


İstanbul Boğazı'nda Transit Geçiş Yapan Gemilerin Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi

*¹Aydın Tokuşlu, ²Selmin Burak

¹Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, aydintokuslu78@gmail.com, 

²İstanbul Üniversitesi, sburak@istanbul.edu.tr, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 18.03.2020

Kabul Tarihi: 03.01.2021

Öz

Gemilerden salınan sülfür oksit, azot oksit ve partiküler madde emisyonlarının, insan ve çevre sağlığı üzerinde doğrudan zararlı etkisi yapılan bilimsel çalışmalarla ortaya konulmuştur. İstanbul ilinin nüfusunun yaklaşık %30'u (yaklaşık 4/5 milyon) İstanbul Boğazı'na yaklaşık 3/4 km mesafede yaşamaktadır ve Boğaz'da meydana gelen hava kirliliğine (NO_x, SO_x ve PM emisyonları) sürekli maruz kalmaktadır. Bu çalışmada, 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan transit gemi trafiği (43.541 gemi) incelenmiş ve bu gemilerin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 5.294 ton SO_x, 937.017 ton CO₂, 692 ton PM ve 693 ton VOC olarak hesaplanmıştır. Emisyon sonuçları yüksek seviyede bulunmuş olup, ihmal edilebilecek bir oranda değildir. Bu çalışma ile transit gemi trafiği emisyonlarının envanteri çıkarılmıştır. Bu deniz emisyonu envanterinin yanında Boğaz'daki yerel gemi trafiğinin, motorlu taşıtların, sanayi ve evsel ısınmanın da ortaya çıkardığı emisyonların hesaplanarak eklenmesi çok önemlidir. Emisyon envanteri, gelecek yıllar için İstanbul ilinde oluşacak hava kirliliği ve bu alanda alınabilecek tedbirler hakkında bize bilgi verecektir.

Anahtar Kelimeler: İstanbul Boğazı, hava kirliliği, emisyon, gemi trafiği, çevre kirliliği

Examination of Exhaust Gas Emissions of Transit Ships in the Istanbul Strait

*¹Aydın Tokuşlu, ²Selmin Burak

¹Turkish Naval Forces, aydintokuslu78@gmail.com

²Istanbul University, sburak@istanbul.edu.tr

Abstract

Scientific studies have showed that sulfur oxide, nitrous oxide, and particulate matter emissions emitted from ships have a direct harmful effect on human and environmental health. Approximately 30% (approximately 4/5 million) of the population of Istanbul city live about 3/4 km from the Istanbul Strait and are constantly exposed to air pollution (NO_x, SO_x, and PM emissions) occurring in the Istanbul Strait. In this study, transit ship traffic (43,541 ships) crossing the Istanbul Strait in 2015 was examined and the flue gas emissions generated by these ships were calculated as 18,324 tons of NO_x, 2,138 tons of CO, 5,294 tons of SO_x, 937,017 tons of CO₂, 692 tons of PM and 693 tons of VOC. Emission results have been found at a high level and not at a negligible rate. With this study, the inventory of transit ship traffic emissions has been created. In addition to this marine emission inventory, it is very important to add and calculate the emissions caused by local ship traffic, motor vehicles, industry, and domestic warming in the Strait. The emission inventory will inform us about the air pollution that will occur in Istanbul for the coming years and the measures that can be taken in this area.

Keywords: Istanbul Strait, air pollution, emission, vessel traffic, environmental pollution

1. GİRİŞ

Uluslararası deniz taşımacılığı diğer taşıma şekillerine göre en yeşil taşımacılık şekli olmasına ve beher kilometre başına taşınan birim yükte en düşük karbondioksit emisyonunu salmasına rağmen, küresel karbondioksit (CO₂) emisyonlarının %3,3'ünden sorumludur [1] (Şekil 1).

Gemilerin salınım yaptığı CO₂, azot oksit (NO_x) ve sülfür oksit (SO_x) emisyonları, küresel sera gazı emisyonlarının sırasıyla yaklaşık %2, %11 ve %4'ünü oluşturmaktadır [2]. Globalleşen dünyada enerji ve ham madde ihtiyacının yüksek seviyede olması sebebiyle en maliyet-etkin taşımacılık olan deniz taşımacılığı her geçen gün daha fazla tercih edilmektedir. Ancak, gemilerin ortaya çıkardığı hava

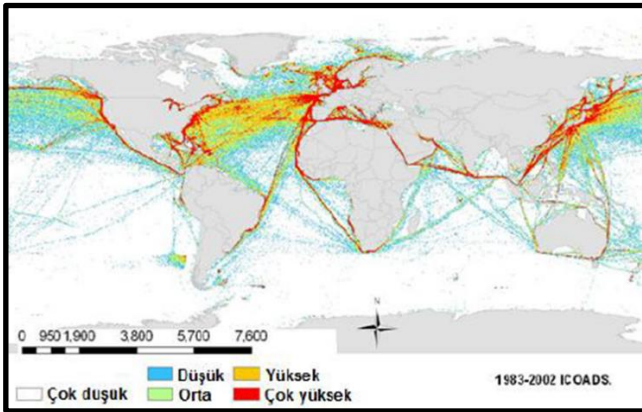
*¹Sorumlu Yazar: Türk Deniz Kuvvetleri Komutanlığı, aydintokuslu78@gmail.com, 05066905844

emisyonlarının insan ve çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri bulunmaktadır.

Corbett vd. [3] yaptıkları bir çalışmaya göre, gemi baca gazı emisyonları sebebiyle yılda 60.000 kişinin akciğer kanseri ve kardiyopulmoner (kalp ve akciğer fonksiyonlarının durması) hastalığı nedeniyle öldüğü ve bu ölümlerin başta Avrupa, Doğu ve Güney Asya kıyılarında ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Sofiev vd. [4] gemi kaynaklı emisyonların 2020'de akciğer kanseri ve kardiyovasküler rahatsızlıktan dolayı yaklaşık 1 milyon kişinin erken ölümüne neden olacağını, Anenberg vd. [5] 2015'teki küresel taşımacılık kaynaklı erken ölümlerin %16'sının veya yaklaşık 60.000 kişinin ölümünün uluslararası gemi taşımacılığı kaynaklı olduğunu analiz etmiştir.

Dünya Sağlık Örgütü 2008 yılında yaptığı bir çalışmada, her yıl dış ortam hava kirliliği sebebiyle 1,3 milyon bebeğin prematüre olarak öldüğünü ve bu ölümlerin çoğunun (yaklaşık 800.000 kadarının) Asya kıtasında meydana geldiğini ortaya koymuştur [6].

