

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAYDARPAŞA LİMAN BÖLGESİNDEKİ GEMİ KAYNAKLI
EMİSYONLARIN İNCELENMESİ ve HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM
SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mahmut AVCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Tarık KOÇAL

Ocak, 2020

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAYDARPAŞA LİMAN BÖLGESİNDEKİ GEMİ KAYNAKLI
EMİSYONLARIN İNCELENMESİ ve HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM
SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mahmut AVCI tarafından hazırlanan tez çalışması 13.01.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Programı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Tarık KOÇAL
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Tarık KOÇAL, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Uğur Buğra ÇELEBİ, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Veysel ALANKAYA, Üye

Milli Savunma Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tarık KOÇAL sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Liman Bölgelerinde Gemi Kaynaklı Emisyonların İncelenmesi ve Hava Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi – Haydarpaşa Limanı Uygulaması başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mahmut AVCI

İmza

TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında desteğini benden esirgemeyen, yüksek bilgi ve tecrübelerinden istifade ettiğim değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Tarık KOÇAL'a ve değerli fikir ve yönlendirmeleri ile bana her zamana yol gösteren, tezimin her aşamasında yanımda olup bilgi ve birikiminden her zaman istifade ettiğim saygıdeğer hocam Öğr. Gör. Dr. Kaan ÜNLÜGENÇOĞLU'na şükranlarımı sunarım.

Değerli hocalarım ve çalışma arkadaşlarım Prof. Dr. Fuat ALARÇIN, Dr. Öğr. Üyesi Burak YILDIZ, Öğr. Gör. Araks EKMEKÇİOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen başta annem ve babam olmak üzere bütün aileme sonsuz teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Mahmut AVCI

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xv
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	7
1.3 Hipotez	8
2 Hava Kirliliği	9
2.1 Emisyonun Tanımı.....	9
2.2 Gemi Kaynaklı Emisyonlar	12
3 Materyal ve Metod	16
3.1 Emisyon Değeri Hesaplama Metodları	16
3.2 Emisyon Tahmin Metodolijisi.....	17
3.3 Haydarpaşa Limanına Ait Genel Bilgiler	23
3.3.1 Haydarpaşa Limanı Teknik Bilgileri	23
3.3.2 Haydarpaşa Limanı Genel Planı.....	24
3.3.3 Haydarpaşa Limanı İstatistik Bilgiler	25
3.4 Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı.....	25
3.4.1 NO/NO ₂ /NO _x Ölçümleri.....	26
3.4.2 CO Ölçümleri	27
3.4.3 SO ₂ Ölçümleri.....	27
3.4.4 PM ₁₀ / PM _{2.5} Ölçümleri.....	27
3.5 Haydarpaşa Limanına Gelen Gemilerden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları.....	27

3.5.1	Gemilerin Ana Makinesinden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları.....	27
3.5.2	Gemilerin Yardımcı Makinesinden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları	28
3.5.3	Gemilerden Yayılan Toplam Egzoz Gazı Miktarları	28
3.5.4	Gemilerden Yayılan 32 Günlük Toplam Egzoz Gazı Miktarları	29
4	Bulgular ve Değerlendirmeler	30
4.1	Haydarpaşa Limanı Günlük ve Saatlik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi	30
4.1.1	SO ₂ Emisyonu Değerlendirmesi	30
4.1.2	PM ₁₀ Emisyonu Değerlendirmesi.....	32
4.1.3	PM _{2.5} Emisyonu Değerlendirmesi	34
4.1.4	NO _x Emisyonu Değerlendirmesi	36
4.2	Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Hava Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	38
4.2.1	Karbon Monoksit (CO)	38
4.2.2	Azot Oksitler (NO _x)	40
4.2.3	Partiküler Madde (PM)	47
4.2.4	Ozon (O ₃)	51
4.3	Ulusal ve Uluslar Arası Hava Kalitesi Limit Değerleri ile Haydarpaşa Limanı Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	53
4.3.1	SO ₂ Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi.	53
4.3.2	PM ₁₀ Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi	54
4.3.3	Kritik Gün Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi.....	55
5	Sonuç ve Öneriler	61
5.1	Sonuçlar	61
	Kaynakça	64
	Tezden Üretilmiş Yayınlar	69

SİMGELİSTESİ

AE	Yardımcı makine gücü
D	Manevra yerine kadar olan mesafe
E_{seyir}	Seyirde oluşan emisyon
EF	Her gemi türü için, seyirde kullanılan yakıt ve ana makine tipine göre emisyon faktörleri
LF_{AE}	Seyirde yardımcı makine yük faktörü
LF_{ME}	Seyirde ana makine yük faktörü
ME	Ana makine gücü
V	manevra yerine kadar olan ortalama hız

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
AIS	Otomatik Tanımlama Sistemi
AMVER	Automated Mutual-Assistance Vessel Rescue System
CH ₄	Metan
CO	Karbon Monoksit
CO ₂	Karbon Dioksit
DECA	Yurtiçi Emisyon Kontrol Alanı
EPA	ABD Çevre Koruma Ajansı
EU MRV	European Union Monitoring, Reporting and Verification
g	Gram
GPRD	The Greater Pearl River Delta
HC	Hidrokarbon
HFO	Heavy Fuel Oil
HSD	Yüksek Devirli Dizel Motor
ICOADS	International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set
IMO	Uluslararası Denizcilik Örgütü
kg	Kilogram
kt	Kilo ton
kw	Kilo watt
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
MDO	Marine Diesel Oil
ME	Ana Makine
MSD	Orta Devirli Dizel Motor
N ₂	Azot
NM	Deniz mili
NO	Azot Oksit
NO ₂	Azot Dioksit

N ₂ O	Azot Protoksit
NO _x	Azot Oksitler
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PEMS	Taşınabilir Emisyon Ölçüm Sistemleri
PM	Partikül Madde
PM _{2.5}	Aerodinamik çapı 2,5µm olan Partikül Madde
PM ₁₀	Aerodinamik çapı 10µm olan Partikül Madde
ppb	Milyarda Bir Parçacık
ppm	Milyonda Bir Parçacık
rpm	Dakikadaki Devir Sayısı
SMM	Basitleştirilmiş Ölçüm Yöntemi
SO ₂	Kükürt Dioksit
SO _x	Kükürt Oksitler
SSD	Düşük Devirli Dizel Motor
t	Ton
TCDD	Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları
TEU	20 Feet'lik Konteyner
TRENDS	Transport and Environment Database System
VOC	Uçucu Organik Bileşikler

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 2017 Yılı Toplam Sera Gazı Emisyonlarının Sektörlere Göre Dağılımı [30]	9
Şekil 2.2 Dizel Yakıtların Yanması Sonucu Oluşan Gazlar ve Kirleticiler [32]	10
Şekil 3.1 01.03.2019 – 01.05.2019 Tarihleri Arasında Haydarpaşa Limanına Gelen 51 Farklı Gemi Tipleri	18
Şekil 3.2 Haydarpaşa Limanı Manevra Mesafesi	21
Şekil 3.3 Haydarpaşa Limanı Seyir Mesafesi	22
Şekil 3.4 ENTEC Emisyon Hesabı Çalışma [18]	23
Şekil 3.5 Haydarpaşa Limanı Genel Yerleşimi	24
Şekil 3.6 Haydarpaşa Limanı Yıl Bazında Genel Yük Elleçleme İstatistiği	25
Şekil 3.7 İBB Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu Görseli	26
Şekil 3.8 İBB Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı Ölçüm Bölgesi Küresel Bakış	26
Şekil 4.1 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik SO ₂ Emisyon Değerleri	30
Şekil 4.2 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik PM ₁₀ Emisyon Değerleri	32
Şekil 4.3 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik PM _{2.5} Emisyon Değerleri	34
Şekil 4.4 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik Nox Emisyon Değerleri	36
Şekil 4.5 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı CO Emisyonu Karşılaştırılması	39
Şekil 4.6 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama CO Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	40
Şekil 4.7 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı NO Emisyonu Karşılaştırılması	41
Şekil 4.8 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama NO Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	42
Şekil 4.9 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı NO ₂ Emisyonu Karşılaştırılması	43
Şekil 4.10 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama NO ₂ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	44
Şekil 4.11 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı SO ₂ Emisyonu Karşılaştırılması	45

Şekil 4.12 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama SO ₂ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	46
Şekil 4.13 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı PM _{2.5} Emisyonu Karşılaştırılması	47
Şekil 4.14 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama PM _{2.5} Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	48
Şekil 4.15 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı PM ₁₀ Emisyonu Karşılaştırılması	49
Şekil 4.16 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama PM ₁₀ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	50
Şekil 4.17 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı O ₃ Emisyonu Karşılaştırılması	51
Şekil 4.18 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama O ₃ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması	52
Şekil 4.19 32 Günlük SO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	53
Şekil 4.20 PM ₁₀ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	54
Şekil 4.21 29.04.2019 Tarihi SO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	55
Şekil 4.22 29.04.2019 Tarihi NO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	56
Şekil 4.23 30.04.2019 Tarihi SO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	57
Şekil 4.24 30.04.2019 Tarihi NO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	58
Şekil 4.25 04.05.2019 Tarihi SO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
Şekil 4.26 04.05.2019 Tarihi NO ₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	60

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1 Ana Makine için Seyir Modunda Kullanılan Emisyon Faktörleri (gr/kWh) [55]	19
Tablo 3.2 Yardımcı Makine için Tüm İşletme Modlarında Kullanılan Emisyon Faktörleri [55]	19
Tablo 3.3 Ana Makine için Manevra ve Liman Modlarında Kullanılan Emisyon Faktörleri (gr/kWh) [55].....	20
Tablo 3.4 Farklı İşletme Modlarında Ana ve Yardımcı Makine Yükleri [55]	22
Tablo 3.5 Haydarpaşa Limanı Genel Özellikleri [59]	24
Tablo 3.6 Gemi İşletme Modlarına Göre Ana Makinelere Ait Egzoz Gazı Miktarları.....	28
Tablo 3.7 Gemi İşletme Modlarına Göre Yardımcı Makinelere Ait Egzoz Gazı Miktarları.....	28
Tablo 3.8 Gemi İşletme Modlarına Göre Toplamda Yayılan Egzoz Gazı Miktarları	29
Tablo 3.9 Gemi İşletme Modlarına Göre Toplamda Yayılan Egzoz Gazı Miktarları	29
Tablo 4.1 Hava Kalitesi Ölçüm Cihazından Toplanan Veriler.....	38
Tablo 4.2 Gemi Kaynaklı Emisyon Yüzdesi.....	38

HAYDARPAŞA LİMAN BÖLGESİNDEKİ GEMİ KAYNAKLI EMİSYONLARIN İNCELENMESİ ve HAVA KALİTESİ ÖLÇÜM SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mahmut AVCI

Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Tarık KOÇAL

Sanayileşmenin artmasıyla ticareti yapılan yüklerin çeşitlenip, miktarının arttığı günümüzde, taşımacılık geçmişte hiç olmadığı kadar büyük boyutlara ulaşmıştır. Taşımacılık sektöründe, düşük maliyet, taşınan mal miktarı ve güvenlik en önemli unsurlardır. Bu sebeplerden dolayı dünyadaki yük taşımacılığının büyük bir çoğunluğu deniz yoluyla yapılmaktadır. Deniz taşımacılığı diğer taşımacılık türlerine göre daha çevrecidir. Ancak uluslararası ticaret hacminin ve dolayısıyla gemi sayılarının artışı, gemi kaynaklı emisyon miktarlarını arttırmıştır. Bu açıdan bakıldığında gemi emisyonları konusu irdelenmesi gereken önemli bir konu haline gelmiştir.

Uluslararası Denizcilik Örgütü özellikle SO_x, NO_x, PM ve CO₂ emisyonlarında gemilere sınırlandırmalar getirmektedir. Gemi kaynaklı emisyonların uluslararası kurallar ile sınırlandırılması, gemilerin emisyon takibi ve değerlendirilmesi açısından denizcilik sektörünün yeni teknolojilerle tanışmasını ve büyük bir revizyona gitmesini zorunlu hale getirmiştir. Gemi kaynaklı emisyonların özellikle

liman bölgelerinde yüksek değerlerde olduğu, şehir merkezine yakın noktalarda bulunan limanlar için bu emisyonların liman çevresinde yaşayan insanların sağlığını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir.

Marmara bölgesi ve çevresindeki limanlar, İstanbul ve Çanakkale Boğazları, Türkiye için gemi trafiğinin en yoğun olarak yaşandığı bölgelerdir. Bu nedenle bu çalışmada İstanbul Boğazında önemli bir noktada, kent ile iç içe geçmiş durumda bulunan Haydarpaşa Limanı seçilmiştir. 2019 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları boyunca Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin; tipi, inşa yılı, gros tonajı, ana makine güçleri ve devirleri, yardımcı makine güçleri, limana geliş sayıları ve seyir, manevra ve limanda kalış süreleri dikkate alınarak literatürde yer alan emisyon tahmin yöntemleri kullanılarak NO_x, CO₂, SO₂, VOC, CO ve PM emisyonları hesaplanmıştır. Haydarpaşa Liman Bölgesinden gerçek zamanlı olarak alınan günlük ve saatlik SO₂, NO_x, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyonlarının ölçüm sonuçları gemi hareketlerine bağlı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca İstanbul ilinin Üsküdar ve Kadıköy ilçelerinden alınan gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sonuçları ile Haydarpaşa Limanı SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyonları ölçüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak, Haydarpaşa Limanından alınan hava kalitesi ölçüm sonuçlarının, Ulusal ve Uluslararası hava kalitesi limit değerleri sınırları dahilinde olup olmadığı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi, egzoz emisyonu, liman, hava kirliliği

Ship Emissions Analyze in the Haydarpasa Port and Evaluation of Air Quality Measurement Results

Mahmut AVCI

Department of Naval Architecture and Marine Engineering

Master Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Tarık KOÇAL

Nowadays, transportation has reached dimensions that have never been before with the increase of industrialization, the amount of the cargoes is diversified and their quantity increases. Low cost, the number of goods transported and security are the most important factors in the transportation sector. Due to these reasons, the majority of cargo transport in the world is carried out by seaway.

Sea transport is more environmentally friendly than other types of transport. However, the increase in international trade volume and therefore the number of ships has increased the amount of ship-induced emissions. In this respect, the issue of ship emissions is important to be examined.

The International Maritime Organization (IMO) imposes restrictions on ships, in particular on SO_x, NO_x, PM and CO₂ emissions. Restrictions of ship emissions with the international rules has made it necessary for the maritime industry to meet new technologies and undergo a major revision in terms of monitoring and evaluation of ship emissions. It is well known that emissions from ships are particularly high in port areas and these emissions adversely affect the health of people living around the ports near the city centre.

Ports in and around Marmara, Bosphorus and Dardanelles are the regions where ship traffic is the most intense in Turkey. For this reason, Haydarpaşa Port, which is intertwined with the city at an important point in the Bosphorus, was chosen in this study. NO_x, CO₂, SO₂, VOC, CO and PM emissions for March, April, May of 2019 was calculated by using emission estimation methods in literature considering type, year of construction, gross tonnage (GRT), main engine power and revolution, power of auxiliary engines, number of arrivals and cruising, manoeuvring and berthing time of all the ships. The daily and hourly SO₂, NO_x, PM₁₀ and PM_{2.5} emissions obtained from Haydarpaşa Port Area in real-time were evaluated based on ship movements. In addition, real-time air quality measurement results from Üsküdar and Kadıköy districts of Istanbul were compared with SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ and PM_{2.5} emissions of Haydarpaşa Port. Finally, it was evaluated whether the air quality measurement results obtained from Haydarpaşa Port was within the limits of National and International air quality limit values.

Keywords: Ship, exhaust emissions, port, air pollution

1.1 Literatür Özeti

Saraçoğlu [1] çalışmasında İzmir Limanı'na gelen konteyner, general kargo ve kruvaziyer gemilerinin seyirde, manevrada ve rıhtımdaki toplam emisyonlarını faaliyet tabanlı emisyon hesaplama yöntemine göre hesaplamıştır. Yapmış olduğu çalışmada yayılan gerçek emisyon değerlerini CO₂ 100.590 ton, NO_x 1628 ton, SO₂ 1708 ton, HC 136 ton, PM emisyonunu ise 135 ton olarak bulmuştur. Ayrıca İzmir Limanı'ndaki toplam egzoz emisyonunun İzmit Körfezi'nden sonra Türkiye'deki en çok egzoz gazı emisyonuna sahip ikinci limanı olduğu sonucuna varmıştır.

Kılıç [2] Marmara Denizi'ndeki ticaret gemilerinin 19.08.2008 ve 19.08.2009 tarihleri arasındaki egzoz gazı emisyonlarını Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS) veri tabanındaki gemi hareketlerine göre hesaplamıştır. Bu hesaplamalar sonucunda yıllık egzoz gazı emisyon miktarları 605.000 ton NO_x, 495.000 ton SO₂, 29,63 milyon ton CO₂, 25.600 ton HC, 53.300 ton PM olarak bulmuştur. Marmara Denizindeki NO_x emisyonunun Akdeniz ve Karadeniz'de olduğu tahmin edilen toplam NO_x emisyonunun üçte birine yakın olduğu sonucuna varmıştır.

Vardar ve Keskin [3] İstanbul ve Çanakkale Boğazlarından geçen yolcu taşımacılığındaki iç hat gemileri ve transit geçiş yapan gemilere ait NO_x, CO, CO₂, PM ve VOC emisyonlarını hesaplamışlardır. Bu hesaplamaları yaparken Trozzi ve Vaccaro tarafından geliştirilen yöntemi kullanmışlardır. Çanakkale Boğazı için tahmin edilen yıllık egzoz gazı emisyonu miktarı 347.221 ton, İstanbul Boğazı için ise 353.625 ton olarak hesaplamışlardır. Yapmış oldukları çalışma çerçevesinde en yüksek kirliliğe kargo ve tanker gemilerinin sebep olduğu sonucuna varmışlardır.

Uçar [4] 2014 yılında hazırlamış olduğu denizcilik uzmanlık tezinde Samsun ilindeki limanlara ait egzoz gazı emisyonlarını (NO_x, CO, CO₂, PM, HC) ve bunların çevresel etkilerini gemilerin ana makine ve jeneratör güçleri ile limanda kalış sürelerini göz önünde bulundurarak faaliyet tabanlı emisyon tahmin yöntemine göre

hesaplamıştır. Bu teze göre Samsun ili limanlarında gerçekleşen egzoz gazı emisyon miktarları 429,54 ton NO_x, 20246,53 ton CO₂, 338,31 ton SO₂, 19,34 ton HC ve 38,77 ton PM olarak verilmiştir. Ayrıca Uçar tezinde egzoz gazı emisyonlarından 20246,53 ton ile kirliliğe en fazla sebebiyet veren CO₂'nin küresel ısınmanın başlıca nedeni olduğunu ve en yüksek ikinci kirliliğe sahip NO_x ve SO₂'nin ise insanlarda ciddi düzeyde solunum yolu rahatsızlıklarına sebep olduğu vurgusunu yapmıştır.

Sangün ve Özdemir [5] hazırlamış oldukları bitirme tezinde 2016 yılında İstanbul boğazından geçen transit gemilerin egzoz gazı emisyonlarını faaliyet tabanlı emisyon tahmin yöntemine göre hesaplamışlardır. Çalışmalarında NO_x, SO_x, CO₂ ve HC emisyonlarını sırasıyla 7383 ton, 5128 ton, 307.782 ton ve 246.4 ton olarak hesaplamışlardır.

Beecken vd. [6] Finlandiya Körfezi ve Neva koyundaki 300 gemiye ait SO₂ ve NO_x emisyon faktörlerini Ağustos/Eylül 2011 ve Haziran/Temmuz 2012 dönemlerinde bir MI-8 helikopteri ve liman gemisi yardımıyla ölçümlemişlerdir. Hızlı feribotlar, kargo gemileri, tankerler ve römorkörler gibi yerel olarak işletilen gemilerin, yurt içinde işletilen yolcu ve kargo gemilerinden daha az SO₂ yaydığını gözlemlemişlerdir.

Alföldy vd. [7] 2009 yılı Eylül ayında Hollanda'nın Rotterdam Limanında 397 gemi üzerinde yapmış oldukları iki haftalık gözlem sonucunda bazı egzoz gazlarına ait (NO_x, SO₂, NO₂, PM) emisyon faktörlerini gemi türü, makine gücü ve krank mili dönme hızının bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir. Ayrıca yapılan gözlemde elde edilen SO₂ emisyon faktörlerinin (30 g kg⁻¹) normalde izin verilen değerlerin (16 g kg⁻¹) yaklaşık yarısına eşdeğer olduğunu ve bu limitlerin aşımının nadiren raporlandığını tespit etmişlerdir. Diğer taraftan SO₂ ve PM emisyon faktörleri arasında belirgin bir orantının olduğu gözlemlenmiştir.

Moreno-Gutierrez vd. [8] 2007 yılı boyunca Cebelitarık Boğazı'ndaki deniz taşımacılığı kaynaklı egzoz gazı emisyonlarının ölçülmesi için bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında gemi makine gücü ve harcanan yakıtı göre emisyon faktörlerini hesaplayan iki farklı yöntem kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlarda kullandıkları iki yöntem için de benzer sonuçlar bulmuşlardır. SO₂, NO_x, CO₂, PM

emisyollarını sırasıyla 23.083,09 ton, 32.005,63 ton, 1.389.111,05 ton ve 2972 ton olarak hesaplamışlardır.

Jalkanen vd. [9] AIS bilgilerini kullanarak gemilerin egzoz gazı emisyon değeriğini modellemeye yarayan bir metot geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri metoddaki hesaplamalarda temel teşkil eden unsur olarak geminin anlık hızını, tasarimsal hızını ve motorların detaylı teknik bilgilerini kullanmışlardır. Ayrıca dalgaların yakıt tüketimine ve atmosfere yayılan egzoz gazı emisyonlarına olan etkisini de araştırmalarına dahil etmişlerdir. Bulunan emisyon sonuçları gemi üreticilerinin gerçek değeri ile karşılaştırmışlardır ve %6'lık bir hata payına sahip olduğunu saptamışlardır. Bu modelleme ile 2007 yılı boyunca Baltık Denizi'nde salınan SO_x, NO_x, CO₂ miktarları sırasıyla 138 kt, 400 kt ve 19 Mt olarak hesaplamışlardır.

Murena, Quaranta ve Prati [10] 2012 yılındaki çalışmalarının devamı olarak 20 Ocak-8 Mart 2016 tarihleri arasında Napoli limanı'ndaki gemi kaynaklı SO₂, NO₂ ve benzen emisyonlarını incelemişlerdir. Bulunan SO₂ ve NO₂ değeri AB limit değeriğlerinin altında, benzen değeriğini ise kimi zaman limiti aşsa da limit değerde olduğunu elde etmişlerdir. SURFER® yazılımı kullanılarak oluşturulan kontur haritaları ile maksimum SO₂'nin liman bölgesinde maksimum NO₂'nin ise kentsel bölgelerde oluştuğı sonucuna varmışlardır.

Cullinane vd. [11] 2012 yılında Tayvan'ın üç büyük konteynır limanına (Kaohsiung, Keelung, Taichung) ait konteynır gemileri kaynaklı egzoz gazı emisyonlarını (NO_x, CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, SO₂ ve HC) alt-üst faaliyet tabanlı emisyon tahmin modeline göre hesaplamışlardır. 2012 yılının tamamına ait konteynır gemileri kaynaklı egzoz gazı emisyonlarını sırasıyla 1152 t, 91 t, 59.350 t, 91 t, 83 t, 1094 t, 33 t olarak ölçümlemişlerdir.

Deniz ve Kılıç [12] Ambarlı Limanının 2005 yılındaki gemi kaynaklı egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Bu inceleme sonucunda bulunan toplam tahmini emisyon değeriğeri NO_x 845 t, SO₂ 242 t, CO 2127 t, CO₂ 78590 t, VOC 504 t, PM 36 t olarak elde etmişlerdir. Emisyon dağılımlarını simüle etmek için, liman bölgesinin gerçek topografik ve meteorolojik koşullarını içeren bir modelleme programı kullanmışlardır. İncelemelerinde Ambarlı limanındaki gemilerin 2 km²'lik çevrelerindeki mutlak hava konsantrasyonuna 100 µg m⁻³ NO_x ve 55 µg m⁻³ SO₂

kirliliğine sebep olduğu tahmininde bulunmuşlardır. Gemi emisyonları ve diğer emisyonlardan kaynaklanan bu yüksek değerlerden yaklaşık olarak 60.000 kişinin etkilendiği sonucuna varmışlardır.

