

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZONGULDAK LİMANINDA GEMİ FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN  
HAVA KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SHABNAM GUBADLI**

**EKİM 2019**

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ZONGULDAK LİMANINDA GEMİ FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN**  
**HAVA KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Shabnam GUBADLI**

**DANIŞMAN: Dr. Öğretim Üyesi Sefa KOCABAŞ**

**ZONGULDAK**

**Ekim 2019**

**KABUL:**

Shabnam GUBADLI tarafından hazırlanan “Zonguldak Limanında Gemi Faaliyetlerinden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir.  
11/10/2019

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Prof. Dr. Beyhan PEKEY  
Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Doç. Dr. Kadir ÖZDEMİR  
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ....../....../20....



Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Shabnam GUBADLI

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ZONGULDAK LİMANINDA GEMİ FAALİYETLERİNDEN KAYNAKLANAN HAVA KİRLİLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Shabnam GUBADLI**

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Sefa KOCABAŞ**

**Ekim 2019, 57 sayfa**

Dünya taşımacılığının % 90'ı deniz yolu ile yapılmaktadır. Deniz trafiğinden kaynaklanan emisyonlar hava kirliliğine yol açmakta ve IMO gibi uluslararası düzenlemelerle kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Bu çalışmada 2014-2018 yıllarında Zonguldak limanından faydalanan gemilerin limana yanaşma ve ayrılma ( manevra) ve limanda bağlı kalma süreleri boyunca yol açtıkları emisyonlar envanter yöntemi ile hesaplanmış ve kent üzerindeki etkilerinin neler olabileceği ortaya koyulmuştur. Liman faaliyetleri sırasında gemilerden kaynaklanan emisyonlar, Avrupa Çevre Ajansı tarafından yayınlanan EMEP / EEA Hava Kirlenici Emisyon Envanter Kılavuzu Kitabı (2016) ile hesaplanmıştır

Çalışmada, Zonguldak limanında gemi faaliyetlerinden kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyonları 2014-2018 yılları için tahmin edilmiştir.2014, 2015, 2016, 2017, 2018 yılları için NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyonları sırasıyla 503, 42 ve 60; 419, 49 ve 34; 423, 36 ve 51; 376, 33 ve 47; 510, 44 ve 63 ton olduğu bulunmuştur. NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyonlarına ek

## ÖZET (devam ediyor)

olarak olası ağır metal, PCB, PCDD/F emisyonları da hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarla karşılaştırılmış ve Zonguldak il merkezindeki gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların hava kalitesi üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> emisyonlarının liman ve yoğun nüfuslu yerleşim üzerindeki etkisini anlamak için 2018 sonuçları AERMOD modeli ile 1 saat, 24 saat ve yıllık olarak modellenmiştir. Kirlilik dağılım haritaları 25 km<sup>2</sup> alan için oluşturulmuştur. En yüksek NO<sub>x</sub> konsantrasyonları saatlik 2000 µg/m<sup>3</sup>, yıllık 149 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> konsantrasyonları 24 saatlik 50 µg/m<sup>3</sup> ve yıllık 10 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Gemi emisyonlarından kaynaklanan kirletici maddelere en yüksek maruziyetin liman girişindeki deniz üzerinde olabileceği, şehir merkezindeki ortalama konsantrasyonların ise ulusal sınır değerlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Hava kirliliğinin şehir merkezinin yoğun nüfusu üzerindeki etkilerini değerlendirirken, sadece ulaşım ve ısıtma kaynakları emisyonları değil, Zonguldak Limanı faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar da dikkate alınmalıdır. Hava kirleticiler için kontrollünde, Uluslararası Denizcilik Yönetmeliğinde belirtilen emisyon kontrol alanları gibi kısıtlamaların liman şehirlerinde de uygulanması önerilir.

**Anahtar Kelimeler:** Zonguldak Limanı, Hava Kirliliği, Gemi Emisyonu, Aermody, Emisyon Faktörü

**Bilim kodu:** 615.02.02

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF AIR POLLUTION ARISING FROM SHIP ACTIVITIES IN ZONGULDAK PORT**

**Shabnam GUBADLI**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Sefa KOCABAŞ**

**October 2019, 57 pages**

The world trade carried by maritime line is over 90% of total transport. Emissions from marine traffic causes air pollution and efforts are made to control with international regulations such as IMO. In this study, the shipping emissions during berthing and maneuvering periods at Zonguldak port were estimated by emission inventory method for the years 2014-2018 and the possible effects of air pollution on the city identified. Emissions from ships during port activities have been calculated by EMEP/EEA Air Pollutant Emissions Inventory Guide Book (2016) which is published by the European Environment Agency.

By the study, NO<sub>x</sub>, NMVOC and PM emissions of shipping activities at Zonguldak port were estimated for the years 2014-2018. For the years 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 NO<sub>x</sub>, NMVOC and PM emissions are estimated as 503, 42 and 60; 419, 49 and 34; 423, 36 and 51; 376, 33 and 47; 510, 44 and 63 tons, respectively. In addition to NO<sub>x</sub>, NMVOC and PM emissions, possible heavy metal, PCB, PCDD/F emissions were also calculated. The results

## **ABSTRACT (continued)**

obtained from the study were compared with other studies and the effect of shipping emissions on the air quality in Zonguldak city center was determined.

In order to understand the effect of NO<sub>x</sub> and PM<sub>10</sub> emissions on the port and densely populated part, the results for 2018 were modeled by AERMOD model for 1 hour, 24 hour and annually. Pollution distribution maps were created by model run for 25 km<sup>2</sup> area. The highest concentrations of NO<sub>x</sub> calculated as 2000 µg/m<sup>3</sup> per hour, 149 µg/m<sup>3</sup> per year; for PM<sub>10</sub>, the concentrations calculated as 50 µg/m<sup>3</sup> per 24 hours and 10 µg/m<sup>3</sup> annually. It has found that the highest exposure to pollutants from ship emissions could occur over the sea-on the entrance of port-, while the average concentrations in the city center were below the national limit values.

In assessing the effects of air pollution on densely populated part of Zonguldak city center, not only the transportation and heating sources emissions, also emissions from port activities should be taken into account. It is recommended that restrictions specified in the International Maritime Regulations such as emission control areas for air pollutants may applied in the port cities.

**Keywords:** MARPOL, Air Pollution, Port of Zonguldak, Aermom

**Science Code:** 615.02.02



## TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması sırasında çalışmalarda bilgisini ve bilimsel tecrubesini paylaşan, her konuda desteğini eksik etmeyen saygı değer hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Sefa KOCABAŞ' a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca üzerimde emeği geçen, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma, tez jüri üyeliği için zaman ayıran değerli hocalarım Sayın Doç Dr. Kadir ÖZDEMİR ve Sayın Prof. Dr. Beyhan PEKEY' e teşekkürlerimi sunarım.

Hiçbir zaman desteklerini benden esirgemeyen annem Kaklık GUBADLI'ya, her zaman yanımda olan arkadaşlarım Farida ALİZADE, Ceren KORKUT ve Nilay KEÇİCİ'ye manevi desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Araştırma çalışmalarında desteklerinden ve yardımlarından ötürü Dr. Özgür ZEYDAN hocama ve Zonguldak Liman Başkanlığına teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1 HAVA KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI .....	3
2.1.1 Azot Oksit (NO <sub>x</sub> ) Emisyonları.....	4
2.1.2 Azot Oksit (NO <sub>x</sub> ) Emisyonlarının İnsan Sağlığına Etkisi.....	5
2.1.3 Kükürt Oksit (SO <sub>x</sub> ) Emisyonu .....	6
2.1.4 Kükürt Oksit (SO <sub>x</sub> ) Emisyonlarının Sağlığa Etkisi .....	7
2.1.5 Partikül Madde Emisyonları .....	7
2.1.6 Partikül Madde Emisyonlarının Sağlığa Etkileri .....	8
2.1.7 Metan Dışı Uçucu Organik Bileşik (NMVOC) Emisyonu ve Oluşumu.....	8
2.1.8 Metan Dışı Uçucu Organik Bileşik (NMVOC) Emisyonlarının Sağlık Üzerindeki Etkileri.....	9
2.2 GEMİLERDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLAR VE KURALLAR (MARPOL) ...	9
2.3 GEMİ EMİSYONLARININ TAHMİN YÖNTEMLERİ .....	14
2.4 LİTERATÜRDE GEMİ EMİSYONLARI.....	16
2.5 AERMOD HAVA KALİTE MODELİ VE UYGULAMA ALANI .....	18

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.6 HAVA KALİTESİ MODELLEME İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÖZETİ.....	20
BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOD.....	23
3.1 ÇALIŞMA ALANI.....	23
3.2 EMİSYON ENVANTERLERİ HESAPLANMASI VE KABULLER .....	25
3.3 GEMİ EMİSYONLARININ MODELLENMESİ.....	28
BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA.....	33
4.1 ZONGULDAK LİMANI 2014 YILI EMİSYONLARI .....	33
4.2 ZONGULDAK LİMANI 2015 YILI EMİSYONLARI .....	34
4.3 ZONGULDAK LİMANI 2016 YILI EMİSYONLARI .....	35
4.4 ZONGULDAK YILI 2017 YILI EMİSYONLARI.....	36
4.5 ZONGULDAK LİMANI 2018 YILI EMİSYONLARI .....	37
4.6 2014-2018 YILLARI İÇİN ZONGULDAK LİMAN FAALİYETLERDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN KARŞILAŞTIRMASI .....	38
4.7 FARKLI LİMANLARINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI	41
4.8 MODELLEME SONUÇLARI .....	42
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR.....	51
ÖZGEÇMİŞ .....	57

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 AERMOD modelinde kullanılan yükseklikler.....	20
Şekil 3.1 Zonguldak Limanı.....	24
Şekil 3.2 Zonguldak Limanı (TTK) .....	25
Şekil 3.3 Çalışma alanın uydu görüntüsü.....	29
Şekil 3.4 Çalışma alanına ait topografik harita. ....	30
Şekil 3.5 Çalışma alanına ait rüzgar gülü.....	31
Şekil 4.1 2014 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).....	34
Şekil 4.2 2015 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).....	35
Şekil 4.3 2016 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).....	36
Şekil 4.4 2017 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).....	37
Şekil 4.5 2018 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).....	38
Şekil 4.6 2014- 2018 yıllarında limana yaklaşan toplam gemi sayıları .....	39
Şekil 4.7 Toplam 2014- 2018 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl) .....	40
Şekil 4.8 AERMOD modeli ile 2018 yılı için 1 saatlik ortalama NO <sub>x</sub> kirlilik dağılım haritası (µg/m <sup>3</sup> ).....	43
Şekil 4.9 AERMOD modeli ile 2018 yılı için 1 yıllık ortalama NO <sub>x</sub> kirlilik dağılım haritası (µg/m <sup>3</sup> ).....	44
Şekil 4.10 AERMOD modeli ile 2018 yılı için 24 saat ortalama PM <sub>10</sub> kirliliği dağılımı (µg/m <sup>3</sup> ). 45	
Şekil 4.11 AERMOD modeli ile 2018 yılı için 1 yıllık ortalama PM <sub>10</sub> kirliliği dağılımı (µg/m <sup>3</sup> ). 46	



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Değişik hava yakıt oranlarında emisyonlar.....	4
Çizelge 2.2 Gemi yakıtlarının tipik kimyasal bileşim .....	10
Çizelge 2.3 MARPOL gemi kaynaklı hava kirliliğine yönelik kurallar .....	12
Çizelge 3.1 Zonguldak Liman özellikleri.....	23
Çizelge 3.2 NO <sub>x</sub> , NMVOC ve PM emisyon faktörleri.....	26
Çizelge 3.3 Emisyon hesaplama basamakları. ....	26
Çizelge 3.4 Gemilerin türlerine göre manevra ve liman bağlı kalma süreleri .....	27
Çizelge 3.5 Gemi tipine göre ortalama yardımcı makine/ana makine oranları.....	27
Çizelge 3.6 Seyir türüne bağlı ana ve yardımcı makine yükleri. ....	27
Çizelge 3.7 Yakıt miktarına bağlı emisyon faktörleri. ....	28
Çizelge 3.8 Çalışma alanına ait coğrafi bilgiler .....	28
Çizelge 4.1 2014 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.....	33
Çizelge 4.2 2015 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.....	34
Çizelge 4.3 2016 yılında limana yaklaşan gemi sayısı.....	35
Çizelge 4.4 2017 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.....	36
Çizelge 4.5 2018 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.....	37
Çizelge 4.6 Limana 2014- 2018 yılı içinde yaklaşan toplam gemi sayıları. ....	39
Çizelge 4.7 Toplam 2014-2018 yılları içinde Zonguldak limanından kaynaklanan NO <sub>x</sub> , NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl). ....	40
Çizelge 4.8 Harcanan yakıt miktarına bağlı emisyonlar .....	41
Çizelge 4.9 Diğer limanlarla emisyon miktarı karşılaştırılması (ton/yıl).....	41
Çizelge 4.10 Türk Limanlarına ait emisyon miktarlarının karşılaştırması.....	42
Çizelge 4.11 AERMOD modelleme sonuçları.....	46
Çizelge 4.12 PM <sub>10</sub> için hava kalitesi sınır değerleri.....	47
Çizelge 4.13 NO <sub>2</sub> için hava kalitesi sınır değerleri .....	47
Çizelge 4.14 Maksimum ve nüfus yoğun bölgedeki saatlik ve yıllık ortalama NOX konsantrasyonlarının NO <sub>2</sub> cinsinden sınır değerlerle karşılaştırması. ....	48
Çizelge 4.15 Maksimum ve nüfus yoğun bölgedeki 24 saatlik ve yıllık ortalama PM <sub>10</sub> konsantrasyonlarının sınır değerlerle karşılaştırması.....	48





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

NO <sub>x</sub>	: Azot oksit
SO <sub>x</sub>	: Kükürt oksit
CO	: Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	: Karbondioksit
PM	: Partikül Madde
HC	: Hidroklorit asit
VOC	: Uçucu Organik Bileşik
NMVOC	: Metan Dışı Uçucu Organik Bileşik
HF	: Hidroflorik asitv
HNO <sub>3</sub>	: Nitrik asit
O	: Oksijen
PCB	: Poliklorlu bifenil
CFC	: Kloroflorokarbon
CH <sub>4</sub>	: Metan
Pb	: Kurşun
Cd	: Kadmiyum
Hg	: Cıva
As	: Arsenik
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
Ni	: Nikel
Se	: Selenyum
Zn	: Çinko
PCDD/F	: Poliflorlu dibenzo-p-dioksin

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

### KISALTMALAR

<b>gr</b>	: Gram
<b>GT</b>	: Groston
<b>HFO</b>	: Heavy Fuel Oil
<b>IMO</b>	: International Maritime Organization
<b>km</b>	: Kilometre
<b>kW</b>	: Kilo watt
<b>MARPOL</b>	: International Convention for the Prevention of Pollution from Ships
<b>MDO</b>	: Marine Diesel Oil
<b>Mt</b>	: Milyon ton
<b>ppm</b>	: Parts per million
<b>SECA</b>	: Sulphur Emission Control Area
<b>µm</b>	: Mikron

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Günümüz dünyasında fosil yakıtların kullanımı temeline dayanan taşımacılık sektörü insan hayatını kolaylaştırmaktadır. Bu kolaylık beraberinde atmosfer bileşimini bozan kirleticilerin salınmasına yol açmakta ve günlük hayat standartlarımızı da olumsuz olarak etkilemektedir. Makineleşmeyle birlikte deniz trafiği taşımacılık faaliyetleri içerisinde önemli bir yere ulaşmış ve günümüzde taşımacılığın %90'ı deniz yoluyla yapılmaya başlanmıştır. Dünya deniz filosunun anlık olarak incelendiğinde %55'i limanlarda, %25'i de kıyıya yakın olmak üzere % 80'e yakın kısmı her an karaya yakın mesafede bulunmaktadır [1].

Gemilerin ana makineleri ve jeneratörleri gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin en büyük sebebidir. Gemilerin ana makineleri seyir halindeyken ağır fuel oil veya deniz dizel yakıtı kullanırken, manevra halinde ise deniz dizel yakıtı kullanır. Yardımcı makineler ise genellikle deniz dizel yakıtı kullanmaktadır. Deniz dizel yakıtı ağır fuel oil'e göre daha hafif ve daha az havayı kirleten bir yakıttır.

Gemiler, seyir sağlayan bir veya birkaç dizel ana makine ve elektrik enerjilerini karşılayan yardımcı makineler ile donatılmıştır. Tüm fosil yakıtların yakılmasında olduğu gibi deniz ticaretinde kullanılan gemilerin makinelerinde yakıtların yakılması sonucu çevre ve insan sağlığına zararlı NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, PM, HC, VOC emisyonları oluşmaktadır. Gemilerden kaynaklanan bu emisyonlar, denizden karaya, hatta kıtadan kıtaya taşınmaktadır. Bu emisyonlar yerel ölçekten küresel ölçeğe kadar etkilerde bulunmaktadır. Gemilerden kaynaklanan emisyonlar için MARPOL tarafından düzenlemeler yapılmasına rağmen, yakılan yakıt başına en fazla emisyon üreten nakliye araçlarıdır.

Uluslararası etkilerin hissedilmeye başladığı 1980 ve sonrasında hava kirliliğine neden olan etkenler ve hava kirliliğinin önlenmesi için alınması gerekli olan tedbirler gündeme gelmiştir. Deniz taşımacılığı açısından bu çalışmaların en önemlisi, Birleşmiş Milletler kuruluşu olan Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Deniz güvenliği, emniyeti ve deniz kirliliğinin önlenmesi ile ilgili konularda çalışan örgüt “Gemilerden Kaynaklanan Kirliliđin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi’ne (kısaca MARPOL) “Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesine Dair Kuralları” Ek VI maddesi eklemiştir.

Bu çalışmanın amacı Karadeniz’de önemli bir liman olan Zonguldak Limanından faydalanan gemilerin limana yanaşma, limanda bekleme ve limandan ayrılma süreçlerinde meydana getirdiği kirletici emisyonların hesaplanması ve ortaya çıkarılmasıdır. Bu çalışmada 2014 – 2018 yılları arasındaki liman trafik bilgileri kullanılarak EMEP/EEA’nın envanter hesaplama yöntemi ile Zonguldak limanında gemi faaliyetlerinden kaynaklanan NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>, NMVOC emisyonlar bulunmuştur. Çalışmada envanter yöntemi ile 2018 yılı için hesaplanan NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> kirleticileri için AERMOD modeli ile liman faaliyetlerinden etkilenen alana ait hava kalitesi değerleri elde edilmiştir.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ÇALIŞMASI

#### 2.1 HAVA KİRLİLİĞİ VE KAYNAKLARI

Hava kirliliği, havada katı, sıvı ve gaz şeklinde bulunan maddelerin canlıların normal yaşamına ve çevrenin doğal dengesine zarar verecek süre ve derişimde bulunmasıdır.

Hava kirliliğinin ayrı olarak incelendiği bilimsel çalışmaların 1934'te Belçika'da Meuse Vadisinde, 1947'de ABD'de Donora'da ve 1952'de Londra'da bir aydan kısa sürede binlerce kişinin ölümüne sebep olan hava kirliliği kaynaklı trajik olaylardan sonra başladığı söylenebilir.

Hava kirliliği kirleticisi özelliklerine göre birincil ve ikincil hava kirleticileri olarak iki grupta incelenir. Birincil hava kirleticileri  $SO_2$ ,  $NO_x$ , HC, CO,  $CO_2$  ve HF gibi gazlar ve toz halindeki partiküllerdir. İkincil hava kirleticileri ise birincil hava kirleticilerin çeşitli etkenlerle atmosferde değişime uğraması ile oluşan  $SO_3$ , sülfürik asit, ozon, ketonlar, asitler olarak tanımlanır. Hava kirleticilerin etkileri küresel, bölgesel ve yerel ölçekte olmak üzere üç ana sınıfta değerlendirilir. Küresel ısınmaya bağlı sera etkisi, ozon tabakasının incelmeye küresel boyuttaki etkiler iken, belirli bir alanda görülen asit yağışları bölgesel ölçekli etkilere örnek olarak verilebilir. Bir yerleşim alanında veya sanayi bölgesinde gözlenen hava kirliliği ise yerel ölçekteki etkileri oluşturur [2].

Hava kirliliği kaynaklarına göre sınıflandırıldığında doğal ve insan kaynaklı olmak üzere ikiye ayrılır. Çalışmanın da konusu olacak insan kaynaklı hava kirliliğinin en önemli sebebi fosil yakıt kullanımınıdır. Elektrik ve enerji üretimi, endüstriyel prosesler, evsel ve endüstriyel ısınma, ulaşım (kara, hava, deniz ve demiryolu) en önemli insan kaynaklı hava kirleticisi kaynaklarını oluşturmaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO, DSÖ) göre taşımacılık kaynaklı hava kirliliği, doğrudan ölüme yol açabilmekte veya solunum ile kardiyovasküler hastalıkların artmasına sebep olmaktadır.

DSÖ Avrupa Bölgesi'nde her yıl hava kirliliğine bağlı yaklaşık 100 000 erken yetişkin ölümü meydana geldiğini öngörmektedir. Kara taşımacılığında kaynaklanan emisyonlar bu yükün önemli bir kısmını oluşturmaktadır [URL1]. Avrupa Birliği'ndeki (AB) en büyük 115 şehirde yaklaşık 40 milyon insan, DSÖ hava kalitesi kılavuz değerlerini aşan en az bir hava kirleticiye maruz kalmaktadır. Ağır araç trafiğine sahip yolların yakınında yaşayan çocuklar, daha az sıkışık caddelerin yakınında yaşayanlardan iki kat daha fazla solunum problemi riskine sahiptir.