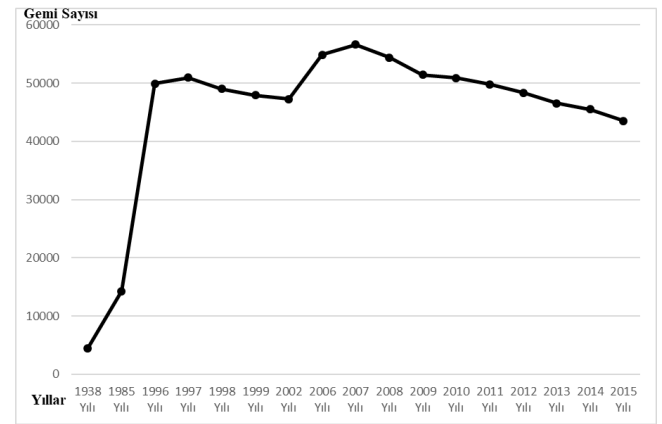
Kalkınma ve Ekonomik İşbirliği Örgütü tarafından 2012 yılında yapılan bir projeksiyona göre, partiküler madde (PM) nedeniyle erken ölümler 2050 yılına kadar iki kattan fazla artacak ve yıllık 3,6 milyonu bulacaktır. Bu ölümlerin en fazla Çin ve Hindistan'da görüleceği belirtilmiştir. Dünyada PM_{2.5} kirliliği sebebiyle 500.000'den fazla insanın her yıl yaşamını kaybettiği tahmin edilmektedir [7][8].



Şekil 1. Dünyada uluslararası deniz taşımacılığı yoğunluğu [1]

Uluslararası deniz ticaretinin kullandığı yoğun ticari deniz güzergahlarından biri de İstanbul Boğazı'dır. İstanbul Boğazı'nın doğal yapısı sebebiyle geçiş yapan transit gemilerin sayıları artmamakta, mevcut artış gemilerin boyları ve tonajları ile olmaktadır [9]. Gemi baca gazı emisyonlarının hesaplanmasında gemi makine büyüklükleri ve tonajları önemli bir parametredir. Gemilerin büyüklükleri ile birlikte tonajlarının ve makinelerinin de büyümesi sonucu gemi kaynaklı baca gazı kirliliği aynı paralelede artış göstermektedir. Büyük tonajlı gemiler hareket etmek için daha büyük makinelere ihtiyaç duymakta ve büyük makineler de daha fazla yakıt tüketerek emisyon salınımının artmasına neden olmaktadır [10]. Ortaya çıkan emisyon

salınımı da insan ve çevreyi olumsuz etkilemektedir. Boğaz'dan geçiş yapan transit gemilerin yıllara göre geçiş sayıları Şekil 2'de sunulmuştur. Şekil 2'ye göre Boğaz'dan 1938 yılında geçiş yapan gemi sayısı 4.500 iken, 2015 yılı itibarıyla bu sayı 43.541 gemiyi bulmuştur [9]. Transit geçiş yapan gemilerin sayısı 2007 yılına kadar artarken, 2007 yılından sonra azalmaya başlamıştır. 2007 yılından sonra küçük tonajlı ve küçük ebatlı gemiler yerine, daha maliyet-etkin büyük tonajlı gemiler Boğaz'dan geçiş yapmaya başlamıştır. *Bu değişimin başlıca sebebi enerji boru hatları güzergahlarının değişmesi ve gemi acente sahiplerinin aynı iş için büyük tonajlı gemiler tercih etmeleridir* [10].



Şekil 2. İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan transit gemilerin yıllara göre geçiş sayıları [9].

Gemi baca gazı emisyonları ve İstanbul Boğazı'nda gemi emisyonları ile ilgili olarak literatürdeki çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların başında; Eyring vd. [11] gemi baca gazlarının insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkilerini analiz etmiş, gemi baca gazı emisyonlarının etkilerinin %70'inin kıyı şeridinden itibaren 400 km alan içerisinde daha fazla hissedildiği, bu emisyonların insan ve çevre sağlığını sürekli tehdit ettiğini ortaya koymuştur.

Vianna vd. [12] Avrupa kıyı bölgesinde yapılan deniz taşımacılığının ortaya çıkardığı emisyonların hava kalitesine etkilerini incelemiştir. Deniz taşımacılığı emisyonlarından partiküler maddelerin büyüklüklerine göre dağılımı, kıyı bölgesinde yaşayan nüfusun emisyonlara maruz kalma etkileri ve emisyonların atmosferik çökelmeleri de incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda Avrupa denizleri kıyı alanlarında gemi emisyonlarının ortaya çıkardığı partiküler madde emisyonlarının, havada oluşan partiküler madde kirliliğinin %1-7'sinin PM₁₀, %1-14'ünün PM_{1.5} ve en az %11'inin PM₁'in oluşturduğu hesaplanmıştır.

Jalkanen vd. [13] tarafından 2006-2009 yılları arasında Baltık Denizi'ndeki gemi trafiğinin ortaya çıkardığı egzoz gazı emisyonlarının (CO₂, NO_x, SO_x, CO ve PM_{2.5}) emisyon envanteri yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında Baltık Denizi'nin SECA bölgesi ilan edilmesinden (Mayıs 2006) önce ve sonraki zamana ait gemi emisyonları da karşılaştırılmıştır. 2009 yılı NO_x emisyonlarının 2006 yılına göre %7 daha fazla arttığı, 2009 yılı SO_x emisyonlarının

2006 yılına göre %14 azaldığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin ise Baltık denizinin SECA ilan edilmesinin faydalı etkilerinin görülmesi olarak çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Keskin ve Vardar [14] İstanbul ve Çanakkale Boğazı'larından geçiş yapan transit gemiler ile yerel gemi trafiğinin ortaya çıkardığı emisyonları incelemiştir. İstanbul Boğazı'ndaki yerel trafik emisyon sonucu 2.720 ton NO_x, 383 ton CO, 170.491 ton CO₂, 129 ton VOC, 80 ton PM ve transit gemi emisyon sonucu 4.344 ton NO_x, 403 ton CO, 173.362 ton CO₂, 131 ton VOC, 65 ton PM bulunmuştur. Yapılan çalışmada transit gemi emisyonlarının toplam gemi emisyonlarının %51'i oranında olduğu, hesaplanan NO_x gemi emisyonları toplamının İstanbul ilindeki motorlu taşıtların NO_x emisyonu toplamının %10'una karşılık geldiği tespit edilmiştir. Transit gemi tiplerinden genel kargo gemilerinin en çok emisyon salınımını yapan gemiler olduğu, onu tanker gemilerinin takip ettiği, Boğazlardan transit gemi geçişlerinin her yıl %5 oranında artmasının beklendiği ve aynı paralelde gemi baca gazı emisyonlarının da %5 oranında artacağı hesaplanmıştır.

