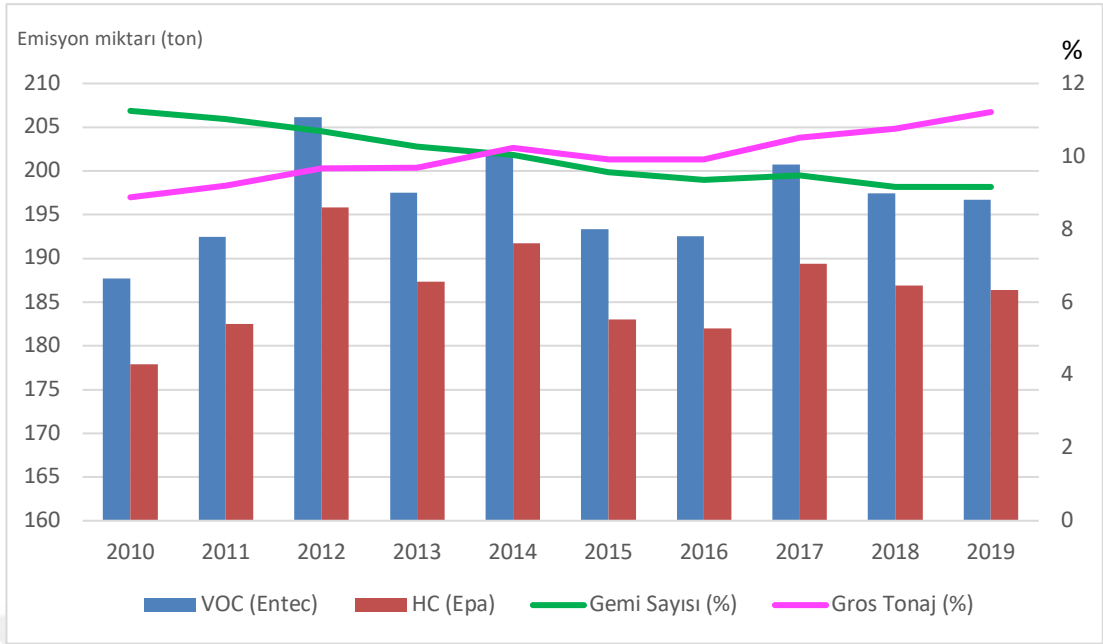


Şekil 5.43 : CO emisyon miktarının senelere göre dağılımı.

Çizelge 5.48 ve Şekil 5.44’te 2010-2017 yılları için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan VOC ve HC emisyon miktarları ile 2018-2019 yılları için Regresyon Analizi metodu ile bulunan tahmini VOC ve HC emisyon miktarları, geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarının yüzdelik ifadesi ile birlikte verilmiştir. Hesaplanan VOC (ENTEC) ve HC (EPA) emisyonlarının 2018 ve 2019 yılları için yapılan tahminlerinde her iki senede de az miktarda da olsa düşüş göstereceği öngörülmektedir.

Çizelge 5.48 : VOC ve HC emisyon miktarları (ton).

Yıl	Gemi Sayısı	Gros Tonaj	VOC (ENTEC)	HC (EPA)
2010	50464	505615881	188	178
2011	49459	523543509	192	183
2012	47926	550526579	206	196
2013	46090	551771780	197	187
2014	45061	582468334	202	192
2015	42938	565216784	193	183
2016	41973	565282287	193	182
2017	42479	599324748	201	189
2018	41103	613088166	197	187
2019	41112	638892062	197	186

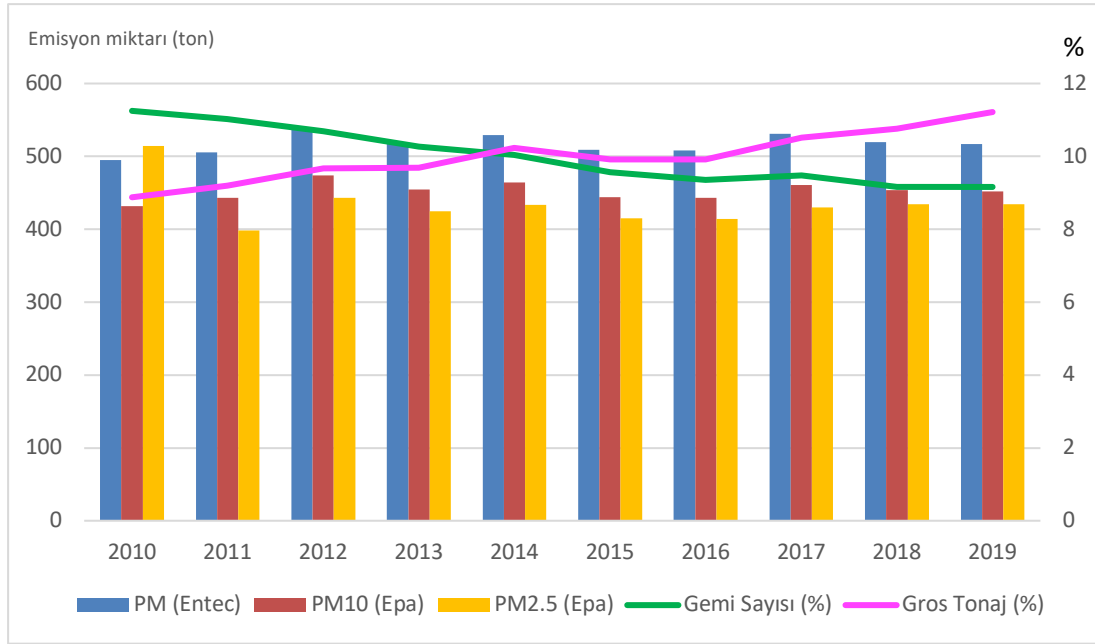


Şekil 5.44 : VOC ve HC emisyon miktarının senelere göre dağılımı.

Çizelge 5.49 ve Şekil 5.45’te 2010-2017 yılları için ENTEC ve EPA metodolojileri ile hesaplanan PM, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyon miktarları ile 2018-2019 yılları için Regresyon Analizi metodu ile bulunan tahmini PM, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyon miktarları, geçiş yapan gemi sayısı ve toplam gros tonaj miktarının yüzdelik ifadesi ile birlikte verilmiştir. Hesaplanan PM (ENTEC), PM₁₀ (EPA) ve PM_{2.5} (EPA) emisyonlarının 2018 ve 2019 yılları için yapılan tahminlerinde her iki senede de az miktarda da olsa düşüş göstereceği öngörülmektedir.

Çizelge 5.49 : PM, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyon miktarları (ton).

Yıl	Gemi Sayısı	Gros Tonaj	PM (ENTEC)	PM ₁₀ (EPA)	PM _{2.5} (EPA)
2010	50464	505615881	495	432	514
2011	49459	523543509	506	443	398
2012	47926	550526579	537	474	443
2013	46090	551771780	517	454	425
2014	45061	582468334	529	464	433
2015	42938	565216784	509	444	415
2016	41973	565282287	508	443	414
2017	42479	599324748	531	460	430
2018	41103	613088166	520	454	434
2019	41112	638892062	517	452	434



Şekil 5.45 : PM, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyon miktarlarının dağılımı.

6. TARTIŞMA

Bu çalışma, emisyon hesabı konusunda ENTEC ve EPA metodolojilerinin bir uygulamasını sunmakla birlikte, eksik bilgi olması durumunda geçmiş yıllara ait veriler üzerinden bir makine öğrenmesi yöntemi olan regresyon analizi metodu ile emisyon tahmini yapılması konusunda da örnek oluşturmaktadır. Böylelikle bu çalışmada, elde edilen sonuçlar üzerinden daha detaylı analiz yapma imkânı sağlanmıştır.

Türkiye; güneyinde Akdeniz, kuzeyinde Karadeniz, batısında Ege Denizi ve Ege Denizi ile Karadeniz'i Çanakkale ve İstanbul Boğazları ile birleştiren Marmara Denizi ile yoğun bir deniz trafiğine sahiptir.

