

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL'DA DENİZYOLU ULAŞIMININ SERA GAZI  
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Sedat ÇEVİRGEN**

**Anabilim Dalı : Makine Mühendisliği**

**Programı : Otomotiv**

**HAZİRAN 2009**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İSTANBUL'DA DENİZYOLU ULAŞIMININ SERA GAZI  
EMİSYONLARINA ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Sedat ÇEVİRGEN**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 05 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cem SORUŞBAY (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Metin ERGENEMAN (İTÜ)**

**Doç. Dr. O. Azmi ÖZSOYSAL(İTÜ)**

**HAZİRAN 2009**



## ÖNSÖZ

İnsan kaynaklı sera gazlarının konsatrasyonunun artması sonucu oluşan küresel ısınma konusu günümüzün en önemli sorunlarından birisidir. Sera gazlarının azaltılması gibi önemli bir konuda, İstanbul'da denizyolu ulaşımının sera gazı emisyonlarına etkisinin incelendiği bu yüksek lisans tez çalışmamda değerli yardımlarıyla bana yol gösteren danışmanım Sayın Prof. Dr. Cem SORUŞBAY , değerli hocam Sayın Prof. Dr. Metin ERGENEMAN, Sayın Doç.Dr. Osman Azmi ÖZSOYSAL ve Sayın Yrd Doç Dr. Cemil DİKİLİ'ye sonsuz teşekkür eder, saygılar sunarım.

Ayrıca bütün eğitim öğretim hayatım boyunca bana çalışmalarımnda beni destekleyen başta ailem olmak üzere tüm dostlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmaya sağladıkları maddi, manevi katkılardan dolayı **Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Arastırma Kurumu'na (TÜBİTAK)** teşekkür ederim.

Haziran 2009

Mehmet Sedat Çevirgen  
(Makine Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOLLER</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xvii</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. SERA GAZLARININ ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ</b> .....	<b>3</b>
2.1 Su Buharı (H <sub>2</sub> O) .....	4
2.2 Karbondioksit (CO <sub>2</sub> ).....	5
2.3 Metan (CH <sub>4</sub> ) .....	5
2.4 Diazotmonoksit (N <sub>2</sub> O).....	6
2.5 Ozon (O <sub>3</sub> ) .....	6
2.6 Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorid (SF <sub>6</sub> ).....	7
2.7 Karbonmonoksit (CO).....	8
2.8 Azot Oksitleri (NO <sub>x</sub> ) .....	8
2.9 Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC) .....	8
<b>3. DENİZYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI</b> .....	<b>9</b>
3.1 Türkiye Genelinde Ulaştırma Alt Sektörleri İçin Toplam Sera Gazı Emisyonları .....	9
3.2 İstanbul'da Denizyolu Toplu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları .....	11
3.2.1 Hesaplamalar ve sonuçlar .....	11
3.3 Alternatif Ulaşımların Sera Gazı Emisyonları Açısından Karşılaştırılması... ..	17
3.3.1 Ulaşım seçenekleri.....	18
3.3.2 Hesaplamalar ve kabuller .....	22
3.3.3 Ulaşım seçenekleri karşılaştırmaları için sonuçlar ve yorumlar .....	25
<b>4. İSTANBUL BOĞAZI'NI TRANSİT GEÇEN GEMİLERDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI</b> .....	<b>31</b>
4.1 Trozzi - Vaccaro Yöntemi .....	32
4.1.1 Trozzi - Vaccaro yöntemi formülleri.....	33
4.1.2 Trozzi - Vaccaro yöntemindeki değişkenler.....	34
4.1.3 Emisyon faktörleri .....	35
4.1.4 Yakıt tüketiminin hesaplanması .....	37
4.1.5 Trozzi - Vaccaro yönteminin Klaipeda limanına uygulanmış örneği ve sonuçları.....	39
4.1.6 Trozzi - Vaccaro yönteminin İstanbul Boğazı'na uygulanması .....	40
4.1.7 Trozzi - Vaccaro yönteminin sonuçlarının yorumlanması.....	43

4.2 İstanbul Boğazı Transit Gemi Geçişleri İçin, Gemi Direnci Yaklaşımı	
Yöntemi.....	44
4.2.1 Hesap yöntemi .....	45
4.2.2 Örnek hesap .....	47
4.2.3 Gemi direnci yaklaşımı yönteminin İstanbul Boğazı geçişlerine uygulanması .....	48
4.2.4 Gemi direnci yaklaşımı yönteminin sonuçlarının yorumlanması .....	48
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>51</b>
5.1 Genel Değerlendirme.....	51
5.2 Öneriler.....	53
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>55</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>57</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>63</b>

## **KISALTMALAR**

<b>IPCC</b>	: Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
<b>CNG</b>	: Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas)
<b>LPG</b>	: Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquified Petroleum Gas)
<b>İDO</b>	: İstanbul Deniz Otobüsleri
<b>CORINAIR</b>	: Co-ordinated Information on the Environment in the Europe
<b>IMO</b>	: Uluslararası Denizcilik Organizasyonu (International Maritime Organisation)
<b>EPA</b>	: Çevre Koruma Kurumu (Environmental Protection Association)
<b>GT</b>	: Gross Tonaj
<b>DWT</b>	: Deadweight Tonaj
<b>C</b>	: Yakıt tüketimi (Consumption)



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1	:Türkiye genelinde ulaştırma alt sektörlerine göre sera gazı emisyonlarının değerleri.....	9
Çizelge 3.2	: Yıllık tüketilen yakıtın aktiviteye bağlı yüzdeleri[8,9] .....	12
Çizelge 3.3	: 2007 yılı yakıt tüketim payları sayısal değerleri[8,9].....	12
Çizelge 3.4	: Denizyolu toplu taşıma araçları için emisyon faktörleri[12].....	13
Çizelge 3.5	: Denizyolu toplu ulaşım araçlarının 2007 yılı emisyonları .....	14
Çizelge 3.6	: 2007 yılı toplam sera gazı emisyonu değerleri.....	15
Çizelge 3.7	: 2007 yılı toplam taşınan yolcu sayıları.....	15
Çizelge 3.8	: 2007 yılı toplam kişi başına sera gazı emisyonları.....	16
Çizelge 3.9	: İstanbul şehiriçi ulaşım seçenekleri.....	19
Çizelge 3.10	: İstanbul – Bursa arasındaki ulaşım seçenekleri.....	21
Çizelge 3.11	: CO <sub>2</sub> emisyon faktörleri[15] .....	24
Çizelge 3.12	: Karayolu uzunlukları.....	25
Çizelge 3.13	: Bostancı – Taksim için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	26
Çizelge 3.14	: Bostancı – Bakırköy için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	27
Çizelge 3.15	: Taksim – Bursa için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	28
Çizelge 3.16	: Bostancı – Bursa için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	29
Çizelge 4.1	: Sera gazı emisyonları .....	34
Çizelge 4.2	: Yakıt tipleri, gemi tipleri ve motor tipleri .....	35
Çizelge 4.3	: İşletim modu ve çarpanı .....	35
Çizelge 4.4	: Seyir modu için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt) .....	36
Çizelge 4.5	: Manevra modu için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt) .....	36
Çizelge 4.6	: Liman modu için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt).....	36
Çizelge 4.7	: Elektrik jeneratörü için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt).....	36
Çizelge 4.8	: Gemi tiplerine bağlı yakıt tüketim fonksiyonları .....	38
Çizelge 4.9	: Klaipeda limanında, Trozzi - Vaccaro yönteminin Parametrik Metod'la karşılaştırılması sonuçları .....	39
Çizelge 4.10	: İstanbul Boğazı, 2007 yılı, transit gemi geçişleri kaynaklı toplam sera gazı emisyonları .....	41
Çizelge 4.11	: Her gemi tipi için geçiş başına CO <sub>2</sub> emisyon değerleri.....	42
Çizelge 4.12	: İstanbul Boğazı, transit gemi geçişleri, 2007 yılı toplam emisyonların karşılaştırılması.....	48
Çizelge 5.1	: 2007 yılı toplam CO <sub>2</sub> emisyonları sonuçları .....	52
Çizelge A.1	: Sedef Kalkavan gemisi .....	59
Çizelge A.2	: Sena Kalkavan gemisi .....	59
Çizelge A.3	: Kaşif Kalkavan gemisi .....	60
Çizelge A.4	: Leyla Kalkavan gemisi .....	60
Çizelge A.5	: Ecem Kalkavan gemisi .....	61
Çizelge A.6	: Fürth gemisi.....	61
Çizelge A.7	: Orkun Kalkavan gemisi.....	62
Çizelge A.8	: Kaptan Ergün gemisi .....	62

<b>Çizelge A.9</b> : Serap Kalkavan gemisi .....	63
<b>Çizelge A.10</b> : Murat Kalkavan gemisi .....	63

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1 : CO2 emisyonlarının sektörlere göre dağılımı .....	10
Şekil 3.2 : Tüketilen motorine bağlı çıkan CO2 emisyonlarının sektörlere göre dağılımı.....	10
Şekil 3.3 : İstanbul deniz ulaşımında 2007 yılı toplam CO2 emisyonu değerlerinin araçlara göre dağılımı.....	14
Şekil 3.4 : İstanbul içindeki ulaşım seçenekleri için seçilen noktalar .....	17
Şekil 3.5 : Marmara bölgesindeki ulaşım seçenekleri için seçilen noktalar .....	18
Şekil 3.6 : İstanbul'daki denizyolu toplu ulaşımı rotaları .....	20
Şekil 3.7 : İstanbul – Bursa arasındaki denizyolu toplu ulaşımı rotaları .....	22
Şekil 3.8 : Bostancı – Taksim için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	26
Şekil 3.9 : Bostancı – Bakırköy için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	27
Şekil 3.10 : Taksim – Bursa için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	28
Şekil 3.11 : Bostancı – Bursa için sonuçlar (gCO <sub>2</sub> /kişi).....	29
Şekil 4.1 : Deniz Trafik Müdürlüğü'nden alınan verilerin örneği.....	32
Şekil 4.2 : Konteyner gemi tipi için yakıt tüketim fonksiyonu.....	38
Şekil 4.3 : İstanbul Boğazı, 2007 yılı, transit geçen gemilerin sebep oldukları CO <sub>2</sub> emisyonlarının gemi tiplerine göre dağılımı .....	42
Şekil 4.4 : Her gemi tipi için geçiş başına CO <sub>2</sub> emisyon değerleri dağılımı .....	43
Şekil 5.1 : 2007 yılı toplam CO <sub>2</sub> emisyonlarının dağılımı .....	52



## SEMBOLLER

<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>CO</b>	: Karbonmonoksit
<b>NO<sub>x</sub></b>	: Azotoksit
<b>N<sub>2</sub>O</b>	: Azotdioksit
<b>SO<sub>2</sub></b>	: Kükürtdioksit
<b>CH<sub>4</sub></b>	: Metan
<b>CFC<sub>s</sub></b>	: Kloroflorokarbon
<b>HCFC<sub>2</sub></b>	: Hidrokloroflorokarbon
<b>NMVOC</b>	: Metan olmayan uçucu organik bileşikler
<b>VOC</b>	: Uçucu organik bileşikler
<b>PM</b>	: Partikül madde
<b>E</b>	: Emisyon miktarı
<b>S</b>	: Sürüş kipinde günlük yakıt tüketim değeri
<b>C</b>	: Günlük maksimum yakıt tüketim değeri
<b>F</b>	: Emisyon faktörü
<b>t</b>	: Gemi seyahat süresi
<b>p<sub>m</sub></b>	: Sürüş kipi
<b>i</b>	: Emisyon tipi indisi
<b>j</b>	: Yakıt tipi indisi
<b>k</b>	: Gemi tipi indisi
<b>l</b>	: Gemi makine tipi indisi
<b>m</b>	: Sürüş kipi indisi
<b>G</b>	: Yakıt tüketim miktarı
<b>P<sub>e</sub></b>	: Geminin ana makine gücü
<b>P<sub>s</sub></b>	: Geminin seyir gücü
<b>b<sub>e</sub></b>	: Özgül yakıt tüketimi
<b>R<sub>T</sub></b>	: Gemi toplam direnci
<b>R<sub>F</sub></b>	: Gemi sürtünme direnci
<b>R<sub>R</sub></b>	: Gemi artık direnci
<b>F<sub>N</sub></b>	: Froude sayısı
<b>V</b>	: Gemi hızı
<b>g</b>	: Yer çekimi ivmesi
<b>L</b>	: Geminin boyu
<b>C<sub>F</sub></b>	: Sürtünme direnç katsayısı
<b>R<sub>N</sub></b>	: Reynolds sayısı
<b>v</b>	: Kinematik viskozite
<b>s</b>	: Islak alan
<b>k</b>	: Islak alan katsayısı
<b>Y</b>	: Geminin taşıdığı yük miktarı



# İSTANBUL'DA DENİZYOLU ULAŞIMININ SERA GAZI EMİSYONLARINA ETKİSİ

## ÖZET

İstanbul'da denizyolu ulaşımının sera gazı emisyonlarına etkisi çalışmasında öncelikle, denizyolu toplu taşımacılığında kullanılan taşıtların, 2007 yılı içinde yaydıkları toplam emisyonların hesabı, denizyolu toplu taşımacılık şirketlerinden alınan yakıt tüketimi verileri kullanılarak yapılmış, sonuçlar o yıla ait diğer ulaştırma sektörlerinden kaynaklanan sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, denizyollarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının toplamdaki payının %3 oranında olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında denizyolu toplu taşıma araçlarından olan deniz otobüsleri ve hızlı feribotların yolculuk sürelerini kısaltabilme gibi avantajlarına karşılık şehirhatları vapurlarından daha fazla kişi başına emisyonla sebep olduğu vurgulanmıştır.

Denizyolu ulaşımının, İstanbul şehiriçi ve şehir dışı yolculuklarında karayolu ulaşımına alternatif olarak kullanılabilmesi rotalarda kullanılması durumunda kişi başına sebep olunan sera gazı emisyonlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, denizyolu seçeneğinin sera gazı emisyonları yönünden, otobüs ve minibüs gibi karayolu toplu taşıma araçlarından değilse bile otomobillerden daha az emisyonla sebep olduğu sayısal değerlerle ortaya konmuştur.

İstanbul Boğazı'ndan transit olarak geçen gemilerin, geçişleri esnasında yaydıkları sera gazı emisyonlarının tespitini yapabilmek için kullanılacak yöntemler araştırılmış, Trozzi - Vaccaro yöntemi ve gemi direnci yaklaşımı hesap yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan bu yöntemlerle bulunan sonuçların ulaştırma alt sektörleri ve İstanbul denizyolu ulaşımı içindeki payı belirtilmiş ve her iki yöntemin de, sonuçlar cinsinden kendi aralarında karşılaştırmaları yapılmıştır. İstanbul Boğazı'ndan geçen gemilerin yakıt tüketim değerleri gerçek veriler olarak temin edilemediğinden, yapılan hesaplarla çıkan sonuçlar yaklaşık sonuçlardır. Buna göre, her iki yöntemin de tatmin edici sonuçlar sağladığı söylenebilir.



## **THE EFFECT OF MARITIME LINES AND SEA TRANSPORT ON GREENHOUSE GAS EMISSIONS IN İSTANBUL**

### **SUMMARY**

In the study of the effect of maritime lines and sea transport on greenhouse gases emissions, first, the total greenhouse gases emissions from the vessels of maritime lines have been calculated by using the fuel consumption datas which are supplied from the maritime companies active in İstanbul, for the year of 2007. Results of this calculation have been compared to the greenhouse gas emissions sourced from other transportation subsectors, hereby, It's established that the greenhouse gas emissions from maritime lines and sea transport are %3 of total greenhouse gas emissions of transport.

Capitation of the greenhouse gas emissions resulted from the vessels and/or vehicles in the routes that are available for both road transportation and maritime lines are compared to each other. As a result of these comparisons, It's put forth by numbers that maritime lines are more beneficial than automobiles, but minibuses and buses with regard to greenhouse gas emissions

So as to determine the amount of the greenhouse gas emissions from the ships passing through the İstanbul Strait, some calculation methods have been sought. Trozzi – Vaccaro method and ship resistance and propulsion approaching method are applied. The results obtained from these methods are compared to each other. Due to the lack of fuel consumption real datas of the ships passing through the strait, the results of the calculations are approximate values. With reference to that, it can be said that both methods can provide satisfying results.



## 1. GİRİŞ

1860 yılından itibaren günümüze kadar tutulan sıcaklık kayıtlarında dünyanın ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık 0,5 – 0,6 °C değiştiği belirtilmektedir. Bu artışın nedeni sanayi devrimini takip eden yıllarda atmosfere salınmaya başlanan insan faaliyetleri sonucu oluşan kirleticiler ve bu kirleticilerin atmosfere salınan birincil kirleticiler yada atmosferde güneş ışığı etkisi ile oluşan ikincil kirleticilerden ortaya çıkan sera gazlarıdır. Sera gazlarının güneşten gelen radyasyon enerjisinin tekrar uzaya geri dönmesini engelleyerek atmosferdeki güneş enerjisini absorplaması olayı sonucunda sera etkisi meydana gelmektedir. Aslında sera etkisi doğal bir süreç olup gezegenin sıcaklığının korunması için gereklidir. Ancak sanayi devrimi ile birlikte tarımsal ve endüstriyel faaliyetlerdeki hızlanma, kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının fazlaca tüketilmesi ve sera gazları için alıcı ortam olan ormanların tahrip edilmeye başlanmasıyla bu gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları zamanla artmıştır ve artmaya da devam etmektedir. Sera etkisinin güçlenmesiyle küresel bir ısınma süreci oluşmuş ve sıcaklık artışına bağlı olarak da iklimi oluşturan yağışlar ve rüzgârlarda da anormallikler görülmeye başlanmıştır. Dolayısıyla dünyamızın iklimi sera etkisinin kuvvetlenmesine bağlı olarak değişmektedir.[1]

Kirleticiler atmosferde yer alış durumlarına göre birincil ve ikincil kirleticiler şeklinde iki temel sınıfta toplanırlar. Birincil kirleticiler, atmosfere kirletici kaynaklardan doğrudan salınan kirleticilerdir. İkincil kirleticiler ise atmosferde bulunan birincil kirleticiler ile atmosferik özellikler arasındaki kimyasal girişimler sonucunda meydana gelir.

Küresel ısınmada etkili olan birincil ve ikincil kirleticiler sınıfında bulunan karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O), ozon (O<sub>3</sub>) ve su buharı gibi doğal sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonları sanayi devriminden sonra insan kaynaklı çeşitli aktivitelere bağlı olarak artış göstermiştir. Kömür ve petrol gibi fosil yakıtlarının kullanımı, tarımsal faaliyetler ve tarımda kullanılan gübreler, çöp depolama sahalarından salınan gazlar, enerji üretimi, taşıma ve endüstriden kaynaklı

emisyonlar ve orman alanlarının yok edilmesi sera gazlarının konsantrasyonlarının artmasının başlıca nedenleridir. [1]

İstanbul, sahip olduğu nüfus yoğunluğu ve genişlemeye müsait yerleşime izin veren coğrafyasıyla ulaşımın büyük önem taşıdığı bir şehirdir. Böyle bir şehirde ulaşım ihtiyacının yeterli ölçülerde karşılanabilmesi bile çok yoğun bir trafiği beraberinde getirmektedir. Ulaşım aktivitelerinin artması ulaşımda kullanılan taşıtların daha çok enerji tüketmesi sonucunu doğurmaktadır. Daha çok enerji tüketimi de atmosfere yayılan sera gazı emisyonlarının artmasına neden olur.

İstanbul'un denizyolu elverişliliği sayesinde denizyolu ulaşımı da ulaşım aktiviteleri arasında yerini almaktadır. Denizyolu toplu taşımacılığı şirketleriyle İstanbul'daki yolcuların, şehiriçinde ve çevre illere ulaşımı denizyollarıyla da sağlanabilmektedir. Ülkemizde sera gazı emisyonlarının salımı söz konusu olduğunda en yüksek pay karayolu ulaşımında olsa da aktif olarak kullanılabilen denizyollarının da sera gazı emisyonlarına etkisinin ne ölçülerde olduğunun bilinmesi, uygun ulaşımın tespitini yapabilmek için karşılaştırmalara olanak sağlaması yönünden önem taşımaktadır.