Deniz ve Durmuşoğlu [15], Marmara Denizi'ndeki gemi trafiğini incelemiş ve emisyon analizi yapmıştır. Yapılan analize göre 2003 yılındaki gemi trafiğinin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 5.451.224 ton CO₂, 111.039 ton NO_x, 87.168 ton SO₂, 20.281 ton CO, 5.801 ton VOC ve 4.762 ton PM olarak bulunmuştur. Bu emisyon salınımının, Türkiye genelindeki toplam emisyon çeşitlerinden %11 oranında NO_x, %0,1 oranında CO ve %0,12 oranında PM emisyonunu oluşturduğu tespit edilmiştir. Türk Boğazlarındaki gemi kaynaklı emisyonların, Marmara Denizi'ndeki emisyonlarının %20'sini oluşturduğu, Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı emisyonların Türkiye'deki demiryolu ve hava yolu emisyonlarından daha fazla olduğu, kara yolu emisyonlardan ise daha az olduğu bulunmuştur. Yapılan analizde, Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı NO_x, SO₂ ve CO₂ emisyon miktarlarının küresel toplam gemi emisyonlarının %1'ini oluşturduğu tespit edilmiştir. 2010 yılına kadar Marmara Denizi'ndeki gemi kaynaklı emisyon miktarının %30 oranında artış göstereceği analiz edilmiştir.

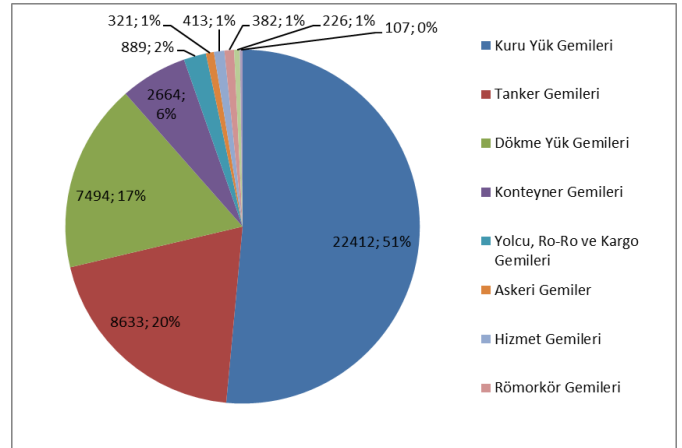
Bayırhan vd. [16] tarafından 2017 yılına ait İstanbul Boğazı'nda yerel trafiğin (Deniz Otobüsleri, Şehir Hatları, Turyol ve Dentur yolcu motorları) seyir, manevra ve günlük çalışma durumlarında ortaya çıkardıkları emisyonları analiz etmiştir. Yapılan çalışma sonucunda 151 adet deniz vasıtasının emisyonları, 767 ton NO_x, 79 ton TSP ve 34 ton Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu çalışmada 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan geçiş yapan transit gemilerin özellikleri incelenmiş ve ortaya çıkardıkları baca gazı emisyonları analiz edilmiştir. Analiz sonuçları literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve İstanbul Boğazı için deniz emisyon envanteri oluşturmaya çalışılmıştır.

2. MALZEME ve YÖNTEM

2.1. Transit geçiş yapan gemilerin özellikleri

2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan 43.541 adet gemi transit geçiş yapmış olup, gemi bilgileri Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü'nden elde edilmiştir [9]. Transit geçiş yapan gemilerin tiplerine göre dağılımı Şekil 3'te sunulmuştur. Geçiş yapan gemilerin %51'ni kuru yük gemileri, %20'sini tanker gemileri, %17'sini dökme yük gemileri, %6'sını konteyner gemileri, %2'sini yolcu, ro-ro ve kargo gemileri ve kalan %4'ünü ise yolcu gemileri, askeri gemiler, römorkör gemileri, yelkenli gemiler ve hizmet gemileri oluşturmaktadır.

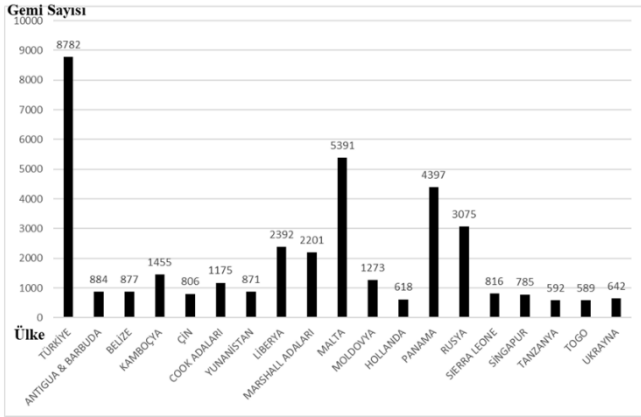


Şekil 3. 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan transit geçiş yapan gemilerin tiplerine göre dağılımı [9]

Geçiş yapan transit gemilerin bayrak devletleri dağılımı Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu dağılıma göre 43.541 adet geminin;