Winnes vd. [13] liman bölgelerindeki gemilerin sebep olduğu sera gazlarını azaltacak bir dizi tedbirler üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Gothenburg limanının 2030 yılına ait oluşturdukları projeksiyonda sera gazlarını azaltmak için alternatif yakıt, gemi tasarımı ve operasyon başlıklı üç farklı senaryo için analizler etmişlerdir. Normal şartlarda 2030 yılı için Gothenburg limanı sera gazı emisyonlarının %40 oranında artacağı tahmin edilirken, “Operasyon” alanında alınacak önlemler ile bu oranın %30’a düşürülebileceğini ortaya çıkarmışlardır.

Song [14] yaptığı çalışmada Şangay’ın Yangshan limanındaki NO_x, CO, CO₂, PM₁₀, PM_{2.5}, CH₄, N₂O, SO_x ve HC emisyon envanterlerini ve bunların sebep olduğu sosyal maliyeti hesaplamıştır. Bunu yaparken gerçek zamanlı AIS bilgileriyle desteklenen faaliyet tabanlı bir tahmin metodolojisi kullanmıştır. Yapmış olduğu çalışmalar sonucunda emisyon değerlerini CO₂ 578,444 t, CH₄ 10 t, N₂O 33 t, PM₁₀ 1078 t, PM_{2.5} 859 t, NO_x 10,758 t, SO_x 5623 t, CO 1136 t ve HC 519 t olarak elde etmiştir. Bunun sosyal maliyetini ise 226,4 milyon dolar olarak hesap etmiştir.

Tseng ve Pilcher [15] Taywan’ın Koahsiung limanında yapmış oldukları çalışmada gemilerin limanda demirli iken kendi dizel motorları yerine limandan gemiye bir elektrik bağlantısı yardımıyla gerekli gücün sağlanması ile gemi egzoz emisyonlarının ve işletme maliyetlerinin azaltılmasını hedeflemişlerdir. Bu çalışmanın yararlarının yanında kurulum maliyetleri ve politik yaklaşımların uyumsuzluğu nedeniyle hâlihazırda büyük uygulama güçlüklerinin varlığını ortaya koymuş ve gelecek dönemler için önerilerde bulunmuşlardır.

Merk [16] OECD’nin 2014 yılı Uluslararası Taşımacılık Forumunda sunmuş olduğu çalışmasında 2011 yılında gemi kaynaklı egzoz emisyonu olarak 18 milyon ton CO₂, 0,4 milyon ton NO_x, 0,2 milyon ton SO_x ve 0,03 milyon ton PM₁₀ salındığını belirtmiştir. En yüksek emisyonu sahip limanları ise Singapur, Hong Kong (Çin), Tianjin (Çin) ve Port Klang (Malezya) olarak sıralamıştır. Gemi emisyonlarının OECD’nin ilk 50 limanı için toplamda yıllık 12 milyar Euro dış maliyete sebep olduğu

ve ilk 100 limanın çevresinde bulunan 230 milyon insanın bu emisyonların zararlı etkileri ile karşı karşıya kaldığı hususunu dile getirmiştir.

Moldanova vd. [17] gemilerin egzoz gazı emisyon faktörlerini inceledikleri çalışmalarında SO₂ ve CO₂'nin emisyonunun motor tipinden ve çalışma rejiminden bağımsız olarak doğrudan yakılan yakıt ile doğru orantılı olarak arttığını, diğer taraftan NO_x, CO, VOC ve PM emisyonlarının ise motor tipi, çalışma rejimi ve yakıtın fiziksel özelliklerine bağlı olarak değiştiğini ortaya çıkarmışlardır.

Ünlügençoğlu [18] hazırlamış olduğu doktora çalışmasında Marmara bölgesinin önemli limanlarından olan Ambarlı Limanı'ndaki gemi kaynaklı egzoz gazı emisyonlarını gerçek zamanlı olarak hava kalitesi ölçüm cihazları ile 2017 yılı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında ölçümlemiştir. Ölçümlerde bulunan değerleri aynı dönemde İstanbul'un üç ilçesinde (Avcılar, Esenler, Kadıköy) ölçülen değerler ile karşılaştırmıştır. Bununla birlikte bu süre zarfında limana gelen gemilerin tipi, inşa yılı, tonajı, ana makine güçleri, devirleri ve yardımcı makine güçleriyle limana geliş sayıları ve seyir, manevra ile limanda kalış süreleri dikkate alınarak geliştirilen web tabanlı yazılım ile literatürde yer alan ENTEC ve Trozzi emisyon tahmin metodolojilerine göre hesaplamıştır. Hesaplanan değerlerin ileride geçilmesi planlanan AB Limit Değerlerine göre değerlendirmesini sunmuştur.

Mao vd. [19] Çin'in uluslararası ticaretinde önemli bir yeri olan Büyük İnci Nehri Deltası (The Greater Pearl River Delta -GPRD) için belirlenmiş olan Yurtiçi Emisyon Kontrol Alanı'ndaki (DECA) gemi kaynaklı egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Söz konusu bölgede Çin hükümeti, gemilerin limanın 12 deniz mili (NM) mesafesine geldiklerinde tedrici olarak daha temiz olan deniz yakıtlarına geçmesini bir zorunluluk olarak belirlemiştir. Mao vd. çalışmalarında meydana gelen toplam emisyonun %9'unun rıhtım bölgesinde olduğunu, 12-NM'lik sınır hattında bu oranın %63'lük bir artış gösterdiğini ve 96-NM'lik bölgede ise 200-NM'lik kontrol alanındaki toplam emisyonun %82'sinin gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir.

Butterfield ve Quincey [20] İngiltere'nin Goonhilly (Cornwall) bölgesine yerleştirdikleri Aethalometer cihazı ile gemilerin siyah karbon konsantrasyonuna katkılarını Aralık 2012 – Aralık 2013 döneminde incelemişlerdir. Gemi kaynaklı ve bölgesel siyah karbon konsantrasyonunun ayırımını yapmak için bölgedeki yerel

rüzgarları da incelemelerine dahil etmişlerdir. Uzun vadede gemi egzoz emisyonlarının siyah karbon konsantrasyonuna yıllık 0,1 $\mu\text{g.m}^3$ 'den az bir oranda etkisinin olduğu sonucuna varmışlardır.

Tzannatos [21] Yunanistan'ın ve Avrupa'nın en büyük yolcu limanlarından biri olan Pire Limanı'ndaki yolcu gemilerinden kaynaklı egzoz gazı emisyonlarını ve bunların dışsal maliyetini incelemiştir. 2008 – 2009 yılları arasında toplam bir yıl süren incelemesinde yolcu limanı bölgesindeki toplam emisyonun 2600 tona, dışsal maliyetinin ise yaklaşık 51 milyon avroya ulaştığını hesaplamıştır. Bunun yanında emisyonu seyir gemilerinden çok kıyı bölgesinde yolcu taşımacılığı yapan gemilerin neden olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Sun vd. [22] Çin'in Quingdao Limanı'ndaki gemi kaynaklı egzoz gazı emisyon envanterini büyük veri analiziyle hesaplamışlardır. Buna göre 2016 yılında Quingdao Limanı'nda gerçekleşen NO_x , CO, HC, CO_2 , SO_2 ve $\text{PM}_{2.5}$ emisyonları sırasıyla 30,031.5 t, 2735.3 t, 1255.7 t, 2,347,879.2 t, 21,711.3 t ve 1747.1 t olarak tahmin etmişlerdir.

Shi [23] çalışmasında dünya ticaret hacminin %80'lik bölümünün gerçekleştirildiği uluslararası deniz taşımacılığının sera gazı emisyonları sebebiyle iklim, insan sağlığı ve deniz ekosistemi üzerindeki kötü etkileri konusundaki endişelerini dile getirmiştir. MARPOL'ün operasyonel ve teknik emisyon kısıtlamalarının ticaret hacminin genişlemesi karşısında cılız kaldığını dile getirmiştir. Bu nedenle market tabanlı önlemlerin alınması gerekliliğini savunmuştur.

Rehmatulla vd. [24] çalışmalarında denizcilik sektöründeki otuzdan fazla enerji verimliliği ve karbon emisyonu azaltma teknolojisinin uygulamalarını incelemişlerdir. Diğer sektörlerin aksine, denizcilik sektöründeki bu teknolojilerin uygulamalarından çok azının karbon salınımı konusunda yeterli seviyeye ulaştığını ve ulaşanların ise düşük enerji verimliliğine sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Khan vd. [25] çalışmalarında ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) Taşınabilir Emisyon Ölçüm Sistemleri (PEMS) metodu ile Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) Basitleştirilmiş Ölçüm Yöntemi'ni (SMM) seyirdeki iki büyük gemi üzerinde uygulayarak karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ölçümlerinde elde ettikleri PEMS

yüzde hataları NO_x , CO_2 ve CO için sırasıyla %0.03, %0.12 ve %77' dir. Bu sonuçlara dayanarak PEMS NO_x ve CO_2 ölçümlerinin IMO'nun NO_x ve CO_2 enstrümanlarına eşdeğer olduğunu CO ölçümleri için ise böyle bir şeyden bahsedilemeyeceğini belirtmişlerdir.

Xiao [26] çalışmasında AIS verilerinin risk analizi ve gemi kaza analizi modellemelerindeki önemine vurgu yaparak, su yollarına ait modellemelerde kullanılması amacıyla farklı tip ve büyüklükteki gemilerin AIS verilerini (rota, hız, konum vb.) kullanmıştır. Bunun için Çin'deki geniş ve Hollanda'daki dar iki suyunun karşılaştırmasını yapmıştır. Sonuç olarak farklı gemi tiplerine ait istatistiksel veriler kullanarak gemi trafiği modellemesinin mümkün olabileceğini savunmuştur.

Zhang vd. [27] Çin'in Nanjing Longtan Konteyner Limanı'ndaki çalışmalarında AIS, gemi profili veri tabanı ve saha araştırmalarından gelen verileri birleştirip alt-üst faaliyet tabanlı emisyon modelini kullanarak gemi emisyonlarının envanterini çıkarmışlardır. Bu çalışmaya göre 2014 için toplam PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$, NO_x , SO_x , CO, HC ve CO_2 emisyon miktarları sırasıyla 3.45 t, 2.76 t, 196.00 t, 2.90 t, 20.62 t, 8.13 t ve 12.554.29 t olarak hesaplanmışlardır.

Ünlügençoğlu vd. [28] tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada Ambarlı Limanında; SO_2 , CO, NO_2 ve PM_{10} emisyonlarının 3 aylık süre ile gerçek zamanlı hava kalitesi ölçümlerini yapmışlardır. Ayrıca aynı hava kalitesi ölçüm cihazı ile aynı tarih aralığında; İstanbul ili Avcılar ilçesi için Hava Kalitesi izleme istasyonundan gerçek zamanlı ölçümler almışlardır. Elde ettikleri bu değerleri, SO_2 , NO_2 , PM_{10} ve CO emisyonlarının Avrupa ve Türkiye hava kalitesi limit değerleri ile kıyaslamışlardır. Sonuçta; Ambarlı Limanı ve Avcılar ilçesinden alınan SO_2 , CO, NO_2 emisyon ölçüm değerlerinin Avrupa ve Türkiye hava kalitesi limit değerlerinin altında olduğunu gözlemlemişlerdir.

1.2 Tezin Amacı

Uluslararası standartlar ile gemi kaynaklı emisyonların sınırlandırılması, emisyonların ölçülmesi düzenli olarak takibinin yapılıp raporlanmasının zorunlu hale getirilmesi ile denizcilik sektöründe köklü değişikliklere gidilmeye sebebiyet

vermiştir. Egzoz gazı emisyonunun insan sağığına birçok zararlı etkisinin olduğı tartışmasız bir gerçektir. Marmara bölgesi ve çevresindeki limanlar, İstanbul ve Çanakkale Boğazları, Türkiye için gemi trafiğinin en yoğun olarak yaşandığı bölgeler olup bu çalışmada İstanbul Boğazı'nın önemli bir noktasında, kent ile iç içe geçmiş durumda bulunan Haydarpaşa Limanı incelenecektir. 2019 yılı Mart, Nisan ve Mayıs ayları boyunca Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin; tipi, inşa yılı, gros tonajı, ana makine güçleri ve devirleri, yardımcı makine güçleri, limana geliş sayıları ve seyir, manevra ve limanda kalış süreleri dikkate alınarak literatürde yer alan emisyon tahmin yöntemleri kullanılarak NO_x, CO₂, SO₂, VOC, CO ve PM emisyonları hesaplanacaktır. Haydarpaşa Liman Bölgesinden gerçek zamanlı olarak alınan SO₂, NO_x, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyonlarının ölçüm sonuçları gemi hareketlerine bağılı olarak değerlendirilecek olup İstanbul ilinin Üsküdar ve Kadıköy ilçelerinden alınan gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak Ulusal ve Uluslar arası hava kalitesi limit değerleri sınırları dahilinde olup olmadığı değerlendirilecektir.

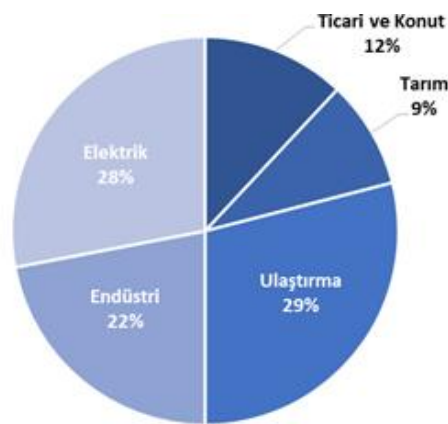
1.3 Hipotez

Limanlarda ve boğazı olan kentlerde özellikle gemi kaynaklı emisyonların saptanması ve bu bölgelerde hava kalitesinin belirlenmesi için ölçümler yapılmalıdır. Yapılan ölçümler kayıt altına alınıp bunların ulusal ve uluslararası hava kalitesi limit değerlerine göre kontrolü değerlendirilmelidir.

2.1 Emisyonun Tanımı

Sanayi devriminden itibaren insanlık tarihi büyük ilerleme kaydetmiştir. Bu gelişimle beraber enerjiye olan ihtiyaç her geçen gün artmış ve artmaya devam etmektedir. Bu ihtiyaçların giderilmesi için son yüzyılda büyük oranda fosil yakıtlar ve bunların sentetik türevlerinin kullanılması yoluna gidilmiştir. Özellikle içten yanmalı motor teknolojilerinin keşfiyle beraber gerek sanayi gerekse taşımacılık alanında fosil yakıtların kullanılması emisyon kavramını ve emisyonun çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkilerini tartışmaya açmıştır.

Emisyonu kısaca doğal gaz, benzin, gazyağı, biodizel karışımları, mazot, fuel oil veya kömür gibi yakıtların yanması sonucu açığa çıkan egzoz gazlarının yayılımı olarak ifade edebiliriz [29]. Çevre kirliliğine sebep olan emisyonların başlıca kaynakları olarak endüstri gazları, konut bacalarından çıkan gazlar, termik santraller ve motorlu taşıtların oluşturduğu gazlar olarak sıralanabilir. Amerikan Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) 2017 yılı verilerine göre bu sayılan emisyonlardan en büyük kaynağı %29'luk bir pay ile motorlu taşıtların oluşturduğunu saptamışlardır [30].

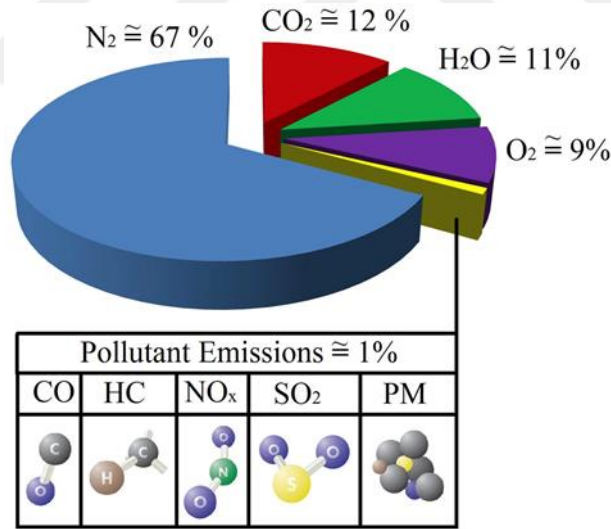


Şekil 2.1 2017 Yılı Toplam Sera Gazı Emisyonlarının Sektörlere Göre Dağılımı [30]

Motorlu taşıtlardan kaynaklı egzoz gazlarının oluşumunda normal şartlarda fosil yakıtların oksijen ile tepkimesi yani yanma denen olay sonucunda CO₂, H₂O ve NO_x bileşiklerinin emisyon olarak ortaya çıkması beklenir. Fakat hiçbir yanmanın optimum şartlarda gerçekleşmemesinden dolayı tam yanma olmaz ve bu bileşiklere ek olarak birtakım çevre ve insan sağlığına zararlı gazlar da ortaya çıkar. Bunlar;

- Karbon oksitler
- Azot oksitler
- Hidrokarbonlar
- Kükürtlü Bileşenler
- Aldehitler ve partiküllerdir [31].

Çalışmamıza esas teşkil eden gemi kaynaklı emisyonların başlıca belirleyicisi olan yakıt türü dizel yakıtlar ve türevleridir. Dizel yakıtların yanması sonucu doğaya salınan başlıca kirletici egzoz gazları: karbonmonoksitler (CO), azot oksitler (NO_x), hidrokarbonlar (HC) ve partikül maddelerdir (PM) [32].



Şekil 2.2 Dizel Yakıtların Yanması Sonucu Oluşan Gazlar ve Kirleticiler [32]

Karbonmonoksit (CO) oksidasyonun tam olarak gerçekleşmediği durumlardaki eksik yanmanın sonucu olarak oluşan havadan hafif olarak ağır, renksiz, kokusuz, tatsız ve yanıcı bir gazdır. Hemoglobini oksijen taşıyıcısı olarak kullanan canlılar için zehirli bir etkiye sahiptir [33].

Azot oksitler (NO_x) fosil yakıtın yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu oluşan azot ve oksijen gazlarının kararsız birleşimine verilen genel addır [34]. Başlıcaları azot monoksit (NO) ve azot dioksittir (NO_2). Azot oksitlerin oluşumuna sebep olan temel faktörler ulaşım araçları, enerji üretim tesisleri ve yıldırımlardır. Azot dioksit (NO_2) özellikle fotokimyasal özelliği nedeniyle sis ve pus oluşumuna neden olarak çevre kirliliğine sebep olmaktadır. İnsan sağlığı üzerinde ise solunum yollarına vermiş olduğu zararlar ile etki etmektedir. Akciğer enfeksiyonlarına karşı olan bağışıklığı azaltarak öksürük, grip, soğuk algınlığı ve bronşit gibi solunum yolu hastalıklarına sebep olmaktadır. Astım hastalarının yüksek oranda azot dioksite maruz kalması hayati riskler oluşturabilmektedir [35].

Hidrokarbon (HC) emisyonları ise dizel yakıtların yeterli sıcaklıkta yanmaması [32], hatalı hava-yakıt oranı, düşük kompresyon kaynaklı olabileceği gibi [31] doğal sebeplerle de olabilmektedir. En bilineni metandır (CH_4). Bazıları zehirli etkiye sahip olup kanserojendir [2].

Partikül maddeler (PM) oldukça küçük parçacıkların ve sıvı damlacıklarının karmaşık birleşimi olarak tanımlanmaktadır [36]. 2.5 mikrondan küçükler (Fine Particles - $\text{PM}_{2.5}$) ve 2.5 – 10 mikron arası büyüklüğe sahipler (Coarse Particles - PM_{10}) şeklinde iki grup olarak sınıflandırılırlar. Bu parçacıkların solunması kalp krizi, solunum yetmezliği, astım, kalp atışı düzensizliği gibi ciddi akciğer ve kalp rahatsızlıklarına sebep olabilmektedir. Asit yağmurları, sis, topraktaki besinlerin tüketilmesi, göllerin ve akarsuların asidik hale gelmesi gibi çevresel zararları da mevcuttur [37].

Kükürt dioksitler (SO_2) hava kirliliğine sebep olan en çok bilinen kirleticilerdendir [38]. Konutlarda ısınma ve endüstride enerji elde edilmesi için kullanılan fosil yakıtların baca gazlarında yoğun olarak bulunan kükürt dioksit hava kirliliğinin ölçülmesinde kirlenme göstergesi olarak kullanılır [39].

Deniz taşımacılığı, kapasite ve maliyet avantajı sayesinde dünya taşımacılığının kapasite olarak %90'ını, değer olarak %60'ını elinde bulundurarak önemini korumaktadır [40]. Her ne kadar diğer taşımacılık türlerine nazaran toplam yayılan emisyon miktarı az olsa da (% 3,5) gemi sayılarındaki hızlı artış gemi kaynaklı emisyonların ve bunların çevreye olan etkilerinin sorgulanmasına sebep olmuştur.

Öyle ki 2007 yılında yapılmış bir çalışmaya göre bu hızlı artış sonucunda gemi emisyonlarının etken olduğu ölümlerin beş yıllık süreçte %40 artacağı öngörülmüştür [41]. Yukarıda saymış olduğumuz gazların yanında gemi emisyonlarının ağır metalleri de içerdiği bilinmektedir [42]. Bu gibi ölümcül etkilere sahip emisyonların yayılımının engellenmesi amacıyla dünya çapında birçok düzenlemelerin uygulanması yoluna gidilmiştir. 19 Mayıs 2005'te yürürlüğe giren MARPOL Annex VI - "Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi için Kurallar" ile bu gazlardan SO_x ve NO_x emisyonlarının kademeli bir süreç ile azaltılması hedeflenmektedir [43]. Diğer taraftan Avrupa Birliği 1 Ocak 2010'dan itibaren iç su yolu gemilerince sülfür oranı %0,1'i aşan yakıtların kullanılmasını yasaklamıştır [44]. Avrupa Birliği tarafından hazırlanan EU MRV (European Union Monitoring, Reporting and Verification) regülasyonu 1 Ocak 2018, IMO tarafından hazırlanan IMO DCS (IMO Data Collection System) regülasyonu 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla zorunlu hale getirilmiştir. Bu sayede gemilerden salınan egzoz gazları izleme-raporlama ve doğrulama adımları ile kontrol altına alınacak ve azaltılabilecektir [45]. Tüm bu hususlar değerlendirildiğinde gemi kaynaklı emisyonların ölçülmesi, raporlanması ve değerlendirilmesinin gerekliliği açıkça anlaşılmaktadır.

2.2 Gemi Kaynaklı Emisyonlar

Gemi taşımacılığı, dünya ticaretinin büyük çoğunluğunu oluşturmakla birlikte diğer taşımacılık türleri arasında en çevre dostu olarak kabul edilmektedir. Fakat, uluslararası ticaret hacminin genişlemesi ile birlikte dünyadaki gemi sayısının artması gemi kaynaklı emisyon miktarının artmasına sebep olmaktadır. Gemi kaynaklı emisyonların küresel iklim ve hava kalitesine etkisi olduğu görülmektedir. 1997 Kyoto Protokolüne "Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesi için Kurallar" Ek VI Sözleşmesi 19 Mayıs 2005 tarihinde eklenmiş olup SO_x ve NO_x emisyonlarına sınırlamalar getirilmiştir.

Dünyada gemi kaynaklı emisyonların yüzde 70'inin kıyı bölgelerine 400 km mesafede olduğu görülmektedir. Bu nedenle gemi ve liman kaynaklı emisyonların kıyı kentlerinde yaşayan insanların sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir [46].

Son zamanlarda, tüm dünya limanları için en fazla önem arz eden konuların başında; çevre, hava kalitesi, atıkların giderilmesi, enerji tüketimi ve gürültü kirliliği gelmektedir. Dünya çapında bu konularda meydana gelen gelişmeler, aynı zamanda Türkiye limanlarında da görülmektedir. Başta atıkların kabulü ve ayrıştırılması olmak üzere, çevresel etkiler üzerinde önemle durulan konulardandır [46].

