

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İZMİR LİMANINA GELEN GEMİLERİN  
OLUŞTURDUĞU EGZOZ GAZI EMİSYONLARININ  
İNCELENMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Halil SARAÇOĞLU**

**Anabilim Dalı: Deniz Ulaştırma Mühendisliği**

**Programı: Deniz Ulaştırma Mühendisliği**

**HAZİRAN 2010**

**İZMİR LİMANINA GELEN GEMİLERİN  
OLUŞTURDUĞU EGZOZ GAZI EMİSYONLARININ  
İNCELENMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Halil SARAÇOĞLU  
(512061010)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Mayıs 2010**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Cengiz DENİZ (İTÜ)  
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ata BİLGİLİ (İTÜ)  
Doç. Dr. Fuat ALARÇİN (YTÜ)**

**HAZİRAN 2010**

## ÖNSÖZ

Gemilerin oluşturduğu egzoz gazı emisyonları, hava kirliliğinin artmasına bunun sonucunda küresel ısınmaya, asit yağmurlarının oluşmasına ve ozon tabakasının delinmesine sebep olmaktadır. İnsan sağlığı, gemilerden yayılan egzoz gazlarının hava kalitesine olumsuz etkileri sonucunda bozulmaktadır. Gemi egzoz gazı emisyonlarının, İzmir iline olumsuz etkilerini açıklamak amacıyla, Türkiye'nin en büyük ihracat limanlarından biri olan İzmir Limanına gelen gemilerinden yayılan egzoz gazlarının miktarları hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda, İzmir Limanına gelen gemilerin İzmir ve çevresi için önemli bir hava kirleticisi kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tez çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimi ile çalışmamı yönlendiren ve sonuca ulaşmasını sağlayan değerli danışman hocam Yrd.Doç. Dr.Cengiz DENİZ'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmaya sağladıkları maddi ve manevi katkılardan dolayı İzmir Liman Başkanlığı'na ve çalışmanın tamamlanmasında ilgi ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Huzurlu bir çalışma ortamı sağlayan ve manevi destek veren eşim Şenay Saraçoğlu'na, minik oğlum Poyraz Saraçoğlu'na ve eğitim hayatım boyunca desteklerini esirgemeyen sevgili annem ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2010

Halil Saraçoğlu



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                                   |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|
| ÖNSÖZ.....                                                                        | iii  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                                 | v    |
| KISALTMALAR .....                                                                 | ix   |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....                                                              | xi   |
| ŞEKİL LİSTESİ.....                                                                | xiii |
| SEMBOL LİSTESİ .....                                                              | xv   |
| ÖZET.....                                                                         | xvii |
| SUMMARY .....                                                                     | xix  |
| 1. GİRİŞ .....                                                                    | 1    |
| 2. HAVA KİRLİLİĞİ .....                                                           | 5    |
| 2.1 Hava Kirliliği Kaynakları .....                                               | 6    |
| 2.2 Hava Kirletici Gazlar.....                                                    | 7    |
| 2.2.1 Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> ).....                                      | 8    |
| 2.2.2 Karbon monoksit (CO) .....                                                  | 9    |
| 2.2.3 Kükürt dioksit (SO <sub>2</sub> ).....                                      | 9    |
| 2.2.4 Metan (CH <sub>4</sub> ).....                                               | 10   |
| 2.2.5 Azot Oksitler (NO <sub>x</sub> ) .....                                      | 10   |
| 2.2.6 Klorofloro karbon Gazları (CFC <sub>s</sub> ).....                          | 11   |
| 2.2.7 Hidrokarbonlar (HC ) .....                                                  | 11   |
| 2.2.8 Parçacık Maddeler (PM ).....                                                | 11   |
| 2.2.9 Ozon ( O <sub>3</sub> ).....                                                | 12   |
| 2.2.10 Su Buharı .....                                                            | 13   |
| 3. GEMİ EGZOZ GAZI EMİSYONLARI VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ .....                  | 15   |
| 3.1 Gemi Egzoz Gazı Emisyonları .....                                             | 15   |
| 3.1.1. Katı parçacıklar ve oluşumları.....                                        | 16   |
| 3.1.1.1 Katı parçacıkların insan sağlığına zararlı etkileri.....                  | 17   |
| 3.1.2 Kükürt oksit ve oluşumu.....                                                | 17   |
| 3.1.2.1 Kükürt oksidin insan sağlığına zararlı etkisi .....                       | 18   |
| 3.1.3 Azot oksit (NO <sub>x</sub> ) ve oluşumu.....                               | 19   |
| 3.1.3.1 NO <sub>x</sub> emisyonlarının insan sağlığına etkileri .....             | 19   |
| 3.1.3.3 Ozonun insan sağlığına etkisi .....                                       | 20   |
| 3.1.4 Karbon monoksit (CO) emisyonları ve oluşumları .....                        | 20   |
| 3.1.4.1 Karbon monoksitin insan sağlığına etkileri .....                          | 21   |
| 3.1.5 Karbon dioksit (CO <sub>2</sub> ) emisyonu ve oluşumu.....                  | 21   |
| 3.1.5.1 Karbon dioksitin küresel ısınmaya etkisi .....                            | 22   |
| 3.1.6 Metan haricindeki uçucu organik bileşik (NMVOC) emisyonu ve oluşumu .....   | 22   |
| 3.1.6.1 Metan haricinde uçucu organik bileşiklerin insan sağlığına etkileri ..... | 23   |
| 3.2 Egzoz Gazı Emisyonlarının Oluşturan Gemi Makinelerinin Özellikleri .....      | 23   |

|                                                                                         |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4.GEMİLERDEN YAYILAN EGZOZ GAZLARININ ÖNEMİ VE MİKTARLARI.....</b>                   | <b>25</b> |
| 4.1 Küresel ve Bölgesel Ölçekte Yapılan Gemi Emisyon Tahminleri ve Önemi .              | 26        |
| 4.2 ABD ve Avrupa Birliği'nde Liman Emisyonlarıyla İlgili Örnek Çalışmalar .            | 27        |
| 4.3 Gemi Emisyonlarıyla İlgili Düzenleme Ve Sınırlamalar .....                          | 29        |
| 4.3.1 MARPOL Ek 6 Kural 13 .....                                                        | 30        |
| 4.3.2 MARPOL Ek 6 Kural 14 .....                                                        | 31        |
| 4.3.3 Amerika'da gemi kaynaklı emisyonlarla ilgili düzenlemeler.....                    | 32        |
| 4.3.4 Gemi emisyonlarının azaltılması için yürürlüğe giren yeni düzenlemeler .....      | 32        |
| <b>5. İZMİR LİMANI.....</b>                                                             | <b>35</b> |
| 5.1 İzmir Limanı'na İlişkin Teknik Bilgiler .....                                       | 35        |
| 5.1.1 Liman kapasitesi .....                                                            | 35        |
| 5.1.2 Gemi yanaşma yeri .....                                                           | 36        |
| 5.1.3 Konteynır terminali.....                                                          | 36        |
| 5.2 İzmir Limanı'nda İthalat ve İhracat Faaliyetlerine Genel Bakış .....                | 37        |
| <b>6. İZMİR İLİ HAVA KİRLİLİĞİ .....</b>                                                | <b>39</b> |
| 6.1 İzmir'de Hava Kirliliği Kaynakları .....                                            | 40        |
| <b>7. GEMİ EGZOZ EMİSYON MİKTARLARININ HESAPLANMASI.....</b>                            | <b>43</b> |
| 7.1 Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Emisyonlarını Hesaplama Metotları .....                 | 43        |
| 7.2 İzmir Limanına Gelen Gemilerin Egzoz Gazı Emisyonlarının Hesaplanması               | 44        |
| 7.2.1 Emisyon tahmin metodunun uygulandığı alan .....                                   | 45        |
| 7.2.2 Hesaplanan emisyon çeşitleri .....                                                | 46        |
| 7.3 Egzoz Gazı Emisyon Tahmin Metodunun Uygulaması .....                                | 47        |
| 7.3.1 Seyirdeki egzoz gazı emisyonları .....                                            | 48        |
| 7.3.2.1 Manevrada oluşan egzoz gazı emisyonları.....                                    | 50        |
| 7.3.2.2 Rıhtımda oluşan egzoz gazı emisyonları .....                                    | 52        |
| 7.4 2007 Yılı İzmir Limanına Gelen Gemilerin Özellikleri.....                           | 53        |
| 7.4.1 Gelen gemilerin makine özellikleri .....                                          | 54        |
| 7.4.2 Kullanılan yakıtların özellikleri.....                                            | 55        |
| 7.4.3 Gemi ortalama seyir hızı.....                                                     | 55        |
| 7.4.4 Yük faktörleri.....                                                               | 56        |
| 7.5 2007 Yılında İzmir Limanına Gelen Gemilerden Yayılan Egzoz Gazı Miktarları .....    | 56        |
| 7.5.1 Gemilerin ana makinesinden yayılan egzoz gazı miktarları.....                     | 57        |
| 7.5.2 Gemilerin jeneratörlerinden yayılan egzoz gazı miktarları .....                   | 57        |
| 7.5.3 Gemilerden yayılan toplam egzoz gazı miktarları.....                              | 58        |
| 7.6 2007 Yılı İzmir Limanına Gelen Gemilerin Tiplerine Göre Egzoz Gazı Miktarları ..... | 59        |
| 7.6.1 Gemi tiplerine göre NO <sub>x</sub> emisyonu miktarları .....                     | 59        |
| 7.6.2 Gemi tiplerine göre SO <sub>2</sub> emisyonu miktarları .....                     | 60        |
| 7.6.3 Gemi tiplerine göre CO <sub>2</sub> emisyonu miktarları.....                      | 61        |
| 7.6.4 Gemi tiplerine göre HC emisyonu miktarları .....                                  | 62        |
| 7.6.5 Gemi tiplerine göre PM emisyonu miktarları.....                                   | 63        |
| 7.7 Gemi İşletme Modlarında Yayılan Egzoz Gazı Miktarları .....                         | 64        |
| 7.8 Farklı Limanlara Ait Gemi Egzoz Emisyon Miktarlarının İncelenmesi .....             | 65        |
| 7.9 Türk Limanlarına Ait Gemi Egzoz Gazı Miktarlarının İncelenmesi .....                | 65        |
| 7.10 İzmir'de Hava Kirletici Kaynaklarından Yayılan Egzoz Gazı Miktarları ....          | 66        |
| <b>8. SONUÇLAR .....</b>                                                                | <b>69</b> |
| 8.1 Genel Değerlendirme .....                                                           | 69        |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| 8.2 Öneriler.....      | 71        |
| <b>KAYNAKLAR .....</b> | <b>73</b> |
| <b>EKLER.....</b>      | <b>77</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>   | <b>79</b> |





## **KISALTMALAR**

|               |                                                                       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>IMO</b>    | : International Maritime Organization                                 |
| <b>MARPOL</b> | : International Convention for the Prevention of Pollution from Ships |
| <b>SECA</b>   | : Sulphur Emission Control Area                                       |
| <b>EPA</b>    | : United States Environmental Protection Agency                       |
| <b>GK</b>     | : General Kargo                                                       |
| <b>KTNER</b>  | : Konteynır gemisi                                                    |
| <b>YG</b>     | : Yolcu gemisi                                                        |
| <b>KMY</b>    | : Kimyasal Tanker                                                     |
| <b>TK</b>     | : Tanker                                                              |
| <b>KRUVZ</b>  | : Kruvaziyer                                                          |
| <b>MDO</b>    | : Marine Distile Oil                                                  |
| <b>HFO</b>    | : Heavy Fuel Oil                                                      |
| <b>kW</b>     | : Kilo watt                                                           |
| <b>ppm</b>    | : Parts per million                                                   |
| <b>km</b>     | : Kilometre                                                           |
| <b>gr</b>     | : Gram                                                                |
| <b>Mt</b>     | : Milyon ton                                                          |
| <b>GT</b>     | : Groston                                                             |
| <b>µm</b>     | : Mikron                                                              |



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 3. 1 : Düşük devirli dizel motorundan yayılan egzoz gazları ve miktarları.              | 16 |
| Çizelge 3. 2 : Gemilerde kullanılan yakıtlardaki kükürt oranları. ....                          | 18 |
| Çizelge 3. 3 : Gemide kullanılan yakıtların özellikleri.....                                    | 24 |
| Çizelge 4. 1 : Belçika Limanlarına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları.              | 29 |
| Çizelge 4. 2 : IMO MARPOL Ek 6, NOx Limitleri. ....                                             | 31 |
| Çizelge 4. 3 : ABD'deki gemiler için egzoz gazı emisyon limitleri.....                          | 32 |
| Çizelge 5. 1 : 1992-2009 Yılları arasında İzmir Limanına ait istatistiksel veriler. ....        | 38 |
| Çizelge 6. 1 : 2000 Yılından 2009 Yılına kadar İzmir ili nüfus artışı. ....                     | 39 |
| Çizelge 6. 2 : İzmir ili hava kirletici kaynaklarından yayılan egzoz gazı emisyonları.<br>..... | 40 |
| Çizelge 7. 1 : Her gemi işletme modu için mesafeler.....                                        | 46 |
| Çizelge 7. 2 : Hesaplanan egzoz gazı emisyon çeşitleri. ....                                    | 46 |
| Çizelge 7. 3 : Seyirde gemi tipine göre emisyon faktörleri. ....                                | 50 |
| Çizelge 7. 4 : Manevrada gemi tipine göre emisyon faktörleri. ....                              | 52 |
| Çizelge 7. 5 : Rıhtımda gemi tipine göre emisyon faktörleri. ....                               | 53 |
| Çizelge 7. 6 : 2007 Yılı İzmir Limanına gelen gemilere ait ortalama değerler. ....              | 54 |
| Çizelge 7. 7 : Gemilerde kullanılan ana makine tipleri ve devir sayıları. ....                  | 55 |
| Çizelge 7. 8 : İzmir Limanına gelen gemilerin ortalama seyir hızları. ....                      | 56 |
| Çizelge 7. 9 : İşletme modlarına göre ana makine ve jeneratöre ait yük faktörleri. ..           | 56 |
| Çizelge 7.10 : Gemi işletme modlarına göre ana makinelere ait egzoz gazı miktarları.<br>.....   | 57 |
| Çizelge 7. 11 : Gemi işletme modlarına göre jeneratörlere ait egzoz gazı miktarları             | 57 |
| Çizelge 7. 12 : Gemi işletme modlarına göre toplamda yayılan egzoz gazı miktarları<br>.....     | 58 |
| Çizelge 7.13 : İzmir limanı ile diğer limanlara ait gemi egzoz gazı miktarları .....            | 65 |
| Çizelge 7.14 : İzmir limanı ile Diğer Türk limanlarına ait gemi egzoz gazı miktarları<br>.....  | 66 |
| Çizelge 7.15 : İzmir ili hava kirletici kaynaklarından yayılan egzoz gazı miktarları            | 66 |



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 5.1 : İzmir Limanına ait teknik çizim.....                             | 37 |
| Şekil 7.1 : Kullanılan gemi emisyon hesaplama metodunun akış diyagramı. .... | 45 |
| Şekil 7.2 : Egzoz gazı emisyonlarının hesaplandığı alan. ....                | 46 |
| Şekil 7.3 : Gemi tiplerine göre oluşan NOX emisyonu miktarları .....         | 59 |
| Şekil 7.4 : Gemi tiplerine göre oluşan SO2 emisyonu miktarları.....          | 60 |
| Şekil 7.5 : Gemi tiplerine göre oluşan CO2 emisyonu miktarları .....         | 61 |
| Şekil 7.6 : Gemi tiplerine göre oluşan HC emisyonu miktarları .....          | 62 |
| Şekil 7.7 : Gemi tiplerine göre oluşan PM emisyonu miktarları .....          | 63 |
| Şekil 7.8 : Gemi işletme modlarına göre yayılan egzoz gazı miktarları.....   | 64 |



## SEMBOL LİSTESİ

|                                    |                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------|
| <b>CO<sub>2</sub></b>              | : Karbondioksit                       |
| <b>CO</b>                          | : Karbon monoksit                     |
| <b>NO<sub>x</sub></b>              | : Azot oksit                          |
| <b>N<sub>2</sub>O</b>              | : Diazot mono oksit                   |
| <b>NO<sub>2</sub></b>              | : Azot dioksit                        |
| <b>SO<sub>2</sub></b>              | : Kükürt dioksit                      |
| <b>CFC</b>                         | : Kloroflorokarbon                    |
| <b>HCFC-H</b>                      | : Hidrokloroflorokarbon               |
| <b>NMVOC</b>                       | : Non-metan volatile organik compound |
| <b>PM</b>                          | : Particulate matter                  |
| <b>H<sub>2</sub>S</b>              | : Hidrojen Kükürt                     |
| <b>PAN</b>                         | : Peroksit Asetik Nitrat              |
| <b>PBN</b>                         | : Peroksit Benzol Nitrat              |
| <b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b> | : Kükürtik Asit                       |





## **İZMİR LİMANINA GELEN GEMİLERİN OLUŞTURDUĞU EGZoz GAZI EMİSYONLARININ İNCELENMESİ VE ÇEVRESEL ETKİLERİ**

### **ÖZET**

Hava kirliliğinin en önemli etkileri; küresel ısınma, ozon tabakasının kalınlığının azalması, asit yağmurları ve canlılar için yaşamsal önemi olan hava kalitesindeki bozulmadır. Hava kirlenmesine neden olan egzoz gazı emisyonlarının en önemli kaynaklarından biri gemi oluşumlu egzoz gazı emisyonlarıdır. Önemle belirtildiğinde, gemi egzoz gazı kirleticilerinin insan nüfusu üzerinde direkt etkisi vardır.

Türkiye'nin en önemli ihracat limanlarından biri olan İzmir Limanı, egzoz gazı emisyonlarını hesaplamak için seçilmiştir. İzmir limanını seçmekteki başlıca neden, İzmir limanına gelen gemilerin, gemi egzoz gazı emisyonlarını hesaplamak için geçmişte kullanılmamasıdır. Gemi aktivitesi bazlı yöntemi İzmir limanına gelen gemiler için uygulanmıştır. Temel gemi egzoz gazı kirleticilerinin ( $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , HC ve PM) seyirde, manevrada ve rıhtımdaki miktarlarını hesaplamak için kullanılmıştır. Bu çalışmada gemi egzoz emisyonlarını hesaplamada kullanılan; ana makine güçleri, jeneratör güçleri ve limanda kalma süreleri gibi veriler, İzmir limanına gelen gemilere ait gerçek değerlerdir. Bu yöntemle dayanarak, gemi tiplerine göre,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , HC ve PM miktarları elde edilmiştir ve ana makine ile jeneratörlerden yayılan egzoz gazı kirleticileri gemi tiplerine göre hesaplanmıştır.

İzmir Limanına gelen gemilerin seyirdeki, manevradaki ve rıhtımda yaydıkları egzoz gazı emisyon miktarları bulunmuş ve gemi işletme modlarına göre ana makineden ve jeneratörlerden yayılan toplam egzoz gazı miktarları hesaplanmıştır. Buna ilaveten, gemi tiplerine göre azot oksit, sülfür oksit, karbondioksit, hidrokarbon ve parçacık madde miktarları elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, gemilerin ve kara kaynaklarının oluşturduğu egzoz kirleticileri miktarlarını içeren diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki bulgular, İzmir limanına gelen gemilerin, İzmir ve çevresi için önemli havayı kirleten sebeplerden olduğunu açığa

ıkarmıştır. Bu çalışmanın gerçek verileri ile sonuçları, İzmir ili için gemi egzoz gazı emisyonlarını hesaplama çalışmalarında kullanılabilir.

# **INVESTIGATION OF EXHAUST GAS EMISSIONS OF SHIPS CALLING İZMİR PORT AND THEIR ENVIRONMENTAL IMPACTS**

## **SUMMARY**

The most important impacts of air pollution are global warming, reduction of ozone layer thickness, acid rains and the corruption of air quality that is vital meaning for creatures. One of the most significant air pollution sources are ship-generated emissions. It is important to note that ship exhaust gas pollutants have a direct effect on the human population.

The İzmir Port, which is one of the important export ports in Turkey, is selected for estimating the amounts of exhaust gas emission. The main reason for selecting the İzmir Port is that the ships calling the İzmir Port were not utilized for calculating the ship emissions in the past. The ship activity-based methodology was applied for the ships calling the İzmir Port. It is used for estimating the amounts of the main ship exhaust pollutants (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HC and PM) while navigating, maneuvering and berthing .

The data used in this study for estimating ship exhaust emissions are like main engine powers, generator powers and ships' duration time in the berth were actual values for the ships calling the İzmir Port. Based on this methodology, according to ship type, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HC and PM amounts derived and total exhaust pollutants emitting from main engine and generators calculated according to ship operational modes.

The outcomes of this study are compared with the other studies including amounts of exhaust pollutants generated by ships and land sources. According to the findings of this study, it is clear that the ships calling the İzmir Port are important air polluting causes of the İzmir city and its surroundings. The actual data and with results of this study, can be used in estimating ship exhaust emissions studies for the İzmir city.



## 1. GİRİŞ

20.Yüzyılla başlayan Dünyadaki kentleşme ve sanayileşme artışı; büyük şehirlerdeki çevre kirliliği sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Çevre kirliliğinin en önemli etkileri; küresel ısınma, ozon tabakasının delinmesi, asit yağmurları ve canlılar için yaşam kaynağı olan soluduğumuz havanın kirlenmesidir. Hava kirliliğinin sebebi, kara kaynaklı olarak nitelendirilen konutlar, sanayi tesisleri ve motorlu taşıtlarından yayılan egzoz gazlarıyla son yıllarda önemli kirletici olarak kabul edilen gemilerden yayılan egzoz gazlarıdır.

Gemilerden yayılan egzoz gazlarının önemi, 20.Yüzyılın sonlarında dünya ticaretinin hızlı büyümesi sonucunda gemi taşımacılığındaki hızlı ilerlemedir. Havayolu ve karayolu taşımacılığına göre tek seferde daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olan gemi ile taşımacılık daha fazla tercih edilmektedir. Günümüzde gemi inşa endüstrisindeki teknolojik gelişmelerle sonucunda, gemiler daha büyük tonajda ve hızda üretilebilmektedir. Gemi boyutlarında ve hızındaki artış, gemiye hareket veren pervaneyi daha verimli döndürebilmek için daha güçlü ana makineler dizayn edebilmekle mümkün olmuştur. Gemi ana makineleri gücündeki artışla, gemiler daha fazla yükü daha hızlı taşımalarına rağmen oluşturdıkları egzoz gazı emisyonlarının miktarlarını da artırmıştır.

Gemilerin önemli hava kirletici kaynakları, ana makineler ve jeneratörlerdir. Ana makinelerin fonksiyonu gemi pervanesini döndürerek gemiye hareket vermek olup jeneratörlerde geminin ihtiyacı olan elektriği üretmektir. Gemi ana makineleri ve jeneratörleri genellikle dizel makinesidir. Ana makinelerde, molekül yapısı büyük olan ağır yakıtlarla, ağır yakıtlardan daha küçük molekül yapısına sahip olan hafif yakıtlar kullanılır. Jeneratörlerde ise çoğunlukla hafif yakıtlar kullanılır. Ağır yakıtların gemilerde tercih edilmesinin en önemli sebebi ekonomik değeri en düşük yakıt olmasıdır. Ağır yakıt molekülleri, fazla sayıda hidrojen karbon bağları içerdiği için, yanma reaksiyonlarında bu bağların parçalanması için daha fazla oksijen atomuna ihtiyaç vardır. Hidrokarbon molekül yapısının, yanma sonucunda oluşturacağı egzoz gazı miktarları da fazladır. Molekül yapısında daha az

hidrokarbon bağı içeren hafif yakıtlardan yanma reaksiyonları sonucu oluşan egzoz gazı miktarları da, ağır yakıtlar kadar fazla değildir.

Gemiden yayılan egzoz gazı miktarları, aynı makine gücüne sahip uçak, tır ve diğer ulaşım araçlarından yayılan egzoz gazı miktarlarından daha fazladır. Bunun temel sebebi, uçak, tır, ve otomobilde kullanılan yakıtlar daha küçük hidrokarbon molekül yapısına sahip olmalarıdır.

Gemilerin ana makinelerinin güçlerindeki artıştan dolayı, dizel makinelerinin yakıt tüketimleri artmıştır. Artan yakıt tüketimleri sonucunda, gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları artmıştır. Gemi kaynaklı egzoz gazı emisyonlarını azaltmak için Uluslar arası Denizcilik Örgütü (IMO)'nun belirlediği kurallar çerçevesinde sınırlamalar getirilmiştir. Dizel makinelerinin egzoz gazı emisyonlarını azaltmak için IMO MARPOL Ek 6'nın Kural 13'de NO<sub>x</sub> emisyonlarına sınırlamalar getirilmiştir. Bu sınırlamalar sayesinde, dizel makinelerinde günümüzde uygulanan teknolojik gelişmelerle NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı azaltılmaya çalışılmaktadır. IMO MARPOL Ek 6'nın Kural 14'üncü maddesi gereği gemilerde kullanılan yakıtın içerisindeki kükürt miktarı maksimum % 4,5 olacak şekilde yasal düzenlemeler getirilmiştir.

Gemilerden yayılan egzoz gazları, okyanuslardan, denizlerden rüzgarın etkisiyle karada yaşayan canlılar ve insanlara kadar ulaşarak zararlı etkileri olmaktadır. Fakat gemi egzoz gazı emisyonlarının daha çok etkili olduğu bölgeler; daha çok liman bölgelerinde, kanallarda, iç sulardır. Gemilerin limanlarda ve karaya yakın sularda oluşturduğu egzoz gazları ,o bölgedeki insanların sağlığına zararlı etkileri olabilmektedir. Bu zararlı etkiler, insanlarda solunum yolu rahatsızlıklarının artmasına neden olmakla birlikte, çocuklarda akciğer fonksiyonlarında azalmaya ve prematüre bebek ölümlerinde artışa neden olmaktadır. Ayrıca solunum yolu rahatsızlıklarından dolayı hastaneye başvuran insan sayısı da artmakta ve bunun sonucunda ekonomik olarak iş kaybı oluşmaktadır.

Limanlara gelen gemilerin oluşturduğu egzoz gazları miktarı, o bölgede yaşayan insanlara olan etkisi ortaya çıkarılması açısından önemlidir. Egzoz gazları miktarlarını tahmin edebilmek için emisyon hesaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Gemilerin harcadıkları yakıt miktarına ve aktivitelerine göre egzoz gazı emisyon miktarları hesaplanabilmektedir. Egzoz gazı emisyon hesaplama sonuçlarının değerlendirilmesi, önceki yıllara ait değerler ve diğer limanlarda oluşan emisyon

miktarlarıyla karşılaştırılarak yapılmaktadır. Gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları her yıl için düzenli olarak hesaplanması, egzoz gazı miktarları veri tabanının oluşması sağlanır.