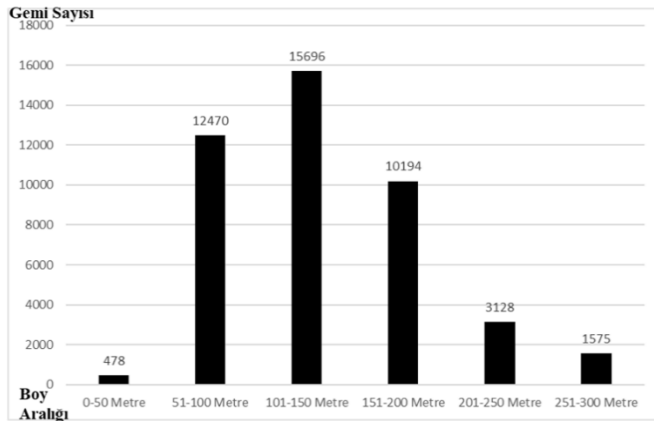
- 8.782 adedi (%22'si) Türkiye bayraklı,
- 5.391 adedi (%13'ü) Malta bayraklı,
- 4.397 adedi (%11'i) Panama bayraklı,
- 3.075 adedi (%8'i) Rusya bayraklı,
- 2.392 adedi (%6'sı) Liberya bayraklı,
- 2.201 adedi (%5'i) Marshall Adaları bayraklı,
- 1.455 adedi (%4'ü) Kamboçya bayraklı,
- 1.273 adedi (%3'ü) Moldovya bayraklı,
- 1.175 adedi (%3'ü) Cook Adaları bayraklı,
- 884 adedi (%2'si) Antiqua & Barbuda bayraklı,
- 877 adedi (%2'si) Belize bayraklı,
- 871 adedi (%2'si) Yunanistan bayraklı,
- 816 adedi (%2'si) Sierra Leone bayraklı,

ve geri kalan %15'i ise Ukrayna, Çin, Hollanda, Singapur, Togo, Tanzanya bayraklı gemilerdir [10]



Şekil 4. Transit gemilerin bayrak devletleri dağılımı

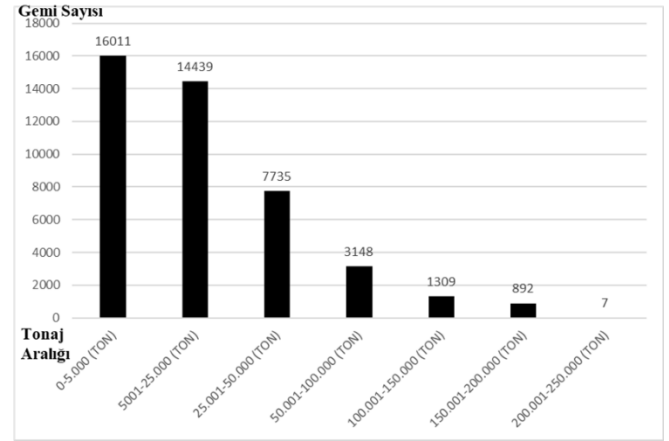
Transit geçiş yapan gemilerin gemi boy uzunlukları kolay hesaplama yapılabilmesi amacıyla 0-50 metre, 51-100 metre, 101-150 metre, 151-200 metre, 201-250 metre ve 250-300 metre aralıklara bölünmüştür. Buna göre boy uzunluğu 0-50 metre arasında 478 adet gemi (%1), 51-100 metre arasında 12.470 adet gemi (%29), 101-150 metre arasında 15.696 adet gemi (%36), 151-200 metre arasında 10.194 adet gemi (%23), 201-250 metre arasında 3.128 adet gemi (%7) ve 251-300 metre arasında 1.575 adet gemi (%4), İstanbul Boğazı'ndan 2015 yılında geçiş yapmıştır. Boğazdan transit gemi geçiş yoğunluğunu boyu 51-100 metre, 101-150 metre ve 151-200 metre arası toplam 38.630 adet gemi oluşturmaktadır [10]. Bu boy aralığındaki gemiler hem tonaj hem de makina gücü açısından en çok emisyon salınımları oluşturan gemilerdir. Transit gemilerin boy uzunluklarına göre dağılımı Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5. 2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan transit geçiş yapan gemilerin boy uzunluklarına göre dağılımı

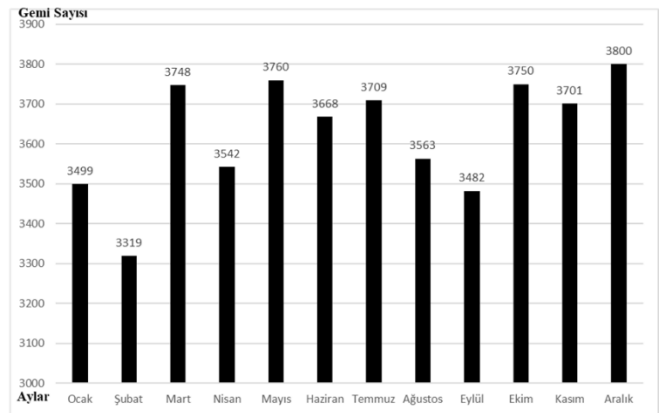
Transit geçiş yapan gemiler tonajları açısından 0-5.000 ton, 5.001-25.000 ton, 25.001-50.000 ton, 50.001-100.000 ton, 100.001-150.000 ton, 150.001-200.000 ton, 200.001-250.000 ton aralıkları ayrılmıştır. Geçen gemilerin 16.011 adedi 0-5.000 ton aralığında, 14.439 adedi 5.001-25.000 ton aralığında, 7.735 adedi 25.001-50.000 ton aralığında, 3.148 adedi 50.001-100.000 ton aralığında, 1.309 adedi 100.001-150.000 ton aralığında, 892 adedi 150.001-200.000 ton

aralığında, 7 adedi 200.001-250.000 ton aralığında bulunmaktadır. 0-5.000 ton ile 5.001-25.000 ton aralığındaki 30.450 adet geminin Boğazdan geçişin çoğunluğunu oluşturduğu, bir senelik Boğaz trafiğinin %70'ini oluşturduğu görülmektedir [10]. Geçen gemilerin tonaj dağılımları Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Geçen gemilerin tonaj dağılımları

Aylık transit gemi geçişleri ise Şekil 7'de sunulmuştur. Gemi geçişlerinin en çok Aralık ayında olduğu, onu Mayıs, Kasım ve Mart aylarının takip ettiği, en az gemi geçişlerinin Şubat ve Eylül ayları olduğu görülmektedir.