Bu çalışmadaki amaç, İstanbul'da denizyolu toplu taşımacılığında kaynaklanan yıllık toplam sera gazı emisyonlarının hesaplanması, bu sonuçların hangi tip deniz taşıtlarında en yüksek seviyede olduğunun belirtilmesi, denizyolu alt sektöründeki sera gazı emisyonları durumunun diğer ulaştırma alt sektörlerine karşılaştırılmasının yapılması ve kişi başına sebep olunan sera gazı emisyonları türünden hesaplanmak üzere, denizyolu ulaşımının karayolu ulaşımıyla karşılaştırılmasının sonucu olarak en uygun seçeneğin belirtilmesidir.

Ayrıca, İstanbul Boğazı'ndaki gemi geçişleri de İstanbul denizyolu ulaşımına dahil olarak kabul edilip yıllık gemi geçişleri sonucu oluşan sera gazı emisyonlarının hesabının yapılması ve çıkan durumun diğer denizyolu kaynaklarıyla karşılaştırılması da çalışmanın bir diğer amacı olarak ele alınmıştır.

Sözü edilen hesaplamalarla bulunan sonuçlar kendi içlerinde karşılaştırılarak sera gazı emisyonları üretimi konusunda kilit faktörlerin neler olduğu belirtilmiş, bunların azaltılması ya da daha uygun kullanımıyla ilgili önerilerde bulunulmuştur.

## 2. SERA GAZLARININ ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Uzun dönemde, yeryüzünün, güneşten aldığı kadar bir enerjiyi uzaya vermesi gerekir. Güneş enerjisi yeryüzüne kısa dalga boyu radyasyon olarak ulaşır. Gelen radyasyonun bir bölümü, yeryüzünün yüzeyi ve atmosfer tarafından geri yansıtılır. Ama bunun büyük bölümü, atmosferden geçerek yeryüzünü ısıtır. Yeryüzü bu enerjiden, uzun dalga boyu, kızılötesi radyasyonla kurtulur (başka bir deyişle onu uzaya geri gönderir).

Gezegimizin yüzeyi tarafından yukarıya salınan kızılötesi radyasyonun büyük bölümü atmosferdeki su buharı, karbondioksit ve doğal olarak oluşan diğer “sera gazları” tarafından emilir. Bu gazlar enerjinin, yeryüzünden geldiği gibi doğrudan uzaya geçmesini engeller. Birbiriyle etkileşimli birçok süreç (radyasyon, hava akımları, buharlaşma, bulut oluşumu ve yağmur dahil) enerjiyi atmosferin daha üst tabakalarına taşır ve enerji oradan uzaya aktarılır. Bu daha yavaş ve dolaylı süreç bizim için şanstır; çünkü yeryüzünün yüzeyi enerjiyi uzaya hiç engelsiz gönderebilseydi, o zaman yeryüzü soğuk ve yaşanmaz bir yer olurdu. [2]

Bazı sera gazları doğal olarak oluşurlar fakat insan faaliyetlerinden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenirler. Diğer bazı sera gazları ise tamamen insan faaliyetleri sonucu (antropojenik) meydana gelir. Doğal olarak oluşan sera gazlarından bazıları şunlardır; su buharı ( $H_2O$ ), karbon dioksit ( $CO_2$ ), ozon ( $O_3$ ), metan ( $CH_4$ ), nitrit oksit ( $N_2O$ ). Tamamen insan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazları ise, kloroflorokarbon (CFCs), hidrokloroflorokarbon (HCFCs), hidroflorekarbon (HFCs) (hepsine genel olarak halokarbonlar denir) ve tamamen florid bileşiği olan kükürt hekzaflorid ( $SF_6$ ) gibi gazlardır. [3, 4, 5]

Bulutlar, güneş ışığını yansıtmasının yanında, ayrıca temel sera gazı organlarından biridir. Su buharı ve bulut parçaları atmosferdeki baskın absorbe edicilerdir.  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $H_2O$  gazları birçok biyolojik işlemde üretilir veya kullanılır.  $H_2O$  gazının temel kaynağı ise okyanuslarda meydana gelen buharlaşmadır. Ozon atmosferde, güneş ışığı aracılığıyla gerçekleşen

reaksiyonlar sonucunda üretilir. CFC gazları sentetik gazlardır ve atmosfere insanlar tarafından salınır. Buna ek olarak SF<sub>6</sub> ve CF<sub>4</sub> gibi perflorokarbon gazları neredeyse asal sera gazı denebilecek kadar güçlüdürler ve atmosferdeki ömürleri 1000 yıldan daha uzundur. [4]

Bu gazlar dışında, doğrudan ışımaya neden olduğu tam olarak kabul edilmemiş olan başka gazlar da bulunmaktadır. Bu troposfer gazları, hava kirletici gazlar olarak da bilinir, karbon monoksit (CO), nitrojen dioksit (NO<sub>2</sub>), kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>), ve troposferik (yer seviyesi) ozon gazıdır (O<sub>3</sub>). Troposfer ozonu, iki kirletici olan, uçucu organik bileşikler (VOCs) ve nitrojen oksitler (NO<sub>x</sub>) tarafından ultraviyole ışınların (güneş ışığı) bulunduğu ortamda oluşturulur. Aerosoller (çok küçük partiküller veya sıvı damlacıkları) genellikle kükürt bileşiklerinden, karbon yanma ürünlerinden ve diğer insan kaynaklı kirleticilerden meydana gelmektedirler. Aerosoller, atmosferin soğurma (absorbe etme) karakteristiğini etkileyebilirler. Ancak aerosoller bilimsel açıdan henüz ileri seviyede anlaşılamamıştır. [3, 5]

Bu çalışma içindeki başlıklarda ve çizelgelerde CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları doğrudan etkili sera gazı emisyonları, CO, NO<sub>x</sub>, NMVOC ve SO<sub>x</sub> gibi emisyonlar ise dolaylı yoldan sera etkisine neden olan emisyonlar olarak ele alınmıştır.

## **2.1 Su Buharı (H<sub>2</sub>O)**

Atmosferdeki en dominant ve bol bulunan sera gazı su buharıdır. Su buharı uzun ömürlü veya atmosferde iyi karışmış bir yapıda değildir ve konuma göre %042 arasında değişmektedir. Ayrıca, atmosferik su gaz, sıvı ve katı gibi çeşitli fiziksel formlarda bulunabilir. İnsan faaliyetlerinin ortalama küresel su buharı konsantrasyonunu doğrudan etkilemediği düşünülmektedir; fakat diğer sera gazlarının konsantrasyonundaki artış sonucunda oluşan ışıma zorlaması dolaylı olarak hidrolojik döngüyü etkileyebilir. Atmosferdeki ısınma su tutma kapasitesini artırır ve bunun sonucunda su buharı konsantrasyonunun artışı bulut oluşumunu etkiler. Bulutlar ise hem güneşten gelen hem de karadan yansıyan ışınları hem absorbe eder hem de yansıtır. Uçakların, jet motorlarından saldıkları, ve gökyüzüne bakıldığında çizgi şeklinde bir bulut gibi görünen karışımın içeriğinde de su buharı bulunur. Uçakların arkalarında bıraktıkları sudan

ve diğ er atıklarından oluşan bu iz şeklindeki yapı da, ışı maya etkileri bakımından bulutlara benzemektedir. [5]

## **2.2 Karbondioksit (CO<sub>2</sub>)**

Sera etkisine sahip olan gazların başında saydam bir gaz olan CO<sub>2</sub> gelir. Aynı bir seranın veya otomobilin camı gibi, ısı veren güneş ışınlarını içeri alır; fakat, ısı radyasyonunu, yani içerisinin ısını nı geri vermez. CO<sub>2</sub> bir örtü gibi dünyayı sarmaktadır, şayet bu durum olmasaydı dünyanın ortalama sıcaklığı 418°C olacaktı. Bu örtü sayesinde sıcaklık +15°C civarındadır. Yer ısını nı geri verirken kızılötesi ışınlar salar ve CO<sub>2</sub> bunları tutup ısı nın uzaya kaçmasını önler.[6] Doğada karbon, atmosfere bağlı, okyanuslara bağlı, kara ve deniz bitkilerine bağlı ve mineral rezervlere bağlı olan çeşitli çevrimlere katılır. En büyük akış (döngü) atmosfer ile kara bitki örtüsü arasında ve atmosfer ile okyanus yüzeyi arasında meydana gelmektedir. Atmosferde karbon çoğ unlukla oksitlenmiş formu olan CO<sub>2</sub> şeklinde bulunur. Atmosferik karbondioksit bu küresel karbon çevriminin bir parçasıdır ve bu nedenle varlığı jeokimyasal ve biyolojik proseslerin karmaşık bir fonksiyonudur. Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu, sanayi devrimi öncesi dönemdeki 280 ppmv (hacimsel olarak ppm) değerinden 1999 yılında 367 ppmv değerine, %31'lik bir artış göstermiştir.[5]

Doğal yollardan CO<sub>2</sub> bitki örtüsü ve okyanuslar tarafından absorbe edilir ve üretilir. Ayrıca odun, kömür, petrol ve doğ al gaz yakılması sonucu da üretilmektedir. CO<sub>2</sub> artışında temel nedenin fosil yakıtların yakılması oldu ğ u, hem kararlı hem de radioaktif yapıdaki karbon izotoplarındaki azalma ve atmosferdeki oksijende azalma ile kanıtlanabilmektedir. Yıllık CO<sub>2</sub> artışı de ğ iş ken olduğ undan, ortalama yıllık artışın son 20 yılda 1.5 ppmv/yıl olduğ u belirtilmektedir. [4]

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

Sera etkisinin %20'sini meydana getiren diğ er bir gaz ise metandır. Karbondioksite nazaran 20 misli daha ısı tutucu bir rol oynamaktadır. Metan, doğ al gazın temel elemanıdır. Ayrıca, bataklık ve pirinç tarlası gibi düşük oksijenli ortamlardaki biyolojik proseslerle atmosfere salınabilmektedir. Pirinç ekimi, hayvancılık, kömür madencili ğ i, depolama işlemleri ve doğ al gaz elde etme gibi

insan faaliyetleri son 50 yılda artış göstermiştir. Bu aktivitelerden kaynaklanan emisyonlar atmosferdeki metan artışında pay sahibidir. Metanın atmosferdeki konsantrasyonu küresel olarak sadece son 20 yılda ölçülmüştür. Meydana gelmiş olan dünya çapındaki ısınma anaerobik çürümeyi de hızlandırmış, CO<sub>2</sub> kadar, metan üretimini de artırmıştır. [6, 4]

Metan temel olarak, biyolojik sistemlerde organik maddelerin anaerobik dekompozisyonu ile üretilir. Atmosferdeki metan kompozisyonu sanayi devrimi öncesinden bu zamana %150 artış göstermiştir. IPCC, atmosfere katılan CH<sub>4</sub> miktarının yarısından fazla kısmının insan faaliyetleri sonucu gerçekleştiğini belirtmektedir. Metan, atmosferde hidroksil radikali (OH) ile reaksiyona girer ve en sonunda CO<sub>2</sub>'e dönüşmektedir. [5]

#### **2.4 Diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O)**

Azot oksitleri içinde en önemlisi diazot monoksittir. Sera etkisinin %15'inin bu gazdan kaynaklandığı düşünülmektedir. Diazotmonoksitin insan faaliyetleri sonucunda üretilmesinde en büyük payı, tarım arazilerinde sentetik ve doğal gübre kullanımı, özellikle ulaşımda kullanılan fosil yakıtların yakılması, nitrik asit üretimi, atık su arıtımı ve atık yakılması, ve biokütlelerin yakılması oluşturmaktadır. Atmosferdeki N<sub>2</sub>O konsantrasyonu 1750'den beri %16 artmıştır. Stratosferde güneş ışığının fotolitik (güneş enerjisi ile elementin atomlarına ayrılması) davranışı sonucu N<sub>2</sub>O atmosferden eksilmektedir. [6, 5]

#### **2.5 Ozon (O<sub>3</sub>)**

Ozon, oksijenin değişik bir şeklidir. Troposferin soğuk kısımlarında ozon, doğal yollardan nadiren teşekkül eder. Esas ozon teşekkülü stratosferde olur. Yüksek enerjili ultraviyole ışınlarının bombardımanına maruz kalan oksijen molekülleri parçalanır ve açığa çıkan serbest oksijen atomlarının bir kısmının O<sub>2</sub> ile birleşmesinden O<sub>3</sub> oluşur. Böylece meydana gelen ozonun, oksijenin sahip olmadığı bazı özellikleri mevcuttur. Ozon ultraviyole ışınlarını emme özelliğine sahiptir. Stratosferden geçerken bu zararlı ışınlar tutulacağından alt tabakalarda yani troposferde oksijen parçalanmaktan kurtulmuş olur. Fakat, ozonun bir kısmı atmosfere alt tabakalarına yani troposfere doğal yollardan geçebilir. Bu

bölgede ozonu oluşturabilecek veya yok edebilecek kimyasal prosesler gerçekleşebilir. Bu troposferdeki ozon miktarı 20.yüzyılda, karbon ve azot içeren kirletici moleküllerin (fosil yakıt kullanan araçların egzozlarında, güç tesislerinin egzozlarında ve biokütlelerin yakılması sırasında oluşan gazlarda salınan azot oksitleri, karbon monoksit ve etilen gibi bileşiklerin) güneş ışığı ile etkimesi sonucu oluşan ek ozonun da katılmasıyla artmıştır. [6, 4]

Aynı zamanda bir sera gazı olan troposfer ozonu, doğrudan ışımaya tesiri bakımından sanayi devriminden bu yana artarak CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gazlarının ardından üçüncü sırayı almıştır. Troposfer ozonu, uçucu organik bileşiklerin güneş ışığı etkisi altında nitrojen oksitlerle karışması sonucu oluşturulmaktadır. [5]

## **2.6 Halokarbonlar, Perflorokarbonlar ve Kükürt Heksaflorid (SF<sub>6</sub>)**

Halokarbonlar, ışımaya doğrudan ve dolaylı olarak etki eden insan yapımı bir kimyasaldır. Klor içeren (kloroflorokarbonlar CFC, hidrokloroflorokarbonlar HCFC, metil kloroform, karbon tetraklorid) ve brom içeren (halonlar, metil bromid, hidrobromoflorokarbonlar HBFC) halokarbonlar, stratosferde bulunan ve faydalı olan ozonun azalmasına neden olduğu için Montreal Protokolünde Ozon Tabakasına Zararlı Maddeler arasına alınmıştır. CFC ve HCFC gazları küresel ısınmaya neden olan gazlar içermekle beraber, bir taraftan da stratosferdeki ozonu azalttıkları için, ışımaya olan net zorlayıcı etkileri azalmaktadır. Çünkü ozon dünyayı güneşten gelen ultraviyole ışıklardan korumasının yanında aynı zamanda önemli bir sera gazıdır. Hidroflorokarbonlar (HFC), perflorokarbonlar (PFC) ve kükürtheekzaflorid (SF<sub>6</sub>) ozonu azaltıcı maddeler olmadıkları için Montreal Protokolü kapsamına alınmamıştır. Ancak bu gazlar da güçlü sera gazlarıdır. Hidroflorokarbonlar ozonu incelten maddeler yerine kullanılmaktadır ve şu anda ışımaya olan zorlayıcı etkileri küçüktür, ancak, toplamda sera gazı özelliği gösteren maddelere katkısı bulunmaktadır. PFC ve SF<sub>6</sub>, alüminyum ergitme, yarı iletken imalatı, elektrik güç aktarımı ve dağıtımı, magnezyum dökümü gibi sanayi işlemlerinde açığa çıkmaktadır. PFC ve SF<sub>6</sub> gazları ışımayı zorlayıcı etkileri düşük olmakla birlikte, hızlı bir büyüme oranına ve çok uzun atmosfer ömürlerine sahip olmaları ve kızılötesi ışınları tutabilme özellikleri nedeniyle gelecekte iklimle etki edebilmeleri açısından büyük bir potansiyele sahiptir. [5]

## **2.7 Karbonmonoksit (CO)**

Karbonmonoksit, CH<sub>4</sub> ve troposfer ozonunun, diğere atmosfer elemanlarıyla (hidroksil radikali gibi) kimyasal reaksiyona girmesine katkıda bulunduğunda, CH<sub>4</sub> ve troposfer ozonunun konsantrasyonlarının artmasından dolayı olarak sorumludur. Karbon içeren yakıtların eksik yanması sonucunda CO oluşur. Atmosferdeki doğal prosesler sonucunda CO<sub>2</sub> şeklini alır. CO konsantrasyonları atmosferde kısa ömürlüdür ve konuma göre değişkenlik göstermektedir. [5]

## **2.8 Azot Oksitleri (NO<sub>x</sub>)**

Azot oksitlerin (NO ve NO<sub>2</sub> gibi) temel iklim değişimi etkileri, doğrudan değil, dolaylı olarak yani troposferde ozon oluşmasındaki (troposfer ozonu sera gazı özelliği taşımaktadır) rollerinin sonucunda gerçekleşmektedir. Ek olarak, uçaklardan kaynaklanan NO<sub>x</sub> emisyonları metan konsantrasyonunu azaltmaktadır. NO<sub>x</sub> emisyonları, yıldırım düşmesinden, topraktaki mikrobik aktivitelerden, biokütlelerin doğal veya insan nedeniyle yanmasından, yakıt yakılmasından, ve strotosferde N<sub>2</sub>O'nun indirgenmesinden oluşturulabilmektedir. NO<sub>x</sub> konsantrasyonları atmosferde kısa ömürlüdür ve konumsal olarak farklılık gösterir.[5]

## **2.9 Metan Haricindeki Uçucu Organik Bileşikler (NMVOC)**

NMVOC gazları, propane, bütan ve etan gibi bileşikleri içermektedir. Bu bileşikler, NO<sub>x</sub> ile beraber, troposfer ozonunun ve diğere fotokimyasal oksitleyicilerin oluşmasında rol alırlar. NMVOC emisyonları temel olarak ulaştırmadan, sanayi işlemlerinden, biyokütlelerin yakılmasından ve organik solventlerin endüstri dışı tüketiminden kaynaklanmaktadır. NMVOC konsantrasyonları atmosferde kısa ömürlüdür ve konumsal olarak çeşitlilik gösterir. [5]

### 3. DENİZYOLU ULAŞIMINDAN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI

#### 3.1 Türkiye Genelinde Ulaştırma Alt Sektörleri İçin Toplam Sera Gazı Emisyonları

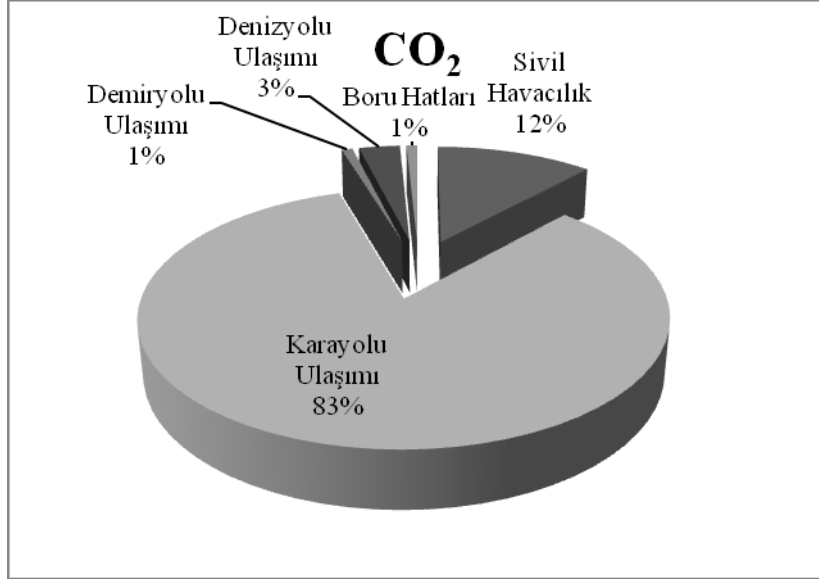
Türkiye genelinde, ulaştırma alt sektörlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesabı, Tübitak – TARAL projelerinden 105G039 numaralı Ulaştırma Sera Gazı Emisyonu Azaltımı isimli projenin dönem raporunda ele alınmıştır.[7] Burdaki hesap IPCC 1. Yaklaşımına göre yapılmıştır.