Bu tez çalışmasında, İstanbul Boğazı özelinde yapılmış olan emisyon hesaplamaları göstermiştir ki; sadece İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerden kaynaklanan hava kirliliği miktarı dahi oldukça fazladır. Boğazdan geçiş yapan gemi sayısında yıllar içerisinde bir düşüş gözlene de tüm emisyon türlerinin miktarında benzer bir düşüşün yaşanmadığı görülmüştür. İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin büyük bir kısmını %96'lık oranla CO₂ emisyonu oluşturmaktadır. Bu durum IMO'nun 2013 yılında uygulamaya koyduğu enerji verimliliği konusundaki zorunlulukların CO₂ emisyonunu azaltma noktasındaki etkilerini sorgulamaktadır. Ancak Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü ve T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'ndan edinilen istatistiki verilerde, seneler içerisinde boğazdan geçiş yapan gemi karakterlerinin değiştiği, geçiş yapan gemi sayısı azalırken taşınan yük miktarı ve geçiş yapan toplam gros tonaj miktarındaki artıştan görülmektedir. Gemilerin gros tonaj miktarındaki artış, Trozzi (2010)'ye göre doğrudan gemilerin makine güçlerindeki artışı ifade etmektedir. Makine güçleri ve yük taşıma kapasiteleri artan gemilerin emisyon salınımları da artmaktadır. Bu tez çalışmasında, emisyon miktarı ve geçiş yapan toplam gros tonaj miktarı üzerinden yapılan değerlendirmede enerji verimliliği uygulamalarının henüz zorunlu hale getirilmediği 2013 yılı öncesinde salınan CO₂ emisyon miktarının toplam gros tonaja oranı kıyaslandığında gros tonaj miktarının üzerinde bir salınım yapıldığı, 2013 yılından itibaren ise CO₂

emisy on salını mının gros tonaj miktarının altında kaldığı görülmüştür. Bu noktada, enerji verimliliği uygulamalarının emisyon salını mı üzerinde olumlu etkisinin görüldüğü söylene bilmektedir. Yapılan hesaplama ve tahminler sonucunda CO₂ emisyonunu takiben NO_x ve SO_x emisyon salını mının diğ er kirletici unsurlara nazaran daha fazla olduğu görülmektedir. NO_x emisyon azaltımı için 2008’den bu yana NO_x Teknik Kodu ile getirilen yükümlölüklerle limit değ erler belirlendiğı görülmüştür. Bu limit değ erlere ulaşabilmek için yeni gemilere uygun makineler yerleştirilirken, eski gemilerde ise çeş itli değ iş iklikler yapılarak emisyon seviyesi uygun sınırlara çekilmiştir. Temel dahili makine değ iş iklikleri, geliş miş dahili makine değ iş iklikleri, doğ rudan su enjeksiyonu, nemli hava motorları, egzoz gazı sirkölasyonu ve seçici katalizör azaltma yöntemleri emisyon azaltımı için uygulanan metotlardandır. Bu tez çalışmasında, hesaplamalar ve tahminlerde kullanılan veriler 2010-2019 yıllarını kapsadığı ve 2008 yılı öncesi emisyon salım değ erlerinin bilinmemesi sebebiyle NO_x Teknik Kodu ile alınan önlemlerin etkisi karşılaştı rılamamıştır. Günümüzde halen NO_x ve SO_x emisyonunun azaltılabilmesi için teknolojik çalışmalar yapılmaktadır (IEA, 2020).

SO_x emisyonunun azaltılması amacıyla IMO’nun 2020 yılında yürürlüğe giren düzenlemeleri MARPOL Ek VI, kural 14 ile açıklanmış ve belirlenmiş emisyon kontrol alanlarının dışında faaliyet gösteren gemiler için, gemi akaryakıtının sülfür içeriğı sınır değ eri 1 Ocak 2020 tarihinden itibaren %0.5 olarak belirlenmiştir. IMO tarafından oluşturulan emisyon kontrol alanlarında (ECAs) %0.1’lik daha da katı bir sınır vardır. Bu %0.1 limiti kurulan dört ECA için geçerlidir: Baltık Denizi bölgesi; Kuzey Denizi bölgesi, Kuzey Amerika bölgesi (ABD ve Kanada dışındaki belirlenmiş kıyı bölgelerini kapsar); ve Birleş ik Devletler Karayip Denizi bölgesi (Porto Riko ve Birleş ik Devletler Virgin Adaları çevresinde). IMO tarafından, Akdeniz’i çevreleyen ölkelerin günümüzde Akdeniz’i veya bir kısmını ECA olarak belirlemek için başvuru yapma olasılığı da düşünölmektedir (IMO, 2020).

İstanbul Boğ azı’nı da içine alan Türk Boğ azları Bölgesi’nde, TBDDTD (1998) uyarınca çift yönlü gemi trafiğı uygulanmaktadır. Bu tez çalışmasında bulunan emisyon miktarlarının trafik yönüne göre değ erlendirmesi de yapılmıştır. Trafik yönüne göre senelik geç iş yapan gemi sayısı ve gemi karakteristikleri birbirleri ile çok benzer olsa da Güney-Kuzey yönlü trafikten kaynaklı emisyon miktarının, boğ azdaki akıntı sistemi sebebi ile genel olarak daha fazla olduğu görülmüştür. Akıntının gemi

makinelerine binen yüke ve hıza etkisi konusunda bulunan bu sonuç literatürdeki Jalkanen ve diğ. (2009), Goldsworthy ve Goldsworthy (2019) ve Yang ve diğ. (2020) gibi yapılan diğer çalışmalarla da paralellik göstermektedir.





7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türk Boğazları Bölgesi ile birlikte Türkiye'nin etrafını çevreleyen diğer deniz yolları da düşünüldüğünde gemi kaynaklı emisyonla ilgili hava kirliliği miktarının, bu tez çalışmasında bulunan sonuçlardan çok daha yüksek olduğu bir gerçektir. Bu sebeple, Türkiye'de öncelikle maruz kalınan emisyon miktarının tespiti için ENTEC UK ve US EPA örneklerinde olduğu gibi milli bir çevre koruma ajansının oluşturması gerekliliği düşüncesi ortaya çıkmıştır. Türkiye sularında seyir yapan gemilerin her birine özgü, doğrudan emisyon hesaplarında kullanılmak üzere verilerin tutulması; ülkemiz denizlerinde seyreden gemi profilinin ortaya çıkmasını, ulusal veri tabanının oluşmasını ve emisyon hesapları için ülke denizlerine özgü emisyon faktörlerin oluşturulmasını sağlayacaktır. Günümüze kadar yapılmış olan emisyon azaltma çalışmaları temelinde; gemilerin kullandığı yakıt ve gemi makineleri üzerinedir. Bir bölgenin emisyonla soyutlanabilmesi için IMO tarafından ECA'lar ilan edildiği de görülmektedir. ECA'ların korunabilmesi için gemilerin düşük sülfürlü yakıt kullanması gibi çeşitli önlemler alınmıştır. Ancak sülfür oksit emisyonunun azaltılması önlemlerinde olduğu gibi geniş bir alanda düşük kükürt oranlı yakıt kullanımının sağlanması o bölgeye, istenilen düzeyde düşük kükürt oranlı yakıtın tedariki ya da o bölgede bu yakıt türünün rafine işlemlerinin uygulanabilmesi ile mümkündür. Gemilere şart koşulan yakıt türü tedarik edilemezse uygulamaya konulmak istenen kural işleyişinde de sıkıntıların meydana gelmesi muhtemeldir. Bu nedenle, gemilerin kullandığı bunker yakıtlarının üretimi için damıtma ve sülfürden arındırma gibi işlemlerin hangi kapasite ve maliyetle yapılabileceği konusu detaylı bir araştırma gerektirmektedir. Emisyon salınımının azaltılması konusunda kalıcı bir çözümleme getirebilmek ülkede bulunan rafineri imkanlarının ülkenin bulunduğu coğrafyadaki gerçekçi yakıt arz-talep tahmininin değerlendirilmesi; damıtma ve depolama gibi rafineri maliyetlerini doğrudan artıran yatırımlara neden olacağı için oldukça önemlidir. Ayrıca IMO tarafından, Akdeniz ülkelerinin Akdeniz'in tamamı ya da belirli bir bölgesinde ECA oluşturma düşüncesi olduğu ifade edilmektedir (IMO, 2020). Ülkemizde yayınlanan çeşitli bilimsel makale ve tezlerde de bu öneri vurgulanmıştır. Bu önerinin daha güçlü ifade edilebilmesi ve hava kalitesinin

artırılabilmesi için; rafineri imkanları, arz-talep dengesi ve artması muhtemel maliyetlerin yerel denizcilik firmalarına yansması gibi etkenlerin detaylı bir analiz gerekliliği; çevre koruma ajansı gibi bir kurumun oluşturulması fikrini desteklemektedir. Elbette ki IMO tarafından çeşitli önlemler alınmaktadır. Fakat, SO_x yıkama suyunun tahliyesi gibi konularda US EPA'da görüldüğü üzere Amerika gibi ülkelerce önlemler alınırken IMO bu konuda henüz herhangi bir sınır değeri belirlememiştir. Azot oksit kirleticisinin azaltılması konusunda IMO tarafından alınan önlemler incelendiğinde gemi makinelerinin enerji verimliliğine uyum sağlaması gerektiği, eski makinelerde geniş modifikasyonlara gidildiği ve yeni üretilen makinelerde ise emisyon salınımını azaltan yeni teknolojiler kullanıldığı görülmektedir. Deniz ticaretine yön veren bu teknolojik gelişmelerin yakından takip edilmesi ve bu konunun geliştirilmesi için yatırım kaynakları oluşturulması gereklidir.