Bu çalışmada, Türkiye'nin en önemli ihracat limanlarından İzmir Limanına gelen gemilerin ana makine güçleri, devirleri ve jeneratörlerinin güçlerine ait gerçek değerler kullanılarak, limana gelen gemilerden yayılan azot oksitler ( $\text{NO}_x$ ), karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ), kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ), hidrokarbon (HC) ve parçacık madde (PM) emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplama yönteminde İzmir Limanına gelen gemilerin ana makine güçleri, jeneratör güçleri ve limanda kalma süreleri için gerçek değerler kullanılarak gelen gemilerin seyirde, manevrada ve rıhtımda yaydıkları egzoz gazı miktarları hesaplanmıştır. Gemi tiplerine göre egzoz gazı dağılımı ile ana makineden ve jeneratörlerden yayılan egzoz gazı miktarları hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda bulunan egzoz gazı miktarlarının, İzmir Limanına gelen gemilerin önemli bir hava kirletici kaynağı olduğu ortaya konulmuştur.





## 2. HAVA KİRLİLİĞİ

Sanayi devrimiyle başlayan ve fosil yakıt tüketiminin artışına paralel olarak artan hava kirliliği problemleri günümüzde küresel ölçekte yaşanan bir çevresel problem haline gelmiştir. Atmosferdeki miktarları sürekli artan hava kirleticiler, dünyamızın en önemli sorunu olan iklim değişikliği ve kuraklık sorununa neden olmuşlardır. Kirletici kaynaklarına ve coğrafi konumlarına göre dünyanın değişik bölgeleri, bu sorunu farklı boyutlarda yaşamaktadır [1].

Hava kirliliği, atmosferdeki bir veya daha fazla kirleticinin insan, bitki ve hayvan yaşamına; ticari veya kişisel eşyalara ve çevre kalitesine zarar veren miktar ve sürelerde bulunması olarak tarif edilebilir [1]. Hava kirletici kaynaktan doğrudan doğruya çıkan; kükürt dioksit ( $\text{SO}_2$ ), hidrojen kükürt ( $\text{H}_2\text{S}$ ), azot monoksit ( $\text{NO}$ ), azot dioksit ( $\text{NO}_2$ ), karbon monoksit ( $\text{CO}$ ), karbon dioksit ( $\text{CO}_2$ ), hidrojen florür ( $\text{HF}$ ) gibi gazlar ve toz (duman, metalik duman, uçucu kül, sis) halindeki partiküller, birincil hava kirleticiler olarak tanımlanır. Atmosferde sonradan oluşan kükürt trioksit ( $\text{SO}_3$ ), sülfürik asit ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), ozon ( $\text{O}_3$ ), aldehitler, ketonlar, asitler endüstriyel duman gibi bileşikler de ikincil hava kirleticileri olarak tanımlanmaktadır [1].

Hava kirletici gazların etkileri; küresel boyutta, bölgesel ölçekte ve yerel ölçekte olmak üzere genel olarak üç kategoride incelenmektedir [1]. Örneğin, yeryüzünün tümünü etkileyen sera etkisi ve ozon tabakasının incelmesi gibi olaylar küresel boyuttaki etkilerdir. Dünyadaki belirli bölgelere tesir eden asit yağmurları ise hava kirliliğinin bölgesel ölçekteki etkilerindendir. Hava kirliliğinin yerel ölçekteki etkileri ise yerleşim ve sanayi bölgelerinde görülen hava kirliliğidir.

Hava kirliliğinin, başta insan sağlığı olmak üzere, bitkiler ve hayvan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. Ayrıca, sanatsal ve mimari yapılar üzerinde tahrip edici ve bozucu etkisi de vardır. Bitkiler üzerinde ise öldürücü ve büyümelerini engelleyici olabilmektedir. Bu nedenle hava kirliliği, hem canlıların sağlığı açısından hem de ekonomik yönden zarar vericidir. Hava kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri, atmosferde yüksek miktardaki zararlı maddelerin solunması sonucu ortaya çıkar. Havanın doğal yapısını bozan ve kirleten maddelerin solunması, özellikle akciğer

dokularını tahrip edici ve öldürücü olabilmektedir. Solunum yolu ile hava içerisindeki parçacıklar ve duman, teneffüs esnasında yutulur ve akciğere kadar ulaşır. Solunum sisteminin derinliklerinde depolanan bu parçacıklar, akciğer kanserlerine kadar varan hasarlar yapabilmektedir. Diğer taraftan kömür ve diğer yakıtların yanmasından oluşan duman ve isin; astım, çeşitli burun ve boğaz hastalıkları özellikle solunum yolları ile ilgili hastalıklara sebep olabilmektedir. Şiddetli hava kirliliğine maruz kalınması durumunda, bunun insan sağlığına olan etkisi ile hava kirliliğinin düşük miktarlarına, uzun zaman maruz kalmanın etkileri farklı olmaktadır.

Hava kirliliğinin zararlarını ortaya çıkartmak ve olumsuz etkilerini önleme çalışmalarında her ülke ilk adım olarak, atmosfere salınan egzoz gazı emisyonlarının miktarını belirleyebilmek için envanter hazırlamaktadır. Egzoz gazı emisyon envanteri, hava kalitesinin durumunun belirlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Yöntemin maliyeti, kirleticili kaynağında veya dış ortamda yapılan ölçümlere göre oldukça düşük olduğundan tercih edilmektedir. Egzoz gazı emisyon envanteri, uygun emisyon faktörlerinin ve aktivite istatistiklerinin belirlenmesiyle kolaylıkla hazırlanabilmektedir.

## **2.1 Hava Kirliliği Kaynakları**

Hava kirleticili kaynakları doğal ve insan faaliyetleri sonucu meydana gelen kaynaklar olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. Hava kirleticilerinin doğal kaynakları; bitkilerin oluşturduğu tozlar (çiçek tozu zerreleri, mantar sporları), deniz ve okyanuslarda oluşan tuz spreyleri, orman yangını sonucu oluşan dumanlar ve volkanik olaylarda ortaya çıkan ince tozlardır. Doğal olarak ortaya çıkan gaz halindeki kirleticilere örnek olarak da karboksil hemoglobinin ayrışmasından meydana gelen CO, kükürt (S) içeren amino grubu asitlerinin bakteri faaliyetleri ile ayrışması sonucu meydana gelen H<sub>2</sub>S, azot oksitler ve metil gazları örnek olarak gösterilebilir [1].

İnsan faaliyetleri neticesi ortaya çıkan kirleticiler, ısınmadan (katı, sıvı, gaz sobaları, kombi ve kalorifer kazanları), ulaşım vasıtalarından (uçaklar, motorlu taşıtlar, demiryolları ve gemiler) ve sanayi kuruluşlarından (termik santraller, endüstriyel süreçler ve katı atık yakma tesisleri) kaynaklanır. Isınma araçlarından kaynaklı kirleticili emisyonlar, parçacık halindeki kirleticiler olup uçucu küller, yanma dumanları, kükürt ve azot oksitlerden oluşur. Isınma araçlarından meydana gelen

kükürt oksitler, kullanılan yakıttaki kükürt miktarının bir fonksiyonudur. Hava kirlenmesine sebep olan kükürt bileşiklerinden en önemlisi  $\text{SO}_2$  gazıdır. Bununla beraber  $\text{SO}_2$  gazı atmosferdeki çeşitli kükürt bileşenlerinden sadece bir tanesidir. Kükürt bileşenleri arasında,  $\text{H}_2\text{S}$  gazı, asit aerosoller ve diğer aerosol formundaki sülfat tuzlarıdır. Azot oksitler yüksek sıcaklıkta atmosferdeki azotun ısı olarak bağlanması sonucunda ortaya çıkar. Azot atomları oksijen atomları ile birleşerek sekiz türlü azot oksit yapabilir. Bunlardan sadece  $\text{N}_2\text{O}$  ve  $\text{NO}_2$  gazları miktarları atmosferde fark edilir büyüklükte olup temel kirlenme meydana getiren emisyonlar ise sadece  $\text{NO}$  ve  $\text{NO}_2$  molekülleridir. Özellikle yüksek sıcaklık ve basınçtaki yanmalar atmosferik azotu  $\text{NO}$  haline dönüştürür [1].  $\text{NO}$ , oksijenle yavaşça tepkimeye girerek veya hızlı bir şekilde ozon ( $\text{O}_3$ ) ile oksitlenerek  $\text{NO}_2$  haline gelir. Isınma sonucu meydana gelen diğer kirleticiler; organik asitler, aldehytler, amonyak ( $\text{NH}_3$ ) ve karbon monoksittir [1].

Ulaşım araçlarının sebep olduğu en önemli kirleticiler egzoz gazlarıdır. Otomobillerin sebep olduğu parçacık halindeki egzoz gazları, duman ve kurşun zerreciklerinden oluşur. Duman, motordaki yetersiz oksijen neticesinde oluşan eksik yanmanın ürünü olarak meydana gelir. Kurşun emisyonları da doğrudan, benzine yanma vuruntusunu önleyici olarak karıştırılan “kurşun tetraetil” den dolayı ortaya çıkmaktadır. Ulaşım vasıtalarının sebep olduğu gaz halindeki kirleticiler,  $\text{CO}$ ,  $\text{NO}_x$  ve  $\text{HC}$  gazlarından oluşur.  $\text{HC}$  gazı motordaki eksik yanmadan, karbüratördeki ve yakıt deposundaki buharlaşmadan ileri gelmektedir. Ulaşım araçları içinde gemiler, egzoz gazı oluşturma miktarı açısından önemli yer tutar. Gemide kullanılan yakıtların atık yakıtlar olması ve gemilerin yakıt sarfiyatlarının yüksek olması, egzoz emisyonu oluşumunu artıran etkenlerdir.

## **2.2 Hava Kirletici Gazlar**

Hava kirlenmesine sebep olan gaz kirleticiler, normal sıcaklık ve basınç altında gaz formunda bulunan maddeler ile normal basınç ve sıcaklık altında katı veya sıvı halde bulunan maddelerin buharlarından meydana gelir. Gaz halindeki kirleticilerden en etkilileri;  $\text{CO}$ ,  $\text{HC}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{O}_3$  ve  $\text{SO}_x$  gazıdır. [1].

### 2.2.1 Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>)

Havada çok az oranda, yüzde sıfır ile on binde üç arasında, bulunmasına karşın miktarı ve değişkenliği nedeniyle CO<sub>2</sub> yaşamsal önemi olan bir gazdır [2]. Havadaki CO<sub>2</sub> miktarı karalar üzerinde denizlerdekinden fazladır ve karalar da özellikle şehirler civarında özellikle geceleri bu miktar daha da artar [2]. Çünkü şehirlerde insan ve diğer canlıların sayıları fazladır ve fabrika ve ev bacalarından çıkan CO<sub>2</sub> oranı yüksektir. Ayrıca volkanlardan, maden sularından da bir miktar CO<sub>2</sub> havaya karışır. Atmosfere karışan CO<sub>2</sub>' in yaklaşık %80–85'i fosil yakıtların (petrol ve türevleri, kömürlerin ve doğalgazın) kullanılması sonucunda atmosfere yayılmaktadır [2]. Bir yandan fosil yakıt kullanımının hızla artışı, öte yandan fotosentez için tonlarca CO<sub>2</sub> harcayan ormanların ve bitkisel planktonların tahribi, atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarını son 160 bin yılın en yüksek düzeyine ulaştırmıştır [2]. Bilimsel gözlemler 20.yüzyılın başlarında 290 ppm olan CO<sub>2</sub> derişiminin, 2006 yılında 381 ppm düzeyinde olduğunu ortaya koymuştur [2]. Aynı oran, 1750 tarihi temel alınarak hesaplanan endüstri devrimi öncesinde ise, ortalama olarak 100 ppm seviyesindeydi. 21.yüzyılın sonunda ise 500 ppm'e çıkacağı tahmin edilmektedir [2]. Son 20 yıldır, atmosfere salınan insan kaynaklı CO<sub>2</sub> gazının yaklaşık dörtte üçü fosil yakıtların yanmasından, geri kalanı da arazi kullanımı değişikliği ve özellikle ormanların yok edilmesinden kaynaklanmıştır. Son yirmi yılda, atmosferdeki CO<sub>2</sub> gazının yıllık artışı % 0,4 olmuş, 1990'dan sonra ise yıllık artış % 0,2 ile % 0,8 arasında değişmiştir [2]. Atmosferde bulunan CO<sub>2</sub> derişimi, fosil kaynaklı yakıtların yanması sonucunda her yıl 2,3 ppm kadar artmaktadır [2]. Bunun üçte biri okyanus veya derin su kaynaklarınca ve bitkiler tarafından alınarak atmosferden uzaklaştırılmaktadır. Geri kalan 1,5 ppm ise atmosferdeki CO<sub>2</sub> derişimi ilave olmaktadır [2]. Bu miktarda atmosferin ısınmasına neden olarak sera etkisini her geçen gün biraz daha arttırmaktadır. Yapılan ölçümler, bu artışın devam ettiğini göstermektedir. Geliştirilen matematiksel bilgisayar modellere göre, CO<sub>2</sub> yoğunluğunun iki katına çıkması halinde küresel sıcaklığın ortalama 3°C artacağı hesaplanmıştır [3]. Bu nedenle, küresel ısınmaya karşı alınacak önlemlerin başında CO<sub>2</sub> miktarının azaltılması gelmekte ve bu hususta uluslararası düzeyde çabalar harcanmaktadır.

CO<sub>2</sub> kirletici değil ise de, atmosferdeki derişimi senede 0,7 ppm seviyesinde artması, bu fazın muhtemel etkilerinin dikkate alınmasını gerektirmiştir [3]. Günümüze kadar

bilinen en önemli etkisi, güneş enerjisini emerek ederek atmosferdeki ısının artmasına sebep olmasıdır.

### **2.2.2 Karbon monoksit (CO)**

CO gazı, karbon içeren yakıtların eksik yanması (yanma reaksiyonlarında oksijenin azlığı) ile ortaya çıkan kokusuz ve tatsız bir gazdır. Birincil bir hava kirletici olan CO gazı, oksijen eksikliği sonucunda tam olmayan bir yanma sonucunda CO<sub>2</sub> gazı yerine meydana gelmektedir [4]. Kararlı bir gaz olan CO' in atmosferde kalıcılık süresi 2 aydan fazladır. Bütün dünyada CO gazı üretiminin yılda toplam 232 milyon ton seviyelerinde olduğu göz önüne alındığında bu miktarın dünya atmosferi için yarattığı sorun daha da belirgin olmaktadır [4]. Dünyadaki CO gazı emisyonlarının %70'inden fazlasının ulaştırma sektöründen gelmektedir [4]. Ayrıca, bütün dünyada CO gazı emisyonlarının atmosferin alt tabakalarında kalmasıyla, bu kararlı gazın her yıl 0,03 ppm miktarında artacağı hesaplanmaktadır [4]. Şehir havasını kirleten CO gazı, insan sağlığına son derece önemli etkilerde bulunmaktadır. Bu etkilerden en önemlisi de CO gazının kandaki vücut hücrelerinin oksijen taşıma kabiliyetini azaltmasıdır [5].

### **2.2.3 Kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>)**

Gaz halindeki kirleticiler arasında yanıcı olmayan renksiz bir gaz olan SO<sub>2</sub>, en önemli birincil hava kirleticilerdendir. Atmosferde kalıcılık süresi 40 günü bulmakta olup çoğunlukla fosil yakıtların yanması sonucunda meydana gelirler. SO<sub>2</sub>'in %80'inden fazlasının endüstriyel kaynaklardan meydana geldiği tahmin edilmektedir [6]. Bu emisyonların dünya üzerindeki durumuna bakıldığında en büyük payın Avrupa ile Kuzey Amerika olduğu görülür [6].

SO<sub>2</sub>'nin sayısal değerleri incelendiğinde, bütün dünyada her yıl salınan küresel emisyonların 132 Mt, insanların oluşturduğu emisyonların ise 50–75 Mt bulduğu tahmin edilmektedir [6]. Avrupa'da ise her yıl yaklaşık 20 milyon tonun üzerinde kükürdün salındığı bilinmektedir [7]. Batı Avrupa'da en büyük salınım yapan ülke ise 2.56 Mt ile İngiltere'dir [7].

1978 yılında 28,816 Mt, 1980 yılında 27,897 Mt olarak hesaplanan emisyonlar 1990 yılında 22,025 milyon tona düşmüştür [7]. Bu durum büyük ölçüde Avrupa Topluluğu ülkelerinin 1970'li yılların sonlarından itibaren uyguladığı emisyon

gazları stratejileri sonucunda meydana gelmiştir. Örneğin İngiltere, Avusturya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Almanya gibi ülkeler emisyonlarını aldıkları kararlar uyarınca indirmek için uğraşmışlardır. A.B.D ise günümüzde sadece New York şehrinde yılda 1,5 Mt kükürdün toplamda ise yılda yaklaşık 26 Mt kükürt atmosfere bırakılmaktadır. İngiltere’de ise yılda yaklaşık 6 Mt SO<sub>2</sub> ve tüm dünyada da yılda yaklaşık 80 Mt SO<sub>2</sub> atmosfere salınmaktadır [5]. Bu durum, dünya SO<sub>2</sub> derişimi her yıl 0,006 ppm olarak artırmaktadır [5]. SO<sub>2</sub>’in yağış yolu ile ancak 43 günlük bir süre içerisinde atmosferden uzaklaştırılmaktadır [5].

#### **2.2.4 Metan (CH<sub>4</sub>)**

CH<sub>4</sub>, genellikle insan aktivitelerinden oluşan önemli bir gazdır. Bu gaz, organik artıkların oksijensiz ortamda ayrışması sonucunda meydana gelmektedir. Başlıca kaynakları; pirinç tarlaları, çiftlik gübreleri, çöp yığınları bataklıklar ve bazı canlılardır. CH<sub>4</sub> gazının ömrü 10 yıl civarında olmasına rağmen molekül başına CO<sub>2</sub> gazına nazaran 32 defa daha fazla sera gazı etkisi göstermektedir [7]. CH<sub>4</sub> gazının küresel iklim değışimindeki etki payı % 13 kadardır [7]. CH<sub>4</sub> gazı derişimini azaltan başlıca etken, bu gazın troposferdeki radikalleri ile reaksiyonları olup, CH<sub>4</sub> gazı bu reaksiyonlar sonucunda CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O’ya dönüşür [7].

#### **2.2.5 Azot Oksitler (NO<sub>x</sub>)**

Azot oksitlerden NO, renksiz, kokusuz bir gaz olup yüksek sıcaklık altında yanma işlemi sonucunda ortaya çıkar ve yanmanın tüm şekillerinde daima meydana gelmektedir. İnsan kaynaklı NO<sub>x</sub> ise gübreleme gibi hareketsiz kaynaklardan ve araçlar gibi hareketli kaynaklardan da oluşmaktadır. Genel olarak NO<sub>x</sub>’erin kaynakları egzoz gazları, fosil yakıtlar ve organik maddeler olarak sıralanabilir. NO ve NO<sub>2</sub> şeklindeki atmosferik derişimlerin birleşik değeri NO<sub>x</sub> ile temsil edilmektedir. Atmosferde kalıcılık süresi yaklaşık 1 gündür [3]. Ancak NO<sub>x</sub> bileşenlerinden NO<sub>2</sub>’nin atmosferde çok daha uzun süreler kaldığı belirlenmiştir [8]. NO<sub>2</sub> gazının atmosferik ömrü yüzyıldan fazladır [3]. Küresel iklim değışimindeki payı % 5 olarak tahmin edilmektedir [8]. Atmosferde doğal olarak başlıca oluşumu, azot çevriminin bir parçası olarak toprakta ve sudaki mikrobiyolojik hareketlerle olmaktadır. NO<sub>2</sub> derişimini azaltıcı başlıca etkenler, atmosferin stratosfer katmanında oksijenle reaksiyona girmesidir. NO<sub>x</sub>’in en doğal kaynaklarından biri de topraktaki organik çürümelerdir. Ayrıca fotokimyasal olarak reaksiyona giremeyen NO<sub>x</sub>

bileşenleri de bu miktarlar arasında dâhil olacaktır. NO<sub>2</sub> seviyelerinin standartları aşan değerlerinin sağlığa olan ters etkilerinin yanı sıra bu kirleticilerin SO<sub>2</sub> ile birlikte yüksek miktarlarda bulunması, insan sağlığına yaptığı olumsuz etkiyi daha da şiddetlendirmektedir. Global olarak her yıl atmosfere yaklaşık 150 milyon ton NOx' un salındığı hesaplanmaktadır [5]. Bu miktarın yaklaşık yarısı doğal kaynaklardan yarısı da insani kaynaklardan gelmektedir. Ek olarak NOx' in doğal kaynakları arasında orman yangınları, yıldırım ve topraktaki mikrobiyolojik süreçler göz önüne alınmalıdır.

#### **2.2.6 Klorofloro karbon Gazları (CFCs)**

Klorofloro karbon gazları, atmosfere parfümlerde, bilgisayar temizleyicilerinde, soğutucu aletlerde kullanılan gazlardan yayılırlar. Bu gazların atmosferde bozulmadan 100 yıl kalabilmektedirler [5]. Başlıca kloroflorokarbonlar CFC-11 ve CFC-12 olup doğada kendiliğinden oluşmazlar. [5]. CFC gazlarının çözünürlüğünü doğada azaltan herhangi bir etken yoktur. Küresel iklim değişimindeki payları %22 oranındadır [5]. CFC emisyonlarının cilt kanserlerinde dramatik artışlara, iklim de ise önemli değişikliklere yol açtığı bilinmektedir [7]. CFC gazlarına alternatif malzeme olarak flor ve klor yanı sıra hidrojen içeren hidrokarbon gazları, propan, bütan gibi gazlar kullanılmaktadır.

#### **2.2.7 Hidrokarbonlar (HC )**

Hidrokarbonlar, kömür, petrol, doğal gaz ve benzinin yanmasından, ayrıca da endüstriyel çözücülerden meydana gelmektedir. Bu insan kaynaklı emisyonlara dünya genelinde 100 milyon ton olarak değer biçilmektedir ve bu emisyonların doğal kaynakların sadece yirmide birini oluşturduğu tahmin edilmektedir [5]. Dünya genelinde sadece bataklıklardan çıkan hidrokarbon emisyonları yılda yaklaşık 2 milyar tona ulaşmaktadır [5]. Ayrıca, doymamış hidrokarbonlar ve aromatiklerin, duman olayının meydana gelmesinde büyük önemi vardır. Hidrokarbonların atmosferde kalıcılık süresi tam olarak bilinmemektedir.

#### **2.2.8 Parçacık Maddeler (PM )**

Parçacıkların, hava kirleticiler içerisinde önemli bir yere sahiptir. Parçacık madde tanım olarak, atmosferde standart şartlarda katı ya da sıvı olarak bulunan birleşmemiş su dışındaki maddelere denilir. Bunlar 0,1 ile 100 µm arasında değişen

ölçülerde bulunurlar. Parçacıkların başlıca kaynaklarını çimento fabrikaları, metal endüstrisi ile araçlar oluşturur. Volkanlar ise parçacık emisyonları bakımından en önemli doğal kaynaktır. Amerika’da yapılan istatistikler sadece endüstriyel süreçlerden meydana gelen parçacık emisyonlarının yılda 7,5 milyon ton olduğunu göstermiştir [8]. Ek olarak orman yangınları sonucu meydana gelen parçacık emisyonlarının tüm emisyonlar içerisinde %25 olduğunu belirtmiştir. Kömür yanması ise parçacık emisyonlarını %29’una karşı gelmektedir [8].

### 2.2.9 Ozon ( O<sub>3</sub> )

Yer yüzeyinden 25-40 km yükseklikte bulunan, stratosfer tabakasındaki ozon, bir doğal filtre görevi yaparak canlıların hayatı için zararlı olan güneşin kısa dalga boylu morötesi yani ultraviyole ışınlarını emer ve yeryüzüne olan etkisini engellemektedir

Hidrojen, azot ve klor oksitleri gibi aktif hale gelebilen kimyasal elementlerin stratosferde bulunması durumunda ise O<sub>3</sub> yapısal olarak bozulmaktadır. Ozonun bozulmasına ve bunun sonucunda ozon tabakasının incelmeye neden olan CO<sub>2</sub> ile beraber CFC gazları, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O gibi sera gazlarının aşırı miktarda atmosfere atılmasıdır. Ozon tabakasının incilmesi sonucu, güneşin zararlı olan ultraviyole ışınlarının radyasyonu; insan, hayvan ve bitkileri olumsuz yönde etkiler. Bu ışınların radyasyonuna maruz kalan canlıların vücudundaki bağışıklık sistemi bozulur bunun sonucunda bulaşıcı hastalıkların oluşum ve şiddetinde artışlara neden olmaktadır [7]. Ayrıca bu ışınların radyasyonu gözlerde katarakt oluşmasına ve bazı tip deri kanserinde de artışa sebep olmaktadır [6]. Bazı bitki türleri ultraviyole ışınlarına karşı oldukça dayanıklı iken bazıları da çok hassastır. Ultraviyole ışınlarının radyasyonu bazı bölgelerdeki gıda üretimini ciddi bir şekilde etkileyerek, bazı bitkilerin üretim kapasitesini ve kalitesini değiştirmektedir. Artan bu ışınların radyasyonu küçük organizmalar başta olmak üzere su organizmaları üzerinde de olumsuz bir etkiye sahiptir.

Ozonun yeryüzü seviyesinde ultraviyole ışınları ile fotokimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşturduğu pus, bu seviyedeki başlıca hava kirleticilerden birisidir ve yeryüzündeki yaşam üzerinde olumsuz etkileri olmaktadır. Fotokimyasal sisin temel bileşeni olan ozon, yanma kaynaklarından direkt olarak yayılmaz, ancak güneş ışığının yeryüzünü ısıttığı zaman uçucu organik bileşikler ile HC ve NO<sub>x</sub> oluşmaktadır [7].



### **2.2.10 Su Buharı**

Hava içindeki miktarı yer ve zamana göre en fazla değişen gaz, su buharıdır. Nemli tropikal iklimlerde hava içinde % 2–3'e kadar su buharı bulunabilir [8]. Bu miktar orta enlemlerde %1, kutuplarda % 0.25'e kadar düşer [8]. Atmosferde yükseldikçe su buharı miktarı hızla azalır. 6500 metrede yeryüzündeki miktarın ancak 1/10'u bulunur [7]. Buna göre su buharının çoğu atmosferin alt 3–4 kilometrelik bölümünde toplanmıştır [7]. Havadaki su buharının yaşam ve iklimler üzerinde çok önemli etkileri vardır. Küresel ısınmada sera etkisi bakımından çok önemli bir yeri vardır. Ancak yeryüzüne yakın atmosfer içindeki miktarı çok nadir hallerde yükselir. Bol miktarda bulunduğu atmosfer katmanı genellikle bulutların oluştuğu yükseklerdeki atmosfer tabakalarındadır. O nedenle daha çok güneşten gelen ışınları tutmada ve yükseklerle yansıtma etkilidir.