Şekil 7. İstanbul Boğazı'nda 2015 yılı aylık transit gemi geçişleri

2.2. Emisyon analiz yöntemi

Gemi baca gazı emisyonlarının hesaplanması için literatürde kullanılan çeşitli analiz metodolojileri bulunmaktadır. Bunların başında literatürde sıklıkla kullanılan Carlo Trozzi ve Rita Vaccaro isimli İtalyan akademisyenlerin hazırladığı emisyon analiz metodolojisi bulunmaktadır. Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğünden elde ettiğimiz gemi geçiş bilgilerine (gemi tipi, tonajı, gemi sürati ve seyir süresi) göre Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisi baca gazı emisyonlarının hesaplanması için kullanılmıştır. Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisi Microsoft Office Excel'deki Visual Basic Applications ile formüle edilerek analiz modeli oluşturulmuştur. Trozzi ve Vaccaro Metodolojisi

[17][18][19] gemi baca gazı emisyonları analizi formülü (1) aşağıda gösterilmiştir.

$$E_i = \sum jklm E_{ijklm} \quad (1)$$

$$E_{ijklm} = S_{jkm}(GT) * t_{jklm} * F_{ijlm}$$

$$S_{jkm}(GT) = C_{jkm}(GT) * P_m$$

i: Gemi baca gazları (SO_x, NO_x, CO₂, CO, PM, VOC)

j: Kullanılan yakıt

k: Gemi tipi

l: Makine tipi

m: Hareket modu (seyir, manevra, liman/demir)

E_i: Toplam emisyon

E_{ijklm}: Geminin m hareket moduna göre l makine tipi ve k gemi tipine göre kullanılan j tipi yakıtın toplam i kirlilik emisyonu

S_{jkm}(GT): Gemi gros tonajına göre k tipi geminin m seyir moduna göre j tipi kullanılan yakıt miktarı

t_{jklm}: Geminin m hareket moduna göre l makine tipi ve k gemi tipine göre kullanılan j tipi yakıtın günlük seyir süresi

F_{ijlm}: Geminin m hareket moduna göre l makine tipi ve kullanılan j tipi yakıtın oluşturduğu i kirlilik emisyonunun ortalama emisyon faktörü

C_{jkm}(GT): Gemi gros tonajına göre k gemi tipine göre tam güçte tükettiği günlük j tipi kullanılan yakıt miktarı

P_m: Geminin m hareket moduna göre kullandığı yakıt miktarının, tam yükteki yakıt miktarına oranı

Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisine [17] göre sülfür oksit (SO_x) emisyonu hesaplama formülü (2) aşağıda sunulmuştur.

$$SO_x \text{ Gemi Emisyonu} = [(Gemi \ Tipine \ Göre \ Ort. \ Tük. * Gemi \ Tonajı) * Gemi \ Hareket \ Modu * Gemi \ Seyir \ Süresi] * Gemi \ Adedi / 1000 * Hareket \ Modu \ Emisyon \ Faktörü \quad (2)$$

Diğer kirlenici gazların (NO_x, CO₂, CO, PM, VOC) hesaplaması için yukarıdaki formülün aynısı kullanılır ve kirlenici gaz için teker teker hesaplama yapılır. Gemi tiplerine ve tonajlarına göre gemi emisyonları değişmektedir. Emisyon hesaplamasında gemilerin tiplerine, tonajlarına, makine tiplerine göre gemilerin sınıflandırılarak hesaplamaya katılması çok önemlidir. Emisyon hesaplamasında gemi tonajının yanında geminin seyirde yaptığı seyir sürati ve seyir süresi de bir diğer önemli parametredir. Trozzi ve Vaccaro emisyon analiz metodolojisine [17] göre gemilerin tiplerine ve tonajlarına göre harcaacakları günlük yakıt tüketimi hesaplanmış olup, sonucu Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Gemilerin günlük yakıt tüketimi [17]

| Gemi Tipi | Günlük Ortalama Tüketim (Ton) | Gemi Tonajına Göre Günlük Yakıt Tüketimi (Ton) |
|--------------------------------------|-------------------------------|---|
| Dökme Yük Gemisi | 33,80 | C _{jk} = 20,186 + 0,00049 * Gemi Tonajı |
| Tanker | 41,15 | C _{jk} = 14,685 + 0,00079 * Gemi Tonajı |
| Kuru Yük Gemisi | 21,27 | C _{jk} = 9,8197 + 0,00143 * Gemi Tonajı |
| Konteyner | 65,88 | C _{jk} = 8,0552 + 0,00235 * Gemi Tonajı |
| Yolcu / Ro-Ro / Kargo | 32,28 | C _{jk} = 12,834 + 0,00156 * Gemi Tonajı |
| Yolcu Gemisi | 70,23 | C _{jk} = 16,904 + 0,00198 * Gemi Tonajı |
| Hızlı Feribot | 80,42 | C _{jk} = 39,483 + 0,00972 * Gemi Tonajı |
| Koster | 21,27 | C _{jk} = 9,8197 + 0,00143 * Gemi Tonajı |
| Gezi tekneleri / Yatlar | 3,38 | C _{jk} = 0,42682 + 0,00100 * Gemi Tonajı |
| Römorkörler | 14,35 | C _{jk} = 5,6511 + 0,01048 * Gemi Tonajı |
| Balıkçı Gemisi | 5,51 | C _{jk} = 1,9387 + 0,00448 * Gemi Tonajı |
| Diğer (Askeri, Hizmet Tekneleri vb.) | 26,40 | C _{jk} = 9,7126 + 0,00091 * Gemi Tonajı |
| Tüm Gemiler Ortalama | 32,78 | C _{jk} = 16,263 + 0,001 * Gemi Tonajı |

Gemilerin yaptıkları hareketin modlarına (seyir, manevra, liman/demir) göre ana ve yardımcı makineleri kullanma durumları değişmektedir. Seyir halinde gemiler ana makinelerini kullanırken, manevra ve aborda durumlarında ana makinelerini düşük devirde kullanmakta, yardımcı makineleri (jeneratör) ise tam yükte çalıştırmaktadırlar [10]. Bu sebeple gemilerin yaptıkları emisyonların büyük bölümü, gemiler intikalde iken ve ana makinelerini kullanırken meydana gelir. Gemilerin ana ve yardımcı makine yük faktörleri Tablo 2'de belirtilmiştir. Bu tabloya göre gemiler ana makine gücünün seyirde %80'ini, manevrada ise %40'ını kullanmaktadır. Bunun sebebi gemi ana makinelerinin acil durumlar haricinde %100 oranda çalıştırılmaması, ana makinelerin fazla yorulmayarak uzun ömürlü olmasının ve yakıtta ekonomik kullanımın sağlanmasıdır. İstanbul Boğazı'ndan geçen gemiler, Boğazdan transit geçiş yaptıkları için analizde transit gemilerin sadece seyir modu hesaplamaya katılmış ve Trozzi ve Vaccaro analiz metodolojisindeki seyir modu emisyon faktörleri kullanılmıştır. Seyir modu emisyon faktörleri Tablo 3'te sunulmuştur. Emisyon analiz hesaplamalarına manevra, liman/demir modu ve yardımcı makine emisyonları dahil edilmemiştir.

