TC

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

M. Sc. Orhan ERGÜVEN

Denizel Çevre Ana Bilim Dalı

Danışman

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

HAZİRAN, 2023

T.C.

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

Orhan ERGÜVEN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ" başlıklı tez DENİZEL ÇEVRE Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cengiz DENİZ

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Abdullah AKSU

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Kadir MERSİN

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Duygu ÜLKER

Tez Savunma Tarihi: 20.06.2023

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ & VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ DOKTORA tez çalışmasında bilimsel etik ve akademik kurallara riayet ettiğimi;

- Çalışma konusunun özgün olduğunu,
- Tez içinde sunduğum tüm veri ve belgeleri bilimsel etik ve ahlak kuralları çerçevesinde elde ettiğimi,
- Çalışmanın bulgularında tahrifat yapmadığımı ve yanlı davranmadığımı,
- Tez kapsamında yararlandığım tüm eserlere ve doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya atıfta bulunduğumu,
- Yararlandığım tüm eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu,
- Kullandığım veri ve belgelerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Patent ve telif haklarını ihlal etmediğimi

bildirir, aksinin vuku bulması durumunda yasal sonuç/sonuçları ve aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabul ettiğimi beyan ederim.

20.06.2023

Orhan ERGÜVEN

ÖNSÖZ

Dünyamızın dörtte üçünün okyanuslar ile kaplı olması ve bu okyanusların özkütlesel özelliği sebebiyle cisimlerin taşınmasına müsaade etmesi, bugün yeryüzü taşımacılığının temel noktasını ifade etmektedir. Denizcilik sayesinde çok büyük miktarda yükler, alternatiflerine nazaran az bir enerji harcanarak taşınabilmektedir. Bununla birlikte, bu faaliyetin gene alternatifleri ile kıyaslanmayacak boyutta düşük, fakat ciddi sayılabilecek olumsuz çevresel tesirleri de bulunmaktadır. İklim değişikliği, mevsimsel düzensizlik, küresel ısınma ve sera gazı emisyonları gibi çevresel yansımalarını tecrübe etmeye başladığımız olumsuzluklar, fosil yakıt kaynaklı alanların daha fazla dikkat çekmesini ve önleyici tedbirler almayı gerektirmektedir.

Bu doktora tez çalışmasında Türkiye'nin bir iç denizi olan Marmara Denizinin doğu kısmını teşkil eden İzmit Körfezi gemi egzoz emisyonları ele alınmıştır. İzmit Körfezi halihazırda Türkiye'nin denizcilik faaliyetleri açısından en yoğun alanıdır. Çevresinde kurulu bulunan sanayi bölgeleri sebebiyle giderek artan bir yoğunluğa maruz kalmaktadır. Bu sebeple denizcilik faaliyetlerinin izlenmesi, çevresel etkilerinin ele alınması elzemdir. Bu motivasyon ile çalışmamızda; İzmit Körfezinde 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında gerçekleşen gemi hareketlerinin ve bu hareketler içerisinde olan yanaşma kalkma manevralarına yardımcı olan liman römorkörlerinin baca gazı(egzoz) emisyonları hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar ile bölgeden ölçümü yapılan hava kalitesi parametreleri arasında korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Tespiti yapılan bu durumun iyileştirilmesi için çözüm önerileri getirilmiş, aksiyon çağrısı yapılmıştır.

Doktora eğitimim boyunca birlikte çalışmaktan keyif aldığım ve onur duyduğum, deniz bilimcilik camiasının duayeni, entellektüalitesi ile sadece çalışma yaptığımız bilim dalında değil bir çok alanda bilimsel paradigmamı geliştiren, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Müdürü, çok değerli danışmanım Prof.Dr. Cem GAZİOĞLU hocama,

Tez konum olan gemi egzoz emisyonları ile ilgili yaptığı öncü çalışmalar ile bir farkındalık ve hassasiyet oluşturan, tez sürecinin her aşamasında, yoğun akademik çalışmalarına rağmen vakit ayırıp destek olan Prof.Dr. Cengiz DENİZ hocama,

Tez konum ile ilgili yaptığım araştırmalarda, yardımcı olan, fikir veren ve ufuk açan Doç.Dr. Abdullah AKSU hocama, ve Enstitümüzün pek kıymetli diğer hocalarına,

Arkadaşlık ve dostluğunu; toplumsal çalışmalarda, yanımda hissettiğim, tez konum ile ilgili hesaplamalarda, zorlandığım anlarda, yardımını esirgemeyen, branşı olan inşaat mühendisliği ile topluma değer katacağına inandığım Recep T. Erdoğan'a

Türk Denizlerinde ve görev verilen her alanda, bir asrı aşan tecrübesi ile seyir, mal, can ve çevre emniyetini sağlayan, bilimsel çalışmaların her zaman destekçisi ve doktora çalışma alanım için data teminin de destek olan Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğüne,

Akademik çalışmalarımın başlamasında ilham veren ve yeryüzünün daha iyi bir yer olması için çalışılması gerektiğini, yaşamı boyunca bizatihi yaşayarak gösteren, motivasyon kaynağım; mühendis, hoca ve lider olan merhum Prof.Dr. Necmettin ERBAKAN hocama,

Evlatlarını iyi bir insan olarak yetiştirmeye kendini azmetmiş, elleri öpülesi, pek muhterem Anne ve Babama, ve desteklerini esirgemeyen ablam ile abime,