Gemi kaynaklı emisyonların azaltılmasını (özellikle SECA'larda) sağlamak için alınan önlemlerden biri olan gemi hızlarının azaltılması yöntemi 2009 yılında yapılan bir çalışmada değerlendirilmiş; liman ve seyir hızının azaltılması vasıtasıyla hem yakıt maliyeti hem de emisyon miktarlarının düşeceği öngörülmüştür. Bununla birlikte toplam maliyet artışı ve tedarik zincirinde deniz yolundan kara yoluna geçiş gibi birtakım riskler taşıdığı da vurgulanmıştır [47].

Dünyanın süper gücü olma hedefine emin adımlarla yürüyen Çin son on yılda deniz ticaretinde büyük bir hacim ve trafik artışı yaşamış ve bu artışın kıyı bölgelerdeki hava kirliliğine etkisi çeşitli çalışmalarla incelenmiştir. 2016 yılındaki bir çalışmada 2013 yılı itibariyle Doğu Asya'daki emisyonların dünyadaki gemi emisyonlarının %13'üne denk geldiği hesaplanmıştır. Aynı çalışma NO_x emisyonlarının ise 2001 yılına kıyasla iki kat arttığını ortaya çıkarmıştır [48].

Gemi kaynaklı NO_x emisyonları dünyadaki antropolojik toplam NO_x emisyonlarının %10'luk bir kısmını oluşturmaktadır [48]. Bunun atmosferik konsantrasyon ve küresel ısınmaya büyük etkileri olmakla beraber, özellikle insan sağlığına tehdit teşkil eden zararları yadsınamayacak düzeydedir. Atmosferin radiatif dengesini değiştiren bu emisyonlardan sülfür ve nitrojen oksidize olup sülfat ve nitrata dönüşerek asitleştirmeye neden olmakta ve ekosisteme ciddi zararlar vermektedir. Diğer taraftan karbonmonoksit gibi gazlar da küresel ısınmaya neden olan gazların en başında gelmektedir [49].

Gemi emisyonlarından bir diğeri olan PM emisyonlarının insan sağlığı üzerindeki etkilerini trajik bir şekilde ortaya koyan 2007 yılındaki bir çalışmada kardiyovasküler ve akciğer kanseri kaynaklı yıllık yaklaşık 60 bin ölüme sebep olduğu ve bu oranın beş yıllık dönemde %40 artacağı öngörülmüştür [50]. Başka bir çalışmada sadece Kaliforniya bölgesi için erken ölüm sayısı 3700 civarında değerlendirilmiştir. 2010 yılındaki bir diğer çalışmada ise Los Angeles'ta liman

bölgesinde yaşayanların diğer bölgelerde yaşayan insanlara nispeten koroner kalp hastalıkları, astım ve depresyona daha yüksek oranlarda yakalandığını göstermiştir [16].

Taşımacılık sektöründe gemi taşımacılığı her ne kadar diğer taşımacılık türlerine nazaran doğa dostu olarak nitelendirilse de deniz yolu taşımacılığının artan lojistik kapasitesi gemi emisyonlarının küresel ısınma ve insan sağlığına dair zararlı etkilerinin -eğer önlem alınmazsa- giderek artacağını göstermektedir. Nitekim bu artışın 2020 yılında Avrupa'daki SECA alanlarında gemi kaynaklı sülfür gazı emisyonlarının kara kaynaklı sülfür emisyonlarını geçmeye neden olacağı tahmin edilmektedir [51].

Diğer taraftan gemi taşımacılığı kaynaklı emisyonlar ile diğer taşımacılık türleri kaynaklı emisyonların bir karşılaştırılması yapıldığında 2000 yılında CO₂ emisyonlarının hava taşımacılığı ile aynı düzeyde, kara taşımacılığının yarısı; NO_x, SO₂ ve PM₁₀ emisyonlarının ise gemi taşımacılığında çok daha yüksek olduğu görülmüştür (NO_x 9,2 kat, SO_x 80 kat, PM ise 1200 kat fazla ölçülmüştür.) [50]. Bu emisyonların gemiler için özellikle yerleşim yerlerine yakın liman bölgeleri ve artan hacmi de değerlendirildiğinde gemi emisyonlarının günümüz koşulları için göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Karşılaşılan bu yüksek oranların en büyük sebeplerinden biri şüphesiz gemilerin kullanmış oldukları dizel yakıtlardır. Dizel yakıtlar diğer yakıtlara nazaran daha çok kirletici özelliğe sahiptir. Yapılan bir çalışmada Avrupa bölgesindeki dizel araç satışlarının 2030 yılına kadar sonlandırılmaması durumunda Paris Anlaşması'nın küresel iklim değişikliği hedeflerine ulaşmanın imkânsız olduğu değerlendirilmiştir [52]. Fakat aynı durumun deniz yolu taşımacılığı için söz konusu olamayacağı aşikardır. Bu bağlamda deniz yolu taşımacılığı için sülfür emisyonlarının azaltılması için Avrupa'da SECA'lar oluşturulmuş ve yakıt sülfür içeriğinin %0,1 seviyesine çekilmesi için yönergeler oluşturulmuştur. Yapılan incelemelerde limanlardaki sülfür oranının %66'lık bir azalış kaydettiği gözlemlenmiştir [42].

Bu oranların alınan önlemlere rağmen artan ticaret hacmi ile yıllar geçtikçe katlanacağı öngörülmektedir. Nitekim 1950-2001 yılları arasında dört kat artan taşımacılık kaynaklı emisyon miktarı, aynı dönemde üç kat artan gemi sayısındaki

artışı geride bırakmıştır. IMO'nun 2014 yılı öngörüsüne göre ise gemi kaynaklı emisyonların 2050 yılına kadar iki ile üç kat arasında artacağı belirtilmiştir [16].



3.1 Emisyon Değeri Hesaplama Metotları

Gemilerden kaynaklanan emisyonların ölçülmesi yukarıdaki bölümde belirtildiği gibi gerek IMO gibi uluslararası kuruluşlar gerekse AB ve ülkeler bazında bir zorunluluk haline gelmiştir. Bu doğrultuda literatürde farklı yöntemler sunularak gemilerin egzoz gazı emisyonlarının envanterinin tahmini yoluna gidilmektedir. Geliştirilen metotlar içerisinde genel kabul gören iki farklı yaklaşım vardır. Bunlar gemide harcanan yakıt miktarına bağlı geliştirilen üst-alt (Top-Bottom) metodu ve geminin seyir, manevra, liman hareketlerini baz alan alt üst (Bottom-Up) veya diğer bir deyişle faaliyet tabanlı emisyon tahmin metodolojisidir.

Eyring vd. [53] 2005 yılında hazırlamış oldukları çalışmalarında 1950-2001 yılları arasındaki sivil ve askeri gemilerin ana ve yardımcı makinelerinin yakıt tüketimini baz alan bir alt-üst analizi ile emisyon envanteri çıkarmışlardır. Belirtilen tarihler arasındaki gemi sayıları ve ortalama makine özellikleri kullanılarak CO₂, NO_x ve diğer emisyonların trend tahminleri hesaplanmıştır.

Wang vd. [54] 2007 yılındaki çalışmalarında ICOADS (International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) ve AMVER (Automated Mutual-Assistance Vessel Rescue System) tarafından sağlanan verilerin yanlışlığından dolayı oluşturulan atmosferik modellemeler ve emisyon envanteri çalışmalarının hatalı olduğunu vurgulamışlardır. Oluşturdukları üst-alt modelinde ICOADS veri setlerindeki fazladan kayıt veya eksik kayıt gibi hataları azaltmış ve güvenilirliği artırmışlardır. Dünyadaki ticari gemilerin %80'lik bir kısmını oluşturan kargo gemilerini esas alan çalışmalarının yayınlandığı dönem için en uygun emisyon tahmin yöntemi olduğunu idda etmişlerdir.

Tezin bu bölümünde ENTEC firmasının 2010 yılında yayınlamış olduğu emisyon hesaplama metodolojisi ve emisyon faktörleri kullanılarak 3 aylık sürede

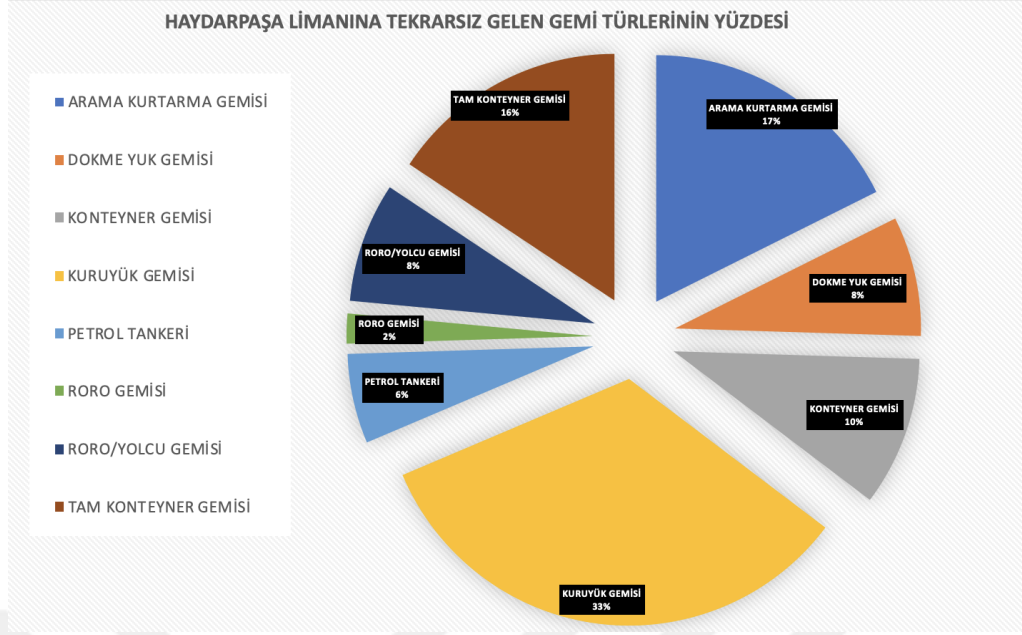
Haydarpaşa Limanı gerçek zamanlı olarak takip edilerek gemi kaynaklı emisyonlar hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan ölçüm ile alakalı olarak cihaz ve cihazın konum bilgileri verilmiştir.

3.2 Emisyon Tahmin Metodolijisi

Liman emisyonlarının hesaplanmasında gemilerin seyir, manevra ve liman işletme modlarında neden oldukları egzoz gazı miktarları analiz edilmiştir. Hesaplamalarda; gemi ana makine tipi, gücü ve yük faktörü, yardımcı makine gücü ve yük faktörü, tüketilen yakıt türü, emisyon faktörü ve her bir işletme modunda harcanan zaman parametreleri kullanılmıştır [55].

Bu çalışmada, 01.03.2019 – 01.06.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanına gelen gemilerden kaynaklı emisyonların hesaplanması için ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılmıştır. Ayrıca belirtilen tarihlerde Haydarpaşa Limanı'na gelen 51 farklı geminin 200 hareketi gözlemlenmiş olup gemi tipleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir [56].

Liman emisyonlarının hesaplanmasında gemilerin seyir, manevra ve liman işletme modlarında neden oldukları egzoz gazı miktarları analiz edilmiştir. Hesaplamalarda; gemi ana makine tipi, gücü ve yük faktörü, yardımcı makine gücü ve yük faktörü, tüketilen yakıt türü, emisyon faktörü ve her bir işletme modunda harcanan zaman parametreleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1 01.03.2019 – 01.06.2019 Tarihleri Arasında Haydarpaşa Limanına Gelen 51 Farklı Gemi Tipleri

Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin seyir işletme modunda yaydığı NO_x, SO₂, PM, VOC, CO ve CO₂ emisyonlarını hesaplayabilmek için Denklem 3.1 kullanılmıştır [57].

$$E_{seyir} (g) = \frac{D(km)}{v(km/h)} \times \left[\begin{aligned} &(ME(kW) \times LF_{ME}(\%)) \times EF(g/kWh) \\ &+ (AE(kW) \times LF_{AE}(\%)) \times EF(g/kWh) \end{aligned} \right] \quad (3.1)$$

Seyir işletme modundaki emisyonları hesaplayabilmek için Denklem 3.1'deki gerekli veriler aşağıdaki gibidir;

E_{seyir} , Seyirde oluşan emisyon (gram).

D, Manevra yerine kadar olan mesafe (km).

V, manevra yerine kadar olan ortalama hız (km/saat).

ME, Ana makine gücü (kW).

LF_{ME}, Seyirde ana makine yük faktörü(%).

AE, yardımcı makine gücü (kW).

LF_{AE}, Seyirde yardımcı makine yük faktörü(%).

EF, Her gemi türü için, seyirde kullanılan yakıt ve ana makine tipine göre emisyon faktörleri (gr/kWsaat).

Tüm gemiler için ana makine kaynaklı seyir emisyonları hesabı yapılırken ana makine devri ve kullanılan yakıt tipine göre Tablo 3.1’de verilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyon faktörleri ENTEC firmasının 2010 yılındaki çalışmasından alınmıştır. NO_x emisyon faktörleri, gemi yapım yılına göre değişiklik göstermektedir. Tablo 3.1’de NO_x1; 2000 yılı öncesi inşa edilen, NO_x2 ise; 2000 yılı ve sonrası inşa edilen gemiler için emisyon faktörü değerini ifade etmektedir.

Tablo 3.1 Ana Makine için Seyir Modunda Kullanılan Emisyon Faktörleri (gr/kWh)
[57]

İşletme Modu	Tip	NO _x 1	NO _x 2	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	CO
Seyir	Düşük Devirli	18,1	15	10,5	620	0,6	1,7	0,54
Seyir	Orta Devirli Dizel	14	11,6	11,5	677	0,5	0,8	0,54
Seyir	Yüksek Devirli	12,7	10,5	11,5	677	0,2	0,8	0,54

Tablo 3.1’de verilen ana makine tipleri makine devrine göre belirlenmektedir. RPM≤300 devir sayısına sahip ana makineler düşük devirli dizel, 300≤RPM≤1000 devir sayısına sahip ana makineler orta devirli dizel ve RPM>1000 devir sayısına sahip ana makineler ise yüksek devirli dizel olarak sınıflandırılmaktadır.

Tüm gemiler için yardımcı makine kaynaklı seyir, manevra ve liman işletme modlarındaki emisyon hesapları yapılırken kullanılan yakıt tipine göre Tablo 3.2’de verilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyon faktörleri ENTEC firmasının 2010 yılındaki çalışmasından alınmıştır.

Tablo 3.2 Yardımcı Makine için Tüm İşletme Modlarında Kullanılan Emisyon Faktörleri [57]

Yakıt tipi	NO _x 1	NO _x 2	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	CO
MGO	13,9	11,5	0,9	690	0,4	0,3	0,54
MDO	13,9	11,5	6,5	690	0,4	0,4	0,54
RO	14,7	12,2	12,3	722	0,4	0,8	0,54

Haydarpaşa Limanına gelen tüm gemilerde tüm işletme modlarındaki emisyon hesabının yapılabilmesi için ana makinede kullanılan yakıt tipi dizel motorlarında ağır yakıt olan HFO, yardımcı makinede kullanılan yakıt tipi MDO (gemi tipi dizel

yakıt) kabulü yapılmıştır. Yardımcı makine kaynaklı emisyon hesapları yapılırken Tablo 3.2’de kullanılan yakıt kabulüne göre ikinci satırdaki emisyon faktörleri kullanılmıştır. Tablo 3.2’de RO, gemilerde kullanılan ağır yakıtı, MGO ise kükürt oranı düşük olan kaliteli yakıtı ifade etmektedir.

Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin manevra ve liman işletme modlarında yaydığı egzoz gazı emisyonlarını hesaplayabilmek için Denklem 3.2’de verilen formüller kullanılmıştır. Burada T(h) ilgili işletme modunda geçen süreyi ifade etmektedir [55,58,59].

$$E_{\text{manevra-liman}} (g) = T (h) \times \left[\left(ME (kW) \times LF_{ME} (\%) \right) \times EF (g/kWh) \right. \\ \left. + \left(AE (kW) \times LF_{AE} (\%) \right) \times EF (g/kWh) \right] \quad (3.2)$$

Tüm gemiler için manevra ve liman işletme modlarında ana makine kaynaklı emisyon hesabında kullanılan emisyon faktörleri, kullanılan yakıt ve ana makine tipine göre ENTEC firmasının 2010 yılındaki çalışmasından kullanılmış olup Tablo 3.3’de gösterilmiştir [57].

Tablo 3.3 Ana Makine için Manevra ve Liman Modlarında Kullanılan Emisyon Faktörleri (gr/kWh) [57]

İşleme Modu	Tip	NO _{x1}	NO _{x2}	SO ₂	CO ₂	VOC	PM	CO
Manevra -	SSD	14,5	12	11,6	682	1,8	2,4	0,54
Manevra -	MSD	11,2	9,3	12,7	745	1,5	2,4	0,54
Manevra -	HSD	10,2	8,5	12,7	745	0,6	2,4	0,54

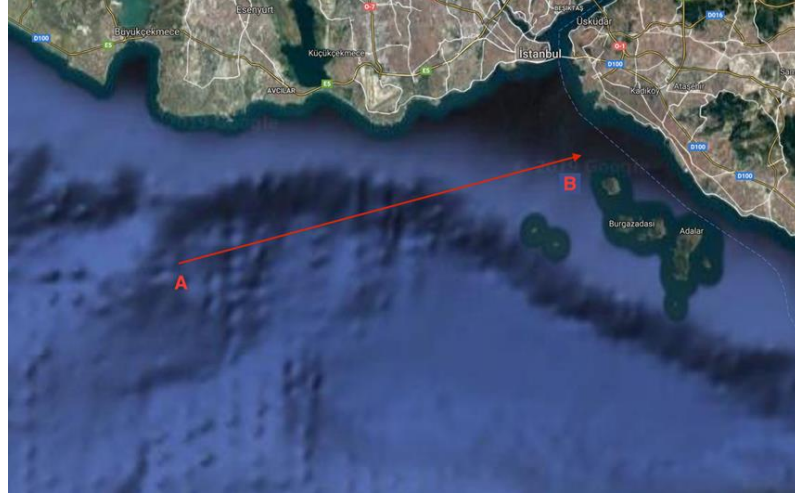
01.03.2019 – 01.06.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanına gelen 51 farklı geminin 200 hareketi ile ana ve yardımcı makineleri kaynaklı NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları, ENTEC firmasının 2010 yılında yayınlamış olduğu çalışmasındaki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem 3.1 ve 3.2’de gerekli olan teknik verilere belirtilen süre aralığında Haydarpaşa Limanı takip edilerek ulaşılmıştır. Gemilere ait egzoz emisyon miktarlarının hesaplanmasında en önemli veri kaynağı; TCDD Haydarpaşa Liman İşletmeleri Müdürlüğü’nden alınan limana gelen gemilerin adı, IMO numarası, grostonu, tipi ve limanda yükleme ve boşaltmada geçen sürelerin belirtildiği bilgilerdir. Gemilere ait teknik veriler ve gemilerin geliş sayısı Ek A listesinde düzenlenerek belirtilmiştir [60].

Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin manevra süresini hesaplamak için Şekil 3.2’de belirtilen uygulama alanı belirlenmiştir. Haydarpaşa Limanında Şekil 3.2’de belirtilen B-C arası mesafe 11,25 km manevra mesafesi olarak belirlenmiş olup bu mesafeye uzakyol gemi kaptanları ve liman otoritesi ile yapılan görüşmeler neticesinde karar verilmiştir. B-C arası mesafede gemiler 4 kont (7,4 km/h)geçen süre tüm gemiler için manevra süresi olarak belirlenmiş olup, 45 dakika limana yanaşırken ve 45 dakika limandan ayrılırken, toplam 1,5 saat olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.2 Haydarpaşa Limanı Manevra Mesafesi

Seyir işletme modundaki emisyonların hesaplanabilmesi için Şekil 3.3’de belirlenen A ve B noktalarının arası seyir mesafesi olarak kabul edilmiş olup 15,5 km’dir. Ayrıca Haydarpaşa Limanına gelen tüm gemilerin seyir hızı 17 deniz mili (31 km/h) olarak kabul edilmiştir. Bu kabuller doğrultusunda A-B arası mesafede geçen süre tüm gemiler için seyir süresi olarak belirlenmiş olup, 30 dakika limana yanaşırken ve 30 dakika limandan ayrılırken, toplam 1 saat olarak kabul edilmiştir.



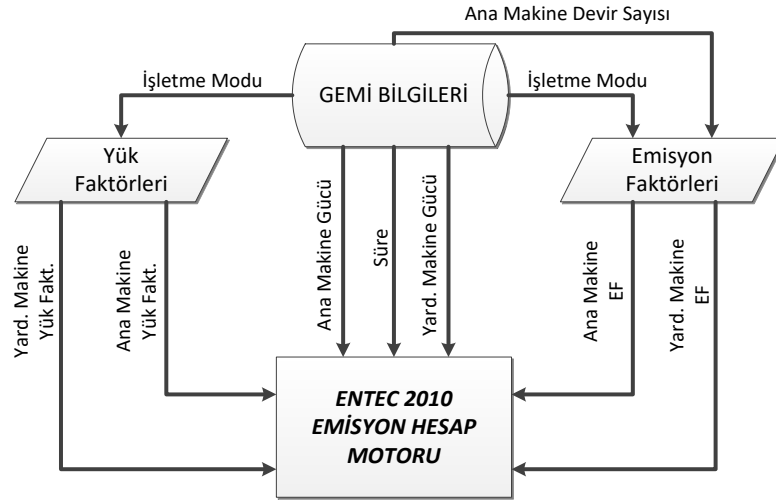
Şekil 3.3 Haydarpaşa Limanı Seyir Mesafesi

Ayrıca gemi kaynaklı egzoz gazı emisyonları hesabında ana ve yardımcı makineler için yük faktörlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yük faktörleri seyir, manevra ve liman işletme modlarına göre değişiklik gösterir. Tablo 3.4’de hesaplamalarda kullanılan farklı işletme modlarında ana makine ve yardımcı makine yükleri gösterilmiş olup ENTEC firmasının çalışmasından alınmıştır. Ana makine yükleri, seyirde %80 ve manevrada %30’dur. Yardımcı makinelerin yükleri, seyirde %50, manevrada %80 ve limanda %50’dir [56-57].

Tablo 3.4 Farklı İşletme Modlarında Ana ve Yardımcı Makine Yükleri [57]

İşletme Modu	Ana Makine Yüğü	Yardımcı Makine Yüğü
Manevrada	0,3	0,8
Limanda	0,0	0,5
Seyirde	0,8	0,5

Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin seyir, manevra ve liman işletme modlarından kaynaklı NO_x, SO₂, PM, VOC, CO ve CO₂ emisyonlarının hesabında kullanılan algoritma Şekil 3.4’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.4 ENTEC Emisyon Hesabı Çalışma [18]

3.3 Haydarpaşa Limanına Ait Genel Bilgiler

1899 yılında Anadolu Bağdat Demiryolları Kumpanyası tarafından inşasına başlanan Haydarpaşa Limanı 1954 yılından günümüze kadar Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları (TCDD) tarafından işletilmektedir [61]. Denizyolu, demiryolu ve karayollarının kesiştiği bir konumda olması ve boğazın girişinde korumalı bir yapıya sahip olması sebebiyle stratejik bir konuma sahiptir [61].

Marmara Bölgesinin en büyük konteyner limanı olan Haydarpaşa Limanı; Mersin ve İzmir'den sonra TCDD'nin işlettiği limanlar içerisinde Türkiye'nin en büyük üçüncü limanıdır [62].