Tablo 2. Ana ve yardımcı makine yük faktörleri [17]

| Hareket Modu | Ana Makine Yük Faktörü | Jeneratör Yük Faktörü | Jeneratör Sayısı |
|--------------|------------------------|-----------------------|------------------|
| Seyir | %80 | %75 | 1 |
| Manevra | %40 | %75 | 2 |
| Liman/Demir | %0 | %75 | 1 |

Tablo 3. Seyir modu emisyon faktörleri (kg kirlilik/ton yakıt) [18]

| Makine Tipi | NO _x | CO | CO ₂ | VOC | PM | SO _x |
|----------------------|-----------------|-----|-----------------|-----|------|-----------------|
| Yüksek Devirli Dizel | 60 | 2,8 | 3.200 | 1,0 | 0,52 | 10 |
| Orta Devirli Dizel | 57 | 7,4 | 3.200 | 2,4 | 1,2 | 10 |
| Ağır Devirli Dizel | 87 | 7,4 | 3.200 | 2,4 | 7,6 | 54 |
| Gaz Türbini | 18 | 0,8 | 3.200 | 0,3 | 0,01 | 10 |

Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü tarafından temin edilen transit gemi geçiş bilgilerinde gemi isimleri bulunmamakta olup, gemilerin ana makine özellikleri gerçek olarak bulunamamıştır. Dünya ticaret filosunun, %66'sını ağır devirli dizel makineleri, %32'sini orta devirli dizel makineler ve %2'sini ise yüksek devirli dizel makineler, stım türbinli ve gaz türbinli gemiler oluşturmaktadır. [20][21]. Bu çalışmadaki baca gazı emisyon analizinde de literatürde kullanılan ve yukarıda belirtilen genel kabuller referans alınarak Boğaz'dan geçen gemilerin %66'sının ağır devirli dizel makinelere, %32'sinin orta devirli dizel makinelere ve %2'sinin yüksek devirli dizel makinelere sahip olduğu düşünülerek hesaplamaya bu şekilde katılmıştır.

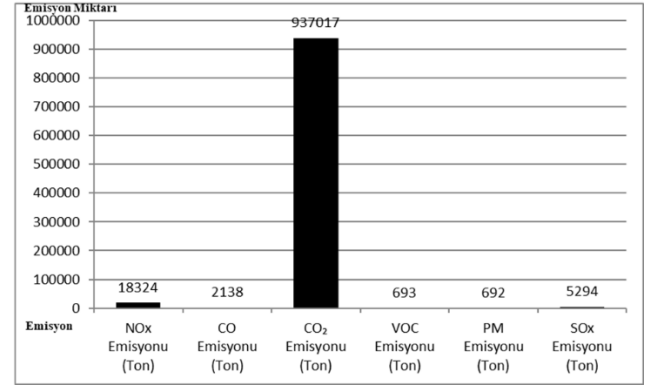
3. BULGULAR

Gemi baca gazlarının ortaya çıkardığı emisyon kirliliği türleri;

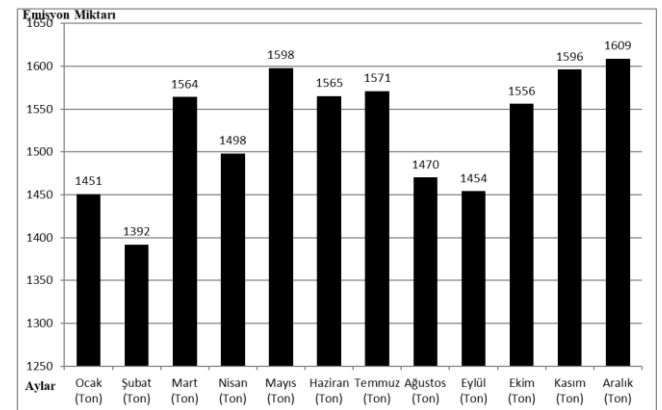
- Azot oksit (NO_x),
- Sülfür oksit (SO_x),
- Karbondioksit (CO₂),
- Karbonmonoksit (CO),
- Partiküler madde (PM),
- Uçucu organik bileşikler (VOC),
- Hidrokarbonlar (HC).

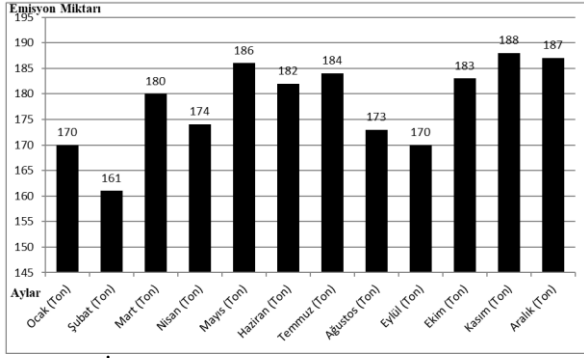
Bu emisyon kirliliklerinden azot oksitler, sülfür oksitler ve partiküler madde, insanların yaşadığı kıyı kesimlerinde çevresel ve yerel seviyede zararlı etkide bulunurken,

karbondioksit ve karbonmonoksit küresel seviyede zararlı etkide bulunmaktadır [10]. İstanbul Boğazı'ndan 2015 yılında geçiş yapan transit gemilerin Trozzi ve Vaccaro emisyon analiz metodolojisine göre ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 5.294 ton SO_x, 937.017 ton CO₂, 692 ton PM ve 693 ton VOC olmak üzere toplam emisyon miktarı 964.158 tondur (Şekil 8).