Gerek denizcilik meslek hayatımın zorluklarında, gerek uzun doktora çalışmamda sabırla destek olup, yanımda duran sevgili eşim Ayşe ERGÜVEN'e ve arada ihmal etmiş olabileceğim göz aydınlıklarım Necmeddin Yiğit ile Yusuf Asaf'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ i
ÖZET iv
ABSTRACT v
TABLO LİSTESİ vi
ŞEKİL LİSTESİ viii
SİMGE LİSTESİ ix
KISALTMA LİSTESİ x
EKLER LİSTESİ xi
1.GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Sınırları 5
1.2. Literatür Özeti 6
1.3. Çalışma Bölgesi 9
2. MATERYAL VE METOT 10
2.1. Gemi Kaynaklı Emisyonlar 10
2.1.1. Karbondioksit (CO_2) 10
2.1.2. Azotoksit(NO_x) 10
2.1.3. Kükürtoksit (SO_x) 10
2.1.4. Uçucu organik bileşikler (VOC) 11
2.1.5. Partikül madde (PM) 11
2.1.6. Karbonmonoksit (CO) 11
2.2. Gemi Kaynaklı Emisyonlara Getirilen Kısıtlamalar 12
2.2.1. MARPOL 13
2.3. İzmit Körfezi Gemi İstatistikleri 15
2.3.1. İzmit Körfezinde hareket eden 150 Gros üstü gemilerin istatistikleri 16
2.3.2. İzmit Körfezinde hizmet veren römorkörlerin çalışma istatistikleri 17
2.4. İzmit Körfezi hava kalitesi izleme istasyonlarının verileri 19
2.5. Rüzgar İstatistikleri 21
2.6. Yağmur Suyu Analizleri 23
2.7. Korelasyon Analizi 24
2.8. Covid-19 Pandemisi ve Gemi Hareketlerine Etkisi 26
2.9. Gemi Egzoz Emisyonu Hesaplama Yöntemleri 27
2.9.1. Yukarıdan aşağıya (top-down) metodu 27
2.9.2. Aşağıdan yukarıya metodu 27
2.9.2.1. Entec UK emisyon hesaplama yöntemi 29
2.9.2.2. Trozzi&Vaccaro emisyon hesaplama metodu 35
3. BULGULAR 37
3.1. Aylara Göre Gemi Hareketleri 37
3.2. Aylara Göre Liman Römorkör Hareketleri ve Egzoz Emisyon Sonuçları 38
3.2.1. Entec Metoduna göre liman römorkörü egzoz emisyon sonuçları 38
3.2.2. Trozzi&Vaccaro metoduna göre liman römorkörü egzoz emisyon sonuçları 41

3.2.3.Liman römorkörlerine ait entec ve Trozzi&Vaccaro emisyon sonuçlarının karşılaştırılması....44
3.3. İzmit Körfezi Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının Verileri....45
3.3.1. Azotoksit(NOx) ölçüm sonuçları....47
3.3.2. Kükürt dioksit(SO_2) ölçüm sonuçları....47
3.3.3. Partikül madde(PM) 2.5 ölçüm sonuçları....48
3.4. Tüm Gemilere ait Egzoz Emisyon Sonuçları....49
3.4.1. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyon sonuçları....49
3.4.1.1. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait makine enerji tüketim miktarı……..50
3.4.1.2. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait toplam emisyon miktarı…..…….53
3.4.1.3. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait emisyon türlerinin oranları……..…55
3.4.1.4. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait CO2 emisyon miktarı…..……..56
3.4.1.5. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait emisyon miktarının yıllık değişimi ……..56
3.4.1.6. Entec Metodu ile gemi türlerinin yıllara göre toplam emisyon miktarı ….....58
3.4.1.7. Entec Metodu ile gemi türlerinin toplam yıllık emisyon oranları …..……..58
3.4.1.8. Liman römorkörlerin diğer gemilere oranla egzoz emisyon payı……..59
3.4.2. Trozzi&Vaccaro Metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyon sonuçları.....60
3.4.2.1. Trozzi&Vaccaro Metoduyla tüm gemilere ait makine enerji tüketimi….....63
3.4.2.2. Trozzi&Vaccaro Metoduyla tüm gemilere ait toplam emisyon miktarı…..…64
3.4.2.3. Trozzi&Vaccaro Metoduyla tüm gemilere ait emisyon türlerinin oranları……..…….66
3.4.2.4. Trozzi&Vaccaro Metoduna göre tüm gemilere ait CO2 emisyon miktarı……..……..67
3.4.2.5. Trozzi&Vaccaro Metoduyla tüm gemilere ait emisyon miktarının yıllık değişimi…...……..…67
3.4.2.6. Trozzi&Vaccaro Metoduyla gemi türlerinin toplam yıllık emisyon oranları…..…….....67
3.4.2.7. Trozzi&Vaccaro Metoduyla gemi türlerinin yıllara göre toplam emisyon miktarı……..……....…….…….……..……70
3.4.2.8. Liman römorkörlerin diğer gemilere oranla egzoz emisyon payı……..……..71
3.5. Entec ve Trozzi&Vaccaro Egzoz Emisyon Sonuçlarının Karşılaştırılması.....72
3.6. Yağmur Suyu Analiz Sonuçları....74
3.7. Emisyon Sonuçları ve Hava Ölçüm Sonuçları Arasındaki Korelasyon....76
4. TARTIŞMA VE SONUÇ....80
4.1. Bölgede Yapılan Benzer Çalışmalar ile Mukayesesi.....82
4.2. Bölgedeki Benzer Egzoz Emisyon Kaynaklarının Değerlendirilmesi....85
4.3. Öneriler....87
KAYNAKLAR....90
EKLER.....95
EK 1. Gros Tonajın Fonksiyonu Ana Makine Güçlerini Hesaplama Tablosu.....95
EK 2. Yardımcı Makine Hesaplama Tablosu....96
EK 3. Entec Metoduna Göre Gemilerin Tükettikleri Makine Gücünü Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)....97
EK 4. Trozzi&Vaccaro Metoduna Göre Gemilerin Tükettikleri Makine Gücünü Hesaplama Tablosu (Aralık 2018).....98

EK 5. Entec Metoduna Göre Gemilerin Salınım Yaptıkları CO2 Miktarını Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)……. 99
EK 6. Trozzi&Vaccaro Metoduna Göre Gemilerin Salınım Yaptıkları CO2 Miktarını Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)…….....100
EK 7. Liman Römorkörü Hareketlerini Hesaplama Tablosu (Aralık 2018) 101
EK 8. Gemi Tür ve Çıkardıkları Emisyon Türüne Göre Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)……..102
ÖZGEÇMİŞ……103
FORMLAR
Doktora Tezi İle İlgili Yayınlanan Makale
Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygunluk Yazısı ve Eki

ÖZET

İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

ORHAN ERGÜVEN

Bu çalışmada, Türkiye'nin sanayi ve denizcilik alanında en yoğun bölgesi olan Marmara Denizinin, İzmit Körfez alanında meydana gelen gemi kaynaklı ezgoz emisyonları hesaplanmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Gemi kaynaklı egzoz emisyonlarının bir kirlilik kaynağı olarak tanımlanmasından bu yana; çevresel duyarlılıkların artması, iklim değişikliği çerçevesinde gittikçe daha büyük önem kazandırmaktadır. Denizcilik sektörünün uluslararası ölçekte 2030 ve 2050 hedeflerine uygun olacak şekilde sektör bazında olduğu kadar coğrafi olarak da düzenlenebilmesi için emisyon azaltım potansiyellerinin belirlenmesi gerekmektedir.