Dolaylı olarak iklim değişikliğine de etki eden fosil yakıtların taşımacılıkta kullanılması son on yılda % 20 artmıştır. Bu kirleticiler arasında en önemlileri azot oksitler (NO<sub>x</sub>), kükürt oksitler (SO<sub>x</sub>), partikül madde (PM) ve metan dışı uçucu organik bileşiklerdir (NMVOC).

### 2.1.1 Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonları

Yanma esnasında ihtiyaç duyulan havanın içinde doğal olarak bulunan azotun yüksek sıcaklıklara maruz kalması ile azot oksitler oluşur. Azot oksit (NO) ve azot dioksit (NO<sub>2</sub>) olarak iki ana türdedir. Azot oksit emisyonlarının oluşumuna yanma odasında yakıt hava karışımının miktarı da etki etmekte atmosferik azotun yüksek yanma sıcaklıklarında azotoksitlere dönüşmesi söz konusudur.

Yanma odasında gerçek hava-yakıt karışım oranı, stokiyometrik hava-yakıt karışım oranından az olduğunda NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumu azalmaktadır. Tam aksi durumda ise, gerçek hava-yakıt karışım oranı, stokiyometrik hava-yakıt karışım oranından fazla olduğu durumlarda NO<sub>x</sub> emisyonu oluşumu artmaktadır. Bir makinede hava yakıt karışım katsayısına bağlı emisyon oluşumu Çizelge 2.1'de verilmektedir.

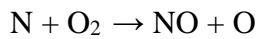
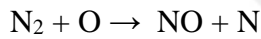
**Çizelge 2.1** Değişik hava yakıt oranlarında emisyonlar.

Ayarlar	NO <sub>x</sub>	CO	THC	NMHC
%10 Zengin (rich) Karışım	5.0	40.0	2.0	0.30
Stokiyometrik	10.0	10.0	1.5	0.20
%10 Fakir (lean) Karışım	20.0	1.0	1.0	0.15

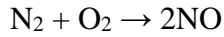
Azot oksitinin atmosferde başlıca bulunmasının en başlıca sebeplerinden biri taşıtlar ve yakma tesisleridir. Bu gazlar atmosferde doğal gaz çevrimine girerek, nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) oluşumuyla sonuçlanan zincirleme reaksiyonları tamamlarlar. Atmosferdeki HNO<sub>3</sub> oluşumu ise asit yağışının oluşmasını etkiler [3].

Yüksek sıcaklıkta yanma sonrası açığa çıkan gazlardan biri de azot dioksit gazıdır. Hatta bazen kahverengi bir sis veya duman sütünü gibi atmosferde görünebilirler. Azot oksit, yakıcı ve keskin kokulu bir gazdır [4].

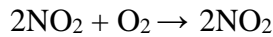
Azot oksit akciğerlere, solunum yollarına zararlıdır, astım, solunum yolları hastalıkları gibi bakteriyel enfeksiyonlara karşı insan organizmasının direncini düşürmektedir. NO (azot oksit) renksiz, kokusuz bir gaz olup yüksek sıcaklık altında yanma işlemi sonucunda ortaya çıkar. Bu yanma reaksiyonları aşağıdaki gibi olmaktadır;



Ve ayrıca,



şeklinde azot monoksit meydana gelir. Azot oksit, havanın oksijeni ile bileşerek azot dioksiti aşağıdaki şekilde meydana getirir:



Toplam azot oksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarında NO/NO<sub>x</sub> oranı yakıt türü ve yakma sistemine göre farklılık göstermekte olup sıvı yakıtlı yakma kazanlarında 0.96-1.0, içten yanmalı motorlarda 0.99-1.0 aralığındadır [5].

### **2.1.2 Azot Oksit (NO<sub>x</sub>) Emisyonlarının İnsan Sağlığına Etkisi**

Bir haftadan bir aya kadar olan sürede 1880 µg/m<sup>3</sup>'den az konsantrasyona maruz kalındığında bronşiyel ve pulmoner bölgelerdeki hücrelerde anormal değişiklikler, 940 µg/m<sup>3</sup>

konsantrasyona maruz kalındığında ise akciğerlerin bakteriyel enfeksiyonlara karşı hassasiyetinin artması ve biyokimyasal değişimler gözlenmektedir [URL2].

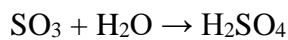
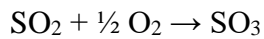
Gemilerden kaynaklanan azot oksitler emisyonları, diğer kirleticiler gibi havada ki nem ile birleşerek nitrik asite dönüşür. Nitrat asidinin insan sağlığını ve diğer canlıların da sağlığını zararlı yönde etkilemektedir. Azot dioksit hava ile solunduğu zaman alt solunum yolları problemlerine sebep olmaktadır [4].

Azot dioksitin bulunduğu ortamlarda, diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar sebebiyle insan sağlığında olumsuz etkiler oluşur. Özellikle akciğerlerin bakteriyel iltihaplanmaya karşı hassasiyetleri yükselir ve akciğerlerde biyokimyasal değişimlerin meydana gelmesine sebebiyet verebilir [6-7]. Astım gibi solunum hastalığı olan yetişkinler ve çocuklarda; öksürük, hırıltılı solunum ve kesik nefes alma gibi solunum belirtilerine neden olabilir.

### 2.1.3 Kükürt Oksit (SO<sub>x</sub>) Emisyonu

Diğer taşımacılık yöntemlerine göre denizcilik sektöründe gemi makinelerinde kullanılan yakıtlar daha yüksek kükürt oranları içerebilmektedir. Yakıt içeriğindeki kükürt yanarak kükürt dioksit ve kükürt trioksit bileşikleri oluşturmaktadır. Kükürt dioksit, bir kükürt iki oksijene sahip bir bileşendir. Kükürt ve oksijen arasında kovalent-polar bağ vardır. Renksiz, keskin kokulu reaktif bir gaz olan kükürt dioksit; kömür, fuel-oil gibi kükürt içeren yakıtların yanması sırasında, metal eritme işlemleri ve diğer endüstriyel prosesler sonucu oluşur. Hava kirliliği ve asit yağmurlarına neden olur. Kükürt dioksit yakıtların içinde organik ve inorganik şekilde bulunan kirletici emisyon türüdür. Aynı zaman inorganik sülfat halinde toprakta bulunur ve yanma sonucu meydana çıkarak atmosfere salınmaktadır [8-9].

Kükürt dioksitin gazının aşağıda gösterilen reaksiyon sonucu sülfürik asite dönüşmektedir;



Kükürt dioksit %80'den fazlasının endüstriyel kaynaklardan meydana geldiği tahmin edilmektedir. Dünya üzerinde genellikle en çok Avrupa ve Kuzey Amerika da kükürt dioksit



emisyona rastlanılmaktadır. Kükürt oksit emisyonları yakıt içindeki kükürt miktarına bağlıdır. Dolayısıyla yakıt içindeki kükürt miktarı düşürülerek kükürt oksit emisyonları kontrol edilebilmekte ve düşürülebilmektedir.

#### **2.1.4 Kükürt Oksit (SO<sub>x</sub>) Emisyonlarının Sağlığa Etkisi**

Özellikle çocukların ve astımlı kişilerin duyarlı olduğu kükürt dioksit, hırıltılı solunum, göğüs sıkışması ve kesik nefes alma gibi belirtilere sebep olan, solunum yollarının daralmasına etki eder. Uzun süreli kükürt dioksite maruz kalmak solunum hastalıklarına, akciğerlerin savunma mekanizmasında değişikliklere ve mevcut kalp hastalıklarının kötüleşmesine neden olur. Diğer kirletici gazlar gibi kükürt oksitleri de solunum yolu hastalıklarına ve akciğerlerin fonksiyon bozukluklarındaki artışlarla beraber ölüm olayları da meydana getirmektedir. Sağlığa zararlılığı bakımında kükürt oksidi ilk sıralarda yer alıyor [10]. Genellikle liman şehirlerinde insanlar solunum yolu hastalıklarından, solunum yolu tahrişi, bronşit ve akciğer hastalıklarından rahatsızlık duymaktadır. Kükürt oksit gazı tenneffüs edildiği zaman akciğerlerimiz de bulunan nem ile birleşmesi sonucu önce H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> aside ve daha sonra ise H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> asidine dönüşmektedir. Bunun sonucunda akciğerlerimizde oluşan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, solunum yollarını tahriş ederek akciğerlerde yıpranmalara ve solunum yolu organlarına bağlı hastalıkları meydana getirmektedir [11].

#### **2.1.5 Partikül Madde Emisyonları**

Dizel makinalarda yanma sonucu oluşan emisyonların içerisinde askıda bulunan organik ve inorganik tanecikler partikül maddeler olarak adlandırılır. Partikül maddeler tanımında özellikle 10 µm (PM<sub>10</sub>) ve 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>) altındaki tane boyutundaki maddelerden bahsedilir. Partikül maddelerin yaklaşık % 94'ü 2,5 mikron çapından küçük parçacıklardan oluşmaktadır [12].

Partikül maddeler hava kirletici gazlardan sonra ikinci dereceli hava kirleticileridir.[13]. Partikül maddelerin oluşumu genel olarak iki şekilde gerçekleşir, direk atmosfere salınarak (birincil partiküller) ve atmosferde kimyasal reaksiyonlarla (ikincil partiküller). Birincil partikül maddeler doğal kaynaklı veya antropojen olabilir. Volkanik tozlar, polenler, deniz tuzu vb. doğal kaynaklıdır. Yangınlar, ısınmadan kaynaklanan, trafik vb. antropojenik kaynaklara numune olarak gösterilebilir. Aerodinamik çapı 10 µm'den büyük olan partiküller

salındıktan sonra birkaç saat içinde yüzeyde depolanır. Şiddetli rüzgarlar ve türbülansla tekrar asılı hale gelmedikçe ışık saçılmasında çok fazla etkileri yoktur. İkincil partikül maddeler birincil partikül maddelerden kaynaklanır. Örneğin taşıtlardan, ısınma kaynaklarından, yakma işlemlerinden kaynaklı emisyonlar kimyasal reaksiyonlarla sülfat, nitrat ve amonyak içeren partikül maddelere dönüşebilir. Atmosferik gazlar absorpsiyon, çözünme ve yoğunlaşma ile de askıda partikül haline gelebilir. Partikül maddeler atmosferde birkaç saat içinde çökebilirler ve yalnızca kısa mesafelere taşınırlar. Küçük boyutlu partikül maddeler uzun süre atmosferde askıda kalabilir ve uzun mesafelere taşınabilir. Partikül maddelerin ömürleri boyutlarına göre değişmektedir [14].

### **2.1.6 Partikül Madde Emisyonlarının Sağlığa Etkileri**

Partikül maddelerin boyutları küçüldükçe insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi bir o kadar artmaktadır. Farklı bileşiklerden oluşan katı parçacıklar akciğerlerimizdeki nemle birleşerek asite dönüşebilmektedir. Akciğere kadar giden katı parçacıklar kanın içindeki karbon dioksitin oksijene dönüşümünü yavaşlatır ve bu da insanda nefes darlığı problemini ortaya çıkarmaktadır. Oksijen kaybının giderilebilmesi için ise kalbin daha çok çalışması gerekmekte ve kalp üzerinde ciddi bir baskı oluşturmaktadır [URL3].

Hava kirliliğine bağlı ölümler ve hastalıklar, çapı 10 veya 2,5 mikrondan küçük olan (PM<sub>10</sub> ve PM<sub>2.5</sub>) partikül maddelere (PM) maruz kalmayla yakından bağlantılıdır. Küçük parçacıklar vücudun toza karşı savunmasını atlayarak solunum sistemine derinlemesine nüfuz edebilir. Ayrıca, ağır metaller, sülfürler, karbon bileşikleri ve benzen türevleri içeren kanserojenler gibi sağlığa zarar veren maddelerin bir karışımını da içerirler. Taşımacılık, partikül madde kirliliğine maruz kalma risklerine önemli ve büyüyen bir katkıda bulunmaktadır. Karayolu taşımacılığı, çoğunlukla dizel yakıt kullanımından dolayı Avrupa şehirlerindeki partikül emisyonlarının % 30'una ve OECD ülkelerindeki % 50'sine sebep olduğu tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, taşımacılığın partikül hava kirliliğine toplam katkısı, toplam kirliliğe katkısı % 12 ila % 70'i arasında değişebilir [URL4].

### **2.1.7 Metan Dışı Uçucu Organik Bileşik (NMVOC) Emisyonu ve Oluşumu**

Metan Dışı Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC), propan, etan ve bütan gibi organik yapıdaki gaz bileşiklerden oluşmaktadır. Bu bileşikler NO<sub>x</sub>'la birlikte, troposfer ozonunun ve diğer

fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasında yer almasından dolayı önemlidir ve sera etkisine de katkıda bulunurlar. Gemi faaliyetlerinden kaynaklanan NMVOC emisyonları gemiye yakıt aktarımı zamanı ve yakıt tanklarından yakıtın oluşturduğu uçucu organik bileşik emisyonlarıdır [15]. Metan harici uçucu organik bileşikler daha çok endüstriyel prosesler sonrasında meydana çıkmaktadır. Düşük sıcaklıklarda oldukça kolay buharlaşabilen uçucu organik bileşiklerin emisyonlarından söz edilebilir.

### **2.1.8 Metan Dışı Uçucu Organik Bileşik (NMVOC) Emisyonlarının Sağlık Üzerindeki Etkileri**

Metan harici uçucu organik bileşiklerin genel sağlık etkilerini bildirmek gerekirse akut ve kronik sağlık etkileri, düşük dozda ise astım ve solunum yolları hastalıklarına yol açmaktadır. Yüksek konsantrasyonlar da maruz kalındığında merkezi sinir sistemi üzerinde etki yaparlar [7]. Bunun dışında metan harici uçucu organik bileşikler yeni doğan bebeklerde ve çocuklarda göz, solunum yolları, merkezi sinir sistemi, gelişme bozukluklarına ve hatta karaciğer, böbrekler üzerin de de etkisini göstermektedir.

## **2.2 GEMİLERDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLAR VE KURALLAR (MARPOL)**

Küreselleşen dünyada taşımacılık önemli bir sektör haline dönüşmüş ve dünya taşımacılığında deniz yolunun payı 2017 yılında %84'e ulaşmış günümüzde ise % 90'lara yaklaşmaktadır [16].

Dünya deniz ticaretinde kullanımda olan gemilerin büyük çoğunluğu dizel makineler kullanmaktadır. Gemilerde kara taşımacılığından farklı olarak deniz tipi dizel yakıtlar (distillate fuel oil) ve deniz tipi ağır yakıtlar (residual fuel oil) kullanılmaktadır. Yakıt tüketiminin fazla olduğu daha büyük gemilerde ise ağır yakıt (residual fuel oil) kullanılmaktadırlar. Makine devri yükselip makine boyutları küçüldükçe daha kolay yanma özelliğine ve daha düşük sülfür içeriğine sahip dizel yakıtlar (distillate fuel oil) kullanılmaktadır.

Çizelge 2.2 de Dizel yakıtların (distillate fuel oil) ve ağır yakıtların (residual fuel oil) içerdiği element miktarları verilmiştir. Verilen değerler IMO (2008) ve ISO 8178 (2008)'dan alınmıştır.

**Çizelge 2.2** Gemi yakıtlarının tipik kimyasal bileşim [URL5] ve [URL6]

	<b>Karbon (C)</b>	<b>Hidrojen (H)</b>	<b>Azot (N)</b>	<b>Oksijen(O)</b>
Distile Yakıt	%86,2	%13.6	%0.00	%0.00
Ağır Yakıt	%86,1	%10.9	%0.4	%0.00

Gemi taşımacılığında yakma sistemine bağlı yakıtların yanması sonucu yakıt içeriğindeki organik ve element karbondan (OC ve EC), sülfatlardan ve metallere dönüşen  $SO_x$ ,  $NO_x$ , HC, PM ve NMVOC emisyonları kıyı atmosfer ortamı üzerinde önemli etkiye sahip en önemli kirleticilerdir [17].

Gemilerden kaynaklanan emisyonlar yerel, bölgesel ve küresel atmosferin kalitesi üzerinde artan olumsuz etkilere yol açmakta, sağlık ve çevresel etkileri erken ölüm, çeşitli sağlık sorunları ve akciğerlerde olumsuz etkiler ile asit yağmurları ve iklim değişikliğidir.

Dizel makinelerin emisyonları tahmini olarak 450 farklı bileşik içerir ve bunların yaklaşık 40'ı sağlık ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olan toksik hava kirleticileridir [18]. Amerika Birleşik Devletlerinde yayınlanan bir raporda partikül emisyonları, 21.000 erken ölüme neden olmaktadır DSÖ (Dünya Sağlık Örgütü), Avrupa'da ince partikül maddelere maruz kalmanın yıllık yaklaşık 100.000 erken ölüme (ve 725.000 yıllık yaşam kaybı) neden olduğunu ve Avrupa'daki yaşam beklentisindeki ortalama azalmanın yaklaşık bir ila iki yıl (DSÖ) olduğunu tahmin etmiştir [19].

Gemiler atmosfere yanma sonucu oluşan azot oksitler ( $NO_x$ ), kükürt oksitler ( $SO_x$ ), karbon dioksit ve partikül madde (PM) yayarlar. Dünya çapında 2007'den 2012'ye kadar antropojenik kaynaklardan kaynaklanan yıllık  $NO_x$  emisyonlarının% 15'ini,  $SO_x$ 'un% 13'ünü ve  $CO_2$ 'nin% 3'ünü, nakliye, oluşturdu. 2013'te Avrupa'da gemiler,  $NO_x$  emisyonlarının% 18'ine, % 18  $SO_x$ 'a ve partiküllerin% 11'ine 2,5 mikrometreden daha az katkıda bulunmuştur ( $PM_{2.5}$ ). Karayolu taşımacılığı için rakamlar sırasıyla% 33,% 0 ve% 12 idi. Buna karşın, havacılık sırasıyla% 6, % 1 ve% 1, demiryolu ise sadece% 1, % 0 ve% 0 olarak hesaplanmıştır [20].

Avrupa Birliği içinde de hava kirliliğine katkısı en hızlı artan sektör denizciliktir. Gemilerin 2020 yılında kara kaynaklı tüm hava kirleticilerden daha çok kükürt oksit emisyonları yayması öngörülmektedir. 2000 yılında AB bayraklı gemilerin 200 milyon ton karbon dioksit

yaydığı düşünülmektedir. Bu miktar Avrupa hava trafiğinden kaynaklanan emisyonlardan daha yüksektir.

Avrupa Konsey ve Parlamentosu, NO<sub>x</sub> emisyonları ile ilgili, 2002 deniz taşımacılığı stratejisine ve 2005'te hava kirliliğine ilişkin tematik stratejisinde gemilerden NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmaya yönelik Topluluk eylemlerine destek verdiğini belirtmekle yetinmiştir. Gemilerden kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonları IMO'nun yeni emisyon standartları tam olarak uygulanmasına rağmen artmaya devam etmektedir. Avrupa Komisyonu NO<sub>x</sub> emisyonları ile ilgili standartları 2021'den sonra geçerli kılmayı planlamaktadır [URL7].

Avrupa Komisyonu 2002'de deniz taşımacılığında kaynaklanan hava kirliliğini azaltma stratejisinin bir parçası olarak, Kasım 2002'de deniz yakıtlarının kükürt içeriğini azaltmaya yönelik bir teklif yayınlamıştır. Ortaya çıkan yasa (2005/33/EC sayılı Direktif) Ağustos 2005'te yürürlüğe girmiş ve Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) 1997'de kabul ettiği ve 2005'te yürürlüğe giren genel standartlarını büyük ölçüde karşılamıştır. Bu direktif ile Sülfür Emisyon Kontrol Alanlarındaki (İngiliz Kanalı dahil Baltık Denizi ve Kuzey Denizi) tüm gemiler için ve tüm Avrupa deniz alanlarındaki yolcu feribotları için yakıt içeriğindeki kükürtün en çok yüzde 1,5 olabileceği belirlenmiştir. Buna ek olarak, direktif Avrupa limanlarından faydalanan tüm gemilerin rıhtıma bağlı iken yüzde 0.1 veya daha az miktarda kükürt içeren yakıt kullanmasını zorunlu kılmıştır. Gözden geçirilmiş kükürt yönergesi (2012/33/EU) ile yüzde 0,50'lik küresel kükürt sınırının 2020 yılına kadar tüm AB deniz bölgelerinde uygulanmasını ve IMO'nun 2015'ten itibaren yüzde 0,10 olan Kükürt Emisyon Kontrol Alanları (SECA'lar) sınırını onaylayacağını öngörmektedir [URL8].

Kara bazlı endüstriyel üretimlerde ve kara taşımacılığında hava kirliliğine yönelik çok sıkı kurallar mevcuttur. Denizcilikten kaynaklanan kirlilikler için kurallar ise Marpol EK VI ile düzenlenmiştir. Avrupa Birliği istatistiklerine göre Avrupa'daki SO<sub>x</sub> kirliliğinin en büyük sebebi deniz ticareti için kullanılmakta olan gemiler olarak gösterilmiştir. Avrupa Birliği tarafından uygulanan ve ülkemizin de taraf olduğu Gemi Kaynaklı Kirletimin Önlenmesi Hakkında Uluslararası Sözleşme (MARPOL-International Convention for the Prevention of Pollution from Ships) nin VI. eki gemi kaynaklı hava kirliliğine ilişkin kuralları düzenlemektedir [URL9].