3.3.1 Haydarpaşa Limanı Teknik Bilgileri

Haydarpaşa Limanı, 3413 metre toplam rıhtım uzunluğu ve 343.420 m² liman sahası ile 655.00 TEU/Yıl konteyner ekipman kapasitesine sahip olup, elleçleme kapasitesi olarak ise 1.913.000 ton/yıl'lık bir kapasiteye sahiptir [61]. Haydarpaşa Limanına ait teknik bilgiler Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Haydarpaşa Limanı Genel Özellikleri [55]

HAYDARPAŞA LİMAN İŞLETMELERİ	
Coğrafi Konum	Enlem 40° 59' 00" N Boylam 28° 57' 00" E
Toplam Rıhtım Uzunluğu	3.413 metre
Rıhtım Derinlikleri	- 5m / - 12m
Liman Sahası	343.420 m ²
Gemi Kabul Kapasitesi	1.169 gemi/yıl
Genel Kargo ve Kuru Dökme Yük Elleçleme Kapasitesi	1.913.000 ton/yıl
Ro-Ro Rıhtım Kapasitesi	149.100 tır adet/yıl
Konteyner Ekipman Kapasitesi	655.000 TEU/yıl
Karışık Eşya Stoklama Kapasitesi	225.000 ton
Konteyner Stoklama Kapasitesi	426.000 TEU/yıl

3.3.2 Haydarpaşa Limanı Genel Planı

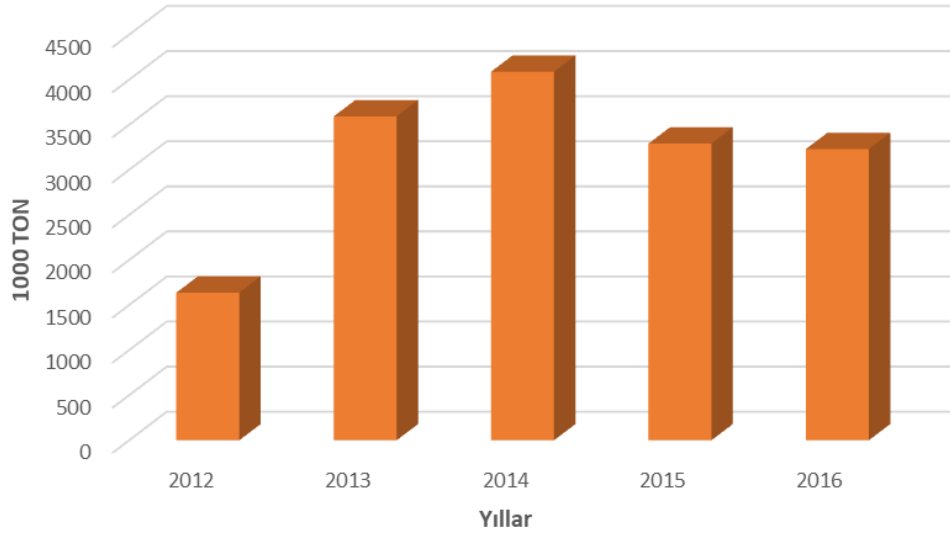
Haydarpaşa Limanının 2 büyük iskelesi ve 21 adet rıhtımı vardır. İskele ve rıhtımlar genel kargo, Ro-Ro ve konteyner terminalleri şeklinde bölümlere ayrılmıştır [63]. Haydarpaşa Limanına ait genel yerleşim Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5 Haydarpaşa Limanı Genel Yerleşimi

3.3.3 Haydarpaşa Limanı İstatistikî Bilgiler

Şekil 3.6’da 2012-2016 yılları arasında Haydarpaşa Limanına ait elleçlenen genel yük miktarları gösterilmiştir. En düşük değeri 2012 yılında 1.638.000 Ton ile ortalama yük değeri olan 3.168.000 tonun %51 oranında altında olduğu görülmektedir. Diğer taraftan en yüksek yük elleçleme 4.089.000 ton ile 2014 yılında gerçekleşmiştir [64].



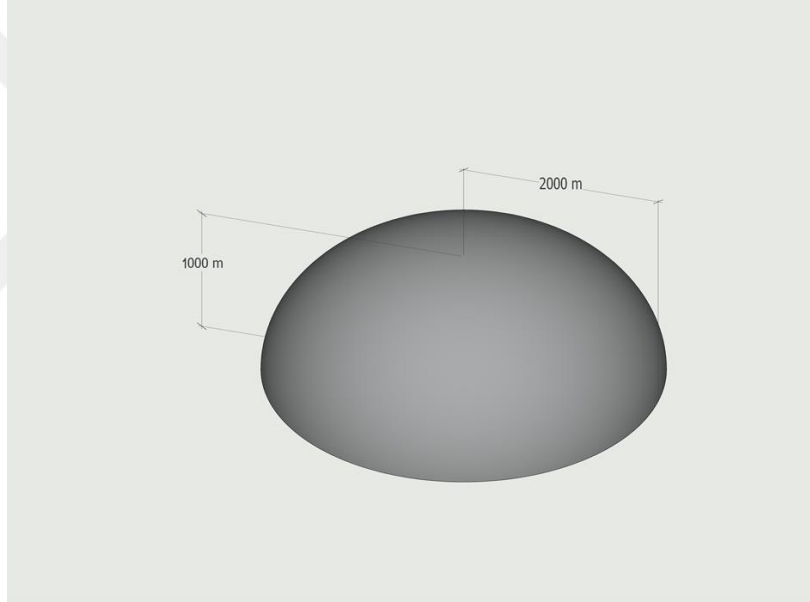
Şekil 3.6 Haydarpaşa Limanı Yıl Bazında Genel Yük Elleçleme İstatistiği

3.4 Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı

Haydarpaşa Limanına TCDD Haydarpaşa Liman İşletmeleri Müdürlüğü’nden limanlarda hava kalitesi ölçümü ve analizi çalışması kapsamında gerekli izinler alınarak yerleştirilen İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Çevre ve Koruma Daire Başkanlığı Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonuna ait resim Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Hava kalitesi ölçüm cihazı 2000 m yatay 1000 m dikey bir hacim içinde ölçüm yapmaktadır.



Şekil 3.7 İBB Hava Kalitesi Ölçüm İstasyonu Görseli



Şekil 3.8 İBB Hava Kalitesi Ölçüm Cihazı Ölçüm Bölgesi Küresel Bakış

3.4.1 NO/NO₂/NO_x Ölçümleri

Bu çalışmada, NO/NO₂/NO_x ölçümlerinde düşük konsantrasyonlardaki azot oksit gazları için ölçüm yapabilen Environmental S.A. marka AC32M model ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı, 0,1 ppm - 10 ppm çalışma aralığında, 0,1 ppb hassasiyet ile çalışmaktadır [65].

3.4.2 CO Ölçümleri

CO ölçümleri için Beer-Lambert kanununa göre kızılötesi emilim prensibi göre çalışan Environmental S.A. marka CO12M model ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm cihazı, 10 ppm - 1200 ppm çalışma aralığında, 0,1 ppm hassasiyet ile çalışmaktadır [66].

3.4.3 SO₂ Ölçümleri

Bu çalışmada SO₂ ölçümleri, Ultraviyole (UV) floresans ölçümü prensibine göre çalışmakta olan Environmental S.A. marka AF22M model ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm cihazı, 1 ppm – 10 ppm çalışma aralığında, 0,1 ppb hassasiyet ile çalışmaktadır [67].

3.4.4 PM₁₀ / PM_{2.5} Ölçümleri

Bu çalışmada PM₁₀ ve PM_{2.5} ölçümleri, çevre ve çalışma ortamı havasındaki 10, 2.5 ve 1 mikronun altında olan toz parçacıklarını ölçen Environmental S.A. marka MP101M model ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Ölçüm prensibi, ortam havasında bulunan tanecikli madde kütlesinin ölçülmesi ile ilgili beta ışınlarının tanecikli madde tarafından absorpsiyonu esasına dayalı bir yöntemi kapsar [68].

3.5 Haydarpaşa Limanına Gelen Gemilerden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

01.03.2019 – 01.06.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin gerçek ana ve yardımcı makine güçleri ve devirleri ve gemilerin gerçek zamanlı takibi sonucu liman süreleri bilindiği için açıklanan metod ile NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalar işletme modlarına göre ana makine ve yardımcı makine kaynaklı olarak değerlendirilmiştir.

3.5.1 Gemilerin Ana Makinesinden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

Belirtilen tarih aralığında Haydarpaşa Limanına gelen 51 farklı geminin 200 hareketi ile ana makine kaynaklı NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları açıklanan metod ile hesaplanmıştır. Her gemiden yayılan ana makine kaynaklı egzoz gazı emisyon miktarları gemi işletme modlarına göre Tablo 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.6 Gemi İşletme Modlarına Göre Ana Makinelere Ait Egzoz Gazı Miktarları

Egzoz gazı emisyon çeşitleri	Ana makine kaynaklı egzoz gazı miktarları, ton/3ay	
	Seyirde	Manevrada
NO _x	13,89	5,21
SO ₂	8,64	5,37
CO ₂	509,20	315,14
VOC	0,42	0,71
PM	0,97	1,06
CO	0,42	0,24

3.5.2 Gemilerin Yardımcı Makinesinden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

Belirtilen tarih aralığında Haydarpaşa Limanına gelen 51 farklı geminin 200 hareketi ile yardımcı makine kaynaklı NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları açıklanan metod ile hesaplanmıştır. Her gemiden yayılan yardımcı makine kaynaklı egzoz gazı emisyon miktarları gemi işletme modlarına göre Tablo 3.7’de gösterilmiştir.

Tablo 3.7 Gemi İşletme Modlarına Göre Yardımcı Makinelere Ait Egzoz Gazı Miktarları

Egzoz gazı emisyon çeşitleri	Yardımcı makine kaynaklı egzoz gazı miktarları, ton/3ay		
	Seyirde	Manevrada	Limanda
NO _x	2,56	5,13	36,44
SO ₂	1,05	2,52	18,13
CO ₂	111,67	268,02	1924,98
VOC	0,06	0,16	1,12
PM	0,06	0,16	1,12
CO	0,09	0,21	1,51

3.5.3 Gemilerden Yayılan Toplam Egzoz Gazı Miktarları

01.03.2019 – 01.06.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin ana makine ve jeneratörlerinden yayılan toplam egzoz gazı miktarları, işletme modlarına göre Tablo 3.8’de gösterilmiştir.

Tablo 3.8 Gemi İşletme Modlarına Göre Toplamda Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

Egzoz gazı emisyon çeşitleri	Toplam egzoz gazı miktarları, ton/3 ay, Entec			
	Seyirde	Manevrada	Limanda	Toplam
NO _x	16,45	10,34	36,44	63,23
SO ₂	9,69	7,89	18,13	35,71
CO ₂	620,88	583,16	1924,98	3129,02
VOC	0,48	0,86	1,12	2,46
PM	1,03	1,21	1,12	3,36
CO	0,51	0,45	1,51	2,47

3.5.4 Gemilerden Yayılan 32 Gönlük Toplam Egzoz Gazı Miktarı

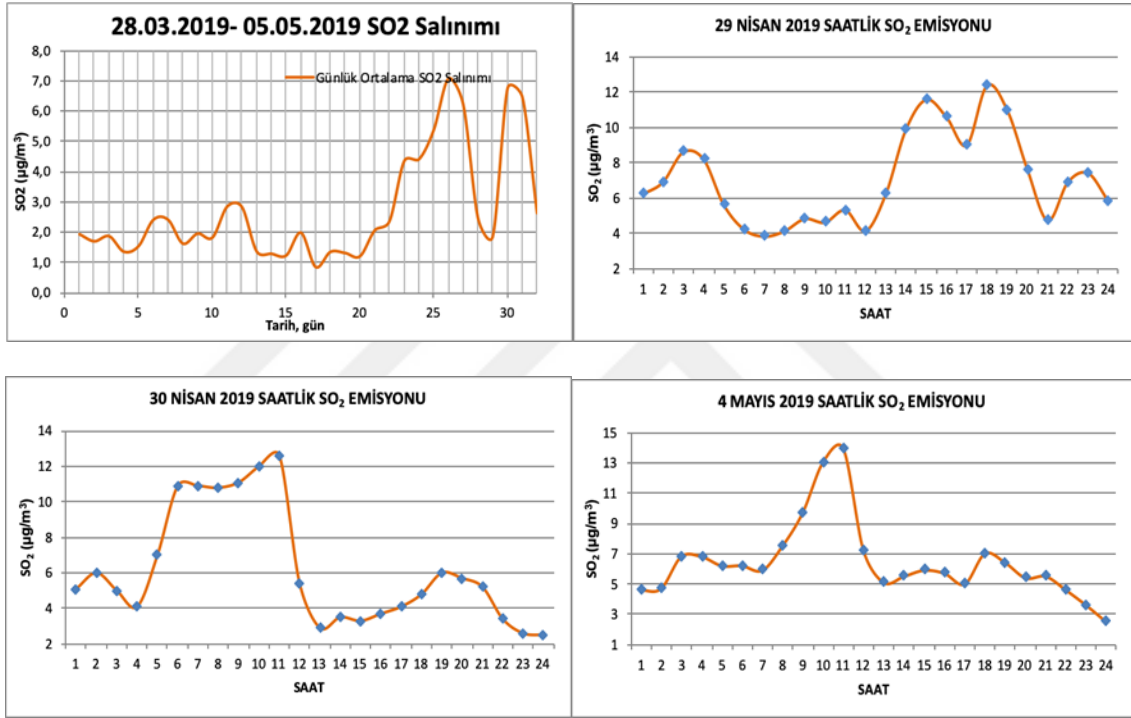
28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanına gelen gemilerin ana makine ve jeneratörlerinden yayılan egzoz gazı miktarları Tablo 3.9'de gösterilmiştir.

Tablo 3.9 Gemi İşletme Modlarına Göre Toplamda Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

Egzoz gazı emisyon çeşitleri	Toplam egzoz gazı miktarları, ton/32 gün, Entec		
	Manevrada	Limanda	Toplam
NO _x	4,47	8,42	12,89
SO ₂	3,42	4,3	7,72
CO ₂	253,25	547,36	800,61
VOC	0,37	0,26	0,63
PM	0,52	0,26	0,78
CO	0,19	0,357	0,547

4.1 Haydarpaşa Limanı Günlük ve Saatlik Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1 SO₂ Emisyonu Değerlendirmesi



Şekil 4.1 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik SO₂ Emisyon Değerleri

Şekil 4.1’de 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa liman bölgesinde gerçek zamanlı ölçülen SO₂ emisyon değerinin günlük ortalama ve belirlenen kritik günler için saatlik SO₂ emisyon değerleri verilmiştir. Yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçümleri analiz edildiğinde SO₂ emisyonu için, 29 Nisan 2019, 30 Nisan 2019 ve 4 Mayıs 2019 tarihleri kritik günler olarak belirlenmiştir. Ayrıca kritik üç günün saatlik olarak ölçüm sonuçları gösterilmiş olup bu günlerdeki gemi hareketlilikleri incelenmiştir.

32 günlük yapılan gerçek ölçüm sonuçları ile aynı tarihler arasında ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılarak bulunan 3.9'da bulunan toplam emisyon sonuçları ile kıyaslandığında, %44,3 gemi kaynaklı olduğu hesaplanmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda kritik olarak belirlenen 29 Nisan tarihinde, hava kalitesi ölçüm cihazının yerleştirildiği Haydarpaşa Limanı'nda 14:00 ile 17:00 saatleri arasında en yüksek SO₂ emisyon değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda 14:00 ile 17:00 saatleri arasında herhangi bir gemi hareketi gözlemlenmemiştir. Ayrıca 29 Nisan günü limanda hareketi olan 2 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 29 Nisan 2019 tarihinde limanda toplamda 3 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 02:00 ve 04:00'de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 23:00'da bir adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde SO₂ emisyon değerleri sırasıyla 8,6 µg/m³, 5,6 µg/m³ ve 5,8 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 02:00'da ölçülen değer tüm günün ortalama değeri olan 7,1 µg/m³'ün üzerinde iken, 04:00 ve 23:00'daki değerler ise günün ortalama ölçüm değerinin altındadır.

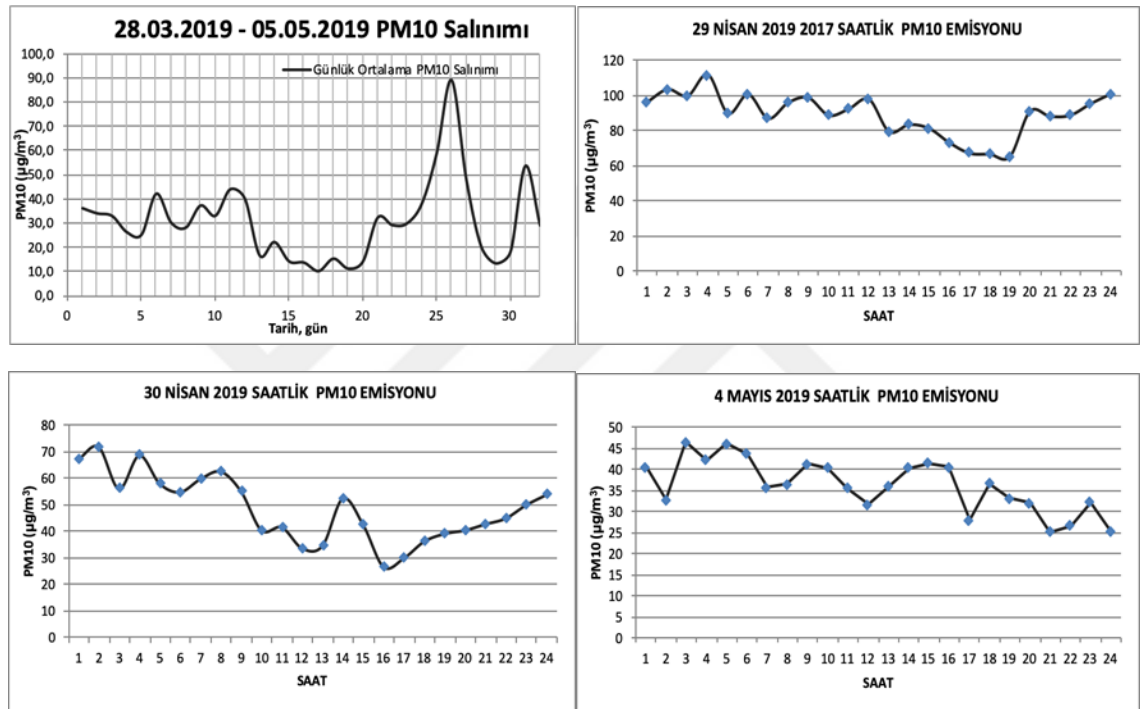
Diğer bir kritik gün olan 30 Nisan 2019 tarihinde 05:00 ile 11:00 saatleri arasında en yüksek SO₂ değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda 05:00 ile 11:00 saatleri arasında üç adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 30 Nisan günü Haydarpaşa Limanı'nda hareketi olan 5 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 30 Nisan günü limanda toplamda 6 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 09:00, 10:00, 11:30 ve 21:30'de dört farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:30 ile 18:00'da iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde SO₂ emisyon değerleri sırasıyla 12,0 µg/m³, 12,6 µg/m³, 4,2 µg/m³, 3,0 µg/m³, 10,9 µg/m³, 6,0 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 09:00, 10:00 ve 05:30'daki alınan ölçüm değerleri tüm günün ortalama değeri olan 6,2 µg/m³'ün üzerinde iken, 11:30, 21:30 ve 18:00'daki ölçüm değerleri ise günün ortalama ölçüm değerinin altındadır.

4 Mayıs 2019 tarihinde ise 08:00 ile 11:00 saatleri arasında en yüksek SO₂ değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda 08:00 ile 11:00 saatleri arasında iki adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 4 Mayıs günü Haydarpaşa Limanı'nda hareketi olan 3 geminin limanda kalış süreleri toplamı 9 saattir. 4 Mayıs günü limanda toplamda 4 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 08:00 ve 23:00'de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:00, 11:00'da iki adet gemi kalkış manevrasıdır.

Bu saatlerde SO₂ emisyon değerleri sırasıyla 9,7 µg/m³ , 2,5 µg/m³ 6,2 µg/m³ ve 7,2µg/m³ olarak ölçülmüştür. 08:00 ve 11:00'da alınan ölçüm değerleri tüm günün ortalama değeri olan 6,4 µg/m³ üzerinde, 05:00 ve 23:00'daki ölçüm değerleri ise günün ortalama ölçüm değerinin altındadır.

32 günlük ölçüm sonucunda Haydarpaşa Limanı SO₂ emisyon değerinin ortalaması 2,7 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.

4.1.2 PM₁₀ Emisyonu Değerlendirmesi



Şekil 4.2 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik PM₁₀ Emisyon Değerleri

Şekil 4.2'de 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa liman bölgesinde gerçek zamanlı ölçülen PM₁₀ emisyon değerinin günlük ortalama ve belirlenen kritik günler için saatlik PM₁₀ emisyon değerleri verilmiştir. Yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçümleri analiz edildiğinde PM₁₀ emisyonu için, 29 Nisan 2019, 30 Nisan 2019 ve 4 Mayıs 2019 tarihleri kritik günler olarak belirlenmiştir. Ayrıca kritik üç günün saatlik olarak ölçüm sonuçları gösterilmiş olup bu günlerdeki gemi hareketlilikleri incelenmiştir. Kritik günler olarak belirlenen 29 Nisan, 30 Nisan ve 4 Mayıs tarihlerinin günlük PM₁₀ emisyon değerleri sırasıyla 89,3 µg/m³ , 48,3 µg/m³ ve 53,8µg/m³ olarak ölçülmüştür.

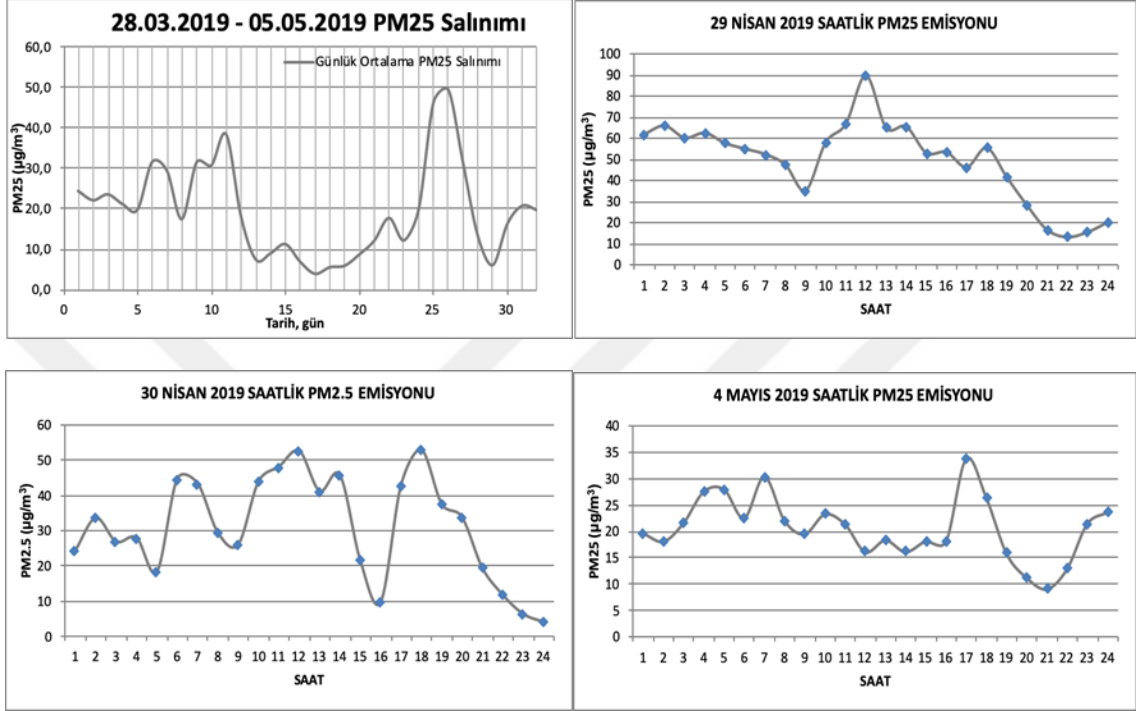
Yapılan gerçek zamanlı toplam PM lmleri ile aynı tarihler arasında ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılarak bulunan 3.9’da bulunan toplam emisyon sonuçlar ile kıyaslandığında, %0,3 gemi kaynaklı olduğu hesaplanmıştır

lm sonuçlarına göre, 29 Nisan 2019 tarihinde 01:00 ile 05:00 saatleri arasında en yüksek PM₁₀ değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı’nda 01:00 ile 05:00 saatleri arasında 2 adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 29 Nisan günü Haydarpaşa Limanı’nda hareketi olan 2 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 29 Nisan 2019 tarihinde toplamda 3 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 02:00 ve 04:00’de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 23:00’da bir adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde sırasıyla PM₁₀ emisyon değerleri 99,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 89,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 100,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 02:00, 04:00 ve 23:00’daki ölçüm değerleri tüm günün ortalama değeri olan 89,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ’n üzerindedir.