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında, gerçek gemi hareketlerine bağlı olarak ortaya çıkan egzoz emisyonları ve bunun yanında gemilerin yanaşma-kalkma hizmetini sağlayan liman romorkörleri, Entec UK ve Trozzi Vaccaro metodolojileri ile 2 farklı şekilde hesaplanmış ilk çalışma olup, liman bölgeleri gemi egzoz hesaplamalarında hangi metotun diğerine göre daha kullanışlı olduğu değerlendirilmiştir. Çıkan sonuçlar itibariyle, yerel trafik olarak değerlendirilen liman romorkörlerinin gözardı edilemeyecek bir emisyon kaynağı olduğu sonucuna varılmıştır. Egzoz emisyonu hesaplama sonuçları, bölgeden alınan meterolojik veriler ile korelasyon analizine tabi tutulmuş, azot oksit(NO_x), kükürt oksit(SO_x) ve partikül madde(PM) ile aralarında farklı derecelerde korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Bu sayede zamana bağlı emisyon hesaplamalarındaki değişimlerin, meterolojik ölçümler ile doğrulanabilirliği test edilmiş olacaktır.Çalışmada, egzoz emisyonlarının, artış eğilimi dikkate alınrak; yasal, teknolojik ve operasyonel alanlarda iyileştirme önerileri getirilmiş, emisyon kirliliğinin sınırlandırılması gerektiği belirtilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gemi emisyonları, denizcilik, İzmit Körfezi, liman römorkörleri, egzoz gazları

ABSTRACT

ANALYSIS OF İZMIT BAY SHIP-BASED EXHAUST EMISSIONS BY ENTEC AND TROZZI VACCARO METHODS

ORHAN ERGUVEN

In this study, ship-sourced exhaust emissions from the Izmit Bay of the Marmara Sea, which is the most industrialized and maritime region of Turkey, were calculated and the results were evaluated. Since ship-sourced exhaust emissions were defined as a source of pollution; Increasing environmental awareness is gaining more and more importance in the framework of climate change. It is necessary to determine the potential of the maritime sector in order to be organized geographically as well as on a sectoral basis, in accordance with the 2030 and 2050 targets on an international scale and 2053 on a national scale.

In the Bay of Izmit, between 01.12.2018 and 30.04.2022, the ship-based exhaust emissions due to the actual ship movements, as well as the port tugboats providing the berthing-departure service of the ships, are calculated using two different methods with the Entec UK and Trozzi Vaccaro methodologies. It has been evaluated which method is more useful than the other in ship exhaust calculations. According to the results, port tugboats, which are considered as local traffic, are considered to be an emission source that cannot be ignored.Exhaust emission calculation results were subjected to correlation analysis with the meteorological data taken from the region, and various correlations were found between nitrogen oxide (NOx), sulfur oxide (SOx) and particulate matter (PM). In this way, the accuracy of the changes in emission calculations based on time with meteorological measurements will be tested.

In the study, considering the increasing trend of exhaust emission pollution calculated; Improvement suggestions were made in legal, technological and operational areas, and it was stated that emission pollution should be limited and minimized.

Keywords: Ship emissions, maritime, Izmit Bay, port tugs, exhaust gases

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Küresel CO2 emisyonları ve denizcilik emisyonlarının payı ...……..2
Tablo 2. MARPOL Ek 6 Kural 13 gemilerin izin verilen NOx değerleri...……..15
Tablo 3. Gros tonaja göre gemi ve deniz araçlarının alması gereken römorkör sayısı ve römörkörlerin çekme kuvveti…...……..19
Tablo 4. Korelasyon katsayıları ve açıklamaları…..…….25
Tablo 5. Türkiye denizyolu taşımacılığı yıllara göre değişim…..…….26
Tablo 6. Gemi türleri...……..28
Tablo 7. Gros tonoja göre ana makine gücü hesaplama tablosu…...……..30
Tablo 8. Gemi yardımcı makinelerini, ana makineye göre oranlama…...……..32
Tablo 9. Ana makine tipi ve devirleri...……..33
Tablo 10. Entec metoduna göre seyir durumunda kirletici madde katsayıları……..…….33
Tablo 11. Entec metoduna göre manevra-liman durumunda kirletici madde katsayıları…...…34
Tablo 12. Entec metoduna göre yardımcı makine kirletici madde katsayıları…...…….34
Tablo 13. Entec metoduna göre ana ve yardımcı makinelerin yük oranları……35
Tablo 14. Trozzi&Vaccaro metoduna göre makine yük oranları……...……36
Tablo 15. 12.2018-12.2020 tarihleri arasında Entec metoduna göre liman römorkör emisyonları…..……..……39
Tablo 16. 12.2021-04.2022 tarihleri arasında Entec metoduna göre liman römorkör emisyonları……..……40
Tablo 17. 12.2018-12.2020 tarihleri arasında Trozzi&Vaccaro metoduna göre liman römorkör emisyonları.……..……42
Tablo 18. 12.2021-04.2022 tarihleri arasında Trozzi&Vaccaro metoduna göre liman römorkör emisyonları…...……43
Tablo 19. Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonu ölçüm sonuçları……46
Tablo 20. Entec metoduna göre 01.12.2018 ve 31.12.2020 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları……...……..…….50
Tablo 21. Entec metoduna göre 01.01.2021 ve 31.04.2022 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları……...51
Tablo 22. Entec metoduna göre tüm gemilere ait emisyonların yıllara bağlı değişimi……..57
Tablo 23. Entec metodu ile gemi türlerinin yıllara göre toplam emisyon miktarı tablosu…….57
Tablo 24. Trozzi&Vaccaro metoduna göre 01.12.2018 ve 31.12.2020 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları……..….61
Tablo 25. Trozzi&Vaccaro metoduna göre 01.01.2021 ve 31.04.2022 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları……..…….62
Tablo 26. Trozzi&Vaccaro metoduyla tüm gemilere ait emisyonların yıllara bağlı değişimi.68
Tablo 27. Trozzi&Vaccaro metoduyla gemi türlerinin yıllara göre toplam emisyon miktarı……..……..……..68