### 3. GEMİ EGZOZ GAZI EMİSYONLARI VE İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ

#### 3.1 Gemi Egzoz Gazı Emisyonları

Hava kirliliğinin çevreye ve insan sağlığına verdiği zararlı etkilerden dolayı, egzoz gazları miktarlarını azaltan önlemler alınmaktadır. Dünyada karalarda oluşan hava kirliliği alınan önlemlerle azaltılırken gemilerden kaynaklı hava kirliliğinin önemsenmemesi ve gerekli önlemlerin alınmamasından dolayı artmıştır. Gemi kaynaklı egzoz gazlarının çoğu denizlerde oluşmakla birlikte, etki alanı fazla olup egzoz gazlarının emisyonu denizlerden hava hareketleri ile kıtalardan kıtalara kadar olur. Gemi egzoz emisyonları limanlarda da etkilidir. Kıyı şehirlerinde yaşayan insanların sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Gemi kaynaklı egzoz emisyonlarının miktarı, makine özelliklerine, yakıtın cinsine ve manevra koşullarına bağlı olarak değişir. Fosil yakıtların daha ucuz olması, fazla yakıt tüketimi olan gemi dizel makinelerinde yakılması için en önemli etken olmakla birlikte bu yakıtların oluşturduğu egzoz emisyon miktarları, temiz yakıtlardan daha fazladır.

Gemi dizel makinelerinde silindirler içerisinde yakıtın yanması sonucu açığa çıkan egzoz gazlarının içeriğinde kimyasal reaksiyonları sonucu açığa çıkan  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ , HC, PM ve uçucu organik bileşiklerden oluşur [9]. Yanma sonu reaksiyonlar sonucu sıcaklığa bağlı olarak emisyonların miktarları değişmektedir.  $\text{NO}_x$  miktarı, yanma sonu sıcaklıkla artarken, dumanı oluşturan yanmamış HC molekülleri ise sıcaklık arttıkça azalmaktadır. PM miktarı da, yanma sonu sıcaklığın artmasıyla oluşumu azalmaktadır. Yanma sonu sıcaklığa bağlı olmayan egzoz gazı emisyonu  $\text{SO}_2$  olup yakıt içindeki kükürt miktarının kütleli oranı ile değişir. Kükürt miktarı yüksek ise daha fazla  $\text{SO}_2$  emisyonu oluşur. Gemi dizel makineleri, güçlü motor yapısı ile yüksek yanma sonu basınç ve sıcaklıklara göre tasarlanmaktadır. Yakıt tüketimleri yüksek olduğu için gemi dizel makinelerinde en ucuz yakıt olan HFO kullanılır. Çizelge 3.1 Makine yükü % 80 konumunda HFO kullanılan bir düşük devirli dizel motoruna ait egzoz gazı emisyon oranlarını göstermektedir [9].

**Çizelge 3. 1:**Düşük devirli dizel motorundan yayılan egzoz gazları ve miktarları.

| Yayılan egzoz gazı | Egzoz gazı içerisinde oranları |
|--------------------|--------------------------------|
| NO <sub>x</sub>    | 1220 ppm                       |
| SO <sub>x</sub>    | 660 ppm                        |
| CO                 | 45 ppm                         |
| CO <sub>2</sub>    | 56.000 ppm                     |
| HC                 | 122 ppm                        |
| VOC                | 20–100 ppm                     |
| PM                 | 120 mg/m <sup>3</sup>          |

#### **3.1.1. Katı parçacıklar ve oluşumları**

Gemilerden yayılan katı parçacıklar, yakıtların tam olarak yanmamasının sonucu olup yapılarında, kurum ve kül bulunur. Katı parçacıkların çevresel etkileri, farklı içeriklerine ve ölçüsüne bağlıdır. Katı parçacıkların ölçüsü; atmosferde oluşabilmesine ve insanların solunum sisteminde depozit olarak birikebilmesine bağlıdır. Prensipite, yanma sonucunda yanmayan maddelerin de oluşması, gemilerden yayılan katı parçacık miktarının da artmasına neden olur.

Gemi kaynaklı katı parçacıkların kütsel yoğunlukları elektro mikroskobu ile ölçülebilmektedir. İnsanların soluyabildiği katı parçacıkların boyutları; 10 µm (PM<sub>10</sub>), 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>) ve daha ince parçacıklar 2,5 µm olarak üç kısımda sınıflandırılır [10].

Katı parçacıklar içinde, boyutları 0,1 µm çapındaki çok ince parçacıklar, çok düşük kütseli olduğu için atmosferde asılı olarak kalmasından dolayı insan sağlığına etkisi yoktur. Gemi kaynaklı katı parçacıkların insanların solunum sistemini etkileyebilmesi özellikle akciğerlerine ulaşabilmesi; parçacıkların daha kütseli ve ağır olmasına bağlıdır [11]. Gemi kaynaklı katı parçacıklarının çevresel etkisi, bulut biçimlenmesinin iç çekirdeğini oluşturarak bulutların yapısını bozabilir ve mevsim değişikliklerine neden olabilirler. 0.5 µm çapındaki parçacıkların havada asılı kalma ve uzak mesafelere taşınma olasılığı yüksektir. Bundan dolayı gemilerin oluşturduğu parçacıklar daha uzak mesafelere taşınmaktadır. Daha büyük parçacıklar,

atmosferden yeryüzüne çökelti oluşturarak inerler. Katı parçacıklar ne kadar büyük olursa çökelti oluşumu daha hızlı olur. Limanlarda gemilerin oluşturduğu katı parçacık emisyonları, limana yakın yerleşim bölgelerinde çökelti oluşturarak insan sağlığını olumsuz etkilemektedir [12].

#### **3.1.1.1 Katı parçacıkların insan sağlığına zararlı etkileri**

Katı parçacıkların insan solunum sisteminde oluşturduğu hasarlar, parçacık boyutlarına göre değişir. PM<sub>2.5</sub>, akciğerin alveollerine ulaşabildiği için solunum yollarında tahribatla birlikte nefes almada zorluğa ve kronik bronşite sebep olur [12]. Ayrıca akciğerlerin hava keselerine girerek kan dolaşımına katılır ve kalp ritminin bozulmasına sebep olmaktadır. Katı parçacıklar, solunum ve kalp-damar yolu hastalıklardan dolayı oluşan ölüm oranı artışına, alerjilerin, astımın, kronik bronşitin, solunum yolu iltihaplarının ve hastane başvurularının artmasına yol açar [12].

#### **3.1.2 Kükürt oksit ve oluşumu**

Kara kaynaklı SO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının miktarı, sanayi ve ısınma tesislerinde doğal gaz kullanımının artması sonucunda azalmıştır. Ayrıca kara ulaşım araçlarında yakılan temiz yakıtların kükürt miktarının düşük olduğu için azalmıştır. Gemi kaynaklı SO<sub>2</sub> gazı emisyonları ise, gemilerde kullanılan yakıtların içeriğindeki kükürt miktarının yüksek olmasından dolayı artmakta ve hava kirliliğinde önemli bir unsur haline gelmektedir. Gemi kaynaklı SO<sub>2</sub> gazı miktarı, yakıt içerisindeki kükürt miktarına bağlıdır [13,14].

Gemi dizel motorları, ilk çalıştırma esnasında silindir içi sıcaklığın düşük ve yanma havası içinde oksijenin yoğunluğunun fazla olması, daha fazla ve hızlı kükürt oluşturmaktadır [15]. Bunun sebebi dizel motorlarında, yakıtın içindeki kükürdün sırasıyla SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> ve bu tepkimeler sonucunda H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oluşur. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'ün yoğunlaşması, düşük egzoz sıcaklıklarında meydana gelir [14]. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'in yoğunlaştığı sıcaklık, asidin çığlaşma noktası olarak geçer ve sıcaklık 125 °C-150 °C arasında olmaktadır. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>'in çığlaşma noktası, yakıttaki kükürt miktarına, egzoz gazı sıcaklığına, egzoz gazındaki su miktarına ve hava fazlalığı miktarına bağlıdır. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, en fazla oluşabileceği sıcaklık, çığlaşma noktasının 20 °C - 30 °C altındaki silindir içi egzoz sıcaklıklarında görülür [16]. Aşağıdaki kimyasal tepkimelerle H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> oluşması; (3,1), (3,2) ve (3,3) denklemleriyle açıklanır [16].



Yakıt içindeki kükürt miktarı,  $SO_x$  oluşumunda en önemli faktördür. Bu durumu, gemilerde jeneratör işlevi gören dizel motorlarında  $SO_x$  emisyonlarının miktarının az olmasının nedeninin düşük kükürtlü yakıt kullanılmasıyla açıklanabilir.

Gemilerde kullanılan yakıtlardaki kükürt oranları Çizelge 3,2’de belirtilmiştir [9]. Jeneratörde kullanılan Marine Dizel Oil (MDO)’de kükürt oranını kütleli olarak % 0,7, ana makine işlevi gören dizel motorlarında ise ağır yakıt olan HFO’ de kükürt oranı % 1,5 ile % 4,5 oranındadır. Kükürt oranları HFO’ de, yüksek kükürtlü ve düşük kükürt oranlı olup ikiye ayrılır [17].

**Çizelge 3. 2 :** Gemilerde kullanılan yakıtlardaki kükürt oranları.

| Gemide kullanılan yakıt türü | Gemide kullanım alanı | Kükürt oranı (kütleli olarak % m/m ) |
|------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|
| Marine Dizel Oil             | Jeneratör/ Ana makine | % 0.7                                |
| Heavy Fuel Oil               | Ana makine            | % 1.5 - % 4,5                        |

Gemi dizel motorlarında,  $H_2SO_4$  oluşumunu azaltmak için, düşük kükürt seviyeli atık yakıt kullanılmalı, yanma havası fazlalığı azaltılmalı ve motorun ilk çalışması esnasında egzoz sıcaklığı yükselterek  $H_2SO_4$ ’in çığlaşma noktası sıcaklığının üstüne çıkılmalıdır [17].

### 3.1.2.1 Kükürt oksidin insan sağlığına zararlı etkisi

Gemi kaynaklı  $SO_x$  oluşumu, havanın içinde  $SO_2$  ve parçacık madde seviyelerini artırmaktadır. Bu yükselme ile çeşitli solunum yolu hastalıkları ve akciğer fonksiyon bozukluklarındaki artışlarla beraber ölüm olayları da meydana gelmektedir. Gemi emisyonlarını oluşturan gazlar içinde insan ve diğer canlılara zararlı olması bakımından,  $SO_2$  gazı ilk sırada yer almaktadır [17]. Özellikle gemi emisyonlarının etkili olduğu liman şehirlerinde yaşayan insanların üst solunum yollarından,  $SO_2$  gazı emilmektedir. Bunun sonucunda da bronşit ve diğer akciğer hastalıkları meydana gelmektedir. İnsanlar  $SO_2$  gazını hava ile birlikte teneffüs ettiği zaman akciğerlerde bulunan nem ile birleşerek,  $H_2SO_3$  aside ve daha sonra  $H_2SO_4$  asidine dönüşmektedir

[18]. Oluşan  $H_2SO_4$ , solunum yollarını tahriş ederek akciğerlerde yıpranmalara ve solunum yolu organlarına bağlı hastalıkları meydana getirmektedir [18].  $SO_2$  gazının yoğunluğu ve etki süresine bağlı olarak solunum organlarına verdiği zararın derecesi insanın ölümüne sebep olmaktadır.

### **3.1.3 Azot oksit ( $NO_x$ ) ve oluşumu**

Dizel motorlarında azot oksit, yüksek sıcaklıklarda havanın içerisindeki azotun oksitlenmesi sonucu meydana gelir. Silindir içi sıcaklık  $1500\text{ }^{\circ}C$  üzerine çıktığında, havanın içindeki azot ile oksijen kimyasal olarak birleşerek, insan sağlığına ve çevreye zararlı bir gaz olan  $NO_x$  oluşur.  $NO_x$  egzoz gazı emisyonları temel olarak yanma sıcaklığına bağlı olarak değişir.  $NO_x$  miktarı, makinenin çalışma şartlarına ve yüküne bağlı olarak değişir.

Gemi dizel motorlarında oluşan  $NO_x$  gazlarının, % 95'i  $NO$ , kalanı ise  $NO_2$ 'dir. Oluşan  $NO_x$ ' in büyük kısmı yanma sonunda genişleme zamanında ve egzoz sisteminde  $NO$ ' in  $NO_2$ 'ye dönüşümü sonucunda oluşur [19].

Dizel motorları silindirleri içinde oluşan kararlı ve kararsız olan  $NO_x$  bileşikleri, atmosferde serbest halde bulunan oksitleyici maddelerle reaksiyona girer ve bu kimyasal reaksiyonlar sonucu fotokimyasal sis oluştururlar. Atmosferdeki  $HNO_3$  ise asit yağmurlarının oluşmasına yardımcı olmaktadır.

#### **3.1.3.1 $NO_x$ emisyonlarının insan sağlığına etkileri**

Gemi bacasından atmosfere atılan azot oksitler, havanın içinde bulunan nem ile birleşerek nitrat asidine dönüşür ve bu asidin de insan ve diğer canlıların sağlığı üzerinde önemli zararlı etkileri bulunmaktadır.

$NO_2$ , gaz halinde bulunduğu için solunum yolu ile canlıların sağlığı üzerinde birçok etkileri bulunmaktadır. Gaz halinde bulunan  $NO_2$ , solunum yolu ile alındığı zaman canlıların solunum yollarında birikerek, alt solunum yollarına zararlı etkiler meydana getirmektedir [19].  $NO_2$ 'in bulunduğu ortamlarda, diğer kirleticilerin ve özellikle ozonun bulunması durumunda, bu kirleticiler arasında oluşan reaksiyonlar sebebiyle insan sağlığında olumsuz etkileşimler oluşur. Özellikle akciğerlerin bakteriyel iltihaplanmaya karşı hassasiyetleri yükselir ve akciğerlerde biyokimyasal değişimler meydana gelir [20-21].

### **3.1.3.2 Gemi kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonunun Ozon oluşumuna etkisi**

Gemilerin oluşturduğu NO<sub>x</sub> gazı emisyonları ile hidrokarbonlar, ozon tabakasının incelmesine neden olduğu gibi yeryüzünde ozonun oluşmasına yardımcı olmaktadır. Dizel motorlarında yanma havası içindeki azot ile yakıt içerisindeki azot yüksek sıcaklığın etkisiyle, NO oluştururlar. Yakıt içindeki organik azot miktarı ağırlık olarak % 1'in üzerine çıktıkça, NO oluşumu %10 ile %30 arasında değişen oranlarda artmaktadır [19]. Oluşum sırasında yakıt içindeki organik azot serbest kalıp hızlı bir şekilde daha küçük türevleri olan hidrojen siyadin (HCN) ve amonyağa (NH<sub>3</sub>) dönüşür [19].

Dizel motorlarında, atmosferik azottan NO oluşumunda en önemli unsurlar; termal oluşum ve yakıttan kaynaklı oluşumdur. Dizel motorlarında termal oluşumun kimyasal olarak gerçekleşmesi, moleküler azottan NO oluşumuna bunun içinde azot içindeki üçlü bağdaki güçlü azot atomlarının parçalanması gereklidir. Oksijen molekülü, yanma şartlarında bu üçlü bağı parçalayabilme yeteneğinden yoksundur. Bunun sebebi daha yüksek sıcaklıklarda, moleküler azot ve moleküler O<sub>2</sub> arasındaki reaksiyon, çok yavaş gerçekleşmektedir. Bunun yerine moleküler azottan NO oluşumu; oksijen atomu ile zincirleme reaksiyonu sonucu gerçekleşir. Yakıt kaynaklı azot oksit oluşumunda en önemli faktör, yakıtın yapısındaki azot miktarı olup en önemli oluşum şeklidir. NO<sub>x</sub>, 1100 °C altı düşük sıcaklıklarda daha kolay oluşur.

### **3.1.3.3 Ozonun insan sağlığına etkisi**

Ozonun insanlardan tarafından uzun süre solunması, akciğerlerin solunum yollarında tahrişlere ve iltihaplara neden olur. Çünkü molekül yapısı oksijene göre daha büyük olan ozon, akciğerlerden atılması zordur ve kalıntı olarak kalır. Bunun sonucunda nefes almada zorlanma, öksürme ve daha ileri seviyelerde ağır astım, zatürre ve bronşit gibi solunum yolu yetersizlikleri baş gösterir [19-20].

### **3.1.4 Karbon monoksit (CO) emisyonları ve oluşumları**

Gemi dizel motorlarında CO gazı, kullanılan yakıtın tam olarak yanmamasından oluşan renksiz, kokusuz ve havanın ortalama molekül ağırlığına eşit bir gazdır. Atmosferde kolayca yok olmayan bir gaz olan CO gazı emisyonları, dizel motorlarında birçok parametreye bağlı olmakla beraber yakıtın yanması sırasında yanmaya katılan hava miktarı ile değişim göstermektedir.



Dizel motorlarında ilk alıştırma esnasında dūřuk yüklerde, hava miktarının dūřuk olmasından dolayı sıkıştırma zamanı sonunda havanın basınç ve sıcaklığı dūřuk olur. Bunun neticesinde sis bulutu şeklinde püskürtülen yakıtın tam yanması zorlaşır ve eksik yanma meydana gelir. Eksik yanma sonucunda dizel motoru silindirlerinde CO gazı miktarı artar. Fakat yapılan deneylerde yanma reaksiyonlarında CO gazı CO<sub>2</sub> gazına dönüşme süresi kısadır. Bundan dolayı yanmanın tamamlanmamış olması, bu dönüşümü engeller ve CO miktarını artırmasına neden olur. Dizel motoru silindirlerine alınması gereken hava fazlalık katsayısı artırılırsa bunun sonucunda eksik yanma sonucu oluşan CO gazı miktarı az olur [20].

Yüksek güçlü dizel motorlarında CO gazı emisyonu, dūřuk güçlü dizel motorlarına göre daha dūřuktur. Bunun sebebi yüksek güçlü dizel motorlarında yanma sonu sıcaklığının fazla olması, yanmamış karbon bileşiklerinin oluşmasını azaltır. Fakat gemi manevrasında sırasında yanmamış karbon bileşiği olan CO gazı miktarı, dizel motorunun gücünün azalmasından dolayı artar [14].

#### **3.1.4.1 Karbon monoksitin insan sağlığına etkileri**

CO gazı emisyonları, solunuma karıştığı zaman, kanın oksijen taşımasını büyük ölçüde engelleyerek kanda oksijen yetersizliği oluşturur. Bundan dolayı kan damarlarının çeperleri, beyin, kalp gibi hassas organ ve dokularda fonksiyon bozuklukları meydana getirerek insan sağlığını etkilemektedir [21]. CO gazı, kanda hemoglobine bağlandığı zaman, kandaki oksijenin yerini alarak kalp ve sinirsel davranış problemlerine yol açmaktadır. Bu gaz, zehirleyici bir özelliğe sahip olduğu için vcoda solunum yolu ile girdiğinde kandaki alyuvarlar tarafından emilerek kan oluşum mekanizması da bozulur. Az miktarda teneffüs edilen CO gazı baş dönmesi, bulantı ve görmede bulanıklık meydana getirir ve çok miktarda teneffüs edildiği zaman da öldürücü özelliği göstermektedir [21].

#### **3.1.5 Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu ve oluşumu**

Dizel motorlarında yanmanın kalitesini, yanmaya katılan hava-yakıt oranı belirlemekte ve bu oran CO ile CO<sub>2</sub> retimini önemli ölçüde etkilemektedir. CO ile CO<sub>2</sub> gazlarının oluşması arasında önemli bir ilişki bulunmaktadır. Yakıtın yanması öncesinde yeterli hava değerine ulaşılmazsa eksik yanma sonucu CO emisyon seviyesi yükselmektedir [22]. CO gazının maksimum seviyede oluşması, CO<sub>2</sub> gazı miktarının azalmasına sebep olmaktadır. CO gazının CO<sub>2</sub> gazına dönüşmesinde

hidroksit (OH) kökü önemli rol oynar ve OH kökü CO gazı tekrar reaksiyona girerek CO<sub>2</sub> gazına dönüşür [22].

Yanma işlemlerinde tam yanma olmadığı durumlarda bölgesel eksik yanmalar meydana gelir ve CO oluşumu artar, buna bağlı olarak da CO<sub>2</sub> miktarı da düşmektedir. Dizel motorlarında gönderilen havanın türbülanslı oluşu yanma kalitesini iyileştirir. Türbülans arttıkça CO miktarı düşmekte ve CO<sub>2</sub> miktarı da yükselmektedir. Sıcaklık ve basınç yükseldikçe, oksitlenme reaksiyonlarına bağlı olarak CO derişimleri artar. Oksijenin parçalanarak CO<sub>2</sub> oluşturmak için CO ile reaksiyona girmesi, yanma mahalli sıcaklık artışı ile doğru orantılı olarak değişmektedir [23].

#### **3.1.5.1 Karbon dioksitin küresel ısınmaya etkisi**

CO<sub>2</sub>, yeryüzüne gelen uzun dalga boylu kızıl ötesi ışınları emme özelliğine sahiptir. CO<sub>2</sub>, metan, su buharı ve diğer sera gazları, oluşan ısı radyasyonunun bir Ekünü tutarak, dünyada canlıların yaşaması için gerekli olan ısıyı dengelemektedir. Buna karşılık CO<sub>2</sub>, kısa dalga boyundaki radyasyonun atmosferdeki geçişine de izin vermektedir. CO<sub>2</sub> miktarının artması ile daha fazla kızılötesi ışınlar emerek bu ışınların atmosferin dışına çıkması engellenir. Sera etkisi olarak bilinen bu olay atmosferin daha fazla ısınmasına yol açarak küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Küresel ısınmaya sebep olan gazların emisyonlarını azaltmak için gerekli tedbirler alınmaması durumunda, yeryüzünde ısının her yıl artacağını ve buna bağlı olarak gelecek yüzyılda 2 °C ile 5 °C arasında bir sıcaklık artışı olacağı tahmin edilmektedir [24]. Buna göre küresel ısınma ile beraber kutuplardaki buzulların erimesi ile deniz seviyesinin yükseleceği, kara parçalarının bir kısmının sular altında kalmasına neden olacaktır.

#### **3.1.6 Metan haricindeki uçucu organik bileşik (NMVOC) emisyonu ve oluşumu**

NMVOC gazları, propane, butan ve etan gibi bileşikleri içermektedir. Bu bileşikler, NO<sub>x</sub> ile beraber, troposfer ozonunun ve diğer fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasında rol alırlar [13]. Bundan dolayı dolaylı olarak sera etkisine katkısı bulunur. NMVOC emisyonları temel olarak ulaştırmadan, sanayi işlemlerinden, biyolojik kütlelerin yakılmasından ve organik solventlerin endüstri dışı tüketiminden kaynaklanmaktadır. Gemi kaynaklı NMVOC derişimleri gemiye yakıt aktarımı

esnasında ve yakıt tanklarında buharlaşan yakıtın oluşturduğu uçucu organik bileşik emisyonlarıdır [13].

#### **3.1.6.1 Metan haricinde uçucu organik bileşiklerin insan sağlığına etkileri**

NMVOC, yer seviyesine yakın ozon oluşumunda etken olduğu için, solunum miktarına ve süresine bağlı olarak insanların solunum yollarında tahribata ve solunum yetersizliklerine sebep olmaktadır. NMVOC'lerin kansere, çocuklarda ve yeni doğanlarda gelişme bozukluğuna, düşüğe ve doğurganlıkta düşüşe neden olduğu ve merkezi sinir sistemi, göz, solunum yolları (burun ve boğaz) tahrişi, baş ağrısı, koordinasyon kaybı, mide bulantısı, karaciğer, böbrek ve merkezi sinir sistemi üzerinde olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Yüksek derişimlerde mukoza tahrişine ve genel narkotik etkiye sahiptir. NMVOC'ler de CO<sub>2</sub> gibi iklim değişikliğine neden olan sera gazları içinde yer almaktadır.

#### **3.2 Egzoz Gazı Emisyonları Oluşturan Gemi Makinelerinin Özellikleri**

Gemilerde en çok egzoz gazı üreten makineler, gemiye hareket kabiliyeti veren ana makine ile elektrik üreten jeneratörlerdir. Ana makineler; pervaneye doğrudan bağlantılı düşük devirli dizel makineleri, pervaneye devir düşürücü ile bağlanan orta devirli dizel makineleri ve devir düşürücü ile yüksek devirle dönen buhar türbinleridir. Farklı özellikteki ana makinelerin değişen teknolojik ve ekonomik avantajlarına göre özellikle yakıt fiyatlarına göre gemilerde kullanılma öncelikleri değişmektedir. Bununla birlikte Dünyadaki toplam gemi filosunun %95 kadarı dizel motorları ile donatılmıştır [15]. Bunun sebepleri, dizel makinelerinin buhar türbinlerine göre, bakım onarım ve yedek makine parça maliyetleri daha düşüktür ayrıca yakıt maliyetleri de yakılan yakıtın ucuz olmasından dolayı düşüktür. Gemilerde ana makine olarak kullanılan orta devirli dizel makineleri, pervaneye devir düşürücü ile bağlanır. Gemide elektrik üretmeye yarayan jeneratörler ise, 30-3000 kW arasında güç üreten orta devirli 4 zamanlı dizel motorlarıdır [12]. Jeneratörler, gemi manevrasında ve limanda yükleme boşaltma esnasında devrededir.

##### **3.2.1 Gemilerde kullanılan yakıtların özellikleri**

Gemilerde kullanılan yakıtlar, kaynama noktası ve özgül ağırlığı yüksek olan HFO ile daha düşük kaynama noktası ve özgül ağırlığına sahip MDO'dir. HFO'nun yapısı,

% 7-20 poliaromatik hidrokarbon (PAH) ve kütleli olarak % 2,7 ile % 4,5 arasında kükürt içerir. [14]. MDO ise % 0,5'den az kükürt içerirler. HFO'nun viskozitesi yüksek olup 50<sup>0</sup>'de 180 cSt ile 770 cSt arasındadır. HFO viskozitesi, ısıtılarak düşürülür ve yanma için uygun akışkanlığa getirilirler. Gemi ana makinelerinde, ucuz yakıt olan HFO yakılırken, daha akıcı olan ve ön ısıtmaya gerek olmayan MDO, jeneratörlerde ve yardımcı kazanlarda tercih edilirler. Jeneratörlerde MDO yakılmasının temel sebebi, MDO'nun jeneratördeki ani yük değişikliklerine daha kolay ve hızlı tutuşmasıdır. Jeneratörlerde HFO, kullanılması durumunda, önceden ısıtılarak viskozitesi uygun hale getirilir. HFO, ana makinede kullanılmadan önce ayrıştırıcıdan geçerek suyla birlikte kükürt, vanadyum ve ultrafine parçacıkların oranı düşürülür. HFO ile MDO özellikleri, Çizelge 3.3'de verilmiş olup HFO'un viskozitesinin ve özgül ağırlığının yüksek ve içindeki kükürt, azot ve kül miktarlarının MDO'den fazla olduğu belirtilmiştir [9].