Türkiye genelinde ulaştırma alt sektörlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının her bir alt sektöre göre değerleri Gg cinsinden Çizelge 3.1’de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** Türkiye genelinde ulaştırma alt sektörlerine göre sera gazı emisyonlarının değerleri

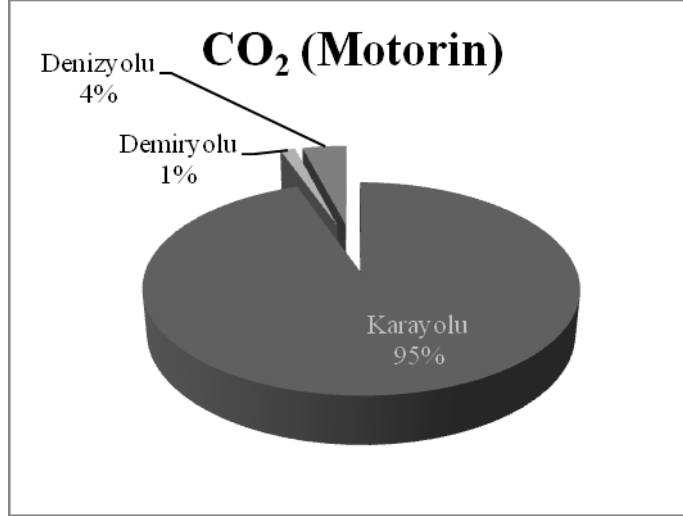
	Ulaştırma Alt Sektörlerine Göre 2007 Yılı Sera gazı Emisyonları (Gg)						
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	N <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NMVOC
<b>Sivil Havacılık</b>	6060	14	24	0,2	1,8	0,08	1,8
<b>Karayolu Ulaşımı</b>	42934	1490	418	1,8	29,8	5,8	282
<b>Demiryolu Ulaşımı</b>	424	5,7	6,8	0,02	0,4	0,02	1,14
<b>Denizyolu Ulaşımı</b>	1588	21,2	31,8	0,013	4,5	0,1	4,24
<b>Boru Hatları</b>	413	2,9	4,41	0,02		0,67	0,03
<b>Toplam</b>	51420	1535	485	2	36	6	289

Çizelge 3.1’de verilen karbondioksit emisyonu değerlerinin sektörlere göre dağılımının oranları Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1 :** CO<sub>2</sub> emisyonlarının sektörlere göre dağılımı

Ulaştırma da tüketilen diğer yakıtların yanında motorinden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının karayolu, demiryolu ve denizyolu alt sektörlerine göre dağılımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2 :** Tüketilen motorine bağlı çıkan CO<sub>2</sub> emisyonlarının sektörlere göre dağılımı

Şekilden ve çizelgelerden görüldüğü üzere; ulaşımdan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %3’lük kısmı denizyollarından kaynaklanmaktadır. Bunun yanında, karayolu, demiryolu ve denizyollarında tüketilen motorinden kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının %4’ü denizyolları tarafından yayılmıştır.

### **3.2 İstanbul'da Denizyolu Toplu Ulaşımından Kaynaklanan Sera Gazı Emisyonları**

İstanbul'da denizyolu toplu ulaşımı, İstanbul Deniz Otobüsleri A.Ş. (İDO), Dentur ve Turyol Firmalarının filolarındaki deniz taşıtlarıyla sağlanmaktadır. İDO'nun filosu, hızlı feribotlar, deniz otobüsleri, araba vapurları ve şehirhatları vapurlarından oluşurken, Dentur ve Turyol bünyesinde ise deniz motorları diye adlandırılan küçük yolcu tekneleri bulunmaktadır. 2006 yılı istatistik verilerine göre bu ulaşımında, İDO'nun payı %70 Dentur ve Turyol'un işlettiği deniz motorlarının payı ise %30'dur. Hızlı feribotlar, İstanbul'un denizyolu aracılığıyla da ulaşılabilen Bursa, Yalova ve Bandırma gibi çevre kentleri arasındaki ulaşımında, araba vapurları, Eskişehir – Topçular ve Sirkeci – Harem arasında, deniz otobüsleri, şehirhatları vapurları ve deniz motorları ise Boğaziçi ve İstanbul'un Marmara Denizi kıyılarındaki iskeleler arasında seferler yapmaktadır.[8]

Bu sözü edilen deniz araçlarıyla, İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakaları arasındaki iskeleler arasında bir günde tam kapasitede toplam yaklaşık 350.000 yolcu taşınabilmektedir.[8]

İstanbul'da denizyolu toplu ulaşımında hizmet veren deniz taşıtları; hızlı feribotlar, araba vapurları, deniz otobüsleri, şehirhatları vapurları ve deniz motorlarının yıllık yaydıkları toplam sera gazı emisyon değerleri hesaplanmıştır. Bu hesapların yapılabilmesi için gerekli olan yıllık toplam yakıt tüketim değerleri ve yakıt tüketim karakteristikleri gibi veriler, bu taşıtların ait oldukları firmalar tarafından sağlanmıştır. İDO, Dentur, ve Turyol'dan alınan 2007 yılına ait veriler kullanılarak 2007 yılı, denizyolu toplu ulaşımı sonucu yayılan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır.[8-11]

#### **3.2.1 Hesaplamalar ve sonuçlar**

Firmalardan alınan yakıt tüketim karakteristikleri verilerinden yola çıkılarak bulunan yıllık harcanan toplam değerlerin seyir, iskele ve jeneratör gibi aktiviteler için tüketim yüzdeleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** Yıllık tüketilen yakıtın aktiviteye bağlı yüzdeleri[8,9]

	Yakıt Tüketim Yüzdeleri		
	Seyir	İskele	Jeneratör
Hızlı Feribot	70%	15%	15%
Deniz Otobüsü	70%	15%	15%
Araba Vapuru	70%	17%	13%
Şehirhatları Vapurları	60%	15%	25%
Deniz Motorları	75%	15%	10%

Hesaplanan Yakıt tüketimi ortalama yüzdelerinden sonra bu oranlar yıllık toplam yakıt tüketim değerleriyle çarpılarak bu aktiviteler için ne kadar yakıt tüketildiği hesaplanmıştır. Hesaplar sonucu bulunan tüketim payları sayısal değerleri de Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3 :** 2007 yılı yakıt tüketim payları sayısal değerleri[8,9]

	Toplam Tüketim (ton)	Tüketim Payları		
		seyir	iskele	jeneratör
Hızlı Feribot	40.152	28.106	6.023	6.023
Deniz Otobüsü	14.833	10.383	2.225	2.225
Şehirhatları Vapurları	15.263	9.158	2.289	3.816
Araba Vapuru	15.693	10.985	2.668	2.040
Turyol	7.197	5.398	1.080	720
Dentur	2.646	1.985	397	265

Yakıt tüketim miktarlarıyla emisyon faktörlerinin çarpımı sonucunda emisyon değerleri elde edilir. Emisyon faktörleri “Techne Report MEET (Methodologies For Estimating Air Pollutant From Ships) RF98” isimli makaleden alınmıştır.[12,13] Sözü edilen deniz araçları genellikle Yüksek hızlı diesel motorlara sahiptir. Dolayısıyla hesaplarda kullanılan emisyon faktörleri bu motor tipi için verilen emisyon faktörlerinden alınmıştır. Ayrıca seyir, iskele ve jeneratör gibi yakıt tüketim aktiviteleri için de ayrı emisyon faktörleri kullanılmış böylelikle daha ayrıntılı bir emisyon hesabı yapılmıştır. Çizelge 3.4’de emisyon faktörleri gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4 : Denizyolu toplu taşıma araçları için emisyon faktörleri[12]**

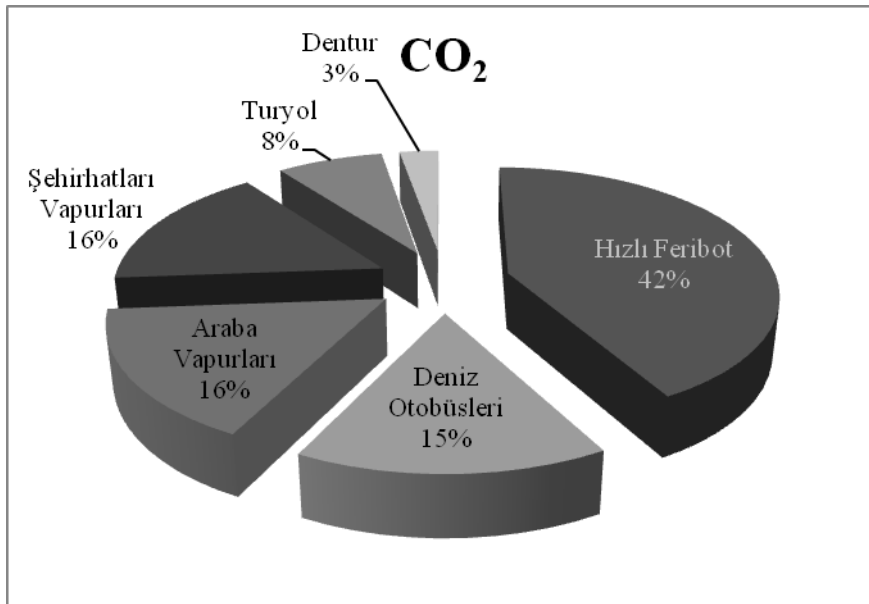
		Emisyon Faktörleri (kg/ton yakıt)					
		CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Hızlı Feribot	seyir	3200	9	70	10,8	3	1,5
	iskele	3200	120	28	10,8	28,9	1,5
	jeneratör	3200	6,74	41,1	19	11,5	
Deniz Otobüsleri	seyir	3200	9	70	10,8	3	1,5
	iskele	3200	120	28	10,8	28,9	1,5
	jeneratör	3200	8,75	19,67	19	2,5	
Araba Vapurları	seyir	3200	9	70	10,8	3	1,5
	iskele	3200	120	28	10,8	28,9	1,5
	jeneratör	3200	8,75	19,67	19	2,5	
Şehirhatları Vapurları	seyir	3200	9	70	10,8	3	1,5
	iskele	3200	120	28	10,8	28,9	1,5
	jeneratör	3200	8,75	19,67	19	2,5	
Turyol	seyir	3200	9	70	10,8	3	1,5
	iskele	3200	120	28	10,8	28,9	1,5
	jeneratör	3200	8,75	19,67	19	2,5	
Dentur	seyir	3200	9	70	10,8	3	1,5
	iskele	3200	120	28	10,8	28,9	1,5
	jeneratör	3200	8,75	19,67	19	2,5	

Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'deki değerler hesaplarda kullanılarak Çizelge 3.5 oluşturulmuştur.

**Çizelge 3.5 : Denizyolu toplu ulaşım araçlarının 2007 yılı emisyonları**

		Emisyon Değerleri (kg)					
		CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Hızlı Feribot	seyir	89.940.480	252.958	1.967.448	303.549	84.319	42.160
	iskele	19.273.600	722.760	168.644	65.048	174.065	9.035
	jeneratör	19.273.600	40.595	247.545	114.437	69.265	
Deniz Otobüsleri	seyir	33.225.600	93.447	726.810	112.136	31.149	15.575
	iskele	7.120.000	267.000	62.300	24.030	64.303	3.338
	jeneratör	7.120.000	19.469	43.766	42.275	5.563	
Araba Vapurları	seyir	35.152.000	98.865	768.950	118.638	32.955	16.478
	iskele	8.537.600	320.160	74.704	28.814	77.105	4.002
	jeneratör	6.528.000	17.850	40.127	38.760	5.100	
Şehirhatları Vapurları	seyir	29.305.600	82.422	641.060	98.906	27.474	13.737
	iskele	7.324.800	274.680	64.092	24.721	66.152	3.434
	jeneratör	12.211.200	33.390	75.061	72.504	9.540	
Turyol	seyir	17.273.600	48.582	377.860	58.298	16.194	8.097
	iskele	3.456.000	129.600	30.240	11.664	31.212	1.620
	jeneratör	2.304.000	6.300	14.162	13.680	1.800	
Dentur	seyir	6.352.000	17.865	138.950	21.438	5.955	2.978
	iskele	1.270.400	47.640	11.116	4.288	11.473	596
	jeneratör	848.000	2.319	5.213	5.035	663	

Herbir aktivite için bulunan toplam emisyon değerleri de kendi içlerinde toplanarak İstanbul'daki denizyolu toplu ulaşımı için ulaşım aracı tipine göre ayrılmış, 2007 yılı toplam emisyon değerleri elde edilmiştir. 2007 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonu sonuçlarının deniz taşıtları arasındaki karşılaştırması Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.3 : İstanbul deniz ulaşımında 2007 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonu değerlerinin araçlara göre dağılımı**

Önceki şekildeki CO<sub>2</sub> için dağılımı verilmiş olan diğer sera gazı emisyon değerleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.6 : 2007 yılı toplam sera gazı emisyonu değerleri**

	2007 Yılı Toplam Emisyon Değerleri (kg)					
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Hızlı Feribot	128.487.680	1.016.313	2.383.637	483.035	327.648	51.194
Deniz Otobüsleri	47.465.600	379.916	832.876	178.441	101.014	18.912
Araba Vapurları	50.217.600	436.875	883.781	186.212	115.160	20.480
Şehirhatları Vapurları	48.841.600	390.492	780.213	196.132	103.166	17.171
Turyol	23.033.600	184.482	422.262	83.642	49.206	9.717
Dentur	8.470.400	67.824	155.279	30.761	18.091	3.573
<b>Toplam</b>	<b>306.516.480</b>	<b>2.475.901</b>	<b>5.458.048</b>	<b>1.158.223</b>	<b>714.286</b>	<b>121.046</b>

Yukarıdaki çizelgede belirtilen, deniz taşıtlarının türlerine göre ayrılmış yıllık toplam sera gazı emisyon değerlerinin kişi başına oranlandığında hangi değerlerde olduğunu bulabilmek için toplam emisyon değerleri, her tür deniz taşıtı için yıllık taşınan toplam yolcu sayısına bölünmüştür. Bu hesaplama için gerekli olan 2007 yılı, deniz taşıtı türlerine göre ayrılmış yaklaşık toplam taşınan yolcu sayıları Çizelge 3.7'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.7 : 2007 yılı toplam taşınan yolcu sayıları**

	2007 Yılı Toplam Taşınan Yolcu Sayıları
Hızlı Feribotlar	6.000.000
Deniz Otobüsleri	10.000.000
Araba Vapurları	20.000.000
Şehirhatları Vapurları	62.000.000
Turyol Deniz Motorları	16.000.000
Dentur Deniz Motorları	17.000.000

Deniz taşıtlarının türlerine göre belirtilen 2007 yılı toplam sera gazı emisyon değerleri, 2007 yılında taşınan toplam yolcu sayılarına oranlandığında her bir deniz taşıtı türü için 2007 yılı, kişi başına toplam sera gazı emisyonları değerleri elde edilir. Bu sonuçlar Çizelge 3.8'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.8 : 2007 yılı toplam kişi başına sera gazı emisyonları**

	2007 Yılı Kişi Başına Toplam Emisyon Değerleri (kg)					
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Hızlı Feribot	21,415	0,169	0,397	0,081	0,055	0,009
Deniz Otobüsleri	4,747	0,038	0,083	0,018	0,010	0,002
Araba Vapurları	2,511	0,022	0,044	0,009	0,006	0,001
Şehirhatları Vapurları	0,788	0,006	0,013	0,003	0,002	0,000
Turyol	1,440	0,012	0,026	0,005	0,003	0,001
Dentur	0,498	0,004	0,009	0,002	0,001	0,000
Toplam	31,398	0,251	0,573	0,118	0,076	0,013

Denizyolu toplu ulaşımı sonuç değerlerinden görüldüğü gibi en yüksek sera gazı emisyonu değerlerine sahip deniz araçları, otomobil taşıyabilen ve aynı zamanda diğerlerine göre çok daha hızlı gidebilen hızlı feribotlardır. Hızlı feribotların yıllık sefer sayıları 15.000 civarındadır.[8] Yenikapı – Bandırma, Yenikapı – Yalova, Yenikapı – Bursa ve Pendik – Yalova gibi hatlarda hizmet veren hızlı feribotlar, otomobil kullananlar tarafından da zaman kazanmak için tercih edilmektedir. Hızlı gidebildikleri için büyük güç harcarlar. Bunun sonucu olarak da yakıt tüketim değerleri yüksektir. Deniz otobüsleri de hızlı feribotlar gibi katamaran gövde tipinde ve hızlı giden tekneler olmasının yanında farkı sadece yolcu taşıyabilmeleridir. Bunlar da daha çok İstanbul'un Marmara Denizi kıyılarında hizmet verirler. Özellikle Bostancı – Yenikapı ve Bostancı – Kabataş arasındaki hizmetlerinde, sadece yarım saat civarında süren seferleriyle karayolundan gitmenin tercih edildiği duruma göre, günün hemen her saatinde süre avantajına sahiptir. Ancak, yine hızlı gidebilmesinin bir karşılığı olarak geleneksel şehirhatları vapurlarına göre çok daha fazla yakıt tüketmektedirler. Sirkeci – Harem arasında hizmet veren araba vapurlarının seferlerinin yaklaşık 8 dakika civarında sürmesi, iki yaka arasındaki seyahatlerde özellikle otomobil kullananlar için büyük kolaylık sağlamaktadır. Yakıt tüketim karakteristikleri de deniz otobüsleri ve hızlı feribotları gibi çok yüksek değerlerde değildir. İstanbul şehiriçi denizyolu toplu ulaşımında en büyük pay geleneksel yolcu vapurlarına ve deniz motorlarına aittir. Buna karşın toplam emisyon değerleri diğerlerine oranla daha düşük seviyededir.

Türkiye genelinde ulaştırma alt sektörlerinden olan denizyollarından kaynaklanan 2007 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının değeri, Çizelge 3.4'de gösterildiği gibi 1588 kiloton civarındayken, İstanbul'da denizyolu toplu ulaşımından kaynaklanan toplam

CO<sub>2</sub> emisyonlarının değeri izelge 3.9’da gösterildiği gibi 283 kiloton civarındadır. Bu da denizyollarındaki toplam değerin %17’sine karşılık gelmektedir.