Diğer bir kritik gün olan 30 Nisan 2019 tarihinde 00:00 ile 07:00 saatleri arasında en yüksek PM₁₀ emisyon değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı’nda 00:00 ile 07:00 saatleri arasında bir adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 30 Nisan günü Haydarpaşa Limanı’nda hareketi olan 5 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 30 Nisan günü limanda toplamda 6 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 09:00, 10:00, 11:30 ve 21:30’de dört farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:30, 18:00’da iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerdeki sırasıyla PM₁₀ emisyon değerleri 40,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 41,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 47,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 57,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 05:30’daki alınan ölçüm değeri tüm günün ortalama değeri olan 48,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ üzerinde, 09:00, 10:00, 11:30, 21:30 ve 18:00’daki ölçüm değerleri ise günün ortalama ölçüm değerinin altındadır. 4 Mayıs 2019 tarihinde ise 07:00 ile 12:00 saatleri arasında en yüksek PM₁₀ emisyon değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanında 07:00 ile 12:00 saatleri arasında iki adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 4 Mayıs günü Haydarpaşa Limanı’nda hareketi olan 3 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 9 saattir. 4 Mayıs 2019 tarihinde limanda toplamda 4 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar, 08:00 ve 23:00’de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:00, 11:00’da iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde sırasıyla PM₁₀ emisyon değerleri 84,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 6,1

$\mu\text{g}/\text{m}^3$, $59,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $97,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 05:00, 08:00 ve 11:00'daki alınan ölçüm değerleri tüm günün ortalama değeri olan $53,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ üzerinde, 23:00'daki ölçüm sonucu ise günün ortalama değerinin altındadır.

4.1.3 PM_{2.5} Emisyonu Değerlendirmesi



Şekil 4.3 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik PM_{2.5} Emisyon Değerleri

Şekil 4.3'de 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa liman bölgesinde gerçek zamanlı ölçülen PM_{2.5} emisyon değerinin günlük ortalama ve belirlenen kritik günler için saatlik PM_{2.5} emisyon değerleri verilmiştir. Yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçümleri analiz edildiğinde PM_{2.5} emisyonu için, 29 Nisan 2019, 30 Nisan 2019 ve 4 Mayıs 2019 tarihleri kritik günler olarak belirlenmiştir. Ayrıca kritik üç günün saatlik olarak ölçüm sonuçları gösterilmiş olup bu günlerdeki gemi hareketlilikleri incelenmiştir. Kritik günler olarak belirlenen 29 Nisan, 30 Nisan ve 4 Mayıs tarihlerinin günlük PM_{2.5} emisyon değerleri sırasıyla $49,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $31,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $20,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür.

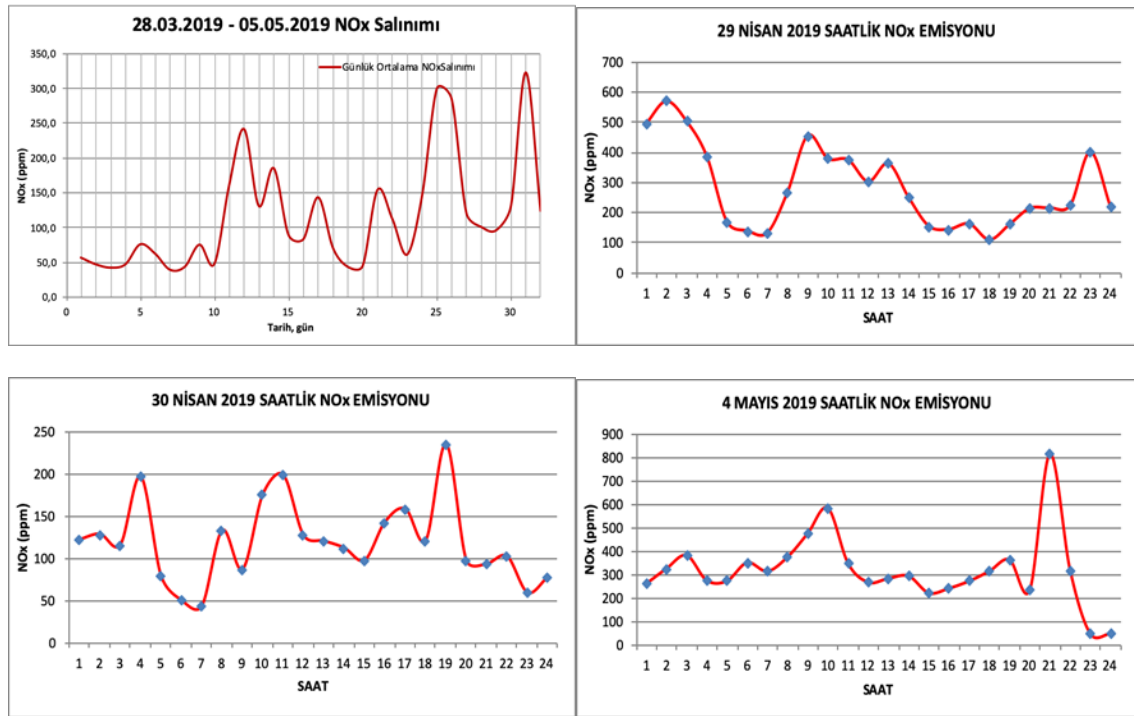
29 Nisan 2019 tarihinde 00:00 ile 05:00 saatleri arasında en yüksek PM₁₀ değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda 00:00 ile 05:00 saatleri arasında 2 adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 29 Nisan günü Haydarpaşa Limanı'nda hareketi

olan 2 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 29 Nisan 2019 tarihinde toplamda 3 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 02:00 ve 04:00'de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 23:00'da bir adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde sırasıyla PM_{2.5} emisyon değerleri 60,1 µg/m³, 57,4 µg/m³ ve 20,1 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 02:00 ve 04:00'daki alınan ölçüm değerleri tüm günün ortalama değeri olan 49,4 µg/m³ üzerinde, 23:00'da ölçülen değer ise günün ortalama değerinin altındadır.

Diğer bir kritik gün olan 30 Nisan 2019 tarihinde 05:00 ile 13:00 saatleri arasında en yüksek PM_{2.5} değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda 05:00 ile 13:00 saatleri arasında dört adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 30 Nisan günü limanda hareketi olan 5 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 30 Nisan günü limanda toplamda 6 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar, 09:00, 10:00, 11:30 ve 21:30'da dört farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:30, 18:00'da iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde PM_{2.5} emisyon değerleri sırasıyla 44,0 µg/m³, 48,2 µg/m³, 46,95 µg/m³, 9,3 µg/m³, 44,1 µg/m³ ve 37,7 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 05:30, 09:00, 10:00, 11:30 ve 18:00'deki ölçülen değerler tüm günün ortalama değeri olan 31,2 µg/m³ üzerinde, 21:30' daki ölçüm değeri ise günün ortalama değerinin altındadır.

04 Mayıs 2019 tarihinde 02:00 ile 09:00 saatleri arasında en yüksek PM_{2.5} emisyon değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanında 02:00 ile 09:00 saatleri arasında iki adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 04 Mayıs günü Haydarpaşa Limanı'nda hareketi olan 3 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 9 saattir. 04 Mayıs 2019 tarihinde limanda toplamda 4 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar, 08:00 ve 23:00'de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:00, 11:00'da iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde sırasıyla PM_{2.5} emisyon değerleri sırasıyla 19,6 µg/m³, 23,7 µg/m³, 22,6 µg/m³ ve 16,2 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 05:00 ve 23:00'da ölçülen değerler tüm günün ortalama değeri olan 20,7 µg/m³ üzerinde, 08:00 ve 11:00'daki ölçüm değerleri ise günün ortalama değerinin altındadır.

4.1.4 NO_x Emisyonu Değerlendirmesi



Şekil 4.4 Ölçüm Tarihi için Günlük ve Kritik Günler için Saatlik NO_x Emisyon Değerleri

Şekil 4.4’de 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa liman bölgesinde gerçek zamanlı ölçülen NO_x emisyon değerinin günlük ortalama ve belirlenen kritik günler için saatlik NO_x emisyon değerleri verilmiştir. Yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçümleri analiz edildiğinde NO_x emisyonu için, 29 Nisan 2019, 30 Nisan 2019 ve 4 Mayıs 2019 tarihleri kritik günler olarak belirlenmiştir. Ayrıca kritik üç günün saatlik olarak ölçüm sonuçları gösterilmiş olup bu günlerdeki gemi hareketlilikleri incelenmiştir. Kritik günler olarak belirlenen 29 Nisan, 30 Nisan ve 4 Mayıs tarihlerinin günlük NO_x emisyon değerleri sırasıyla 284,8 µg/m³, 120,7 µg/m³ ve 322,9. µg/m³ olarak ölçülmüştür.

32 günlük sürede yapılan gerçek zamanlı ölçümler ile aynı tarihler arasında ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılarak bulunan 3.9’da bulunan toplam emisyon sonuçlar ile kıyaslandığında, %1,8 gemi kaynaklı olduğu hesaplanmıştır.

29 Nisan 2019 tarihinde 00:00 ile 03:00 saatleri arasında en yüksek NO_x değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı’nda 00:00 ile 03:00 saatleri arasında bir adet gemi

hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 29 Nisan günü Haydarpaşa Limanı'nda hareketi olan 2 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 29 Nisan günü limanda toplamda 3 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 02:00 ve 04:00'de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 23:00'da bir adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde NO_x emisyon değerleri sırasıyla 505,6 µg/m³, 171,2 µg/m³ ve 220,5 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 02:00'da ölçülen değer, tüm günün ortalama değeri olan 284,8 µg/m³'ün üzerinde, 04:00 ve 23:00'da ölçülen değerler ise günün ortalama değerinin altındadır.

30 Nisan 2019 tarihinde 09:00 ile 18:00 saatleri arasında en yüksek NO_x değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanında 09:00 ile 18:00 saatleri arasında 4 adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 30 Nisan günü Haydarpaşa Limanı'nda hareketi olan 5 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 41 saattir. 30 Nisan günü limanda toplamda 6 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar, 09:00, 10:00, 11:30 ve 21:30'da dört farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:30, 18:00'da iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde NO_x emisyon değerleri sırasıyla 176,5 µg/m³, 199,5 µg/m³, 124,5 µg/m³, 82,9 µg/m³, 47,8 µg/m³ ve 236,3 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 09:00, 10:00, 11:30 ve 18:00'da ölçülen değerler tüm günün ortalama değeri olan 120,7 µg/m³'ün üzerinde iken, 05:00 ve 21:30'daki ölçüm değerleri ise günün ortalama değerinin altındadır.

04 Mayıs 2019 tarihinde 02:00 ile 10:00 saatleri arasında en yüksek NO_x değerleri ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda 02:00 ile 10:00 saatleri arasında 2 adet gemi hareketi gözlemlenmiştir. Ayrıca 04 Mayıs günü limanda olan 3 farklı geminin limanda kalış süreleri toplamı 9 saattir. 04 Mayıs 2019 tarihinde limanda toplamda 4 adet gemi hareketi gözlemlenmiş olup bunlar: 08:00 ve 23:00'de iki farklı gemi yanaşma manevrası ve 05:00, 11:00'de iki adet gemi kalkış manevrasıdır. Bu saatlerde NO_x emisyon değerleri sırasıyla 477,7 µg/m³, 51,3 µg/m³, 353,6 µg/m³ ve 270,1 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 05:00 ve 08:00'de ölçülen değerler tüm günün ortalama değeri olan 322,9 µg/m³ üzerinde iken, 11:00 ve 23:00'deki ölçüm değerleri ise günün ortalama değerinin altındadır.

Tablo 4.1 Hava Kalitesi Ölçüm Cihazından Toplanan Veriler

	SO ₂	PM ₁₀	CO	NO	NO ₂	NO _x	PM _{2.5}
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm	µg/m ³
TOPLAM	87,1	992,2	9317,3	1581,2	2110	3691,2	630,2
ORTALAMA	2,7	31	291,2	49,4	65,9	115,3	19,7

28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında, Haydarpaşa Limanı'na yerleştirilen hava kalitesi ölçüm cihazından alınan günlük emisyon değerleri incelendiğinde, Tablo 4.1'de cihazın arıza durumu, bakım ve kalibrasyonunun yapıldığı günler haricinde 32 günlük toplam ve ortalama ölçüm değerleri gösterilmiştir.

Aynı tarihler arasında Haydarpaşa Liman bölgesinde yapılan gerçek zamanlı ölçüm ile aynı tarihler arasında ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılarak bulunan toplam emisyon sonuçları ile kıyaslandığında emisyon türleri bakımından yüzdeleri gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Gemi Kaynaklı Emisyon Yüzdesi

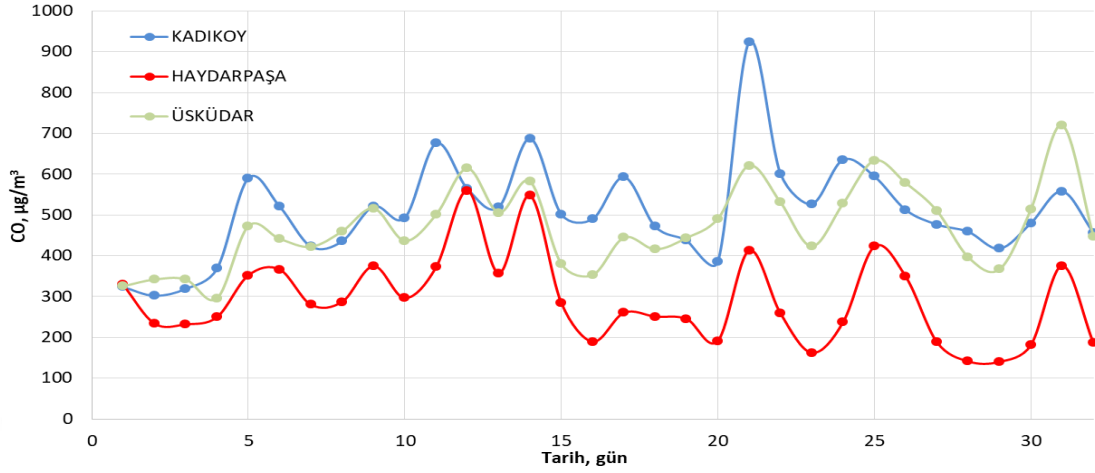
Emisyon Türleri	Ton / 32 Gün		
	Entec	Ölçüm Cihazı	%
NOX	12,89	730,9	1.8%
SO2	7,72	17,5	44.2%
PM	0,78	246,3	0.3%
CO	0,547	1872,8	0.03%

4.2 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Hava Kalitesi Ölçüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

4.2.1 Karbon Monoksit (CO)

Yüksek güçlü dizel motorlarında yanma sonucu sıcaklığı fazla olduğu için CO gazı emisyonu düşük güçteki dizel motorlarına göre daha azdır. Gemi dizel motorlarında eksik yanma sonucu oluşan CO gazı emisyonu, özellikle liman bölgelerinde ve boğaz geçişlerinde yani kısaca manevra süresince gemi dizel makinesinin gücünün azalmasından dolayı artış göstermektedir [1, 69]. 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Liman bölgesinde yapılan

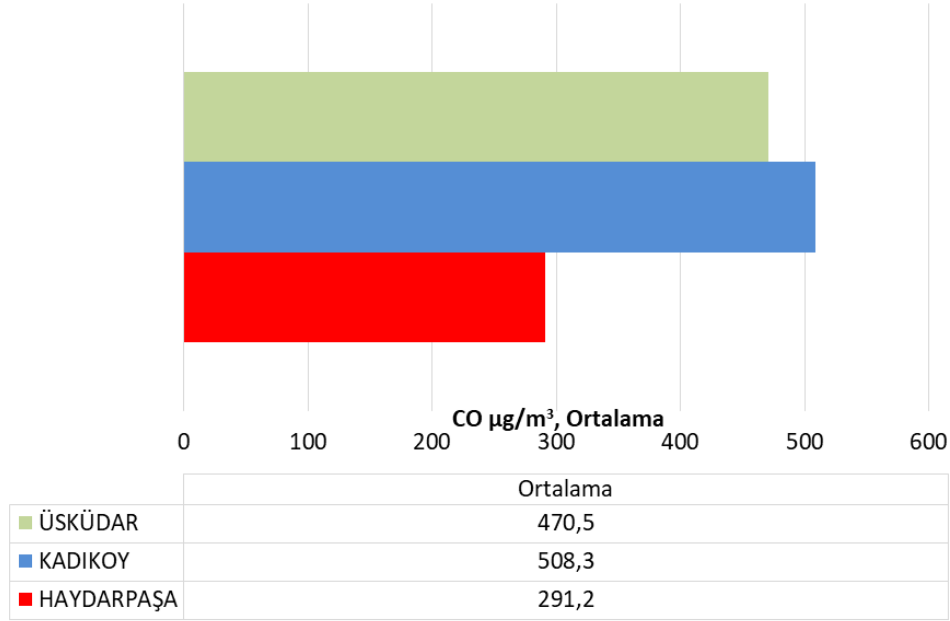
ölçüm ile aynı tarihler arasında ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılarak 3.9'da bulunan toplam emisyon sonuçları ile kıyaslandığında, %0,03 gemi kaynaklı olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 4.5 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı CO Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.5'te Üsküdar (Selimiye İstasyonu) ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı'nda 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen karbon monoksit emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde CO emisyonunun en yüksek değeri 17.04.2019 tarihinde 923,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 29.03.2019 tarihinde 302 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Üsküdar ilçesinde CO emisyonunun en yüksek değeri 04.05.2019 tarihinde 719,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 31.03.2019 tarihinde 295,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda ise, CO emisyonunun en yüksek değeri 08.04.2019 tarihinde 559,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 02.05.2019 tarihinde 140 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Kadıköy ilçesi 2018 yılı nüfusu 458.638, Üsküdar ilçesi 2018 yılı nüfusu ise 529.145'dir [72].



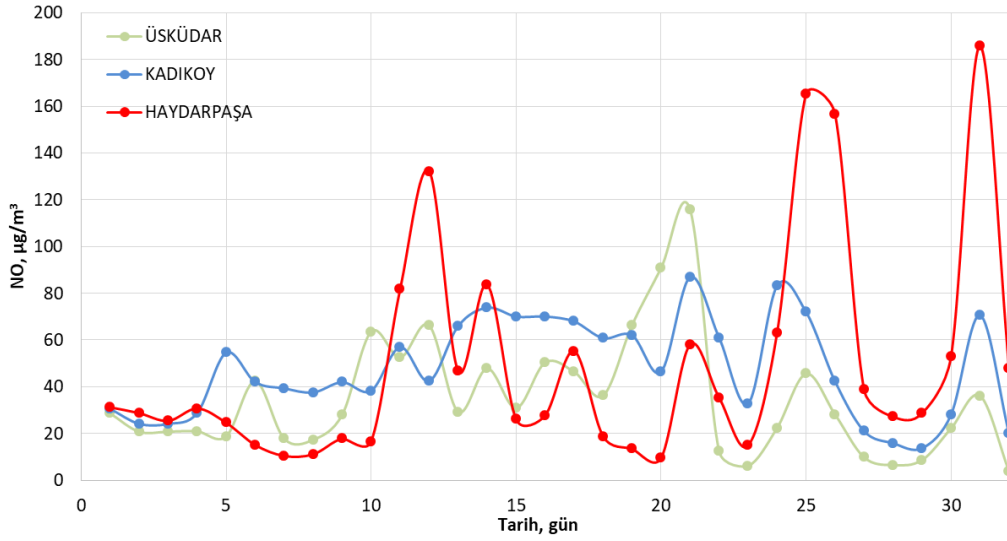
Şekil 4.6 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama CO Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.6'da İstanbul'un Üsküdar ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı'nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama CO emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Karbon monoksitin 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; 470,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 508,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 291,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede CO emisyonu ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanında ölçülen değerler diğer iki ilçeye oranla daha düşüktür.

4.2.2 Azot Oksitler (NO_x)

Kokusuz ve renksiz bir gaz olan azot oksitler (NO_x) hem insanlar hemde diğer canlılar için oldukça tehlikelidir. Azot oksitler (NO_x); dizel motorlarından salınan azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO_2) emisyonları ile diğer azot-oksijen birleşimlerinin genel adıdır. NO_x gazları atmosferde reaksiyona girerek ozonu oluşturur [70, 71].

4.2.2.1 Azot Oksit (NO)

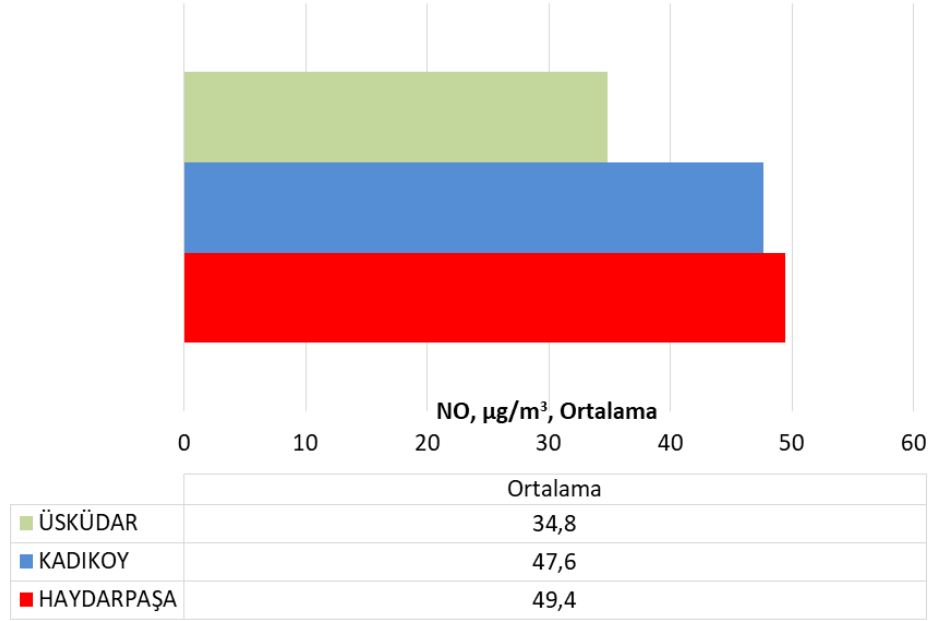


Şekil 4.7 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı NO Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.7’de Üsküdar ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen azot oksit emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde NO emisyonunun en yüksek değeri 17.04.2019 tarihinde 86,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 02.05.2019 tarihinde 13,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Üsküdar ilçesinde NO emisyonunun en yüksek değeri 17.04.2019 tarihinde 115,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 05.05.2019 tarihinde 3,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı’nda ise, NO emisyonunun en yüksek değeri 04.05.2019 tarihinde 185,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 16.04.2019 tarihinde 9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür.