**Çizelge 3. 3:** Gemide kullanılan yakıtların özellikleri.

| Yakıt özellikleri | Birimi            | HFO                        | MDO                      |
|-------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| Viskozite         | CSt               | 20-500 / 50 <sup>0</sup> C | 2-10 / 40 <sup>0</sup> C |
| Yoğunluk          | kg/m <sup>3</sup> | 940-1010                   | 830-900                  |
| Kükürt            | % m/m             | 1,5-4,5                    | 0.1-1,2                  |
| Azot              | % m/m             | 0.1-0,8                    | 0.1 den az               |
| Kül               | % m/m             | 0.01-0.08                  | 0.01 den az              |

#### **4. GEMİLERDEN YAYILAN EGZoz GAZLARININ ÖNEMİ VE MİKTARLARI**

Gemilerle yapılan taşımacılık, dünya üzerindeki taşımacılığın % 90'ını oluşturmamasından dolayı dünya ekonomisinde önemli bir unsurdur [15]. Gemilerle yapılan taşımacılık aracılığıyla, daha büyük miktarlarda daha ucuz ve birbirine kara bağlantısı bulunmayan kıtalar arasında taşıma yapılabilmesinden dolayı tercih edilmektedir. Bunun neticesinde gemi taşımacılığında rekabet oluşmuş bu rekabet sonucunda daha büyük yük taşıyabilen gemiler ve bu gemilere uygun güçte dizel makineleri dizayn edilmiştir. Dünyadaki 100 grostonun üstündeki toplam gemi sayısı 53.005 olup bu sayının yaklaşık %95'i egzoz gazı üreten dizel motoruna sahiptir [25]. Sayıları artan gemilere daha güçlü dizel makineleri konularak gemi hızları artırılmış bununla birlikte gemilerin yakıt tüketimleri de artmıştır. Gemilerin yakıt tüketimlerinin yüksek olmasından dolayı ucuz olan HFO yüksek miktarda egzoz gazı yaymaktadır. Gemide kullanılan ana makinelerde oluşan egzoz gazları miktarları, otomobil, tır ve uçaktan yayılan egzoz gazı miktarlarından daha fazladır. Bunun sebebi, gemilerde yakılan yakıtların kötü olmasındandır [26]. Yapılan araştırmalarda; gemilerinden yayılan CO<sub>2</sub> gazı miktarı uçaklardan yayılan CO<sub>2</sub> miktarından yıllık ölçümde iki kat daha fazla olduğu ölçülmüştür [26].

Gemilerin oluşturduğu egzoz gazları, bölgesel bir hava kirlenmesiyle birlikte hava hareketleri ile dünyanın farklı bölgelerine yayılabildiği için küresel hava kirlenmesinde de etkisi bulunmaktadır [27]. Gemilerden yayılan egzoz gazları sonucu oluşan hava kirliliği, gemilerin sebep olduğu en önemli çevre sorunlarından biridir.

Gemilerden yayılan egzoz gazları özellikle kıyı bölgelerinde insan sağlığını ve ekosistemi etkileyen çevresel problemlere neden olmaktadır. Gemi kaynaklı egzoz gazı emisyonlarının çevresel etkileri, prematüre ölüm(yeni doğan ölümü), çeşitli hastalıklarla birlikte solunum yolu hastalıkları, asit yağmurları ve küresel ısınmadır. Yapılan bir araştırmada Amerika'da gemi dizel motorundan yayılan parçacıkların yılda 21.000 prematüre ölüme neden olduğu tahmin edilmektedir [28]. Dünya Sağlık Örgütü tarafından diğer bir araştırmada, Avrupa'da gemilerden yayılan katı

parçacıkların yılda 100.000 prematüre ölüme ve insanların yaşamlarını bir ile iki yıl kısalmasına neden olmaktadır [29,30].

#### **4.1 Küresel ve Bölgesel Ölçekte Yapılan Gemi Emisyon Tahminleri ve Önemi**

Kara kaynaklı hava kirliliği; sanayi tesislerinde emisyon azaltıcı tedbirlerin alınması, ısınma için doğal gazın yaygınlaşması ve ulaşım araçlarından az emisyon yayan temiz yakıtların kullanılması gibi önlemlerle azaltılırken, gemilerden kaynaklı hava kirliliği alınamayan önlemlerden dolayı artmıştır.

Gemi kaynaklı emisyonların çoğu insanların temas etmesi zor olan denizlerde yayılmakla birlikte son zamanlarda limanlarda oluşan gemi emisyonları, kıyı şehirlerinde yaşayan insanların sağlığını ciddi şekilde tehdit etmektedir. Limanlarda oluşan gemi emisyonlarının etkileriyle ilgili envanter çalışmalarında önemli bulgular elde edilmiştir. Bu bulgulardan en önemlilerinden biri, limanlardaki toplam emisyonların %55 ile % 77'sini gemilerden kaynaklı emisyonlar oluşturmaktadır [31]. Ayrıca gemi emisyonlarının, hava kirliliğinin çok fazla olduğu sanayinin geliştiği liman şehirlerinde ve kıyı alanlarında, % 5 ile % 30 arasında etkili olmaktadır [30]. Gemi kaynaklı emisyon envanteri çalışmalarının esas amacı, gemilerden yayılan egzoz gazlarının liman şehirlerinde hava kalitesine ve insan sağlığına etkisini ortaya çıkarmak içindir.

Gemilerden kaynaklı emisyon tahmin çalışmaları küresel ve bölgesel ölçekte yapılmaktadır. Küresel ölçekte yapılan gemilerden oluşan egzoz gazı emisyonları için yapılan en uzun dönemli hesaplamada; 1990-2007 yılları arasındaki gemi kaynaklı emisyonların miktarları ölçülmüştür. 1990 yılında 585 Mt olan toplam gemi egzoz gazı emisyonları, 2007 yılında 1096 Mt olarak hesaplanmıştır [31]. Küresel ölçekte 1997 yılına ait diğer bir araştırmada, dünyadaki petrol kullanımından kaynaklanan  $SO_x$  gazının % 16'sı ve  $NO_x$  gazının % 14'ü gemilerden kaynaklanmaktadır [32].

1993 yılı için dünyadaki tüm gemilerde tüketilen yakıt sonucu oluşan egzoz gazı emisyon miktarı; gemilere satılan toplam yakıt istatistikleri, dünya gemi filosu ve izledikleri rotalar ve gemilerin yakıt tüketimlerine ait veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda  $NO_x$  miktarı; 10.12 Mt,  $SO_x$  miktarı da; 8.48 Mt olarak tahmin edilmiştir [33]. 1996 yılına ait gemi kaynaklı emisyon

miktarı, toplam yakıt satış rakamlarına göre hesaplanmış; toplam 5,8 Mt olarak bulunmuştur [34]. Küresel ısınmaya neden olan gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonu için yapılan iki araştırmada, 2006 yılına ait gemilerin yaydığı CO<sub>2</sub> emisyonu toplam 1.000 Mt, 2007 yılına ait gemilerin yaydığı CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı, 943,5 Mt olarak hesaplanmıştır [35,36].

Bölgesel ölçekte egzoz gazı emisyon tahmin çalışmaları, dünyanın çeşitli bölgeleri için yapılmaktadır. Örnek olarak 1999 yılında Akdeniz ve Karadeniz'deki gemi hareketlerinden oluşan yıllık NO<sub>x</sub> miktarı 1.725 Mt, SO<sub>2</sub> miktarı 1.246 Mt, CO miktarı 0.147 Mt ve HC miktarı 0.035 Mt olarak hesaplanmıştır [37]. 2002 yılında Avrupa limanları için yapılan emisyon hesabında NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub> emisyonları miktarları 3,6 Mt, 2,5 ve 153 Mt olarak hesaplanmıştır [38]. Bu rakamlar Avrupa Komisyonunun 2002 yılı verileriyle karşılaştırıldığında, Avrupa Birliği üyesi 15 ülkede meydana gelen karasal SO<sub>x</sub> emisyonu miktarının %45' ini, NO<sub>x</sub> emisyonunun %37' sini oluşturur [38].

Bölgesel ölçekte Baltık denizi için yapılan egzoz gazı emisyon tahmini çalışmasında, 1 Mart 2006 ile 27 Şubat 2007 tarihleri arasında, 3480 adet gemiden toplam 370 bin ton NO<sub>x</sub> yayıldığı hesaplanmıştır [39].

Avrupa Birliği için 2000 yılında Avrupa'daki gemilerin neden olduğu SO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık 2,6 Mt olduğu hesaplanmıştır [33]. Bu emisyon miktarını, aynı yıla ait Avrupa'da kara kaynaklı ve iç sefer yapan gemilerden yayılan SO<sub>2</sub> emisyonlarının toplam miktarı 5,7 Mt olup gemilerden yayılan egzoz gazlarının miktarlarının yüksek olduğu ortaya çıkmıştır [40].

Gemilerin egzoz gazı emisyonlarının, liman şehirlerindeki etkisi ile ilgili çalışmada, liman şehirlerinde gemilerden yayılan egzoz gazları, toplam oluşan egzoz gazları emisyon miktarlarının % 5 ile % 30'unu oluşturduğu tahmin edilmiştir [33].

#### **4.2 ABD ve Avrupa Birliği'nde Liman Emisyonlarıyla İlgili Örnek Çalışmalar**

Bölgesel olarak Avrupa'da gemi egzoz gazı emisyonlarıyla ilgili çalışmalarda, İngiliz kanalı ve Kuzey Denizinde oluşan gemilerden kaynaklı toplam emisyonların % 26'sı o bölgedeki limanlarda olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgedeki Le Havre, Antwerp ve Rotterdam gibi büyük limanlarda insan sağlığını etkileyecek yüksek oranda gemi kaynaklı SO<sub>2</sub> derişimine sebep olmaktadır [41].

Avrupa'nın liman kentlerinde gemi kaynaklı emisyonlarla ilgili, Danimarka'nın üç limanı Kopenhag, Elsinore ve Koge için yapılan emisyon envanteri çalışması örnek gösterilebilir [10]. Kopenhag limanında gemi kaynaklı NO<sub>2</sub> emisyonunun, Kopenhag şehrinde yaşayan insanların sağlığını olumsuz etkilemektedir. NO<sub>2</sub> için Avrupa Birliği yasal sınır limiti olan saatlik ölçüm 200 ng m<sup>-3</sup> değerinin, Kopenhag limanında yılda 19 defa aşıldığı ve NO<sub>2</sub> maksimum saatlik ölçümün 615 ng m<sup>-3</sup> olduğu ölçülmüştür [10]. Bu yüksek değerler, insan sağlığı üzerinde negatif etkileri oluşmuştur ve Elsinore limanında oluşan NO<sub>2</sub> emisyonu da oluşan toplam NO<sub>2</sub> emisyonunu etkilemektedir. Bu çalışmada Kopenhag limanında oluşan parçacık kütle emisyonlarının miktarları ölçüldüğünde, Avrupa Birliği'nin yıllık parçacık kütle limit değerlerinin sadece % 0,2-% 0,4 üne eşit olmasına rağmen, Kopenhag'de şehir içi trafiğinde oluşan toplam PM emisyonunun %8 ile 15'ini oluşturduğu ve PM parçacıkların insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri gözlemlenmiştir [10]. Elsinore limanında PM<sub>10</sub> emisyon miktarı, Kopenhag limanındaki PM<sub>10</sub> emisyonları kadar fazla değildir ve insan sağlığını az etkilemektedir [10].

Bu üç limanda SO<sub>2</sub> emisyonlarının düşürülmesi için gemide kullanılan yakıtların kütlece kükürt oranları % 1,5'e denk olan Avrupa Birliği limit değerlerinde olmalıdır. Kopenhag ve Elsinore limanlarındaki gemilerden alınan yakıtlarda Avrupa Birliği ölçütlerine uyulmadığı tespit edilmiştir [10].

Avrupa'da gemi kaynaklı emisyon tahmini çalışmasına diğer bir örnek, 2004 yılında Belçika'nın bütün limanlarına gelen toplam 28.767 gemi için yapılan emisyon tahmin çalışmasına ait veriler Çizelge 4.1'de belirtilmiştir [42].



**Çizelge 4. 1 :** Belçika Limanlarına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları.

| Gemi türleri       | Gemi sayısı | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | PM    |
|--------------------|-------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
| Kimyasal Tanker    | 2670        | 51              | 0,82            | 1,1             | 0,08  |
| Konteynır          | 3780        | 201             | 3,32            | 5,3             | 0,48  |
| Kuru yük           | 1242        | 51              | 0,72            | 1,3             | 0,1   |
| Yakıt tankeri      | 1129        | 21              | 0,33            | 0,5             | 0,03  |
| General Kargo      | 7398        | 127             | 1,71            | 2,7             | 0,17  |
| Ham petrol tankeri | 579         | 16              | 0,27            | 0,4             | 0,03  |
| Yolcu gemisi       | 3529        | 38              | 0,52            | 0,8             | 0,04  |
| Soğutuculu         | 859         | 34              | 0,53            | 0,9             | 0,07  |
| Ro-Ro              | 7540        | 174             | 2,69            | 3,9             | 0,26  |
| Toplam             | 28.726      | 720.000         | 10.290          | 16.900          | 1.280 |

Amerika’da 2001 yılında Kaliforniya kıyılarına gelen gemiler için yapılan egzoz gazı emisyon tahmini çalışmalarında, gemilerden yılda toplam 2847 ton PM, 34.310 ton NO<sub>x</sub>, 21.540 ton SO<sub>2</sub> yayılmaktadır [43]. 2008 yılında Kaliforniya şehri Long Beach limanına gelen gemilerden; yılda 5.693 ton NO<sub>x</sub>, 5.521 ton SO<sub>2</sub>, 556 ton PM<sub>10</sub>, 246 ton HC ve 555 ton CO emisyon oluşmaktadır [44].

Gemi kaynaklı emisyonları, kıyı bölgeleri için önemli emisyon kaynağıdır. Gemilerin oluşturduğu emisyonlar, bebeklerde prematüre doğumda, solunum yolu hastalıklarında, astım ve kanser vakalarında artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Halk sağlığını korumak amacıyla, limana gelen gemilerin emisyonların azaltılması için IMO bazı yasal sınırlamalar getirilmiştir.

#### **4.3 Gemi Emisyonlarıyla İlgili Düzenleme Ve Sınırlamalar**

Hava kirliliği, özellikle 1980 yıllardan sonra atmosferin ozon tabakasının da incelenmesi ile birlikte uluslararası platformlarda gündeme getirilmiş ve hava kirliliğine neden olan etkenler ve hava kirliliğinin önlenmesi için alınması gerekli olan tedbirler uluslararası alanda çalışma konuları olarak belirlenmiştir. Bu çalışmaların en önemlisi, deniz güvenliği, emniyeti ve deniz kirliliğinin önlenmesi ile

ilgili konularda çalışmalar yapan ve bir Birleşmiş Milletler kuruluşu olan Uluslararası Denizcilik rgütü'nün (IMO) öncülüğünde hazırlanan “Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğın Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi”ne kısaca ‘MARPOL 73/78 Sözleşmesine 1997 Protokolü ile kabul edilen “Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğının Önlenmesine Dair Kuralları içeren Ek VI dır [45]. Günümüzde limanların çoğunlukla insanların çalıştığı ve yaşadığı bölgelere yakın olması ve liman içi egzoz gazı emisyon değerlerinin yerel hava kalitesini doğrudan etkilemesi nedeniyle hava kirliliğı denizcilik ve liman sektöründe gerek bölgesel gerekse uluslararası alanda oldukça önemli bir konu halini almıştır. Bu amaçla hazırlanan ve 2005 yılında yürürlüğe giren Ek VI, dünya denizcilik tonajının % 82.65 tarafından kabul edilmiştir [45].

MARPOL Ek VI, gemi egzoz gazları içinde bulunan NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> gazları emisyonlarını belirli bir değeri aşmaması için belirlediğı sınırlamalar, 19 Mayıs 2005’te yürürlüğe girmiştir.

Bu Eke ilave olarak ve aynı zamanda NO<sub>x</sub> emisyonları ile ilgili NO<sub>x</sub> Teknik Kod’da yürürlüğe girmiştir. NO<sub>x</sub> Teknik Kod’un amacı gemilerden kaynaklı NO<sub>x</sub> miktarlarını azaltmaktır. Bunun için gemi dizel motorlarının testi ve sertifikalandırılması ile ilgili zorunlu kurallar getirerek makine üreticilerinin, gemi işletmecilerinin ve yetkili kurumların yeni kurallara uymasını sağlamaktır.

#### **4.3.1 MARPOL Ek 6 Kural 13**

MARPOL Ek 6’nın 13’üncü maddesi NO<sub>x</sub>’in emisyonunun azaltılması ile ilgili olup hangi dizel motorlarına uygulanacağı Çizelge 4.2 ‘de belirtilmiştir [45]. Bu çizelgede belirtilen kurallar; 1 Ocak 2000 ve sonrasında önemli yapısal değişiklik geçirmiş gücü 130 kW’nin üzerindeki tüm dizel makinelerine uygulanır. Kurallar acil durum dizel motoruna, filika motorlarına ve sadece acil durumlarda kullanılan dizel motorlarına uygulanmaz.

Yukarıda bahsedilen dizel motorlarına uygulanan önemli yapısal değişiklikten amaç 1 Ocak 2000 den sonra yapılmış olan dizel motorunun tamamen değiştirilip yenisinin konması veya mevcut makinede NO<sub>x</sub> emisyonunu etkileyebilecek bir sistemin yenilenmesi ve makine gücünün %10’dan fazla arttırılması işlemleridir. Kural 13’de belirtilen kurallara göre dizel makinelerin NO<sub>x</sub> ıkışı, Çizelge 4.2 de belirtilen sınırları açtığı takdirde bu makinelerin çalıştırılması yasaklanacaktır:

**Çizelge 4.2: IMO MARPOL Ek 6, NO<sub>x</sub> Limitleri.**

| Krank şaft devri (d/d) | NO <sub>x</sub> Limiti (g \ kWh) |
|------------------------|----------------------------------|
| 130 un altı            | 17.0                             |
| 130 ile 1999           | $45 \times n^{-0.2}$             |
| 2000 ve üstü           | 9.8                              |

Yine bu kurallara göre bu konvansiyona taraf ülkelerin sularında da seyir yapan veya bu ülkelerin bayrağını taşıyan 400 groston ve üzerindeki gemilerin Uluslararası Hava Kirliliğini Önleme Sertifikası (IAPP) olmak zorundadır. MARPOL Ek 6 ayrıca yukarıda tanımlanan dizel makinelerinin de NO<sub>x</sub> Teknik Kod gereğince NO<sub>x</sub> emisyon limitlerini belirlemek için hava kirliliğini önleme sertifikasının olmasını zorunlu koştur.

#### **4.3.2 MARPOL Ek 6 Kural 14**

MARPOL Ek 6'nın 14'üncü maddesi SO<sub>x</sub> emisyonu ile ilgili olup MARPOL Ek 6 yürürlüğe girdikten sonra gemilerde kullanılan yakıtın içerisindeki kükürt miktarı maksimum % 4,5 olacak şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Buna ek olarak; IMO'nun kararı gereğince yakıt içerisindeki kükürt oranının % 1,5'u aşamayacağı özel alanlar da belirlenmiştir. IMO tarafından belirlenen ilk özel alan Baltık Denizi olup 19 Mayıs 2006'dan itibaren karar uygulanmaya konmuştur. Belirlenen diğer alanlar ise Kuzey Denizi ve İngiliz Kanalı olup 19 Kasım 2007' den itibaren kural bu bölgelerde de geçerli olacaktır. Bu özel alanlar, Kükürt Emisyon Kontrol Alanları (SECAs) olarak adlandırılıp ileriki tarihlerde bu özel alanlara yenilerinin de eklenmesi beklenmektedir [45].

Dünya genelinde kullanılan HFO'in ortalama kükürt oranı yapılan birçok teste dayanılarak % 2,7 bulunmuştur. Kullanılan HFO'in sadece % 0,2 si % 4,5 limitini aşsa da % 1,5 limitinin altında kullanılan miktar sadece % 4 gibi küçük bir orandır. Bu bölgelerde ise ihtiyaç duyulacak düşük kükürtlü yakıt miktarının yıllık 17 milyon ton olduğu belirtilmektedir [46]. Gemilerin SO<sub>x</sub> emisyon kontrol özel alanları içerisinde maksimum % 1,5 kükürt içerikli yakıt kullanma zorunluluklarından dolayı bu bölgelere girmeden önce düşük kükürtlü yakıtla geçmelidirler. Bu sebepten dolayı gemilerde bazı tanklar düşük kükürt içerikli yakıt tankları olarak kullanılmalı veya

ilave tanklar yapılmalıdır. Düşük kükürtlü yakıta geçilen saat, mevki gibi kayıtlar ise makine jurnaline işlenmelidir [46].

#### 4.3.3 Amerika’da gemi kaynaklı emisyonlarla ilgili düzenlemeler

ABD’deki gemilerden oluşan egzoz gazı emisyon limitleri, Amerikan Çevre Koruma Kurumu (EPA) tarafından Çizelge 4.3’de belirtilmiştir [47]. Dizel motor hacmine göre emisyonlar; HC, NO<sub>x</sub>, CO ve PT için limitler, 1 saatte 1 kW üretmek için yayılan gram cinsinden emisyon miktarı olarak belirlenmiş ve sınırlanmıştır.

**Çizelge 4. 3 :** ABD’deki gemiler için egzoz gazı emisyon limitleri.

| Silindir ölü hacmi (litre)                | HC , NO <sub>x</sub><br>(g \ kWh) | CO<br>(g \ kWh) | PT<br>(g\ kWh) |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|----------------|
| 5.0 ile 15.0 arası<br>37 kW altı ve eşiti | 7.8                               | 5.0             | 0.27           |
| 15,0 ile 20,0 arası<br>3300 kW a kadar    | 8.7                               | 5.0             | 0.50           |
| 15,0 ile 20,0 arası<br>3300 kW üstü       | 9.8                               | 5.0             | 0.50           |
| 20.0 ile 25,0 arası<br>Bütün güçler için  | 9.8                               | 5.0             | 0.50           |
| 25 ile 30 arası<br>Bütün güçler için      | 11.0                              | 5.0             | 0.50           |

#### 4.3.4 Gemi emisyonlarının azaltılması için yürürlüğe giren yeni düzenlemeler

Gemi kaynaklı emisyonların azaltılması ve kontrol altına alınması için, MARPOL Ek 6’da belirtilen VOC, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub>’in bir program dâhilinde azaltılması planlanmıştır. Ayrıca yakın gelecekte yürürlüğe girmesi beklenen CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasına yönelik çalışmalar IMO’nun deniz çevresini koruma komitesi tarafından, mevcut ve yeni gemiler için ayrı planlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Bu toplantıda gemi egzoz gazı emisyonunu azaltmak maksadıyla, yapılan yeni düzenlemeleri üç kısımda incelemek gerekmektedir.

Birinci düzenleme, yeni gemiler için enerji verimliliği tasarım endeksi olup yeni gemilerin CO<sub>2</sub> emisyonunun azaltılması için; narinlik katsayısına, gemi boyuna ve

geminin taşıma kapasitesine bağlı CO<sub>2</sub> tasarım endeksi oluşturulacaktır. Bu hesaplamalar belirlenen gemi tipleri üzerinden ayrı yapılacak ve ölçütleri belirlenecek olup yine bu kapsamda yapılan çalışmaların kayıt ve raporlanması esası getirilmektedir [45].

İkinci düzenleme, gemi enerji verimliliği yönetim planıdır. Her şirket ve geminin verimli işletmeciliği planı, gemilerin emisyonun azaltılmasına yönelik olarak operasyonlarının verimliliğini gösterecek mekanizmasıdır. Şirketlerce, eğitim almış plana ve kurallara hâkim bir sorumlu kişi atanacak olup enerjinin verimli kullanılması adına gemideki bütün operasyonlar gemi enerji verimliliği yönetim planı dâhilinde icra edilecek ve kayıt altına alınacaktır. Geminin işletilmesinde yakıtın verimli kullanılması adına; sefer planının çok iyi yapıp güncel tutulması, hava şartlarının kollanması, tahliye veya yükleme limanı ile iyi bir koordinasyonla yanaşma ve tahliye zamanının belirlenmesi gerekmektedir.

Gemi yakıt tüketiminin azaltılmasına yönelik için uygun hız ayarlanması, makine için uygun şaft gücünün seçimi ve uygun bakım tutum gibi konularda verimli çalışma ve ilgili kayıtları içermektedir [45]. Üçüncü düzenlemede ise bütün gemiler için enerji verimliliği işletme endeksi, gemilerin havaya saldıgı CO<sub>2</sub> miktarlarının taşınan yük miktarı ile yükün taşındığı mesafe ve taşıma şartları da göz önüne alınacaktır. Bu düzenlemede geminin verimliliği; teknik ve işletme şartları olarak değerlendirilecektir.

İşletme şartları; sefer planlaması, balast durumu, hava koşullarından oluşmakta, teknik şartlar ise; tekne yapısı, pervane tasarımı, denizli hava koşullarının dikkate alınarak makine seçimi, direnç artışına neden olan durumların azaltılmasına yönelik tekne bakım tutumu gibi parametrelerin CO<sub>2</sub> emisyonuna yönelik analizleri kapsamaktadır. Böylece her geminin taşıdığı yüke oranla salınım miktarları belirlenecek ve her sefer için hesaplanan indeks değeri belirlenecek ve kayıt altına alınarak belirli aralıklarla raporlanacaktır [45].



## **5. İZMİR LİMANI**

İzmir Limanı, İzmir Körfezi'nin Alsancak mevkiinde tamamı beton kazıklar üzerine oturtulmuş, deniz ve hava şartlarına karşı doğal olarak korunaklı bir limandır. Ege Denizi kıyısında İzmir Körfezi'nin doğusunda kalan deniz alanını kapsamakta olup niteliği ve potansiyeli bakımından Türkiye'nin en stratejik limanlarından biridir. 11 milyon tonun üzerindeki kapasitesiyle ülkemizin en büyük konteynır ihracat limanlarından olan İzmir Limanı'nda, Batı Anadolu ve İç Anadolu ihracatının büyük bir bölümü gerçekleştirilmektedir.

İzmir Limanı taşımalık, genel kargo, dökme yük, Ro-Ro ve yolcu taşımacılığına hizmet vermektedir. 2008 yılında ülkemiz limanlarından yapılan toplam 30 milyon tonluk yük taşımalarının 11 milyon tonundan fazlası İzmir Alsancak Limanı'ndan gerçekleşmiş olup bu rakam limanlardan yapılan yük taşımalarının % 37'sine karşılık gelmektedir [48].