Marpol Ek VI, gemilerden kaynaklanan SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, VOC (uçuucu organik bileşikler), PCB (Poliklorlu bifenil), ağır metaller, CFC (kloro flor karbon) salınımına düzenleme getiren kurallar bütünüdür.

Marpol Ek VI; 400grt ve üzeri gemilerde, sondaj gemilerinde, platformlarda uygulanmakta ve uluslararası hava kirliliği sertifikasını (IAPPC) zorunlu kılmaktadır. Çizelge 2.3'de MARPOL'un gemilerden kaynaklanan hava kirlenmesine yönelik kuralları verilmiştir.

### Çizelge 2.3 MARPOL gemi kaynaklı hava kirliliğine yönelik kurallar

Kural 12	Ozon delici madde olan CFC kullanımını ve salınımını sınırlandırmaktadır. Yeni gemi yapımlarında CFC kullanımı yasaktır. Ancak mevcut gemilerde ise 1 Ocak 2020 tarihine kadar izin verilmiştir.
Kural 13	NO <sub>x</sub> salınımını Makina gücü 130KW den büyük olan gemilerde sınırlandırmaktadır.
Kural 14	SO <sub>x</sub> salınımını yakıt içeriğindeki kükürt miktarı ile sınırlandırmaktadır Yakıtlardaki en fazla sülfür içeriği %4,5 olabilir ve ayrıca Marpol özel koruma alanları (Baltık Denizi, Kuzey Denizi gibi) belirlemiştir
Kural 15	VOC için sınırlama getirmektedir.
Kural 16	Özellikli (PCB, ağır metal gibi) içeren atıkların yakma ünitelerinde yakılmasını yasaklamaktadır.
Kural 18	Yakıt kalitesini standartlar ile düzenlemektedir. Fuel Oil içerisinde; inorganik yağlar, kimyasal atıklar olmamasını ve Yakıt teslim tutanağında belirli bir sıcaklıktaki yoğunluk ve sülfür değerlerinin bulunmasını zorunlu kılmaktadır.

Gemilerden kaynaklanan hava kirliliği önlenmesi amacıyla çıkarılan MARPOL 73/78'e Ek-VI "Gemilerden Hava Kirliliğinin Önlenmesi için Kurallar" başlığı ozon-tüketen maddelerin kasıtlı olarak yayılmasını yasaklamakta, kükürt oksit (SO<sub>x</sub>) ve azot oksit (NO<sub>x</sub>) yayılmalarına sınırlandırma getirmektedir [21]. Avrupa'yı çevreleyen Baltık, Kuzey Denizi, Atlantik, Akdeniz ve Karadeniz'in kuzeydoğu kısmındaki denizlerde uluslararası ticaret yapan gemilerden kaynaklanan emisyonların 2013 yılında 1,6 milyon ton kükürt dioksit ve 3 milyon ton azot oksit salınımına yol açtığı öngörülmektedir [URL10].

Son otuz yıl boyunca kara kaynaklı kaynaklardan kaynaklanan emisyonların azaltılmasındaki ilerlemenin aksine, deniz taşımacılığında kaynaklanan kükürt ve azot oksitlerin emisyonları

giderek artmaktadır. Son on yıl içinde Avrupa çapında uluslararası deniz taşımacılığında kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonlarının toplam 28 AB üyesi ülkedeki tüm kara kaynaklı kaynaklardan yayılan emisyonlara eşit olması veya hatta onu aşması beklenmektedir. Bu emisyonların azaltılması için çeşitli düzenlemeler yapılmış, Dünyada ve AB'de deniz taşımacılığında kullanılan yakıtlar için kükürt içeriği standartları getirilmiş ve Emisyonu Kontrol Alanları (SECA) nda uygulamaya koyulmuştur. İlk iki kükürt oksit emisyon kontrol alanı Avrupa'da, Baltık Denizi ve Kuzey Denizi'nde kurulmuş ve sırasıyla 2006 ve 2007'de yürürlüğe girmiştir; üçüncüsü Kuzey Amerika'da kurulmuş ve 2012'de yürürlüğe girmiş; ve dördüncüsü, Porto Riko ve ABD Virjin Adaları kıyılarına bitişik suları kapsayan ABD Karayip Denizinde kurularak 2014 yılında yürürlüğe girmiştir. Kuzey Avrupa ve Kuzey Amerika'daki bu artış eğilimini azaltmıştır. Ancak NO<sub>x</sub> emisyonlarının artmaya devam etmektedir [URL10].

Sülfür oksit emisyonları üzerinde daha sıkı kontrollerin uygulandığı emisyon kontrol alanlarında, akaryakıtın sülfür içeriği, 1 Ocak 2015'ten itibaren yüzde 0.1'den (1000 ppm) daha fazla olmaması zorunluluk haline getirilmiştir. 2020 den sonra ise sadece emisyon kontrol alanlarında değil tüm denizlerde % 0,5 kükürt içeriği olan yakıtların kullanımı zorunlu hale getirilecektir [URL11].

Küresel olarak deniz taşımacılığında kaynaklanan hava kirliliğine Nüfus ağırlıklı maruziyet , emisyon envanterleri ve küresel ölçekte atmosferik modellere dayanarak çeşitli çalışmalarda tahmin edilmiştir [22-24].

Maruz kalma verileri bölgesel ölüme oranları ve can kaybına yol açan maruziyet-tepki fonksiyonları ile birleştirilmiş, son tahminde elde edilen yıllık erken ölüm sayısı yaklaşık 350.000 olarak bulunmuştur. Dünyada% 0.5'e kadar bir yakıt sülfür azaltımı kullanan bir senaryo, deniz taşımacılığı emisyonlarından kaynaklanan erken ölüm oranını % 34 azalttığı tahmin edilmiştir [24].

Avrupa için tahminler de Andersson ve ark. [25] ve Brandt ve diğ. [26] çalışmalarında uluslararası deniz taşımacılığında kaynaklanan emisyonların Avrupa'da yaklaşık 50 000 yıllık erken ölüme neden olduğu tahmin edilmektedir.

Baltık Denizi ve Kuzey Denizi'nde deniz taşımacılığının 2011'de Avrupa'da yaklaşık 14 000 yıllık ölümüne neden olduğu ve 2020'de yakıt içeriğinde kükürtün azaltılmasından sonra yaklaşık% 6'lık bir düşüşe sağlayacağı tahmin edilmiştir.

### 2.3 GEMİ EMİSYONLARININ TAHMİN YÖNTEMLERİ

Emisyon envanteri en basit ifade ile belirli bir zaman diliminde belirli bir faaliyetten kaynaklanan kirletici miktarı olarak tanımlanabilir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\text{Emisyon miktarı (kton)} = \text{Aktivite verisi} \times \text{Emisyon Faktörü} \quad (2.1)$$

Emisyon miktarını hesaplamak için emisyon faktörü ve aktivite verisi olan iki belirleyici unsur kullanılmaktadır. Faaliyetin belirli zamanda gerçekleşebilme miktarı aktivite verisi olarak adlandırılmıştır. Sektöre göre değişebilirlik gösteren unsur aktivite verisidir. Yıl içinde kullanılmış taşıt satışı, üretilen çimento miktarı veya kullanılan yıllık yakıt miktarını aktivite verisine örnek olarak gösterebilir.

Aktivite verisinden farklı olarak emisyon faktörleri, yapılan çalışma sonrasında ortaya çıkacak kirletici emisyon miktarını tahmin etmek için kullanılan unsurdur. Emisyon faktörleri yapılan bilimsel çalışmaların sonucunda geliştirilmiş ve literatüre kabul edilmiş sayıdır. Aktivite verisinde veya emisyon faktöründeki herhangi belirsizlik emisyon miktarının hesaplamasını da etkilemektedir. Bu nedenle emisyon envanterleri daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak adına her yıl geliştirilerek güncellenmektedir [27].

Gemilerden kaynaklanan emisyonların tespitine yönelik farklı emisyon envanter hesaplama yöntemleri mevcuttur. Son 25 yılda gemi emisyonlarının tahminleri için farklı küresel, bölgesel ve yerel envanter çalışmaları yapılmıştır. Genellikle aşağıdan yukarıya yaklaşım ile kurgulanan emisyon envanteri hesaplama yöntemleri farklı kaynaklarda karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada Avrupa Çevre Ajansı tarafından yayınlanan AÇA 21/2016 No'lu Ulusal emisyon envanterlerinin hazırlanmasında teknik rehberlik Raporu kullanılmıştır. Ortak EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyonları Envanter Rehberi, UNECE Uzun Menzilli Sınır Aşan Hava Kirliliği Sözleşmesi (CLRTAP) ve AB Ulusal Emisyon Tavanları Direktifi ile ilgili emisyon verilerinin raporlanmasını desteklemektedir. Atmosferik emisyon envanterinin nasıl derlenmesi konusunda uzman rehberliği sağlar [46]. Bu kılavuzda farklı veri kaynaklarına



göre üç farklı metodoloji (Tier 1, Tier 2 ve Tier 3) önerilmiştir. Tier 1 metodu genel olarak daha az veri içeren basit bir yöntemdir. Bu yöntemde, kullanılan yanma teknolojisi hiç hesaba katılmadan yakıt cinsi ve yakılan miktarı ile emisyon faktörlerinin kullanılması ile hesaplama yapılabilmektedir. Tier 2 metodu ise Tier 1 metodu bilgilerine ek olarak yakıtın yakıldığı makine özelliklerine (yavaş, hızlı, yüksek hızlı dizel, gaz türbinli, buhar türbinli vb) göre belirlenmiş emisyon faktörleri kullanılmaktadır. Tier 3 metodu ise daha karmaşık olan ve uzmanlık gerektiren geminin yapım yılı, ana makine gücü, yardımcı makine gücü, geminin kat ettiği mesafe gibi değişkenleri dikkate alan bir yöntemdir.

Gemi hareketi metodolojisi, ayrıntılı gemi hareketi verileri ve ayrıca gemilerle ilgili teknik bilgiler (örneğin, motorun büyüklüğü ve teknolojisi, kurulu güç veya yakıt kullanımı, farklı aktivitelerdeki saatler) mevcut olduğunda önerilir. Ulusal ve uluslararası emisyonların tahmin edilmesinde de kullanılır. Metodolojiyi gerçekleştirmek oldukça zaman alabilir. Metodolojiler, UNECE/EMEP ulusal ve uluslararası nakliyat tanımını ve diğer tanımlamaları (bayrak, mülkiyet, coğrafi bölge vb.) izleyen emisyonları hesaplamak için kullanılabilir. Ticari gemiler için, Tier 3 yaklaşımı navigasyondan kaynaklanan emisyonları bir geminin tüm bir yolculuğundaki farklı türleri toplayarak hesaplar.

Tek bir yolculuk için emisyonlar Denklem 2.2'de olduğu şekilde ifade edilebilir:

$$E_{\text{Sefer}} = E_{\text{Liman}} + E_{\text{Manevra}} + E_{\text{Seyir}} \quad (2.2)$$

Toplam envanter, yıl boyunca tüm gemilerdeki bütün seyahatlerin toplamıdır.

Sefer başına yakıt tüketimi bilinmediğinde, farklı navigasyon aşamalarında harcanan güç ve zamana bağlı olarak emisyonların hesaplanması için Trozzi (2010) ve Van Aardenne ve diğerleri (2013) tarafından farklı bir metodoloji önerilmiştir. Bu formül Denklem 2.3' de verilmiştir.

$$E_{\text{Sefer},i,j,m} = \sum_p [T_p \sum_e (P_e \times LF_e \times EF_{e,i,j,m,p})] \quad (2.3)$$

$E_{\text{Sefer}}$  – Geminin bir seferi için emisyon miktarı(ton),

$EF$  - Gemi tipine bağlı olarak Çizelge 3.2'den emisyon faktörü (g/kwh),

$LF$  - makina yük faktörü (%)

P – Makine gücü (kW)

T – Zaman (saat)

e – Makina kategorisi (ana, yardımcı)

i – Emisyon türü (NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM)

j – Makine tipi (yavaş, orta ve yüksek hızlı dizel, gaz türbini ve buhar türbini).

m – Yakıt türü (bunker akaryakıt, dizel yakıt, benzin),

p – Gemi sefer türü (liman, manevra ve seyir)

## 2.4 LİTERATÜRDE GEMİ EMİSYONLARI

Emisyon envanter yöntemi ile gemilerin faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların hesaplanması yaygın bir yöntemdir.

2003 yılında elde edilen veriler kullanılarak Marmara Denizi ve Türk Boğazlarındaki gemilerden çıkan egzoz gazı emisyonları hesaplanmıştır. Çalışmada ana motor tipleri, yakıt tipleri, işlem tipleri, seyir zamanları ve gemi hızları dikkate alınmıştır. Çalışma alanındaki gemilerden gelen toplam emisyonların CO<sub>2</sub> için 5.451,224 ton/yıl, NO<sub>x</sub> için 111 039 ton/yıl, SO<sub>2</sub> için 87 168 ton/yıl, CO için 20 281 ton/yıl, VOC için 5801 ton/yıl, 4762 ton/yıl PM için bulunmuştur. Bölgedeki nakliye emisyonları, Türkiye’de NO<sub>x</sub>’in % 0.1’lik CO’nun % 11’ine ve buna karşılık gelen toplam emisyonların % 0.12’ne eşittir. Bölgedeki deniz taşımacılığı emisyonları, NO<sub>x</sub>’in % 46’sı, PM’in % 25’i ve Türkiye’deki karayolu trafik emisyonlarının CO’nun % 1,5’i olduğu bulunmuştur [19].

2018 yılında yapılan bir çalışmada ise Dökme yük gemilerinin baca gazı emisyonu tahmini için yeni bir yeşil gemi yaklaşımı geliştirilmiş, bir dökme yük gemisinin potansiyel hava kaynaklı emisyonlarını tahmin etmek için bazı denklemlerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, dokuz dökme yük gemisinin üç yıllık işletme verileri incelenmiş ve denklemleri elde etmek için bir regresyon analizi uygulanmıştır. Çalışmada deniz taşımacılığının sera gazı emisyonları CO<sub>2</sub> eşdeğeri (CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O dahil) % 2,2 ve% 2,1’inden sorumlu olduğu tahmin edilmekte olduğuna ve IPCC’nin deniz taşımacılığında toplam yakıt tüketiminin 2050’de en iyi ihtimalle % 43,5 oranında artacağı tahminine yer verilmiştir [28].

2001 yılında yapılan çalışmada Türk Boğazları, yani Karadeniz ve Ege Denizi’ni birbirine bağlayan İstanbul ve Çanakkale boğazlarından geçen transit gemilerden ve şehir hatları

gemilerinden kaynaklanan NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, VOC, PM miktarları ana makine güçleri, yakıt tipleri, seyir zamanları ve tüm gemilerin hızları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Boğaziçi'nde hesaplanan NO<sub>x</sub> emisyonları iç hatlarda 2720 ton ve transit gemilerde 4357 ton olarak bulunmuş, transit gemilerin Boğazdaki şehir hatları gemilerinden kaynaklanan toplam emisyon miktarının yarısından fazlasına neden olduğu ortaya koyulmuştur [29].

2007 yılında yapılan bir çalışmada ise Marmara Denizi'nin ana limanlarından biri olan Ambarlı limanında gemilerden kaynaklanan emisyonlar Bu çalışmadaki yöntemle hesaplanarak değerlendirilmiş, gemilerden çıkan emisyonlar bulunmuştur. Limandaki gemilerden yayılan toplam emisyonların 845 ton/yıl azot oksitler (NO<sub>x</sub>), 242 ton/yıl kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), 2127 ton/yıl karbon monoksit (CO), 78590 ton/yıl karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), 504 ton/yıl Uçucu organik bileşik (VOC) ve 36 ton/yıl partikül madde (PM) olduğu hesaplanmıştır [30].

2017 yılında yapılan başka bir çalışmada 400'den fazla limana sahip ve dünyadaki en büyük 10 limanın 7'sine ev sahipliği yapan Çin Halk Cumhuriyetindeki denizyolu ve liman faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlarının daha iyi kontrol edilmesi ve etkilerinin azaltılması için doldurulması gereken bazı kritik araştırma boşlukları belirlenmiştir. Bu çalışmada kıyı kentlerinde gemi emisyonlarının hava kirliliğine olan katkısı, kirletici atıkların yaydığı gemiler ya da iletim yolu boyunca meydana gelen kimyasal evrim sürecinin sistematik olarak çalışılmamış olduğuna vurgu yapılmıştır [17].

2017 yılında gerçekleştirilen çalışmada Portekiz'in dört limanındaki gemi emisyonları değerlendirilmiş, 2013 ve 2014 yıllarında Portekiz'in ana limanlarından dördünde (Leixoes, Setubal, Sines ve Viana do Castelo) gemi etkinlik temelli metodoloji ile çalışma gerçekleştirilmiştir. Gemi tiplerine (dökme yük gemisi, konteyner, genel kargo, yolcu, Ro-Ro kargo, tanker ve diğerleri) ve çalışma şekillerine (manevra, liman ve seyir sırasında) göre yapılmış, sonuç olarak tankerlerin analiz edilen dört limandan ikisinde en büyük yayıcı olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar aynı zamanda Portekiz Çevre Ajansı tarafından bildirilen toplam ulusal emisyonlarla karşılaştırılmıştır [31].

2018 yılına ait bir çalışmada ise Avrupa deniz bölgelerinde gemi trafiğinden kaynaklanan emisyonları içeren emisyon envanteri çalışmaları NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> özelinde

karşılaştırılmıştır. Yüksek çözünürlükte alansal modellere ihtiyaç duyulmadığı şartlarda bu çalışmada kullanılan EMEP modelinin iyi bir seçenek olduğu değerlendirilmiştir [32].

İtalya'daki önemli bir liman kenti olan Napoli'de yolcu gemisi emisyonlarının atmosfer kirliliği üzerindeki etkisini değerlendirmek için aşağıdan yukarıya bir metodoloji geliştirilmiş, gemilerin liman içi faaliyetleri ayrıntılı bir şekilde açıklanmış, gerçek makine gücü ve yakıt tüketimi verileri düzeltilmiş ve entegre edilmiş standart prosedürler kullanarak  $NO_x$  ve  $SO_x$  emisyon oranlarını hesaplamak için uygulanmıştır. 2016 yılında Napoli limanından faydalanan gemilerin limana yanaşma, limanda bağlı kalma ve limandan ayrılma süreleri dikkate alınmış yolcu gemisi emisyonlarının kentsel alandaki etkisi Gaussian puf modeli CALPUFF kullanılarak değerlendirilmiştir [33].

2016 yılında Almanya da gerçekleştirilen bir çalışmada kıta içi sularda gemi faaliyetleri sonucu oluşan  $NO$ ,  $NO_2$  ve  $PM$  emisyonları incelenmiş gemi makine tipi ve çalıştırma şartlarına bağlı olarak birim yakıt başına  $NO_x$  ve  $PM_{10}$  emisyon indeksleri sırasıyla 54g/kg ve 2 g/kg olarak bulunmuş gemi dizel makinaları için  $NO_2/NO_x$  emisyon oranı 0.08 olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada gemilerden kaynaklanan  $NO_x$  emisyonlarının Almanya'daki sınır değerlerin üzerinde olduğu bulunmuştur [31].

## **2.5 AERMOD HAVA KALİTE MODELİ VE UYGULAMA ALANI**

Son 20 yıldır hava kalitesinin belirlenmesinde matematiksel formüllerden oluşan hava kalite modellerinin kullanımı artmaktadır. Yüksek maliyete sebep olan hava kalitesi izleme istasyonları aracılığıyla kirletici emisyon miktarlarını ölçmek mümkündür ancak tek bir noktada ölçüm yapılabildiği için yetersiz kalmaktadır.

Kirleticilerin dış ortam şartlarında hangi yöne yayıldığını ve ne şekilde dağıldığını hesaplayabilmek ve görebilmek için Hava kalitesi modellemesi sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Hava kalitesi modelleri kirleticilerin kaynaktan salındıktan sonra atmosferdeki hareketlerinin (taşınım ve dispersiyon), oluşum ve giderimlerinin (fiziksel, kimyasal reaksiyonlar, kuru ve yağ çökeltme) ve belirli alıcı noktalardaki konsantrasyonlarının matematiksel ifadelerle simüle edilmesidir [34]. Kullanılan matematiksel ifadeler genellikle kütle, moment ve enerji korunumu denklemleridir [35]. Hava kalitesi modelleri hava kalitesi yönetiminde, kirlilik kontrolü ve çevresel etkilerin değerlendirilmesi, ulaşım sistemlerinin ve

arazi kullanımının planlanması, yatırımların hava kirliliğine katkısı, hava kirliliği episodları gibi birçok alanda kullanılmaktadır.

AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model - Amerikan Meteoroloji Derneği / Amerikan Çevre Koruma Örgütü Düzenleyici Modeli), Amerikan Meteoroloji Derneği ve Amerikan Çevre Koruma Örgütü (EPA) tarafından geliştirilmiş bir Gauss dispersiyon modelidir ve EPA tarafından çevre izinleri çalışmalarında önerilmektedir. AERMOD kararlı hal Gauss hüzme modelidir.