Yaşanan ve yaşanabilecek kirliliklerin, bu kirlilik ile mücadele yöntemlerinin, eldeki imkânların ve ihtiyaç duyulduğu takdirde yatırım yapılması uygun görülen sektörlerin belirlenmesi gibi konuların detaylıca ele alınabilmesinin, bu konuya odaklanan ve bu konuda uzmanlaşmış çevre koruma ajansı gibi bir ekibin kurulması ile mümkün olacağı düşünülmektedir.

Gelecekte gemilerden kaynaklanan emisyon ile ilgili çalışma yapacak araştırmacıların emisyon envanteri oluşturabilmeleri için, veri toplama aşamasında ya devlet kurumları ile resmi bir ortaklık içerisinde olmalarını ya da maddi imkânları elverdiği takdirde özel bir kurumdan destek almalarını; oluşturulacak veri setinin emisyon hesabına uygunluğunun sağlanması, hesaplamalardaki genelleme ve kabullerin azaltılması ve dolayısıyla yapılan hesaplamaların gerçekçiliği açısından oldukça önemli olacağı düşüncesindeyim. Aksi durumda, veri elde edebilmek için aşılması gereken bürokrasi, yapılacak çalışma için zaman kısıtını ortaya çıkaracaktır. Sülfür oksit emisyonunun azaltılması ile ilgili 2020 yılında yürürlüğe giren uygulamaların değerlendirmelerinin ve emisyon salım miktarlarının 2020 öncesi dönem ile karşılaştırılması, alınan önlemlerin sonucunu somut bir şekilde ortaya koymak adına literatüre önemli katkı yapacağına inanmaktayım. Emisyon hesabı konusunda çeşitli algoritmalar yardımıyla değişen kurallara göre güncelleme yapılabilen modellemelerin oluşturulması yapılan çalışmanın güncelliğini koruması için faydalı olacaktır. Ayrıca hesaplamalarda genellikle, kullanılan yöntemle ait emisyon faktörleri genel bir kabul sayılarak aynen kullanılmaktadır. Bu emisyon faktörlerinin Türkiye için, gelen gemi profiline göre

liman liman ya da bölge bölge oluşturulması maruz kalınan emisyon miktarının tespit edilebilmesi için literatüre önemli katkı sağlayacağı inancındayım.





KAYNAKLAR

- Æsøy, V., & Stenersen, D.** (2013). Low emission LNG fuelled ships for environmental friendly operations in arctic areas. In *ASME 2013 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*. American Society of Mechanical Engineers Digital Collection.
- Air Pollution Index** (2005). Official Portal of Department of Environment, Ministry of Environment And Water, p. 156
- Akten, N.** (2003). The Strait of Istanbul (Bosphorus): The seaway separating the continents with its dense shipping traffic. *Turkish Journal of Marine Sciences*, 9(3), 241-265.
- Alexandersson, A., Flodström, E., & Stålberg, P.** (1993). Exhaust gas emissions from sea transportation. *TFB RAPPORT*.
- Armaoğlu, Fahir H.** (1973). *Siyasi Tarih (1789-1960)*, (2. Bs., s. 36-37). Ankara.
- Arnold, S. R., Law, K. S., Brock, C. A., Thomas, J. L., Starkweather, S. M., von Salzen, K., ... & Petaja, T.** (2016). Arctic air pollution: Challenges and opportunities for the next decade. *Elementa: Science of the Anthropocene*.
- Aslan, G.** (1998). *Milletlerarası Hukuk, Temel Belgeler, Örnek Kararlar* (Geliştirilmiş 3. Bs., Beta Yayınevi). İstanbul.
- Autism Speaks.** (2014). Largest-ever Study on Autism & Pollution Shows Strong Link During Pregnancy.
- Autism Speaks.** (2016). More Evidence that Prenatal Exposure to Air Pollution Ups Autism Risk.
- Baltalı, K.** (1959). *1936-1956 yılları arasında Boğazlar meselesi*.
- Bayar, N., Özüm, S., & Yılmaz, H.** (2017). Analysis of Accidents in Istanbul Strait
- Baykal, Ferit H.** (1998). *Deniz Hukuku Çalışmaları* (Alfa Yayınevi).
- Baykara, M., Im, U., & Ünal, A.** (2019). Evaluation of impact of residential heating on air quality of megacity Istanbul by CMAQ. *Science of the Total Environment*, 651, 1688-1697.
- Belik, M.** (1962). *Türk Boğazları'nın Hukuki Statüsü*, (Sermet matbaası, s. 9). İstanbul.
- Berber, Ş. G.** (2016). Lozan Antlaşması Perspektifinden Türk Boğazları Meselesine Bakış. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 14(2), 617-628.
- BMDHS.** (1982). *Birleşmiş Milletler Deniz Hukuku Sözleşmesi*, (m.37).
- Brauer, M., Lencar, C., Tamburic, L., Koehoorn, M., Demers, P., & Karr, C.** (2008). A cohort study of traffic-related air pollution impacts on birth outcomes. *Environmental health perspectives*, 116(5), 680-686.

- Buhaug, Ø., Corbett, J. J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., ... & Mjelde, A.** (2009). Second imo ghg study 2009. *International Maritime Organization (IMO) London, UK*, 20.
- Butler, W. E.** (1987). *Innocent Passage and the 1982 Convention: The Influence of Soviet Law and Policy*, AJIL, (Vol.81, no.2. April 1987).
- Calderón-Garcidueñas, L., Torres-Jardón, R., Kulesza, R. J., Park, S. B., & D'Angiulli, A.** (2014). Air pollution and detrimental effects on children's brain. The need for a multidisciplinary approach to the issue complexity and challenges. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 613.
- California Air Resources Board.** (2005a). Emissions Estimation Methodology for Ocean-Going Vessels, October 2005.
- California Air Resources Board.** (2005b). Oceangoing Ship Survey, Summary of Results, September 2005.
- Caminos, H.** (1987). *The Legal Regime of Straits in the United Nations Convention on the Law of the Sea*, Recueil des Cours, (Vol.205, 1987-V).
- Cao, Y., Zhang, W., Wang, X., Wu, L., & Qian, G.** (2019). The relationship between atmospheric pollutant emissions and fuel qualities of inland vessels in Jiangsu Province, China. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 69(3), 305-312.
- Cho, R.** (2016). The Damaging Effects of Black Carbon. *State of the Planet, Earth Institute, Columbia University*, March 22, 2016.
- COLREG** (1972). Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea, *IMO*.
- Comer, B., Olmer, N., Mao, X., Roy, B., & Rutherford, D.** (2017). Prevalence of heavy fuel oil and black carbon in Arctic shipping, 2015 to 2025. *International Council on Clean Transportation*.
- Corbett, J. J., & Koehler, H. W.** (2003). Updated emissions from ocean shipping. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D20).
- Cotorcea, A., Özkaynak, S., Nicolae, F., & Ristea, M.** (2014). Present and future of renewable energy sources onboard ships. case study: solar-thermal systems. *Scientific Bulletin "Mircea cel Batran" Naval Academy*, 17(1), 35.
- Council of Canadian Academies.** (2017). The Value of Commercial Marine Shipping to Canada. *Clear Seas Centre for Responsible Marine Shipping*. p. 38, 70
- ÇPI**, (2019). OECD Çevresel Performans İncelemeleri: Türkiye, 2019. Erişim <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ab/icerikler/oecd-epr-tr-20190228120557.pdf>
- ÇŞB**, (2016). Türkiye'nin BMİDÇS kapsamındaki Altıncı Ulusal Bildirimi, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioglu, O., Arabacı, H., & Coşkun, M.** (2017). Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios. *Türkiye Su Bilimleri ve Yönetimi Dergisi*, 1(1), 22-43.

- Demirel, Y. K., Turan, O., & İncecik, A.** (2017). Predicting the effect of biofouling on ship resistance using CFD. *Applied Ocean Research*, 62, 100-118.
- Doğru, S.** (2013). Türk Boğazları'nın Hukuki Statüsü: Sevr ve Lozan'dan Montrö'ye Geçiş. *Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, 15(2), 123-169.
- Dupuy, R., Vignes, D.** (1991). *A handbook on the Law of the Sea-2*, Martinus Nijhoff Publishers, 1991.
- EC.** (2003). Framework Contract for Technical Support in Relation to the Quality of Fuels. Advice on Marine Fuel. Potential price premium for 0.5%S marine fuel; Particular issues facing fuel producers in different parts of the EU; and Commentary on marine fuels market. Draft Final Report. https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/beicipfranlab_report.pdf
- EC.** (2016). Reducing emissions from transport. *European Commission website*. Erişim: ec.europa.eu/clima/policies/transport/index_en.htm. Erişim tarihi Temmuz, 2018.
- Ece, J. N.** (2011). Kanal İstanbul ve Montrö Sözleşmesi. *Middle Eastern Analysis/Ortadoğu Analiz*, 3(29).
- ECSA.** (2017). European Community Shipowners' Associations (ECSA), Shipping and Global Trade Towards an EU external shipping policy, 2017. Erişim: <https://www.ecsa.eu/sites/default/files/publications/2017-02-27-ECSA-External-Shipping-Agenda-FINAL.pdf>
- EEA.** (2013). The impact of international shipping on European air quality and climate forcing. *European Environment Agency*, Copenhagen
- English, G., & Hackston, D. C.** (2013). Environmental and Social Impacts of Marine Transport in the Great Lakes-St. Lawrence Seaway Region, Executive Summary. p. 6., Research and Traffic Group. January, 2013. Erişim: https://grandslacs-voiemaritime.com/wp-content/uploads/2019/12/Impacts-Comparison-ExSum_1.pdf
- ENTEC.** (2002a). Market Survey of Marine Distillates with 0.2 % Sulphur Content. https://ec.europa.eu/environment/archives/air/pdf/chapter3_end_ship_emissions.pdf
- ENTEC.** (2002b). *Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community*. A report for the European Commission, July 2002.
- ENTEC.** (2005a). Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments. Task 2-General Report. Final Report. August 2005. European Commission Directorate General Environment. https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task2_general.pdf
- ENTEC.** (2005b). Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments. Task 2b-NO_x Abatement. Final Report. August 2005. European Commission Directorate General Environment. https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task2_nox.pdf
- ENTEC.** (2005c). Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market-based Instruments. Task 2c-SO₂ Abatement. Final Report.