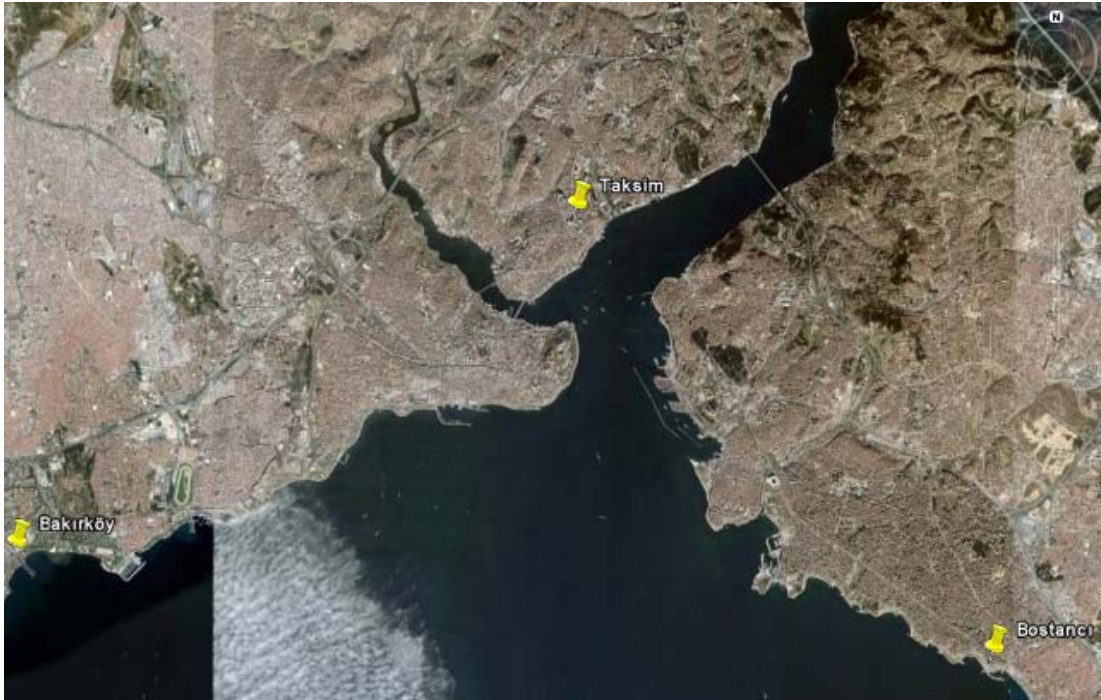
### 3.3 Alternatif Ulaşımların Sera Gazı Emisyonları Açısından Karşılaştırılması

Denizyolu aracılığıyla toplu ulaşımın sera gazı emisyonları üzerine etkisinin incelenebilmesi için, İstanbul içinde ve İstanbul’dan Bursa’ya ulaşımda denizyolunun karayoluna alternatif olarak kullanılabileceği rotalar göz önünde bulundurularak karşılaştırmalar yapılmıştır.[14]

Bu rotalar için seçilen noktalar; İstanbul’un Anadolu yakasında Bostancı, Avrupa yakasında Taksim ve Bakırköy ve Marmara Denizi çevresinde bulunan Bursa olarak seçilmiştir. Bu noktaların İstanbul ve Marmara haritasındaki yerleri uydu görüntüsünde Şekil 3.4’te ve Şekil 3.5’te gösterilmiştir. Bu noktaların seçilme nedeni, bu noktalarda yada bu noktalara yolcu ve trafik akışının yoğun oluşudur. Seçilen bu noktalar arasındaki ulaşım seçenekleri tespit edilerek, her seçenek sonucunda ortaya çıkan emisyonlar seçenekler arasında karşılaştırılmıştır.

İstanbul içinde ve İstanbul – Bursa arasındaki rotalar şu Şekilde ıkarılmıştır:

Taksim – Bostancı, Bostancı – Bakırköy, Taksim – Bursa ve Bostancı – Bursa



Şekil 3.4 : İstanbul içindeki ulaşım seçenekleri için seçilen noktalar



**Şekil 3.5 :** Marmara bölgesindeki ulaşım seçenekleri için seçilen noktalar

### **3.3.1 Ulaşım seçenekleri**

Yukarıda geçen rotalar arasındaki İstanbul şehiriçi ulaşımında denizyolu seçeneğinin de kullanılabileceği ulaşım seçenekleri Çizelge 3.9’da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.9 : İstanbul şehiriçi ulaşım seçenekleri**

<b>BOSTANCI - TAKSİM</b>	<b>BOSTANCI - BAKIRKÖY</b>
Bostancı - Üsküdar karayolu	Bostancı - Üsküdar karayolu
<b>A1</b> Üsküdar - Eminönü vapur seferi Eminönü - Taksim karayolu	<b>B1</b> Üsküdar - Eminönü vapur seferi Eminönü - Bakırköy karayolu
Bostancı - Kadıköy karayolu	Bostancı - Kadıköy karayolu
<b>A2</b> Kadıköy - Eminönü vapur seferi Eminönü - Taksim karayolu	<b>B2</b> Kadıköy - Eminönü vapur seferi Eminönü - Bakırköy karayolu
Bostancı - Kadıköy karayolu	Bostancı - Kadıköy karayolu
<b>A3</b> Kadıköy - Beşiktaş vapur seferi Beşiktaş - Taksim karayolu	<b>B3</b> Kadıköy - Beşiktaş vapur seferi Beşiktaş - Bakırköy karayolu
Bostancı - Harem karayolu	Bostancı - Harem karayolu
<b>A4</b> Harem - Sirkeci arabalı vapur seferi Sirkeci - Taksim karayolu	<b>B4</b> Harem - Sirkeci arabalı vapur seferi Sirkeci - Bakırköy karayolu
<b>A5</b> Bostancı - Yenikapı deniz otobüsü seferi Yenikapı - Taksim karayolu	<b>B5</b> Bostancı - Yenikapı deniz otobüsü seferi Yenikapı - Bakırköy karayolu
<b>A6</b> Bostancı - Kabataş deniz otobüsü seferi Kabataş - Taksim funiküler geçişi	<b>B6</b> Bostancı - Kabataş deniz otobüsü seferi Kabataş - Bakırköy karayolu
<b>A7</b> Bostancı - Taksim karayolu	<b>B7</b> Bostancı - Bakırköy deniz otobüsü seferi
	<b>B8</b> Bostancı - Bakırköy karayolu

Yukarıdaki çizelgede verilen ulaşım seçeneklerinin denizyolları seyahat basamaklarındaki deniz ulaşımı için iskeleler ve bu iskeler arası rotalar Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu rotalar daha önce de sözü edildiği gibi İDO ve deniz motorlarının kullandığı rotalardır.



**Şekil 3.6 :** İstanbul'daki denizyolu toplu ulaşımı rotaları

Ayrıca, İstanbul – Bursa arasında, hem Bostancı'dan Bursa'ya hem de Taksim'den Bursa'ya ulaşım söz konusu olduğunda denizyolu seçeneğinin de kullanılabileceği ulaşım seçenekleri de Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

**Çizelge 3.10 : İstanbul – Bursa arasındaki ulaşım seçenekleri**

<b>TAKSİM - BURSA</b>	<b>BOSTANCI - BURSA</b>
<b>C1</b> Taksim - Yenikapı karayolu Yenikapı - Mudanya feribot seferi Mudanya - Bursa karayolu	Bostancı - Pendik karayolu <b>D1</b> Pendik - Yalova feribot seferi Yalova - Bursa karayolu
<b>C2</b> Taksim - Yenikapı karayolu Yenikapı - Yalova feribot seferi Yalova - Bursa karayolu	Bostancı - Yenikapı karayolu <b>D2</b> Yenikapı - Yalova feribot seferi Yalova - Bursa karayolu
<b>C4</b> Taksim - Eskihisar karayolu Eskihisar - Topçular arabalı vapur seferi Topçular - Bursa karayolu	Bostancı - Yenikapı karayolu <b>D3</b> Yenikapı - Mudanya feribot seferi Mudanya - Bursa karayolu
<b>C4</b> Taksim - Bostancı karayolu Bostancı - Yalova deniz otobüsü seferi Yalova - Bursa karayolu	Bostancı - Eskihisar karayolu <b>D4</b> Eskihisar - Topçular arabalı vapur seferi Topçular - Bursa karayolu
<b>C5</b> Taksim - Bursa karayolu	<b>D5</b> Bostancı - Yalova deniz otobüsü Yalova - Bursa karayolu
	<b>D6</b> Bostancı - Bursa karayolu

Yukarıdaki çizelgede verilen ulaşım seçeneklerinin denizyolları seyahat basamaklarındaki deniz ulaşımı için iskeleler ve bu iskeler arası rotalar Şekil 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelgelerdeki numaralandırmalar, her bir ulaşım seçeneğini, her ulaşım seçeneği içindeki satırlar da o seçenek içindeki basamakları göstermektedir.



Şekil 3.7 : İstanbul – Bursa arasındaki denizyolu toplu ulaşımı rotaları

### 3.3.2 Hesaplamalar ve kabuller

Çizelgelerde verilen bu seçeneklerde kullanılan taşıtların taşıyabildikleri yolcu sayıları farklılık gösterdiğinden, karşılaştırmalar kişi başına sebep olunan emisyon değerleri üzerinden yapılmıştır. Diğer sera gazı emisyonları bakımından da çok büyük farklılık göstermeyeceğinden karşılaştırmalar sadece CO<sub>2</sub> emisyonu üzerinden yapılmıştır. Her ulaşım seçeneğinde kullanılan taşıtların yaydıkları emisyonlar, seyahat esnasında taşıdıkları kabul edilen kişi sayısına bölünerek kişi başı emisyon değerine ulaşılmış olur. Örnek olarak; bir kişi Taksim – Bostancı arasındaki ulaşım seçeneklerinden 4 numaralı seçeneği tercih etmiş olsun. Bostancı'dan Harem'e, karayolu toplu ulaşım araçlarından otobüs ve minibüs ile yada taksi veya özel otomobil ile gelebilir. Bu araçların hangisinde gelirse o taşıtın yaydığı emisyon, taşıdığı kişi sayısına bölünür ve hesaba katılır. Daha sonra yine 4 numaralı seçeneğin diğer bir basamağı olarak Harem'den araba vapuruna biner. Bu basamakta da yine araba vapurunun yaydığı emisyon, o anki taşıyan kabul edilen yolcu sayısına bölünerek ilk basamaktaki sonuca eklenir. En son olarak yine bu seçeneğin içinde Sirkeci'den Taksim'e kişi, ilk basamakta kullandığı karayolu taşıtlarından biriyle gelir ve o durumda da taşıtın yaydığı emisyon kişi sayısına bölünerek toplama eklenir. Böylece her basamakta ayrı ayrı kişi başına sebep olunan emisyon değerleri bulunarak toplanmış ve o ulaşım seçeneğinde, karayolu basamağında kullanılan

taşıta bağlı bir toplam kişi başı emisyon değeri hesaplanmış olur. Hesaplamalar, her seçenekte her karayolu taşıtı için yapılmıştır.

SO<sub>2</sub> emisyonları için kullanılan yakıtın kükürt içeriği 540 mg/kg olarak alınmıştır.[8]

### **3.3.2.1 Hesaplamalarda kullanılan taşıtlar**

Ulaşım seçeneklerinin denizyolu basamaklarında kullanılan deniz taşıtları; hızlı feribotlar, araba vapurları, deniz otobüsleri, şehirhatları vapurları ve deniz motorları olarak ele alınmıştır.

Karayolu basamaklarında kullanılan karayolu araçları; otobüs, minibüs ve otomobil olarak hesaplara katılırken ayrıca, otomobil kendi içinde, emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil, Euro 3 Emisyon Standardı'nda benzinli otomobil (emisyon faktörlerinin aynı olması sebebiyle Euro 1 standardında benzinli otomobilin sonuçlarını da temsil etmektedir.) ve diesel otomobil olarak üç kısma ayrılmıştır.

Bu taşıtların hesaplarda kullanılmak üzere taşıdıkları kabul edilen yolcu sayıları yada doluluk oranları ise şu şekildedir:

Tüm deniz taşıtları % 80 doluluk (her tekne için farklılık gösterebilen yolcu kapasitesinin % 80'ine karşılık gelen yolcu sayısı) oranında, otobüs %50 (50 kişi), minibüs %80 (20 kişi) ve son olarak otomobiller %50 doluluk oranına karşılık gelen 2 kişi taşıyor olarak kabul edilmiştir.

### **3.3.2.2 Emisyon hesapları**

Deniz taşıtlarının sera gazı emisyonları hesaplarında IPCC 1.Yaklaşım kullanılmıştır.[15] Buna göre, yayılan emisyonun bulunabilmesi için öncelikle harcanan yakıt değerine ulaşılmıştır. Bu değerler, İDO, Turyol ve Dentur şirketlerinin tekneler bazında yakıt tüketim karakteristiklerinden alınmıştır.[8-11] Bu karakteristikler, her bir gemi için seyir süresince ve iskele üzerinde saatlik yakıt tüketim miktarı, taşıtın serviste olduğu süre boyunca elektrik jeneratörünün saatlik tükettiği yakıt miktarı ve yolcu taşıma kısmı ısıtma sistemi için harcanan saatlik yakıt miktarı olarak ayrılmıştır. Burdaki hesap yöntemi için örnek olarak Beşiktaş – Kadıköy arası şehirhatları vapur seferi ele alındığında; burada kullanılan vapur, seyir süresince saatte 144 lt, iskele üzerinde saatte 72 lt, jeneratör için saatte 10 lt ve kalorifer için saatte 5 lt yakıt tüketmektedir. Beşiktaş – Kadıköy arası vapur seferi 20 dakikalık seyir ve 10 dakikalık iskele üzeri olmak üzere toplam 30 dakika

sürmektedir. Bu şartlar altında, seyir süresinin saatlik karşılığı ve seyir esnasındaki saatlik yakıt tüketim değeri, iskele üzerinde durma süresinin saatlik karşılığı ve iskele üzerinde tüketilen yakıtın saatlik tüketim değeri ve jeneratör ve kalorifer için de servis süresi boyunca geçen sürenin saatlik karşılığı ve o kısımlar için tüketilen saatlik yakıt değeri çarpılınca toplam yakıt tüketimi bulunmuş olur. Daha sonra tüketilen yakıt miktarı g/kg yakıt türünden emisyon faktörleriyle çarpılıp toplam emisyon değeri gram olarak hesaplanmış olur. Aynı rotalarda hizmet verebilen deniz motorları ve şehirhatları vapurlarının toplam yakıt tüketim değerleri farklılık gösterse de kişi başı emisyon değerleri birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir.

Karayolu seyahat basamaklarında kullanılan taşıtlar tarafından yayılan emisyonlar için ise IPCC 2.Yaklaşım kullanılmıştır.[15] Buna göre emisyonlar, taşıtların katettikleri yol (km) ve emisyon faktörleri (g/km)' nin çarpılması yoluyla hesaplanır.

Hesaplamalarda kullanılan CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.11 : CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri[15]**

<b>CO<sub>2</sub> emisyon faktörleri</b>		
<b>Taşıtların tipleri</b>	<b>g/km</b>	<b>g/kg yakıt</b>
Emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil	270	3.180
Euro III standardına uygun benzinli otomobil	205	3.180
Diesel otomobil	190	3.140
Hafif Diesel (minibüs)	280	3.140
Ağır Diesel (otobüs)	770	3.140

Karayolu seyahat basamaklarında karayolu taşıtları tarafından alınan yol uzunlukları Çizelge 3.12'da gösterilmiştir.

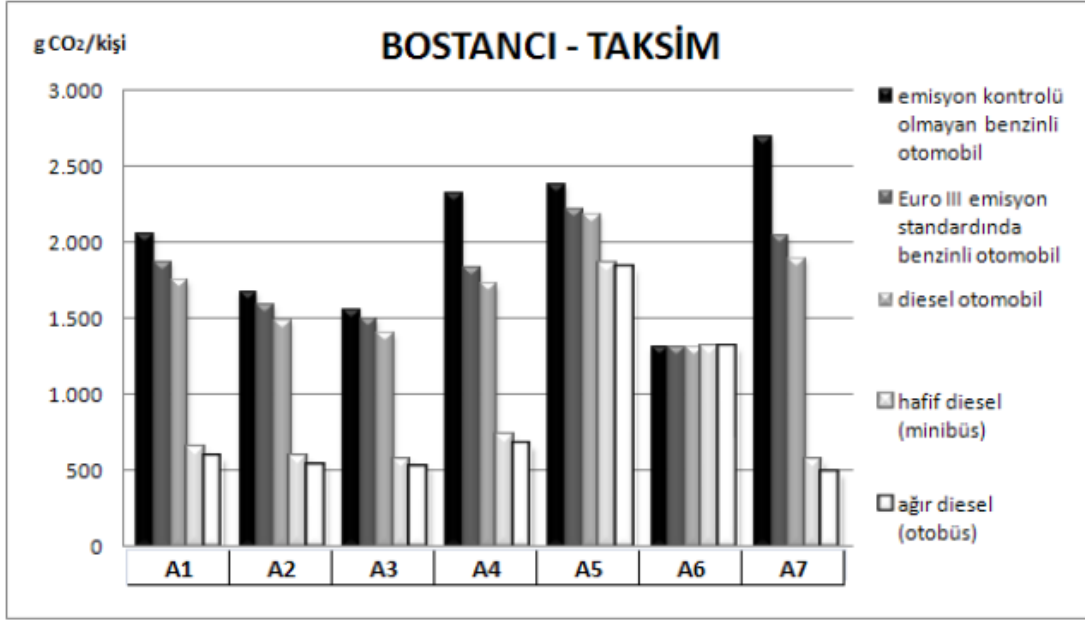
**Çizelge 3.12 : Karayolu uzunlukları**

Bostancı - Taksim	20 km
Bostancı - Kadıköy	10 km
Eminönü - Taksim	3,5 km
Beşiktaş - Taksim	2,5 km
Yenikapı - Taksim	5 km
Bostancı - Harem	10 km
Sirkeci - Taksim	5 km
Kabataş - Bakırköy	16 km
Yenikapı - Bakırköy	10 km
Eminönü - Bakırköy	15 km
Beşiktaş - Bakırköy	19 km

Sirkeci - Bakırköy	15 km
Bostancı - Bakırköy	36 km
Mudanya - Bursa	25 km
Yalova - Bursa	70 km
Taksim - Eskişehir	63 km
Topçular - Bursa	84 km
Taksim - Bursa	232 km
Bostancı - Yenikapı	25 km
Bostancı - Pendik	20 km
Bostancı - Eskişehir	36 km
Bostancı - Bursa (TEM)	224 km

### 3.3.3 Ulaşım seçenekleri karşılaştırmaları için sonuçlar ve yorumlar

Yapılan hesaplamalar sonucu bulunan kişi başı CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinin sonuçları takip eden sayfalarda şekiller ve çizelgelerle gösterilmiştir. Şekillerdeki sütunlar karayolunda kullanılan herbir taşıtı ayrı ayrı göstermekte olup, altında numaralarla gösterilen sütun kümeleri de o numaraya karşılık gelen ulaşım seçeneğini temsil etmektedir. Öncelikle Taksim – Bostancı ve Bostancı – Bakırköy olmak üzere sonuçlar Şekil 3.8 ‘de gösterilmiştir.

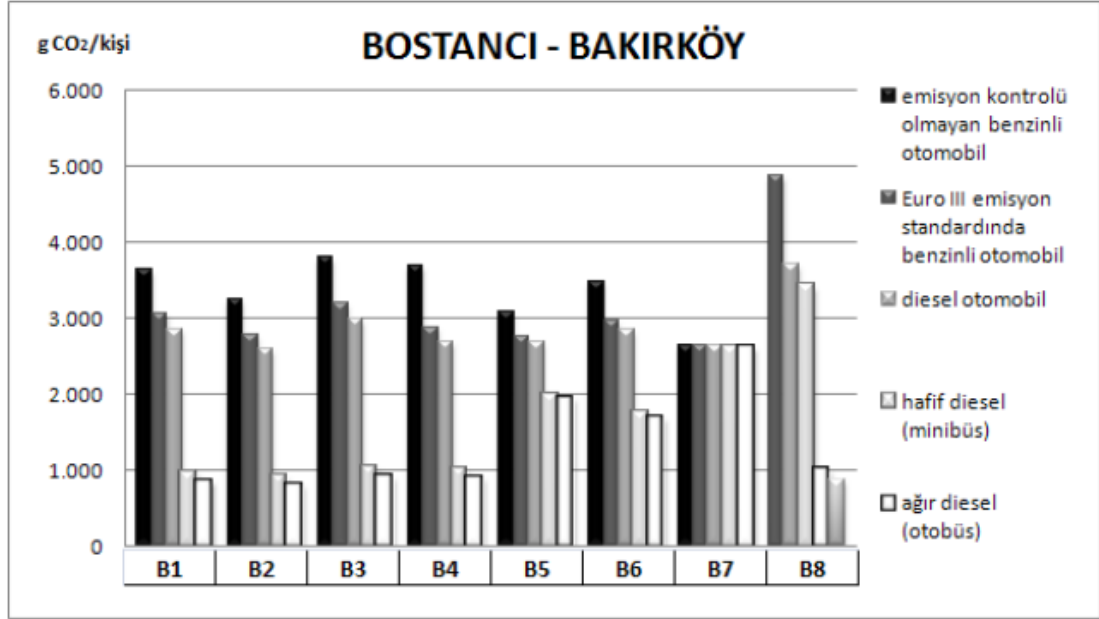


**Şekil 3.8 :** Bostancı – Taksim için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kışı)

Bu sonuçların sayısal karşılıkları ise Çizelge 3.13’te gösterilmiştir.