Tablo 28. Yağmur suyu örneklem sonuçları…...……..……75
Tablo 29. Korelasyon tablosu...…….76
Tablo 30. Egzoz emisyon çalışması yapılan bazı bölgelerin karşılaştırılması…….……..82
Tablo 31. Bölgeki diğer emisyon kaynakları….……83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. 1990-2019 yılları arası küresel sera gazı emisyonları 1
Şekil 2. Türkiye ve bazı alanlara ait CO2 emisyonları.....3
Şekil 3. İzmit Körfezi/Türkiye.....9
Şekil 4. Partikül madde(PM) boyut karşılaştırılması.....12
Şekil 5. Yıllara ve bölgelere göre marin yakıtta sülfür oranların azaltılması.....14
Şekil 6. Yeni ilan edilen emisyon kontrol alanı.....16
Şekil 7. Gros tonaja göre gemi hareketleri.....17
Şekil 8. Nisan 2020'ye ait tonajlara bağlı romorkör alma tablosu.....18
Şekil 9. İzmit Körfezi hava kalitesi izleme istasyonları.....21
Şekil 10. Hava kalitesi izleme istasyonu günlük verileri.....22
Şekil 11. Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonu kirletici konsantrasyon grafiği.....22
Şekil 12. Kocaeli ili 12.2018-04.2022 tarihli rüzgar gülü.....23
Şekil 13. İzmit Körfezi yağmur suyu örnek alma noktası.....24
Şekil 14. Gemi egzoz emisyonlarının hesaplanma prosesi.....28
Şekil 15. Gemilerin gros tonaja bağlı ana makine gücü hesaplama tablosu.....31
Şekil 16. Aylara göre gemi hareketlerinin sayısı.....37
Şekil 17. Aylara göre liman römorkörlerinin hareket dağılımı.....38
Şekil 18. Aralık 2018-Nisan 2022 arası Entec metoduna göre toplam liman römorkör emisyonları.....41
Şekil 19. Aralık 2018-Nisan 2022 arası Trozzi&Vaccaro metoduna göre toplam liman römorkör emisyonları.....44
Şekil 20. Liman römorkörlerine ait Entec ve Trozzi&Vaccaro toplam emisyon sonuçlarının karşılaştırılması.....45
Şekil 21. Altınova hava kalitesi izleme istasyonu NO_x sonuçları.....47
Şekil 22. Altınova hava kalitesi izleme istasyonu SO_2 sonuçları.....48
Şekil 23. Altınova hava kalitesi izleme istasyonu PM 2.5 sonuçları.....48
Şekil 24. Tüm gemilere ait Entec metoduna göre makine gücü tüketim grafiği.....52
Şekil 25. Entec metoduna göre İzmit Körfezindeki gemilerin tükettiği makine gücü.....53
Şekil 26. Entec metoduna göre tüm gemilere ait toplam emisyon grafiği.....54
Şekil 27. Entec metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyonları.....55
Şekil 28. Entec metoduna göre 2019 yılı emisyon türlerinin oranlanması.....55
Şekil 29. Entec metoduna göre tüm gemilere ait CO_2 emisyon grafiği.....56
Şekil 30. Entec metodu ile gemi türlerine göre toplam emisyonalarda yıllara göre değişim.....58
Şekil 31. Entec metoduna göre gemi türlerinin 2019 yılı toplam emisyon oranları.....59
Şekil 32. Tüm gemilere ait Trozzi&Vaccaro metoduna göre makine gücü tüketim grafiği.....63

Şekil 33. Trozzi&Vaccaro metoduna göre İzmit Körfezindeki gemilerin tükettiği makine gücü……...64
Şekil 34. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait toplam emisyon grafiği……...65
Şekil 35. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyonları……65
Şekil 36. Trozzi&Vaccaro metoduna göre 2019 yılı emisyon türlerinin oranlanması……66
Şekil 37. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait CO_2 emisyon grafiği……67
Şekil 38. Trozzi&Vaccaro metodu ile gemi türlerine göre toplam emisyonalarda yıllara göre değişimi…..……...69
Şekil 39. Trozzi&Vaccaro metoduna göre gemi türlerinin 2019 yılı toplam emisyon oranları...70
Şekil 40. Liman römorkörleri ve diğer gemilere ait toplam emisyonların karşılaştırılması……71
Şekil 41. Entec ve Trozzi&Vaccaro metotları göre enerji tüketim miktarlarının karşılaştırılması……...……..72
Şekil 42. Entec ve Trozzi&Vaccaro emisyon sonuçlarının karşılaştırılması……..73
Şekil 43. Aylara göre Entec ve Trozzi emisyon sonuçlarının karşılaştırılması……...……74
Şekil 44. Yağmur suyu örneklemi……..75
Şekil 45. Örneklem pH ölçümü……..75
Şekil 46. Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla bulunan NO_x sonuçlarının, Altınova hava ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması…..……77
Şekil 47. Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla bulunan SOx sonuçlarının Altınova hava ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması…..……78
Şekil 48. Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla bulunan PM sonuçlarının, Altınova hava ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması…..……79

SİMGE LİSTESİ

‰ : Binde

ºC : Derece Santigrat

rpm : Devir

kW : Kilowatt

kWh : Kilowattsaat

µg/m3 : Miligram Bölü Metreküp

ppm : Parts Per Million(Milyonda Bir Parça)