- August 2005. European Commission Directorate General Environment.
https://ec.europa.eu/environment/air/pdf/task2_so2.pdf
- ENTEC.** (2010). Study to review assessments undertaken of the revised MARPOL annex VI regulations. IMO Environ. Protect. Committ. 53
- Bozkurt, E.** (2007). *Türkiye'nin Uluslararası Hukuk Mevzuatı*. (4. Bs., Asil Yayın Dağıtım, s. 199- 260). Ankara.
- ENVIRON International Corporation.** (2002). "Commercial Marine Emission Inventory Development," prepared for the *U.S. Environmental Protection Agency*, April 2002.; EPA Report Number: EPA420-R-02-019, July 2002.
- Environment and Climate Change Canada.** (2015). Key Issues – Climate Change, Ministerial briefing book. Erişim: www.canada.ca/en/environment-climate-change/corporate/transparency/briefing/key-issues-climate-change.html
- Environment and Climate Change Canada.** (2017). Air Pollution: Drivers and impacts. Erişim: www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/environmental-indicators/air-pollution-drivers-impacts.html
- Environment Canada.** (n.d.). Marine Diesel Fuel Oil. Emergencies Science and Technology Division factsheet). Erişim: www.etc-cte.ec.gc.ca/databases/Oilproperties/pdf/WEB_Marine_Diesel_Fuel_Oil.pdf
- Paksoy Erbaydar, N.** (2009). Hastalık Yüğü Kavramı ve Hesaplanmasında Kullanılan Ölçütler ve Daly Kavramına Kısa Bakış, *Toplum Hekimliği Bülteni*, 28(1), 21-22.
- Erim, N.** (1953). *Devletlerarası Hukuk ve Siyasi Tarih Metinleri*. (4. Bs.). Türk Tarih Kurumu Basımevi.
- Erkin, F. C.** (1968). *Türk-Sovyet İlişkileri ve Boğazlar Meselesi*. Başnur Matbaası. S.47, Ankara.
- EU.** (2015). *Urban Air Pollution: What are the Main Sources across the World?* European Union Joint research Centre, Brussels. Erişim: <https://ec.europa.eu/jrc/en/news/what-are-main-sources-urban-air-pollution.>
- European Parliament.** (2018). Economy and Scientific Policy.
- Exhaust Gas Cleaning Systems Association.** (n.d.). *What is an Exhaust Gas Cleaning System?* Erişim: <https://www.egcsa.com/technical-reference/what-is-an-exhaust-gas-cleaning-system/>
- Eyring, V., Isaksen, I. S., Berntsen, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, O., ... & Stevenson, D. S.** (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping. *Atmospheric Environment*, 44(37), 4735-4771.
- Flodström, E.** (1997). Energy and emission factors for ships in operation. Kommunikations for sknings beredningen (KFB).
- GBD.** (2017). Global, regional, and national comparative risk assessment of 84 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks, 1990–2016: a systematic analysis for the Global

- Burden of Disease Study 2016. *The Lancet*, 390 (10100), 1345-1422.
Erişim: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32366-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32366-8)
- Gilbert, P., Walsh, C., Traut, M., Kesieme, U., Pazouki, K., & Murphy, A.** (2018). Assessment of full life-cycle air emissions of alternative shipping fuels. *Journal of cleaner production*, 172, 855-866.
- GloMEEP.** (n.d.). Trim and Draft Optimization. Energy Efficiency Technologies Information Portal. IMO. <https://glomeep.imo.org/technology/trim-and-draft-optimization/> Erişim Tarihi: 02.05.2019
- GloMEEP.** (n.d.). Trim and Draft Optimization. Energy Efficiency Technologies Information Portal. IMO. <https://glomeep.imo.org/technology/trim-and-draft-optimization/> Erişim Tarihi: 02.05.2019
- Goldsworthy, B., & Goldsworthy, L.** (2019.). Assigning machinery power values for estimating ship exhaust emissions: Comparison of auxiliary power schemes. *Science of the Total Environment*, 657, 963-977.
- Government of Canada.** (2018b.). Smog and Your Health. Types and sources of air pollution. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/air-quality/smog-your-health.html>
- Güneş, ř.** (2007). Türk Boğazları. *ODTÜ Gelişme Dergisi*, 34, 217-250.
- Gürel, A., & Gündüz, A. E.** (2011). İstanbul'un ekolojik yapısı üzerine bir araştırma.
- Hansen, J., & Nazarenko, L.** (2004). Soot climate forcing via snow and ice albedos. *Proceedings of the national academy of sciences*, 101(2), 423-428.
- Hochkirch, K., & Bertram, V.** (2010, May). Engineering options for more fuel efficient ships. In *Proceedings of First International Symposium on Fishing Vessel Energy Efficiency* (Vol. 1).
- ICF Consulting.** (2005). Best practices in preparing port emission inventories: draft for review, prepared for office of policy, economics and innovation. United States Environmental Protection Agency, Fairfax, Virginia.
- ICJ.** (1949). International Court of Justice (ICJ), Reports of Judgements, Advisory Opinions and Orders. Corfu Channel Case, 1949. Erişim: <https://www.icj-cij.org/files/case-related/1/001-19490409-JUD-01-00-EN.pdf>
- IEA.** (2016). Energy Policies of IEA Countries: Turkey 2016, Energy Policies of IEA Countries, *International Energy Agency*, Paris. Erişim: <https://doi.org/10.1787/9789264266698-en>
- IEA.** (2018). Dünya Enerji İstatistikleri ve Bilançoları (veri tabanı). <http://dx.doi.org/10.1787/888933892288>
- IEA.** (2020). Global Energy Review 2020, IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>
- International Convention on Tonnage Measurement of Ships.** (1969). International Convention on Tonnage Measurement of Ships. Adoption: 23 June 1969; Entry into force: 18 July 1982. IMO. Erişim tarihi: 03.04.2020 <http://dx.doi.org/10.1787/888933892288>

- İnanç, H., & Yazıcı, B.** (2018). Uluslararası Hukuk Açısından Korfı Boğazı Davası ve Sonuçları. *Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi*, (70), 148-165.
- İnan, Y.** (1995). *Türk Boğazlarının Siyasal ve Hukuksal Rejimi*. (2. Bs., s. 7), Turhan Kitabevi. Ankara.
- IMO.** (2009). *Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI)*. Marine Environment Protection Committee 59th session. Erişim: http://www.imo.org/blast/blastDataHelper.asp?data_id=26403&filename=684.pdf
- IMO.** (2011). Antarctic Fuel Oil Ban and North American ECA MARPOL Amendments Enter into Force on 1 August 2011. Use or carriage of oil in Antarctic Area. Erişim: http://www.imo.org/en/mediacentre/pressbriefings/pages/44-marpol-amends.aspx#.XqysRS_mKPT
- IMO.** (2012). North American Emission Control Area Comes into Effect on 1 August 2012. http://www.imo.org/en/MediaCentre/PressBriefings/Pages/28-eca.aspx#.XqytFC_mKPT
- IMO.** (2015a). Third IMO GHG study 2014. *IMO*. London. Erişim: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/Third%20Greenhouse%20Gas%20Study/GHG3%20Executive%20Summary%20and%20Report.pdf>
- IMO.** (2015b). Third IMO GHG study 2014. p. 1-2. *IMO*. London.
- IMO.** (2018). Prevention of Air Pollution from Ships. Revised MARPOL Annex VI. <http://www.imo.org/en/OurWork/environment/pollutionprevention/airpollution/pages/air-pollution.aspx>
- IMO.** (2020). Sulphur 2020, cutting sulphur oxide emissions. *IMO*. 2020. <http://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/Sulphur-2020.aspx>
- IMO.** (n.d.). Marine Environment. Pollution Prevention. Air Pollution and GHG emissions. Energy Efficiency Measures. Erişim 01.02.2019. <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Technical-and-Operational-Measures.aspx>
- IMO MEPC.** (2018a). European Parliament: Economy and Scientific Policy. 2018. IMO's Challenges on the Route to Decarbonising International Shipping: Key issues at stake at the 72nd session of the IMO MEPC. *Briefing: Environment, Public Health and Food Safety*. p. 1. Erişim: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/618983/I_POL_BRI\(2018\)618983_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2018/618983/I_POL_BRI(2018)618983_EN.pdf)
- IMO MEPC.** (2018b). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 72nd session, 9-13 April 2018. Greenhouse gas emissions initial strategy adopted. Erişim: <http://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/mepc/pages/mepc-72nd-session.aspx>
- IMO MEPC.** (2018c). Marine Environment Protection Committee (MEPC), 72nd session, 9-13 April 2018. Heavy fuel oil in the Arctic. Erişim: <http://www.imo.org/en/mediacentre/meetingsummaries/mepc/pages/mepc-72nd-session.aspx>