**Çizelge 3.13 :** Bostancı – Taksim için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kışı)

BOSTANCI - TAKSİM (g CO <sub>2</sub> /kışı)	Emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil	Euro III standardında benzinli otomobil	Diesel otomobil	Hafif diesel (minibüs)	Ağır diesel (otobüs)
A1	2.063	1.876	1.753	647	581
A2	1.680	1.591	1.490	585	531
A3	1.555	1.498	1.405	567	517
A4	2.327	1.840	1.727	722	662
A5	2.386	2.224	2.186	1.851	1.831
A6	1.308	1.308	1.308	1.308	1.308
A7	2.700	2.050	1.900	560	480



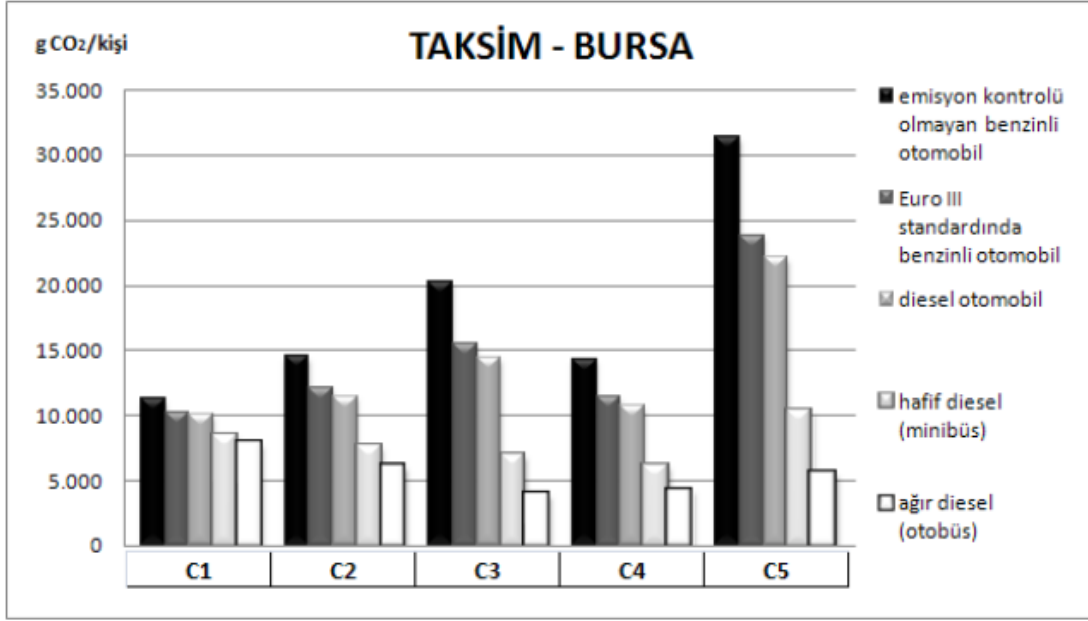
**Şekil 3.9 :** Bostancı – Bakırköy için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kışı)

Bu sonuçların sayısal karşılıkları da Çizelge 3.14’de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.14 :** Bostancı – Bakırköy için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kışı)

BOSTANCI - BAKIRKÖY (g CO <sub>2</sub> /kışı)	Emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil	Euro III standardında benzinli otomobil	Diesel otomobil	Hafif diesel (minibüs)	Ağır diesel (otobüs)
<b>B1</b>	3.615	3.055	2.845	969	857
<b>B2</b>	3.232	2.770	2.582	907	807
<b>B3</b>	3.782	3.190	2.972	1.029	913
<b>B4</b>	3.677	2.865	2.677	1.002	902
<b>B5</b>	3.061	2.736	2.661	1.991	1.951
<b>B6</b>	3.468	2.948	2.828	1.756	1.692
<b>B7</b>	2.618	2.618	2.618	2.618	2.618
<b>B8</b>	4.860	3.690	3.420	1.008	864

Taksim – Bursa rotasındaki ulaşım seçeneklerinin sonuçları Şekil 3.10’da karşılaştırılmıştır.



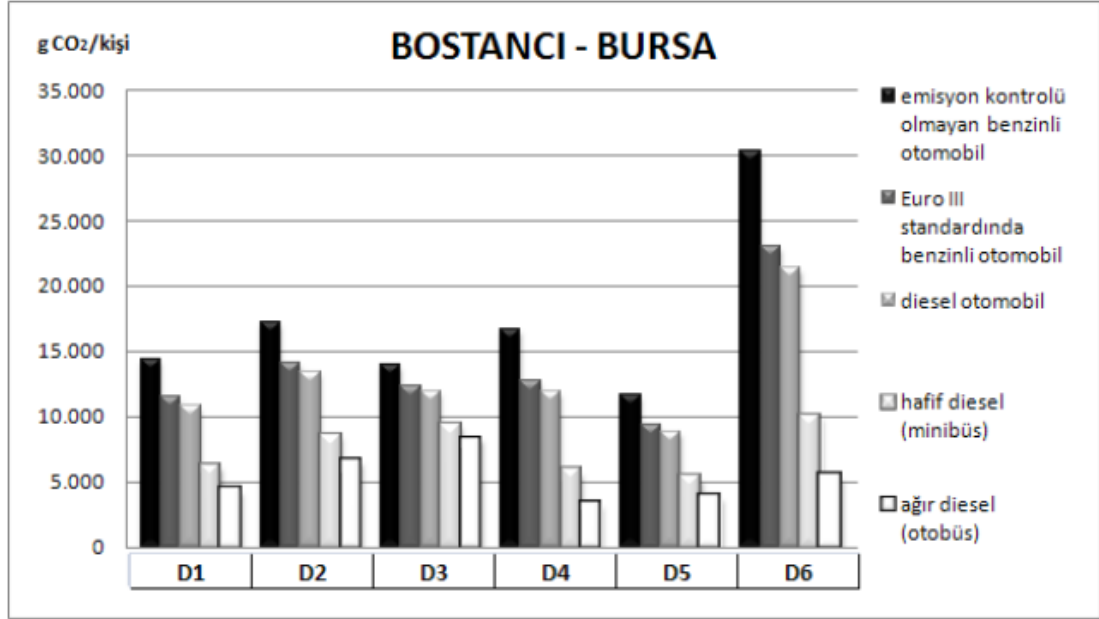
Şekil 3.10 : Taksim – Bursa için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kışı)

Bu sonuçların sayısal karşılıkları da Çizelge 3.15’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.15 : Taksim – Bursa için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kışı)

TAKSİM - BURSA (g CO <sub>2</sub> /kışı)	Emisyön kontrolü olmayan benzinli otomobil	Euro III standardında benzinli otomobil	Diesel otomobil	Hafif diesel (minibüs)	Ağır diesel (otobüs)
C1	11.184	10.209	9.984	8.478	7.854
C2	14.443	12.005	11.443	7.678	6.118
C3	20.258	15.480	14.378	6.998	3.941
C4	14.280	11.355	10.680	6.162	4.290
C5	31.320	23.780	22.040	10.394	5.568

Son olarak Bostancı – Bursa rotasındaki ulaşım seçenekleri için hesaplanan emisyonlar Şekil 3.11’de karşılaştırılmıştır.



**Şekil 3.11** : Bostancı – Bursa için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kişi)

Bu sonuçların sayısal karşılıkları Çizelge 3.16’da verilmiştir.

**Çizelge 3.16** : Bostancı – Bursa için sonuçlar (g CO<sub>2</sub>/kişi)

BOSTANCI - BURSA (g CO <sub>2</sub> /kişi)	Emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobil	Euro III standardında benzinli otomobil	Diesel otomobil	Hafif diesel (minibüs)	Ağır diesel (otobüs)
D1	14.324	11.399	10.724	6.206	4.334
D2	17.143	14.055	13.343	8.574	6.598
D3	13.884	12.259	11.884	9.374	8.334
D4	16.613	12.713	11.813	5.789	3.293
D5	11.580	9.305	8.780	5.266	3.810
D6	30.240	22.960	21.280	10.035	5.376

Şekillere ve çizelgelere bakıldığında en belirgin görülen, karayolu seyahat basamaklarında emisyon kontrolü olmayan benzinli otomobilin kullanılması sonucu çıkan emisyon değerlerinin diğer taşıtlara oranla epey fazla olduğudur. Emisyon kontrol standartlarından herhangi birine dahil olmayan, eski model, çoğunlukla karbüratörlü otomobillerin, yakıt tüketimi ve emisyon üretimi konusunda oldukça zararlı durumda oldukları söylenebilir. Denizyolu seyahat basamağının kullanıldığı ulaşım seçeneklerinin herbirinde de yalnızca karayolu ulaşım seçeneğinin otomobil ile kullanıldığı durumdakinden daha düşük kişi başı emisyonuna sebep olduğu görülmektedir. Bu durum, denizyolu toplu taşımacılığının, kişi başına sebep olunan

emisyonlar söz konusu olduğunda otomobillerden daha avantajlı olduğunu göstermektedir. Deniz otobüsü ve hızlı feribotların kullandıkları ulaşım seçeneklerinin, şehirhatları vapurları yada araba vapurlarının kullandığı ulaşım seçeneklerinden daha fazla kişi başına emisyon üretmesi, deniz otobüsü ve hızlı feribotların, yolcu konforu sağlayan süratlerinin yakıt tüketimi ve emisyon üretimi artışını da beraberinde getirdiği gerçeğini göstermektedir. Yani sürat artışı, daha fazla güç gereksinimini ortaya çıkarır. Bu da daha fazla yakıt tüketimiyle sağlanabilir. Daha fazla yakıt tüketimi de daha fazla sera gazı emisyonu demektir. Bununla birlikte tüm rotalarda ve tüm ulaşım seçeneklerinde çok belirgin olan bir diğer durum da otobüs ve minibüs gibi karayolu toplu ulaşım araçlarının, hem otomobillerden hem de tüm denizyolu toplu taşıma araçlarından daha düşük kişi başına emisyon üretimidir. Bu durum şöyle açıklanabilir; herhangi bir toplu taşıma aracının yolcu taşımak için ayrılmış hacminin, taşıtın toplam hacmine oranı ne kadar büyükse, bu oran kütle oranı için de geçerli olacağından, taşıtın, toplam kütle hareket ettirebilmek için ihtiyaç duyacağı güç, yakıt ve sonrasında üreteceği emisyon taşınan kişi başına oranlandığında o kadar düşüktür.

Ulaştırımda sera gazı emisyonu azaltımı için yukarıda bahsedilen karşılaştırmalara bakarak, sera gazı emisyonu üretimi açısından çevre için daha avantajlı olan taşıtların bulunduğu ulaşım seçeneklerinin önerilmesinden ziyade bir yerden bir yere ulaşımında tercih edilebilecek ulaşım seçeneklerinin artırılmasının, hem yolcu konforu hem de sera gazı emisyonu üretiminin azaltılması konusunda daha faydalı olduğu söylenebilir.

#### **4. İSTANBUL BOĞAZI'NI TRANSİT GEÇEN GEMİLERDEN KAYNAKLANAN SERA GAZI EMİSYONLARI**

İstanbul'un denizyolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının incelenmesi konusundaki çalışmada, denizyolu toplu taşımacılığının yanında İstanbul Boğazı'nı doğrudan geçen gemilerin de sera gazı emisyonlarına olan etkisi araştırılmıştır. Emisyon hesaplarının yapılabilmesi için Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğüne bağlı Deniz Trafik Müdürlüğü'nden gemi geçişleriyle ilgili veriler toplanmıştır. Bu veriler ışığında ilk söylenebilecek olan; İstanbul Boğazı'nın çift yönlü yıllık yaklaşık 55.000 gemi geçişine sahip olduğudur. Bazı gemilerin yıl içinde birden çok defa geçmesi dikkate alındığında yıllık ortalama yaklaşık 5.700 farklı gemi boğazı geçmektedir. Alınan veriler içinde aynı zamanda, gemilerin boğazı geçiş süreleri ve geçiş hızları gibi bilgilerin yanında, gemilerin ağırlıkları, grosstonajları, uzunlukları ve taşıdıkları yüklerin ağırlığı gibi bilgiler de yer almaktadır. Bu verilerin olduğu tabloyu temsilen bir kısmı Şekil 4.1'de verilmiştir. Geçiş hızı kurallar çerçevesinde 10 knot (deniz mili/saat) ile sınırlandırılmıştır. Deniz Trafik Müdürlüğü'nden alınan verilerde zaman zaman bu hızın 12 ila 14 knot civarına da yükselebildiği görülmektedir. Bu hızlar ile boğaz geçişi 1 ila 1.5 saat arasında sürmektedir.[16] Gemilerin geçiş süreleri boyunca yaydıkları emisyonların hesaplanabilmesi çeşitli yöntemler araştırılmıştır.

Bu yöntemlerden biri, TECHNE s.r.l. MEET (Methodologies For Estimating Air Pollutant Emissions From Transport (Ships)) Ağustos 1998 raporunda yer alan, Carlo TROZZI ve Rita VACCARO isimli araştırmacılar tarafından yapılmış, yakıt tüketimi ve gemilerden kaynaklanan emisyonlarla ilgili çalışmaları temel alan Trozzi – Vaccaro yöntemidir. Bu yöntemde göre gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının tahmini, yakıt tüketim değerleri esas alınarak yapılmıştır. Yani harcadıkları yakıt ve emisyon faktörleri çarpılarak emisyon değerleri hesaplanmıştır. Yakıt tüketim değerleri ise, gemilerin gross tonajlarının bir fonksiyonu olarak türetilen ampirik formüllerle hesaplanmıştır.[12]

Diğer bir yöntem ise, daha önce bahsedilen Trozzi – Vaccaro yönteminin yaklaşıklığını ölçebilmek amacıyla, gemilerin su içinde hareket ederken yenmeleri gereken dirençten yola çıkılarak ihtiyaç duydukları güç ve buna bağlı olarak yakıt tüketiminin hesaplanması olan gemi direnci yaklaşımı yöntemidir. Bir önceki yöntem olan, Trozzi - Vaccaro yönteminde olduğu gibi, gemi direnci yaklaşımı yönteminde de emisyonların tahmini, yakıt tüketim değerleri ve emisyon faktörleri kullanılarak yapılmıştır. Emisyon faktörleri, IPCC, EMEP/Corinair tarafından yayınlanan tüzüklerden alınan ve her iki yöntem için de ortak olarak kullanılabilen değerler olduğu için, yöntemlerin kendi aralarında karşılaştırılması temel olarak yakıt tüketim hesapları üzerinden yapılmıştır.

ID	TIPİ	DWT	GROS	BOY U	GECİS ADED I	K-G ORT TASINAN YUK MIKTARI (MT)	G-K ORT TASINAN YUK MIKTARI (MT)	K-G ORT GECİS SURESI (SAAT)	G-K ORT GECİS SURESI (SAAT)	K-G ORT HIZI (KNOT)	G-K ORT HIZI (KNOT)
4E+05	BULK CARRIER	172.092	87.368	289	2	0	161.213	1,5	1,8	11,5	9,5
24897	BULK CARRIER	172.100	87.542	289	2	0	160.161	1,3	1,9	12,8	9,0
24872	BULK CARRIER	174.000	89.659	289	2	0	158.800	1,3	1,7	12,9	9,9
16049	BULK CARRIER	170.649	88.179	289	2	0	158.519	1,3	1,7	13,2	10,0
27220	BULK CARRIER	154.556	82.112	289	2	0	150.281	1,6	2,5	10,4	6,7
24053	BULK CARRIER	172.498	87.473	289	2	0	161	1,3	1,7	13,0	10,2
24440	BULK CARRIER	174.322	88.930	289	2	0	0	1,3	1,7	13,0	10,1
23982	BULK CARRIER	171.199	85.385	289	2	0	164.999	1,8	1,9	9,7	8,9
24555	BULK CARRIER	180.182	90.091	289	2	0	163.918	1,4	1,8	12,5	9,7
25214	BULK CARRIER	171.061	88.129	289	2	0	150.838	1,3	1,7	13,1	9,7
27254	BULK CARRIER	180.200	90.091	289	2	0	1.730	1,5	1,8	11,4	9,4
22052	BULK CARRIER	180.310	90.091	288	2	0	164.639	1,2	1,7	13,9	10,1
25635	BULK CARRIER	170.565	85.914	288	2	0	168.196	1,3	1,8	13,1	9,2
24217	BULK CARRIER	171.191	85.868	288	2	0	162.267	1,4	1,9	12,4	8,7
20941	CONTAINER	58.255	51.364	287	12	15.294	34.610	1,3	1,3	13,0	12,7
21085	CONTAINER	58.341	51.364	286	14	19.522	24.159	1,3	1,4	12,7	12,6
12159	TANKER	155.211	74.939	285	1	0	0	1,6	0,0	11,0	0,0
4E+05	ORE BULK OIL	169.000	89.004	285	2	0	148.923	1,4	1,5	12,0	11,3
27421	CONTAINER	66.762	54.271	284	4	12.323	24.542	1,5	1,6	11,5	10,7
16742	CONTAINER	77.659	50.242	282	14	21.478	24.719	1,2	1,3	13,9	13,0
25623	CONTAINER	58.399	50.242	282	8	9.377	31.147	1,3	1,3	12,9	13,2
26853	TANKER	166.700	84.315	281	2	145.000	0	1,5	1,4	11,2	11,8
14734	TANKER	166.739	84.315	281	29	133.740	0	1,4	1,5	11,8	11,5
4E+05	BULK CARRIER	149.863	90.747	281	2	0	0	1,3	1,5	12,7	11,2
26114	TANKER	162.362	87.146	281	5	135.250	0	1,5	1,3	11,7	12,7
21400	BULK CARRIER	159.829	81.329	280	2	0	157.508	1,3	1,8	13,5	9,6
25771	BULK CARRIER	161.545	81.569	280	4	0	155.574	1,3	1,6	12,8	10,8
26894	TANKER	162.936	87.146	280	6	144.000	0	1,3	1,3	12,9	13,6
19499	BULK CARRIER	157.998	79.852	280	6	0	152.593	1,3	1,9	12,7	9,0
4E+05	TANKER	1.348	80.274	279	2	140.100	0	3,5	1,5	4,8	11,6
26053	TANKER	159.438	83.722	277	2	140.125	0	1,3	1,6	12,7	11,0
20309	CONTAINER	68.228	66.280	276	2	21.297	58.577	1,3	1,7	13,3	10,3
25425	CONTAINER	68.228	66.280	276	4	34.001	45.861	1,3	1,3	13,1	13,2
4E+05	TANKER	149.258	79.516	276	6	119.167	0	1,5	1,9	11,1	8,8
25662	CONTAINER	44.851	46.697	276	6	10.237	29.408	1,4	1,5	11,8	11,2
24722	CONTAINER	59.587	50.963	275	2	11.198	50.225	1,4	1,5	11,8	11,7
24718	CONTAINER	47.350	50.963	275	1	8.864	0	1,4	0,0	12,0	0,0
26998	CONTAINER	47.350	50.963	275	1	0	0	1,4	0,0	12,3	0,0

Şekil 4.1 : Deniz Trafik Müdürlüğü'nden alınan verilerin örneği

#### 4.1 Trozzi - Vaccaro Yöntemi

Bu metot, Avrupa Birliği'nin MEET projesine göre geliştirilip hazırlanmıştır. Bu metotta kullanılan yakıt tüketim değerleri ve emisyon faktörleri çok geniş bir literatür

taraması ve IMO (International Maritime Organisation), EPA (Environmental Protection Association), gemi loydları gibi, gemilerle ve hava kirliliğiyle ilgili söz sahibi kuruluşlarla temas kurularak elde edilmiştir. Elde edilen veriler, gemilerin yakıt tüketimlerini ve yaydıkları emisyonları ilişkilendirmeye izin verecek yeterliliktedir. Bu hesaplama yöntemi ayrıca, IPCC 2006 tüzüğünde, denizyolu ulaşımı kaynaklı sera gazı emisyonlarının hesaplanması konusunda, IPCC 2. Yaklaşım emisyon hesapları için önerilen bir yöntemdir.[15]

Trozzi - Vaccaro yöntemi, gemilerin iki liman arasındaki seyirleri, limana yanaşırken yaptıkları manevraları ve limanda beklerkenki yükleme-boşaltma işlemleri gibi aktiviteleri sonucunda sebep oldukları emisyonların hesaplanabilmesi için üretilmiştir.