% : Yüzde

∑ : Toplamı

KISALTMA LİSTESİ

AE : Auxiliary Engine (Yardımcı Makine)
AIS : Automatic identification systems (Otomatik Tanımlama Sistemleri)
CO : Karbonmonoksit
CO_2 : Karbondioksit
CO_2-eşd : Karbondioksit eşdeğeri
ECA : Emission Control Area(Emisyon Kontrol Alanı)
EEA : European Environment Agency(Avrupa Çevre Ajansı)
EF : Emission Factor (Emisyon Faktörü)
EMEP : European Monitoring and Evaluation Programme(Avrupa Görüntüleme ve Değerlendirme Programı)
gr : Gram
GT : Gros Tonaj
GTHM : Gemi Trafik Hizmetleri Merkezi
h : Hour (Saat)
HSD : High Speed Diesel(Yüksek Hızlı Dizel)
IMO : International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
ISO : International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
KEGM : Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü
LF : Load Factor (Yükleme Faktörü)
LNG : Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış Doğal Gaz)
LPG : Liquified Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MDO : Marine Diesel Oil(Marin Dizel Yakıt)
ME : Main Engine (Ana Makine)
MSD : Medium Speed Diesel(Orta Hızlı Dizel)
Mton : Milyon Ton
NO_X : Azot Oksitler
PM : Partikül Madde
PM_{10} : 10 Mikrondan Küçük Partikül Madde
$PM_{2.5}$: 2,5 Mikrondan Küçük Partikül Madde
SECA : Sulphur Emission Control Area(Sülfü Emisyon Kontrol Alanı)
SO_X : Kükürt Oksitler
SSD : Slow Speed Diesel(Düşük Hızlı Dizel)
t : Time (Süre)
UN : United Nations (Birleşmiş Milletler)
VOC : Volatile Organic Compounds (Uçucu Organik Maddeler)

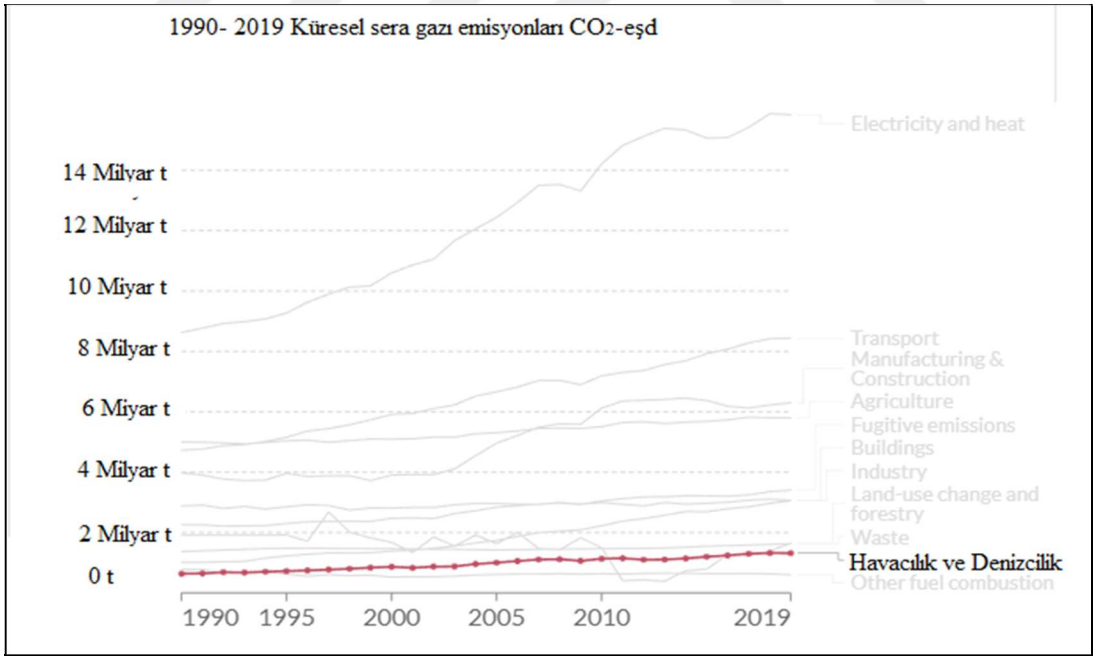
EK LİSTESİ

Sayfa

EK 1. Gros tonajın fonksiyonu ana makine güçlerini hesaplama tablosu……...…….……...96
EK 2. Yardımcı makine hesaplama tablosu…...……97
EK 3.Entec metoduna göre gemilerin tükettikleri makine gücünü hesaplama tablosu (Aralık 2018)…… …….98
EK 4.Trozzi&Vaccaro metoduna göre gemilerin tükettikleri makine gücünü hesaplama tablosu (Aralık 2018)……...…….99
EK 5. Entec metoduna göre gemilerin salınım yaptıkları CO_2 miktarını hesaplama tablosu (Aralık 2018) …. ……..100
EK 6. Trozzi&Vaccaro metoduna göre gemilerin salınım yaptıkları CO_2 miktarını hesaplama tablosu (Aralık 2018) ….. ……...101
EK 7. Liman römorkör hareketlerini hesaplama tablosu (Aralık 2018) ……... ……..……102
EK 8. Gemi Tür ve Çıkardıkları Emisyon Türüne Göre Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)...……103

1.GİRİŞ

Artan dünya nüfusu, değişen tüketim alışkanlıkları ve buna bağlı olarak gelişen talepler, küresel ticaretin artmasıyla sonuçlanmaktadır. Küresel ticaret; yaklaşık %90 oranında, büyük hacim ve kütlelerde yüklerin efektif taşınımı ve su yollarının cazibesi sebebiyle, 55.000 gemilik bir filoyla yürütülmektedir (United Nations-UN, 2021). Bununla birlikte; ülke içi taşımacılık, yolcu nakli, turizm ve hizmet gemileriyle birlikte, toplamda yaklaşık 120.000 gemi dünya denizlerinde muhtelif maksatlar için kullanılmaktadır (Equasis-Electronic Ship Qualty Shipping İnformation System, 2020). Şekil 1'de küresel sera gazı kaynakları gösterilmektedir.



Şekil 1. 1990-2019 yılları arası küresel sera gazı emisyonları (ourworldindata.org (2023) sitesinden alınmıştır).

Artan ticaret ile aynı doğrultuda yoğunlaşan gemicilik faaliyetleriyle birlikte, "küreselleşme", "sera gazı etkisi", "küresel ısınma", "iklim değişikliği" gibi kavramlar; hayatımıza etki eden doğrudan ve dolaylı sonuçları sebebiyle daha fazla gündemimize girmekte ve bu sonuçların azaltılmasıyla ilgili çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır.