- IMO NO_x Technical Code.** (2008). NO_x Technical Code. *IMO*. Resolution MEPC.177(58) as amended by resolution MEPC.251. (66)
- International Agency for Research on Cancer, & World Health Organization.** IARC: Outdoor air pollution a leading environmental cause of cancer deaths. No. 221. *World Health Organization*. https://www.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/pr221_E.pdf
- IPCC.** (2014). Fifth Assessment Summary Report, Summary for Policy Makers, p. 2. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, 2014. https://ar5-syr.ipcc.ch/ipcc/ipcc/resources/pdf/IPCC_SynthesisReport.pdf
- Issa, M., İbrahim, H., Ilımcı, A., & Hayyani, M. Y.** (2019). A Review and Economic Analysis of Different Emission Reduction Techniques for Marine Diesel Engines. *Open Journal of Marine Science*, 9(03), 148.
- Jalkanen, J. P., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, H., Kukkonen, J., & Stipa, T.** (2009). A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. *Atmos. Chem. Phys*, 9(23), 9209-9223.
- Jia, B. B.** (1998). *The Regime of Straits in International Law*, Clarendon Press, Oxford, 1998.
- Jung, K. H., Perzanowski, M., Rundle, A., Moors, K., Yan, B., Chillrud, S. N., ... & Miller, R. L.** (2014). Polycyclic aromatic hydrocarbon exposure, obesity and childhood asthma in an urban cohort. *Environmental research*, 128, 35-41.
- Karaca, F., Alagha, O., & Ertürk, F.** (2005). Statistical characterization of atmospheric PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations at a non-impacted suburban site of Istanbul, Turkey. *Chemosphere*, 59(8), 1183-1190.
- KBBS.** (1958). *Karasuları ve Bitişik Bölge Sözleşmesi*. m.16/3-4.
- Komar, I., Antonia, R., & Matia, P.** (2007). Selective catalytic reduction as a secondary method to remove NO_x from diesel engine exhaust gas. *IFAC Proceedings Volumes*, 40(17), 305-309.
- Lamas, M. I., Rodríguez, C. G., Rodríguez, J. D., & Telmo, J.** (2013). Internal modifications to reduce pollutant emissions from marine engines. A numerical approach. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 5(4), 493-501.
- Landrigan, P. J., Fuller, R., Acosta, N. J., Adeyi, O., Arnold, R., Baldé, A. B., ... & Chiles, T.** (2018). The Lancet Commission on pollution and health. *The lancet*, 391(10119), 462-512.
- Lee, D.S.** (2018). Update of Maritime Greenhouse Gas Emission Projections. *CE Delft Report*. p. 3-4. <https://www.cedelft.eu/en/publications/download/2445>
- Levelton Consultants Ltd.,** (2006). Marine Emission Inventory Study Eastern Canada and Great Lakes. Interim Report 4: Gridding Results. 2006. prepared for *Transportation Development Centre*, Transport Canada.
- Llorca, J., Herrero, J. M. G., & Ametller, S.** (2012). ROM 2.0-11: *Recomendaciones para el proyecto y ejecución en obras de atraque y amarre*. Puertos del Estado.

- Lüthem, İ.** (1959). *Deniz Hukukunda Gelişmeler*. Deniz Hukuku Konferansı. (A.Ü. Hukuk Fakültesi, s. 137.), Ankara.
- Mackie, A., Haščič, I., & Rodríguez, M. C.** (2016). ROM 2.0-11: Population Exposure to Fine Particles. <http://dx.doi.org/10.1787/5jlsqs8g1t9r-en>
- Maragkogianni, A., Papaefthimiou, S., & Zopounidis, C.** (2015). Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 36, 10-17.
- Mathiesen, K.** (2015). Air pollution causes low birth weight, Beijing study shows. <https://www.theguardian.com/environment/2015/apr/28/air-pollution-causes-low-birth-weight-beijing-study-shows>
- Meray, S. L.** (1968). *Devletler Hukuku'na Giriş*. (C.1, 3. Bs., s. 428.), Ankara.
- MEU.** (2016). *State of the Environment Report for Republic of Turkey*, Ministry of Environment and Urbanization, Ankara.
- Miola, A., & Ciuffo, B.** (2011). Estimating air emissions from ships: Meta-analysis of modelling approaches and available data sources. *Atmospheric Environment*, 45(13), 2242-2251.
- Tzannatos, E.** (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus–Greece. *Atmospheric Environment*, 44(3), 400-407.
- MoD.** (2014). *The Tenth Development Plan (2014-18)*, Ministry of Development, Ankara. www.mod.gov.
- Montrö Boğazlar Sözleşmesi.** (1936). *Montrö Boğazlar Sözleşmesi*. m.1.
- Moreno-Gutiérrez, J., Calderay, F., Saborido, N., Boile, M., Valero, R. R., & Durán-Grados, V.** (2015). Methodologies for estimating shipping emissions and energy consumption: A comparative analysis of current methods. *Energy*, 86, 603-616.
- Mudu, P., Gapp, C., & Dunbar, M.** (2018). AirQ+ - example of calculations (2018). *World Health Organization Regional Office for Europe*. http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0004/371551/AirQ-Examples-of-calculations_ENG.pdf
- Muirhead, J. P.** (1854). *The Origin and Progress of the Mechanical Inventions of James Watt: Illustrated by His Correspondence and the Specifications of His Patents. Extracts from correspondence* (Vol. 2). Murray. Erişim: https://books.google.com.tr/books?id=9lspAAAAYAAJ&printsec=frontcover&hl=tr&source=gbg_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Nieuwenhuijsen, M. J., Basagaña, X., Dadvand, P., Martinez, D., Cirach, M., Beelen, R., & Jacquemin, B.** (2014). Air pollution and human fertility rates. *Environment international*, 70, 9-14.
- Nunes, R. A. O., Alvim-Ferraz, M. C. M., Martins, F. G., & Sousa, S. I. V.** (2017). The activity-based methodology to assess ship emissions-A review. *Environmental Pollution*, 231, 87-103.

- OECD.** (2013). Water and Climate Change Adaptation: Policies to Navigate Uncharted Waters, OECD Studies on Water. *OECD Publishing*. Paris. Erişim: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264200449-en>.
- OECD.** (2016). OECD Economic Surveys: Turkey 2016. *OECD Publishing*. Paris. Erişim: <http://dx.doi.org>.
- OECD.** (2018a). "Çevresel Performans Göstergeleri", *OECD Çevre İstatistikleri (veri tabanı)*. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892364>
- OECD.** (2018b). "Environmental Performance indicators", *OECD Environment Statistics (database)*. Erişim tarihi: 26 July 2018.
- OECD.** (2018c). "Hava Kirliliğine Bağlı Ölüm Oranları ve Refah Maliyeti", *OECD Çevre İstatistikleri (veri tabanı)*. *OECD Environment Statistics (database)*. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892402>
- OECD.** (2018d). "Hava ve İklim: Kaynağına Göre Hava Emisyonları", *OECD Çevre İstatistikleri (veri tabanı)*. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892421>
- OECD.** (2018e). "Hava ve İklim: Kaynağına göre sera gazı emisyonları", *OECD Çevre İstatistikleri (veri tabanı)*. *OECD Environment Statistics (database)*. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892383>
- OECD.** (2018f). "Toplam Milli Gelir Hesaplamaları, SNA 2008 (veya SNA 1993): Gayri safı yurtiçi hasıla", *OECD Milli Gelir Hesaplamaları (veri tabanı)*. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892858>
- OECD.** (2019a). OECD Environmental Performance Reviews: Turkey 2019. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892953>
- OECD.** (2019b). OECD Environmental Performance Reviews: Turkey 2019. <http://dx.doi.org/10.1787/888933892972>
- Papaefthimiou, S., Maragkogianni, A., & Andriosopoulos, K.** (2016). Evaluation of cruise ships emissions in the Mediterranean basin: The case of Greek ports. *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(10), 985-994.
- Pazarcı, H.** (2003). *Uluslararası Hukuk Dersleri*, (C.2, 7. Bs.) Turhan Kitapevi. Ankara.
- Peled, R.** (2011). Air pollution exposure: Who is at high risk? *Atmospheric Environment*, 45(10), 1781-1785.
- Perera, F. P.** (2017). Multiple threats to child health from fossil fuel combustion: impacts of air pollution and climate change. *Environmental health perspectives*, 125(2), 141-148.
- Perez, L., Grize, L., Infanger, D., Künzli, N., Sommer, H., Alt, G. M., & Schindler, C.** (2015). Associations of daily levels of PM₁₀ and NO₂ with emergency hospital admissions and mortality in Switzerland: trends and missed prevention potential over the last decade. *Environmental research*, 140, 554-561.
- Piris, A. O., Díaz-Ruiz-Navamuel, E., Pérez-Labajos, C. A., & Chaveli, J. O.** (2018). Reduction of CO₂ emissions with automatic mooring systems. The case of the port of Santander. *Atmospheric Pollution Research*, 9(1), 76-83.