İzmir Limanı, Adnan Menderes Havalimanına 25 dakika, Ege Serbest Bölgesi'ne 20 dakika, İzmir kentinin yoğun sanayileşme bölgeleri olan Bornova'ya 10 dakika, Torbalı'ya 35 dakika, Kemalpaşa Havzasına 35 dakika, Çiğli Atatürk Organize Serbest Bölge'ye 20 dakika, Manisa OSB'ye 35 dakika, Aliğa sanayi bölgesine 50 dakika mesafededir [48].

### **5.1 İzmir Limanı'na İlişkin Teknik Bilgiler**

#### **5.1.1 Liman kapasitesi**

Genel yük gemileri için yılda 810, konteynır gemileri için 1500, kuru dökme yük gemileri için 79, yolcu gemileri için 1246 olmak üzere toplam 3.635 gemi kabul kapasitesi bulunmaktadır [49]. 2009 yılı itibariyle İzmir limanı, yıllık 900 bin TEU'luk konteynır kapasitesi ve toplamda yıllık 11 milyon ton yükleme-boşaltma kapasitesine sahiptir [49].

### **5.1.2 Gemi yanaşma yeri**

Feribot rampası dâhil 24 adet gemi yanaşma yeri olup, rıhtımların toplam uzunluğu 3.400 metredir. Bu uzunluk 75 metre ile 220 metre arasında değişiklikler göstermektedir. En az uzunluğa sahip 75 metrelik 6 numaralı rıhtımı, 97 metre uzunlukla 11 numaralı rıhtım izlemekte; diğerlerinin uzunlukları 120 metre ile 220 metre arasında değişmektedir [49]

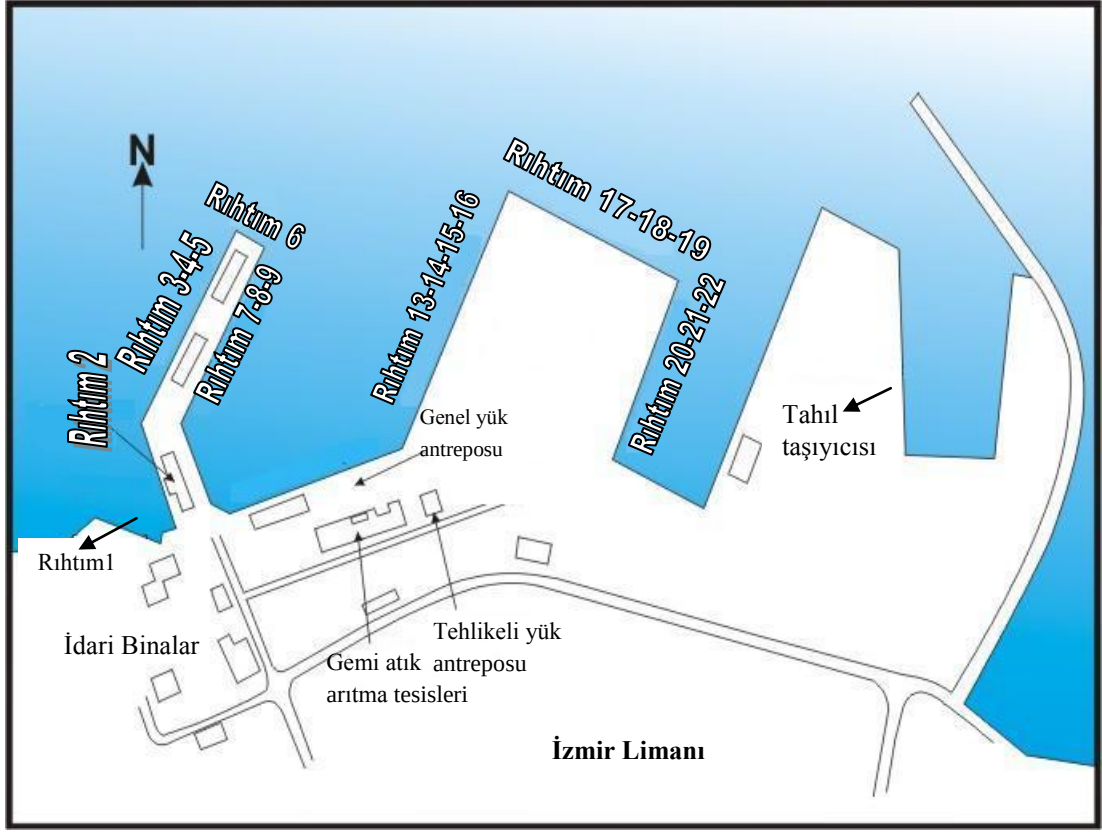
Rıhtımların derinlikleri 10,5 ile 14 metre arasında değişmektedir. 10,5 metre derinlikte olan rıhtım sayısı 14 ile çoğunluğu oluşturmaktadır.

Genel yük gemileri için yanaşma yeri çoğunluğu oluşturmakta (12 adet) olup, toplam rıhtım uzunluğu 1429 metre ve maksimum derinlik 10,5 metredir. Konteynır gemileri için yanaşma yeri, adet olarak ikinci sırayı almakta (8 adet) olup, toplam rıhtım uzunluğu 1.050 metre ve maksimum derinlik 14 metredir. Kuru dökme yük için ayrılan yanaşma yeri uzunluğu 150 metre ve maksimum derinlik 10,5 metredir. Yolcu gemileri için iki yanaşma yerinde toplam uzunluk 330 metre ve maksimum derinlik 10,5 metredir. Genel yük, konteynır, dökme kuru yük ve yolcu 1.050 metreden daha fazla uzunluğa sahip için rıhtım uzunluğu toplam 2.959 metre olup, toplam rıhtım kapasitesi 11,1 Mt/ yıl'dır [49].

### **5.1.3 Konteynır terminali**

İzmir limanının konteynır terminalinde, gelişmiş teknolojik donanım kullanılarak hızlı ve güvenli istifleme hizmeti verilmektedir. Konteynır istifleme operasyonları, 40 tonluk 5 adet gantry crane, 40 tonluk 19 adet lastik tekerlekli transtainer, 25-42 tonluk 20 adet dolu ve 8-10 tonluk 20 adet boş konteynır forklifti ile gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında 3-25 tonluk 7 adet rıhtım vinci, 5-25 tonluk 12 adet mobil vinç, 20 adet kısa mastlı forklift bulunmaktadır. Ayrıca, terminalde, reefer (soğutuculu) konteynırlar için uygun reefer panoları da mevcuttur. Konteynır yıkama tesisinin kapasitesi günlük 20 TEU' dur. Konteynır terminali 152.000 m<sup>2</sup> alana sahip olup kapasitesi 7.047 TEU' dur [49]. İzmir limanı yapısı teknik çizimle Şekil 5.1'de belirtilmiştir [48].





Şekil 5.1: İzmir Limanı'na ait teknik çizim.

## 5.2 İzmir Limanı'nda İthalat ve İhracat Faaliyetlerine Genel Bakış

1992-2009 yılları arasında İzmir Limanı'nda TEU olarak toplam istiflenen dolu ve boş konteynır sayısı konteynır sayısı, ihraç yüklerin toplamı, ithal yüklerin toplamı, toplam ihraç ve ithal yük toplamı ve limana uğrak yapan gemi sayılarına ilişkin veriler, Çizelge 5.1' de özetlenmektedir [48].

İzmir limanına gelen gemi sayısı açısından, en az geminin geldiği 1992 yılı ile 2009 yılı karşılaştırıldığında % 28 oranında artış olmuştur. En çok geminin geldiği 2007 yılı ile kıyaslandığında % 34 lük artış olmuştur. İzmir limanında ithal ve ihraç edilen yüklerin toplamı açısından, toplamda en az olan 1992 yılı, 2009 yılı ile karşılaştırıldığında,%143 oranında artmıştır [48]. 2007 yılı ile kıyaslandığında %198'lik artmıştır. İzmir limanında işlem gören boş ve dolu konteynır sayısının 1992 yılı ile 2009 yılı karşılaştırıldığında %400'lük artış, İzmir Limanı'na Türkiye'nin en büyük konteynır limanı olma özelliğini sağlamıştır [48].

1992 yılından günümüze kadar İzmir Limanında taşıma liman faaliyetlerindeki yüksek orandaki artışın Türk ekonomisine olumlu ekonomik etkileri olmasının

yanında gelen gemi sayısındaki ve tonajındaki artıştan dolayı gemi kaynaklı emisyonların artmasına ve bu emisyonlar insan sağlığına olumsuz etkilere yol açmaktadır. Gemi kaynaklı emisyonların, İzmir nüfusunun 1990 yılında 1,5 milyon civarında iken 2009 yılında 3,8 milyona yükselmesi, gemi kaynaklı emisyonların İzmir halkına etkisini artırmaktadır [50]. İzmir’de birim alana düşen insan yoğunluğunun artması, günümüze kadar yapılmamış olan gemi emisyonu envanteri çalışmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

**Çizelge 5. 1 : 1992-2009 Yılları arasında İzmir Limanına ait istatistiksel veriler.**

| YILI | GELEN GEMİ SAYISI | İHRAÇ YÜKLERİ (TON) | İTHAL YÜKLER (TON) | TOPLAM (TON) | KONTEYNİR SAYISI (TEU) |
|------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------|------------------------|
| 1992 | 2.078             | 2.639.394           | 1.603.736          | 4.243.130    | 164.170                |
| 1993 | 2.160             | 2.574.210           | 2.482.013          | 5.056.223    | 214.341                |
| 1994 | 2.263             | 3.183.688           | 1.439.455          | 4.623.143    | 275.432                |
| 1995 | 2.240             | 2.899.154           | 1.932.190          | 4.831.344    | 300.794                |
| 1996 | 2.553             | 3.071.681           | 2.455.694          | 5.527.375    | 345.924                |
| 1997 | 2.496             | 3.304.482           | 2.619.305          | 5.923.787    | 391.696                |
| 1998 | 2.583             | 3.507.554           | 2.814.403          | 6.321.957    | 400.194                |
| 1999 | 2.725             | 4.553.059           | 2.631.354          | 7.184.413    | 435.970                |
| 2000 | 2.757             | 5.215.710           | 2.948.760          | 8.164.470    | 464.455                |
| 2001 | 2.574             | 6.500.021           | 1.926.048          | 8.426.069    | 491.277                |
| 2002 | 2.645             | 7.053.607           | 2.599.107          | 9.652.714    | 573.231                |
| 2003 | 2.628             | 8.010.121           | 3.099.478          | 11.109.599   | 700.795                |
| 2004 | 2.644             | 8.977.039           | 3.523.226          | 12.500.265   | 804.564                |
| 2005 | 2.675             | 8.219.750           | 3.591.729          | 11.811.479   | 784.317                |
| 2006 | 2.333             | 8.302.367           | 3.967.565          | 12.269.933   | 847.926                |
| 2007 | 2.820             | 7.754.401           | 4.321.344          | 12.075.745   | 894.685                |
| 2008 | 2.475             | 7.135.766           | 4.168.090          | 11.303.856   | 895.102                |
| 2009 | 2.667             | 7.048.167           | 3.229.943          | 10.278.110   | 821.590                |

## 6. İZMİR İLİ HAVA KİRLİLİĞİ

İzmir, Ege Denizi'nin batı kıyısında konuşlanmakta olup, nüfus yoğunluğu bakımından Türkiye'nin üçüncü büyük şehri ve ticaret merkezidir. İki önemli uluslar arası öneme sahip olan Aliğa ve Alsancak limanları vasıtasıyla ülkemiz ihracatında ekonomik rol oynar. Ayrıca bu limanlara Aydın, Denizli ve Manisa gibi tarımın ve sanayinin geliştiği şehirlerde üretilen ihraç ürünleri, demiryolu ve karayolu taşımacıyla dış ülkelere ihraç edilir. İzmir'in sahip olduğu coğrafik üstünlük sanayisinin gelişmesine ve limanlarının kapasitesinin büyümesine sebep olmuştur. Fakat sanayileşen, nüfus artışının yüksek olduğu İzmir için hava kirliliği sorunu yaratan negatif bir sorun olmaktadır.

İzmir nüfus artışında Türkiye'nin önde gelen illerindendir. Çizelge 6.1 'de belirtildiği üzere 2000 yılında şehir nüfusu 2 milyon 723 bin ve nüfus yoğunluğu (km<sup>2</sup>/kişi) 281 iken, 2009 yılında nüfus 3 milyon 868 bin ve nüfus yoğunluğu 322 olmuştur [50]. 2000 yılından 2009 yılına kadar İzmir'in nüfusunda % 42 artış olurken Türkiye genelinde ise % 6,8 artış olmuştur. Nüfus artışının en önemli nedeni, İzmir'in ekonomik yapısındaki gelişmişliği ve bunun sonucunda diğer illerden göç olayını artırmasıdır. Ayrıca İzmir'de nüfus kent merkezinde oluşmaktadır. Kentli nüfus tüm İzmir nüfusunun %91.1'i, köy nüfusu ise sadece %8.9' udur [50]. Şehir nüfusunun merkezde artması, nüfus yoğunluğunu ve bunun neticesinde İzmir'de hava kirliliğinin şehirde yaşayan insanlara zararlı etkilerini de artırmaktadır.

**Çizelge 6. 1:** 2000 Yılından 2009 Yılına kadar İzmir ili nüfus artışı.

| Yıl  | Nüfus     | Nüfus yoğunluğu (km <sup>2</sup> /kişi) |
|------|-----------|-----------------------------------------|
| 2000 | 2.723.226 | 281                                     |
| 2009 | 3.868.308 | 322                                     |

## 6.1 İzmir’de Hava Kirliliği Kaynakları

İzmir’de hava kirliliği kaynakları genel olarak sanayi tesisleri, İzmir limanlarına gelen gemiler ve trafikteki taşıtlar olup kış aylarında bunlara ısınma amaçlı olarak evsel ısınma eklenmektedir. 2000 yılı İzmir İli’ne ait hava kirliliği kaynakları ve yaydıkları egzoz gazı miktarları , Çizelge 6.2’de verilmiştir [51]. Bu çizelgede İzmir il sınırlarındaki hava kirliliği kaynaklarının ürettiği egzoz gazı emisyonların yüzdeleri birbirinden farklı olup sanayi tesislerinde SO<sub>2</sub>, evsel ısınmadan PM, trafikten ise daha çok NO<sub>x</sub>, uçucu organik bileşikler ve CO oluşmaktadır [51]. Kentin çevresinde kalan çimento fabrikaları, taş ocağı ve mıcır tesisleri, asfalt tesisleri ve demir çelik fabrikası kent içi hava kalitesini olumsuz etkilememektedir. Ayrıca İzmir limanlarına uğrak yapan gemilerde birer hava kirleticisi olup atmosfere insan sağlığına zararlı egzoz gazı emisyonları oluştururlar. Gemi kaynaklı egzoz emisyonları, İzmir ili emisyon envanteri çalışmalarında bulunmamaktadır.

**Çizelge 6. 2 :** İzmir ili hava kirletici kaynaklarından yayılan egzoz gazı emisyonları.

| Hava Kirliliği Kaynakları | PM (ton/yıl) | SO <sub>x</sub> (ton/yıl) | NO <sub>x</sub> (ton/yıl) | VOC (ton/yıl) | CO (ton/yıl) |
|---------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------|--------------|
| Evsel Isınma              | 49.640       | 24.090                    | 5.110                     | 4.015         | 1.825        |
| Trafik                    | 2.190        | 2.555                     | 29.930                    | 19.710        | 113.515      |
| Sanayi                    | 11.315       | 82.855                    | 14.600                    | 1.095         | 1.460        |
| TOPLAM                    | 63.145       | 109.500                   | 49.640                    | 24.820        | 116.800      |

Çizelge 6.2 deki verilere göre sanayideki SO<sub>2</sub> kirliliğinin büyük Ekü Aliğa’daki rafineri ve petrokimya tesislerinden kaynaklanmaktaydı. Bu tesislerin ve diğer sanayi tesislerinin büyük oranda doğal gazla geçişi ile SO<sub>2</sub> emisyonları çok ciddi düzeylerde azalmıştır. Aynı şekilde evsel ısınmada da doğal gazın yaygınlaşması ile hem SO<sub>2</sub> hem de PM emisyonları azalmaktadır.

İzmir’de sanayinin büyük çoğunluğunun doğal gazla geçmesi ve evsel ısınmada da doğal gazın yaygınlaşması kirlenmeyi doğal olarak azaltmıştır. Trafik sektörüne ait emisyonlar sadece kara ulaşımında taşıtların oluşturduğu emisyonlar olmakla birlikte gemilerden kaynaklanan emisyonlar da ilave edildiğinde, trafik sektörü en önemli kirletici kaynak konumunda olacaktır.

İzmir’de hava kirliliğini etkileyen en önemli kaynaklar Aliğa Bölgesindeki sanayi tesisleridir. Rafineri, petrokimya ve demir-çelik tesisleri gibi tesislerden kaynaklanan egzoz gazı emisyonların çeşitleri sektörlere göre değişmektedir. Rafineri ve Petkim’de yanma kaynaklı kirleticiler ile organik kirleticiler önemliyken demir çelik tesislerinde ise toz emisyonları büyük önem kazanmaktadır. İzmir genelinde hâkim rüzgâr yönlerinin kuzeyden esen rüzgârlar olması nedeniyle, Aliğa bölgesinde oluşan kirleticiler bu rüzgârlar vasıtasıyla taşınarak İzmir’e gelmektedir [52].

İzmir şehir merkezine yakın noktalarda bulunan sanayi tesislerinden; çimento fabrikaları ve yeniden devreye alınan demir çelik tesisi en önemli kaynaklar arasındadır. İzmir’deki diğer bir önemli hava kirletici kaynakları, kentin değişik bölgelerinde faaliyette bulunan taş ocağı ve mıcır tesisleridir.



## **7. GEMİ EGZOZ EMİSYON MİKTARLARININ HESAPLANMASI**

### **7.1 Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Emisyonlarını Hesaplama Metotları**

Emisyon hesaplama metotları, emisyon envanter çalışmalarının temelini oluştur. Bulunan egzoz gazı emisyon miktarları, geçmişte yapılmış çalışmalarla karşılaştırmada ve çevresel etkilerinin seyri belirlenir. Çevresel etkiler, canlılar üzerinde olumsuz etkilerle kendini gösterir. Bu olumsuz etkiler, bilimsel çalışmalarla ortaya çıkartılır. IMO ve EPA gibi uluslararası denizcilik örgütleri de emisyon envanteri çalışmaları sonucunda, emisyon hesabının yapıldığı bölge için emisyon miktarını azaltacak yasal düzenlemeler ve sınırlamalar getirir.

Gemilerden kaynaklanan hava kirliliğinin belirlenmesinde gemi makinelerinin egzozlarından çıkan emisyon miktarı önemlidir. Miktarlar hesaplanırken başlıca iki metot uygulanır. Birincisi gemilerin toplam yaktıkları yakıt miktarlarının kullanılarak yapılan emisyon hesaplama metodu diğeri ise geminin seyir, manevra ve rıhtımdaki aktiviteleri temel alınarak yapılan emisyon hesaplama metodudur.

Yakıt miktarına göre önemli emisyon tahmini için önemli bileşen, her geminin ne kadar yakıt yaktığıdır. Diğer bileşenler, her geminin cinsi, grostonu, çalıştığı gün sayısı, geminin bu süre içinde çalışan makinesi veya makinelerinin tipi, bu makinelerin kullandığı yakıt tipi tükettiği yakıtın cinsi ve miktarıdır. Bu metotta işletme şartlarına göre tüketilen yakıt miktarları, yük faktörlerine göre değişmektedir. Örnek olarak tankerlerde yakıtı boşaltma işlemi gemi bünyesindeki elektrikli veya buhar türbini ile olmaktadır. Bu pompaların devreye girmesiyle elektrik jeneratörlerinde fazladan bir yük oluşur veya kazan devreye alınır. Bunun için tankerlerde boşaltma işlemleri için fazladan yakıt tüketimi hesaplanır.

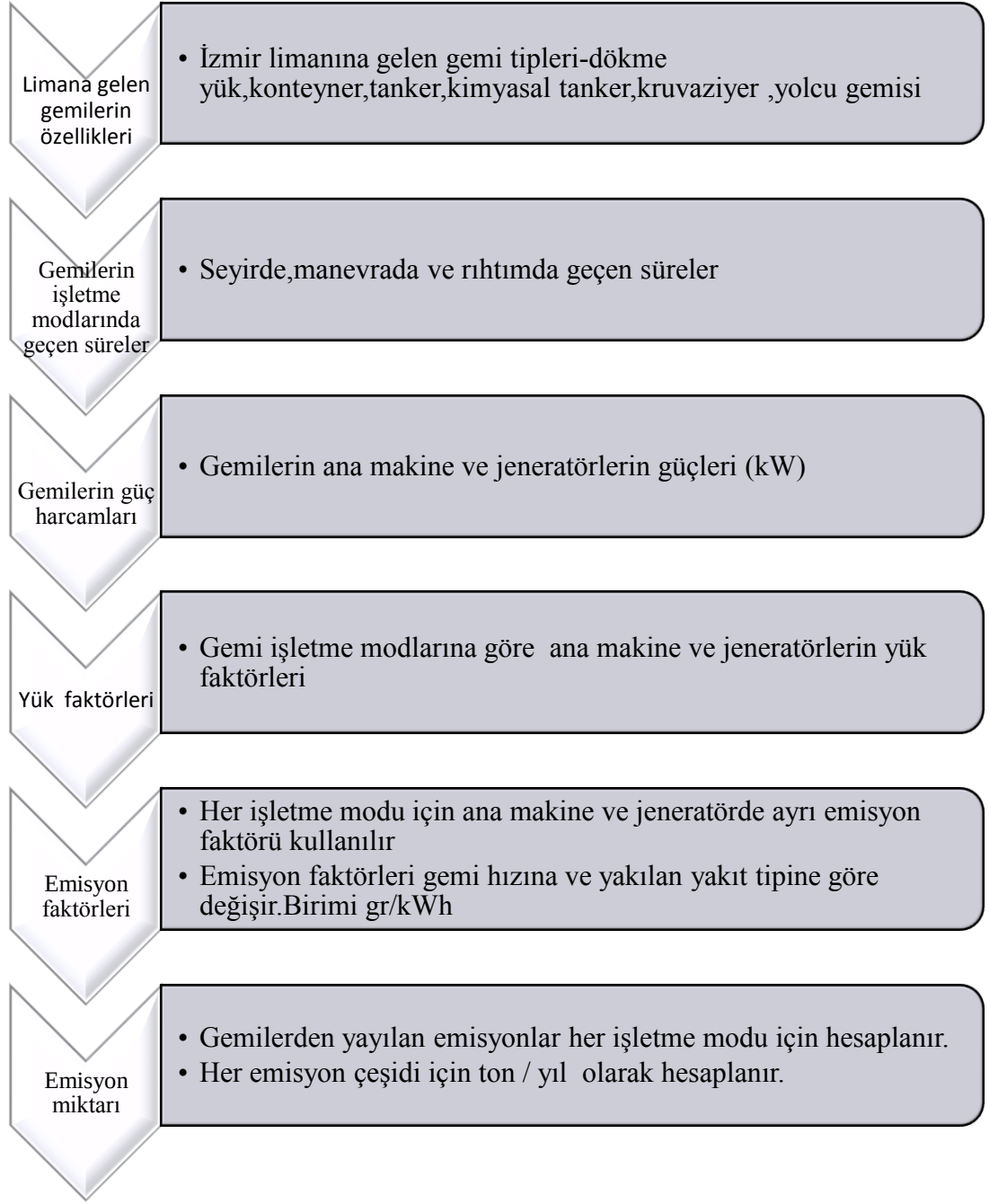
Diğer metot gemi aktiviteleri için emisyon hesaplama metodu olup, her bir gemi aktivitesi (seyirde, manevrada, rıhtımda) için belirlenen emisyon faktörleri kullanılarak emisyonlar hesaplanabilir. Emisyon faktörleri, her bir gemi aktivitesi esnasında ana makine ve yardımcı makinelerinden yayılan emisyon miktarlarını belirler. Her bir geminin emisyonları, seyirde, manevrada ve rıhtımda için ayrı hesaplanır. Çünkü her bir işletme modunda her bir geminin ana makine gücü ve

jeneratörlerin gücü; yük faktörüne göre ve kullanılan yakıt tipine göre değişir. Bundan dolayı gemi aktivitesine göre emisyon hesabında, her işletme modu için yük faktörlerine göre değişen ana makine ve jeneratör gücü bilinmelidir. Ayrıca her bir geminin işletme şartlarında ana makinesi ve jeneratöründe kullanılan yakıt tipi de bilinmelidir. Ek olarak, seyirde, manevrada ve rıhtımda geçen süreler bilinmelidir.

## **7.2 İzmir Limanına Gelen Gemilerin Egzoz Gazı Emisyonlarının Hesaplanması**

İzmir limanına gelen gemilerden kaynaklı emisyonların hesaplanmak için, gemi aktivitelerine göre emisyon hesaplama metodu kullanılmıştır. Gemilerin o anda bulunduğu işletme modlarında (seyirde, manevrada ve rıhtımda) göre emisyon tahmini hesaplanmaktadır. Limana gelen gemilerin emisyonları, her geminin seyir, manevra ve rıhtım olan işletme modları için hesaplanmıştır. Ayrıca limana gelen gemi sayısı ve özellikleri, her geminin ana makine ve jeneratörlerinin güçleri, her gemiye ait işletme modlarında geçen süreler, yük ve emisyon faktörleri, limana gelen gemilerin emisyonların hesaplanmasında kullanılmaktadır. İzmir limanına gelen gemilerin aktivitelerine göre emisyon hesap akış diyagramı Şekil 7.1’de belirtilmiştir.