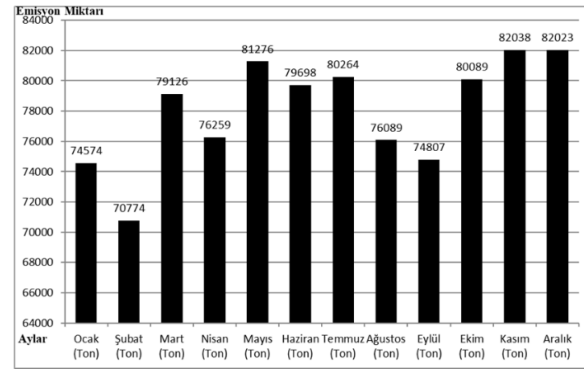
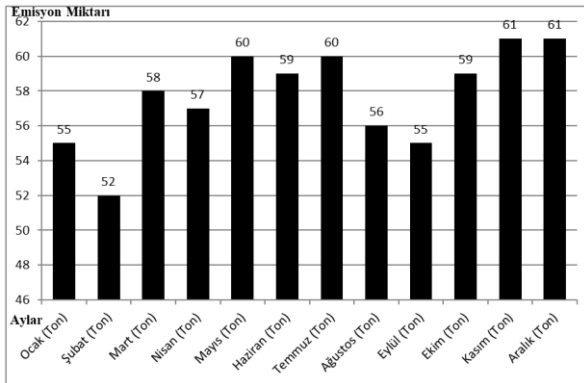
**Şekil 8.** İstanbul Boğazı transit gemiler 2015 yılı baca gazı emisyon sonucu

Trozzi ve Vaccaro emisyon analiz metodolojisine göre emisyon tipleri (NO_x, CO, CO₂, VOC, PM, SO_x) bazında aylık emisyon değerleri de hesaplanmış olup, sonuç grafikleri NO_x için Şekil 9'da, CO için Şekil 10'da, CO₂ için Şekil 11'de, VOC için Şekil 12'de, PM için Şekil 13'te ve SO_x için Şekil 14'te gösterilmiştir. Emisyon sonuçlarının aylık incelemesi sonucunda en çok emisyon salınımının Aralık, Mayıs ve Mart aylarında en yüksek seviyede olduğu, bu ayları Haziran, Temmuz ve Kasım aylarının takip ettiği görülmektedir. Bahse konu aylar ile transit gemilerin Boğazdan geçişteki en yoğun olduğu aylar ile örtüştüğü görülmektedir.

**Şekil 9.** İstanbul Boğazı 2015 aylık NO_x emisyon sonuçları



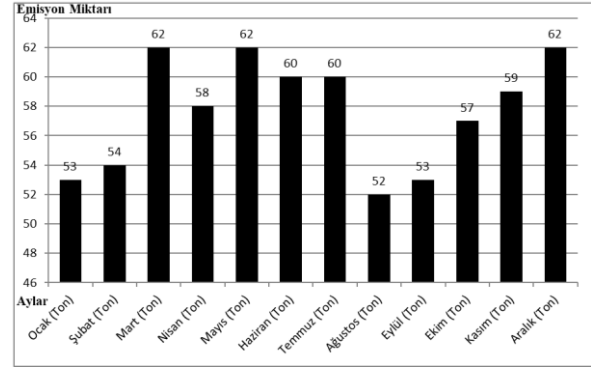
Şekil 10. İstanbul Boğazı 2015 aylık CO emisyon sonuçları

Şekil 11. İstanbul Boğazı 2015 aylık CO₂ emisyon sonuçları

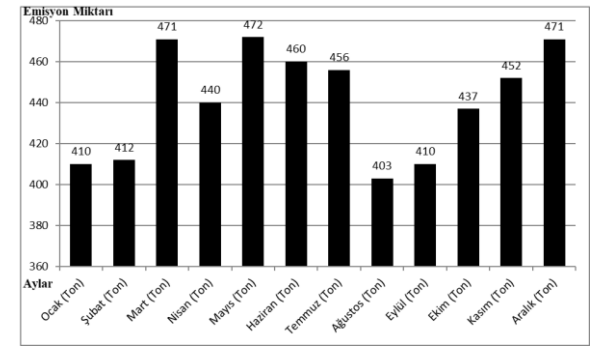
Şekil 12. İstanbul Boğazı 2015 aylık VOC emisyon sonuçları

İstanbul Boğazı bölgesinde önceden yapılmış analiz çalışmalarının bu çalışma ile karşılaştırılması Tablo 4'de gösterilmiştir. Bahse konu çalışmalarda da genel olarak Trozzi ve Vaccaro Emisyon Analiz Metodolojisinin (Kılıç [23] hariç) kullanıldığı ve analiz çalışmalarının farklı yıllarda olmasından dolayı sonuçların farklılık gösterdiği değerlendirilmektedir. Yapılan emisyon analizinde incelenen transit gemi sayısının (43.541) fazla olması sebebiyle NO_x, CO, CO₂, VOC, PM ve SO_x emisyonları, Kesgin ve Vardar [14], Çevirgen [22] ve Deniz ve Durmuşoğlu [15] tarafından hesaplanan emisyonlardan fazladır. Kılıç [23] tarafından elde edilen emisyon analiz sonuçları, bu çalışma sonucu göre daha fazla olup, bu farklılık Kılıç [23] tarafından kullanılan emisyon analiz

metodolojisinin bu çalışmadan farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 13. İstanbul Boğazı 2015 aylık PM emisyon sonuçları

Şekil 14. İstanbul Boğazı 2015 aylık SO_x emisyon sonuçları

Tablo 4. İstanbul Boğazı'nda transit gemilerin yıllara göre emisyon karşılaştırması

| Analiz Yılı | NO _x (Ton) | CO (Ton) | CO ₂ (Ton) | VOC (Ton) | PM (Ton) | SO _x (Ton) | Kaynakça |
|-------------|-----------------------|----------|-----------------------|-----------|----------|-----------------------|------------|
| 1998 | 4344 | 403 | 173362 | 131 | 65 | - | [14] |
| 2007 | 3788 | 323 | 139231 | 105 | 53 | 470 | [22] |
| 2008 | 6109 | 701 | 297787 | 228 | 263 | 5025 | [15] |
| 2008-2009 | 52033 | - | 2656247 | - | 4405 | 44375 | [23] |
| 2015 | 18324 | 2138 | 937017 | 693 | 692 | 5294 | Bu Çalışma |