- Radiation**, (2000). Analysis of commercial marine vessels emissions and fuel consumption data. *US EPA*. 2000.
- Riom, E., Larsson, L. O., & Hagström, U.** (2002). Reducing NO_x emissions using the humid air motor concept. *MTZ worldwide*, 63(5), 10-13.
- Ritz, B., & Wilhelm, M.** (2008). Air pollution impacts on infants and children. *Southern California Environmental Report Card*, 2-6. <https://www.ioes.ucla.edu/publication/air-pollution-impacts-on-infants-and-children/>
- Roberts, A. L., Lyall, K., Hart, J. E., Laden, F., Just, A. C., Bobb, J. F., ... & Weisskopf, M. G.** (2013). Perinatal air pollutant exposures and autism spectrum disorder in the children of Nurses' Health Study II participants. *Environmental health perspectives*, 121(8), 978-984.
- Rowny, K.** (1987). *The Right of Passage Through Straits Used for International Navigation and the United Nations Convention the Law of the Sea*. Polish Yearbook of International Law. (Vol. XVI). 1987.
- Rubes, J., Selevan, S. G., Evenson, D. P., Zudova, D., Vozdova, M., Zudova, Z., ... & Perreault, S. D.** (2005). Episodic air pollution is associated with increased DNA fragmentation in human sperm without other changes in semen quality. *Human Reproduction*, 20(10), 2776-2783.
- Salvi, S.** (2007). Health effects of ambient air pollution in children. *Paediatric respiratory reviews*, 8(4), 275-280.
- Schachte, W. L.** (1993). *International Straits and Navigational Freedoms*. Ocean Development and International Law, (Vol. 24). 1993.
- Schroeder, L. D., Sjoquist, D. L., & Stephan, P. E.** (2016). *Understanding regression analysis: An introductory guide* (Vol. 57). Sage Publications.
- Schwartz, J.** (2004). Air pollution and children's health. *Pediatrics*, 113(Supplement 3), 1037-1043.
- SENES Consultants Limited.** (2004). Review of Methods Used in Calculating Marine Vessel Emission Inventories. Prepared for *Environment Canada*. September 2004.
- Starcrest Consulting Group LLC.** (2004a). Port-Wide Baseline Air Emissions Inventory. Prepared for the *Port of Los Angeles*. June 2004.
- Starcrest Consulting Group LLC.** (2004b). Update to the Commercial Marine Inventory for Texas to Review Emission Factors, Consider a Ton-Mile EI Method, and Revised Emissions for the Beaumont-Port Arthur Non-Attainment Area. Prepared for the *Houston Advanced Research Center*. January 2004.
- Starcrest Consulting Group LLC.** (2005). Port of Los Angeles Baseline Air Emissions Inventory -2001. Prepared for the *Port of Los Angeles*. July 2005.
- Stepanova, N. V., & Fomina, S. F.** (2018). Risks for Population Health from Atmospheric Air Pollution in the City of Kazan. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 6, No. 1, p. 3).

- Sunyer, J., Esnaola, M., Alvarez-Pedrerol, M., Forns, J., Rivas, I., López-Vicente, M., ... & Viana, M.** (2015). Association between traffic-related air pollution in schools and cognitive development in primary school children: a prospective cohort study. *PLoS Med*, 12(3), e1001792.
- Suwanwaiphatthana, W., Ruangdej, K., & Turner-Henson, A.** (2010). Outdoor air pollution and children's health. *Pediatric Nursing*, 36(1), 25.
- Symonides, J.** (1988). *Freedom of Navigation in International Straits*. Polish Yearbook of International Law. (Vol. XVII). 1988.
- Şimşek, D., & Çolak, N. Y.** (2017). Emisyon Kontrol Uygulamalarında Saf Ponza Taşı Kullanabilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 31-41.
- Taşlıgil, N.** (2004). İstanbul Boğazı'nın ulaşım coğrafyası açısından önemi.
- Tayanç, M.** (2000). An assessment of spatial and temporal variation of sulfur dioxide levels over Istanbul, Turkey. *Environmental pollution*, 107(1), 61-69.
- Tayanç, M., Karaca, M., Saral, A., & Ertürk, F.** (1988). Study of the decrease of air pollution concentration levels with the meteorological factors in Istanbul. In *Air Pollution Modeling and Its Application XII* (pp. 699-702). Springer, Boston, MA.
- TBDTDT.** (1998a). *Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü*.
- TBDTDT.** (1998b). *Türk Boğazları Deniz Trafik Düzeni Tüzüğü*. Böl. 3, m.13.
- The Mathworks Inc.** (n.d.a). Resources, Assess Model Performance in Regression Learner. The Matlab R2020a. Erişim tarihi: 11.05.2020, Erişim adresi: <https://www.mathworks.com/help/stats/regression-and-anova.html>
- The Mathworks Inc.** (n.d.b). Resources, Regression, R2020a. Erişim tarihi: 11.05.2020. <https://www.mathworks.com/help/stats/regression-and-anova.html>
- THHP.** (2019). *Kara Rapor*. THHP. 2019. <https://www.ttb.org.tr/userfiles/files/Hava-Kirliliği-ve-Sağlık-Etkileri-Kara-Rapor-2019.pdf>
- TMMOB Çevre Mühendisleri Odası.** (2019). *Hava Kirliliği 2018 Raporu*. http://www.cmo.org.tr/resimler/ekler/9d62b3a2bb620a4_ek.pdf?tipi=67&turu=H&sube=0
- Toluner, S.** (1988). *Rights and Duties of Turkey Regarding Merchant Vessels Passing the Straits*. Turkish Straits New Problems New Solutions, Foundation for Middle East and Balkan Studies, (OBİV). İstanbul. 1995.
- Tong, S., & Colditz, P.** (2004). Air pollution and sudden infant death syndrome: a literature review. *Paediatric and perinatal epidemiology*, 18(5), 327-335.
- Trozzi, C.** (2010). Emission estimate methodology for maritime navigation. *Techne Consulting, Rome*. Erişim tarihi: 01.10.2019. Erişim adresi: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/conference/ei19/session10/trozzi.pdf>
- TSMS.** (2017). State of the Climate in Turkey in 2016, Turkish State Meteorological Service, Ankara, Erişim tarihi: 12.08.2018. www.mgm.gov.tr/files/en-US/State_of_the_Climate_in_Turkey_in_2016.pdf

- TSMS.** (2018). State of the Climate in Turkey in 2016, Turkish State Meteorological Service, Ankara, Erişim tarihi: 12.08.2018. Erişim adresi: www.emcc.mgm.gov.tr/files/State_of_the_Climate_in_Turkey_in_2017.pdf
- TÜİK.** (2017). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi* veritabanı. 2017. Erişim: <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do;jsessionid=8FJDhyCWQJ1zgWYwrsLl31DbCfbhxRc56SbHK4rTJR1MrBSTvSC1!116535747?id=27587>
- TÜİK.** (2019). *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi* veri tabanı. 2019. Erişim: http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059
- UAB.** (n.d.a). *Gemi Cinslerine Göre Yakıt Tüketim Kapasitelerinin Tespiti*. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. Erişim tarihi: 01.01.2019. <https://atlantis.udhb.gov.tr/OTV2/Docs/s44.pdf>
- UAB.** (n.d.b). *Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri*. T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. Denizcilik İstatistikleri Erişim tarihi: 11.03.2020. https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx
- UCL-CRED.** (2018). *EM-DAT: The Emergency Events Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (database), http://emdat.be/emdat_db/
- UNCTAD.** (2015). *United Nations Conference on Trade and Development. Review of Maritime Transport*. p. 5. 2015. Erişim tarihi: 02.03.2018. https://unctad.org/en/PublicationsLibrary/rmt2015_en.pdf
- UNCTAD.** (2017). *United Nations Conference on Trade and Development. Review of Maritime Transport*. 2017.
- UNFCCC.** (2016). *Report of the Technical review of the Sixth National Communication of Turkey*. UN Framework Convention on Climate Change. New York. Erişim: T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editordosya/SixthNationalCommunicationofTurkey.pdf>
- UNFCCC.** (2018). *The Paris Agreement: Essential Elements*. United Nations Climate Change. 2018. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>
- UNICEF.** (2016a). *Clean Air For Children: Executive Summary*. 2016. https://www.unicef.org/publications/files/Clear_the_Air_for_Children_Executive_summary_ENG.pdf
- UNICEF.** (2016b). *Clean Air For Children: The Impact of Air Pollution on Children*. https://www.unicef.org/publications/files/UNICEF_Clear_the_Air_for_Children_30_Oct_2016.pdf
- UN.** (2018). *The World's Cities in 2018*. Data Booklet. United Nations, 2018. https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf
- Url-1**<<http://www.mfa.gov.tr/turk-bocazlari.tr.mfa>>, erişim tarihi 24.05.2019.
- Url-2**<<http://www.havaizleme.gov.tr>>, erişim tarihi 02.06.2019