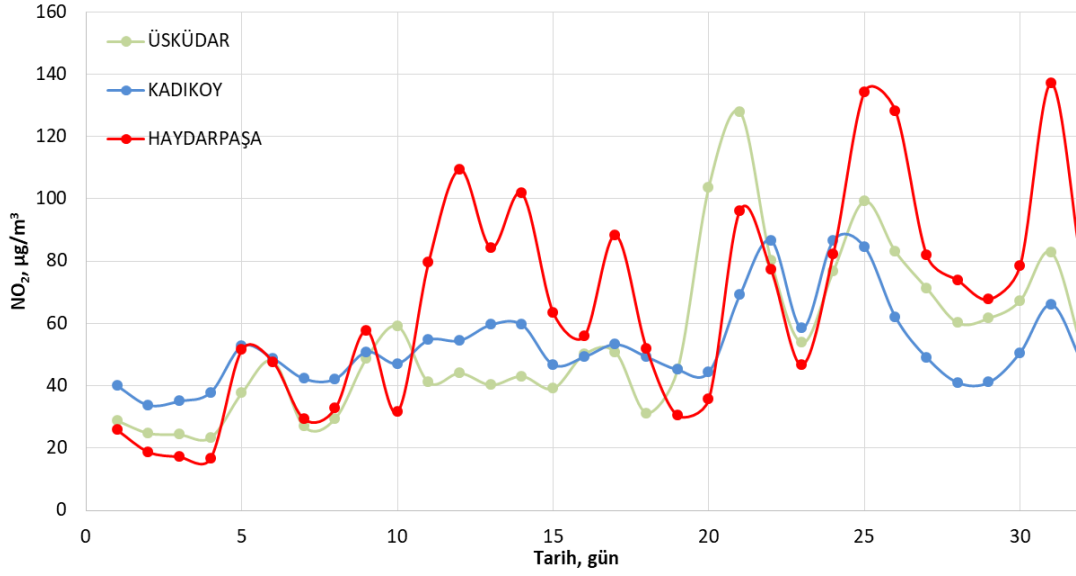
Dizel motorlarından salınan NO emisyonları Haydarpaşa Liman bölgesinde, diğer ölçüm alınan ilçelere göre daha yüksektir. Bunun nedeni olarak, Haydarpaşa Liman bölgesi gemi trafiği, İstanbul ili iç hat deniz seferleri ve ölçüm noktasının boğaz gemi trafiğine olan yakınlığı gösterilebilir.



Şekil 4.8 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama NO Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.8’de İstanbul’un Üsküdar ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama NO emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Azot oksitinin 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; 34,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 47,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ve 49,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede NO emisyonu ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı’nda ölçülen değerler diğer iki ilçeye oranla, limanın İstanbul Boğaz trafiğine yakınlığı ve liman bölgesindeki gemi hareketleriyle birlikte gemi dizel motorları kaynaklı emisyonlar nedeniyle daha yüksektir.

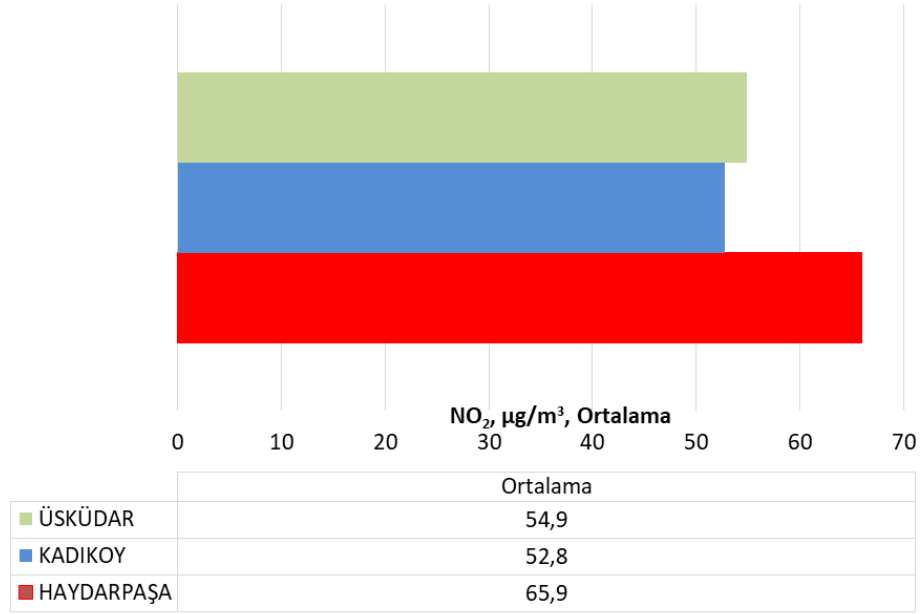
4.2.2.2 Azot Dioksit (NO₂)



Şekil 4.9 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı NO₂ Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.9'da Üsküdar ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı'nda 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen azot dioksit emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

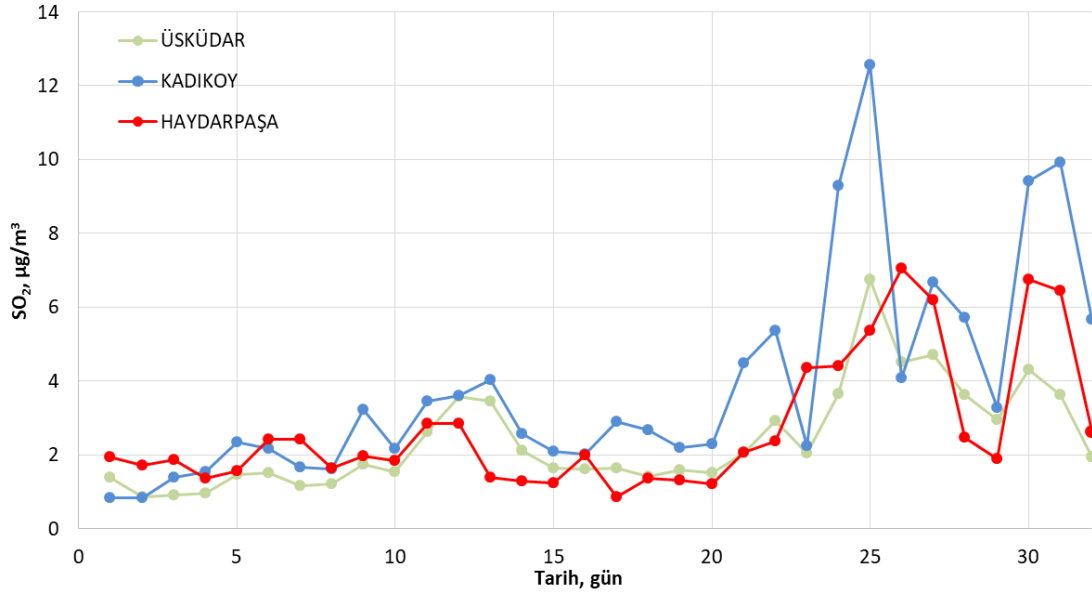
32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde NO₂ emisyonunun en yüksek değeri 27.04.2019 tarihinde 86,6 µg/m³, en düşük değeri ise 29.03.2019 tarihinde 33,8 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Üsküdar ilçesinde NO₂ emisyonunun en yüksek değeri 17.04.2019 tarihinde 127,9 µg/m³, en düşük değeri ise 31.03.2019 tarihinde 23,3 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı'nda ise, NO₂ emisyonunun en yüksek değeri 04.05.2019 tarihinde 137,1 µg/m³, en düşük değeri ise 31.03.2019 tarihinde 16,7 µg/m³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.10 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama NO₂ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.10'da İstanbul'un Üsküdar ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı'nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019–05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama NO₂ emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Azot dioksitin 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; 54,9 µg/m³, 52,8 µg/m³ ve 65,9 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede NO₂ emisyonu ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı'nda ölçülen değerler diğer iki ilçeye oranla NO emisyonunda olduğu gibi daha yüksektir.

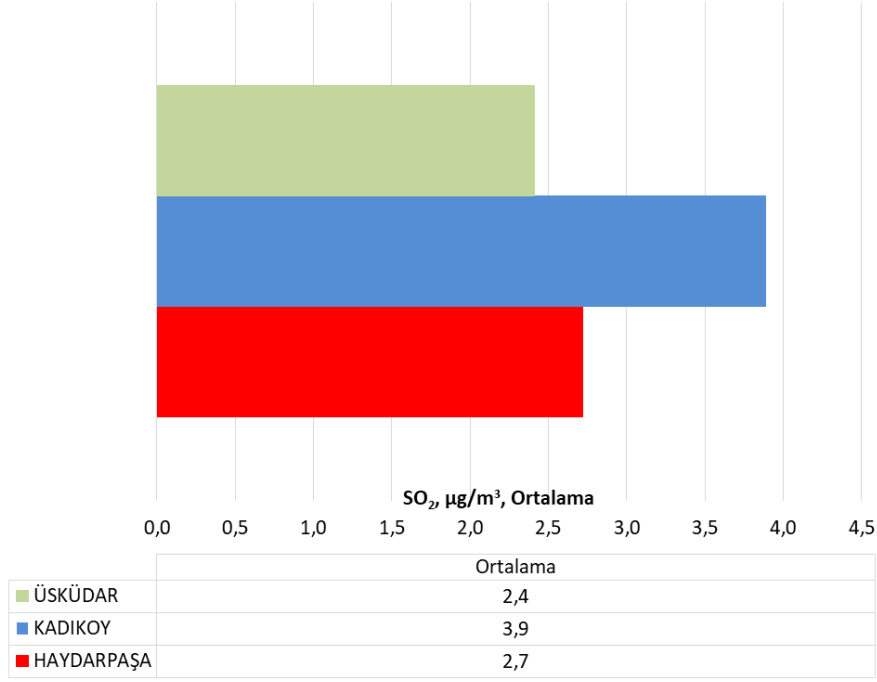
4.2.2.3 Kükürt Dioksit (SO₂)



Şekil 4.11 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı SO₂ Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.11’de Üsküdar ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanında 28.03.2019–05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen kükürt dioksit emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde SO₂ emisyonunun en yüksek değeri 28.04.2019 tarihinde 12,6 µg/m³, en düşük değeri ise 29.03.2019 tarihinde 0,8 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Üsküdar ilçesinde SO₂ emisyonunun en yüksek değeri 28.04.2019 tarihinde 6,7 µg/m³, en düşük değeri ise 29.03.2019 tarihinde 0,9 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı’nda ise, SO₂ emisyonunun en yüksek değeri 29.04.2019 tarihinde 7,1 µg/m³, en düşük değeri ise 13.04.2019 tarihinde 0,9 µg/m³ olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.12 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama SO₂ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

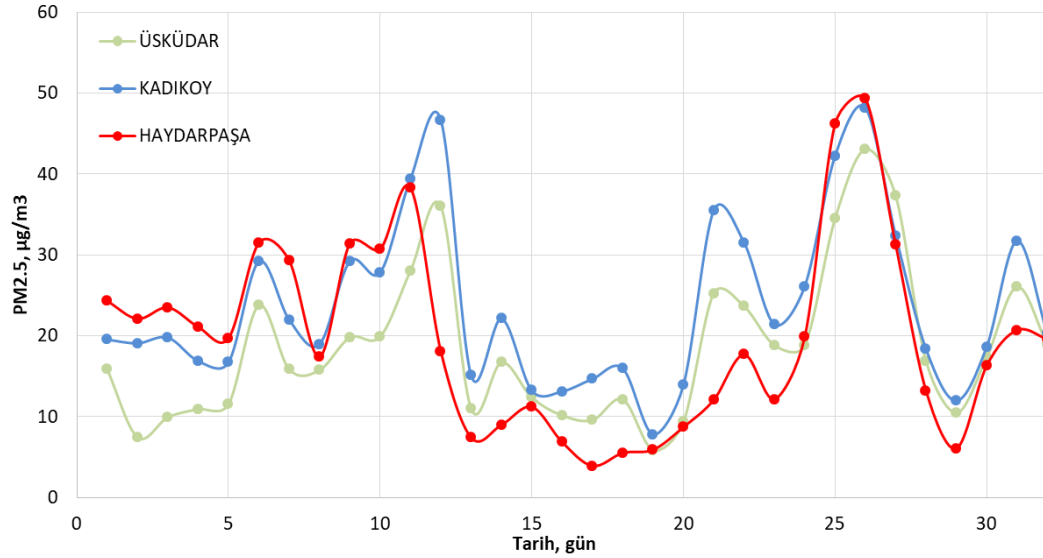
Şekil 4.12’de İstanbul’un Üsküdar ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019–05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama SO₂ emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. Kükürt dioksitin 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; 2,4 µg/m³, 3,9 µg/m³ ve 2,7 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede SO₂ emisyonu ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı’nda ölçülen değerler Üsküdar ölçüm sonuçlarına göre daha yüksek ancak Kadıköy ölçüm sonuçlarına göre daha düşüktür. 28.04.2019 ve 29.04.2019 tarihleri SO₂ emisyonu açısından tüm ölçüm noktalarında kritik gün olarak en yüksek değerlerin ölçüldüğü günlerdir.

Haydarpaşa Liman bölgesi ve Kadıköy ilçesinde SO₂ emisyonlarının yüksek olması, kara ve deniz tipi taşıtların kirletici emisyonlarının en yaygın olanının kükürt dioksit olmasından kaynaklıdır. Ayrıca gemi dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtlar yüksek oranda kükürt içermektedir.

4.2.3 Partiküler Madde (PM)

Partiküler madde, hava içerisinde askıda bulunan katı ve sıvı her türlü kirleticiyi içeren birleşmemiş su dışındaki kirleticilerdir. Boyutları 0,1 ile 100 μm arasında değişkenlik göstermektedir ve $\text{PM}_{2.5}$ ve PM_{10} kirleticilerinin aerodinamik çapları 2,5 μm ve 10 μm 'dir [73, 74].

4.2.3.1 $\text{PM}_{2.5}$:

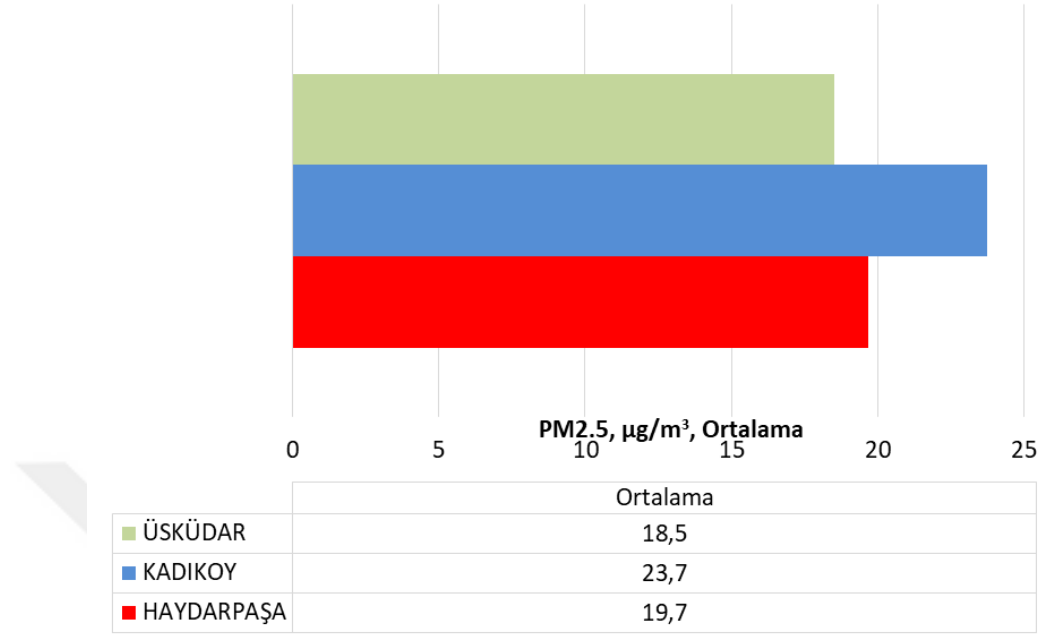


Şekil 4.13 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı $\text{PM}_{2.5}$ Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.13'de Üsküdar ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı'nda 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen $\text{PM}_{2.5}$ emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde en büyük $\text{PM}_{2.5}$ kirliliği 48,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 29.04.2019'da yaşanırken, 15.04.2019 tarihi ise 7,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en az kirliliğin yaşandığı gündür. Üsküdar ilçesinde en büyük $\text{PM}_{2.5}$ kirliliği 43,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile 29.04.2019'da yaşanırken, 15.04.2019 tarihi ise 5,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ile en az kirliliğin yaşandığı gündür. Haydarpaşa Limanı'nda ise, $\text{PM}_{2.5}$ kirliliğinin en yüksek değeri 29.04.2019 tarihinde 49,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en düşük değeri ise 13.04.2019 tarihinde 3,9

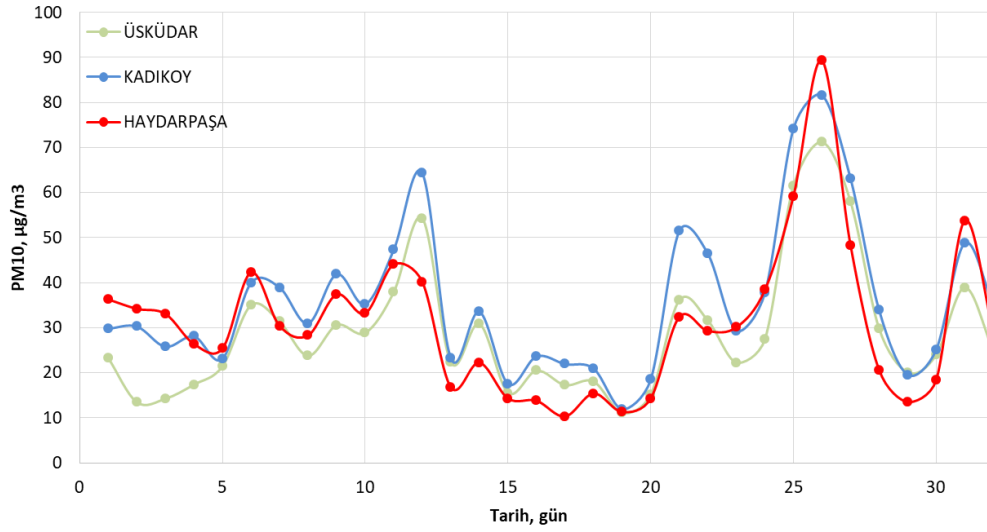
$\mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 29.04.2019 tarihi $\text{PM}_{2.5}$ emisyonu açısından tüm ölçüm noktalarında kritik gün olarak en yüksek değerlerinin ölçüldüğü gündür.



Şekil 4.14 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama $\text{PM}_{2.5}$ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.14’de İstanbul’un Üsküdar ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama $\text{PM}_{2.5}$ emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. $\text{PM}_{2.5}$ kirleticisi 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; $18,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $23,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ve $19,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede $\text{PM}_{2.5}$ emisyon ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı’nda ölçülen değerler SO_2 emisyon değerlerinde olduğu gibi Üsküdar ölçüm sonuçlarına göre daha yüksek ancak Kadıköy ölçüm sonuçlarına göre daha düşüktür.

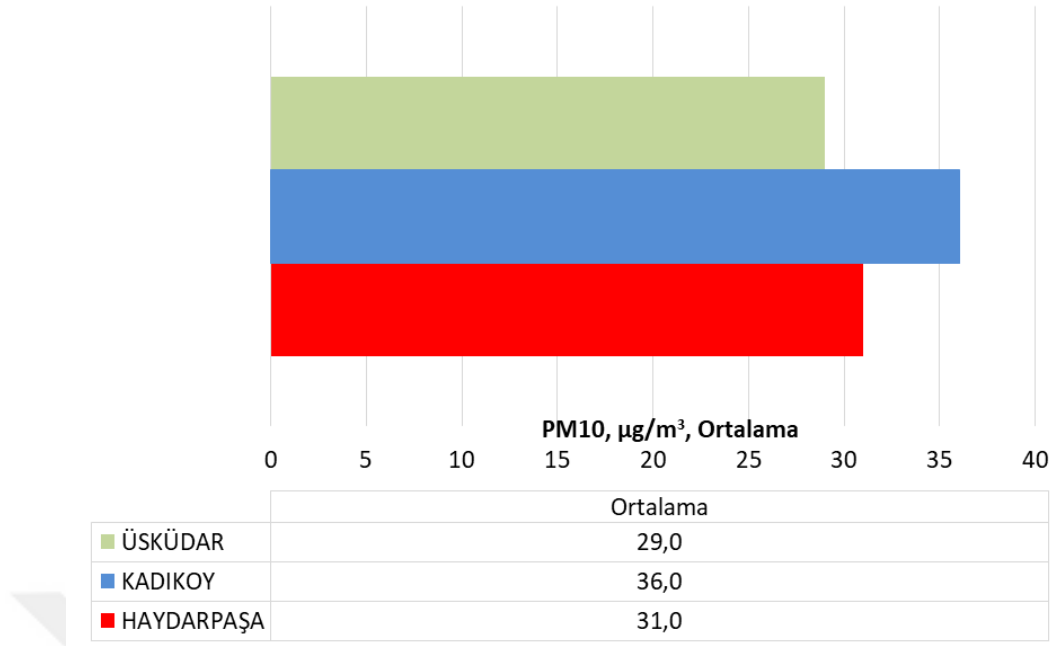
4.2.3.2 PM₁₀:



Şekil 4.15 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı PM₁₀ Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.15’de Üsküdar ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen PM₁₀ emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde en büyük PM₁₀ kirliliği 81,7 µg/m³ ile 29.04.2019’da yaşanırken, 11.04.2019 tarihi ise 17,5 µg/m³ ile en az kirliliğin yaşandığı gündür. Üsküdar ilçesinde en büyük PM₁₀ kirliliği 71,2 µg/m³ ile 29.04.2019’da yaşanırken, 15.04.2019 tarihi ise 11,1 µg/m³ ile en az kirliliğin yaşandığı gündür. Haydarpaşa Limanı’nda ise, PM₁₀ kirliliğinin en yüksek değeri 29.04.2019 tarihinde 89,3 µg/m³, en düşük değeri ise 13.04.2019 tarihinde 10,3 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 29.04.2019 tarihi PM₁₀ emisyonu açısından tüm ölçüm noktalarında PM₁₀ kirleticisinde olduğu gibi kritik gün olarak en yüksek değerlerinin ölçüldüğü gündür.



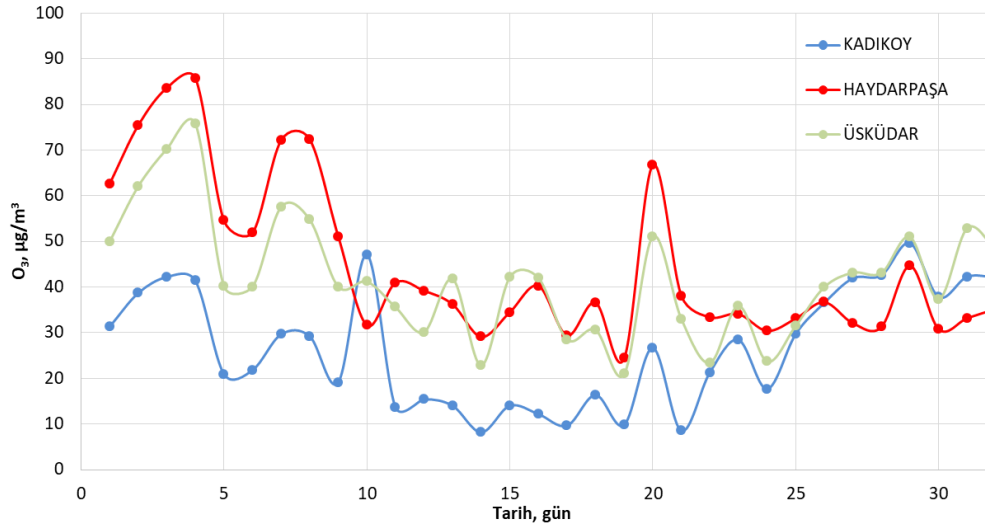
Şekil 4.16 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama PM₁₀ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.16'da İstanbul'un Üsküdar ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı'nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama PM₁₀ emisyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. PM₁₀ kirleticisi 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; 29 µg/m³, 36 µg/m³ ve 31 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede PM₁₀ emisyon ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı'nda ölçülen değerler SO₂ ve PM_{2.5} emisyon değerlerinde olduğu gibi Üsküdar ölçüm sonuçlarına göre daha yüksek ancak Kadıköy ölçüm sonuçlarına göre daha düşüktür.

PM₁₀ emisyonları tüm ölçüm noktalarında genel olarak yüksektir. Çimento fabrikaları, metal sanayisi, kara ve deniz taşıtları, orman yangınları ve doğal kaynak olarak volkanlar PM kirleticilerinin başlıca kaynaklarıdır. PM emisyonları karasal bölgelerde yüksek oranda olabilir ve kükürt oksit emisyonlarına da bağlıdır .