4. DEĞERLENDİRME ve SONUÇ

2015 yılında İstanbul Boğazı'ndan 43.541 adet transit gemi geçiş yapmış olup, Trozzi ve Vaccaro Emisyon Analiz Metodolojisine göre bu gemilerin ortaya çıkardığı baca gazı emisyonları 18.324 ton NO_x, 2.138 ton CO, 5.294 ton SO_x, 937.017 ton CO₂, 692 ton PM, ve 693 ton VOC'dir. Gemilerden salınan sülfür oksit, azot oksit ve partiküler madde emisyonlarının, insan ve çevre sağlığı üzerinde doğrudan zararlı etkisi bulunmaktadır [10]. İstanbul ilinin yaklaşık 15 milyon nüfusunun yaklaşık 4/5 milyonunun Boğaz'a yaklaşık 3/4 km mesafede yaşadığı düşünüldüğünde gemi kaynaklı NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının her geçen gün insan sağlığı tehdit ettiği ortaya çıkmaktadır. Bu emisyonlara İstanbul Boğazı'ndaki yerel deniz trafiğinin (şehir hatları, yolcu motorları vb.) de ortaya çıkardığı baca

gazı emisyonların da eklendiği düşünülürse tehlikenin boyutu tam olarak anlaşılacaktır. İstanbul ili ve Boğaz çevresi meteorolojik açıdan da kirli havayı temizleyecek kapasitede değildir. Yıl içindeki yağışlar çok az ve yetersiz, rüzgarlar düşük süratte esmektedir. Nisbi nem yüksek, hava devamlı yüksek basınçlı seviyededir [10]. Bu sebeple yerel ve transit gemi trafiğinin ortaya çıkardıkları emisyonların hesaplanarak İstanbul ili için bir gemi kaynaklı hava kirliliği emisyon envanterinin oluşturulması çok önemlidir. Oluşturulacak emisyon envanterinin diğer emisyon türleri (kara taşıtları, evsel ısınma, sanayii vb.) ile birleştirilerek İstanbul ili için bir temiz hava eylem planı oluşturulmasının ve alınabilecek tedbirlerin, önlemlerin belirtilmesinin gelecekte sağlıklı nesiller yetiştirilmesi açısından önemli olduğu değerlendirilmektedir.

TEŞEKKÜR

Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi editör ve hakemlerine çok teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

- [1] Q. Buhaug, J.J. Corbett, Q. Endersen, V. Eyring, J. Faber, S. Hanayama, D.S. Lee, H. Lindstad, A. Mjelde, C. Palsson, W. Wanquing, J.J. Winebrake, K. Yoshida, “Updated study on greenhouse gas emissions from ships”, London, UK: International Maritime Organization, 2009.
- [2] O. Endresen, E. Sorgard, J.K. Sundet, S.B. Dalsoren, I.A. Isaksen, T.F. Berglen, G. Gravir, “Emission from international sea transportation and environmental impact”, *Journal of Geophysical Research*, 108 (17), 28-29, 2003.
- [3] J.J. Corbett, J.J. Winebrake, E.H. Green, P. Kasibhatla, V. Eyring, A. Lauer, “Mortality from ship emissions: A global assessment”, *Environmental Science and Technology*, 41(24), 8512–8518, 2007.
- [4] M. Sofiev, J.J. Winebrake, L. Johansson, E.W. Carr, M. Prank, J. Soares, “Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs”, *Nature communications*, 9(1), 406, 2018.
- [5] S. Anenberg, J. Miller, D. Henze, R. Minjares, “A global snapshot of the air pollution-related health impacts of transportation sector emissions in 2010 and 2015 (Tech. Rep.)”, The International Council on Clean Transportation, 2019
- [6] World Health Organization, *Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide for Global update 2005*, Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe, 2011.
- [7] André Nel, “Air pollution-related illness: effects of particles”, *Science*, 308, 804-806, 2005.
- [8] J.F. Wang, M.G. Hu, C.D. Xu, G. Christakos, Y. Zhao, “Estimation of citywide air pollution in Beijing”, *PLoS One*, 8 (1), 2013.
- [9] Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, *Denizcilik İstatistikleri*, URL: https://atlantis.udhb.gov.tr/istatistik/istatistik_filo.aspx (Erişim zamanı; Haziran, 12, 2019).

- [10] Aydın Tokuşlu, “İstanbul Boğazı’nda Gemi Kaynaklı Hava Emisyonlarının Analizi ve Etkilerinin Ortaya Konulması”, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul, 2019.
- [11] V. Eyring, I.A.S. Isaksen, T. Berntsen, W.J. Collins, J.J. Corbett, O. Endresen, R.G. Grainger, J. Moldanova, H. Schlager, D.S. Stevenson, “Transport impacts on atmosphere and climate: shipping”, *Atmospheric Environment*, 44 (2010), 4735–4771, 2008.
- [12] M.Viana, P.P. Hammingh, A. Colette, X. Querol, B. Degraeuwe, I. Vlioger, J.V. Aardenne, “Impact of maritime transport emissions on coastal air quality in Europe”, *Atmospheric Environment*, 90, 96-105, 2014.
- [13] J.P. Jalkanen, L. Johansson, J.A. Kukkonen, “Comprehensive inventory of the ship traffic exhaust emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009”, *The Royal Swedish Academy of Sciences*, 43, 311–324, 2012.
- [14] U. Kesgin, N. Vardar, “A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits”, *Atmospheric Environment*, 35, 1863-1870, 2001.
- [15] C. Deniz, Y. Durmuşoğlu, “Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara”, *Science of the Total Environment*, 390, 255-261, 2008.
- [16] İ. Bayırhan, K. Mersin, A.Tokuşlu, C.Gazioğlu, “Modelling of Ship Originated Exhaust Gas Emissions in the Istanbul Strait”, *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJECEO)*, 6(3): 238-243, 2019.
- [17] C. Trozzi, R. Vaccaro, “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships”. European Commission Under the Transport RTD Programme of the 4th Framework Programme Technical Report, Roma, Italy: Techne, (1998).
- [18] C. Trozzi, R. Vaccaro, “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update”. *Environment & Transport 2th International Scientific Symposium including 15th conference Transport and Air Pollution*, Proceedings 108, 425, 12-14 June 2006, Reims, France, (2006).
- [19] Carlo Trozzi, “Emissions estimate methodology for maritime navigation”, *Techne Consulting Report*, San Antonio, Texas: Techne, (2010).
- [20] J.J. Corbett, P.S. Fishbeck, “Emissions from ships”, *Science*, 5339, 823-824, 1997.
- [21] M.E. Davies, G. Plant, C. Cosslett, O. Harrop, J.W. Petts, “Study on the Economic, Legal, Environmental and Practical Implications of a European Union System to Reduce Ship Emissions of SO₂ and NO_x”. *Final Report for European Commission Contract*, England: BMT Murray Fenton Edon Liddiard Vince Limited, (2000).
- [22] Mehmet Sedat Çevirgen, “İstanbul’da deniz yolu ulaşımının sera gazı emisyonlarına etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009.
- [23] Alper Kılıç, “Marmara Bölgesi’ndeki Deniz ve Hava Taşımacılığında Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Oluşturulması ve Hava Kirliliğinin Modellenmesi”, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2014.