Buna göre gemilerin sözü edilen aktiviteleri esnasında harcadıkları yakıtı tahmin edebilmek için yaklaşık 11.000 adet gemi lloydlarına kayıtlı geminin yakıt tüketim karakteristikleri incelenip ortalamaları alınarak herbir gemiyi tipine bağlı olarak temsil edebilecek bir yakıt tüketim fonksiyonu elde edilmiştir.

Yakıt tüketim fonksiyonuna göre bulunan yakıt tüketim değeriyle EMEP/Corinair gibi tüzüklerde yayınlanan emisyon faktörleriyle çarpılıp emisyon değerleri bulunmuştur.

#### 4.1.1 Trozzi - Vaccaro yöntemi formülleri

Sözü edilen hesap yöntemini anlatan genel formül aşağıdaki gibidir.[12]

$$E_i = \sum_{jkm} E_{tjkm} \quad (4.1)$$

$$E_{tjkm} = S_{jkm}(GT) \times t_{jkm} \times F_{tjkm} \quad (4.2)$$

$$S_{jkm}(GT) = C_{jk}(GT) \times P_m \quad (4.3)$$

Bu denkleme göre;

**i** : Emisyon

**j** : Yakıt tipi

**k** : Gemi tipi

**I** : Makine tipi

**m** : Sürüş kipi

**E<sub>i</sub>** : i emisyonunun toplam değeri

**E<sub>ijklm</sub>** : “i” emisyonunun, “I” tipi makinesi olan “j” yakıtını kullanan “k” gemi tipinde toplam emisyon değeri

**S<sub>jk(GT)</sub>** : “j” yakıt tipini kullanan “k” gemisinin “m” sürüş kipindeki günlük yakıt tüketim değeri (ton)

**C<sub>jk(GT)</sub>** : “k” tipindeki gemilerin “j” yakıtını kullanarak maksimum güçte günlük harcadıkları yakıt miktarı (ton)

**p<sub>m</sub>** : maksimum yakıt tüketiminin sürüş kipine göre kesri (seyir için 0.8, manevra için 0.4 , liman için 0.2)

**t<sub>ijklm</sub>** : “j” yakıt tipi “k” gemi tipi “I” makine tipinde “m” sürüş kipinde geçen gün sayısı

**F<sub>ijlm</sub>** : “i” emisyonu için “j” yakıt tipi “I” makine tipi ve “m” sürüş kipi için ortalama emisyon faktörü

#### 4.1.2 Trozzi - Vaccaro yöntemindeki değişkenler

Denklem (4.1), (4.2) ve (4.3)’de geçen değişkenlerden “i” emisyonları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.[12]

**Çizelge 4.1** : Sera gazı emisyonları

Formül	Emisyonlar
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CO	Karbonmonoksit
NO <sub>x</sub>	Nitrojenoksit
SO <sub>x</sub>	Sülfüroksit
VOC	Uçucu Organik Bileşikler
PM	Partikül madde

“j” yakıt tipleri, “k” gemi tipleri ve “I” motor tipleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2 : Yakıt tipleri, gemi tipleri ve motor tipleri**

<b>Yakıt Tipleri</b>	<b>Gemiler</b>	<b>Motor Tipleri</b>
Fuel Oil	Dökme Yük Gemisi	Yüksek Hızlı Diesel
Marine Diesel Oil	Kuru Yük Gemisi	Orta Hızlı Diesel
Marine Benzin Oil	Konteyner Gemisi	Düşük Hızlı Diesel
Benzin	Tanker	
	Ro-Ro	
	Yolcu Gemisi	
	Hızlı Feribot	
	Römorkör	
	Balıkçı Gemisi	

İşletim modunu temsil eden “m” ve bu modun çarpanı olan “p<sub>m</sub>” Çizelge 4.3’de verilmiştir. “p<sub>m</sub>” değeri geminin motorunun yükünün oranına eşittir. Yani, bu değer in örneğin; 0,8 olması motordan çekilen gücün ve aynı zamanda yakıt tüketimin, maksimum değerinin %80’i olması anlamını taşımaktadır.

**Çizelge 4.3 : İşletim modu ve çarpanı**

<b>İşletim Modu</b>	<b>Çarpan</b>
Seyir	0,8
Manevra	0,4
Liman (varsayılan)	0,2
(yolcu)	0,32
(tanker)	0,2
(diğer)	0,12

#### **4.1.3 Emisyon faktörleri**

Trozzi - Vaccaro yönteminde kullanılan ve EMEP/Corinair tarafından belirlenmiş olan emisyon faktörleri, gemilerin aktivitelerinden olan seyir, manevra ve liman için ayrı ayrı verilmiştir. Bu emisyon faktörlerinden, seyir esnasındaki geminin taşıdığı yüksek hızlı, orta hızlı ve düşük hızlı diesel motorları gibi motorun cinsine bağlı emisyon faktörleri, kg/ton yakıt cinsinden Çizelge 4.4’ de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4 :** Seyir modu için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt)

Motor Tipi	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Yüksek Hızlı Diesel	3200	9	70	20s	3	1,5
Orta Hızlı Diesel	3200	7,4	57	20s	2,4	1,2
Düşük Hızlı Diesel	3200	7,4	87	20s	2,4	1,2

Manevra modunda hareket eden gemi için emisyon faktörleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Manevra modu için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt)

Motor Tipi	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Yüksek Hızlı Diesel	3200	34	63	20s	4,5	1,5
Orta Hızlı Diesel	3200	28	51	20s	3,6	1,2
Düşük Hızlı Diesel	3200	28	78	20s	3,6	1,2

Benzer şekilde, gemilerin limandaki hareketlerinde sebep oldukları emisyonları tespit edebilmek için verilen liman modu için emisyon faktörleri Çizelge 4.6’da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6 :** Liman modu için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt)

Motor Tipi	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	VOC	PM
Yüksek Hızlı Diesel	3200	120	28	20s	28,9	1,5
Orta Hızlı Diesel	3200	99	23	20s	23,1	1,2
Düşük Hızlı Diesel	3200	99	35	20s	23,1	1,2

Limandaki gemilerin yükleme-boşlatma gibi işlemlerini gerçekleştirdikleri sırada enerji ihtiyacını karşılamak için yardımcı bir diesel motora bağlı elektrik jeneratörü çalışır. Bu jeneratörü tahrik etmek için kullanılan diesel motorun sebep olduğu emisyonlar için emisyon faktörleri Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Burada “P” makinenin gücü, “L” ise makinenin yüzde olarak yükünü temsil etmektedir.

**Çizelge 4.7 :** Elektrik jeneratörü için emisyon faktörleri (kg/ton yakıt)

Emisyon	Emisyon Faktörü (kg/ton yakıt)
CO <sub>2</sub>	3200
CO	$20,72 - 0,218.L - 0,231.P + 0,000345.P.L$
NO <sub>x</sub>	$108.58 - 2.47.P + 0.0136.P2 - 0.000018.P3 + 0.000684.P.L$
SO <sub>x</sub>	20.s
VOC	$3,27 + 2,164.P - 0,0144.P2 + 0,0000203.P3 - 0,719.L + 0,00476.L2$
PM	1,1

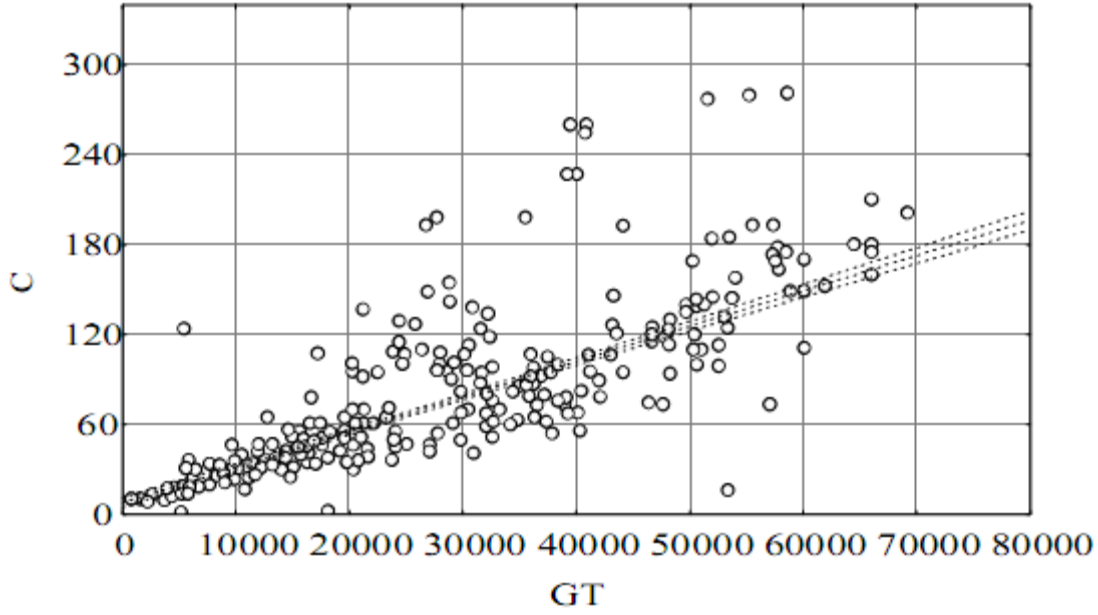
#### 4.1.4 Yakıt tüketiminin hesaplanması

Bu hesaplama yönteminde geçen gemilerin yakıt tüketim fonksiyonlarının bulunabilmesi için gerekli olan, her bir geminin yakıt tüketim değeri ve tonaj bilgileri Lloyd's Maritime Information Services Ltd. Tarafından sağlanmıştır.

Yaklaşık 11000 adet, Çizelge 4.2 'de geçen, değişik tiplerdeki gemi ile ilgili grostonaj ve yakıt tüketim bilgileri ayrı ayrı işlenmiştir. Her geminin gross tonajı ve buna karşılık yakıt tüketim değeri grafikte bir noktayla gösterilmiştir. Daha sonra, veri tabanından bilgileri elde edilen aynı tipteki bütün gemiler için noktalar konmuştur, ardından hepsini temsil eden bir doğru çizdirilmiş ve o doğrunun denklemi de o tipteki gemilerin grosstonajının fonksiyonu olarak yakıt tüketim denklemi olarak adlandırılmıştır. Çıkarılan denklemdeki yakıt tüketim değeri ton cinsinden, geminin maksimum seyir gücünde bir günde harcayacağı yakıt miktarıdır. Bu değer, emisyon hesapları için 4.1.1 başlığında verilen genel denklemdeki C<sub>jk</sub> değerine karşılık gelmektedir. Eğer seyir süresince günlük yakıt tüketim değeri istenirse o durumda bu C<sub>jk</sub> değeri seyir modu pm çarpanına karşılık gelen 0,8 ile çarpılır. Yada gemi limanda beklerkenki yakıt tüketim değeri istenirse bu durumda da liman işletim modu için verilen pm = 0,2 ile çarpılarak liman üzerinde geminin bir gün için harcayacağı yakıt değeri bulunur. Böylelikle her işletim modu için detaylandırılmış yakıt tüketim değerleri belirlenebilir. Herhangi bir zamanda belli limanlar arasında seyahat eden yada belli bir yerden geçen geminin tipi, grostonajı ve geçiş süresi bilinirse, bu yöntemde ampirik olarak elde edilmiş denklem aracılığıyla o geminin harcayacağı yakıt belli bir yaklaşıklıkla tespit edilebilir. Bunun konteyner gemi tipi için yapılmış örneği Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Burada çizilen doğrunun denklemi:

$$C = 8,0552 + 0,00235 * GT \quad (4.4)$$

$$\text{Korelasyon } r = 0,82127$$



**Şekil 4.2 :** Konteyner gemi tipi için yakıt tüketim fonksiyonu

Her bir gemi tipi için oluşturulan, gemilerin grosstonajına bağlı yakıt tüketim fonksiyonları, Çizelge 4.8’de verilmiştir. Buradaki  $C_{jk}$  değerleri yine maksimum değerlerdir. İşletme modu için belirlenen  $p_m$  aynı zamanda motorun yükünü temsil eden  $p_m$  çarpanıyla çarpılarak detaylı yakıt tüketim değerine geçilebilir. Eğer söz konusu gemiyle ilgili geminin tipi dışında hiç bir veri yoksa bu durumda ortalama olarak verilen günlük maksimum yakıt tüketim değeri kullanılabilir.

**Çizelge 4.8 :** Gemi tiplerine bağlı yakıt tüketim fonksiyonları

Gemi Tipi	Ortalama Tüketim (ton/gün)	Gross Tonajın Fonksiyonu Olarak Tam Yükteki Yakıt Tüketimi (ton/gün)
Dökme Yük Gemisi	33,8	$C_{jk} = 20,186 + 0,00049.GT$
Kuru Yük Gemisi	21,27	$C_{jk} = 9,8197 + 0,00143.GT$
Konteyner Gemisi	65,88	$C_{jk} = 8,0552 + 0,00235.GT$
Tanker	41,15	$C_{jk} = 14,685 + 0,00079.GT$
Ro-Ro	32,28	$C_{jk} = 12,834 + 0,00156.GT$
Yolcu Gemisi	70,23	$C_{jk} = 16,904 + 0,00198.GT$
Hızlı Feribot	80,42	$C_{jk} = 39,483 + 0,00972.GT$
Römorkör	14,35	$C_{jk} = 5,6511 + 0,1048.GT$
Balıkçı Gemisi	5,51	$C_{jk} = 1,9387 + 0,0448.GT$

#### 4.1.5 Trozzi - Vaccaro yönteminin Klaipeda limanına uygulanmış örneği ve sonuçları

Aralık 2007’de yayınlanan “Different Methods of Evaluating Air Pollution from Sea in Klaipeda Port” isimli bir makalede, Litavanya’nın Klaipeda liman kentinde, gemilerden kaynaklanan emisyonların tespit edilebilmesi amacıyla yapılan çalışmaların sonuçları yer almaktadır. Bu çalışmada emisyonların tespit edilebilmesi için, sonuçlarının çok daha hassas olduğu belirtilen Parametrik Metod’un yanında Trozzi - Vaccaro yöntemi de kullanılmıştır.[17]

İstanbul Boğazi’ndeki çalışmaya örnek teşkil ediyor olması sebebiyle, trozzi - Vaccaro yönteminin daha önce yapılmış karşılaştırmalı analizi bu tez çalışması kapsamına alınmıştır.

Klaipeda limanının gemiler tarafından ziyaretlerinin %8-10’unun oluşturan 8 adet feribotun parametreleri kullanılarak her iki yöntemle de hesaplamalar yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Her iki yöntemin, 8 adet feribotun parametreleri kullanılarak yapılmış hesapları ve sonuçları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Burdaki değerler ton/yıl yani, her feribotun o liman civarında seyir, manevra ve bekleme gibi aktiviteler sonucu bir yılda yaktığı yakıt olarak verilmiştir.

**Çizelge 4.9 :** Klaipeda limanında, Trozzi - Vaccaro yönteminin Parametrik Metod’la karşılaştırılması sonuçları

Gemi İsmi	Yıllık Ortalama Liman Ziyaret Sayısı	Düşük Süratte Limanda Seyir	Manevra	Limn	Toplam	Düşük Süratte Limanda Seyir	Manevra	Limn	Toplam
Kaunas	156	211	69	375	655	315	125	289	729
Klaipeda	156	188	61	220	469	261	111	76	447
Petersburg	108	145	47	543	735	180	76	162	418
Vilnius	108	132	43	155	329	181	77	52	309
Lisco Patria	156	165	54	589	809	238	100	211	549
Palanga	156	131	40	93	264	312	120	71	503
Svealand	156	221	68	234	523	466	184	147	796
Lisco Gloria	156	188	58	273	519	483	193	272	949
<b>Toplam</b>		<b>1381</b>	<b>439</b>	<b>2483</b>	<b>4303</b>	<b>2431</b>	<b>984</b>	<b>1269</b>	<b>4683</b>
Parametrik Metot - Yakıt Tüketimi ve Emisyon Faktörleri Farkı		43%	55%	-48%	8%				

Bu çizelgeden de görüldüğü gibi gemilerin seyir, manevra ve limandaki aktivitelerinde, emisyonlarının hesaplanarak tespit edilmesi için kullanılan Trozzi - Vaccaro yöntemi, feribotların güç harcaması ve yakıt tüketimiyle ilgili çok sayıda parametrelerinin hesaplarda kullanıldığı Parametrik Metod'a göre, çizelgenin altında gösterilen yüzdelerde ifade edildiği ölçüde farklı sonuçlar vermektedir.

Sonuç olarak, eğer çok hassas bir emisyon tespiti yapılması isteniyorsa Trozzi - Vaccaroyöntemi değil de daha hassas olan Parametrik Metod tercih edilmelidir. Ancak gemilerle ilgili çok fazla verinin olmadığı durumlarda Trozzi – Vaccaro yöntemi de tatmin edici sonuçlar verebilmektedir.

#### **4.1.6 Trozzi - Vaccaro yönteminin İstanbul Boğazı'na uygulanması**

İstanbul Boğazı, daha önce de sözü edildiği gibi, gemi geçişlerinin güvenlik sebebiyle düşük hızlarda gerçekleştiği özel bir geçiş yeridir. Boğaz, ne tam bir liman karakterinde ne de tam bir açık deniz karakterindedir. Böylelikle gemiler, ne seyir modunda ne de manevra modunda geçerler. Bazı gemiler bu hız için tam güç harcarken, bazıları yarımdan bile daha az güç harcıyor olabilirler. Bu durumda gemi geçişlerinde, gemilerin motor yüklerinin %40 ila %80 civarında olduğu söylenebilse de Trozzi - Vaccaro yöntemindeki, detaylı yakıt tüketim tespitinin yapılabilmesi için gerekli olan pm çarpanının hangi kesirlerde seçileceği tam olarak kestirilememektedir. Buna ilave olarak, boğazda sürekli ve yıl içinde hızında değişiklikler gösteren yıllık ortalama 2 knot hızında bir akıntı mevcuttur. Bu akıntı kuzey-güney doğrultusundadır. Bunun sonucu olarak gemiler, kuzeye giderken aynı hız için daha fazla güç harcarken, güneye gidişlerinde aynı geçiş hızı için daha az güç harcamaktadırlar.

İstanbul Boğazı'nın sözü edilen özelliklerinden dolayı, Deniz Trafik Müdürlüğü'nden alınan, yıllık geçen gemi tipleri geçiş sayısı, geçiş ortalama hızı, ve ortalama geçiş süresi gibi verilerin bu hesap yöntemine uyarlanabilmesi için bazı kabullerin yapılması zorunluluğu doğmuştur.