AERMOD çok sayıda noktasal, hacimsel ve alansal kaynakları düz ve engebeli arazide modelleyebilmektedir. Çizgisel kaynakların emisyonları ise bir dizi hacimsel veya uzatılmış alansal kaynak olarak modele eklenebilir. Modelleme 50 km'ye kadar olan mesafelerde yapılabilmektedir. Kararlı sınır katmanında dikey ve yataydaki konsantrasyon dağılımları Gauss tipi olup konvektif sınır katmanında ise yatay dağılımlar bi-Gauss olasılık dağılım fonksiyonu ile hesaplanmaktadır [36]. Engebeli arazilerin konsantrasyonunu hesaplamak için Denklem 2.4 kullanılmaktadır.

$$C_{T\{x_r, y_r, z_r\}} = f_x C_{c,s\{x_r, y_r, z_t\}} + (1 - f)\{x_r, y_r, z_p\} \quad (2.4)$$

$C_{T\{x_r, y_r, z_r\}}$  : Toplam konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

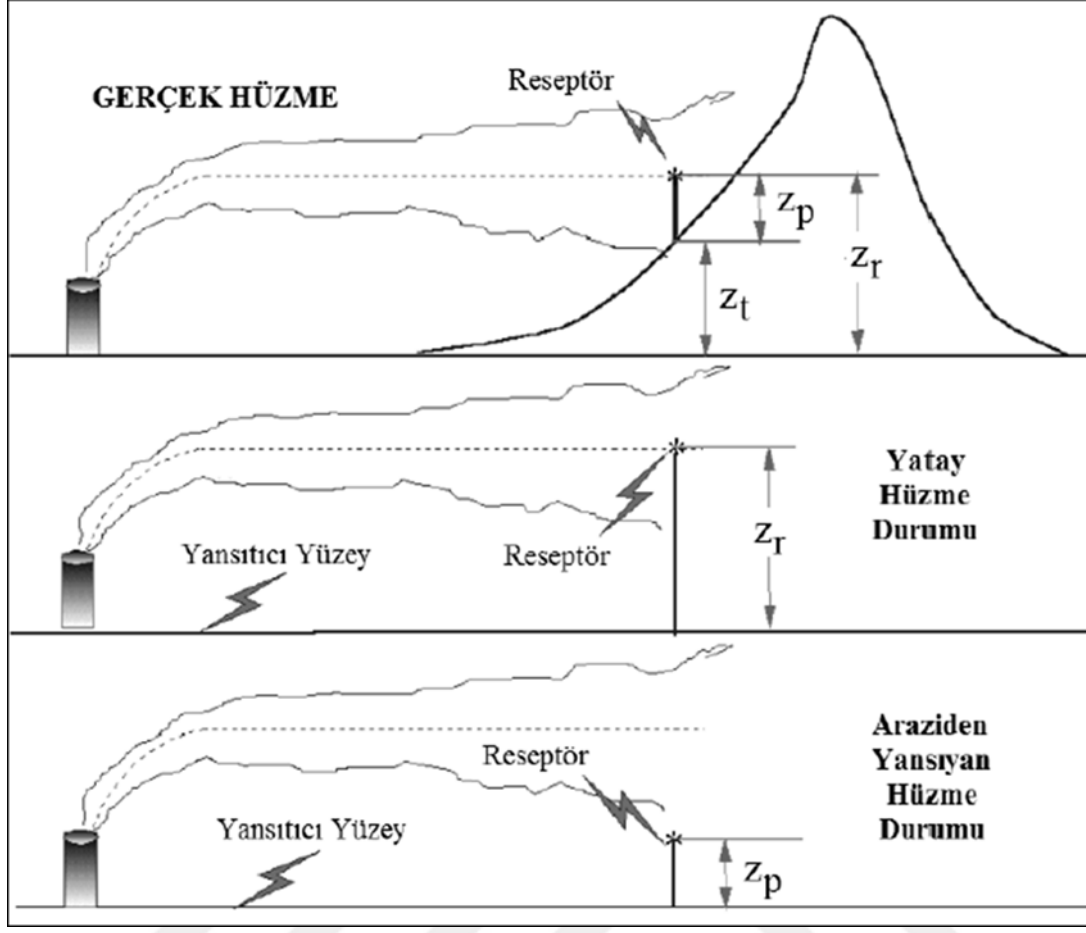
$C_{c,s\{x_r, y_r, z_r\}}$  : Yatay hüzmeden kaynaklanan konsantrasyon ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

f : Hüzme ağırlık fonksiyonu

$z_r$  : Hüzme merkez çizgisi yüksekliği (m)

$z_t$  : Reseptör noktasındaki arazinin yüksekliği (m)

$z_p$  : Reseptörün yüksekliği (m)



Şekil 2.1 AERMOD modelinde kullanılan yükseklikler [37].

Denklem (2.5)'de verilen alt indisler "c" ve "s" konvektif ve stabil koşulları belirtmektedir. Reseptör noktasının yüksekliği, hüzme merkez çizgisinin yüksekliği ile reseptör noktasındaki arazinin yükseklik farkına eşittir (Denklem 2.5). Düz arazide ise arazi yüksekliği ( $z_t$ ) sıfır olacağından konsantrasyon sadece yataydaki hüzmeden kaynaklanacaktır [38].

$$z_p = z_r - z_t \quad (2.5)$$

## 2.6 HAVA KALİTESİ MODELLEME İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÖZETİ

AERMOD modeli Kanada'nın farklı şehirlerinde (Halifax, Pictou, Sydney, Port Hawkesbury, Nova Scotia)  $PM_{2.5}$ ,  $NO_x$  ve  $SO_2$ 'nin nokta ve çizgisel emisyonlarının hava dağılımını modellemek için kullanılmıştır. 2004 yılı emisyon envanteri verileri, 4,50 km x 50 km lik bir alanda yıllık, aylık ve 1 saatlik ortalama süreler için simüle edilmiştir. Yıllık ortalama yüzey konsantrasyon haritaları bulunmuştur. Hükümet, Ulusal Hava Kirliliği Gözetleme (NAPS) izleme sahalarından elde edilen verilerle modeller karşılaştırılmıştır. AERMOD modeli

sonuçları değerlendirildiğinde yıllık ve aylık modellenen ve gözlemlenen SO<sub>2</sub> konsantrasyonları arasında uyum olduğu, ancak Halifax ve Sidney'deki SO<sub>2</sub> konsantrasyonları için saatlik karşılaştırmaları tahmin etmede daha az tutarlı olduğu bulunmuştur. Halifax'ta PM<sub>2.5</sub>, Pictou'da PM<sub>2.5</sub> ve Halifax'ta NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarında da düşük bir uyum gözlenmiştir. Tüm alanlardaki nokta ve ana çizgisel kaynakların yol açtığı yüzey konsantrasyonlarının Ulusal Hava Kalitesi Standartlarının çok altında olduğu tespit edilmiştir. AERMOD'un, Halifax ve Sidney'deki yıllık ve aylık SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını tahmin etmek için iyi bir model becerisine sahip olduğu; Nova Scotia'daki nokta ve çizgi kaynaklarından dağılım modellemesi yapmak için ise uygun bir model olarak kullanılabilmesi gösterilmiştir. Çalışma, emisyon envanteri verilerinin karmaşık arazi içeren, farklı arazi kullanım tiplerine sahip ve yıllık meteorolojik şartları değişken bölgelerdeki nokta ve çizgisel kaynakların yüzeydeki etkisini tahmin etmek için kullanılmasının geçerliliğini vurgulamaktadır [39].

Bir bölgedeki hava kalitesinin karakterizasyonu ve değerlendirilmesi, “Temiz Hava Eylem Planı”nın uygulanması için gerekli adımlardan biri olarak belirtilen çalışmada Türkiye'nin Çan-Bayramiç bölgesinde kükürt dioksit ve azot dioksit emisyonlarının ortam hava kalitesi üzerindeki etkilerini değerlendirilmiştir. Çalışmada CALPUFF modeli kullanılarak kükürt dioksit ve azot dioksit emisyon oranları hesaplanmıştır. Bu kirleticilerin konsantrasyonu araştırma alanındaki 2007–2008 döneminde on hava kalitesi noktasında da izlenmiştir. Ölçülen veriler ayrıca model performansını test etmek için de kullanılmıştır. Sonuçlar, Türkiye'nin bu önemli kırsal bölgesindeki hava kalitesinin, mevcut sayısal modelleme sistemi kullanılarak etkili bir şekilde değerlendirilebileceğini göstermiştir [40].

Kanada'da yapılan başka bir çalışmada ise AERMOD model sonuçları, CALPUFF model sonuçları ile farklı yağış sezonlarında Tema petrol Rafinerisi'nden kaynaklanan SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarını ve zamansal dağılımlarını tahmin etmek için karşılaştırılmıştır. Modellerin güvenilirliği istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmiş, genel olarak, AERMOD modelinin SO<sub>2</sub> ve NO<sub>2</sub> seviyelerini CALPUFF modelinden daha iyi tahmin ettiği görülmüştür. Gelecekteki epidemiyolojik çalışmalar için Modellerin performansının yol gösterici olacağı belirtilmiştir [41].

Başka bir çalışmada ise çevresel etki değerlendirmesinin bir parçası olarak bir çimento kompleksinden kaynaklanan azot dioksit (NO<sub>2</sub>) emisyonlarının analizinde (AERMOD) modelini uygulanmış, seçilen çimento kompleksi içindeki dört çimento fabrikasından

kaynaklanan NO<sub>2</sub> dağılımı, kuru ve ıslak mevsimlerde hem ölçüm hem de AERMOD simülasyonu ile incelenmiştir. Simüle edilmiş NO<sub>2</sub> emisyon değerleri, 12 alıcı noktada 7 gün süren sürekli bir ölçüm çalışması ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmış, 1 ila 5 km içinde daha uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. NO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının, Tayland Ulusal Ortam Hava Kalitesi Standartları (NAAQS) tarafından belirlenen NO<sub>2</sub> konsantrasyon limitini aşmadığını göstermiştir. Çalışma çimento kompleksinden kaynaklanan NO<sub>2</sub> emisyonlarının yakındaki topluluklar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermesi açısından önemli görülmekte, AERMOD'un ÇED kılavuzları için yüksek kirlilik etki alanlarını belirlemede yararlı bilgiler sağlayabileceği belirtilmiştir [42].

Türkiye'nin batısındaki Kütahya şehrinde gerçekleştirilen bir çalışmada ise, birkaç yıl peşpeşe kış aylarında çevre havasındaki saatlik SO<sub>2</sub> ve PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının hava kalitesi sınırlarını aştığı için seçilmiş hava kirleticilerin modellenmesi yapılmıştır. Linyit yakıtlı elektrik santralleri ve açık döküm madenciliği faaliyetleri gibi büyük sanayi tesislerine, yerleşim alanları ve trafik kaynakları sahip bölgede SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> ve CO gibi başlıca kirleticilerin sektörel antropojenik emisyonlarını ve mekansal dağılımını elde etmek ve ölçmek için emisyon envanteri hazırlanmış 110 km ile 140 km'lik bir alandaki ortam hava konsantrasyonlarını tahmin etmek için AERMOD dispersiyon modeli kullanılmıştır. Çalışma alanında bulunan iki izleme istasyonundaki yerinde rutin ölçümlere atıfta bulunarak model sonuçlarının doğrulanması da gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanındaki toplam SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonları sırasıyla 64,399, 9770, 24,627 ve 29,198 ton / yıl olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar, en büyük SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> emisyon kaynaklarının endüstriyel tesisler olduğunu, konut ısıtma ve yol trafiğinin CO emisyonlarına en fazla katkıda bulunan sektörler olduğunu göstermiştir. Yıllık toplam 10 milyon ton linyit tüketimine sahip bölgedeki üç ana enerji santrali yüksek SO<sub>2</sub> konsantrasyonlarının ana kaynakları iken, yüksek PM<sub>10</sub> konsantrasyonları esas olarak iki ana açık-döküm linyit madeninden kaynaklanmıştır. Yüksek NO<sub>x</sub> ve CO konsantrasyonlarının önemli katkıları, otoyollar ve şehir caddeleri dahil trafik ve kentsel alanlarda yüksek linyit tüketimi ile konut ısıtması olarak bulunmuştur. Emisyon envanteriyle yapılan dağılım modelinin sonuçları, modellenen alandaki kentsel istasyonda ölçülen SO<sub>2</sub> ile kısmen yüksek uyum endeksine (0,75) sahip olduğu görülmüştür [43].



## BÖLÜM 3

### MATERYAL VE METOD

#### 3.1 ÇALIŞMA ALANI

Karadeniz, pek çok sanayileşmiş ülke ile çevrili, önemli nakliye yolları, çeşitli balıkçılık ve turistik alanların bulunduğu yarı kapalı bir denizdir. Pek çok akarsuyun döküldüğü bu yarı kapalı deniz oşinografik özelliklerinden dolayı da özellikle hassas bir alan sayılmaktadır. Deniz yolu taşımacılığının bu hassas alandaki yükü her geçen gün artmaktadır [44].

Karadeniz kıyısındaki önemli limanlardan biri Zonguldak Limanı olup, İç Anadolu'nun denize açıldığı en yakın limanlardan biri olması ve şehir ile iç içe geçmiş yapısından dolayı çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Türkiye'nin kuzeybatısında yer alan Zonguldak şehir merkezi idari bakımdan; Merkez dahil 8 ilçe (Alaplı, Çaycuma, Devrek, Kdz.Ereğli, Gökçebey, Kilimli, Kozlu), 25 belediye, 176 mahalle ve 380 köyden ibarettir. İl nüfusu 2018 Yılı Adrese Dayalı Nüfus Sayımı Sonuçlarına (ADNKS) göre 599 698'dir. Nüfusun % 39'unu köy ve belde nüfusu, % 61'i de şehir nüfusu oluşturmaktadır. 2018 yılı için Adrese Dayalı Nüfus Sayımı Sonuçlarına (ADNKS) göre çalışmaya konu olan Limanın bulunduğu Merkez ilçenin nüfusu 125 339'dur. Zonguldak Limanı şehirde yer alan ve kömür kent olarak adlandırılmasına yol açan Taş Kömürü Kurumu'nun ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılmıştır. Liman özellikleri Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

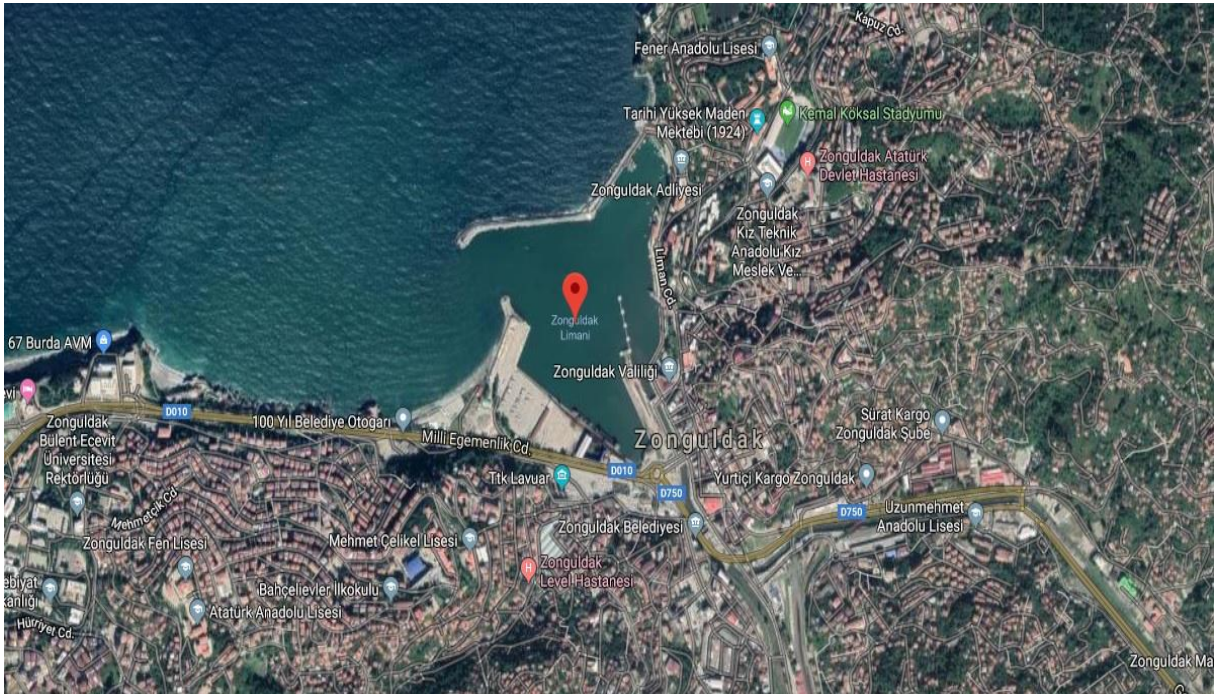
**Çizelge 3.1** Zonguldak Liman özellikleri.

<b>Koordinatlar</b>	<b>41°28' 30'' N 31°50' 52'' E</b>
İdare tipine göre liman çeşidi Kamu/Takım/Kiralık/Özel	kamu
Elleçlenen yük tipi	Genel/Dökme Yük – RO-RO
Elleçleme kapasitesi	1,950,000
Genel Kargo/Dökme Yük (ton/yıl)	80,000
Sıvı Yük (ton/yıl)	

**Çizelge 3.1** Zonguldak Liman özellikleri (devam ediyor)

İskele No:	Uzunluk (m) – Maksimum Draft (m)	
Vagon	200	6,5
Genel Kargo/Dökme Yük	215	7
Genel Kargo/Dökme Yük	510	7
Tekerlekli Araç/Genel Kargo	125	6,5
TOPLAM	1,050	7
Toplam Liman Sahası (m <sup>2</sup> )	400,000	
Toplam Depolama Sahası (m <sup>2</sup> )	38,500	
Genel Antrepo (m <sup>2</sup> )	61,500	
Gümrük Alanı (m <sup>2</sup> )		
2008 Yük İstatikleri		
Genel Kargo/Dökme Yük (ton/yıl)	78,878	
Sıvı Yük (ton/yıl)	24,160	
Limn Gelişim Projesi (Kısa, Orta, Uzun Vade)	Yok	

Zonguldak Limanı toplamda 400.000 m<sup>2</sup> liman sahasına ve 1050 m iskele uzunluğuna sahiptir. Kargo ve kömür operasyonları için bu iskelenin 510 metresi ayrılmış bulunmaktadır.



**Şekil 3.1** Zonguldak Limanı [URL12].

Limanın toplam sahası 400.000 m<sup>2</sup> olup, iskeleler ile bağlantılı depolama ve manevraya imkan sağlayan kullanım alanı 90.000 m<sup>2</sup>'dir. Liman sahasının 8.500 m<sup>2</sup>'lik alanı sadece kömür depolaması için kullanılmaktadır. Ayrıca limanın zaman içinde önemli bir iş konusu olan RoRo taşımacılığı için 51.500 m<sup>2</sup>'si lastik tekerlekli araçların park alanı olarak kullanılmaktadır. Genel kargo depolama alanı olarak kullanılabilen 30.000 m<sup>2</sup> açık alan kalmaktadır. Zonguldak Liman Başkanlığından alınan bilgilere göre bu çalışmanın gerçekleştirildiği 2014-2018 yılları arasında limana toplam 2815 gemi yanaşmıştır. Zonguldak Limanı kentin nüfus yoğun bölgesi (Çarşı merkezi, Gazipaşa caddesi, Liman caddesi, Meşrutiyet mahallesi, Milli Egemenlik Caddesi, Bülent Ecevit Caddesi, Uzun Mehmet Caddesi) ile içiçedir. Liman görüntüsü Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2 Zonguldak Limanı (TTK)[URL13].

### 3.2 EMİSYON ENVANTERLERİ HESAPLANMASI VE KABULLER

Zonguldak limanından faydalanan gemilerin yol açtığı emisyonların hesaplanması için, her bir geminin aktiviteleri dikkate alınarak emisyon hesaplama EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyonları Envanter Rehberi'ne göre (Tier 3) uygulanmıştır. Limana gelen gemilerin emisyonları, her geminin limana yanaşmak ve ayrılmak için gerçekleştirdiği manevra ve rıhtımda bağlı kaldığı şartlar için hesaplanmıştır. Limana gelen gemi sayısı ve bu gemilerin özellikleri, her geminin ana makine ve yardımcı makina güçleri, her gemiye ait yanaşma bağlı

kalma ve ayrılma için geçen süreler, makine yükleri ve emisyon faktörleri, limandan faydalanan gemilere ait emisyonların hesaplanmasında kullanılmıştır. Gemilerin farklı makine tipi, yakıt ve seyir türlerine göre NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyon faktörleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

**Çizelge 3.2** NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyon faktörleri.

Makine	Gemi sefer türü	Makine tipi	Yakıt türü	NO <sub>x</sub> 2000 ÖNCESİ (g/kWh)	NO <sub>x</sub> 2000-2010 ARASI (g/Wh)	NO <sub>x</sub> 2010 SONRASI (g/Wh)	NMVOC (g/kWh)	PM (PM <sub>10</sub> ve PM <sub>2,5</sub> ) (g/Wh)
Ana makine	Manevra Liman	Yavaş hızlı dizel	BFO	14,5	14	13,5	1,8	2,4
Yardımcı makine	Sefer Manevra Liman	Orta hızlı dizel	BFO	14,7	14,2	13,7	0,4	0,8

NO<sub>x</sub> emisyonları için 2000’in yılı öncesi, 2000-2010 yılları arası ve 2010 sonrası imal edilen gemiler için farklı emisyon faktörleri mevcuttur. Çalışmada gemilerin Bunker Fuel oil (BFO) kullandığı kabul edilmiştir.