4.2.4 Ozon (O₃)

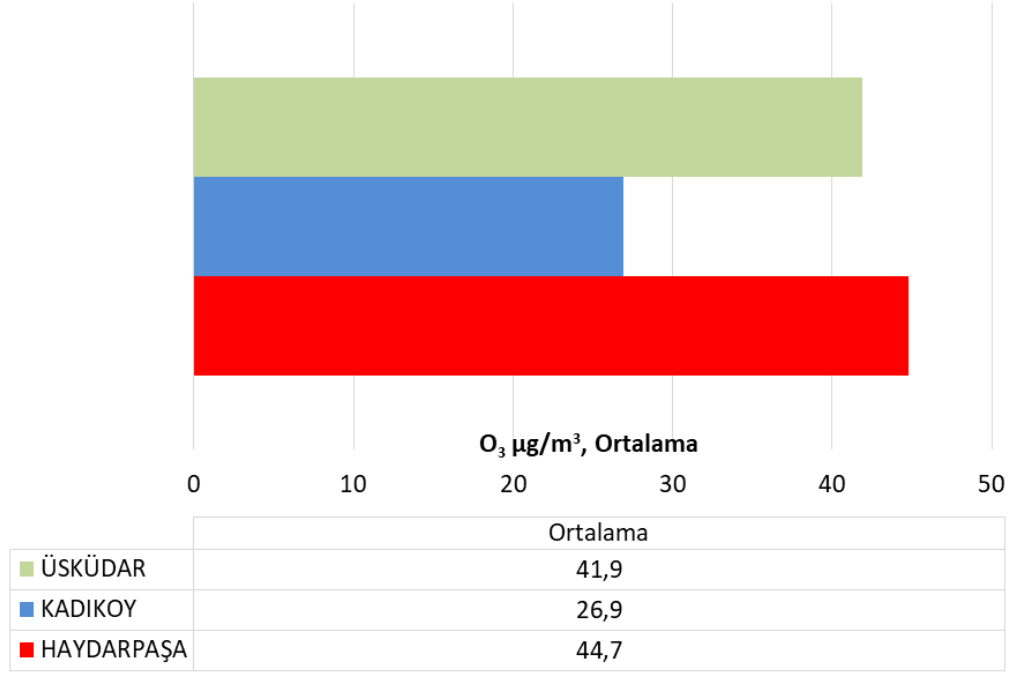
Yerden yaklaşık 10-15 km yükseklikte troposferde bulunan ozon, insan sağlığına zararlı, kirlilik olarak tanımlanan ve insan kaynaklı olan troposferik ozondur.



Şekil 4.17 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı O₃ Emisyonu Karşılaştırılması

Şekil 4.17’de Üsküdar (Selimiye İstasyonu) ve Haydarpaşa ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında 32 gün süreyle hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen O₃ kirletici değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

32 günlük ölçüm sonuçları incelendiğinde; Kadıköy ilçesinde en büyük O₃ kirliliği 49,6 µg/m³ ile 02.05.2019’da yaşanırken, 10.04.2019 tarihi ise 8,2 µg/m³ ile en az kirliliğin yaşandığı gündür. Üsküdar ilçesinde en büyük O₃ kirliliği 75,7 µg/m³ ile 31.03.2019’da yaşanırken, 15.04.2019 tarihi ise 21 µg/m³ ile en az kirliliğin yaşandığı gündür. Haydarpaşa Limanı’nda ise, O₃ kirliliğinin en yüksek değeri 31.03.2019 tarihinde 85,8 µg/m³, en düşük değeri ise 15.04.2019 tarihinde 24,4 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede O₃ emisyonu ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı’ndan alınan değerler diğer iki ilçeye oranla NO ve NO₂ emisyonlarında olduğu gibi daha yüksektir.

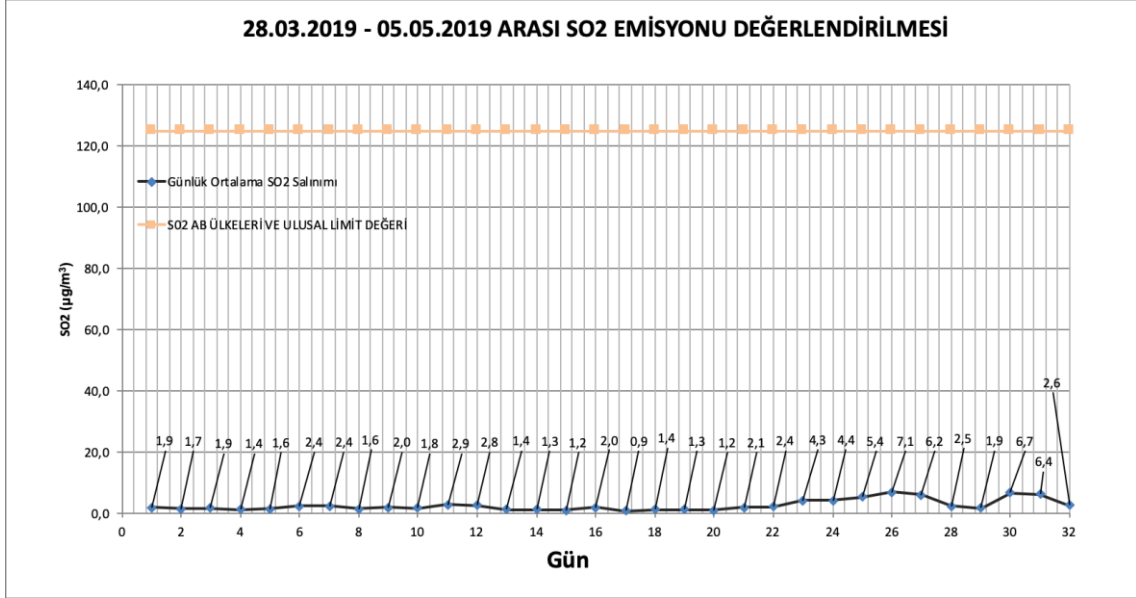


Şekil 4.18 Üsküdar ve Kadıköy İlçeleri ile Haydarpaşa Limanı Ortalama O₃ Emisyon Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.18’de İstanbul’un Üsküdar (Selimiye İstasyonu) ve Kadıköy ilçeleri için İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) Hava Kalitesi İzleme Merkezinden [70, 71] alınan veriler ile Haydarpaşa Limanı’nda hava kalitesi ölçüm cihazı ile ölçülen 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasındaki ortalama O₃ kirletici değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir. O₃ kirleticisi 32 günlük ölçüm ortalama değerleri; Üsküdar, Kadıköy ve Haydarpaşa Liman Bölgesi için sırasıyla; 41,9 µg/m³, 26,9 µg/m³ ve 44,7 µg/m³ olarak ölçülmüştür. 32 günlük sürede O₃ emisyonu ölçüm sonuçları ortalaması değerlendirildiğinde, Haydarpaşa Limanı’nda ölçülen değerler diğer iki ilçeye oranla daha yüksektir.

4.3 Ulusal ve Uluslararası Hava Kalitesi Limit Değerleri ile Haydarpaşa Limanı Sonuçlarının Karşılaştırılması

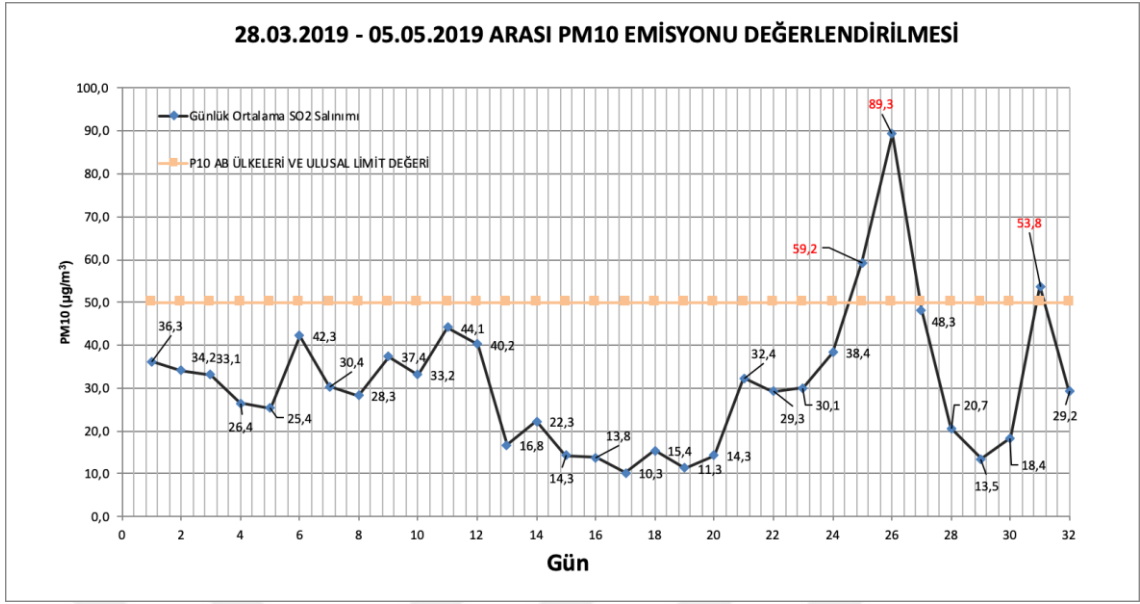
4.3.1 SO₂ Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi



Şekil 4.19 32 Günlük SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

32 günlük SO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı'nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre SO₂ emisyon değeri için AB 24 saatlik sınır değeri olan 125 mikrogram/m³ hiç aşılmamış olup 24 saatlik kabul edilebilir aşım sayısı 3'tür. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 125 mikrogram/m³ olan Ulusal 24 saatlik limit değeri de aynı şekilde hiç aşılmamıştır. Haydarpaşa Limanı'nda SO₂ emisyonu için 32 günlük ölçüm ortalaması 2,7 mikrogram/m³'tür. AB ve Ulusal saatlik ortalama sınır değeri ise 350 mikrogram/m³'tür. AB saatlik limit değeri olan 350 mikrogram/m³'ün yıllık olarak kabul edilebilir aşım sayısı 24'tür.

4.3.2 PM₁₀ Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi

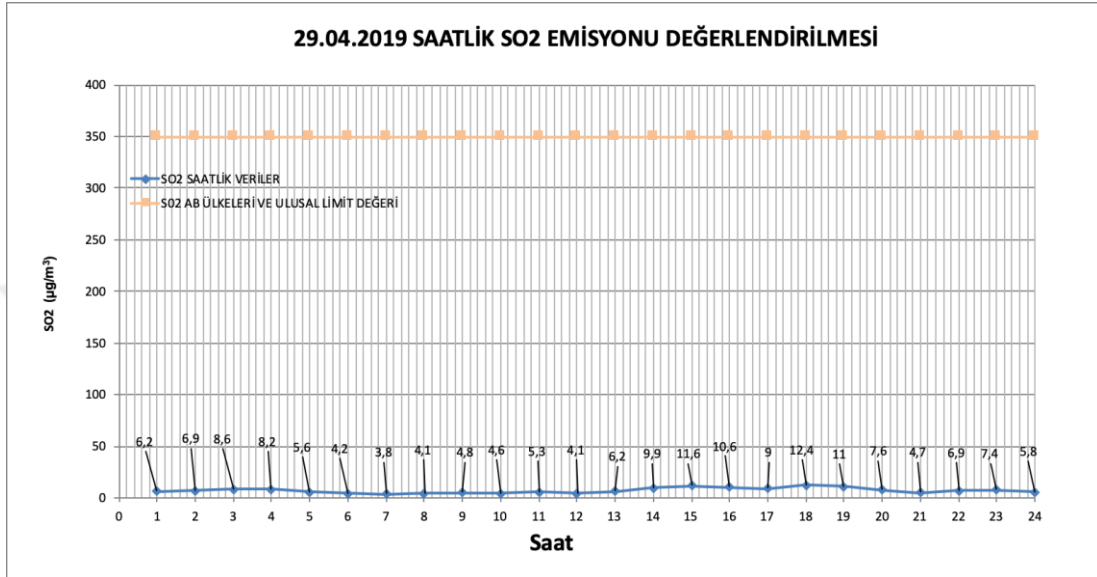


Şekil 4.20 PM₁₀ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

32 günlük PM₁₀ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı’nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre PM₁₀ emisyon değeri için AB 24 saatlik sınır değeri olan 50 mikrogram/m³ 3 kez aşılmış olup yıllık kabul edilebilir aşım sayısı 35’tir. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 50 mikrogram/m³ olan Ulusal günlük limit değeri de aynı şekilde 3 kez aşılmıştır. Haydarpaşa Limanı’nda PM₁₀ emisyonu için 32 günlük ölçüm ortalaması 31 mikrogram/m³tür. AB ve Ulusal yıllık ortalama sınır değeri ise 40 mikrogram/m³tür.

4.3.3 Kritik Gün Ölçüm Sonuçlarının Limit Değerlerine Göre Değerlendirilmesi

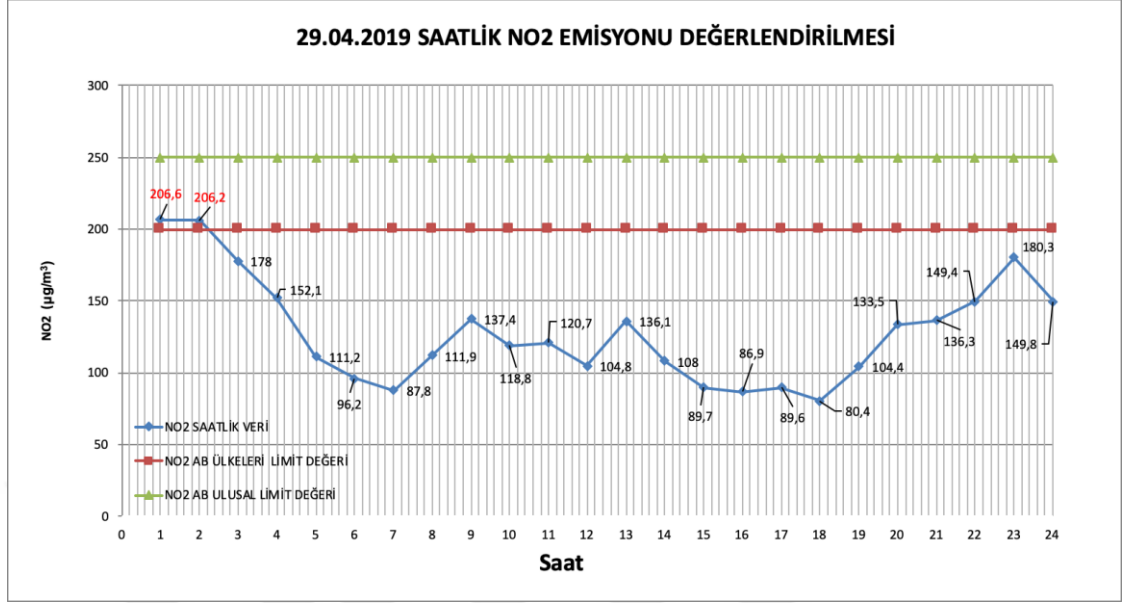
4.3.3.1 29.04.2019 Tarihi Saatlik SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 4.21 29.04.2019 Tarihi SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

29.04.2019 kritik gününe ait saatlik SO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı’nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre kritik gün olarak seçilen 29.04.2019 tarihi SO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 350 mikrogram/m³ hiç aşılmamış olup saatlik kabul edilebilir aşım sayısı yılda 24’tür. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 380 mikrogram/m³ değerinden, 350 mikrogram/m³ değerine düşen Ulusal saatlik limit değeri de aynı şekilde hiç aşılmamıştır. 29.04.2019 tarihi SO₂ emisyonu ölçüm sonucu 7,06 mikrogram/m³tür.

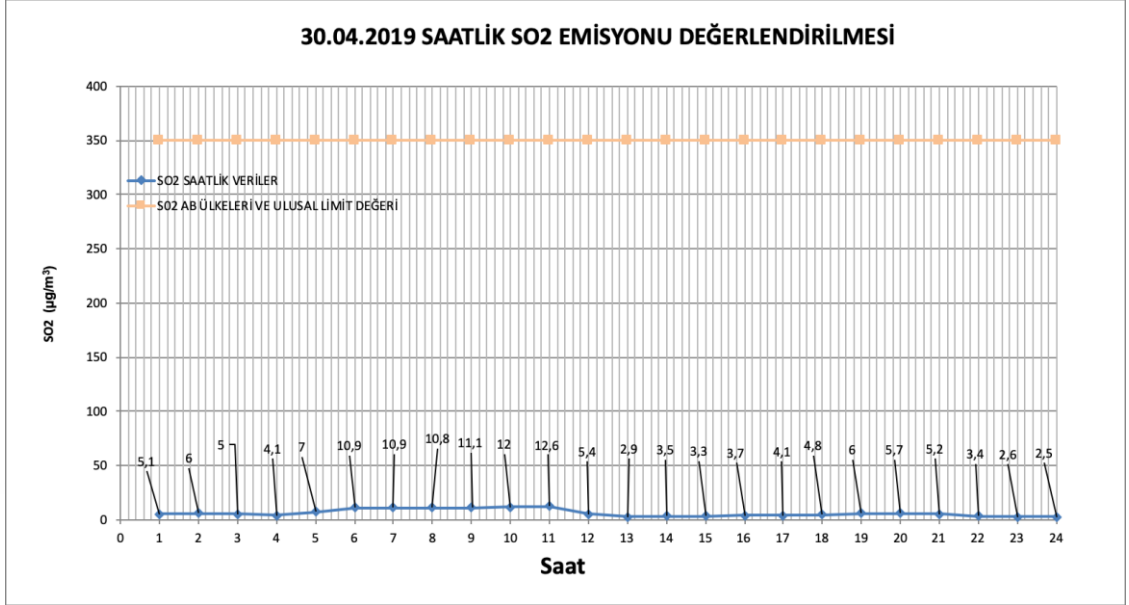
4.3.3.2 29.04.2019 Tarihi Saatlik NO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 4.22 29.04.2019 Tarihi NO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

29.04.2019 kritik gününe ait saatlik NO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı’nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre kritik gün olarak seçilen 29.04.2019 tarihi NO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 200 mikrogram/m³ 2 kez aşılmış olup yıllık kabul edilebilir aşım sayısı 18’dir. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 260 mikrogram/m³ değerinden, 250 mikrogram/m³ değerine düşen Ulusal 24 saatlik limit değeri ise hiç aşılmamıştır. Haydarpaşa Limanı’nda NO₂ emisyonu için 32 günlük ölçüm ortalaması 31 mikrogram/m³’tür. AB yıllık ortalama sınır değeri ise 40 mikrogram/m³ ve Ulusal yıllık ortalama sınır değeri ise 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 50 mikrogram/m³’tür. Ulusal yıllık ortalama sınır değeri 1 Ocak 2024 tarihi itibarıyla 40 mikrogram/m³’e düşürülecektir. 29.04.2019 tarihi NO₂ emisyonu ölçüm sonucu 128,17 mikrogram/m³’tür.

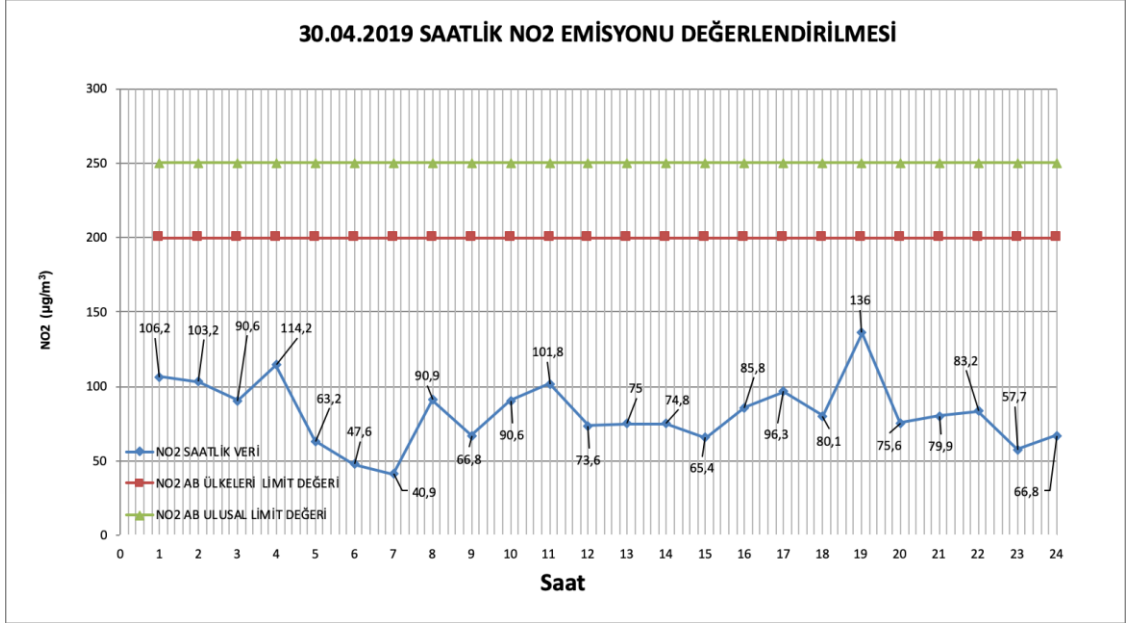
4.3.3.3 30.04.2019 Tarihi Saatlik SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 4.23 30.04.2019 Tarihi SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

30.04.2019 kritik gününe ait saatlik SO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı'nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre kritik gün olarak seçilen 30.04.2019 tarihi SO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 350 mikrogram/m³ hiç aşılmamış olup saatlik kabul edilebilir aşım sayısı yılda 24'tür. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 380 mikrogram/m³ değerinden, 350 mikrogram/m³ değerine düşen Ulusal saatlik limit değeri de aynı şekilde hiç aşılmamıştır. 30.04.2019 tarihi SO₂ emisyonu ölçüm sonucu 6,19 mikrogram/m³'tür.

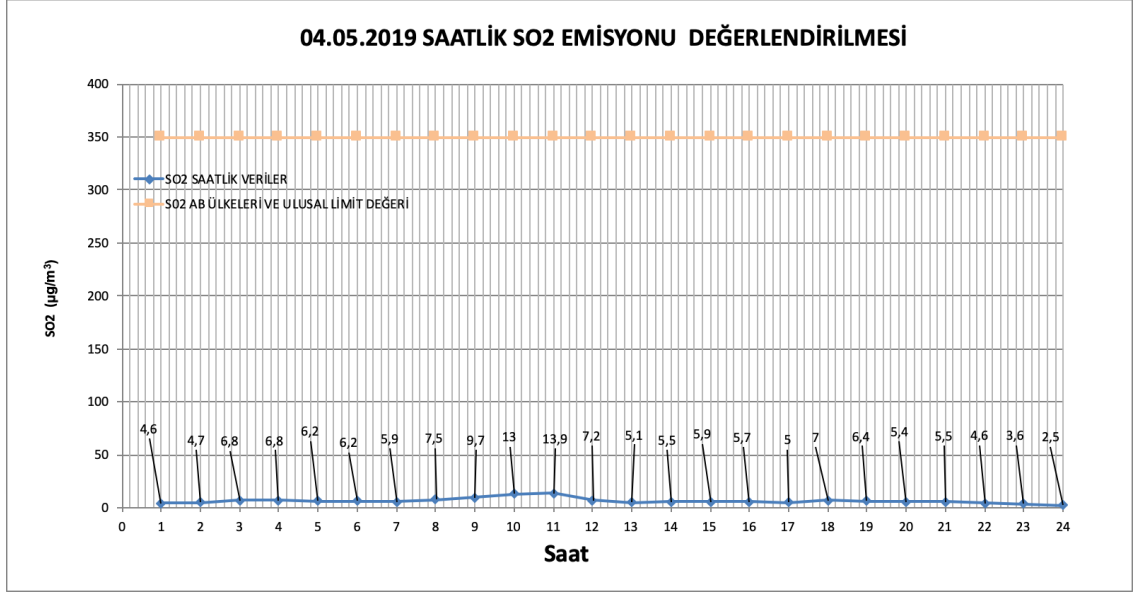
4.3.3.4 30.04.2019 Tarihi Saatlik NO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 4.24 30.04.2019 Tarihi NO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

30.04.2019 kritik gününe ait saatlik NO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.24'de gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı'nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre kritik gün olarak seçilen 30.04.2019 tarihi NO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 200 mikrogram/m³ hiç aşılmamış olup yıllık kabul edilebilir aşım sayısı 18'dir. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 260 mikrogram/m³ değerinden, 250 mikrogram/m³ değerine düşen Ulusal 24 saatlik limit değeri de hiç aşılmamıştır. 30.04.2019 tarihi NO₂ emisyonu ölçüm sonucu 81,93 mikrogram/m³'tür.