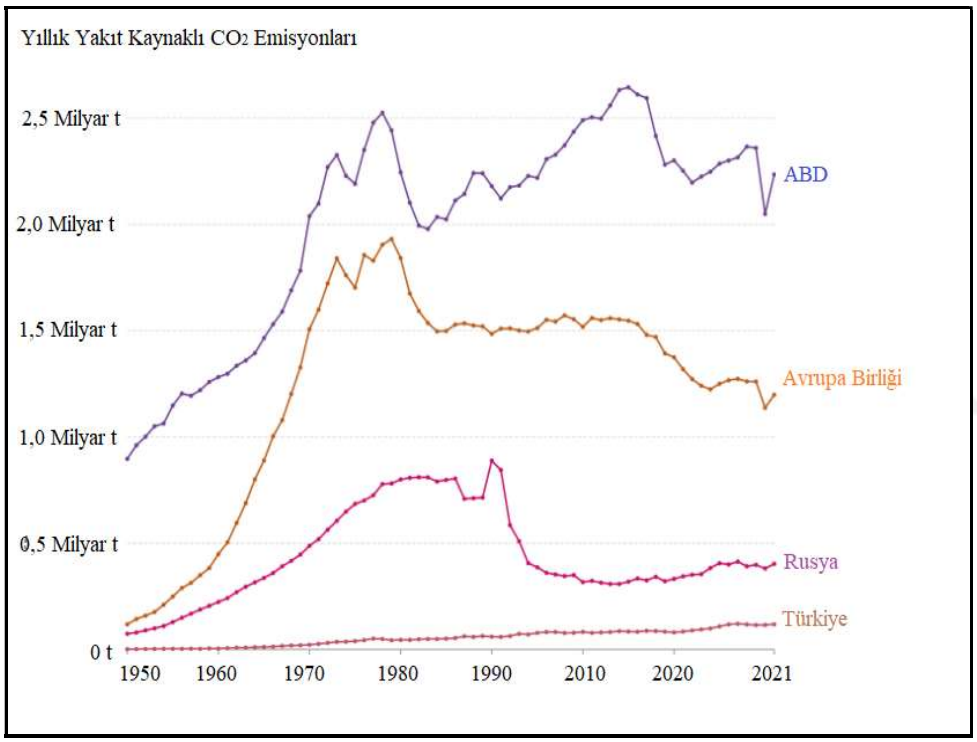
Bu bağlamda insan sağlığına olumsuz tesir eden fosil yakıt kaynaklı emisyonlar daha fazla mercek altına alınmakta, sınırlamalar getirilmekte ve olumsuz tesirlerinin giderilmesi, hiç değilse durdurulabilmesi için çalışmalar yürütülmektedir. Gemi kaynaklı yaklaşık 450 tür egzoz emisyon çeşidinin olduğu tahmin edilmektedir (Bilgili ve Çelebi, 2016). Bu egzoz gazlarından en fazla paya sahip olan tür; karbondioksit (CO_2) emisyonudur. Bu çalışmanın bulgular ve tartışma sonuç kısmında da ele alınacağı gibi CO_2 emisyonları, diğer kirletici egzoz gazları içerisinde yaklaşık %96 oranında pay tutmaktadır. Tablo 1'de yıllara bağlı olarak antropojenik kaynaklı toplam CO_2 emisyonları, denizciliğin bu emisyon türü içerisindeki payı ve bu iki parametrenin evrildiği durum hakkında bilgi verilmektedir. Tablo incelendiğinde, dönemsel dalgalanmalar ile birlikte global ölçekteki toplam antropojenik CO_2 emisyonları ve denizcilik kaynaklı CO_2 emisyonlarının artış eğilimininde olduğu gözlenmektedir.

Tablo.1 Küresel CO_2 Emisyonları ve Denizciliğin Payı (IMO (2022)'den alınmıştır).

Yıl	Global Antropojenik CO_2 Emisyonları (milyon ton)	Toplam CO_2 Emisyonları (milyon ton)	Toplam Denizciliğin CO_2 Emisyonları içindeki %'si
2012	34.793	962	2,76%
2013	34.959	957	2,74%
2014	35.225	964	2,74%
2015	35.239	991	2,81%
2016	35.380	1.026	2,90%
2017	35.810	1.064	2,97%
2018	36.573	1.056	2,89%

Yakıt tüketimleri baz alındığında, gemi kaynaklı egzoz emisyonları, küresel egzoz emisyonlarının CO_2, NOx, SOx, ve PM kirleticileri için sırasıyla; %3, %11, %4 ve %5'ine karşılık gelmektedir (Endresen, 2003; Russo ve diğerleri, 2018).

Global, bölgesel ve yerel ölçekteki karbondioksit miktarındaki değişimi gösterebilmesi adına Şekil 2'de ABD, Avrupa Birliği, Rusya ve Türkiye'ye ait yıllara dayalı yakıt kaynaklı CO_2 salınımı ile ilgili grafik verilmektedir. Son dönemle ilgili covid-19 pandemisinin neden olduğu kısıtlamalardan kaynaklı korbon dioksit üretimindeki çarpıcı düşüş belirgin bir şekilde gözlenebilmekte, bununla birlikte genel eğilimin yukarı yönlü hareketi devam etmektedir.



Şekil 2. Türkiye ve bazı alanlara ait CO_2 emisyonları (ourworldindata.org (2023) sitesinden alınmıştır).

Gemilerden yayılan egzoz gazları, okyanuslardan ve denizlerden rüzgârın tesiriyle, karada yaşayan canlılar ve insanlara kadar ulaşarak zararlı etkilere sebebiyet verebilmektedir. Fakat gemi egzoz gazı emisyonlarının daha çok etkili olduğu bölgeler; liman sahaları, kanallar ve iç sulardır (Corbett ve diğerleri, 2007).

Bu kapsamda bu zararları azaltmak ve kontrol altına almak amacıyla ülkeler, uluslararası kuruluşlar ve çevre kuruluşları çeşitli anlaşmalar imzalayarak düzenlemeler hazırlamış ve bu düzenlemeler kademeli olarak yürürlüğe girmiştir (IMO, 2017).

Barcelona Sözleşmesi, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) MARPOL Ek VI, Türkiye Cumhuriyeti Ulusal Mevzuatı, Avrupa Birliği Mevzuatı, EPA-Çevre Koruma Ajansı gemi egzoz emisyonlarına sınırlamalar getiren otorite ve düzenlemelere örneklerdir.