**Şekil 7. 1 :** Kullanılan gemi emisyon hesaplama metodunun akış diyagramı.

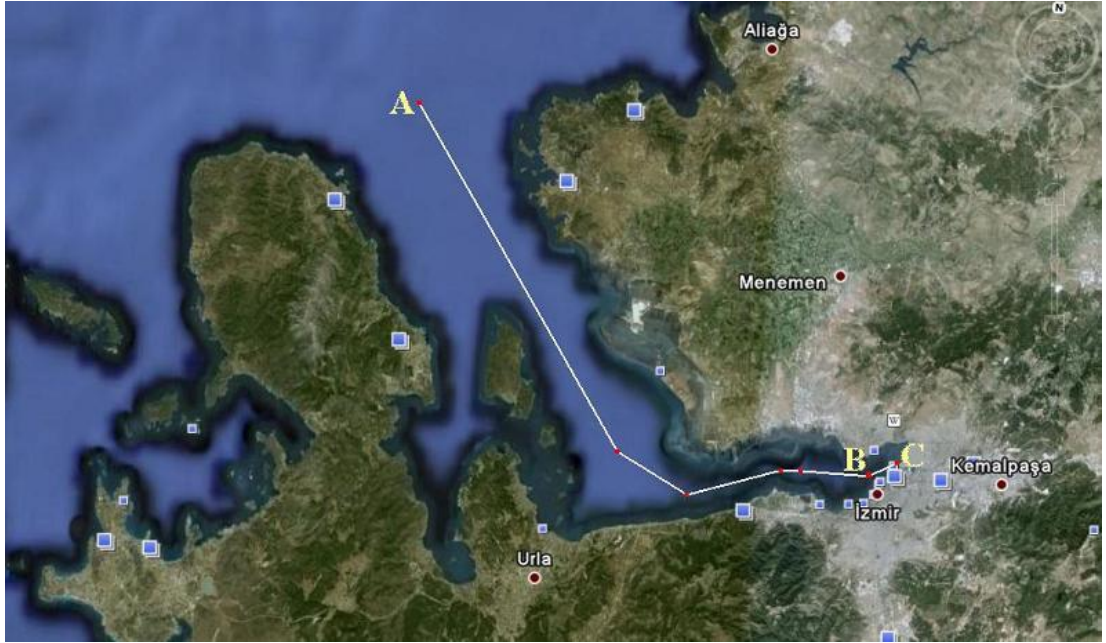
### 7.2.1 Emisyon tahmin metodunun uygulandığı alan

Hesap yönteminin uygulama alanı Şekil 7.2’ de belirtilmiştir [53]. Seyir emisyonları A ve B noktaları arasındaki 64,4 kilometrelik mesafe için uygulanmış olup her gemi işletme modu için mesafeler, Çizelge 7.1 ‘de belirtilmiştir. A noktası, her geminin İzmir körfezinde seyire başladığı, B noktası da seyir bitiş noktası kabul edilmiş olup A ve B arası seyir emisyonlarının hesaplandığı mesafedir. B noktası gemilerin demirlediği alan olup İzmir limanına mesafesi 3 km.dir. İzmir limanındaki demir ile

rıhtım bölgesi C noktası arası, her gemi için manevranın yapıldığı bölgedir. B ve C arasında gemilerin yanaşma için 1 saat kalkış için 1 saat, toplamda 2 saat manevra yaptığı bu bölge için manevra emisyon hesabı yapılmıştır. C noktası, İzmir limanında rıhtımda yükleme ve boşaltma yapan gemilere ait rıhtım emisyonlarının hesaplandığı bölgedir.

**Çizelge 7. 1 : Her gemi işletme modu için mesafeler.**

| Gemi pozisyonu | İşletme modu | Hesaplanan toplam mesafe   |
|----------------|--------------|----------------------------|
| A-B            | Seyir        | $64.4 \times 2 = 128,8$ km |
| B-C            | Manevra      | $3 \times 2 = 6$ km        |
| C              | Rıhtım       | -                          |



**Şekil 7. 2 : Egzoz gazı emisyonların hesaplandığı alan.**

### 7.2.2 Hesaplanan emisyon çeşitleri

İzmir limanına gelen gemilerin oluşturduğu egzoz gazı emisyonları;  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}_2$  ve HC olup ana makine ve elektrik üreten jeneratörlerden yayılmaktadırlar. İşletme modlarına ve yük faktörlerine göre yayılan emisyonların miktarları değişmektedir. Çizelge 7.2’de hesaplanan emisyon türleri belirtilmiştir.

**Çizelge 7. 2 : Hesaplanan egzoz gazı emisyon çeşitleri.**

| Kısaltma        | Egzoz gazı emisyon çeşitleri                                   |
|-----------------|----------------------------------------------------------------|
| NO <sub>x</sub> | Azot oksitler,NO <sub>2</sub> olarak hesaplandı                |
| SO <sub>2</sub> | Kükürt oksitler                                                |
| CO <sub>2</sub> | Karbondioksit                                                  |
| HC              | Hidrokarbonları                                                |
| PM              | PM <sub>2,5</sub> ve PM <sub>10</sub> toplam olarak hesaplandı |

### **7.3 Egzoz Gazı Emisyon Tahmin Metodunun Uygulaması**

2007 yılına ait İzmir limanına gelen gemilerin egzoz gazı emisyonları miktarını tahmini için, gemi aktivitelerine göre emisyon hesaplama yöntemi uygulandı. İzmir limanına gelen gemilerden yayılan toplam egzoz gazı emisyonlarını bulabilmek için, gemilerin işletme modları olan seyirde, manevrada ve rıhtımda yaydıkları egzoz gazı miktarları hesaplanmıştır.

İzmir limanına gelen her gemiye ait işletme modları için Çizelge 7.2’de belirtilen mesafelerde, ana makinelerinden ve jeneratörlerinden yayılan egzoz gazları miktarları hesaplandı. Egzoz gazı miktarlarını tahmini için gerekli veriler, İzmir limanına gelen gemi tipleri, her işletme modunda geçen süreler, her geminin ana makine ile jeneratörlerin güçleri, işletme modlarına göre yük ve emisyon faktörleridir.

Egzoz gazı miktarlarını hesaplanmasında en önemli veri kaynağı; Denizcilik Müsteşarlığından tedarik edilen; 2007 yılına ait İzmir limanına gelen gemilerin ismi, grostonu, tipi ve limanda yükleme ve boşaltmada geçen sürelerin belirtildiği bilgilerdir [54].

İzmir Limanı’na gelen gemilerin egzoz gazı emisyonlarının tahmini için gerekli diğer önemli veriler, her geminin ana makine ve jeneratör güçleridir. Bu veriler, Uluslararası Sınıflandırma Kuruluşları Birliği’ne üye Lloyd’s Register Of Shipping (LR)’in 100 grostonun üstündeki 170 bin adet gemiye ait veri bankasından bulunmuştur [55]. İzmir limanına gelen her geminin ismi, LR’in internet sitesindeki gemi veri bankasından tek tek girilerek her geminin ana makine gücü, makine devri ve jeneratör güçleri bulunarak düzenlenmiş bilgiler, Ek-A listesinde belirtilmiştir.

İzmir limanına birden fazla gelen gemilerin, limanda kalma süreleri farklı olduğu için, her işletme modunda farklı egzoz gazı emisyon miktarları bulunmuştur.

Önemli verilerden bir tanesi de her geminin hızına ve yakılan yakıta göre değişen emisyon faktörleridir. Ayrıca egzoz gazı miktarları için her işletme modunda ana makine ve jeneratör için yük faktörlerine gereksinim vardır. Çünkü seyirde ana makinenin yükü ile manevradaki yükten fazladır. Sonuç olarak 2007 yılında, İzmir Limanına toplamda 2806 defa uğramış olan gemilerine ait gerçek veriler kullanılarak, farklı işletme modlarında yayılan egzoz gazı miktarları hesaplanmıştır.

2007 yılı gemilerine ait verilerin kullanılmasının sebebi, 2007 yılında İzmir Limanına gelen gemi sayısı en fazladır. Bunun sebebi; 2008 ile 2009 yıllarında küresel ekonomik krizinden dolayı gelen gemi sayısında azalmasıdır.

### **7.3.1 Seyirdeki egzoz gazı emisyonları**

Seyirdeki emisyonların hesaplandığı genel denklem, çalışma alanında belirtildiği üzere A ve B noktaları arasındaki 64,4 km gidiş 64,4 dönüş olarak toplam 128,8 kilometrelik mesafede her geminin çalışan tek ana makinesi ve tek jeneratörü için egzoz gazı emisyonları hesaplanmıştır.

Seyirde oluşan emisyon hesaplama denklemi iki kısma ayrılır. Birinci kısımda ana makinenin yaydığı emisyon miktarlarıdır. Bunu hesaplamak için her bir geminin ana makinesinin gücünün, seyirdeki ana makinenin yük ve emisyon faktörü ile çarpılarak bulunan değer ile manevra yerine kadar geminin aldığı mesafenin gemi hızına bölünmesiyle bulunan değerle çarpılması sonucunda ana makineden oluşan toplam egzoz gazı emisyonları bulunur.

İkinci kısımda jeneratörlerden yayılan emisyonlar hesaplanabilir. Ana makine emisyonları için uygulanan denklem her bir geminin jeneratörlerine ait gerekli yük ve emisyon faktörleri de aynı denkleme konularak jeneratörlere ait egzoz gazı emisyonları bulunur.

Seyir emisyonları için veriler incelendiğinde, manevra yerine kadar olan D mesafesi Şekil 7.2 'deki emisyon çalışma alanında belirtildiği üzere A noktasından demirleme bölgesi B noktasına kadar olan mesafe olup 64,4 km.dir [53]. Ayrıca her geminin limandan ayrılması da hesaba katılarak seyirde yayılan toplam egzoz gazı miktarı, 128,8 km.lik toplam mesafe için hesaplanmıştır.

Diğer önemli veri ise, gemi hızıdır. Bu veri her geminin özelliğine göre farklı olmakla birlikte İzmir Limanı'na gelen gemilerin hızları Çizelge 7.8'de belirtilmiştir [55]. Ana makine ve jeneratör güçleri 100 groston üzeri 170 bin geminin kaydının bulunduğu LR'da her gemi için araştırılarak bulunulmuştur [55].

Her gemi türü için, seyirde kullanılan yakıt tipine ve gemi hızına göre emisyon faktörü ENTEC firmasının Avrupa ülkeleri için 2005 yılında yapılan Avrupa Birliği Çevre Komisyonunca kabul edilen emisyon envanteri çalışmasındaki emisyon faktörleri kullanılmış olup Çizelge 7.3'de belirtilmiştir [56]. Emisyon faktörleri, her işletme modunda farklıdır, çünkü gemi hızları ve kullanılan yakıt özellikleri gemi işletme modlarına göre değişmektedir.

Seyirde ana makine ve jeneratörün yaydığı emisyonlarda, Çizelge 7.9' da belirtilen yük faktörleri kullanılmıştır [56]. Seyirde ana makine için yük faktörü % 80, jeneratörler için % 75 kullanılmıştır. Yük faktörleri ENTEC firmasının yukarıda bahsedilen çalışmasından alınmıştır [56].

İzmir Limanına gelen gemilerin seyirde egzoz gazı emisyonlarını hesaplayabilmek için Denklem 7.1' de belirtilen formül kullanılmıştır [56].

$$E_{Seyirde} = D/V [ ME.LF_{ME} .EF_1 + AE.LF_{AE} .EF_1 ] \quad (7.1)$$

Seyirdeki egzoz gazı emisyonları için gerekli veriler, aşağıdaki gibidir.

$E_{Seyirde}$  , Seyirde oluşan emisyon,birimi gram.

D, Manevra yerine kadar olan mesafe, birimi km.

V,Manevra yerine kadar olan ortalama hız, birimi km/saat.

ME, Ana makine gücü, birimi kW.

$LF_{ME}$ , Seyirdeki ana makine yük faktörü,%.

AE,Jeneratörün gücü, birimi kW.

$LF_{AE}$ , Seyirdeki jeneratörün yük faktörü,%.

$EF_1$ ,Her gemi türü için, seyirde kullanılan yakıt tipine ve gemi hızına göre emisyon faktörleri, birimi gr/kWh.

**Çizelge 7. 3 : Seyirde gemi tipine göre emisyon faktörleri.**

| Gemi Tipi       | Seyirde Emisyon Faktörleri EF <sub>1</sub> ,<br>(gr/kWh) |                 |                 |      |      |
|-----------------|----------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------|------|
|                 | NO <sub>x</sub>                                          | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | HC   | PM   |
| Genel Kargo     | 16,2                                                     | 10,9            | 649             | 0,54 | 1,28 |
| Konteynır       | 17,3                                                     | 10,8            | 635             | 0,57 | 1,56 |
| Yolcu           | 13,2                                                     | 11,8            | 697             | 0,46 | 0,81 |
| Kimyasal tanker | 16,3                                                     | 11,0            | 650             | 0,55 | 1,34 |
| Tanker          | 14,8                                                     | 11,7            | 690             | 0,50 | 1,43 |
| Ro-Ro           | 15,3                                                     | 11,1            | 655             | 0,52 | 1,17 |
| Kruvaziyer      | 13,2                                                     | 11,8            | 697             | 0,46 | 0,81 |

### **7.3.2 Liman egzoz gazı emisyonları**

Liman emisyonları manevrada ve rıhtımda oluşan emisyonlar olmak üzere iki kısımda incelenmiştir. Manevra bölgesinde oluşan emisyonlar, demirleme noktası B'deki gemilerin limana yanaşırken ve limandan kalkışta demirleme noktasına kadar oluşturdukları egzoz gazı emisyonlarıdır. Rıhtımda oluşan egzoz gazı emisyonları ise, gemi rıhtıma yanaşıp yüklemede veya boşaltmada geçen süre boyunca yayılan toplam egzoz gazı emisyonlarıdır. İzmir Limanı'na gelen gemilerin manevrada ve rıhtımda oluşturdukları egzoz gazı emisyonları ,limanda oluşan toplam egzoz gazı emisyonlarıdır.

#### **7.3.2.1 Manevrada oluşan egzoz gazı emisyonları**

Manevrada oluşan emisyonların hesaplandığı genel denklem, emisyon çalışma alanında belirtildiği üzere demirleme noktası B ile İzmir limanı C noktası arasındaki mesafede hesaplanmış olup diğer önemli veri ise, manevrada geçen süredir.

Manevrada oluşan emisyon hesaplama denkleminde, toplam manevra süresini ana makinenin ve jeneratörün manevrada yaydığı emisyon miktarları ile çarpılarak hesaplanır. Her bir geminin manevrada ana makinesinin yaydığı emisyonlar ana makine gücü ile manevradaki yük ve emisyon faktörleri ile çarpılarak bulunur. Manevra esnasında ana makinenin gücü azalır bundan dolayı manevradaki ana makine yük faktörü Çizelge 7.9’de belirtilen % 40 olarak uygulandı [56].

Manevrada jeneratörlerin yaydığı emisyonlar hesaplanırken, gemi seyir emniyeti için iki jeneratör paralel bağlı olarak devrede olacağı kabul edilmiştir. Manevradaki iki jeneratörün gücü, yük ve emisyon faktörleri ile çarpılarak jeneratörlerinden oluşan egzoz gazı emisyon miktarları hesaplandı. Hesaplanan jeneratörlere ait manevradaki yük faktörü, Çizelge 7.9’de belirtilen % 75 olarak uygulandı [56].

Manevra emisyonları için verilerden önemlisi ortalama manevrada geçen süredir. Bu süre, Denizcilik Müsteşarlığı İzmir liman Başkanlığı tarafından verilen, 1 saat limana yanaşırken ve 1 saatte limandan kalkış olarak toplam 2 saattir [54].

İzmir Limanına gelen gemilerin ana makine ve jeneratörlerinin güçleri, LR’de her gemi için bulundu ve EK A listesinde düzenlenerek belirtildi . Manevrada kullanılan emisyon faktörü, Çizelge 7.4’de belirtilmiştir [56].

Manevrada oluşan egzoz gazı emisyonlarını hesaplayabilmek için Denklem 7.2 de belirtilen formül kullanılmıştır [56].

$$E_{Manevrada} = T (ME.LF_{ME}.EF_2 + AE.LF_{AE}.EF_2) \quad (7.2)$$

Manevrada egzoz gazı emisyon hesabı için gerekli veriler, aşağıdaki gibidir.

$E_{MANEVRA}$ , Manevrada oluşan emisyon miktarı, birimi gram(gr)

T, Ortalama Manevra süresi, birimi saat

ME, Ana makine gücü, birimi kW

$LF_{ME}$ , Manevrada ana makine yük faktörü,%

AE, Jeneratörün gücü, birimi kW

$LF_{AE}$ , Manevrada jeneratörün yük faktörü,%

$EF_2$ , Her gemi için manevrada kullanılan yakıt tipine ve gemi hızına göre emisyon faktörleri, birimi gr/kWh

**Çizelge 7. 4 : Manevrada gemi tipine göre emisyon faktörleri.**

| Gemi Tipi       | Manevrada Emisyon Faktörleri EF <sub>2</sub> , (gr/kWh) |                 |                 |      |      |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-----------------|-----------------|------|------|
|                 | NO <sub>x</sub>                                         | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | HC   | PM   |
| Genel Kargo     | 13,2                                                    | 12,1            | 715             | 1,03 | 1,59 |
| Konteynır       | 13,8                                                    | 12,0            | 705             | 1,19 | 1,73 |
| Yolcu           | 11,8                                                    | 12,6            | 747             | 0,97 | 1,71 |
| Kimyasal tanker | 13,3                                                    | 12,2            | 715             | 1,04 | 1,60 |
| Tanker          | 12,5                                                    | 12,7            | 745             | 1,10 | 1,82 |
| Ro-Ro           | 12,8                                                    | 12,2            | 719             | 1,06 | 1,68 |
| Kruvaziyer      | 11,8                                                    | 12,6            | 747             | 0,97 | 1,71 |

#### 7.3.2.2 Rıhtımda oluşan egzoz gazı emisyonları

Rıhtımda oluşan emisyonlar, gemilerin rıhtımda kalma sürelerinde jeneratörden oluşan egzoz gazı emisyonlardır. Rıhtımda ana makine, yükleme ve boşaltma esnasında çalışmadığı için, emisyon hesabına katılmamıştır. Rıhtımda sadece tek jeneratör devrede olduğu kabul edilmiş olup yayılan egzoz gazları sadece jeneratörün oluşturduğu emisyonlardır.

Rıhtımda oluşan emisyon hesaplama denkleminde, rıhtımda her bir geminin kaldığı toplam süre, jeneratörün rıhtımda yaydığı emisyon miktarları ile çarpılarak hesaplanır. Her bir geminin rıhtımda yaydığı emisyonlar o geminin jeneratörünün gücü ile rıhtımdaki yükü ve emisyon faktörleri ile çarpılarak bulundu [56].

Rıhtım emisyonlarını hesaplamak için gerekli verilerden en önemlisi ortalama rıhtımda gemilerin kaldığı sürelerdir. İzmir limanına gelen her gemiye ait ortalama rıhtımda kalma süreleri, gemilerin yükleme ve boşaltma esnasında geçen toplam zamandır. Bu süreler, İzmir liman Başkanlığından alınmış olup EK-A'da belirtilmiştir.

Rıhtım emisyonlarını hesaplamak için gemi tiplerine göre Çizelge 7.5 'da belirtilen emisyon faktörleri kullanılmıştır [56]. Rıhtımda ana makine çalışmadığı sadece tek jeneratör devrede olduğu kabul edilmiş olup tek jeneratörün yük faktörü olarak % 75 kullanılmıştır [56].



Rıhtımdaki egzoz gazı emisyonlarını hesaplamak için Denklem 7.3 de belirtilen formül kullanılmıştır [56].

$$E_{Rıhtım} = T ( AE. LF_{AE}. EF_3 ) \quad (7.3)$$

Rıhtımda egzoz gazı emisyonlarını hesaplamak için gerekli veriler, aşağıdaki gibidir.

$E_{Rıhtım}$  , Rıhtımda oluşan emisyon miktarı, birimi gram

T, Rıhtımda geminin kaldığı süre, birimi saat

AE, Jeneratörün gücü, birimi kW

$LF_{AE}$ , Rıhtımda jeneratörün yük faktörü,%

$EF_3$  ,Her gemi için rıhtımda kullanılan yakıt tipine göre emisyon faktörleri, birimi gr/kWh

**Çizelge 7. 5 : Rıhtımda gemi tipine göre emisyon faktörleri.**

| Gemi Tipi       | Rıhtımda Emisyon Faktörleri $EF_3$ , (gr/kWh) |        |        |      |      |
|-----------------|-----------------------------------------------|--------|--------|------|------|
|                 | $NO_x$                                        | $SO_2$ | $CO_2$ | HC   | PM   |
| Genel Kargo     | 13,4                                          | 12,2   | 721    | 0,50 | 0,90 |
| Konteynır       | 13,5                                          | 12,3   | 720    | 0,50 | 0,90 |
| Yolcu           | 13,2                                          | 12,3   | 725    | 0,50 | 0,90 |
| Kimyasal tanker | 13,3                                          | 12,2   | 716    | 1,00 | 1,50 |
| Tanker          | 12,5                                          | 12,6   | 743    | 1,10 | 1,70 |
| Ro-Ro           | 13,3                                          | 12,3   | 722    | 0,50 | 0,90 |
| Kruvaziyer      | 13,2                                          | 12,3   | 725    | 0,50 | 0,90 |

#### 7.4 2007 Yılı İzmir Limanına Gelen Gemilerin Özellikleri

2007 Yılı İzmir Limanına uğrak yapan gemilerin tipi, sayısı, ortalama grostonu, ortalama limanda kalış süreleri ve ana makine güçlerine ait istatistiksel veriler, Çizelge 7.6'da özetlenmiştir. İzmir limanına uğrak yapan gemilere ait istatistiksel veriler değerlendirildiğinde; gelen gemilerin %56'sı konteynır gemisi, %35'i general kargo gemisi, %5'i kruvaziyer ve yolcu gemisi, %1.34'ü tanker ve kimyasal tanker

gemisidir. İzmir limanına gelen gemilerin ana makine ve jeneratörlere ait gerçek güç verileri, Ek A listesinde belirtilmiştir.

**Çizelge 7. 6 : 2007 Yılı İzmir Limanına gelen gemilere ait ortalama değerler.**

| Gemi Tipi       | Gemi Sayısı | Groston, GT | Rıhtımda kalış süresi, saat | Ana makine gücü, kW |
|-----------------|-------------|-------------|-----------------------------|---------------------|
| General Kargo   | 976         | 5.140       | 39                          | 2.912               |
| Konteynır       | 1567        | 16.323      | 21                          | 12.339              |
| Yolcu gemisi    | 48          | 19.272      | 14                          | 7.047               |
| Kimyasal Tanker | 4           | 5.457       | 65                          | 4.330               |
| Tanker          | 34          | 14.045      | 43                          | 6.748               |
| RO-RO           | 81          | 48.276      | 13                          | 12.429              |
| Kruvaziyer      | 93          | 98.903      | 8                           | 42.329              |

#### **7.4.1 Gelen gemilerin makine özellikleri**

Gemilerde egzoz gazı oluşturan makineler, gemiyi hareket ettiren ana makine, elektrik sağlayan jeneratörler ve kazan, incineratör gibi yardımcı makinelerdir. Çizelge 7.7’de belirtildiği üzere, geminin hareketini sağlayan ana makineler genel olarak düşük devirli iki zamanlı veya orta devirli dört zamanlı dizel makinesi olmaktadır. Jeneratörler, orta veya yüksek devirli dört zamanlı dizel makineleri olup elektrik üretmek için kullanılırlar. Gemi makine özelliklerinde en önemlisi makine devri ve gücüdür. Makine devri, krank şaftın dakikada yaptığı devirdir (RPM) .Makine gücü ise makine kaplinine aktarılan efektif güç olup birimi kilovattır. Jeneratörlerin alternatöründe elde edilen gücün birimi de kilovattır. 2007 yılında İzmir’e gelen gemilerin ana makineleri düşük ve orta devirli, jeneratörler ise yüksek devirli dizel makineleri EK A’ da belirtilmiştir.

**Çizelge 7. 7 :** Gemilerde kullanılan ana makine tipleri ve devir sayıları.

| <b>Ana Makine Devri</b> | <b>Devir Sayısı</b> | <b>Ana Makine Özellikleri</b>                           |
|-------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------|
| Düşük devirli           | 60-300 RPM          | İki zamanlı dizel makinesi                              |
| Orta devirli            | 300-1000 RPM        | 4 zamanlı dizel makinesi                                |
| Yüksek devirli          | 1000-3000 RPM       | 4 zamanlı dizel makinesi,<br>Buhar Türbini, Gaz Türbini |

#### **7.4.2 Kullanılan yakıtların özellikleri**

İzmir’e gelen gemilerin ana makineleri, iki ve dört zamanlı dizel makinelerinden oluştuğundan dolayı, seyirde kullanılan yakıt HFO’ dur. HFO, oluşturduğu egzoz gazı miktarları diğer hafif ve temiz olan MDO’ göre yüksektir. Bundan dolayı, bu çalışmada seyirde yayılan egzoz gazı miktarları manevrada ve rıhtımda oluşan egzoz gazı miktarlarından daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır. Jeneratörler yüksek devirli olduğu için, kolay tutuşabilen MDO kullanılır. Ayrıca ana makineler de manevra esnasında MDO yakılır. MDO daha temiz yakıt olduğu için yanma sonunda daha az egzoz gazı yayar. Emisyon faktörlerinin birbirinden farklı olması da işletme modlarında farklı özellikteki yakıtların kullanılmasıdır.

#### **7.4.3 Gemi ortalama seyir hızı**

Gemi ortalama seyir hızı, seyir emisyonlarını bulmak için gereklidir. İzmir limanına gelen gemilerin tiplerine göre ortalama seyir hızları, Avrupa ülkelerinde gemilerin oluşturduğu egzoz gazı emisyonlarının hesaplandığı ve Avrupa Birliği Çevre Komisyonunun kabul ettiği ve kullandığı değerler Çizelge 7.8’ de belirtilmiştir [55].

**Çizelge 7. 8 : İzmir Limanına gelen gemilerin ortalama seyir hızları.**

| Gemi tipi       | Gemi hızı, km/h |
|-----------------|-----------------|
| Konteynır       | 37.04           |
| General Kargo   | 25.93           |
| Yolcu gemisi    | 37.04           |
| Tanker          | 25.93           |
| Kimyasal tanker | 27.78           |
| RO-RO           | 33.34           |
| Kruvaziyer      | 37.04           |

#### **7.4.4 Yük faktörleri**

Yük faktörleri, ana makine ve jeneratörlerin işletme modlarında yüklerini gösterir. Ana makine yükü, seyirde % 80, manevrada % 40 ‘dır. Jeneratörlerin her işletme modunda yükü aynıdır. Çizelge 7.9’da belirtilen yük faktörleri, seyirde, manevrada ve rıhtımda için yük faktörleri olup ENTEC firmasının 2005 yılı Avrupa ülkeleri için gemi kaynaklı emisyon envanteri çalışmasından örnek alınmıştır [56].

**Çizelge 7. 9 : İşletme modlarına göre ana makine ve jeneratöre ait yük faktörleri.**

| İşletme Modu | Ana Makine Yüğü | Jeneratör Yüğü |
|--------------|-----------------|----------------|
| Seyirde      | % 80            | %75            |
| Manevrada    | %40             | %75            |
| Rıhtımda     | 0               | %75            |

#### **7.5 2007 Yılında İzmir Limanına Gelen Gemilerden Yayılan Egzoz Gazı**

##### **Miktarları**

2007 Yılında İzmir Limanına gelen gemilerin gerçek ana makine ve jeneratör güçleri bilindiğı için, her geminin ana makine ve jeneratörlerinde oluşan NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, HC ve PM emisyonları açıklanan hesaplama metodu ile bulunmuştur. Her gemiden yayılan egzoz gazı miktarları toplanarak, yıllık bazda İzmir Limanına gelen gemilerin oluşturdukları toplam egzoz gazı miktarları hesaplanmıştır.