İlk olarak, geçiş anı motor yüklerinin ne olacağının tam olarak bilinmemesi, bir orta seçeneğin belirlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu durum için motor yükleri yada hesap yöntemindeki pm çarpanı, akıntı yönü göz önünde bulundurularak, kuzey-güney doğrultusunda %50, güney-kuzey doğrultusunda ise %60 olarak kabul edilmiştir. Aradaki %10'luk fark da, yük gemilerinin ortalama maksimum hızlarının

20 knot olduğu varsayıldığında, bunun %10'u olan 2 knot akıntı hızına karşılık gelmektedir. Her ne kadar gemilerin güç çıktısı seyir hızlarıyla lineer orantılı olmasa da, çok düşük hız farkları söz konusu olduğunda, aradaki güç farkı da sonucu ciddi ölçüde etkileyebilecek oranda büyük olmayacaktır.

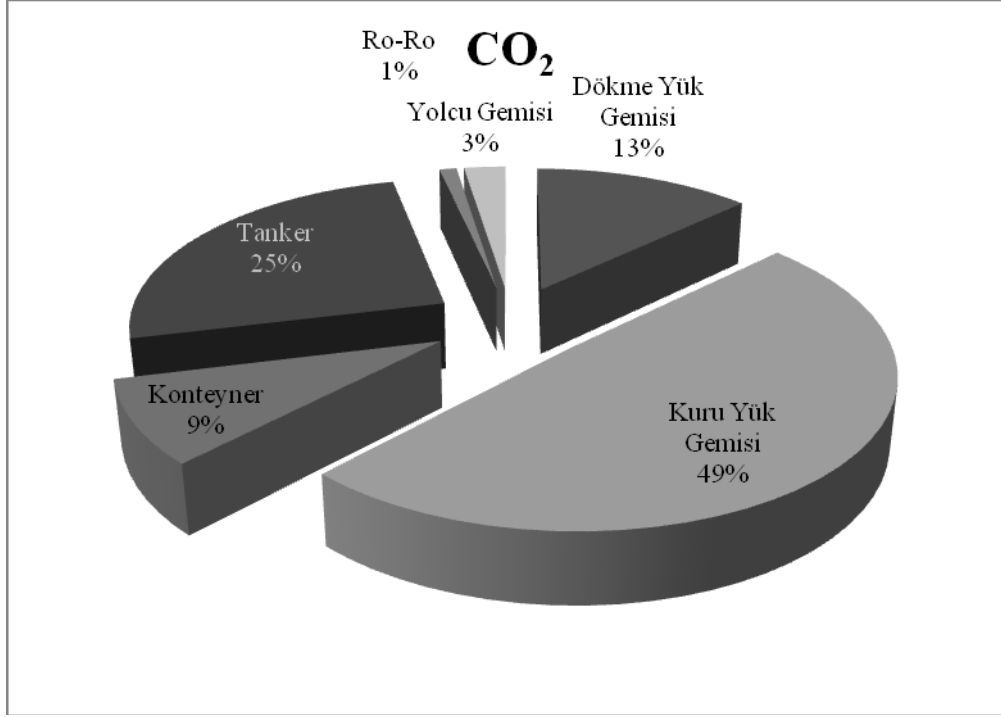
Boğazdan geçen gemi tipleri çok çeşitlilik göstermektedir. Ayrıca her geçen değişik gemi tipinin hesap yönteminde yakıt tüketimi formülü olarak karşılığı bulunmamaktadır. Bazı gemi tipleri boğazı çok sık geçerken, bazıları ise çok seyrek olarak geçmektedir. Hesap yönteminde yakıt tüketim formülü olarak karşılıkları bulunmayan ve boğazı bir yıl içinde çok az sayıda geçmiş gemi tipleri hesaba katılmamıştır. Bunlar; hızlı feribotlar, askeri gemiler, römorkörler, yelkenli gemiler, ağır yük gemileri ve özel amaçlı gemilerdir.[16]

İstanbul Boğazı'ndan geçen gemi tipleri için yakıt tüketim hesapları kuzey-güney ve güney-kuzey olmak üzere iki kolda yapılmış ve saatlik tüketime geçmek için 24'e bölünmüştür. Saatlik yakıt tüketimi bulunduktan sonra gemilerin boğazı geçiş ortalama sürelerinin saat cinsinden karşılıklarıyla çarpılarak geçiş sonu yakıt tüketim değeri elde edilmiş olur. En son olarak çıkan değerler, gemilerin her iki yönde de yıllık geçiş sayılarıyla çarpılarak her farklı gemi için yıllık toplam yakıt tüketimi hesaplanmış olur. Hesaplanan yakıt tüketim değeri de Çizelge 4.4'te verilen seyir modu emisyon faktörleriyle çarpılıp kg cinsinden sera gazı emisyonları sonucuna ulaşılmış olur. Bütün gemilerin emisyonları da altalta toplandığında, Bir yıl içinde İstanbul Boğazı'ndan geçen ticari gemilerin sebep oldukları toplam emisyon değerleri bulunmuş olur. Bu değerler Çizelge 4.10'da gösterilemektedir.

**Çizelge 4.10 : İstanbul Boğazı, 2007 yılı, transit gemi geçişleri kaynaklı toplam sera gazı emisyonları**

	Geçiş Sayısı	Toplam Emisyon Değerleri (ton)					
		CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC	PM
<b>Dökme Yük Gemisi</b>	5.229	18.072	42	491	61	14	7
<b>Kuru Yük Gemisi</b>	35.182	68.560	158	1.864	231	51	25
<b>Konteyner Gemisi</b>	2.492	12.415	29	340	42	9	5
<b>Tanker</b>	7.461	35.311	82	960	119	27	14
<b>Ro-Ro</b>	424	1.428	4	39	5	1	1
<b>Yolcu Gemisi</b>	1.059	3.445	8	94	12	3	1
<b>Tüm Gemiler</b>	51.847	139.231	323	3.788	470	105	53

Bu gemilerin sebep oldukları CO<sub>2</sub> emisyonunun toplamdaki payını gösteren grafik, Şekil 4.3'de verilmiştir.



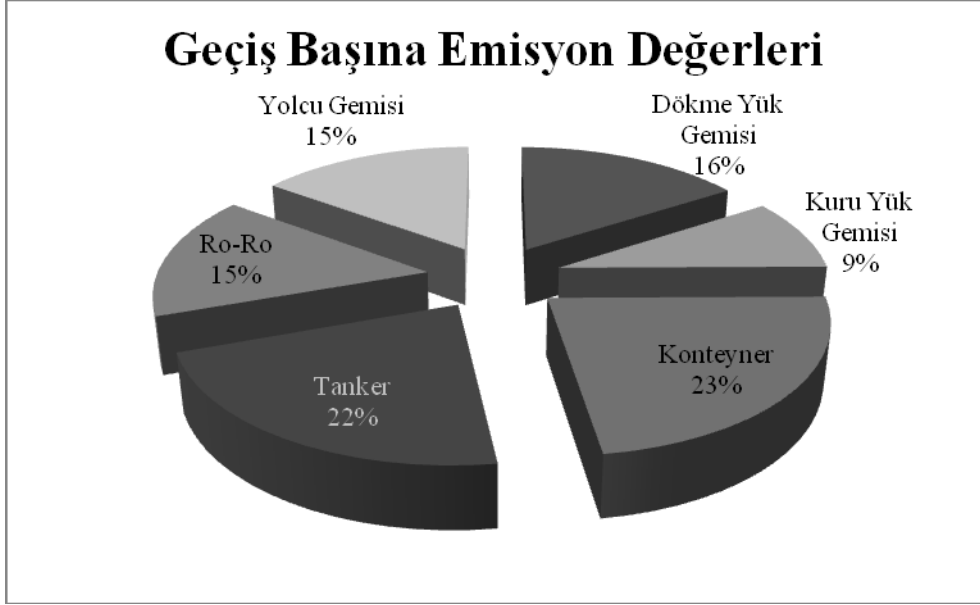
**Şekil 4.3 :** İstanbul Boğazı, 2007 yılı, transit geçen gemilerin sebep oldukları CO<sub>2</sub> emisyonlarının gemi tiplerine göre dağılımı

Ayrıca, CO<sub>2</sub> emisyonunun her gemi tipi için toplam değerinin, aynı gemi tipi için geçiş sayısına bölünmesiyle, geçiş başına sebep olunan ortalama emisyon değeri bulunmuş olur. Bu sonuçlar Çizelge 4.11’de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.11 :** Her gemi tipi için geçiş başına CO<sub>2</sub> emisyon değerleri

	Geçiş Başına Emisyon Değerleri (kg)					
	CO <sub>2</sub>	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	VOC	PM
<b>Dökme Yük Gemisi</b>	3.456	8	94	12	3	1
<b>Kuru Yük Gemisi</b>	1.949	4	53	7	1	1
<b>Konteyner Gemisi</b>	4.982	12	136	17	4	2
<b>Tanker</b>	4.733	11	129	16	4	2
<b>Ro-Ro</b>	3.368	9	92	12	2	1
<b>Yolcu Gemisi</b>	3.253	8	89	11	3	1

Bu değerlerin de grafik üzerindeki dağılımı Şekil 4.4’deki gibidir.



**Şekil 4.4 :** Her gemi tipi için geçiş başına CO<sub>2</sub> emisyon değerleri dağılımı

Şekil ve çizelgelerde görülebildiği gibi, konteyner tipi yük gemileri, birim geçişte en fazla yakıt tüketen ve sonucunda en fazla sera gazı emisyonuna sebep olan gemilerdir. Bunun yanında geçiş sayısı söz konusu olduğunda çok amaçlı kuru yük gemileri birinci sırayı almaktadır.

#### 4.1.7 Trozzi – Vaccaro yönteminin sonuçlarının yorumlanması

İstanbul Boğazı'nın özel şekli ve konumu sebebiyle, üzerinden geçen gemilerin geçiş esnasındaki işletim karakteristikleri tam olarak tespit edilememektedir. Bazı gemiler olağandan çok daha yavaş geçerken bazıları da kuralların da ötesinde hızlarla geçebilmektedirler. Boğazdan geçen gemi tiplerinin herbirinin saatlik yada günlük yakıt tüketim değerleri, Trozzi - Vaccaro yöntemiyle yaklaşık olarak bulunabilse de, boğaz geçişi söz konusu olduğunda bu tüketim değerlerinin hassaslaştırılabilmesi için kullanılacak olan işletim modu çarpanı olan pm değerinin hangi kesirde olduğunun bilinmemesi, sonuçları ciddi ölçüde etkileyebilecektir.

Her geçen geminin geçiş esnasında harcadığı yakıtı bildirmesi yoluyla ancak bilinebilecek olan anlık yakıt tüketim değerlerinin, böyle bir durumun şimdiye kadar gerçekleşmemiş olması sebebiyle bilinmemesi, daha geçerli ve tutarlı karşılaştırmalar yapılmasını engellemektedir. Bundan başka, gemilerin yaydıkları emisyonların hesaplanabilmesi için ölçümlerle bulunabilecek spesifik emisyon faktörleri yerine IPCC ve EMEP/Corinair gibi kuruluşların tüzüklerinden alınan

varsayılan emisyon faktörlerinin kullanılması da sonuçların hassaslığını etkilemektedir.

2007 yılı içinde İstanbul Boğazı'ndan geçen hesaba katılmış tüm gemilerin sebep oldukları CO<sub>2</sub> emisyonları 139.231 ton civarındayken, İstanbul'da denizyolu toplu ulaşımı araçlarından çıkan 2007 yılı içindeki toplam CO<sub>2</sub> emisyonları 283.482 ton civarındadır. Ayrıca 2007 yılı içinde Türkiye genelinde denizyollarından kaynaklanan toplam CO<sub>2</sub> emisyonları da 1.588.000 ton civarındadır. Buna göre; İstanbul Boğazı'nı transit geçen ticari gemilerin CO<sub>2</sub> miktarının, Türkiye genelindeki denizyolları kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarına oranı, %8, İstanbul denizyolu toplu ulaşımına oranı ise %49'dur.

Sonuç olarak, İstanbul ve çevresinde ulaşırmadan kaynaklı sera gazı emisyonlarından olan denizyolu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının diğer ulaştırma kaynaklarının yanında çok küçük değerlerde olması ve söz konusu alanda çok fazla hesaplama yönteminin yada deney imkanının bulunmaması, bu hassaslığın gerekliliğini azaltabilir.

#### **4.2 İstanbul Boğazı Transit Gemi Geçişleri İçin, Gemi Direnci Yaklaşımı Yöntemi**

İstanbul Boğazı'ndan transit geçen gemilerin yaydıkları emisyonların belirlenebilmesi için kullanılabilecek olan Trozzi - Vaccaro yönteminin yanında, karşılaştırma yapabilmek için başka bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemle gemilerin herhangi bir andaki yakıt tüketim miktarları yaklaşık olarak tespit edilebilmektedir. Sera gazı emisyonlarının hesabına geçerken ilk yöntemde kullanılan emisyon faktörleri bu yöntemde de aynen kullanıldığından, ilk bahsedilen yöntemle olan karşılaştırmalar sadece yakıt tüketim değerleri üzerinden yapılmıştır.

Hareket halindeki gemilerin deadweight tonajı, boyu, hızı, taşıdığı yük miktarı ve motorunun özgül yakıt tüketimi bilindiğinde, basit formüllerle o gemiye uygulanan su direnci ve devamında da saatlik yakıt tüketim miktarı yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

#### 4.2.1 Hesap yöntemi

Geminin saatlik yakıt tüketim değerinin bulunabilmesi için o şartlarda motorunun verdiği güç ve motorun özgül yakıt tüketiminin bilinmesi gereklidir. Gemi motorlarından, düşük hızlı diesel motorların özgül yakıt tüketim değerleri 180g/kWh, orta hızlı diesel motorların 200 g/kWh ve yüksek hızlı diesel motorların 220 g/kWh olarak kabul edilmiştir. Buna göre:

$$G = P_e \times b_{es} \quad (4.5)$$

Geminin seyredebilmesi için gerekli seyir gücünün bulunmasıyla motor gücü bulunabilir.

$$P_e = \frac{P_k}{\eta_s} \quad (4.6)$$

Geminin üstüne gelen toplam direnç ve hızı bilinirse seyir esnasında uygulanması gereken seyir gücü bulunabilir.

$$P_s = R_T \times V \quad (4.7)$$

Toplam direnç, sürtünme direnci ve artık direncin toplamıdır.

$$R_T = R_F + R_R \quad (4.8)$$

Geminin o anki seyir şartları için Froude sayısı bilinirse, sürtünme direncinin toplam dirençteki payı bulunabilir.

$$F_N = \frac{V^3}{\sqrt{g \times L}} \quad (4.9)$$

$$F_N < 0,25 \Rightarrow R_T = \frac{R_F}{0,8} \quad (4.10)$$

$$0,35 < F_N < 0,5 \Rightarrow R_T = \frac{R_F}{0,6} \quad (4.11)$$

Seyir şartlarında geminin hızı, suyun altında kalan ıslak alanı, suyun özkütlesi (1,025 ton/m<sup>3</sup>) ve direnç katsayısı bilinirse sürtünme direnci hesaplanabilir.

$$R_F = 0,5 \times C_f \times \rho \times S \times V^2 \quad (4.12)$$

Sürtünme direnç katsayısı:

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} R_N - 2)^2} + 0.0004 \quad (4.13)$$

Reynolds sayısı:

$$R_N = \frac{V \times L}{\nu} \quad (4.14)$$

Geminin su altında kalan ıslak alanı:

$$S = k \times \sqrt{V \times L} \quad (4.15)$$

Geminin taşıdığı suyun hacmi:

$$V = \frac{\Delta_R}{\rho} \quad (4.16)$$

Geminin taşıdığı yükün kütlesi, dwt, ve maksimum gerçek ağırlığı bilinirse Geminin taşıdığı suyun kütlesi yada deplasman ağırlığı bulunabilir.

$$\Delta_R = \frac{F \times \Delta_{max}}{DWT} \quad (4.17)$$

Geminin maksimum deplasman ağırlığını veren ampirik formül:

$$\Delta_{max} = \frac{DWT + 300}{0.75} \quad (4.18)$$

Bu yöntemin İstanbul Boğazı transit gemi geçişlerine uygulanması için bazı kabuller yapılmıştır.

Boğazdan geçen gemilerin taşıdıkları motorların hızlarına göre ne tip diesel olduğu bilinirse ona göre bir özgül yakıt tüketim değeri seçilebilir. Şu anki durum için transit geçen gemilerin herbirinin motor tipi bilinemediğinden, bütün gemilerin özgül yakıt tüketim değerleri 200 g/kWh olarak seçilmiştir.

Geminin hareketi sırasında belli hızda gidebilmesi için gereken seyir gücünü veren sevk verimi 0,6 olarak kabul edilmiştir. Bu verim pervane verimi olarak da bilinir.

Boğaz suları için kinematik viskozite  $1,12 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s olarak alınmıştır. Kinematik viskozite, boğazdaki gemi hızları ve gemi uzunluklarıyla değişkenlerinin kullanıldığı

Froude sayısı formülünde çıkan değerler 0,3 civarında olduğundan, sürtünme direncinin toplam dirençteki payı %70 olarak kabul edilmiştir.

Islak alanı veren formüldeki “k” katsayısı ortalama bir değer olan 2,6 olarak seçilmiştir.[19-23]

#### **4.2.2 Örnek hesap**

Gemi direnci yaklaşımı yönteminin transit boğaz geçişlerinde uygulanabilmesi için gereken veriler: geminin deadweight tonajı, uzunluğu, geçiş hızı, taşıdığı yükün kütlesi ve özgül yakıt tüketim değeridir. Özgül yakıt tüketim değeri şu anki durum için 200 g/kWh olarak kabul edildiğinden geri kalan parametrelerle gerçek değerlere yaklaşıklık tespit edilmeye çalışılmıştır.

Üretilen bu yöntemin tutarlılığını ve gerçek değerlere olan yaklaşıklığını tespit edebilmek için Kalkavan Denizcilik'ten 10 adet aynı tipte ve aynı özelliklere sahip konteyner gemisinin gerçek yakıt tüketim karakteristikleri ile ilgili veriler sağlanmıştır.[18] Bunlar: gemilerin, deadweight ve grostonajları, uzunlukları, taşıdığı yük kütleleri (ölçümlerin yapıldığı anda taşınan) ve çeşitli motor yüklerinde harcadıkları güç ve o yüklerdeki saatlik yakıt tüketim değerleridir. Saatlik yakıt tüketim değerinin güce bölünmesiyle, her motor yükünde özgül yakıt tüketim değerleri de bulunup çizelgedeki yerlerine yazılmıştır. Böylelikle gerçek yakıt tüketim değerleriyle, gemi direnci yaklaşımı yöntemiyle elde edilen sonuçlar ve Trozzi - Vaccaro yönteminin sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarla ilgili çizelgeler Ek-A'da verilmiştir. Ayrıca, bu metodla yapılan hesaplarda çeşitli motor yüklerindeki yakıt tüketim değerine geçerken makine yüklerine karşılık gelen yüzdeler pm çarpanı olarak hesaba katılmıştır.

Bu karşılaştırmaların sonucunda, her bir geminin gerçek yakıt tüketim değeriyle, gemi direnci yaklaşımı yöntemiyle bulunan yakıt tüketim değerleri ve gerçek yakıt tüketim değeriyle Trozzi - Vaccaro metoduyla bulunan değer arasındaki farkın kullarımdaki gerçek değere oranı ayrı ayrı belirlenmiştir. Daha sonra, bulunan yüzde farkların ortalaması alındığında; gerçek değerler ile gemi direnci yaklaşımı yöntemiyle yoluyla bulunan yakıt tüketimi değerleri arasında ortalama %20'lik bir fark varken, gerçek değerler ile Trozzi - Vaccaro yöntemi sonucunda bulunan değerler arasında ortalama %58'lik bir fark olduğu görülmüştür.