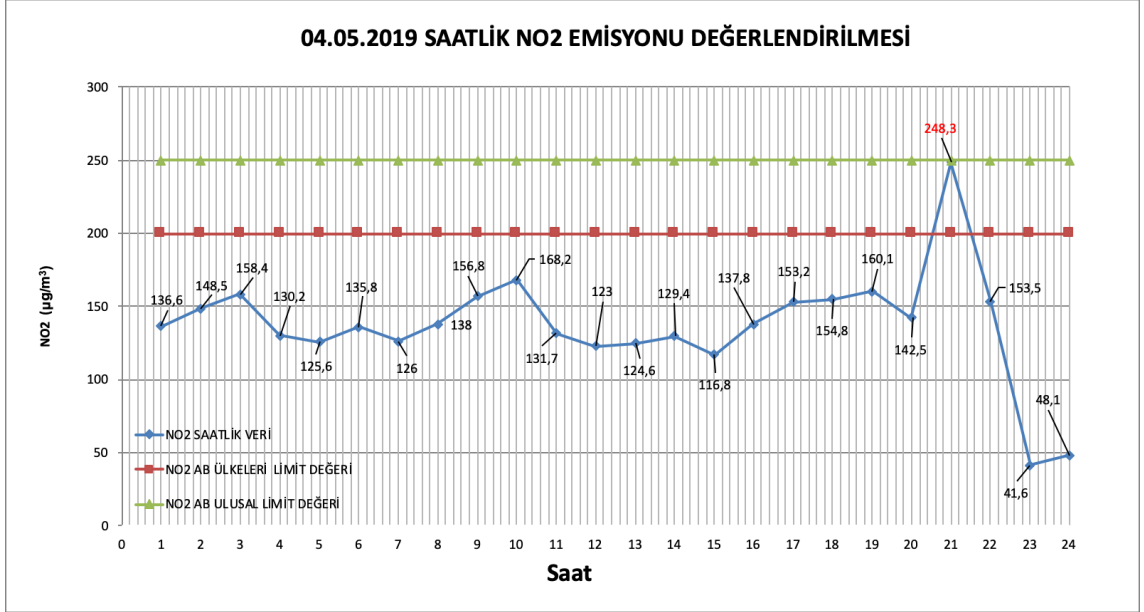
4.3.3.5 04.05.2019 Tarihi Saatlik SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 4.25 04.05.2019 Tarihi SO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

04.05.2019 kritik gününe ait saatlik SO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.25’de gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı’nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre kritik gün olarak seçilen 04.05.2019 tarihi SO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 350 mikrogram/m³ hiç aşılmamış olup saatlik kabul edilebilir aşım sayısı yılda 24’tür. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 380 mikrogram/m³ değerinden, 350 mikrogram/m³ değerine düşen Ulusal saatlik limit değeri de aynı şekilde hiç aşılmamıştır. 04.05.2019 tarihi SO₂ emisyonu ölçüm sonucu 6,45 mikrogram/m³’tür.

4.3.3.6 04.05.2019 Tarihi Saatlik NO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi



Şekil 4.26 04.05.2019 Tarihi NO₂ Emisyonu Ölçüm Sonuçlarının Değerlendirilmesi

04.05.2019 kritik gününe ait saatlik NO₂ emisyonu ölçüm sonuçlarının AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Haydarpaşa Limanı'nda yapılan 32 günlük hava kalitesi ölçüm sonuçları değerlendirmesine göre kritik gün olarak seçilen 04.05.2019 tarihi NO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 200 mikrogram/m³ 1 kez aşılmış olup yıllık kabul edilebilir aşım sayısı 18'dir. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 260 mikrogram/m³ değerinden, 250 mikrogram/m³ değerine düşen Ulusal 24 saatlik limit değeri ise bir kere aşılmıştır. 04.05.2019 tarihi NO₂ emisyonu ölçüm sonucu 137,06 mikrogram/m³'tür.

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, 01.03.2019 – 01.06.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanı'na gelen gemilerden kaynaklı emisyonların hesaplanması için ENTEC firmasına ait formüller ve emisyon faktörleri kullanılarak 51 farklı geminin 200 hareketi gözlemlenmiş ve seyir, manevra ve liman gemi işletme modlarında NO_x, CO₂, SO₂, VOC, CO ve PM emisyonları hesaplanmıştır. 28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında Haydarpaşa Limanı'na yerleştirilen hava kalitesi ölçüm cihazı ile SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x, PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyonları gerçek zamanlı olarak ölçülerek 32 günlük ölçüm sonuçlarına göre hava içerisindeki emisyon miktarları tespit edilmiştir. Bu ölçüm sonuçları İstanbul ilinin Üsküdar ve Kadıköy ilçelerinden alınan gerçek zamanlı hava kalitesi ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Haydarpaşa Limanı'ndan alınan hava kalitesi ölçüm sonuçları PM₁₀, SO₂ VE NO₂ emisyon değerlerinin, Ulusal ve Uluslar arası hava kalitesi limit değerleri sınırları dahilinde olup olmadığı değerlendirilmiştir.

01.03.2019-01.06.2019 tarihleri arasında yapılan Haydarpaşa Limanı takibi sonucunda ENTEC hesaplama yöntemine göre gemi kaynaklı egzoz gazı emisyon hesaplamaları sonucunda;

- NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları seyir, manevra ve liman modlarının toplamında sırasıyla; 63,23 ton/3ay, 35,71 ton/3ay, 3129,02 ton/3ay, 2,46 ton/3ay, 3,36 ton/3ay ve 2,47 ton/3ay olarak,
- Ana makine kaynaklı NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları seyir işletme modunda sırasıyla; 13,89 ton/3ay, 8,64 ton/3ay, 509,20 ton/3ay, 0,42 ton/3ay, 0,97 ton/3ay ve 0,42 ton/3ay olarak,
- Ana makine kaynaklı NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları manevra işletme modunda sırasıyla; 5,21 ton/3ay, 5,37 ton/3ay, 315,14 ton/3ay, 0,71 ton/3ay, 1,06 ton/3ay ve 0,24 ton/3ay olarak,

- Yardımcı makine kaynaklı NO_x, SO₂, CO₂, VOC, PM ve CO emisyonları seyir, manevra ve liman işletme modlarının toplamında sırasıyla; 44,13 ton/3ay, 21,7 ton/3ay, 2304,67 ton/3ay, 1,34 ton/3ay, 1,34 ton/3ay ve 1,81 ton/3ay olarak hesaplanmıştır.

Yardımcı makine kaynaklı emisyonlar seyir ve manevra işletme modlarındaki ana makine kaynaklı egzoz gazı emisyonlarından daha yüksek olarak hesaplanmıştır. Yardımcı makine kaynaklı emisyonlar ise liman işletme modunda diğer iki işletme moduna göre oldukça daha yüksektir. Buna neden olarak yapılan 3 aylık liman takibi sonucunda hareketi olan gemilerin limanda uzun bekleme süreleri gösterilebilir.

28.03.2019-17.04.2019 ve 25.04.2019-05.05.2019 tarihleri arasında, Haydarpaşa Limanı'na yerleştirilen hava kalitesi ölçüm cihazından alınan 32 günlük SO₂, PM₁₀, CO, NO, NO₂, NO_x, PM_{2.5} emisyon değerleri ortalaması sırasıyla 2.7, 31, 291.2, 49.4, 65.9, 115.3, 19.7 µg/m³ olarak ölçülmüştür. Haydarpaşa Limanı ve diğer ölçüm noktaları ile yapılan karşılaştırma neticesinde; NO, NO₂ ve NO_x emisyonları için Haydarpaşa Limanı'ndan alınan ölçüm sonuçlarının, Üsküdar ve Kadıköy ilçelerindeki ölçüm noktalarından alınan sonuçlara göre daha yüksek oldukları görülmüştür. Buna neden olarak, Haydarpaşa Limanı ölçüm noktasının boğaz ulusal ve uluslararası gemi trafiğine yakınlığı ve Haydarpaşa Liman bölgesi gemi hareketliliği gösterilebilir. Gemi dizel motorları kara dizel araçlarına göre daha yüksek NO_x emisyon salınımına sahiptir. SO₂ emisyon değerinin Kadıköy ilçesi ve Haydarpaşa Limanı'nda Üsküdar ilçesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Boğaz ve liman bölgesi gemi trafiği, gemilerde kullanılan dizel yakıt içerisindeki kükürt oranının yüksekliği buna neden olarak gösterilebilir. Ozon emisyonları Haydarpaşa Limanı'nda diğer iki ilçeye göre daha yüksek ölçülmüştür. PM₁₀ ve PM_{2.5} emisyonları ise Kadıköy ilçesinde diğer iki ölçüm noktasında göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

32 günlük SO₂ ve PM₁₀ emisyonlarına ait ölçüm sonuçları AB ve Ulusal hava kalitesi limit değerlerine göre değerlendirildiğinde, SO₂ emisyonu için bir limit aşımı gözlemlenmemiştir. PM₁₀ emisyon değeri için AB ve Ulusal 24 saatlik sınır değeri olan 50 mikrogram/m³ 3 kez aşılmış olup yıllık kabul edilebilir aşım sayısı 35'tir. Haydarpaşa Limanı'nda PM₁₀ emisyonu için 32 günlük ölçüm ortalaması 31

mikrogram/m³'tür. Bu ortalama, AB ve Ulusal yıllık ortalama sınır değeri olan 40 mikrogram/m³'ün altındadır.

Kritik günler olarak belirlenen 29.04.2019, 30.04.2019 ve 04.05.2019 tarihlerinde SO₂ emisyonuna ait saatlik ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde tüm kritik günler için AB ve Ulusal saatlik sınır değeri olan 350 mikrogram/m³'ün hiç aşılmamış olduğu görülmüştür. Kritik günlerde NO₂ emisyonuna ait saatlik ölçüm sonuçları değerlendirildiğinde ise 29.04.2019 tarihinde AB saatlik sınır değeri olan 200 mikrogram/m³ 2 kez aşılmış olup yıllık kabul edilebilir aşım sayısı 18'dir. Ayrıca 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 250 mikrogram/m³ olan Ulusal 24 saatlik limit değeri ise hiç aşılmamıştır. Haydarpaşa Limanında NO₂ emisyonu için 32 günlük ölçüm ortalaması 31 mikrogram/m³'tür. AB yıllık ortalama sınır değeri ise 40 mikrogram/m³ ve Ulusal yıllık ortalama sınır değeri ise 1 Ocak 2019 tarihi itibarıyla 50 mikrogram/m³'tür. 29.04.2019 tarihi NO₂ emisyonu ölçüm sonucu 128,17 mikrogram/m³'tür. 30.04.2019 tarihinde ölçülen NO₂ emisyon değeri ile ilgili olarak Ulusal ve Uluslararası limit değerlerine göre aşım olmamıştır. 30.04.2019 tarihi NO₂ emisyonu ölçüm sonucu 81,93 mikrogram/m³'tür. Bir diğer kritik gün olan 04.05.2019 tarihinde NO₂ emisyon değeri için AB saatlik sınır değeri olan 200 mikrogram/m³ 1 kez aşılmış olup bu aşım Ulusal limitler dahilindedir. 04.05.2019 tarihi NO₂ emisyonu ölçüm sonucu 137,06 mikrogram/m³'tür. Gemi kaynaklı emisyonlar olarak bilinen NO_x emisyonları için yoğun gemi hareketinin olduğu Boğaz geçişleri ve Liman bölgelerinde önlemler alınmalıdır.

- [1] Saraçoğlu, H., (2010). İzmir Limanına gelen gemilerin oluşturduğu Egzoz gazı emisyonlarının incelenmesi ve çevresel etkileri, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] Kılıç, A., (2014). Marmara Bölgesi'ndeki Deniz ve Hava Taşımacılığında Kaynaklanan Emisyon Envanterinin Oluşturulması ve Hava Kirliliğinin Modellenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Keskin, U. ve Vardar, N., (2001). "A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits", *Atmospheric Environment*, 35:1863-1870.
- [4] Uçar, F.O. (2014). Samsun ili Limanlarına Gelen Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi ve Çevresel Etkileri, Denizcilik Uzmanlık Tezi, Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara.
- [5] Sangün, C. ve Özdemir, A., (2017). "2016 Yılında Boğazdan Geçen Gemilerin Teorik Emisyon Gazlarının Hesabı", Lisans Tezi, YTÜ Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, İstanbul.
- [6] Beecken, J., Mellqvist, J., Salo, K., Ekholm, J., Jalkanen, J. P., Johansson, L., ... Frank-Kamenetsky, D. A. (2015). Emission factors of SO₂ NO₂ and particles from ships in Neva Bay from ground-based and helicopter-borne measurements and AIS-based modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(9), 5229–5241.
- [7] Alföldy, B., Lööv, J. B., Lagler, F., Mellqvist, J., Berg, N., Beecken, J., ... Hjorth, J. (2013). Measurements of air pollution emission factors for marine transportation in SECA. *Atmospheric Measurement Techniques*, 6(7), 1777–1791.
- [8] Moreno-Gutiérrez, J., Durán-Grados, V., Uriondo, Z., & Ángel Llamas, J. (2012). Emission-factor uncertainties in maritime transport in the Strait of Gibraltar, Spain. *Atmospheric Measurement Techniques Discussions*, 5(4), 5953–5991.
- [9] 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. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9(23), 9209–9223.
- [10] Murena, F., Prati, M. V., & Quaranta, F. (2018). Assessment of the impact of ship emissions on the air quality in naples. *Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources*, 2, 1037–1041.
- [11] Cullinane, K., Tseng, P.H., Wilmsmeier, G., (2016). "Estimation of container ship emissions at berth in Taiwan", *International Journal of Sustainable Transportation*, 10(5):466-474.
- [12] Deniz, C. ve Kılıç, A., (2010). "Estimation and Assessment of shipping emissions in the region of Ambarlı Port, Turkey", *Environmental Progress&Sustainable Energy*, 29(1):107-115.

- [13] Winnes Murena, F., Prati, M. V., & Quaranta, F. (2018). Assessment of the impact of ship emissions on the air quality in naples. *Maritime Transportation and Harvesting of Sea Resources*, 2, 1037–1041.
- [14] Song, S. (2014). Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shanghai Yangshan port. *Atmospheric Environment*, 82, 288–297.
- [15] Tseng, P. H., & Pilcher, N. (2015). A study of the potential of shore power for the port of Kaohsiung, Taiwan: To introduce or not to introduce? *Research in Transportation Business and Management*, 17, 83–91.
- [16] Merk, O. (2014). Shipping Emissions in Ports. *The International Transport Forum's Discussion Paper*, 20, 37.
- [17] Moldanova, J., Fridell, E., Petzold, A., & Jalkanen, J.-P. (2010). Report on shipping emission factors. Report D1.2.1. Transphorm.
- [18] Ünlügençoğlu, K., (2018). Gemi Kaynaklı Emisyonların Farklı Yöntemlerle İncelenmesi. *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul*.
- [19] Mao, A. X., Cui, H., Roy, B., Olmer, N., Rutherford, D., & Comer, B. (2017). Distribution of air pollution from oceangoing vessels in the Greater Pearl River Delta, 2015. 1–8.
- [20] Butterfield, D. M., & Quincey, P. (2017). An investigation into the effects of off-shore shipping emissions on coastal black carbon concentrations. *Aerosol and Air Quality Research*, 17(1), 218–229.
- [21] Tzannatos, E. (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus - Greece. *Atmospheric Environment*, 44(3), 400–407.
- [22] Sun, X., Tian, Z., Malekian, R., & Li, Z. (2018). Estimation of vessel emissions inventory in Qingdao port based on big data analysis. *Symmetry*, 10(10), 1–11.
- [23] Shi, Y., (2016). “Reducing greenhouse gas emissions from international shipping: Is it time to consider market-based measures?” *Marine Policy*, 64:123–134.
- [24] Rehmatulla, N., Calleya, J., & Smith, T. (2017). The implementation of technical energy efficiency and CO2 emission reduction measures in shipping. *Ocean Engineering*, 139(May), 184–197.
- [25] Khan, M. Y., Ranganathan, S., Agrawal, H., Welch, W. A., Laroo, C., Miller, J. W., & Cocker, D. R. (2013). Measuring in-use ship emissions with international and U.S. federal methods. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 63(3), 284–291.
- [26] Xiao, F., Ligteringen, H., Van Gulijk, C., & Ale, B. (2015). Comparison study on AIS data of ship traffic behavior. *Ocean Engineering*, 95(February), 84–93.
- [27] Zhang, Y., Gu, J., Wang, W., Peng, Y., Wu, X., & Feng, X. (2017). Inland port vessel emissions inventory based on Ship Traffic Emission Assessment Model-Automatic Identification System. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(7), 1–9.

- [28] Unlugencoglu K., Alarcin F., "The Assessment of Air Quality in the Port of Ambarli and Several Districts of Istanbul " International Journal of Global Warming, 2018
- [29] https://en.wikipedia.org/wiki/Exhaust_gas
- [30] <https://www.epa.gov/ghgemissions/sources-greenhouse-gas-emissions>
- [31] KELEN, F. (2014). Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19 (1-2), 80-87. <https://dergipark.org.tr/en/pub/yyufbed/issue/21969/235883>
- [32] Reşitoğlu, I. A., Altinişik, K., & Keskin, A. (2015, January 4). The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. Clean Technologies and Environmental Policy. Springer Verlag.
- [33] https://en.wikipedia.org/wiki/Carbon_monoxide
- [34] <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/nitrogen-oxides>
- [35] <https://www.environment.gov.au/protection/publications/factsheet-nitrogen-dioxide-no2>
- [36] <https://www3.epa.gov/region1/eco/uep/particulatematter.html>
- [37] <https://www.mass.gov/service-details/criteria-air-pollutants#particle-pollution>
- [38] http://www.sahakk.sakarya.edu.tr/documents/hava_kirliligi_ve_kirleticiler_rapor1.pdf
- [39] <http://www.ctf.edu.tr/halk/%C3%87evre%20Sa%C4%9Fl%C4%B1%C4%9F%C4%B1%20Hava%20Kirlenmesi.pdf>
- [40] <http://www.worldshipping.org/>
- [41] Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., & Lauer, A. (2007). Mortality from ship emissions: a global assessment. Environmental Science & Technology, 41(24), 8512-8518.
- [42] Bilgili, L. (2018). Gemi Yaşam Döngüsünde Operasyonel Gaz Emisyonlarının Makine Öğrenmesi Yöntemiyle Tahmini. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [43] <https://www.denizticaretodasi.org.tr/Media/SharedDocuments/SektorelEgitim/GemilerdenKaynaklanEmisyon.pdf>
- [44] Çiftçi, B. (2011). Avrupa Birliği'nin Çevreci (Green) Ulaştırma Politikası, Avrupa Birliği Uzmanlık Tezi. Erişim adresi: <https://www.uab.gov.tr/uploads/pages/kutuphane/7471688ac0f7970.pdf>
- [45] <https://www.dnvgl.com/maritime/insights/topics/EU-MRV-and-IMO-DCS/index.html>
- [46] TSE, Standard, Vol. 653, Nisan 2017, Ekonomik ve Teknik Dergi, <https://statik.tse.org.tr/upload/tr/dosya/icerikyonetimi/7844/20062017101007-2.pdf>, 12.05.2018

- [47] Psaraftis, H. N., & Kontovas, C. A. (2009). Ship emissions: Logistics and other tradeoffs. 10th Int. Marine Design Conference (IMDC 2009), 26–29.
- [48] Ding, J., van der A, R. J., Mijling, B., Jalkanen, J. P., Johansson, L., & Levelt, P. F. (2018). Maritime NO_x Emissions Over Chinese Seas Derived From Satellite Observations. *Geophysical Research Letters*, 45(4), 2031–2037.
- [49] Endresen, Ø., Sørsgård, E., Sundet, J. K., Dalsøren, S. B., Isaksen, I. S. A., Berglen, T. F., & Gravir, G. (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 108(17).
- [50] Eyring, V., Corbett, J. J., Lee, D. S., & Winebrake, J. J. (2007). Brief summary of the impact of ship emissions on atmospheric composition, climate, and human health. Doc. Submitt. to Heal. Environ. Sub-Gr. Int. Marit. Organ., i(November)
- [51] Corbett, J. J., Wang, C., Winebrake, J. J., & Green, E. (2007). Allocation and forecasting of global ship emissions. (August 2015), 26.
- [52] Kugler, U. (2018). Development of the car fleet in EU28+2 to achieve the Paris Agreement target to limit global warming to 1.5°C. (September), 1–23.
- [53] Eyring, V., Köhler, H. W., Van Aardenne, J., & Lauer, A. (2005). Emissions from international shipping: 1. The last 50 years. *Journal of Geophysical Research D: Atmospheres*, 110(17), 171–182.
- [54] Wang, C., Corbett, J. J., & Firestone, J. (2008). Improving spatial representation of global ship emissions inventories. *Environmental Science and Technology*, 42(1), 193–199.
- [55] Trozzi, C., De Lauretis, R., (2013). EMEP/EEA Emission Inventory Guidebook, International Navigation, National Navigation, National Fishing. 1-40.
- [56] ENTEC (2010). UK Ship Emissions Inventory, Final Report, https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/1012131459_21897_Final_Report_291110.pdf
- [57] ENTEC (2010). UK Ship Emissions Inventory, Final Report, https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/1012131459_21897_Final_Report_291110.pdf, 06.11.2017
- [58] Trozzi, C. ve Vaccaro, R., (1998). “Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships”. *Techne Report MEET. (Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport) RF98*.
- [59] ENTEC (2005). Preliminary assignment of ship emissions to European Countries, final report. UK: ENTEC
- [60] <http://www.equasis.org/EquasisWeb/public/HomePage>, 10.10.2017
- [61] <http://www.tcdd.gov.tr/content/45>
- [62] Zorlu Ö., (2008), Türkiye Limanlarının İşletme Verimliliğinin İncelenmesi ve Transit Liman İhtiyacı, Yüksek Lisans Tezi.
- [63] <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/9034/1/7951.pdf>

- [64] https://tr.wikipedia.org/wiki/Haydarpa%C5%9Fa_Liman%C4%B1
- [65] <http://www.environnement-sa.com/products-page/en/air-quality-monitoring-en/ac32m-analyzer-oxides-nitrogen-no-nox-no2-2/>, 08.06.2018.
- [66] http://www.environnement.it/public/articoli/47/Files/C012M_2014.pdf, 08.06.2018.
- [67] http://www.envirolab.rs/pdf/af22m_uk.pdf, 08.06.2018
- [68] http://www.environnement.it/public/articoli/51/Files/mp101m_cpm_real-time-particulate_monitor_en_1116.pdf, 08.06.2018.
- [69] Sinha, P., Hobbs, P.V., Yokelson, R.J., Christian, T.J., Kirchstetter, T.W., Bruintjes, R., (2003). "Emissions of trace gases and particles from two ships in the southern Atlantic Ocean", 37(15): 2139-2148.
- [70] <http://www.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx> (Erişim Tarihi: 14.07.2018)
- [71] https://havakalitesi.ibb.gov.tr/STN/STN_Report/MonthlyToolComparison 08.11.2019.
- [72] <https://www.nufusu.com/ilceleri/istanbul-ilceleri-nufusu>, 22.07.2018.
- [73] Poschl, U., (2005), "Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects", Angewandte Chemie International Edition, 44:7520-7540.
- [74] Varınca, K.B., Güneş, G., Ertürk, F., Hava Kirleticilerinin insan sağlığı ve iklim değişikliği üzerine etkileri, <http://www.yildiz.edu.tr/~kvarinca/Dosyalar/Yayinlar/yayin020.pdf>, 02.07.2018.

İletişim Bilgisi: avcim@yildiz.edu.tr

Konferans Bildirileri

1. Avcı M., Koçal T., Ünlügençoğlu K.,” Gemi Kaynaklı Emisyonların Hesaplanması; İstanbul Haydarpaşa Limanı Uygulaması”, UEMK 2019 Proceedings Book, syf. 1101-1102