### 7.5.1 Gemilerin ana makinesinden yayılan egzoz gazı miktarları

2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerin ana makinelerinden yayılan egzoz gazı miktarları, işletme modlarına göre Çizelge 7.10'da belirtilmiştir.

**Çizelge 7.10 :** Gemi işletme modlarına göre ana makinelere ait egzoz gazı miktarları.

| Egzoz gazı emisyon çeşitleri | Ana makinelerinde oluşan egzoz gazı miktarları, ton/Yıl |           |
|------------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|
|                              | Seyirde                                                 | Manevrada |
| NO <sub>x</sub>              | 1.083,7                                                 | 296,6     |
| SO <sub>2</sub>              | 982,2                                                   | 268,5     |
| CO <sub>2</sub>              | 57.838,8                                                | 15.810,5  |
| HC                           | 91,5                                                    | 25,1      |
| PM                           | 138,3                                                   | 37,9      |

### 7.5.2 Gemilerin jeneratörlerinden yayılan egzoz gazı miktarları

2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerin jeneratörlerinden yayılan egzoz gazı miktarları, işletme modlarına göre aşağıdaki Çizelge 7.11'de belirtilmiştir.

**Çizelge 7. 11:** Gemi işletme modlarına göre jeneratörlere ait egzoz gazı miktarları.

| Egzoz gazı emisyon çeşitleri | Jeneratörlerde oluşan egzoz gazı miktarları, ton/yıl |           |          |
|------------------------------|------------------------------------------------------|-----------|----------|
|                              | Seyirde                                              | Manevrada | Rıhtımda |
| NO <sub>x</sub>              | 174,5                                                | 45,2      | 28,2     |
| SO <sub>2</sub>              | 159,5                                                | 41,3      | 257,7    |
| CO <sub>2</sub>              | 9.371,7                                              | 2.424,8   | 15.144,3 |
| HC                           | 6,6                                                  | 1,7       | 10,8     |
| PM                           | 11,9                                                 | 3,1       | 19,3     |

### 7.5.3 Gemilerden yayılan toplam egzoz gazı miktarları

2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerin ana makine ve jeneratörlerinden yayılan toplam egzoz gazı miktarları, işletme modlarına göre Çizelge 7.12’de belirtilmiştir.

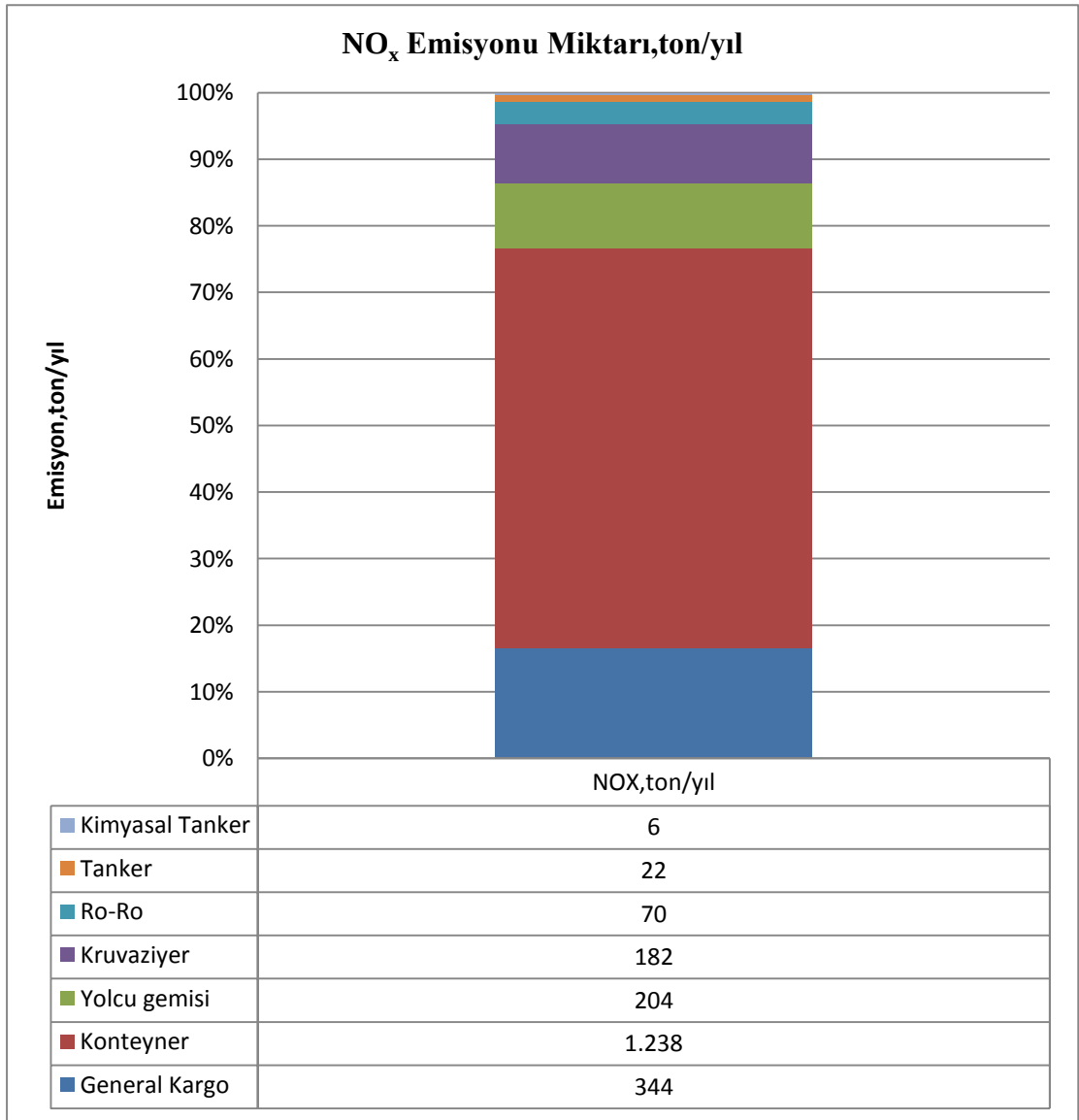
**Çizelge 7. 12 :** Gemi işletme modlarına göre toplamda yayılan egzoz gazı miktarları.

| Egzoz gazı<br>emisyona<br>çeşitleri | Toplam egzoz gazı miktarları, ton/yıl |           |          |           |
|-------------------------------------|---------------------------------------|-----------|----------|-----------|
|                                     | Seyirde                               | Manevrada | Rıhtımda | Toplam    |
| NO <sub>x</sub>                     | 1.258,2                               | 341,8     | 282,2    | 1882,2    |
| SO <sub>2</sub>                     | 1.141,7                               | 309,8     | 257,7    | 1709,3    |
| CO <sub>2</sub>                     | 67.210,5                              | 18.235,3  | 15.144,3 | 100.590,1 |
| HC                                  | 98,1                                  | 26,8      | 10,8     | 135,7     |
| PM                                  | 150,2                                 | 41,0      | 19,3     | 210,5     |

## 7.6 2007 Yılı İzmir Limanına Gelen Gemilerin Tiplerine Göre Egzoz Gazı Miktarları

### 7.6.1 Gemi tiplerine göre NO<sub>x</sub> emisyonu miktarları

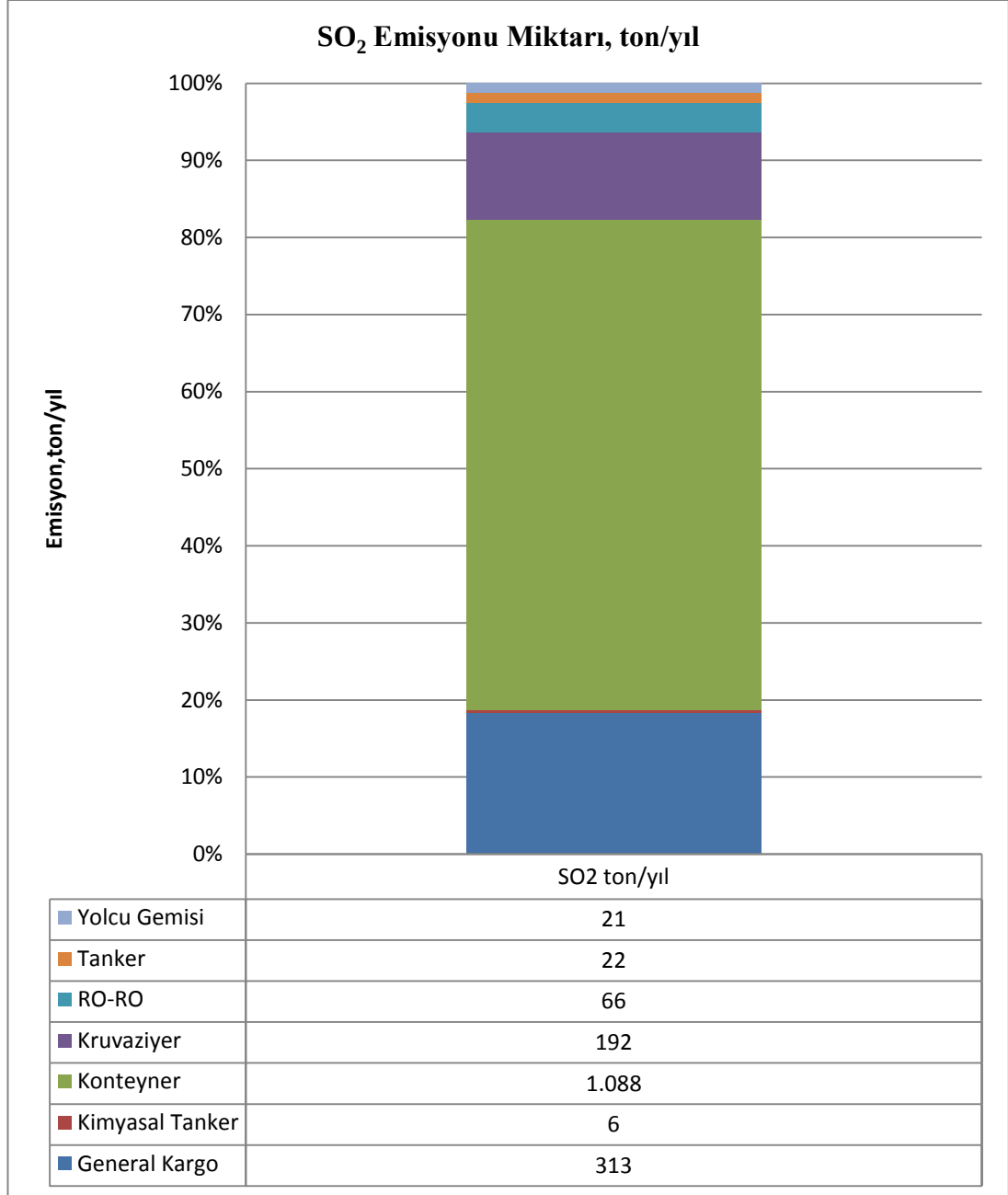
2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerden yayılan NO<sub>x</sub> miktarları gemi aktiviteleri emisyon hesaplama metoduna göre hesaplanmış olup Şekil 7.3’ de belirtilmiştir



**Şekil 7. 3 : Gemi tiplerine göre oluşan NO<sub>x</sub> emisyonu miktarları.**

### 7.6.2 Gemi tiplerine göre SO<sub>2</sub> emisyonu miktarları

2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerden yayılan SO<sub>2</sub> miktarları gemi aktiviteleri emisyon hesaplama metoduna göre hesaplanmış olup Şekil 7.4' de belirtilmiştir.

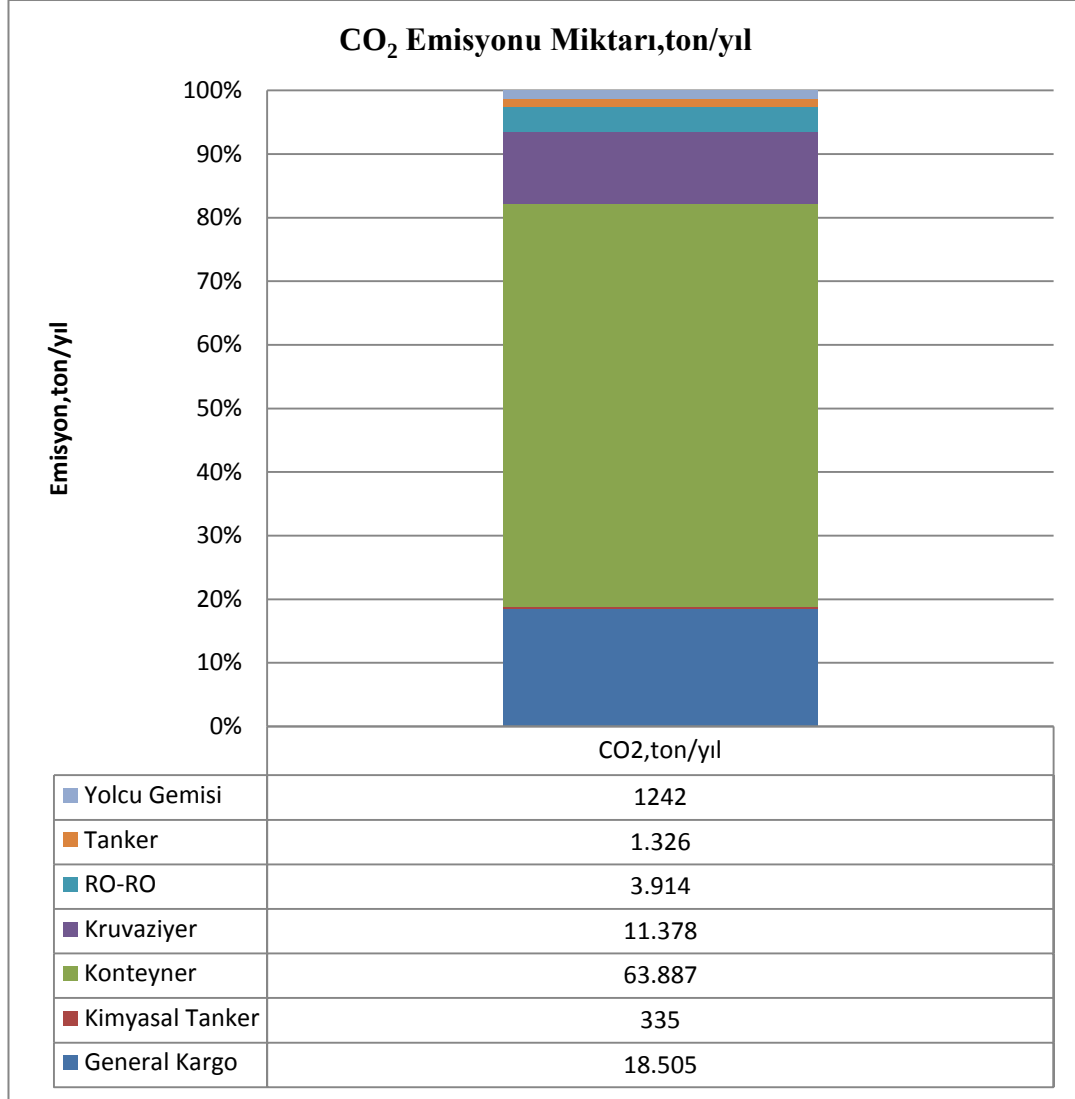


**Şekil 7. 4 :** Gemi tiplerine göre oluşan SO<sub>2</sub> emisyonu miktarları.



### 7.6.3 Gemi tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyonu miktarları

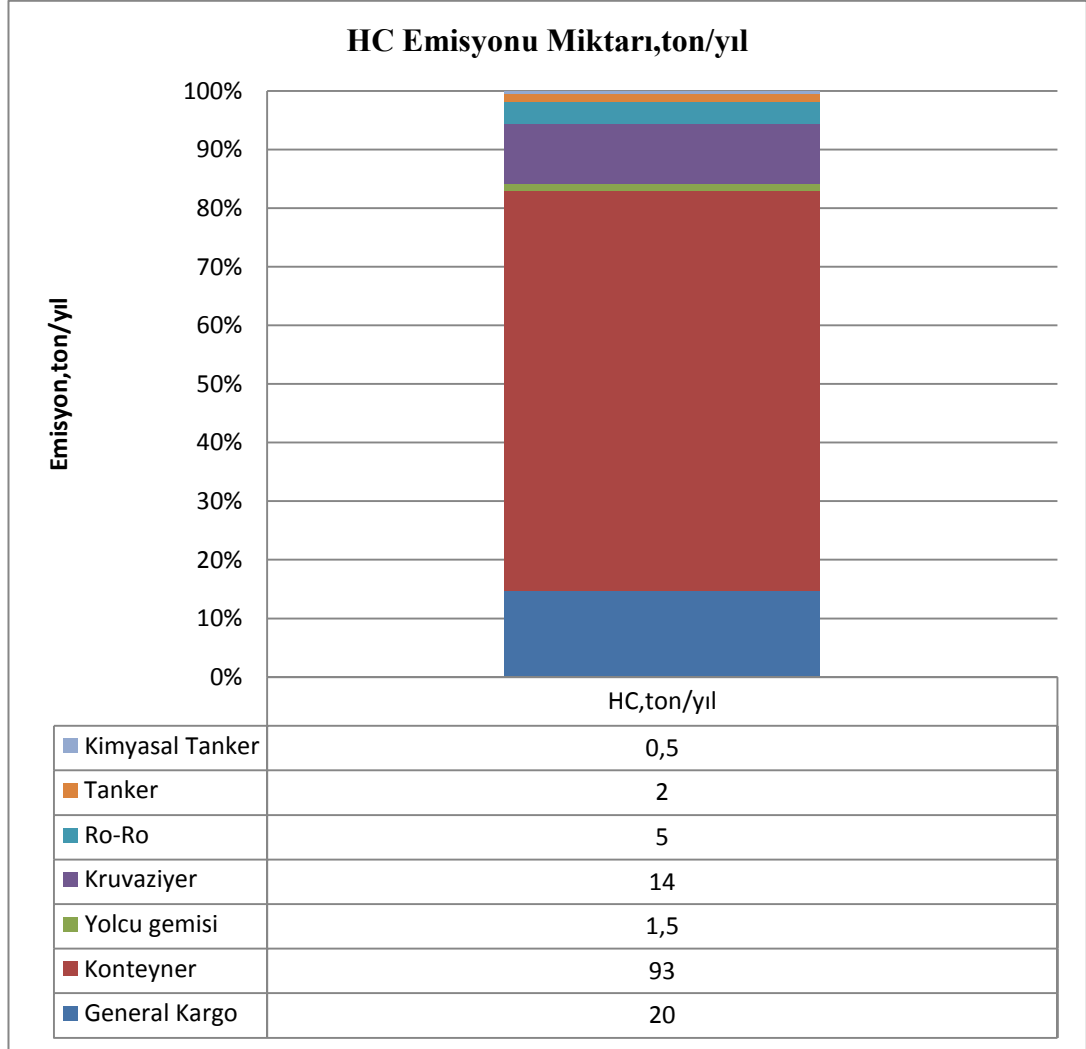
2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerden yayılan CO<sub>2</sub> miktarları gemi aktiviteleri emisyon hesaplama metoduna göre hesaplanmış olup Şekil 7.5’ de belirtilmiştir.



**Şekil 7. 5 : Gemi tiplerine göre oluşan CO<sub>2</sub> emisyonu miktarları.**

#### 7.6.4 Gemi tiplerine göre HC emisyonu miktarları

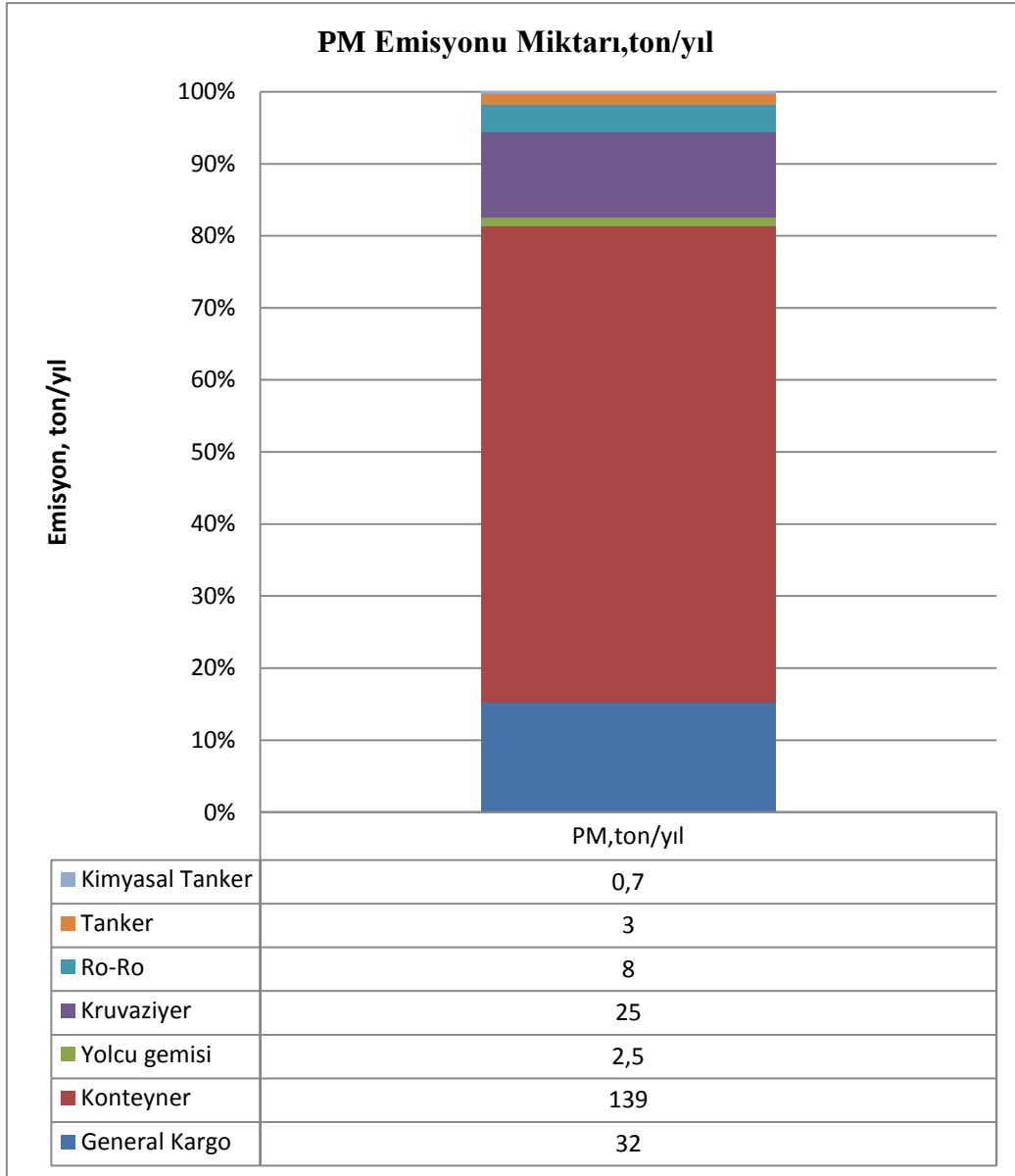
2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerden yayılan HC miktarları gemi aktiviteleri emisyon hesaplama metoduna göre hesaplanmış olup Şekil 7.6’ da belirtilmiştir.



**Şekil 7. 6 :** Gemi tiplerine göre oluşan HC emisyonu miktarları.

### 7.6.5 Gemi tiplerine göre PM emisyonu miktarları

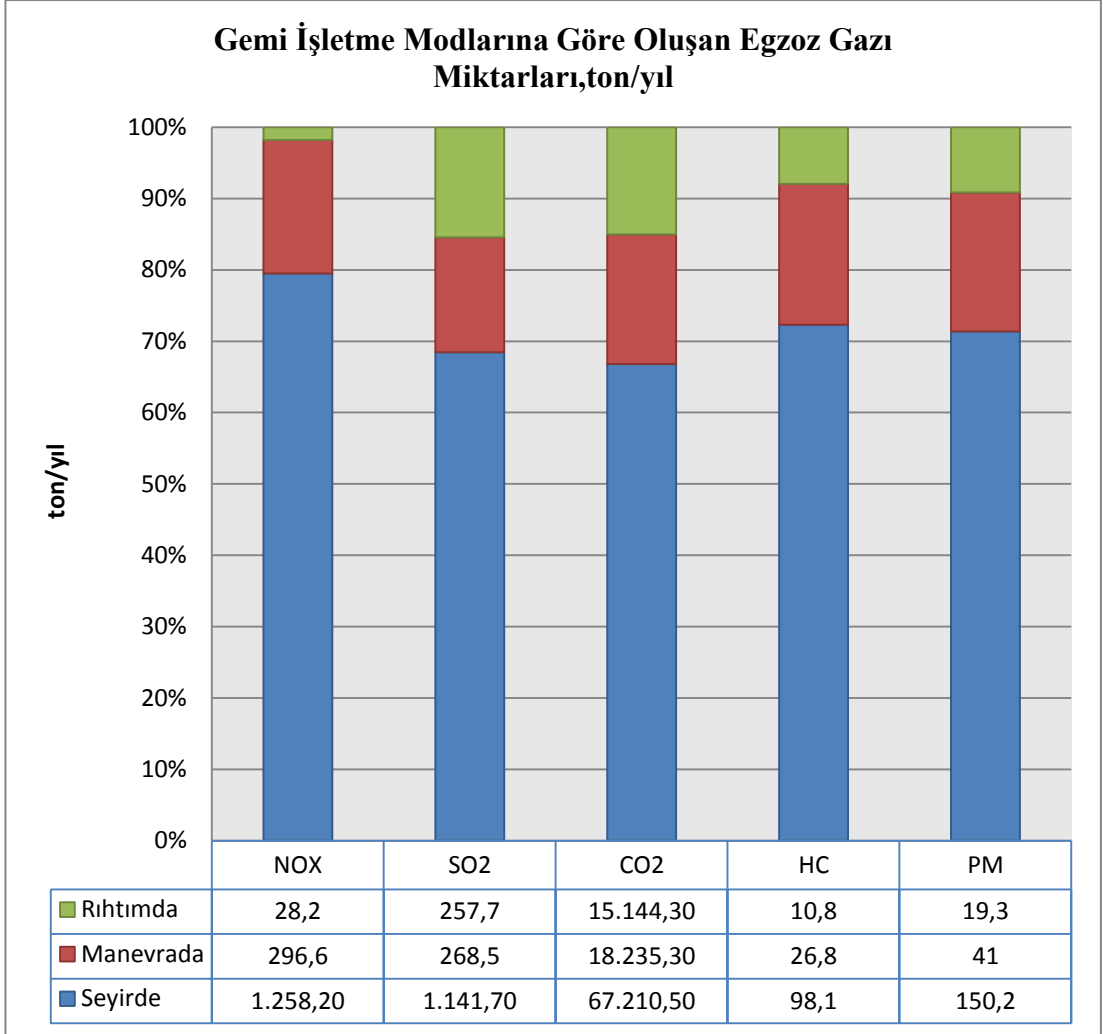
2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerden yayılan PM miktarları gemi aktiviteleri emisyon hesaplama metoduna göre hesaplanmış olup Şekil 7.7’ de belirtilmiştir.