Bu düzenlemelerden bir kısmı da yakıt alanında yapılmıştır. Daha önceki yıllara nazaran gerek bayrak devletleri gerek liman otoriteleri gerek Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO); yakıt bileşenlerinde iyileştirmeleri zorunlu kılmış bu konuyla ilgili yeni standartlar getirmiş 2017 yılında 82017 nolu standardını güncellemiş ve özellikle önemli bir emisyon çıktısı olan SOx emisyonunu sınırlandırmak adına yakıttaki kükürt oranını daha aşağı seviyeye çekmiştir (IMO, 2019; ISO 8217 Bunker Standart-Specifications of Marine Fuels, 2017). Bu gelişmelerin parametlerde iyileştirme yaptığı öngörülmektedir. Fakat birlikte günümüzde LNG, metanol gibi alternatif yakıt türleri üzerinde de çalışılmakla birlikte nihai olarak bir ürün üzerinde karar kılınıp, yaygınlaşması sağlanamamıştır (Ampah ve diğerleri, 2021; IMO, 2020; Yeo ve diğerleri, 2022).

Yakıtlar ile ilgili çevresel kaynaklı bu tedbirlerin alınması ile birlikte yakıtların ekonomikliğini koruması, enerji oluşturma, yağlayıcılık ve vuruntuyu önleme gibi maksatlarını da yerine getirmesi gerekmektedir. Zira ticari bir sefer yapan geminin, sefer masraflarının yaklaşık %12-%25'ni yakıt giderleri oluşturmaktadır (Mersin, 2022).

Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde, dış ticaret; dünyanın genelinde olduğu gibi deniz yolu üzerinden gerçekleşmektedir. 2019 yılı verileriyle deniz yolu, Türkiye dış ticaretinin %83'ünü oluşturmaktadır. Ülke nüfus ve ticaretinin merkezi konumundaki Marmara Bölgesi ve sürekli gelişmekte olan İzmit Körfezi gemicilik faaliyetleri açısından sürekli artan bir yoğunluğa maruz kalmaktadır (IMEAK, 2019; Kocaeli Liman Başkanlığı, 2022).

Bu kapsamda İzmit Körfezi; her geçen gün artan, izlenebilir gemicilik faaliyetleriyle, gemi kaynaklı emisyon kirliliğinin önemli bir göstergesidir. Körfez dahilinde bulunan sabit hatlara sahip yerel trafik, artan liman yanaşma-kalkma faaliyetlerinin yanında, uzun dönemdir varlığını sürdüren Tuzla tersaneler bölgesi ve Altınova/Yalova da gün geçtikçe büyüyen yeni tersane alanları gibi farklı gemicilik faaliyetlerinin devreye girmesiyle birlikte gemi hareketlerinde zengin bir kompozisyon halinde artış söz konusudur.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Sınırları

Bu çalışma, İzmit Körfezi ölçeğinde gemicilik faaliyetlerine dayalı egzoz emisyonlarını, aşağıdan yukarıya metodu (bottom up); Entec UK metodolojisi ve Trozzi Vaccaro metodolojisi ve ile ayrı ayrı hesaplayarak, oluşan emisyon yükünü ortaya çıkarmayı amaçlamaktadır (Entec UK, 2010; Trozzi, 2013). Yapılan saha çalışmaları ile teorik hesaplamalar arasında bir korelasyon olup olmadığını tespit edip, bu vesile ile teorik hesaplamanın ölçülebilirliği hakkında fikir sahibi olunacaktır.

İzmit Körfezinde Gemi Trafik Hizmetleri biriminin kurulması ile birlikte, 150 gros tonun üstündeki gemi hareketlerinin izlenebilir olması ve bu izlenebilirlik ile spesifik gemi hareketlerinin (giriş seyri, demirleme, giriş manevrası, limanlama, demirde bekleme, limandan limana hareket, çıkış manevrası, çıkış seyri) işlenebilecek ham veri olması, çalışmanın gerçeklik katsayısını arttırarak önemli boyutunu teşkil etmektedir (KEGM, 2016).

Hesabı yapılacak olan verilerin iki yıldan fazla olması, pandemi koşulları ve bir çok faktöründe devreye girmesi ile yıllara dayalı deniz ticaret ve taşımacılığındaki değişim; artış, azalış ve kararlılık analizi yapılarak ortaya çıkan emisyon yüküyle ilişkisi irdelenecek ve gelecekle ilgili tutarlı bir projeksiyonun yapılması sağlanacaktır.

Gemi emisyon çalışmaları, genellikle söz konusu gemi hareketleri dikkate alınarak yapılan çalışmalarken; liman kalkış-yanaşma faaliyetlerinde artan mevzuat kaynaklı değişiklikler ve emniyet faktörü, romörkaj unsurunu daha fazla ön plana çıkarmıştır. Güçlü manevra kabiliyetini gerektiren yüksek performanslı makineler ile donatılmış römorkör hizmet gemileri, emisyon üretimi açısından da önemli bir etken olmuştur. Yapılacak emisyon çalışmalarında römorkör gemilerini de dikkate almak bir gereksinimdir.

Bu tez çalışması ile birlikte; yanaşma, kalkma ve acil müdahale durumlarında ki romörkaj faaliyetlerine dayalı emisyon yükü hesaplamaları ilk defa hesaplanarak, yapılan benzer çalışmalardan farklı olarak ortaya çıkan emisyon oluşumunun daha gerçekçi bir şekilde ortaya çıkartılması amaçlanmaktadır.

Çalışmanın diğer bir öznel boyutu da yağmur suyu örnekleri alınarak, alınan örneklerden; PH ölçümleri gibi analizler yapılarak elde edilen sonuçlar ve hava kalitesi izleme istasyonlarından gelen veriler ile yukarda ifade edilen metotlar sonucu çıkan rakamlar arasında bir ilişki olup olmadığını tespit etmektir.