- Url-3**<<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/standarts.htm>>, erişim tarihi 02.06.2019.
- Url-4**<<http://curia.europa.eu/juris/liste.jsf?num=C-488/15>>, erişim tarihi 04.06.2019
- Url-5**<https://www.harita.gov.tr/images/urun/il_ilce_alanlari.pdf>, erişim tarihi 04.06.2019
- US EPA.** (1999). *Technical Bulletin: Nitrogen oxides (NOx), why and how they are controlled. Clean Air Technology Center.* p. 7. United States Environmental Protection Agency. EPA 456/F-99-006R. November 1999. <https://www3.epa.gov/ttnecatc1/dir1/fnoxdoc.pdf>
- US EPA.** (2007). *Emission Inventories for Ocean-Going Vessels Using Category 3 Propulsion Engines In or Near the United States. Draft Technical Support Document.* United States Environmental Protection Agency. EPA 420-D-07-007 December 2007. <https://nepis.epa.gov/>
- US EPA.** (2009). Current Methodologies in Preparing Mobile Source Port-related Emission Inventories. ICF International.
- US EPA.** (2017). *Annual Report of Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks, 1990- 2017. Executive Summary.* United States Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-04/documents/us-ghg-inventory-2019-chapter-executive-summary.pdf>
- Ünlü, N.** (2002). *The Legal Regime of the Turkish Straits, International Straits of the World.* Martinus Nijhoff Publishers. (Vol. 13. Ed. Mangone G.J.), Netherlands.
- Volk, H. E., Lurmann, F., Penfold, B., Hertz-Picciotto, I., & McConnell, R.** (2013). Traffic-related air pollution, particulate matter, and autism. *JAMA psychiatry*, 70(1), 71-77.
- Wain, D.** (2016). The effects of anthropogenic outdoor air pollution on human health.
- Wang, H., Mao, X., & Rutherford, D.** (2015). Costs and benefits of shore power at the port of Shenzhen. *The International Council on Clean Transportation (ICCT).*
- Warnock, C.** (2014). Harvard draws links between autism and air pollution. https://www.heraldextra.com/news/local/harvard-draws-link-between-autism-and-air-pollution/article_53b6a81e-91ac-58f8-8556-70e6eac70cd1.html
- Winnes, H., Styhre, L., & Fridell, E.** (2015). Reducing GHG emissions from ships in port areas. *Research in Transportation Business & Management*, 17, 73-82.
- Whall, C., Cooper, D., Archer, K., Twigger, L., Thurston, N., Ockwell, D., McIntyre, A., Ritchie, A.** (2010). Quantification of Emissions from Ships Associated with Ship Movements between Ports in the European Community. Report for the *European Commission*. Entec UK Limited, Northwich, Great Britain.
- WHO.** (2005). *Effects of air pollution on children's health and development: a review of the evidence* (No. EUR/05/5046027). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

- WHO.** (2006). *Air Quality Guidelines Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.* World Health Organization.
- WHO.** (2013). *Health effects of particulate matter Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and central Asia.* WHO Regional Office for Europe, Copenhagen. Denmark. 2013. Erişim <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2013/air/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf>
- WHO.** (2018a). *WHO Global Ambient Air Quality Database* (update 2018). <https://www.who.int/airpollution/data/cities/en/>
- WHO.** (2018b). *Ambient Air Pollution: Health impacts. Health risks.* World Health Organization. 2018. <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>
- WHO.** (2018c). *Ambient Air Pollution: Health impacts. Climate impacts.* WHO. 2018. <https://www.who.int/airpollution/ambient/health-impacts/en/>
- WHO.** (2018d). *Ambient (Outdoor) Air Quality and Health. Nitrogen dioxide.* WHO. 2018. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- WHO.** (2018e). *Ambient (Outdoor) Air Quality and Health. Sulphur dioxide.* WHO. 2018. [https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- WHO.** (2019). *Healty Environments for Healtier Populatons: Why Do They matter, and what can we do?* World Health Organization. 2019. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/325877/WHO-CED-PHE-DO-19.01-eng.pdf?ua=1>
- Yang, L., Chen, G., Zhao, J., & Rytter, N. G. M.** (2020). Ship Speed Optimization Considering Ocean Currents to Enhance Environmental Sustainability in Maritime Shipping. *Sustainability*, 12(9), 3649.
- Yel, S.** (2015). Karadeniz (İstanbul) ve Çanakkale Boğazlarında Petrol Taşımacılığı, Kazalar ve Türkiye'nin 1994-1998 Boğazlar Tüzüğü'nü Uygulaması.
- 28898 sayılı Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği.** (2008). *T.C. Resmî Gazete*, 28898, 06 Haziran 2008. Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği Ek-1 ve Ek-2.

EKLER

EK A: EPA metodolojisiinde ana makine tipinin belirlenmesi





EK A**Çizelge A.1 : Derin su limanlarına gelen “Auto Carrier” tipi gemi verileri.**

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Auto Carrier	MSD	<10000	35	6527	1736	16	6211
		10000- 20000	224	10499	2793	18,2	13003
		20000- 30000	28	6620	1761	13	22268
		MSD Toplam	286	9640	2564	17,4	13063
	SSD	<10000	84	7927	2109	17,7	8845
		10000- 20000	2316	10899	2899	18,7	14959
		20000- 30000	621	13239	3522	19,5	24860
		SSD Toplam	3020	11298	3005	18,8	16826
	Auto Carrier Toplam		3306	11155	2967	18,7	16500

Çizelge A.2 : Derin su limanlarına gelen “Barge Carrier” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Barge Carrier	MSD	<25000	1	4461	1200	13,3	4393
		MSD Toplam	1	4461	1200	13,3	4393
	SSD	<25000	1	3916	1053	14	11783
		35000- 45000	20	19463	5236	18	44799
		45000- 90000	19	25041	6736	20	48093
		SSD Toplam	40	21724	5844	18,9	45538
	ST	35000- 45000	5	24196	6509	21,7	41294
		ST Toplam	5	24196	6509	21,7	41294
	Barge Carrier Toplam		45	21779	5859	19,1	44657

Çizelge A.3 : Derin su limanlarına gelen “Bulk Carrier” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Bulk Carrier	MSD	<25000	213	4867	1080	14	15819
		25000- 35000	6	8948	1986	14	29984
		45000- 90000	44	9148	2031	15,2	39128
		35000- 45000	51	9705	2155	14,3	71242
		45000- 90000	1	16109	3576	15,8	105550
		MSD Toplam	314	6360	1412	14,2	28621

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		<25000	1194	5650	1254	14,2	19913
		25000- 35000	2192	7191	1596	14,6	29323
	SSD	45000- 90000	1742	8515	1890	14,7	39875
		35000- 45000	3733	9484	2105	14,4	62573
		45000- 90000	352	14071	3124	14,5	112396
	SSD Toplam		9212	8434	1872	14,5	46746
	ST	<25000	72	6290	1396	15	18314
		25000- 35000	3	8948	1986	15	33373
	ST Toplam		75	6379	1416	15	18819
	Bulk Carrier Toplam		9600	8350	1854	14,5	45936

Çizelge A.4 : Derin su limanlarına gelen “Container Ship” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		<25000	1005	6846	1506	17,2	8638
	MSD	25000- 35000	53	22304	4907	20,6	28500
		35000- 45000	59	26102	5742	22,3	399322
		45000- 90000	248	37650	8283	24	56264
	MSD Toplam		1365	13878	3053	18,8	19419
		<25000	2054	12381	2724	19,1	18776
		25000- 35000	2360	19247	4234	20,5	31205
	SSD	35000- 45000	2443	24755	5446	21,8	40765
		45000- 90000	6209	36151	7953	23,3	58604
		> 90000	98	57325	12612	25	105231
	SSD Toplam		13163	27454	6040	21,9	44513
		<25000	46	20396	4487	20,8	19963
	ST	25000- 35000	89	21066	4635	21	30804
		35000- 45000	41	23362	5184	21	40949
	ST Toplam		176	21472	4724	21	30334
	Container Ship Toplam		14703	26122	5747	21,6	42014