Zonguldak limanına gelen gemilerin yukarıda bahsedilen aktivitelerine göre emisyon hesaplama basamakları Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3** Emisyon hesaplama basamakları.

Limana Gelen Gemi	Zonguldak limanına gelen gemilerin özellikleri
Gemilerin İşletme Süreleri	Manevra ve limanda bağlı kalma süreleri
Gemi Güç Harcamaları	Gemilerin ana makine ve yardımcı makine güçleri (kw)
Yük Faktörleri	Gemi işletme moduna göre ana makine ve yardımcı makine yük faktörleri
Emisyon Faktörleri	Yakılan yakıtı göre emisyon faktörleri(gr/kwh)
Emisyon Miktarları	Gemi emisyonları her bir faaliyet için hesaplanır (ton/yıl)

Bu çalışmada Zonguldak limanı gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon miktarları limana yaklaşma ve ayrılma (manevra) ve limana bağlı kalma (liman) süreleri dikkate alınarak bulunmuştur. Gemilerin türlerine göre manevra ve liman bağlı kalma süreleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Gemilerin türlerine göre manevra ve liman bağlı kalma süreleri [45].

Gemi türleri	Manevra (saat)	Liman (saat)
Kuru yük	1	52
RO-RO	1	15
Petrol tankeri	1	38
Yük konteyner	1	14
Diğer	1	27

Limana yanaşan toplam 2815 gemiye ait ana makine güçleri IMO kayıtlarından alınmıştır. Yapım yıllarına göre gemi türlerine bağlı yardımcı makine/ana makine oranları farklılık göstermekte olup, gemilere ait yardımcı makine güçleri ana makine güçlerinden yola çıkılarak Çizelge 3.5'e göre hesaplanmıştır [46].

**Çizelge 3.5** Gemi tipine göre ortalama yardımcı makine/ana makine oranları.

Gemi türleri	2010 öncesi	2010 sonrası
Kuru yük	0.39	0.30
RO-RO	0.39	0.24
Petrol tankeri	0.35	0.30
Yük konteyner	0.27	0.25
Diğer	0.18	0.35

Gemiler seyir türlerine göre farklı makine yükleri kullanmakta olup çalışmadaki seyir türüne bağlı ana ve yardımcı makine yükleri Çizelge 3.6'da verilmiştir [47].

**Çizelge 3.6** Seyir türüne bağlı ana ve yardımcı makine yükleri.

Seyir türü	Ana makine yükü (%)	Yardımcı makine yükü (%)
Manevra	20	50
Liman (tankerler hariç)	20	40
Liman (tankerler)	20	60

Çalışmada gemilere ait ana ve yardımcı makine güçleri, kullanılan yakıt türü ve makine yüklerine bağlı farklı seyir türlerinde harcadığı yakıt miktarları da hesaplanmış ve yukarıda verilen kirleticiler haricindeki her bir kirletici emisyon türü için Çizelge 3.7'de harcanan yakıt miktarına bağlı emisyon faktörleri kullanılmıştır. Çalışmada geminin  $1\text{kw}=0,0092\text{ kg}$  yakıt harcadığı kabul edilmiş ve harcanan yakıt miktarına bağlı emisyonlar hesaplanmıştır

**Çizelge 3.7** Yakıt miktarına bağlı emisyon faktörleri.

Emisyon türü	Değer	Birim
CO	7,4	kg /ton yakıt
SO <sub>x</sub>	20	kg /ton yakıt
PM <sub>10</sub>	6,2	kg /ton yakıt
PM <sub>2.5</sub>	5,6	kg /ton yakıt
Pb	0,18	g /ton yakıt
Cd	0,02	g /ton yakıt
Hg	0,02	g /ton yakıt
As	0,68	g /ton yakıt
Cr	0,72	g /ton yakıt
Cu	1,25	g /ton yakıt
Ni	32	g /ton yakıt
Se	0,21	g /ton yakıt
Zn	1,2	g /ton yakıt
PCB	0,57	mg /ton yakıt
PCDD/F	0,47	mg I-TEQ /ton yakıt
HCB	0,14	mg /ton yakıt

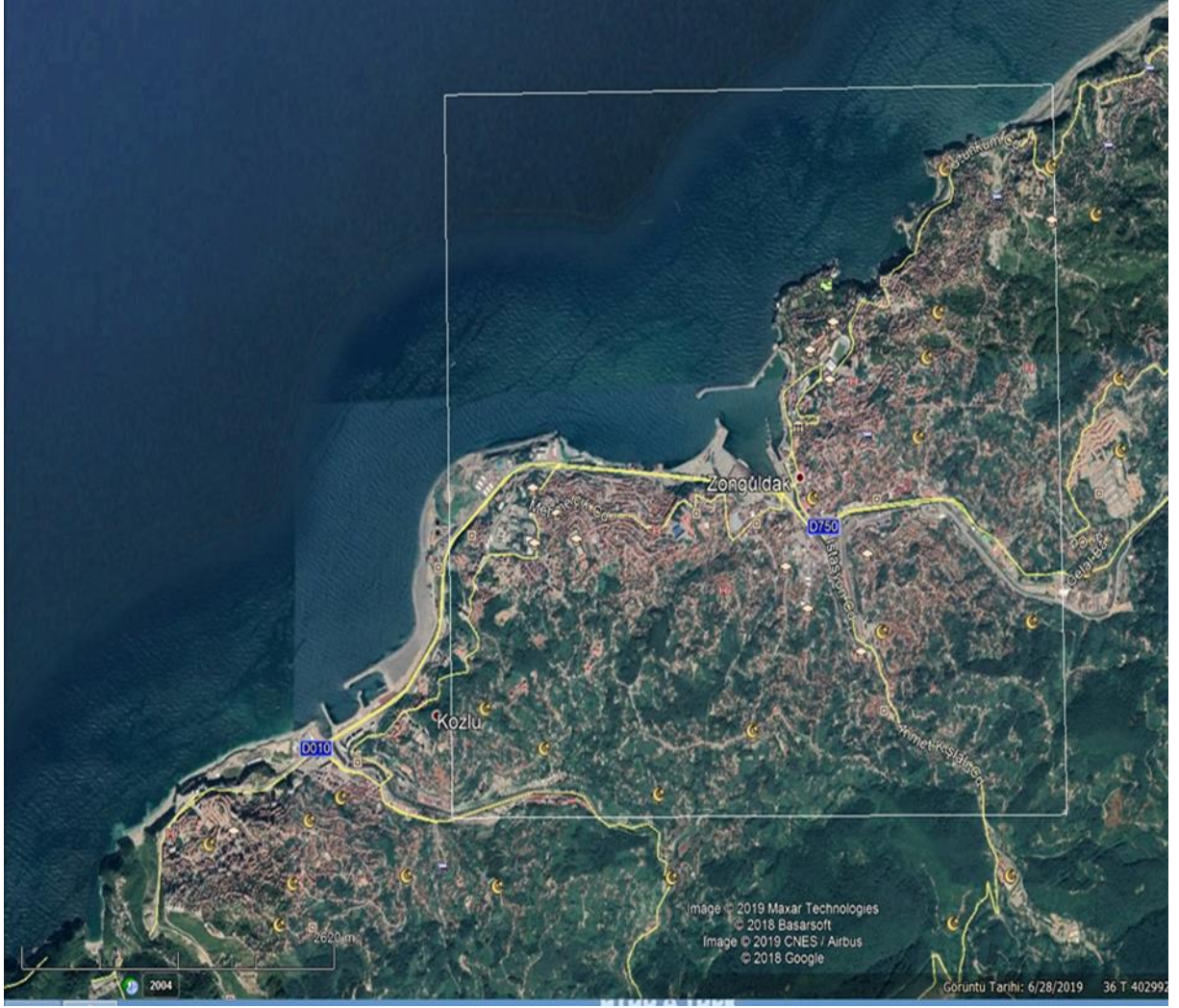
### 3.3 GEMİ EMİSYONLARININ MODELLENMESİ

AERMOD Modelinin uygulandığı Zonguldak il merkezinin coğrafi koordinatları 41° 27,0' kuzey enlemi ve 31° 48,0' doğu boylamıdır. Çizelge 3.8'de çalışma alanının ait bilgiler güney batı koordinatları olarak verilmiştir.

**Çizelge 3.8** Çalışma alanına ait coğrafi bilgiler

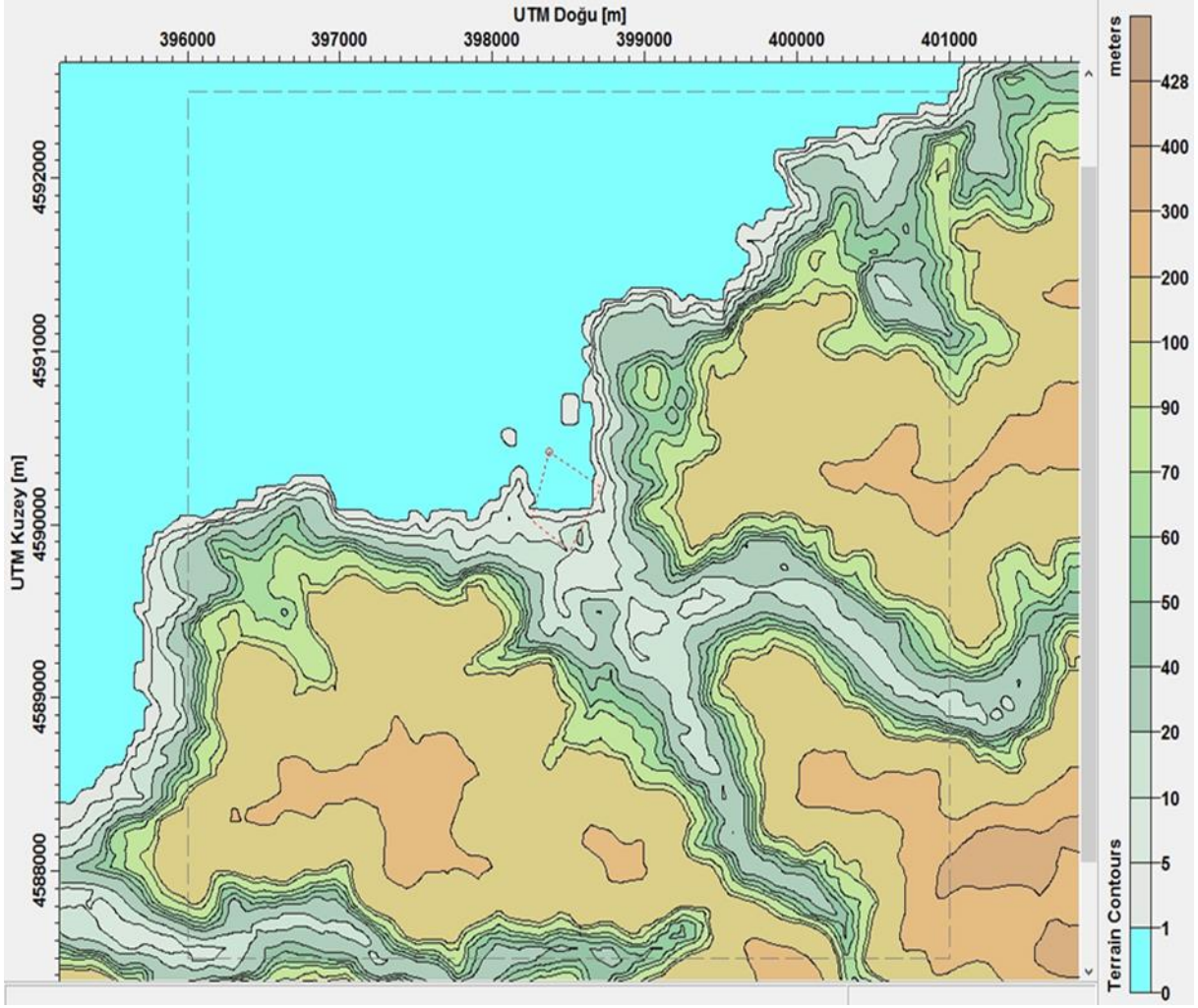
UTM Zonu	36
Güneybatı (SW) Koordinatları	X: 363000 Doğu Y: 4585000 Kuzey





**Şekil 3.3** Çalışma alanın uydu görüntüsü.

Şekil 3.3’de çalışma alanına ait uydu görüntüsü verilmiştir. Toplam modelleme alanı 25 km olarak seçilmiştir. Her 250 metrede bir reseptör noktası belirlenmiştir. Toplamda reseptör noktalarının sayısı 441 dir. Meteorolojik veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğünden 2018 yılına ait temin edilmiştir. Topografik dosya olarak 30x30 m çözünürlüklü ASTER-GDEM sayısal yükseklik verileri kullanılmıştır.

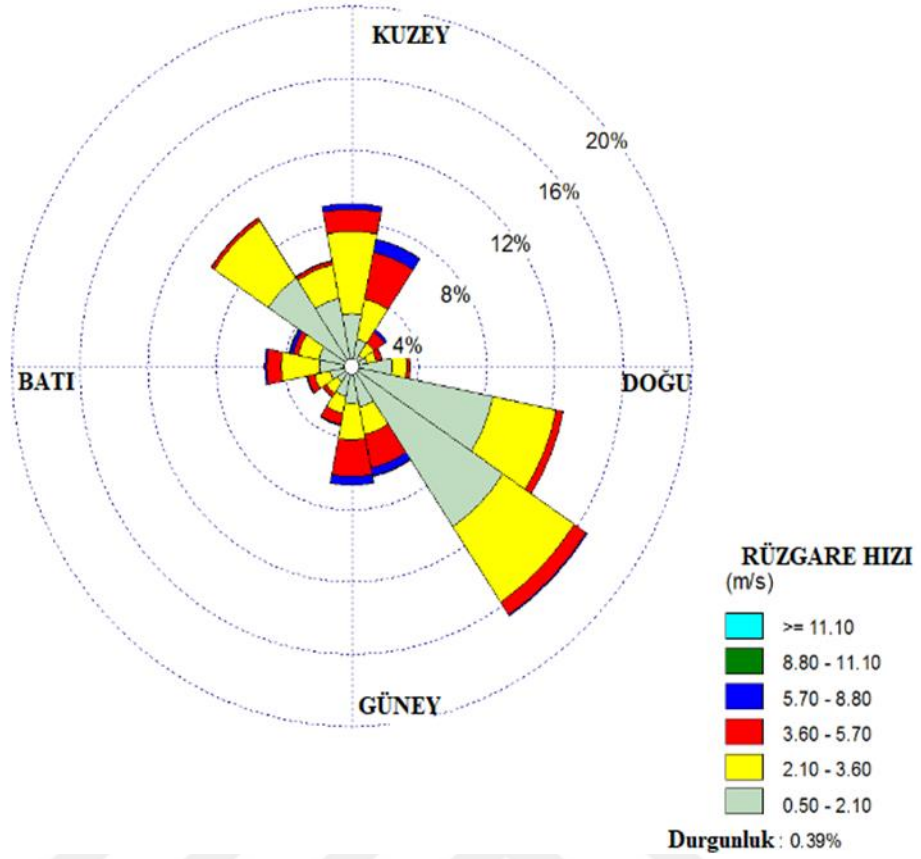


**Şekil 3.4** Çalışma alanına ait topografik harita.

Çalışma alanı engebeli bir araziye sahiptir, alanın ait olan topografik harita Şekil 3.4'de verilmiştir.

Meteoroloji dosyaları hazırlandıktan sonra AERMET View yazılımı tarafından Zonguldak Limanına ait rüzgar gülü oluşturulmuştur. 2018 yılı meteorolojik verilerine esasen oluşturulmuş rüzgar gülü Şekil 3.5'de verilmiştir.





Şekil 3.5 Çalışma alanına ait rüzgar gülü.

Rüzgar gülü incelendiğinde etkin rüzgar yönü Güney doğu (SE), ve Doğu güney doğu (ESE) yönü olarak görülmektedir. Etkin rüzgar yönünün limanda oluşan kirleticileri nüfus yoğun alana taşınması muhtemeldir.



## BÖLÜM 4

### BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde Zonguldak limanı 2014-2018 yılları arasındaki gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon miktarları EMEP/EEA Tier 3 Metodu ile hesaplanmıştır.

#### 4.1 ZONGULDAK LİMANI 2014 YILI EMİSYONLARI

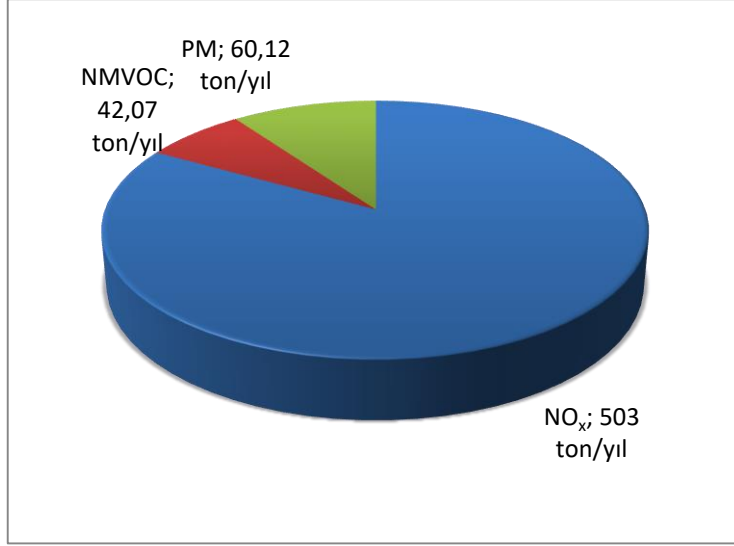
Zonguldak liman başkanlığından aldığımız bilgiler doğrultusunda 2014 yılında limana toplam 532 gemi yaklaşmıştır. Çizelge 4.1’de gemi türlerine göre 2014 yılında Zonguldak limanına yaklaşan gemi sayıları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1** 2014 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.

GEMİ TÜRLERİ	GEMİ SAYILARI
Kuru Yük	320
Ro-Ro	213
Petrol Tankeri	15
Yük Konteyner	2
Diğer	2

Daha sonra ise 532 gemiye ait olan ana makine güçleri IMO sayfasından bulunarak, gemi yapım yılına göre sınıflandırılmıştır. 2014 yılında toplamda Zonguldak limanına 320 kuru yük, 213 RO-RO, 15 petrol tankeri ve 2 yük konteyner gemisi yanaşmıştır.

2014 yılında Zonguldak limanına yaklaşan gemi faaliyetlerinden kaynaklanan kirletici emisyon miktarları NO<sub>x</sub>, PM ve NMVOC için hesaplanmış ve Şekil 4.1’de verilmiştir.



**Şekil 4.1** 2014 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

Şekil 4.1’de görüldüğü üzere en fazla kirletici (Azotoksiti) NO<sub>x</sub> payına düşmüştür. 2014 yılında liman faaliyetlerinden kaynaklanan NO<sub>x</sub> miktarı 503 ton/yıl, NMVOC 42 ton/yıl, ve PM 60 ton/yıl bulunmuştur.

#### 4.2 ZONGULDAK LİMANI 2015 YILI EMİSYONLARI

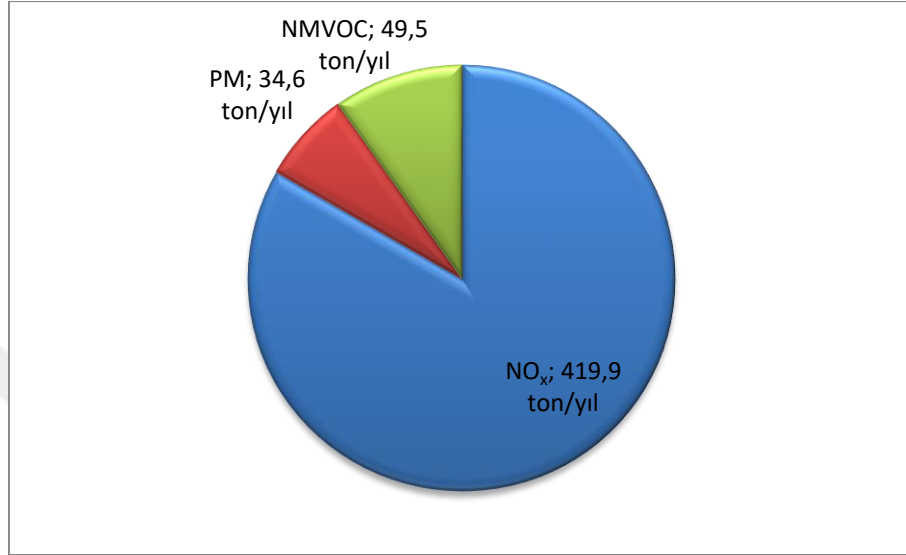
Bu bölümde 2015 yılında Zonguldak liman hizmetlerinden kaynaklanan hava kirleticilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Liman başkanlığından aldığımız bilgiler doğrultusunda 2015 yılında limana toplam 632 gemi yaklaşmıştır. Zonguldak limanına 2015 yılında yaklaşan gemi sayıları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

**Çizelge 4.2** 2015 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.

GEMİ TÜRLERİ	GEMİ SAYILARI
Kuru Yük	413
Ro-Ro	195
Petrol Tankeri	10
Yük Konteyner	6
Diğer	8

Limana 2015 yılında 413 kuru yük, 195 Ro-Ro, 10 petrol tankeri ve 6 yük konteyner gemisi yaklaşmıştır.