#### 4.2.3 Gemi direnci yaklaşımı yönteminin İstanbul Boğazı geçişlerine uygulanması

Hesap yöntemi başlığındaki kabullerle gemi direnci yaklaşımı yöntemi, İstanbul Boğaz geçişi gemi verileri kullanılarak uygulanmıştır. Bunun sonucunda çıkan değerler ve daha önce Trozzi - Vaccaro yöntemiyle bulunan değerler birarada olmak üzere Çizelge 4.12’de gösterilmiştir. Burada karşılaştırılan değerler, 2007 yılı boyunca İstanbul Boğazı’ndan geçen tüm gemilerin toplam emisyon değerleridir.

**Çizelge 4.12 :** İstanbul Boğazı, transit gemi geçişleri, 2007 yılı toplam emisyonların karşılaştırılması

	İstanbul Boğazı Transit Gemi Geçişleri 2007 Yılı Toplam Emisyonlar(ton)	
	Gemi Direnci Yaklaşımı Yöntemi	Trozzi - Vaccaro Yöntemi
CO <sub>2</sub>	66.000	139.231
CO	150	323
NO <sub>x</sub>	1.765	3.788
SO <sub>2</sub>	227	470
VOC	49	105
PM	24	53

#### 4.2.4 Gemi direnci yaklaşımı yönteminin sonuçlarının yorumlanması

Örnek hesaptaki 10 adet, aynı firmaya ait, birbirinin aynısı konteyner gemilerinin gerçek değerleriyle karşılaştırıldığında, daha büyük olan gerçek değerlere %20 yaklaşıklıkla gemi direnci yaklaşımı yöntemi, %58’lik yaklaşıklık veren Trozzi - Vaccaro yöntemine göre daha iyi sonuç vermiştir. Ancak, İstanbul Boğazı hesapları için, gerçek değerlerin eğer örnek hesaptaki gibi daha büyük olması söz konusuysa ki bu henüz bilinmemektedir, bu durumda Trozzi - Vaccaro yönteminin gerçek değerlere daha yakın olduğu söylenebilir.

Başta özgül yakıt tüketim değeri olmak üzere, gemilerin hızlarını belirleyen motor hızları ve bunla ilişkili olarak motor yükleri, seyir koşullarında sudaki dalgalanmalar, hava koşulları, gemilerin motorlarının ve su altında kalan kısımlarının bakım durumları gibi değişkenler, yakıt tüketim sonuçlarını ve beraberinde emisyon miktarı sonuçlarını etkilemektedir. Dolayısıyla yapılan hesaplamaların sonuçlarının, henüz bilinmeyen gerçek değerlere bir yaklaşıklıkta olduğu bilinse de bu yaklaşıklığın ölçüsü henüz yapılamamıştır.

Gemilerin tasarımı aşamalarında, söz konusu yakıt tüketim değerlerinin öngörülerinin yapılabilmesi için, gemilerin, yakıt tüketimine etkileyen tüm parametreleri hesaplara katılıp bilgisayar ortamında analizleri yapılır yada gemilerin modelleri, model havuzlarında yüzdürülürerek denenir. Bu kadar hassas hesapların ve deneylerin yapıldığı tasarım aşamalarından sonra bile bulunan sonuçlar, gerçek yakıt tüketim değerlerinin ancak %10-15'i yaklaşıklığında olmaktadır.[19] Öyleyse, sadece dışardan görülen gemilerin, ulaşılabilen çok az özelliğini kullanarak bulunan yakıt tüketimi ve beraberinde emisyon hesapları sonuçlarının yaklaşıklığının %30 civarında olması bile tatmin edici sayılmalıdır.

Hesap yöntemlerini test etmek için, daha çok örnek hesap yapmayı mümkün kılacak değişik tiplerde, daha çok sayıda gemi örneğinin gerçek değerleri kullanılabilirse, gerçek değerlerle, hesap sonucu bulunan değerler arasında ortaya çıkan farklara bakılarak, hesap denklemlerine bazı katsayılar getirilebilir. Böylelikle hesap sonuçları gerçek sonuçlara daha da yaklaştırılmış olur.



## 5. SONUÇLAR

### 5.1 Genel Değerlendirme

Çizelge 3.4'de 2007 yılı Türkiye geneli denizyolları kaynaklı sera gazı emisyonlarının, diğer ulaştırma alt sektörlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının %3'ü civarında olduğu görülmektedir. İstanbul'da denizyolu toplu ulaşımından kaynaklanan sera gazı emisyonlarından CO<sub>2</sub> emisyonunun 2007 yılı için toplam değeri (Çizelge 3.9), Türkiye geneli denizyolları kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %17'sine karşılık gelmektedir. Aynı şekilde İstanbul'da denizyolu toplu ulaşımından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu da Türkiye geneli ulaştırma kaynaklı toplam CO<sub>2</sub> emisyonunun %0,5'i civarındadır.

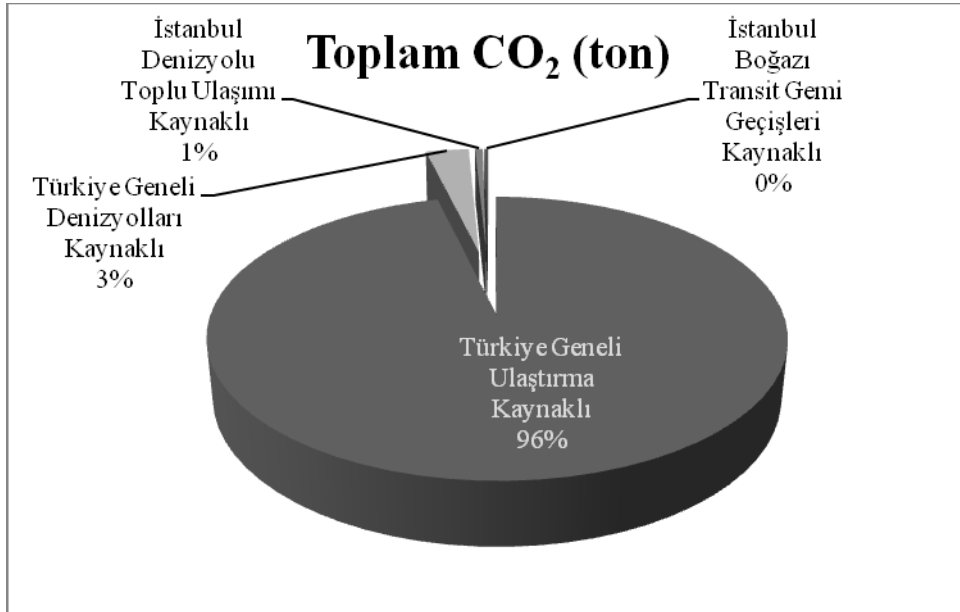
İstanbul Boğazı transit gemi geçişlerinde hesaplanan sonuçlardan, Trozzi - Vaccaro yöntemiyle bulunan CO<sub>2</sub> değerleri, İstanbul denizyolu toplu taşımacılığında kaynaklanan CO<sub>2</sub> değerlerinin %49'u kadar, Türkiye geneli denizyolları kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %8'i kadar ve Türkiye geneli ulaştırma sektörleri kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %0,2'si kadardır.

İstanbul Boğazı transit gemi geçişlerinde hesaplanan sonuçlardan, gemi direnci yaklaşımı yöntemiyle bulunan CO<sub>2</sub> değerleri, İstanbul denizyolu toplu taşımacılığında kaynaklanan CO<sub>2</sub> değerlerinin %23'ü kadar, Türkiye geneli denizyolları kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %4'ü kadar ve Türkiye geneli ulaştırma sektörleri kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının %0,1'i kadardır. İstanbul Boğazı transit gemi geçişleri için gemi direnci yaklaşımı yöntemiyle bulunan CO<sub>2</sub> değerleri, Trozzi - Vaccaro yöntemiyle bulunan CO<sub>2</sub> değerlerinin %47'si kadardır. Bu sonuçlar çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu sonuçların kendi aralarındaki oranları Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 5.1 : 2007 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonları sonuçları**

Türkiye Geneli Ulaştırma Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonları (ton)	51.420.000
Türkiye Geneli Denizyolları kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonları (ton)	1.588.000
İstanbul Denizyolu Toplu Ulaşımı Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonları (ton)	283.482
İstanbul Boğazı Transit Gemi Geçişleri Kaynaklı CO <sub>2</sub> Emisyonları (Trozzi - Vaccaro)(ton)	139.231

İstanbul Boğazı'nda bir yılda gerçekleşen transit gemi geçişlerinin sonucunda üretilen sera gazı emisyonlarının miktarı, her ne kadar kesin sonuçlara ulaşılabilmemiş olmasa da bir yıl içinde denizyolu toplu taşıma araçlarının yaydıkları emisyonlar kadar olmamaktadır. Ancak İstanbul Boğazı çevresindeki denizlerde gerçekleşen gemi aktiviteleri sonucu üretilen emisyon miktarlarıyla ilgili veri bulunmamaktadır.



**Şekil 5.1 : 2007 yılı toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının dağılımı**

Alternatif ulaşımlar konusunda, denizyolu toplu taşıma araçlarıyla ilgili olarak, şehirhatları vapurları, deniz motorları ve araba vapurlarının sera gazı üretimini azaltmaya dönük faydalarının yanında hızlı feribotların ve deniz otobüslerinin bu yönde aynı avantaja sahip olmadığı söylenebilir. Bunun sebebi; yüksek süratte seyretmeleri, bunu karşılayabilmek için daha fazla güç harcamaları ve sonucunda daha fazla yakıt tüketerek daha fazla sera gazı emisyonlarına sebep olmaları, buna karşılık, şehirhatları vapurları yada daha genel tabirle diğer toplu taşıma araçlarına kıyasla daha az yolcu taşıyabilmeleridir. Sera gazı emisyonlarını azaltma yönündeki dezavantajlarının sebebi olan yüksek süratte seyretmeleri, ulaşım süresinin kısalmasına olanak sağladığı için insanlar tarafından daha çok tercih edilebilir.

## 5.2 Öneriler

Ulaştırmanın diğer alt sektörleriyle karşılaştırıldığında emisyon değerlerinin çok az olması, denizyoluyla ulaşımın etkili olarak kullanılmadığının da göstergesi olabilir. Oysa, ulaşım seçenekleri kısmında yapılan hesaplamalar ve karşılaştırmalar sonucunda, denizyollarıyla toplu taşımanın sağlanması sonucunda kişi başına emisyon değerlerinin büyük ölçüde azalabileceği görülmüştür. Karayoluyla ulaşımındansa denizyoluyla ulaşımın daha uygun olduğu her noktaya deniz yoluyla gitme geleneğinin yaygınlaştırılması için teşviklerin yapılması bu yolda yapılabilecek çalışmalardandır.

Denizyolu toplu taşıma araçları olarak kullanılan, daha önce sözü edilen bu araçlar, teknolojinin gelişmesiyle birlikte daha az yakıt tüketebilecek özelliklere sahip olarak üretilebilirler.

Boğazdaki gemi geçişlerinin takibi sırasında, eğer sağlıklı bir şekilde yakıt tüketimi ya da emisyon üretimi kontrolü yapılabilirse en kesin sonuçlar bu yolla alınabilir. Böylece hangi yolla emisyon üretiminin hızının azalmasının sağlanabileceği tespit edilebilir ya da belli bir zaman periyodunda geçen hemen hemen her geminin gerçek yakıt tüketimi ve emisyon üretim değerleri tespit edilebilirse, elde edilen sonuçlar kullanılarak, daha sonraki geçişler için uygulanabilecek daha tutarlı yeni hesap yöntemleri üretilebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] **Zeydan Ö.**, 2007. Küresel ısınmada etken olan hava kirleticileri ve Ülkemiz Emisyonları, I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi – TİKDEK 2007, İTÜ, İstanbul, 11 - 13 Nisan, s. 221-225
- [2] **T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2006. İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu, (T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı İnternet sayfasında bulunmaktadır: <http://www.iklim.cevreorman.gov.tr>)
- [3] **Houghton, J. T., Filho, L. G. M., Griggs, D. J. and Maskell, K.**, 1997. An Introduction to Simple Climate Models used in the IPCC Second Assessment Report, IPCC Technical Paper, pp 8410.
- [4] **Albritton, D. L., Cicerone, R. J., Barron, E. J., Dickinson, R. E., Fung, I. Y.**, 2001. Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions, pp9414, Committee on Science of Climate Change, National Academy Press, Washington, D.C.
- [5] **Gillenwater, M., Van Pelt, M. M. ve Peterson, K.**, 2002. Greenhouse Gases And Global Warming Potential Values, From The Inventory of US Greenhouse Emissions And Sinks: 199042000, pp 449, US Environmental Protection Agency, USA.
- [6] **Muslu, Y.**, 2000. Ekoloji ve Çevre Sorunları, pp 223, 2554260, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- [7] **Soruşbay C., Ergeneman M., Pekin A., Kutlar A., Arslan H.**, 2009. Ulaştırımda Sera Gazı Emisyonu Azaltımı Dönem Raporu, TÜBİTAK – TARAL 105G039 Numaralı Proje, İstanbul
- [8] **İDO**, 2007. Teknik Dökümanlar, İstanbul
- [9] **İDO**, 2007. Yıllık Toplam Yakıt Tüketim Değerleri, İstanbul
- [10] **Dentur**, 2007. Yıllık Toplam Yakıt Tüketim Değerleri, İstanbul
- [11] **Turyol**, 2007. Yıllık Toplam Yakıt Tüketim Değerleri, İstanbul
- [12] **Trozzi, C., Vaccaro, R.**, 1998. Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Ships, Techne Report MEET, (Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport) RF98a.
- [13] **Trozzi, C., Vaccaro, R.**, 1998. Methodologies for Estimating Future Air Pollutant Emissions from Ships, Techne Report MEET, (Methodologies for Estimating Air Pollutant Emissions from Transport) RF98b.
- [14] **Çevirgen M.S., Topçu L., Soruşbay C., Ergeneman M.**, 2008. Şehirçi Alternatif Ulaşım Sistemlerinin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Hatay

- [15] **IPCC**, 2007. Guidelines For National Greenhouse Gas Inventories
- [16] **Deniz Trafik Müdürlüğü**, 2007. İstanbul Boğazı Gemi Geçiş Kayıtları, İstanbul
- [17] **Smaileys V., Strazdauskiene R., Gedgaudas A.**, 2007. Different methods of Evaluating Air Pollution from Sea in Klaipeda Port, Klaipeda University
- [18] **Kesgin U. , Vardar N.**, 2001. A Study on Exhaust Emissions from Ships in Turkish Straits, Atmospheric Environment
- [19] **Kalkavan Denizcilik**, 2009. Yakıt Tüketimi Değerleri, İstanbul
- [20] **Baykal R., Dikili A.C.**, 2002. Gemilerin Direnci Ve Makine Gücü, İTÜ Sayı:1618, İstanbul
- [21] **Baykal R., Yıldız A.**, 1989. Gemi Hidrostatığı ve Teorisi Çözümlü Problemleri, İTÜ Sayı:1392, İstanbul
- [22] **Kafalı K., 1975.**, Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları Cilt 3, İTÜ Sayı:1012, İstanbul
- [23] **Kafalı K., 1972.**, Gemi Formunun Statik ve Dinamik Esasları Cilt 2, İTÜ Sayı:887, İstanbul

## **EKLER**

**Ek A :** Bazı gemi örneklerinin kullanılan gerçek yakıt tüketim değerlerinin, hesaplanan değerlerle karşılaştırılması ile ilgili çizelgeler[19]

Çizelge A.1 : Sedef Kalkavan gemisi

İsmi	Sedef Kalkavan			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	11.980			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	4.238	5.226	6.540	7.649
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	213	206	203	206
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	0,9	1,07	1,33	1,57
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,68	0,95	1,12	1,26
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.2 : Sena Kalkavan gemisi

Gemi İsmi	Sena Kalkavan			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	11.630			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü (Pe) (kW)	5.355	6.320	7.360	8.450
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	204	199	197	201
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	1,09	1,26	1,45	1,7
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,89	1,01	1,1	1,22
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

**Çizelge A.3 : Kaşif Kalkavan gemisi**

<b>Gemi İsmi</b>	<b>Kaşif Kalkavan</b>			
<b>Deadweight (DWT) (ton)</b>	12.000			
<b>Grosstonaj (GT)</b>	5.016			
<b>Boyu (L) (m)</b>	150			
<b>Taşıdığı yük (Y) (ton)</b>	11.280			
<b>Motor yükü (%)</b>	50	60	70	80
<b>Motor gücü Pe (kW)</b>	5.581	6.326	7.564	8.594
<b>Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)</b>	197	205	194	189
<b>Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)</b>	1,1	1,29	1,47	1,62
<b>Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)</b>	1,01	1,14	1,35	1,4
<b>Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)</b>	0,41	0,5	0,58	0,6

**Çizelge A.4 : Leyla Kalkavan gemisi**

<b>Gemi İsmi</b>	<b>Leyla Kalkavan</b>			
<b>Deadweight (DWT) (ton)</b>	12.000			
<b>Grosstonaj (GT)</b>	5.016			
<b>Boyu (L) (m)</b>	150			
<b>Taşıdığı yük (Y) (ton)</b>	11.250			
<b>Motor yükü (%)</b>	50	60	70	80
<b>Motor gücü Pe (kW)</b>	4.847	5.945	7.152	8.438
<b>Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)</b>	193	191	188	187
<b>Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)</b>	0,93	1,14	1,34	1,58
<b>Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)</b>	0,67	0,89	0,99	1,18
<b>Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)</b>	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.5 : Ecem Kalkavan gemisi

Gemi İsmi	Ecem Kalkavan			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	9.600			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	4.628	5.530	6.836	8.078
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	212	210	204	199
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	1	1,2	1,4	1,6
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,76	0,92	1,09	1,29
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.6 : Fürth gemisi

Gemi İsmi	Fürth			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	8.961			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	5.542	6.364	7.660	8.484
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	189	188	178	186
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	1,05	1,2	1,36	1,58
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,93	1,11	1,27	1,37
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.7 : Orkun Kalkavan gemisi

Gemi İsmi	Orkun Kalkavan			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	8.830			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	5.049	6.044	7.262	8.596
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	210	208	205	195
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	1,06	1,25	1,49	1,68
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,7	0,89	1,1	1,22
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.8 : Kaptan Ergün gemisi

Gemi İsmi	Kaptan Ergün			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	8.400			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	5.197	5.952	7.068	8.463
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	187	186	177	178
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	0,97	1,1	1,25	1,51
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,77	0,89	1,09	1,28
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.9 : Serap Kalkavan gemisi

Gemi İsmi	Serap Kalkavan			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	7.430			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	4.814	5.666	6.970	8.052
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	183	177	164	173
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	0,88	1	1,14	1,39
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,67	0,82	1,06	1,31
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

Çizelge A.10 : Murat Kalkavan gemisi

Gemi İsmi	Murat Kalkavan			
Deadweight (DWT) (ton)	12.000			
Grosstonaj (GT)	5.016			
Boyu (L) (m)	150			
Taşıdığı yük (Y) (ton)	5.868			
Motor yükü (%)	50	60	70	80
Motor gücü Pe (kW)	5.303	6.236	7.409	8.515
Özgül yakıt tüketimi (be) (g/kWh)	203	205	199	196
Yakıt tüketimi (G) (gerçek) (ton/h)	1,1	1,3	1,47	1,7
Yakıt tüketimi (G) (gemi direnci yaklaşımı) (ton/h)	0,72	1,01	1,13	1,18
Yakıt tüketimi (G) (Trozzi - Vaccaro) (ton/h)	0,41	0,5	0,58	0,66

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad :** Mehmet Sedat ÇEVİRGEN

**Doğum Yeri ve Tarihi :** Bursa, 01.08.1982

**Adres :** Gülbahar Mah. Karanfil Sok. Esen Apt. No:20/6 Şişli-İstanbul

**Lisans Üniversite :** Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü

### Yayın Listesi :

▪ **Çevirgen M.S.**, Topçu L., Soruşbay C., Ergeneman M., 2008: Şehiriçi Alternatif Ulaşım Sistemlerinin Sera Gazı Emisyonları Açısından İncelenmesi, *Hava Kirliliği ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu*, Ekim 22-25, 2008 Hatay, Türkiye,