**Şekil 7.7 :** Gemi tiplerine göre oluşan PM emisyonu miktarları.

### 7.7 Gemi İşletme Modlarında Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

2007 yılında İzmir Limanına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları, her işletme modu için gemi aktiviteleri emisyon hesaplama metoduna göre hesaplanmış olup Şekil 7.8’de belirtilmiştir. Her egzoz gazı emisyon çeşidi için emisyon miktarları en fazla seyir, daha sonra manevra en az da rıhtım modunda oluşmuştur.



Şekil 7.8 : Gemi işletme modlarına göre yayılan egzoz gazı miktarları.

## 7.8 Farklı Limanlara Ait Gemi Egzoz Emisyon Miktarlarının İncelenmesi

İzmir Limanına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları ile diğer limanlara ait egzoz gazı miktarları, Çizelge 7.13’de incelenip karşılaştırılmıştır. İzmir limanı dünyanın en işlek limanlarından Şanghay ve Kaliforniya limanları dışında diğer benzer limanlarla karşılaştırıldığında, İzmir limanına gelen gemilerden yayılan SO<sub>2</sub> emisyonu miktarı en fazla olduğu görülmektedir. Limanlarda oluşan NO<sub>x</sub> emisyon miktarları karşılaştırıldığında, İzmir limanı Oakland limanından sonra gemilerden en fazla NO<sub>x</sub> emisyonunun yayıldığı limandır.

**Çizelge 7.13:** İzmir limanı ile diğer limanlara ait gemi egzoz gazı miktarları.

| Liman         | Emisyon Çeşitleri ve Miktarları (ton/yıl) |                 |                 |       |       |            |
|---------------|-------------------------------------------|-----------------|-----------------|-------|-------|------------|
|               | Gemi sayısı                               | NO <sub>x</sub> | SO <sub>2</sub> | HC    | PM    | Kaynak     |
| Aberdeen      | ----                                      | 376             | 52              | -     | -     | [57]       |
| Copenhagen    | ----                                      | 743             | 162             | -     | -     | [58]       |
| Oakland       | 1.916                                     | 2.484           | 1.413           | -     | 219.5 | [59]       |
| JN-New Bombay | 2.900                                     | 397             | 56              | -     | 221   | [60]       |
| Shanghai      | 24.901                                    | 58.160          | 51.180          | -     | 4.558 | [61]       |
| Kaliforniya   | 25.875                                    | 79.862          | 48.216          | 2.591 | 6.789 | [62]       |
| İzmir         | 2.806                                     | 1.882           | 1.708           | 136   | 135   | Bu çalışma |

## 7.9 Türk Limanlarına Ait Gemi Egzoz Gazı Miktarlarının İncelenmesi

İzmir Limanına ve diğer Türk limanlarına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı emisyon miktarları Çizelge 7.14’de incelenip karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.14’de belirtildiği üzere, İzmir limanına gelen gemilerden kaynaklı emisyon miktarları, İzmit körfezindeki limanlara gelen gemilerden kaynaklı emisyon miktarlarından sonra ikinci konumdadır. İzmir limanına gelen gemi sayısının diğer limanlara gelen gemi sayısından az olmasına rağmen, yayılan emisyon miktarları yüksektir. Bunun sebebi, İzmir limanına gelen gemilerin ana makine ve jeneratörlerinin güçleri daha fazladır.

**Çizelge 7.14:** İzmir limanı ile Diğer Türk limanlarına ait gemi egzoz gazı miktarları.

| Limanlar           | Gelen<br>gemi<br>sayısı | PM<br>(ton/yıl) | SO <sub>2</sub><br>(ton/yıl) | CO <sub>2</sub><br>(ton/yıl) | NO <sub>x</sub><br>(ton/yıl) | Kaynak        |
|--------------------|-------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------|
| Ambarlı<br>Limanı  | 5.432                   | 36              | 242                          | 78.590                       | 845                          | [63]          |
| İzmit<br>Limanları | 11.645                  | 232             | 4.305                        | 254.261                      | 5.356                        | [64]          |
| Çandarlı<br>Limanı | 7.520                   | 32              | 574                          | -----                        | 632                          | [65]          |
| İzmir<br>Limanı    | 2.806                   | 135             | 1.708                        | 100.590                      | 1.628                        | Bu<br>çalışma |

#### 7.10 İzmir’de Hava Kirletici Kaynaklarından Yayılan Egzoz Gazı Miktarları

İzmir ili hava kirletici kaynaklarından yayılan egzoz gazı miktarları, Çizelge 7.15’de belirtilmiştir [51]. Bu miktarlar, 2000 yılı İzmir merkezinde hava kirletici kaynaklarının ve 2007 yılı İzmir Limanı’na gelen gemilerin oluşturduğu egzoz gazı emisyonlarına aittir. Karşılaştırmanın amacı ise, 2000 yılında İzmir merkezinde evsel ısınma, trafik ve sanayiden atılan egzoz gazlarının miktarlarının, İzmir Limanına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı miktarları arasında analitik bir bağlantı kurup gemi emisyonlarının önemini belirtmektir

**Çizelge 7.15:** İzmir ili hava kirletici kaynaklarından yayılan egzoz gazı miktarları.

| Egzoz gazı<br>kaynakları | SO <sub>x</sub> (ton/yıl) | NO <sub>x</sub> (ton/yıl) | PM (ton/yıl) |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------|
| Evsel ısınma             | 5.693                     | 1.124                     | 11.159       |
| Trafik                   | 1.862                     | 19.418                    | 1.351        |
| Sanayi                   | 5.539                     | 2.631                     | 3.941        |
| Gemi                     | 1.709                     | 1.882                     | 210,5        |

2000 Yılında İzmir merkezinde evsel ısınma sonucu, 11.159 ton PM, 1.124 ton NO<sub>x</sub>, 5.693 ton SO<sub>2</sub> oluşmuştur. İzmir ili araç trafiğinden 1.351 ton PM, 19.418 ton NO<sub>x</sub>, 1.862 ton SO<sub>2</sub> oluşmuş olup sanayiden kaynaklı 3.941 ton PM, 2.631 ton NO<sub>x</sub>, 5.539 ton SO<sub>2</sub> egzoz gazı yayılmıştır [52]. İzmir Limanına gelen 2806 gemiden yayılan egzoz gazları miktarları, 1.709 ton SO<sub>2</sub>, 1.882 ton NO<sub>x</sub>, 210,5 ton PM'dir.

Çizelge 7.15'de belirtilen SO<sub>2</sub> miktarları karşılaştırıldığında, gemi kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonu miktarının, İzmir merkezde trafikten kaynaklanan SO<sub>2</sub> emisyonu miktarına çok yakın olduğu görülür.

İzmir merkezinde NO<sub>x</sub> oluşturan kara ve gemi kaynakları karşılaştırıldığında, gemi kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonu miktarlarının, evsel ısınmadan oluşan NO<sub>x</sub> miktarlarından fazla olduğu, sanayiden oluşan NO<sub>x</sub> miktarlarına da yakın olduğu görülmektedir. 2000 yılında İzmir'de yaşayan 2 milyon 723 bin kişinin evsel ısınması sonucu oluşan NO<sub>x</sub> emisyonları, gemilerden yayılan NO<sub>x</sub> emisyonu miktarından daha azdır [50].





## 8. SONUÇLAR

### 8.1 Genel Değerlendirme

Yapılmış olan bu çalışmada, Türkiye'nin en önemli konteynır ihracat limanlarından İzmir Limanına gelen gemilerden yayılan egzoz gazlarının miktarları hesaplanarak gemilerin İzmir şehri için önemli bir hava kirletici kaynağı olduğu belirlenmiştir. İzmir Limanının İzmir'in merkezinde olması, limana gelen gemilerden yayılan egzoz gazlarının şehirde yaşayan insanların sağlığı üzerinde zararlı etkiler oluşturabileceği belirtilmiştir.

2007 yılında İzmir limanına gelen gemilerin yaydığı egzoz gazı miktarları, gemi aktivitesi emisyon hesaplama yöntemine hesaplanmıştır. Çizelge 7.15 de görüleceği üzere, İzmir limanına gelen gemilerden yayılan CO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 100.590 ton, NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı 1.628 ton, SO<sub>2</sub> emisyonu miktarı 1.708 ton, HC emisyonu miktarı 136 ton, PM emisyonu miktarı 135 ton olarak hesaplanmıştır.

İzmir Limanına gelen gemi tiplerine emisyon miktarları da Şekil 7.1 'de belirtilmiştir. Gemi tiplerine göre yayılan egzoz gazları miktarları, en fazla konteynır gemilerinden daha sonra general kargo ve kruvaziyer gemilerinden yayılmıştır. Konteynır gemilerinden en fazla emisyon yayılmasının sebebi, limana en fazla gelen gemi tipidir.

İzmir limanına gelen gemilerden kaynaklı egzoz gazı miktarları, işletme modlarına göre dağılımı Şekil 7.7 de belirtilmiştir. Seyirde, manevrada ve rıhtımda oluşan toplam emisyon miktarları NO<sub>x</sub> için 1882,2 ton, SO<sub>2</sub> için 1.709,3 ton, CO<sub>2</sub> için 100.590,1 ton, HC için 135,7 ton ve PM için 210,5 tondur. İşletme modlarına göre emisyon miktarları karşılaştırıldığında en fazla egzoz gazı emisyonu, ana makinenin çalıştığı seyirde en fazla daha sonra manevra ve rıhtımda oluşmaktadır. Seyirde oluşan emisyonları, karadan uzakta oluşmasına rağmen, rüzgârın ve sıcaklığın etkisiyle kıyı bölgelere taşınmaktadır. Rıhtımda oluşan emisyon ise, özellikle limanda çalışan işçileri ve limana yakın bölgelerde insanların sağlığını etkilemektedir. Ayrıca limanda, kreyn, kamyon, tır ve traktör gibi yükü sevk etmeye

yarayan dizel araçlarından yayılan egzoz gazları miktarların da hesaplanması durumunda, gemi kaynaklı egzoz gazı miktarlarıyla birlikte rıhtımda oluşan miktarlar daha fazla olduğu görülecektir.

İzmir limanına gelen gemilerin emisyon miktarları, Avrupa ve Amerika'daki benzer liman emisyonlarıyla karşılaştırılmıştır. Çizelge 7.15'de görüleceği üzere İzmir Limanına gelen SO<sub>2</sub> emisyonu miktarları, Şanghay ve Kaliforniya Limanlarından sonra en fazladır. NO<sub>x</sub> emisyon miktarı olarak Oakland Limanından sonra İzmir Limanı ikinci sıradadır. Türkiye'deki diğer limanlar için yapılan emisyon tahmini çalışmaları Çizelge 7.16'da belirtilmiş olup İzmir liman emisyonların miktarlarının fazla olduğu tespit edilmektedir. İzmir Limanından yayılan egzoz gazı miktarları, İzmit Körfezindeki tüm limanlara gelen gemilerin oluşturduğu egzoz gazları miktarından sonra Türk Limanları açısından ikinci konumdadır.

Limanlarda gemi kaynaklı emisyonların etkisi, limanın şehre olan mesafesine de bağlıdır. İzmir limanının konumu, İzmir şehir merkezine çok yakın olmasından dolayı, yayılan emisyonların etkisi daha fazla olacaktır. İzmir için yapılan kara kaynaklı ve gemi kaynaklı emisyonlar, Çizelge 7.17'de belirtilmiştir. Gemi kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonu miktarı, evsel ısınmadan kaynaklı NO<sub>x</sub> emisyonu miktarından daha fazladır. Gemi kaynaklı SO<sub>2</sub> emisyonu miktarı, İzmir araç trafiğinden yayılan SO<sub>2</sub> emisyon miktarından daha fazladır.

İzmir'in hava kirliliği ile ilgili diğer çalışmalarda, gemiler hava kirleten bir kaynak olarak görülmemektedir. Geçmiş yıllarda İzmir'in kara kaynaklı egzoz gazı miktarıyla bu çalışmadaki değerler karşılaştırıldığında, İzmir'e gelen gemilerinde önemli bir hava kirleticisi olduğu ortaya çıkmaktadır. Ayrıca İzmir'in diğer önemli Aliağa ve Nemrut Limanlarına gelen gemilerden yayılan egzoz gazları miktarları da dikkate alındığında, bu limanlara gelen gemilerin çevreye ve insan sağlığına etkilerini azaltmak için MARPOL EK 6'da belirtilen tedbirlerin alınması zorunluluğu tespit edilecektir.

İzmir Limanına gelen gemilerden yayılan egzoz gazı emisyonlarıyla ilgili bu ilk çalışmada, ana makine ve jeneratörlere ait gerçek değerler kullanılmıştır. Ek A'da belirtilen bu değerler, İzmir için gemi kaynaklı egzoz gazı emisyonları ilgili yapılacak çalışmalarda önemli bir veri kaynağıdır.

## 8.2 Öneriler

Gemi kaynaklı emisyonların insan sağlığına zararlı kalıcı etkiler bırakmaktadır ve sınır değerler aşıldığında ölüm olaylarını artırmaktadır. Özellikle prematüre ölüm sayısında, çocuklarda solunum yolu hastalıklarında, yetişkinlerde ise, kalp yetmezliği ve kanserde artışa neden olmaktadır. Gemi egzoz gazı emisyonlarındaki artışın insan sağlığını etkileyerek hastane yatan insan sayısında artışa neden olmaktadır. Bu durum da işgücü veriminin düşmesine yol açan ekonomik bir maliyet yaratmaktadır. Gemi emisyonlarının insan sağlığına olumsuz etkileri ve vermiş olduğu maliyet zararları göz önüne alındığında, gemi emisyonların azaltılması için gerekli önlemler alınmalıdır.

Bu önlemlerin en etkilileri, İzmir limanına gelen gemilerde emisyon azaltıcı teknolojilerin uygulanması ve kullanılan yakıt kalitesinin iyileştirilmesidir. Çünkü ana makine ve jeneratörlerde daha temiz yakıt kullanılarak CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları azaltılabilir. Ek olarak SO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltmak için yüksek kükürtlü yakıt kullanma sınırlamaları getirilmelidir. Diğer alınması mümkün olan önlem, Diğer limanlarda uygulanan, limana belli bir mesafe kala gemi hızını azaltma yöntemi ile dizel emisyonlarının miktarları azaltılmasıdır. Limana gelen gemilerin hızları, limana yaklaşık 24 deniz mil kala 12 knot'a (22,2 km/saat) düşürülmesi sonucunda yakıt tüketimleri de düşeceği için gemi emisyonları da azalacaktır. Limanda ve demirde gemilerin bekleme süreleri azaltılarak da, jeneratörlerden kaynaklanan egzoz gazı miktarları azaltılabilir.

İzmir Limanı, Türkiye'nin lojistik öneme sahip en büyük konteynır limanıdır. Ege ve İç Anadolu bölgesinin dış dünyaya açılan ihracat kapısıdır. Bu bölgelerde üretilen malların dünyanın diğer ülkelerine ulaştırılması ve diğer ülkelerden gelen ara malların bu bölgelere ulaştırılması İzmir Limanından olmaktadır. İzmir limanının ticaret merkezi olması, liman kapasitesinin yıllar içinde artmasına neden olmuştur. Limanın İzmir şehir merkezinde olması, gemilerin oluşturduğu egzoz gazı emisyonlarının insan sağlığına etkisini artırmaktadır.

Bugüne kadar İzmir Limanına gelen gemilerden yayılan egzoz gazları ile ilgili bir çalışması yapılmadığı için insan sağlığına etkileri de bilinmemektedir. İzmir iline ait egzoz gazı emisyonu envanter çalışmalarına gemilerden yayılanlar da dâhil edilmesi ile hava kirletici kaynakların İzmir iline zararlı çevresel etkileri daha etkin olarak

ortaya çıkacaktır. Bu alışma ile İzmir limanı gemi emisyonlarının İzmir ili hava kalitesi üzerinde yerel ve bölgesel etkileri ölçülebilir ve İzmir Limanı bölgesine monte edilecek egzoz gazı ölçme cihazları ile egzoz gazı değerleri ölçölerek her egzoz gazının hava içindeki miktarları bulunabilir. Bu değerler, İzmir hava kalitesi değerleri ile karşılaştırılarak bulunan ölçüm değerleri raporlanabilir. Limit değerleri aşılma sayısına göre, egzoz gazı emisyonunu azaltıcı bazı yasal sınırlamalar getirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] **Prof.Dr. Mehmet Karpuzcu**,2007.*Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü s.168-185* Kubbealtı Yayınları 9.baskı, İstanbul.
- [2] **Mitscherlich, G.**, 1995. Die Welt in der wir leben. Entstehung–Entwicklung, Rombach Okologie,Rombach Verlag, Freiburg.
- [3] **Denhez, F**, 2007. *Küresel Isınma Atlası*, NTV yayınları, İstanbul.
- [4] **Masters, G.M.**, 1991. *Introduction to Environmental and Science*, Prentice Hall International Editions.
- [5] **İncecik, S.**, 1994. *Hava Kirliliği*, Teknik Üniversite Matbaası, , s. 26-41, İstanbul.
- [6] **Agren,C.**, 1991. *EMEP Report*, MCS-W 1/91 Norway.
- [7] **Butler, J.D.**, 1979. *Air Pollution Chemistry*, Academic Pres.
- [8] **NCAR**, 1989. *Information Office Pres Clipping*.
- [9] **A.A. Wright**,2000. *Exhaust emissions from combustion machinery*. MEP series,volume 3.
- [10] **Saxe, H.and Larsen, T.**, 2004. Air pollution from ships in three Danish ports. *Atmospheric Environment*.
- [11] **Kindborm, K.Boström, C.A.Palm**. 2004. Emissions of particles, metals, dioxins and PAH in Sweden. *SMED 7*.
- [12] **Sara Janhall**, 2007. Particle Emissions From Ships.Department of chemistry,Göteborg University.
- [13] **Cooper, D.A**. 2003. Exhaust emissions from ships at berth.*Atmospheric Environment*,37 (2003) 3817–3830.
- [14] **Sinha,P.Hobbs,P.V.Yokelson**. 2003. Emissions of trace gases and particles from two ships in the southern Atlantic Ocean.
- [15] **Cowley, L.T., Jeune, A.L. and Lange, W. W.**, 1993. Effect of fuel composition including aromatics control on emissions from a range of heavy-duty diesel engines, Institution Mechanical Engineers, *second seminar, MEP*, 225-244.
- [16] **A.Oliva, HFO Fired Diesel Engines**, 1998. *European Technology Managers Meeting*, Durango.
- [17] **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.
- [18] **Celia, A. A. and Conceicao, A. F.**, 2005. Effects air pollution for chronic obstructive pulmonary diseases in Porto,*Portugal, International Journal of Environment and Pollution*, 23(1), 42-64.

- [19] **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 Health*, **52**, 173-178.
- [20] **Morgan W. K. C. Reger, R. B. and Tucker, D. M.,** 1997. *Health effect of diesel emissions*, The Annals of Occupational Hygiene, 41(6), 643-658.
- [21] **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.
- [22] **Clark, S.J. Wagner, L. Schrock, M.D. and Piennaar, P.G.,** 1984. Methyl and Ethyl Soyabean Esters as Renewable Fuels for Diesel Engines, *Journal American Oil Chemistry' Society*, **61(10)**, 1632-1638.
- [23] **Asmus, A. and Wellington, B.,** 1993. *Diesel Engine and Fuel Systems*, Third Edition.
- [24] **Davydova, S.,** 2005 Heavy metals as toxicants in big cities, *Microchemical Journal*, **79(1-2)**, 133-136.
- [25] **Wichmann, H.,** 2007 Diesel exhaust particles-*Inhalation Toxicology* **19 (No.51)** 241-244.
- [26] **Url-1** <[http:// www.portgot.se](http://www.portgot.se) >, alındığı tarih 20.03.2010.
- [27] **Qinbin Li, Jacob D,Bey I,Palmer P,Duncan B,Field B.,** 2002. Transatlantic transport of pollution and its effects on surface ozone in Europe and North America. *Journal Geophysical Res* 107 (D13).doi:10.1029/2001 J DOO 1422.
- [28] **Url-2** <[http:// www.caft.us/goto/diesel](http://www.caft.us/goto/diesel) >, alındığı tarih 20.03.2010.
- [29] **WHO,** 2002. *World Health Report; Reducing risks, promoting healthy life*.
- [30] **WHO,** 2003. *Health aspects of air pollution with PM, O<sub>3</sub> and NO<sub>x</sub>*.
- [31] **Buhaug, Corbett, J.J.Endresen. Eyring, V.Faber J.** 2009. *Second IMO GHG Study .International Maritime Organization*, London, UK.
- [32] **Carbett, J.and Fischbeck, P,** 1997. Emissions from ships Science, **Vol.278**.
- [33] **Corbett, Fischbeck, P.and Pandis,** 1999. Global nitrogen and sulphur inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research*, **Vol.104**.
- [34] **Skjolsvi, K.O.Andersen, A.B.Corbett, J.Skjelvik, J.M.,** 2000. *Study on greenhouse gas emissions from ships.Journal of Geophysical Research,Vol.108, NO. D20, 4650, doi:10.1029/2003JD003751*.
- [35] **Silvia Maffii, Andrea Molocchi, Cosimo Chiffi.,** 2007. External Costs of Maritime Transport.
- [36] **Psaraftis, H.N.,Kontovas,** 2009. CO<sub>2</sub> emission statistics for the world commercial fleet.
- [37] **Lloyds Register of shipping,** 1999. *Marine exhaust emissions Quantification Study-Mediterranean Sea Final Report*.

- [38] **Whall C, Cooper D, Archer K.** 2002. Quantification of emissions from ships associated with ship movements between ports in the European Community, Rep 06177-02121 Entec, Nottwich, UK.
- [39] **Tapani Stipa, Jukka-Pekka Jalkanen, Juha Kalli, Anders Brink.** 2007. Emissions of NO<sub>x</sub> from BALTIC shipping and first estimates of their effects on air quality and eutrophication of the Baltic sea.
- [40] **Lowles, B. I.** 1998. *Emissions of sulphur dioxide from ships, in: Coasts and benefits of controlling sulphur dioxide emissions from ships in the North Sea and Seas to the West of Britain*, A report to the Department of the Enviromental, Transport and the Regions.
- [41] **CONCAWE** 1994. *The contribution of sulphur dioxide emissions from ships to coastal deposition and air quality in the Channel and southern North Sea area. CONCAWE Report No.2/94.*
- [42] **Liesbeth Schrooten, Ina De Vlieger, Luc Int Panis, Karel Styns, Rudi Torfs.** 2007. Inventory and forecasting of maritime emissions in the Belgiansea territory, an activity-based emission model.
- [43] **Andrew Alexis, Kathy Jaw, Walter Woog,** 2006. *Proposed emission reduced plan for ports and good movement in California.*
- [44] **Starcrest Consulting Group** 2008. *Air emissions inventory of the Port of Long Beach, California.*
- [45] **Url-3** <<http://www.imo.org/environment>>, alındığı tarih 15.04.2010.
- [46] **Ayhan Çekiç,** 2003. *IMO Uluslararası Denizcilik Sözleşmeleri: SOLAS, MARPOL, STCW 78-95, Tonnage Measurement 69, LOADLINE ve 88 protokolü, belgeler.*
- [47] **Url-4** <<http://www.epa.gov/lawsregs>>, alındığı tarih 12.03.2010.
- [48] **Url-5** <<http://dtoizmir.org>>, alındığı tarih 16.02.2010.
- [49] **Url-6** <<http://www.tcdd.gov.tr/izmirliman>>, alındığı tarih 16.01.2010.
- [50] **Url-7** <<http://www.tuik.gov.tr>>, alındığı tarih 10.12.2009.
- [51] **Tolga Elbir, Ayşen Muezzinoğlu** 2004. Estimation of emission strengths of primary air pollutants in the city of Izmir, Turkey, *Atmospheric Environment* **38,2004 1851-1857.**
- [52] **Prof.Dr.Abdurrahman Bayram,** 2009. *İzmir'de Hava Kirliliği-TMMOB İzmir Kent Sempozyumu.*
- [53] **Url-8** <<http://www.googleearth.com>>, alındığı tarih 27.01.2010.
- [54] **Url-9** <<http://www.denizcilik.gov.tr>>, alındığı tarih 18.01.2010.
- [55] **Url-10** <<http://www.lloydslist.com>>, alındığı tarih 12.05.2009.
- [56] **ENTEC UK** 2005. European Commission Directorate General environment service contract on ship emissions.
- [57] **Marr, L. Rosser, D. P. & Meneses, C. A.** 2007. An air quality survey and emissions inventory at Aberdeen harbor. *Atmospheric Environment*, **41,6379-6395.**

- [58] **Saxe, H.&Larsen, T.** 2004. Air pollution in three Danish Ports  
*Atmospheric Environment*, **38,4057-4067.**
- [59] **ENVIRON** 2005. *Port Of Oakland*, Seaport air emissions inventory.
- [60] **A.K. Gupta, R.S.Patil and S.K.Gupta,** 2002. Emissions of Gaseous and  
Particulate Pollutants in a Port and Harbour Region in India.
- [61] **Yang, D.&Kwan, S.H.** 2007. An emission inventory of marine vessels in  
Shanghai in 2003.
- [62] **California Environmental Protection Agency** 2006. Emission Reduction  
Plan for Ports and Goods Movement in California.
- [63] **Cengiz Deniz,Alper Kılıç** 2009. Estimation and assessment of shipping  
emissions in the region of Ambarlı Port, Turkey,*Wiley Interscience*  
**DOI 10,1002/ep.10373.**
- [64] **Alper Kılıç, Cengiz Deniz,** 2009. Inventory of shipping emissions in Izmit  
Gulf, Turkey *Wiley Interscience* **DOI 10,1002/ep.10365.**
- [65] **Cengiz Deniz,Alper Kılıç, Gökhan Çıvkaroğlu,** 2009. Estimation of  
shipping emissions in Çandarlı Gulf,Turkey, *Springer Environ Monit*  
*Assess* **DOI 10,1007/S10661-009-1273-2.**



## **EKLER**

**Ek A : 2007 Yılında İzmir Limanına gelen gemilere ait bilgiler (CD) [54-55] .**



## **ÖZGEÇMİŞ**

Halil SARAÇOĞLU, 1975 yılında Denizli’de doğdu. İlkokulu Denizli Gazi İlköğretim Okulunda okuduktan sonra ortaöğrenimini ve lise öğrenimini 1992 yılında Denizli Anadolu Lisesi’nde tamamladı. Lisans eğitimine 1994 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Denizcilik Fakültesi Gemi Makineleri İşletme Mühendisliğinde başladı ve 1998 yılında mezun oldu. Gemilerde vardiya mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2001 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.