Aynı yıl için Zonguldak limanına giriş çıkış yapan deniz taşıtlarından kaynaklanan emisyon miktarları belirlenmiştir. NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyon miktarları 2015 yılı için bulunmuş ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Zonguldak limanı 2015yılı için 419ton/yıl NO<sub>x</sub>, 34 ton/yıl PM ve 49 ton/yıl VOC emisyon miktarı bulunmuştur.



**Şekil 4.2** 2015 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

#### 4.3 ZONGULDAK LİMANI 2016 YILI EMİSYONLARI

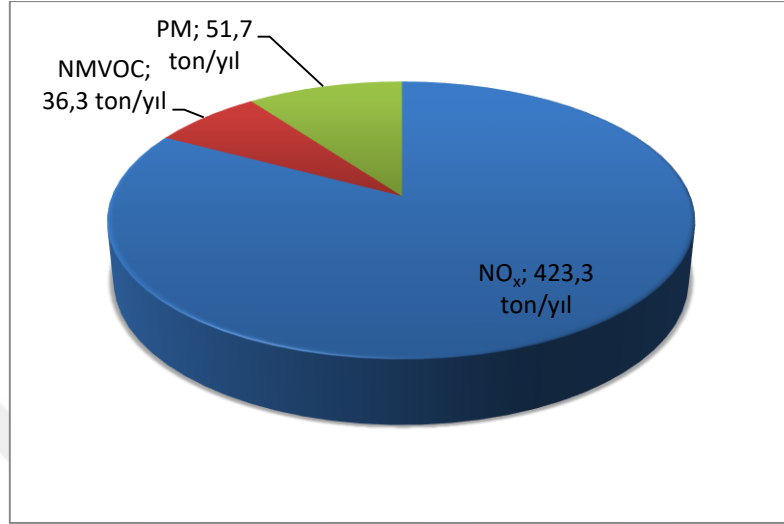
Zonguldak limanına 2016 yılında toplam 490 gemi yaklaşmıştır. Limana 2016 yılında yaklaşan gemiler gemi türlerine göre aşağıda Çizelge 4.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3** 2016 yılında limana yaklaşan gemi sayısı.

GEMİ TÜRLERİ	GEMİ SAYISI
Kuru yük	347
Ro-Ro	126
Petrol tankeri	8
Yük konteyner	6
Diğer	3

Zonguldak limanına 2016 yılında 347 kuru yük, 126 RO-RO, 8 petrol tankeri ve 6 yük konteyner gemisi yaklaşmıştır. Daha sonra ise 490 gemiye ait olan ana makine güçleri IMO sayfasından bulunmuş ve gemi yapım yılına göre sınıflandırılmıştır.

Limanda NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM miktarlarının değerlendirilmesi yapılmıştır ve 2016 yılında Zonguldak limanına yaklaşan gemi faaliyetlerinden kaynaklanan kirletici emisyon miktarları Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Şekil 4.3’den verilmiş olduğu üzere Zonguldak limanı 2016 yılı için 423 ton/yıl NO<sub>x</sub>, 51 ton/yıl PM ve 36 ton/yıl NMVOC emisyon miktarı bulunmuştur.



**Şekil 4.3** 2016 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

#### 4.4 ZONGULDAK YILI 2017 YILI EMİSYONLARI

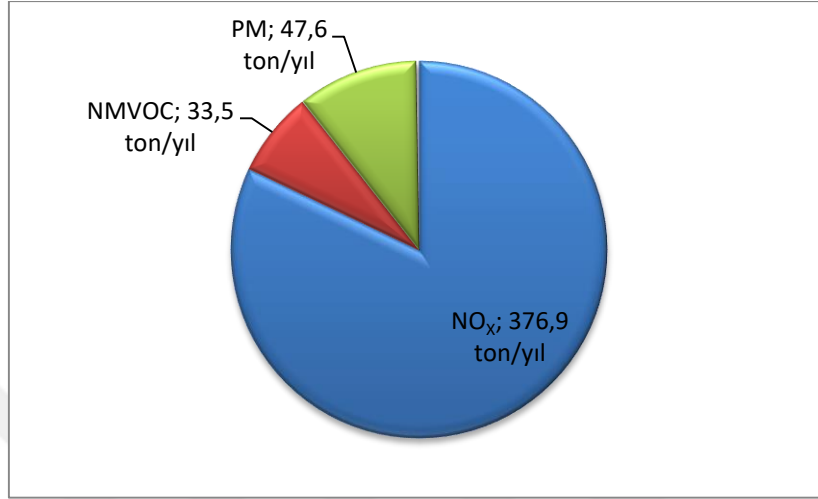
Zonguldak liman başkanlığından aldığımız bilgiler doğrultusunda 2017 yılında limana toplam 572 gemi yaklaşmıştır. Çizelge 4.4’de gemi türlerine göre 2017 yılında Zonguldak limanına yaklaşan gemi sayıları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4** 2017 yılı limana yaklaşan gemi sayıları.

GEMİ TÜRLERİ	GEMİ SAYISI
Kuru yük	346
Ro-Ro	204
Petrol tankeri	16
Yük konteyner	4
Diğer	2

Çizelge 4.4’den görüldüğü üzere 2017 yılında limana toplamda 346 kuru yük gemisi, 204 RO-RO gemisi, 16 petrol tankeri ve 4 yük konteyner gemisi gelmiştir.

Zonguldak limanı 2017 yılı için 376ton/yıl NO<sub>x</sub>, 47 ton/yıl PM ve 33 ton/yıl NMVOC emisyon miktarı bulunmuştur. Aynı yıl için Zonguldak limanına giriş çıkış yapan deniz taşıtlarından kaynaklanan emisyon miktarları belirlenmiştir. NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyon miktarları 2016 yılı için bulunmuş ve Şekil 4.4’da gösterilmiştir.



**Şekil 4.4** 2017 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

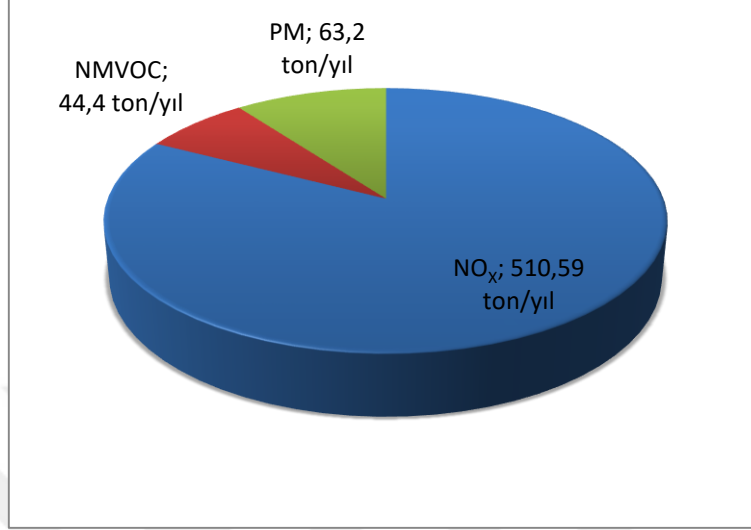
#### 4.5 ZONGULDAK LİMANI 2018 YILI EMİSYONLARI

Çalışmanın bu bölümünde 2018 yılı için Zonguldak liman hizmetlerinden kaynaklanan hava kirleticilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Liman başkanlığından aldığımız bilgiler doğrultusunda 2018 yılında limana toplam 569 gemi yaklaşmıştır. Daha sonra ise 569 gemiye ait olan ana makine güçleri IMO sayfasından bulunarak, gemi yapım yılına göre sınıflandırılmıştır. 2018 yılında toplamda Zonguldak limanına 300 kuru yük, 175 RO-RO, 20 petrol tankeri ve 68 yük konteyner gemisi yaklaşmıştır. Zonguldak limanına 2018 yılı içinde yaklaşan gemi sayıları türüne göre Çizelge 4.5’de verilmiştir.

**Çizelge 4.5** 2018 yılı limana yaklaşan gemi sayıları

GEMİ TÜRLERİ	GEMİ SAYISI
Kuru yük	300
Ro-Ro	175
Petrol tankeri	20
Yük konteyner	68
Diğer	6

Zonguldak özelinde 2018 yılı için değerlendirmesinde NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyon miktarları bulunmuştur. Zonguldak limanına yaklaşan gemi faaliyetlerinden kaynaklanan kirletici emisyon miktarları Şekil 4.5’de verildiği gibi bulunmuştur.



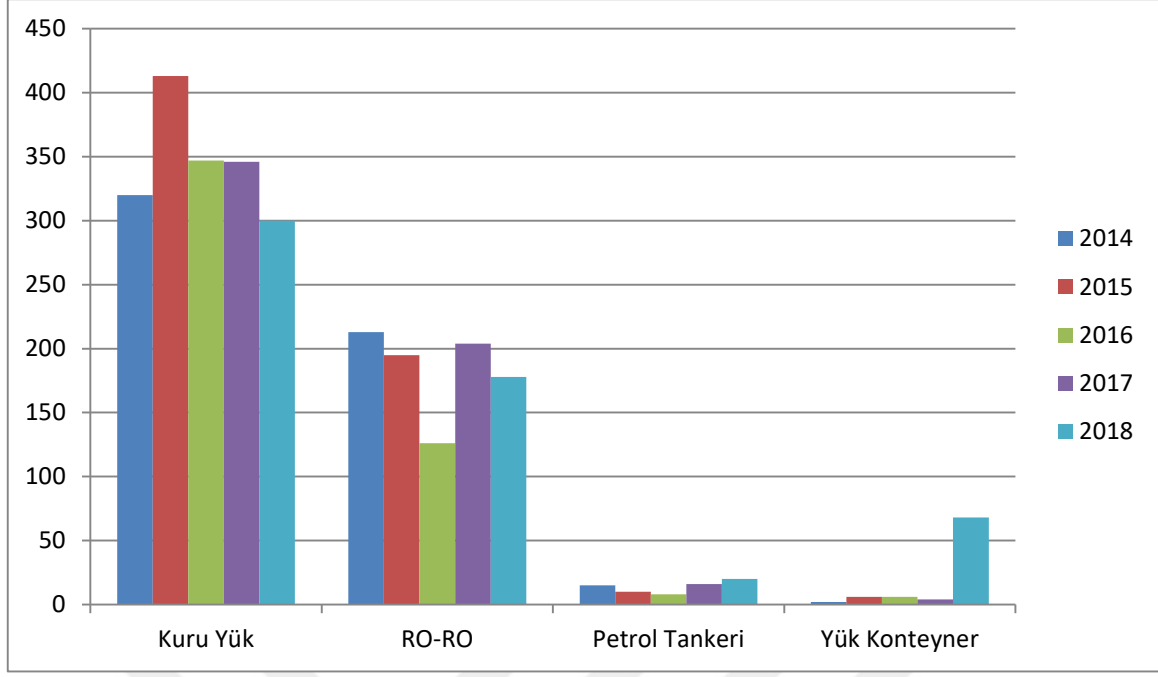
**Şekil 4.5** 2018 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

Şekil 4.5’de görülmüş olduğu üzere en fazla kirletici (Azot oksit) NO<sub>x</sub> payına düşmüştür. Zonguldak limanına 2018 yılında liman faaliyetlerinden kaynaklanan NO<sub>x</sub> miktarı 510 ton/yıl, 44 NMVOC ton/yıl, ve PM 60 ton/yıl bulunmuştur.

#### **4.6 2014-2018 YILLARI İÇİN ZONGULDAK LİMAN FAALİYETLERDEN KAYNAKLANAN EMİSYONLARIN KARŞILAŞTIRMASI**

Bu çalışmada 2014-2018 yılları arasında Zonguldak liman hizmetlerinden kaynaklanan hava kirleticilerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada liman hizmetlerini sağlayan botlar ve balıkçı kayıklarından, yükleme ve boşaltmada kullanılan araçlardan ve depolama alanlarından oluşabilecek tozuşmadan kaynaklanabilecek emisyonlar dahil edilmemiştir. Zonguldak Liman Başkanlığından 2014-2018 yıllarında limana giriş çıkış yapan gemilerin toplam sayısı alınmıştır. Zonguldak limanına bu yıllar arasında toplamda 2815 geminin giriş çıkış yaptığı bildirilmiştir. Şekil 4.6’da verildiği üzere limana en çok kuru yük ve RO-RO gemileri yanaşmıştır.





**Şekil 4.6** 2014- 2018 yıllarında limana yaklaşan toplam gemi sayıları.

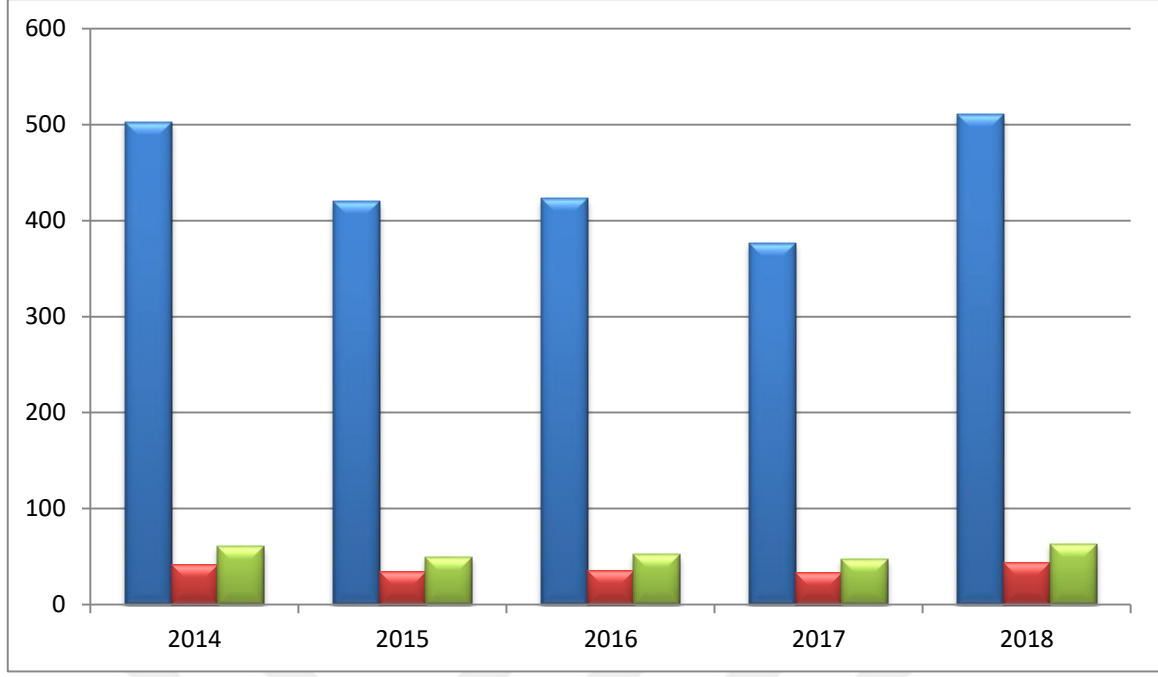
Çizelge 4.6’da bu yıllarda liman yaklaşan gemi sayısı gemi türleri üzere sınıflandırılarak verilmiştir. Çizelge 4.6’da verildiği üzere limana en çok kuru yük ve RO-RO gemileri yanaşmıştır.

**Çizelge 4.6** Limana 2014- 2018 yılı içinde yaklaşan toplam gemi sayıları.

GEMİ TÜRLERİ	2014	2015	2016	2017	2018
Kuru yük	320	413	347	346	300
Ro-Ro	213	195	126	204	175
Petrol tankeri	15	10	8	16	20
Yük konteyner	2	6	6	4	68
Diğer	2	8	3	2	6

Zonguldak limanına giriş çıkış yapan deniz taşıtlarından kaynaklanan emisyon miktarının belirlenmesinde EMEP/EEA (Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016) emisyon envanterleri kılavuzu kullanılmış ve NO<sub>x</sub>, NMVOC ve PM emisyon miktarları bulunmuştur.

Şekil 4.7’de 2014- 2018 yılları için karşılaştırma yapılmıştır. Limadan kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonlarının diğer emisyonlara göre daha fazla olduğu bulunmuştur.



**Şekil 4.7** Toplam 2014- 2018 yılında Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

Toplam beş yılda Zonguldak liman faaliyetlerinde kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyon miktarının 2229 ton/yıl olduğu bulunmuştur. Yapılan çalışmanın sonucunda 2014 yılında Zonguldak limanında toplam NO<sub>x</sub> 503 ton/yıl, NMVOC 42 ton/yıl ve PM 60 ton/yıl bulunmuştur. Aynı zamanda 2015 yılı için NO<sub>x</sub> 419 ton/yıl, NMVOC 34 ton/yıl, PM 49 ton/yıl, 2016 yılı için NO<sub>x</sub> 423 ton/yıl, NMVOC 36 ton/yıl, PM 51 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. 2017 yılı için NO<sub>x</sub> 376 ton/yıl, NMVOC 33 ton/yıl, PM 47 ton/yıl, 2018 yılı için NO<sub>x</sub> 510 ton/yıl, NMVOC 44 ton/yıl ve PM 63 ton/yıl emisyon oluşacağı hesaplanmıştır. Çizelge 4.7’de 2014-2018 yılları için Zonguldak liman faaliyetlerinde kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyon miktarları gösterilmiştir.

**Çizelge 4.7** Toplam 2014-2018 yılları içinde Zonguldak limanından kaynaklanan NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM emisyonları (ton/yıl).

Emisyon türü	2014	2015	2016	2017	2018
NO <sub>x</sub>	503	419	423	376	510
NMVOC	42	34	36	33	44
PM	60	49	51	47	63

Yukarıda verilen üç kirletici (NO<sub>x</sub>, NMVOC, PM) haricinde diğer kirleticilerin hesaplanabilmesi için kullanılan yakıt türü ve makine yüklerine bağlı farklı seyir türlerinde

harcadığı yakıt miktarları hesaplanmıştır. Çizelge 4.8’de harcanan yakıt miktarına bağlı emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanan emisyon türleri yıllara göre verilmiştir.

**Çizelge 4.8** Harcanan yakıt miktarına bağlı emisyonlar.

Emisyon türü	Birim	2014	2015	2016	2017	2018
CO	ton	23,91	19,89	20,38	18,48	24,76
SO <sub>x</sub>	ton	64,62	53,75	55,07	49,96	66,93
PM <sub>10</sub>	ton	20,03	16,66	17,07	15,49	20,75
PM <sub>2,5</sub>	ton	18,09	15,05	15,42	13,99	18,74
Pb	kg	0,58	0,48	0,50	0,45	0,60
Cd	kg	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07
Hg	kg	0,06	0,05	0,06	0,05	0,07
As	kg	2,20	1,83	1,87	1,70	2,28
Cr	kg	2,33	1,94	1,98	1,80	2,41
Cu	kg	4,04	3,36	3,44	3,12	4,18
Ni	kg	103,40	86,01	88,12	79,93	107,08
Se	kg	0,68	0,56	0,58	0,52	0,70
Zn	kg	3,88	3,23	3,30	3	4,02
PCB	kg	18141,76	1531,98	1569,62	1423,78	1907,41
PCDD/F	kg	1518,64	1269,21	1294,25	1174	1572,77
HCB	kg	452,36	376,28	385,52	349,70	468,49

#### 4.7 FARKLI LİMANLARINDA YAPILAN ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Zonguldak Limanına gelen gemilerden yayılan emisyon miktarları ile diğer limanlara ait emisyon miktarları, Çizelge 4.9’da karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 4.9** Diğer limanlarla emisyon miktarı karşılaştırılması (ton/yıl)

Limanlar	Yıl	Gemi sayısı	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	PM	Kaynak
Oakland	2017	1596	2345	129	49,5	[40]
LEixoes	2014	2612	8200	3300	Pm10 3600	[31]
Setubal	2014	1514	11000	4900	5500	[31]
sines	2014	1975	10000	5500	6100	[31]
Viana do Castelo	2014	181	350	140	16	[31]
Las Palmas,	2011	16537	4237	1420	497 pm <sub>2,5</sub>	[48]
St. Petersburg	2011	11484	8665	575	577 pm <sub>2,5</sub>	[48]
Hong Kong	2012	22877	46600	18400	4979 pm <sub>2,5</sub>	[48]
Tianjin	2014	8690	41300	29300	3720 pm <sub>2,5</sub>	[48]
Zonguldak	2018	569	510	66,93	63	Bu çalışma

Çalışmanın bu bölümünde Türkiye genelinde yapılan çalışmalarla Zonguldak limanında emisyon miktarları karşılaştırılmıştır ve Çizelge 4.10’da verilmiştir.