Çizelge A.5 : Derin su limanlarına gelen “General Cargo” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
General Cargo	MSD	<25000	2937	5080	1316	15,1	8268
		25000- 35000	38	9458	2450	15,4	30746
		35000- 45000	1	13728	3556	14,3	40910
		45000- 90000	9	11932	3090	16	50250
		MSD Toplam	2984	5159	1336	15,1	8688
	SSD	<25000	2357	6726	1752	15,4	14409
		25000- 35000	500	7575	1962	14,9	29713
		35000- 45000	1122	9269	2401	15,2	41568
		45000- 90000	405	9336	2418	15,1	47712
		> 90000	6	10628	2753	14,5	134981
		SSD Toplam	4389	7718	1999	15,3	26326
	ST	<25000	18	17897	4635	21	22548
		ST Toplam	18	17897	4635	21	22548
	General Cargo Toplam		7391	6709	1738	15,2	19196

Çizelge A.6 : Derin su limanlarına gelen “Miscellaneous” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Miscellaneous	MSD	Hepsi	51	9405	2530	12,7	6083
	MSD Toplam		51	9405	2530	12,7	6083
	MSD-ED	Hepsi	6	16968	4565	12,7	15795
	MSD-ED Toplam		6	16968	4565	12,7	15795
	SSD	Hepsi	7	4659	1253	14,2	8840
	SSD Toplam		7	4659	1253	14,2	8840
	ST	Hepsi	1	12871	3462	21	16605
	ST Toplam		1	12871	3462	21	16605
	Miscellaneous Toplam		64	9564	2573	13	7311

Çizelge A.7 : Derin su limanlarına gelen “Passenger” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Passenger	MSD	<10000	1011	22024	6123	20,2	5976
		10000- 20000	24	96945	26951	28,5	15521

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		MSD Toplam	1035	23762	6606	20,4	6197
		<10000	1964	39095	10868	20,9	7345
	MSD -ED	10000- 20000	228	53236	14800	22	10924
		MSD-ED Toplam	2192	40566	11277	21,1	7717
		<10000	189	23595	6559	20,1	6235
	SSD		189	23595	6559	20,1	6235
		SSD Toplam					
	GT-ED	10000- 20000	143	44428	12351	24	11511
		GT-ED Toplam	143	44428	12351	24	11511
		<10000	13	16858	4687	21,2	6981
	ST		52	29982	8335	18	1390
		10000- 20000					
		ST Toplam	65	27357	7605	18,6	12564
		Passenger Toplam	3623	34800	9574	20,9	7443

Çizelge A.8 : Derin su limanlarına gelen “Reefer” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		<10000	122	4829	1961	16,3	5646
	MSD		60	12506	5077	20	11632
		10000- 20000					
		MSD Toplam	182	7360	2988	17,5	7619
		<10000	464	6539	2655	18	7267
	SSD		801	12711	5161	20,8	13138
		10000- 20000					
		SSD Toplam	1265	10449	4242	19,7	10986
		Reefer Toplam	1447	10060	4084	19,5	10562

Çizelge A.9 : Derin su limanlarına gelen “Ro-Ro” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		<10000	892	7840	2031	15,5	6641
		10000- 20000	286	9312	2412	17	11338
	MSD		31	22386	5798	21	31508
		> 30000					
		MSD Toplam	1208	8561	2217	16	8389
		<10000	132	7240	1875	15	4695
		10000- 20000	208	9062	2347	16,9	14293
	SSD		31	12781	3310	18,9	22146
		20000- 30000					
		> 30000	555	20362	5274	18,9	42867

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		SSD Toplam	925	15702	4067	17,9	30321
	GT	> 30000	1	47076	12193	24	36827
		GT Toplam	1	47076	12193	24	36827
	ST	10000- 20000	2	22373	5795	25	16144
		20000- 30000	1	22373	5795	25	22501
		ST Toplam	3	22373	5795	25	18687
		Ro-Ro Toplam	2137	11687	3027	16,8	17910

Çizelge A.10 : Derin su limanlarına gelen “Tanker” tipi gemi verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		<30000	650	4888	1031	14,3	11415
	MSD	30000- 60000	181	10533	2222	15,3	42153
		60000- 90000	148	9782	2064	14,7	74245
		90000- 120000	3	15139	3194	14,1	113957
		MSD Toplam	981	6697	1413	14,6	26847
		<30000	3050	6303	1330	14,6	17145
		30000- 60000	3752	9021	1903	14,9	41677
	SSD	60000- 90000	1766	10310	2175	14,6	74595
		90000- 120000	2835	12318	1599	14,6	101116
		120000- 150000	258	15840	3342	14,7	144405
		> 150000	487	16888	3563	15,2	166394
		SSD Toplam	12147	9755	2058	14,7	61353
	GT-ED	30000- 60000	13	7592	1602	14,5	39839
		GT-ED Toplam	13	7592	1602	14,5	39839
		<30000	2	13534	2856	18	27235
		30000- 60000	87	15818	3338	17,9	43982
	ST	60000- 90000	73	26848	5665	18,9	70108
		90000- 120000	4	17660	3726	16,3	91868
		120000- 150000	3	19125	4035	16	122409
		> 150000	2	20785	4386	14,3	190111
		ST Toplam	170	20678	4363	18,2	58616
		Tanker Toplam	13310	9667	2040	14,8	58754

Çizelge A.11 : “Great Lake” için “Bulk Carrier” verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Bulk Carrier	MSD	10000- 20000	9	4413	980	15,3	11693
		20000- 30000	4	8826	1959	14	28481
		30000- 40000	11	6001	1332	13,5	32713
		MSD Toplam	24	5876	1305	14,5	24125
	SSD	10000- 20000	18	4844	1075	13,6	14392
		20000- 30000	208	6995	1553	14,6	27486
		30000- 40000	223	8284	1839	14,4	34172
		SSD Toplam	449	7549	1676	14,3	30282
	ST	20000- 30000	23	6910	1534	15,5	26513
		ST Toplam	23	6910	1534	15,5	26513
	Bulk Carrier Toplam		496	7438	1651	14,4	29809

Çizelge A.12 : “Great Lake” için “Self Unloading Bulk Carrier” verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
Self Unloading Bulk Carrier	MSD	10000- 20000	5	3114	691	10,5	12513
		20000- 30000	12	6436	1429	15	28591
		30000- 40000	771	6881	1528	13,2	33531
		> 40000	67	12140	2695	13,5	65089
		MSD Toplam	855	7265	1613	13,3	35812
	SSD	20000- 30000	275	6659	1478	15	26504
		30000- 40000	122	7574	1681	14,9	34476
		SSD Toplam	397	6940	1541	14,9	28954
	ST	<10000	26	3236	718	12,3	4538
		10000- 20000	93	4750	1055	13,6	16830
		20000- 30000	79	6679	1483	16,6	28847
		ST Toplam	198	5321	1181	14,6	20011
	Self Unloading Bulk Carrier Toplam		1450	6910	1534	13,9	31776

Çizelge A.13 : “Great Lake” için “General Cargo” verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
	MSD	<10000	87	4436	847	15,1	6755

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
		10000- 20000	6	5939	1134	16,5	12497
		MSD Toplam	93	4533	866	15,2	7125
General		<10000	3	4763	910	16,4	6708
Cargo	SSD	10000- 20000	7	6280	1199	14,1	16993
		20000- 30000	1	7099	1356	16	24432
		30000- 40000	6	8827	1686	15	30900
		SSD Toplam	17	6959	1329	14,9	20524
		General Cargo Toplam	110	4908	937	15,1	9196

Çizelge A.14 : “Great Lake” için “Tanker” verileri.

Gemi Tipi	Ana Makine Tipi	DWT Aralığı	Çağrı Sayısı	Ana Mk. Gücü (kW)	Yardımcı Mk. Gücü (kW)	Seyir Hızı (kts)	DWT
	MSD	10000- 20000	42	3972	838	13,5	10475
		MSD Toplam	42	3972	838	13,5	10475
Tanker	SSD	10000- 20000	5	5160	1089	14,3	13735
		SSD Toplam	5	5160	1089	14,3	13735
		Tanker Toplam	47	4098	865	13,6	10822



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Cenk AY
Doğum Tarihi ve Yeri : 26.07.1989-Salihli
E-posta : cenk.ay@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lise** : 2007, Salihli Türk Birliği Lisesi
- **Lisans** : 2012, İTÜ Denizcilik Fakültesi,
Deniz Ulaştırma ve İşletme Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2018 – Devam : İTÜ Denizcilik Fakültesi
Araştırma Görevlisi
- 2014 – 2018 : DİTAŞ Deniz İşletmeciliği ve Tankerciliği A.Ş.
Uzakyol Vardiya Zabiti ve Uzakyol Birinci Zabiti
- 2013 – 2013 : İnce Denizcilik ve Ticaret A.Ş.
Uzakyol Vardiya Zabiti
- 2012 – 2013 : Dünya Denizcilik ve Tankercilik A.Ş.
Uzakyol Vardiya Zabiti