**Çizelge 4.10** Türk Limanlarına ait emisyon miktarlarının karşılaştırması

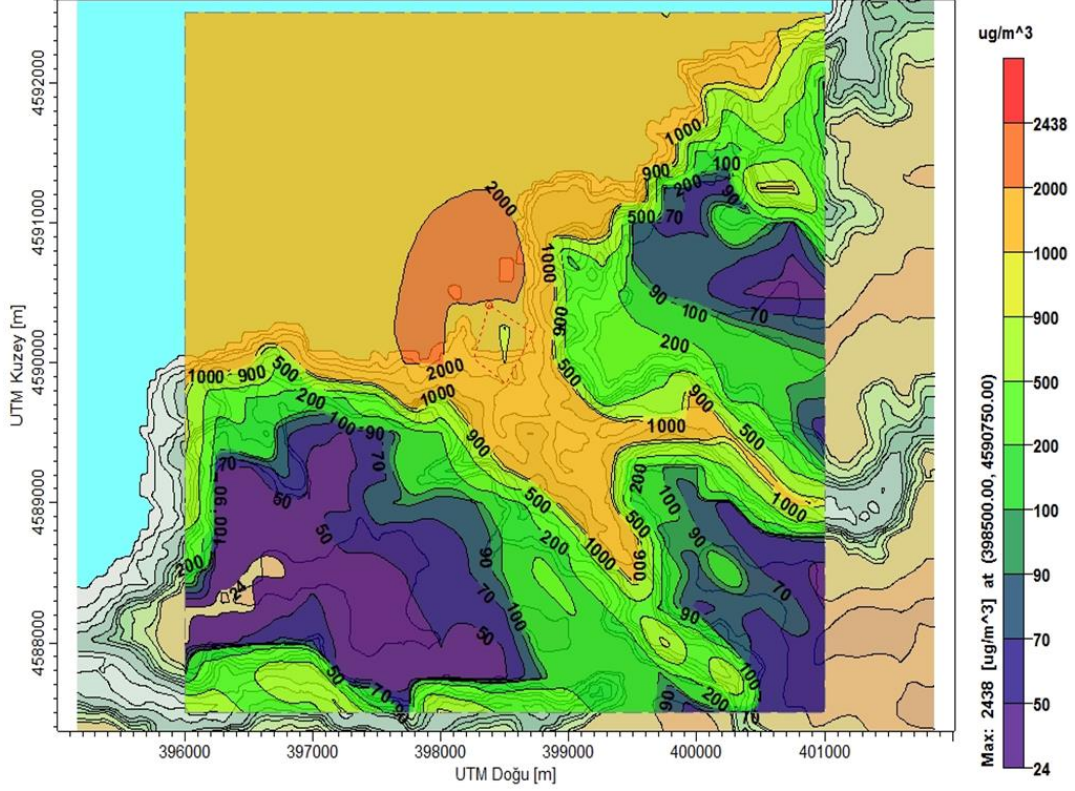
Limanlar	Gemi sayısı	PM (ton/yıl)	SO <sub>2</sub> (ton/yıl)	NO <sub>x</sub> (ton/yıl)	Kaynak
Ambarlı Limanı	5432	36	242	845	[30]
İzmit Limanları	11 645	232	4 305	5 356	[49]
Çandarlı Limanı	7 520	57	574	631	[50]
Zonguldak Limanı	569	63	66,93	510	Bu çalışma

Çizelge 4.10’da verilen Türk limanlarında yapılan çalışmalar incelendiğinde en yüksek emisyon miktarları İzmit limanında görülmekte olup liman faaliyetlerinden yararlanan gemi sayısı da incelenen limanlar arasında en yüksek olandır.

#### 4.8 MODELLEME SONUÇLARI

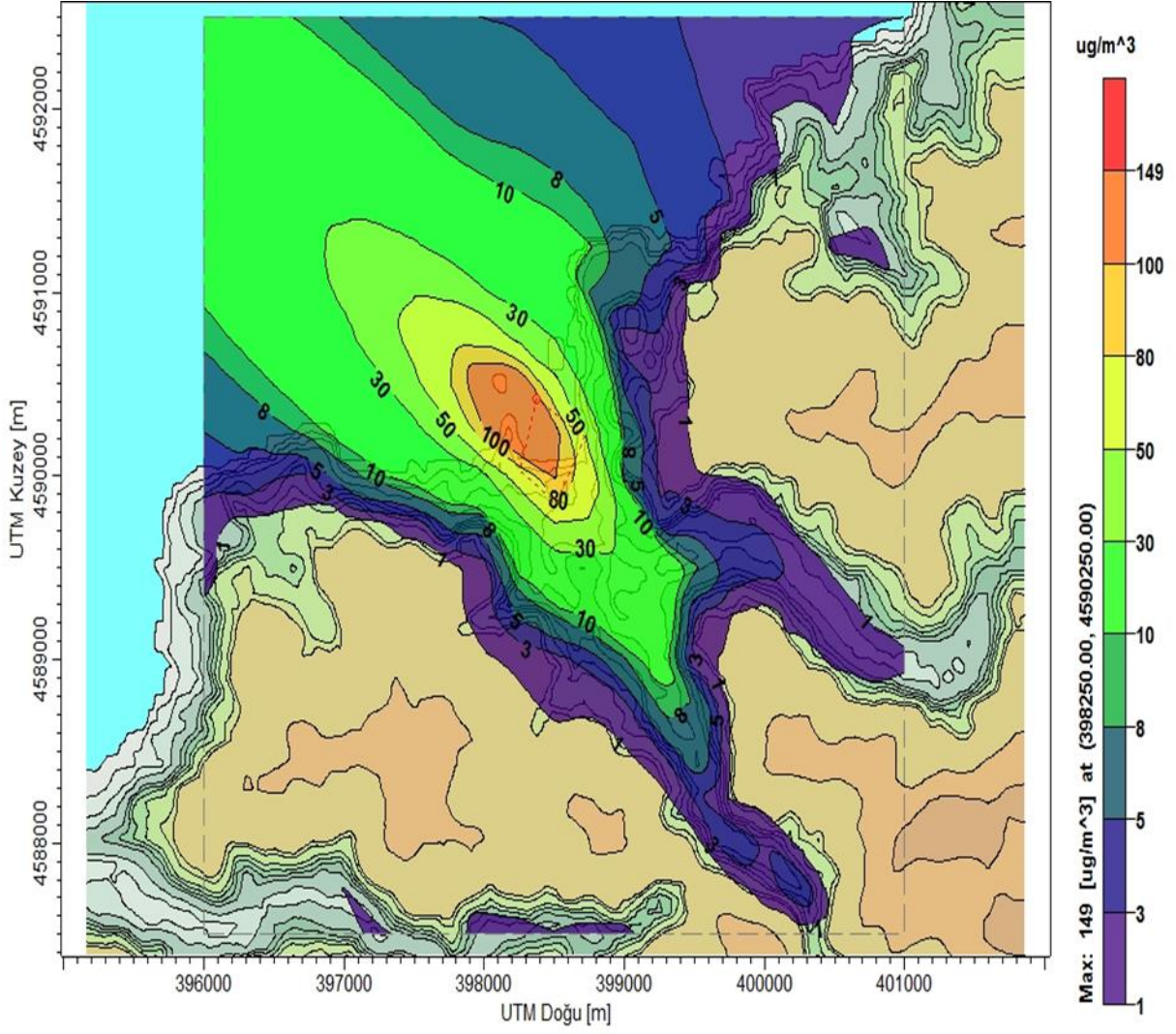
Aermod modeli ile 2018 yılı için NO<sub>x</sub> ve PM<sub>10</sub> konsantrasyon değerleri hesaplanmıştır. Ortalama 1 saatlik süreler için oluşturulan NO<sub>x</sub>, 1 yıllık NO<sub>x</sub>, 24 saatlik PM<sub>10</sub> ve 1 yıllık PM<sub>10</sub> kirlilik dağılımlarının haritaları oluşturulmuştur.

Aermod modeli ile 2018 yılı için 1 saatlik ortalama süreler için oluşturulan NO<sub>x</sub> Kirlilik dağılım haritası Şekil 4.8’de verilmiştir. 1 saatlik harita incelendiğinde NO<sub>x</sub>’e ait en yüksek konsantrasyonların liman içerisinde ve liman girişinde kaldığı 2000 µg/m<sup>3</sup>, gemi yanaşma, yükleme ve boşaltma alanlarını etkileyebileceği görülmektedir. 2000-1000 µg/m<sup>3</sup>saatlik ortalama konsantrasyonların ise şehir merkezi Gazipaşa Caddesi, Üzülmez Deresi ve Kokaksu dereleri boyunca etki gösterebileceği ve şehrin yüksek yerlerinde saatlik ortalama değerlerin daha düşük olacağı görülmektedir. Özellikle gün içerisinde yoğun nüfusun bulunduğu valilik ve çarşı kısmındaki NO<sub>x</sub> konsantrasyonları yüksektir 1000-2000 µg/m<sup>3</sup>. Şehir içi ulaşım taşıtlarından kaynaklanan emisyonlarla birleşerek NO<sub>x</sub> etkisini daha da artırabileceği ve yoğun nüfusu etkileyebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.



**Şekil 4.8** AERMOD modeli ile 2018 yılı için 1 saatlik ortalama NO<sub>x</sub> kirlilik dağılım haritası ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

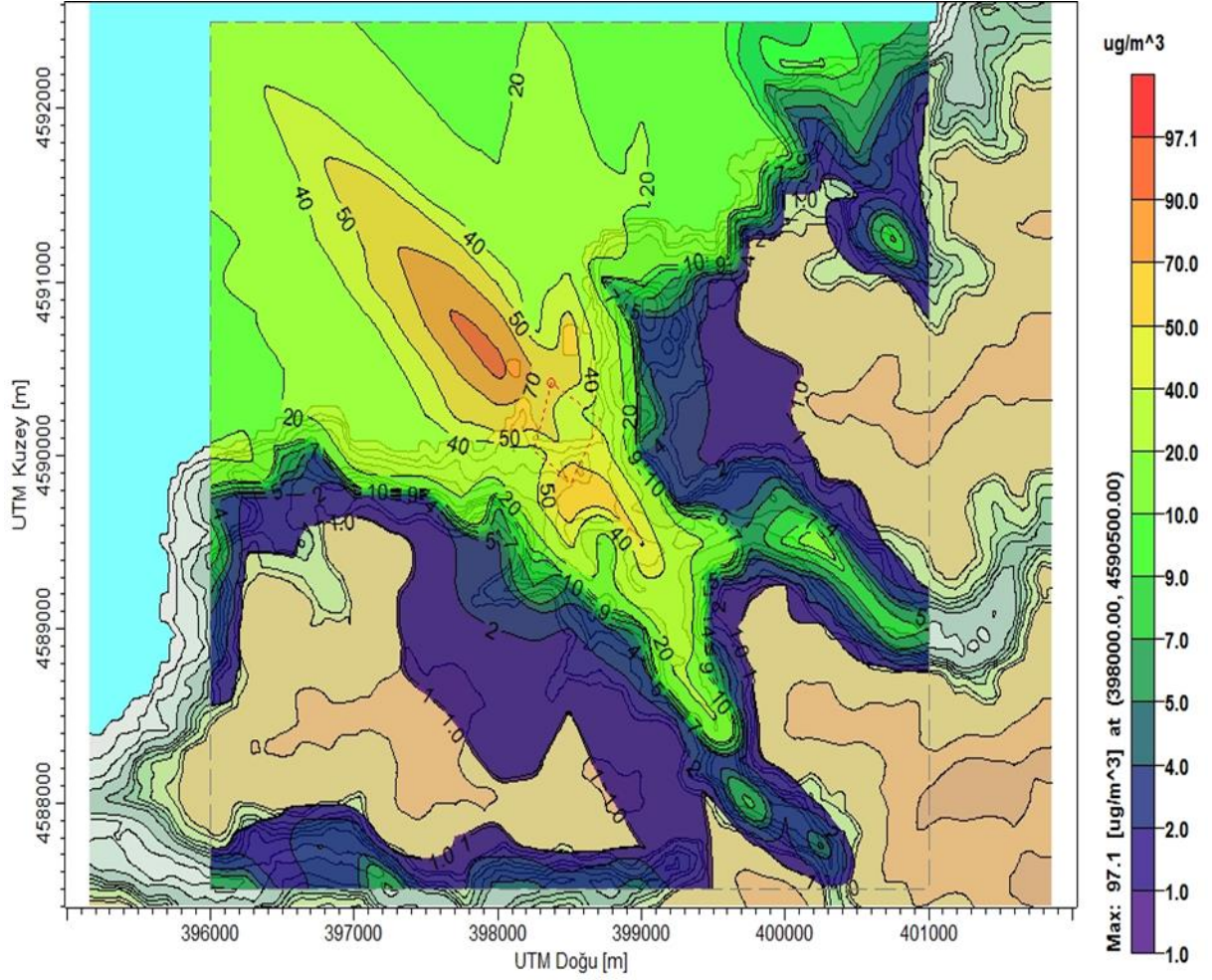
Aermod modeli ile 2018 yılı için 1 yıllık ortalama süreler için oluşturulan NO<sub>x</sub> Kirlilik dağılım haritası Şekil 4.9’da verilmiştir. Yıllık NO<sub>x</sub> konsantrasyonuna bakıldığında zaman Zonguldak limanı, sahil ve Liman caddesi boyunca en yüksek konsantrasyon değerleri görülmektedir. Liman boyunca konsantrasyonun  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  olduğu görülebilir. Konsantrasyon değerleri limandan uzaklaştıkça  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ‘e kadar düşmektedir. Zonguldak Valiliği, Meşrutiyet Mahallesi ve çarşı kısımlarındaki konsantrasyon değerleri giderek azalır  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ’e kadar düşmektedir. Zonguldak Adliyesi kısımları diğer güney kısmında İstasyon caddesi, 100 yıl Belediye Otogarı, Mehmet Akif Ersoy caddesi boyunca daha düşük konsantrasyon değerlerine ulaşılmıştır.



**Şekil 4.9** AERMOD modeli ile 2018 yılı için 1 yıllık ortalama NO<sub>x</sub> kirlilik dağılım haritası (µg/m<sup>3</sup>).

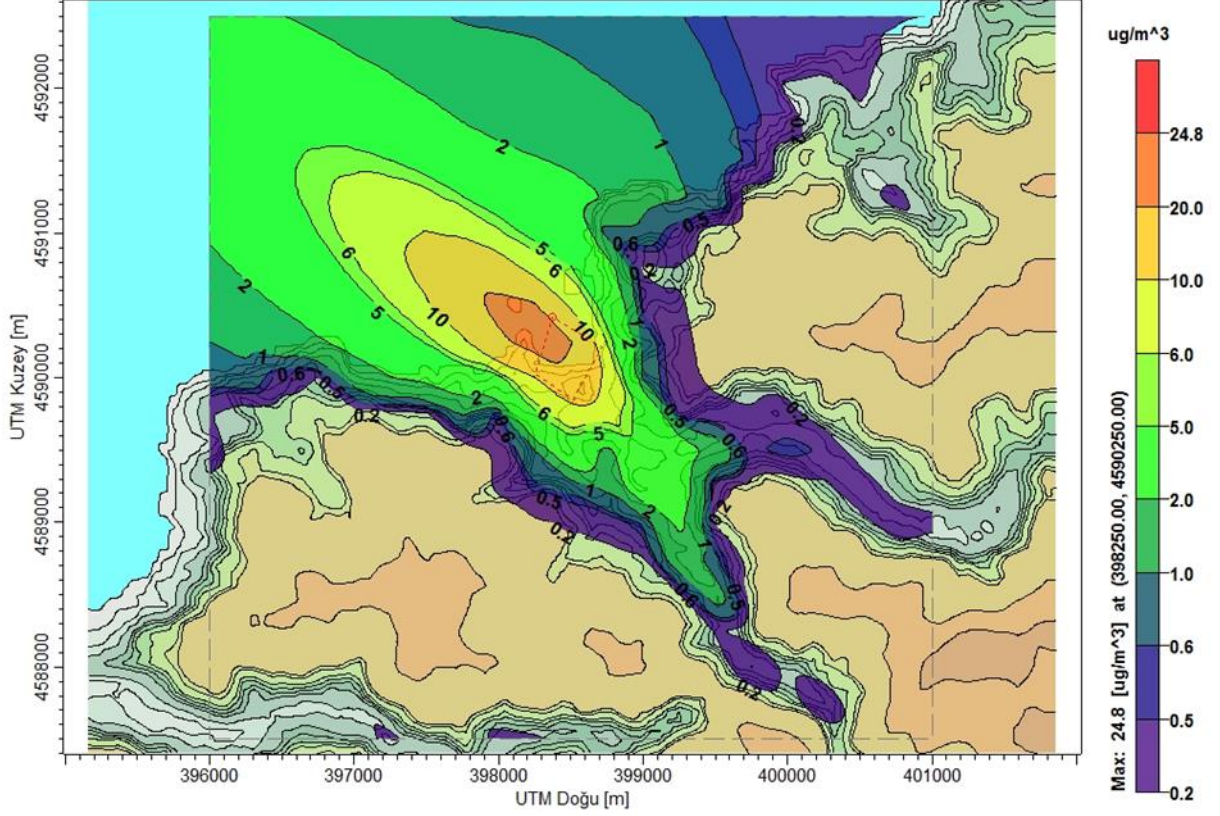
PM<sub>10</sub> konsantrasyonunun 24 saatlik değerlerine bakıldığı yüksek konsantrasyon değerlerini Zonguldak liman kısmında, liman depolama alanında ve liman otoparkında 70 µg/m<sup>3</sup> olduğu görülmektedir. Zonguldak limanı, Kuru yük sahası ve Milli Egemenlik caddesine doğru ilerledikçe günlük konsantrasyon değerlerinin 50 µg/m<sup>3</sup>'e kadar indiği, Ak güney deresi ve Bülent Ecevit caddesi boyunca 24 saatlik PM konsantrasyonunun 40 µg/m<sup>3</sup>'e kadar azaldığını söylenebilir. PM konsantrasyonunun 24 saatlik ortalama kirlilik dağılım haritası Şekil 4.10'da verilmiştir.





**Şekil 4.10** AERMOD modeli ile 2018 yılı için 24 saat ortalama PM<sub>10</sub> kirliliği dağılımı (µg/m<sup>3</sup>)

PM<sub>10</sub> 1 yıllık konsantrasyon değerleri Şekil 4.11’de verilmiştir. Şekil 4.11’de Zonguldak limanı boyunca PM<sub>10</sub> yıllık konsantrasyon değerlerinin en yüksek olduğunu 10 µg/m<sup>3</sup> görülmektedir. Uzun Mehmet Caddesi, Meşrutiyet Caddesi ve çarşı kısmı boyunca ise PM<sub>10</sub> yıllık kirlilik dağılımının 6 µg/m<sup>3</sup>’e kadar düştüğünü bulunmuştur. İstasyon caddesine ilerledikçe ve cadde boyunca ise yıllık konsantrasyon değerlerinin azaldığını 2 µg/m<sup>3</sup>’e kadar indiği söylenebilir.



Şekil 4.11 AERMOD modeli ile 2018 yılı için 1 yıllık ortalama PM<sub>10</sub> kirliliği dağılımı (µg/m<sup>3</sup>).

Çizelge 4.11 AERMOD modelleme sonuçları.

Kirletici	Ortalama süreler	Maksimum konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	X koordinat (m)	Y koordinat (m)
NO <sub>x</sub>	1 saat	2438	398500	4590750
PM <sub>10</sub>	24 saat	97,1	39800	4590000
NO <sub>x</sub>	1 yıllık	149	39820	4590200
PM <sub>10</sub>	1 yıllık	24,8	39790	4590500

Model çalıştırması sonucu 1 saatlik ve 1 yıllık ortalama NO<sub>x</sub> ile 24 saatlik ve 1 yıllık ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonları hesaplanmış, maksimum konsantrasyon değerlerinin gözlemlendiği noktaların koordinatları Çizelge 4.11 de verilmiştir. Model sonuçları incelendiğinde saatlik NO<sub>x</sub> değerlerinin maksimum konsantrasyona liman giriş bölgesinde ulaştığı görülmüştür. Yıllık ortalama NO<sub>x</sub> değerlerinin maksimum konsantrasyona (149 µg/m<sup>3</sup>), 24 saatlik PM<sub>10</sub> değerlerinin maksimum konsantrasyona (97,1 µg/m<sup>3</sup>) ve yıllık ortalama PM<sub>10</sub> değerinin maksimum konsantrasyona (24,8 µg/m<sup>3</sup>) liman iç bölgesinde ulaştığı bulunmuştur.



Maksimum konsantrasyonların gözlemlendiği alanlar nüfus yoğun bölgenin dışında deniz üzerinde kaldığı görülmüştür.

Ülkemizde yürürlükte Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğ'in'de [URL14] verilen değerlere dayanarak hazırlanan Çevre ve Şehircilik bakanlığı hava kalitesi izleme istasyonları web sitesinde verilen [URL 15]. İnsan Sağlığı ve Ekosistemin Korunması İçin Hava Kalitesi Sınır Değerleri PM10 için Çizelge 4.12'de verilmiştir. Türkiye AB Uyum takvimi kapsamında 1.1.2019 tarihinde AB üyesi ülkelerdeki sınır değerlere geçişi sağlamış, Günlük ve yıllık sırası ile 50 ve 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sınır değerler uygulamaya alınmıştır. Aşım sayısı ise 35 gün/yıl olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.12** PM<sub>10</sub> için hava kalitesi sınır değerleri [URL15].

Kirletici	Ölçüm Periyodu	Türkiye'de ve AB Üye ülkelerde sınır değer
PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Günlük	50
	Yıllık	40
	Günlük aşım sayısı	35/yıl

NO<sub>2</sub> için Hava Kalitesi Sınır değerleri Türkiye'de ve AB üye ülkelerde farklı olup Çizelge 4.13'de verilmiştir. Uyum takvimine göre 1.1.2024 tarihinde geçiş planlanmaktadır. Saatlik 260 ve 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  olarak ülkemizde uygulanmakta olan sınır deperler Avrupa Birliğinde sırası ile 200 ve 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 'tür.

**Çizelge 4.13** NO<sub>2</sub> için hava kalitesi sınır değerleri [URL 15].

Kirletici	Ölçüm Periyodu	Türkiyede sınır değer (2018)	AB Üye ülkelerde sınır değer	Uyum takvimi
NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Saatlik	260	200	1.01.2024
	Yıllık	44	40	
	Uyarı eşiği (3 ardışık saat)	400	400	
	Saatlik aşım sayısı	-	18/yıl	

Hesaplanan NO<sub>x</sub> değerleri literatürde verilen gemi dizel makinaları için NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> emisyon oranı 0.08 ile çarpılarak NO<sub>2</sub> değerlerine çevrilmiş, maksimum konsantrasyonlar ve nüfus yoğun bölge için hesaplanan konsantrasyonlar ülkemizde mevcut sınır değerlerle ve Çizelge 4.14'de karşılaştırılmıştır [51].

Çizelge 4.14’de 1 saatlik ve 1 yıllık ortalama NO<sub>2</sub> konsantrasyonları nüfus yoğun bölgede 40 ve 2,4 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuş, yıllık ortalama sınır değeri olan 40 µg/m<sup>3</sup> ve 1 saatlik ortalama sınır değeri olan 200 µg/m<sup>3</sup> değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 4.14** Maksimum ve nüfus yoğun bölgedeki saatlik ve yıllık ortalama NO<sub>x</sub> konsantrasyonlarının NO<sub>2</sub> cinsinden sınır değerlerle karşılaştırması.

Ortalama süreler	Maksimum konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )		Nüfus yoğun bölgede konsantrasyon(µg/m <sup>3</sup> )		Sınır Değer (µg/m <sup>3</sup> )
	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	NO <sub>2</sub>	
1 saat	2438	195	500	40	200
1 yıllık	149	12	30	2,4	40

**Çizelge 4.15** Maksimum ve nüfus yoğun bölgedeki 24 saatlik ve yıllık ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonlarının sınır değerlerle karşılaştırması.

Kirletici	Ortalama süreler	Maksimum konsantrasyon (µg/m <sup>3</sup> )	Nüfus yoğun bölgede konsantrasyon	Sınır Değer (µg/m <sup>3</sup> )
PM <sub>10</sub>	24 saat	97,1	20-40	50
PM <sub>10</sub>	1 yıllık	24,8	2-5	40

Çizelge 4.15’de 24 saatlik ve 1 yıllık ortalama PM<sub>10</sub> konsantrasyonları 20-40 µg/m<sup>3</sup> ve 2-5 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuş, sınır değeri olan 24 saatlik 50 µg/m<sup>3</sup>’ün üzerinde ve 1 yıllık 40 µg/m<sup>3</sup> değerinin altında olduğu gözlenmiştir.

## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, Karadeniz'in önemli bir limanı olan Zonguldak Limanından faydalanan gemilerin faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon miktarları hesaplanarak gemilerin Zonguldak kenti hava kalitesine olabilecek etkileri belirlenmiştir. Zonguldak kent merkezi Zonguldak Limanı ile iç-içe geçmiş durumdadır. Bu çarpık yerleşim gemilerden kaynaklanan hava kirleticilerin Zonguldak kent merkezinde nüfus yoğun bölgede olumsuz etkilerde bulunma potansiyeline yol açmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda Zonguldak Limanı için 2014-2018 yılları arasında gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon miktarları hesaplanmış diğer çalışmalarla karşılaştırılmış ve 2018 yılı gemi kaynaklı emisyonların kent merkezindeki hava kalitesi üzerindeki etkileri ortaya koyulmuştur.

Zonguldak Liman Başkanlığından alınan bilgilere göre 2014-2018 yılları arasında liman hizmetlerinden 2815 gemi faydalanmıştır. Avrupa Çevre Ajansı tarafından yayınlanan EMEP/EEA Hava Kirletici Emisyonları Envanter Rehberi'nde yer alan Tier 3 metodu kullanılarak emisyon faktörleri ile gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar ( $NO_x$ , NMVOC ve PM) hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda 2014 yılında Zonguldak limanı gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyon miktarlarının  $NO_x$  503 ton/yıl, NMVOC 42 ton/yıl, PM 60 ton/yıl olduğu tahmin edilmiştir. 2015 yılında ise  $NO_x$  419 ton/yıl, NMVOC 49 ton/yıl ve PM 34 ton/yıl emisyonların olduğu bulunmuştur. 2016 yılında 423 ton/yıl  $NO_x$ , 36 ton/yıl NMVOC ve 51 ton/yıl PM emisyon olduğu tahmin edilmiştir. 2017 yılında  $NO_x$  376 ton/yıl, NMVOC 33 ton/yıl, PM 47 ton/yıl ve 2018 yılı için  $NO_x$  510 ton/yıl, NMVOC 44 ton/yıl ve PM 63 ton/yıl olarak tahmin edilmiştir. Yine diğer kirleticiler içinde 5 yıllık dönemde olası emisyonlar hesaplanmıştır. Zonguldak Limanı faaliyetlerinden en yüksek yayılan emisyonlar azotoksit emisyonları olarak görülmüştür.

2018 yılına ait Gemi faaliyetlerinden kaynaklanan  $NO_x$  ve  $PM_{10}$  emisyonlarının limana yakın ve nüfus yoğun bölgedeki etkisini belirlemek için AERMOD modeli ile bir saatlik, 24 saatlik

ve yıllık ortalama ortam havası konsantrasyonları hesaplanmıştır. Model çalıştırmasında Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden 2018 yılına ait temin edilmiş Zonguldak ili meteorolojik verileri, topografik bilgiler olarak ise ASTER–GDEM sayısal yükseklik verileri kullanılmıştır.

Model çalıştırması sonucunda kirlilik dağılım haritaları oluşturulmuştur. NO<sub>x</sub> 1 saatlik en yüksek konsantrasyon miktarı 2438 µg/m<sup>3</sup>, yıllık 149 µg/m<sup>3</sup>; PM<sub>10</sub> kirleticisi için 24 saatlik 97,1 ve yıllık 24,8 µg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuştur. Bu iki kirletici için de maksimum değerlerin liman giriş bölgesinde deniz üzerinde oluşacağı görülmüştür. Nüfus yoğun bölgede maksimum konsantrasyonlar görülmemiştir.

Nüfus yoğun bölgede NO<sub>2</sub> cinsinden kirletici miktarları 1 saatlik ortalama 40 µg/m<sup>3</sup>, yıllık ortalama 2,4 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmış, PM<sub>10</sub> cinsinden kirletici miktarları 24 saatlik ortalama değer 20-40 µg/m<sup>3</sup>, yıllık ise 2-5 µg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır. Sadece gemi faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlar dikkate alındığında her iki kirleticiye ait tahmin edilen konsantrasyonların ülkemizde mevcut Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada sadece limana yanaşan gemilerden kaynaklanan emisyonlar tahmin edilmiş, liman içindeki tren, taşıma ve diğer faaliyetlerden kaynaklanabilecek emisyonlar dahil edilmemiştir. Nüfus yoğun bölgede etkiler araştırılırken şehir merkezindeki evsel ısınma ve trafikten kaynaklanan emisyon miktarları da hesaplamalara dahil edilmemiştir. Kent dokusunun iç içe ve sıkışık bir alanda yer aldığı nüfus yoğun bölge olarak tanımlanan çarşı merkezinde hem ısınmadan kaynaklanan hem de trafikten kaynaklanan hava kirleticilerine ek olarak liman faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonların da bu kirliliği artırabileceği görülmektedir.

Kent merkezinde temiz hava planlarının oluşturulmasında tüm hava kirletici parametrelerinin dikkate alınması önerilir. Isınmadan ve trafikten kaynaklanan emisyonlara ek olarak liman kentlerinde liman faaliyetlerinden kaynaklanan emisyonlarında hesaplanması planlamaların daha sağlıklı yapılmasını sağlayacaktır. Uluslararası Denizcilik düzenlemeleri içerisinde hava kirleticileriyle ilgili emisyon kontrol alanları gibi sınırlandırmaların liman kentlerinde de uygulanmasında fayda vardır.

## KAYNAKLAR

- [1] **Friedrich A Hein F Kamakate F and Kodjak D** (2007) Air Pollution and Greenhouse Gas Emissions from Ocean-going Ships. *The International Council on Clean Transportation*, Washington DC: 102
- [2] **İncecik S** (1994) *Hava kirliliği*. İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul, 94s.
- [3] **Sonsuz B, Kargioğlu F, Şıpka M, Oruç M, Hepşen Ö, Selvi E, Mustak H, Kargı H ve Karafazlıoğlu M** (2011) Adapazarı ilçesindeki endüstriyel kaynaklı emisyonların envanterlenmesi. *Bitirme Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği, Sakarya, 108 s.
- [4] **Rigas M L, Ben-Jebria A and Ultman J S** (1997) Longitudinal distribution of ozone absorption in the lung: Effects of nitrogen dioxide, sulfur dioxide, and ozone exposures, *Archive of Environmental & Occupational Health*, (52): 173-178.
- [5] **Flagan C R and Seinfeld J H** (1988) *Fundamentals of Air Pollution Engineering*. ISBN: 0-13-33253-7, Prentice Hall, New Jersey, 542 pp.
- [6] **Morgan W, Reger R and Tucker D** (1997) Health effect of diesel emissions. *The Annals of Occupational Hygiene*, 41(6): 643-658.
- [7] **Strayer R C, Blake J A and Craig W K** (1983) Canola and High Erucic Rapeseed Oil as Substitutes for Diesel Fuel. *Journal American Oil Chemistry' Society*, 60 (8): 1587–1597.
- [8] **Kılıç İ** (2015) Kara ve deniz konteyner taşımacılığında egzoz gazı emisyon değerlerinin karşılaştırılması: Türkiye içerisinde durum değerlendirmesi. *Denizcilik Uzmanlık Tezi*. Samsun Liman Başkanlığı. Samsun, 135 s.
- [9] **Uçar F O** (2014) Samsun İli Limanlarına Gelen Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi ve Çevresel Etkileri. *Denizcilik Uzmanlık Tezi*. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Ankara, 130 s.
- [10] **Rivers K J, Poassen C W C, Booth M and Marriott J M** (1993) *Future diesel fuel quality – balancing requirements*. Institution Mechanical Engineers, Second seminar, MEP, 209-225.
- [11] **Celia A A and Conceicao A F** (2005) Effects air pollution for chronic obstructive pulmonary diseases in Porto, *International Journal of Environment and Pollution*, Portugal, 23 (1): 42-64.
- [12] **Lamas M I and Rodríguez C G** (2012) Emissions from marine engines and NO<sub>x</sub> reduction methods. *Journal of maritime research*, 9 (1): 77-81.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [13] **Müezzinoğlu A** (2005) *Hava Kirliliği ve Kontrolünün Esasları*. 3 Baskı, ISBN:9756981369, Dokuz Eylül Yayınları, İzmir. 328s.
- [14] **Süren P** (2007) Zonguldak kent merkezi atmosferik partikül madde Kirliliğinin; PM<sub>2.5</sub> ve PM<sub>10</sub> boyut dağılımı, kaynak ve Metalik kompozisyon temelinde incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir. 180 s.
- [15] **Cooper D A** (2003) Exhaust emissions from ships at berth. *Atmospheric Environment*, (37): 3817–3830.
- [16] **Van A J, Colette A, Degraeuwe B, Hammingh P De and Vlieger I** (2013) *The Impact of International Shipping on European Air Quality and Climate Forcing*. EEA Technical report, 4th edition : 88 s.
- [17] **Zhang Y, Yang X, Brown R, Yang L, Morawska L, Ristovski Z, Fu Q and Huang C** (2017). Shipping Emissions And Their Impacts On Air Quality in China. *Science of The Total Environment*, (581-582):186-198.
- [18] **Mauderly J L** (1992) Enviromental toxicants: human exposures and their healty effects. *Enviromental Health Perspectives*, (101): 55-119.
- [19] **Deniz C and Durmuşoğlu Y** (2008) Estimating Shipping Emissions in the Region of the Sea of Marmara, Turkey. *Science of the Total Environment*, 390 (1): 255-261.
- [20] **Wan Z, Zhu M, Chen S and Sperling D** (2016) Pollution: Three steps to a green shipping ing industry *Nature Comment* 530: 275-277.
- [32] **Daşhan E S** (2010) Gemi Kaynaklı Atıkların Yönetimi ve Bertarafı Kaynak. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği, Anabilim Dalı, İstanbul, 149 s.
- [22] **Barregard L, Molnar P, Jonson J and Stocfelt E** (2019) Impact on Population Health of Baltic Shipping Emissions. *Enviromental Research and Public Health*, (16): 1-11.
- [23] **Corbett J J, Winebrake J J, Green E H, Kasibhatla P, Eyring V and Lauer A** (2007) Mortality from ship emissions:A global assessment. *Environmental Science Technology*, (41): 8512–8518.
- [24] **Brandt J, Silver J D, Christensen J H, Andersen M S, Bonlokke J H, Sigsgaard T, Geels C, Gross A, Hansen A B and Hansen K M** (2013) Assessment of past, present and future health-cost externalities of air pollution in Europe and the contribution from international ship trac using the EVA model system. *Atmospheric Chemistry and Physics* (13): 7747–7764.
- [25] **Andersson C, Bergstrom R and Johansson C** (2009) Population exposure and mortality due to regional background PM in Europe-Long-term simulations of source region and shipping contributions. *Atmospheric Environment*, (43): 3614–3620.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [26] **Brandt J, Silver J D, Christensen J H, Andersen M S, Geels C, Gross A, Hansen A B, Hansen K M, Hedegaard G B and Skjoth C A** (2011) Assessment of Health-Cost Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System. CEEH Scientific Report No 3, ISSN: 1399-1949, Roskilde, Denmark, 96 p.
- [27] **Çetintürk G İ ve Köksal C** (2014) Ulusal Hava Kirleticileri Emisyon Envanteri. *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, (3): 22-28.
- [28] **Biligili L and Çelebi U B** (2018) Developing a new green ship approach for flue gas emission estimation of bulk carriers. *Measurement*, (120): 121-127.
- [29] **Keskin U and Vardar N** (2001) A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits. *Atmospheric Environment*, (35): 1863-1870.
- [30] **Deniz C and Kilic A** (2010) Estimation and Assessment of Shipping Emissions in the Region of Ambarlı Port, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 29 (1): 107-115.
- [31] **Nunes R A O, Alvim F M C M, Martins F G and Sousa S I V** (2017) Assessment of shipping emissions on four ports of Portugal. *Environmental Pollution*, (231) : 1370-1379.
- [32] **Russo M A, Leitao J, Gamma C, Ferreira J and Monteiro A** (2018) Shipping emissions over Europe: A state-of-the-art and comparative analysis. *Atmospheric Environment*, (177): 187-194.
- [33] **Murena F, Mocerino L, Quaranta F and Toscano D** (2018) Impact on air quality of cruise ship emissions in Naples, Italy. *Atmospheric Environment*, (187): 70-83.
- [34] **Holmes N S and Morawska L A** (2006) Review of Dispersion Modelling and its Application to the Dispersion of Particles: an Overview of Different Dispersion Models Available, *Atmospheric Environment*, (40) : 5902-5928.
- [35] **Demirarslan K O** (2012) Kocaeli İli Körfez İlçesinde Hava Kirleticisi Kaynakların ve Hava Kalitesi Seviyesinin Belirlenmesi. *Doktora Tezi*. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 257 s.
- [36] **Fraille R, Calvo A I, Catro A, Fernandez G D and Garcia Ortega E** (2006) The Behavior of the Atmosphere in Long-Range Transport. *Aerobiologia*, 22: 35-45.
- [37] **Zeydan Ö** (2014) Zonguldak Bölgesi PM<sub>10</sub> Konsantrasyonu. *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre mühendisliği Anabilim Dalı. Kocaeli, 184 s.
- [38] **Demirarslan O Çetin S ve Ayberk S** (2008) Hava Kirliliği Belirlemelerinde Modelleme Yaklaşımı ve Modelleme Aşamasında Karşılaşılabilecek Sorunlar, Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli, Türkiye, 14-17 Mayıs.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [39] **Gibson M D, Kundu S and Satish M** (2013) Dispersion model evaluation of PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from point and major line sources in Nova Scotia, Canada using AERMOD Gaussian plume air dispersion model. *Atmospheric Pollution Research*, (4): 157-167.
- [40] **Ozturk N, Sari D, Akalin N and Hilmioğlu B** (2013) Evaluation of the impact of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> emissions of the ambient air-quality in the Çan-Bayramovic region of northwest Turkey during 2007-2008. *Science of the Total Environment*,(456-457) : 245-266.
- [41] **Amoatey P, Omidvarborna H, Affum A H and Baawain M** (2018) Performance of Aermom and Calpuff Models on SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> Emissions for Future Health Risk Assessment in Tema Metropolis. *Human and Ecological Risk Assessment*, (25): 777-786.
- [42] **Seangkiatituyuth K, Surapipith V, Tantrakarnapa K and Lothongkum W A** (2011) Application of the AERMOD modeling system for environmental impact assessment of NO<sub>2</sub> emissions from a cement complex. *Journal of Environmental Sciences*, 23(6): 931-940.
- [43] **Tuygun T G, Altuğ H, Elbir T and Gaga E E** (2017) Modeling of air pollutant concentrations in an Industrial region of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, (24): 8230-8241.
- [44] **Black Sea State Of Environment Report** (2019) *Commission on the Protection of the Black Sea Against Pollution*, ISBN 978-605-84837-0-5, İstanbul, 812pp.
- [45] **European Commission** (2002) Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community. European Commission, Final Report, Entec UK Limited, 21 pp.
- [46] **Trozzi C and De Lauretis R** (2016) *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook*. European Environmental Agency. 37 pp.
- [47] **Marr L, Rosser D P and Meneses C A** (2007) An air quality survey and emissions inventory at Aberdeen harbor. *Atmospheric Environment*, (41): 6379-6395.
- [48] **Tichavska M, Tovar B, Gritsenko D, Johansson L and Jalkanen P J.** (2019) Air Emissions from ship in port: Does regulation make a difference?. *Transport Policy*, 75: 128-140.
- [49] **Kılıç A ve Deniz C** (2009) Inventory of shipping emissions in Izmit Gulf, Turkey. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, (29): 221-232.
- [50] **Deniz C, Kılıç A ve Çıvkaroğlu G** (2009) Estimation of shipping emissions in Çandarlı Gulf, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, (171): 219-228.
- [51] **Kurtenbach R, Vaupel K, Kleffmann J, Klenk U, Schmidt E and Wiesen P** (2016) Emissions of NO, NO<sub>2</sub> and PM from Inland Shipping. *Atmospheric Chemistry and Physics*, (16): 14285-14295.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-1** <<http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/Transport-and-health/data-and-statistics/air-pollution-and-climate-change2>>, Ziyaret tarihi: 22.10.2019
- URL-2** <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/makale/havakirliligi.pdf>>, Ziyaret tarihi: 05.08.2019
- URL-3** <<http://www.yildiz.edu.tr/~sandalci/dersnotu/TC/tC5.pdf>>, Ziyaret tarihi:5.08.2019
- URL-4** <<https://www.who.int/sustainable-development/transport/health-risks/air-pollution/en/>>, Ziyaret tarihi : 22.10.2019
- URL-5** <<http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Pages/Air-Pollution.aspx> >, Ziyaret tarihi: 22.10.2019
- URL-6** <<https://www.boutique.afnor.org/standard/iso-8178-42017/reciprocating-internal-combustion-engines-exhaust-emission-measurement-part-4-steady-state-test-cycles-for-different-engine-appl/article/867902/xs128283>>, Ziyaret tarihi: 22.10.2019
- URL-7** < <http://www.airclim.org> >, Ziyaret tarihi: 5.07.2019
- URL-8** < <http://data.europa.eu>>, Ziyaret tarihi: 5.07.2019
- URL-9** <[http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-\(MARPOL\).aspx###targetText=%E2%80%8B%E2%80%8B%E2%80%8BThe%20International,from%20operational%20or%20accidental%20causes.&targetText=MARPOL%20has%20been%20updated%20by%20amendments%20through%20the%20years](http://www.imo.org/en/About/Conventions/ListOfConventions/Pages/International-Convention-for-the-Prevention-of-Pollution-from-Ships-(MARPOL).aspx###targetText=%E2%80%8B%E2%80%8B%E2%80%8BThe%20International,from%20operational%20or%20accidental%20causes.&targetText=MARPOL%20has%20been%20updated%20by%20amendments%20through%20the%20years)>, Ziyaret tarihi: 08.10.2019
- URL-10** < <http://www.airclim.org/air-pollution-ships#imo>>, Ziyaret tarihi: 08.10.2019
- URL-11** <<http://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/MEPC/Pages/MEPC-73rd-session.aspx>>, Ziyaret tarihi: 08.10.2019
- URL-12** <<https://www.google.com/maps>> Ziyaret tarihi: 26.03.2019
- URL-13** <<http://www.taskomuru.gov.tr>> Ziyaret tarihi: 25.03.2019
- URL-14** <<https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.12188&MevzuatIliski=0>>, Ziyaret tarihi: 23.10.2019
- URL-15** < <http://mobil.havaizleme.gov.tr/Default.ltr.aspx>>, Ziyaret tarihi: 7.10.2019



## ÖZGEÇMİŞ

Shabnam GUBADLI, 1995’de Azerbaycan’da doğdu; ilkokul ve lise eğitimini Semed Vurgun No2 okulunda tamamladı, 2012 yılında Azerbaycan Sivil Havacılık Akademisi Ekoloji Mühendisliği’ni kazanmıştır. 2016 yılında mezun oldu. 2016 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı.

### **İLETİŞİM BİLGİLERİ:**

E-posta: sgubadli@mail.ru