1.2 Literatür Özeti

Ekmekçioğlu ve diğerleri, İzmir ve Mersin Limanları ile ilgili çalışma yapmış olup, İzmir için 2017-2018 yılları arasında 1 yıllık süreyi kapsayan çalışmada 2068 gemi hareketi neticesinde; CO_2 45.320 ton, NO_x 901 ton, SOx 590 ton, VOC 50 ton, PM 78 ton, CO 36 ton olmak üzere toplamda 46.975 ton egzoz emisyon salınımını hesaplamıştır. Yine aynı tarihler içerisinde, 1 yıllık Mersin Limanı için; CO_2 102.330 ton, NO_x 1.998 ton, SOx 1.339 ton, VOC 114 ton, PM 179 ton, CO 82 ton olmak üzere toplamda 106.042 ton egzoz emisyon salınımı hesaplamıştır (Ekmekçioğlu ve diğerleri., 2020).

Kılıç ve Deniz, İzmit Körfezi ölçeğinde, aşağıdan yukarıya metodunu kullandıkları(bottom up) ve 2005 yılı baz alınırak, 11645 gemi hareketini inceledikleri çalışmalarında; CO_2 254.261 ton, NO_x 5.356 ton, SOx 4.305 ton, HC 232 ton, PM 484 ton, olmak üzere toplamda 264.638 ton/yıl egzoz emisyon salınımı hesaplamıştır(Kılıç ve Deniz, 2009).

Durmaz, Marmara denizinde sefer yapan bir feribotu hem deneysel, hem teorik olarak ele aldığı çalışmasında; Feribottan bir yılda yayılan egzoz emisyon miktarını NO_X için yaklaşık 97 ton, SO_2 için 0.77 ton, CO_2 için 4467.3ton, CO için 6.2ton ve HC için 5.6 ton olarak hesaplanmıştır (Durmaz, 2015).

Lebedevas ve diğerleri, İspanya'da liman römorkörü hizmeti veren KLASCO-3 römorköründe kurulu bulunan dizel makine yerine dual yakıtlı (LNG ve mazot) makine kurulduğunda; yıllık olarak CO_2 emisyonlarının ortalama %10, SO_2 emisyonlarının %92, NOx emisyonlarının %65 ve yakıt masraflarının %33 azaltıldığını hesaplamıştır (Lebedevas ve diğerleri, 2021).

Ekmekçioğlu ve diğerleri, İstanbul Ambarlı ve Kocaeli Limanları ile ilgili Entec metodunu kullanarak, çalışma yapmış olup, Ambarlı için 2017-2018 yılları arasında 1 yıllık süreyi kapsayan çalışmada 3990 gemi hareketi neticesinde; CO_2 72.802 ton, NOx 1430,4 ton, SOx 900,3 ton, VOC 60,9 ton, PM 105,3 ton, CO 59 ton olmak üzere toplamda 75.357,9 ton egzoz emisyon salınımı hesaplamıştır. Yine aynı süre içerisinde 1 yıllık Kocaeli Limanı için; CO_2 134.120.8 ton, NOx 2.655,1 ton, SOx 1.652,3 ton, VOC 108,3 ton, PM 181,4 ton, CO 106,4 ton olmak üzere toplamda 138.824,3 ton egzoz emisyonu salınımı hesaplamıştır (Ekmekçioğlu ve diğerleri, 2020).

Deniz ve Durmuşoğlu, 2003 yılı baz alınarak yaptıkları çalışmalarında, Marmara Denizi ölçeğinde gemi kaynaklı egzoz emisyonunu; CO_2 5.451.224, NOx 111.039 ton, SOx 87.168 ton, VOC 5.801 ton, PM 4.762 ton, CO 20.281 ton olmak üzere hesaplamıştır. Bununla birlikte Marmara Denizindeki gemi kaynaklı CO_2, NO_x, ve SO_x emisyonlarının, dünya toplam gemi emisyonları içerisinde %1'e karşılık geldiğini, Marmara Denizindeki emisyonun 2010 yılına kadar %30 artacağını bildirmiştir (Deniz ve Durmuşoğlu, 2008).

Bayırhan ve diğerleri, 2017 yılı baz alınarak İstanbul Boğazı ölçeğinde, aşağıdan yukarıya(bottom up) metodunu ile yerel trafik unsurlarını ele aldıkları çalışmalarında; NOx 3.553 ton, SOx 623 ton, VOC 5.801 ton, PM_{10} 69 ton, CO 461 ton egzoz emisyon sonucunu hesaplamıştır (Bayırhan ve diğerleri, 2019).

Ortega ve diğerleri, 2004-2017 yılları arasında İspanya dahilindeki limanlarda hizmet veren liman römorkörlerinin sayısal artışının CO_2 emisyonlarına katkısı ve gemi toplam emisyon içerisindeki payının seyri ile ilgili yaptığı araştırmada, 2004 yılından 2017 yılına kadar liman römorkörü sayısının %29,01 arttığını bununla birlikte liman römorkörlerinin gemi emisyonlarındaki payının % 42,54 arttığını ve toplam gemi kaynaklı CO_2 emisyonlarının 143 milyon tondan 168 milyon tona çıktığını hesaplamıştır (Ortega-Piris ve diğerleri, 2022).

Mersin, Çanakkale boğazındaki gemi geçişleri sebebiyle ortaya çıkan egzoz emisyonlarını ele aldığı, 2006-2019 yılları arasındaki 14 yılı incelediği çalışmasında, yıllara göre CO_2, NO_x, SO_x, VOC, PM kirletici miktarını hesaplamış, yıllık ortalama toplam emisyonu 6.107.937,71 ton, CO_2 emisyonunu ise 5.855.823,35 ton bulmuştur (Mersin, 2020).

Jalkanen ve diğerleri, AIS verileri üzerinden oluşturdukları çalışmalarında Baltık Denizi ölçeğinde 2007 yılı boyunca gerçekleşen NO_x, SO_x, ve CO_2 emisyonlarını sırasıyla; 400.000 ton, 138.000 ton, ve 19.000.000 ton şeklinde hesaplamıştır (Jalkanen ve diğerleri, 2009).

Savaş ve Bilgili, 2020 yılı içerisinde Çanakkale Boğazından geçen gemilerin egzoz emisyonunu hesapladıkları çalışmalarında; CO_2, SO_x, CO, HC, NO_x, ve PM emisyonlarını sırasıyla; 529.129,5 ton, 1.664,9 ton, 899,9 ton, 540 ton, 12.959 ton, 180 ton olarak hesaplamıştır (Savaş ve Bilgili, 2022).

Ünlügençoğlu, 25.05.2017-25.08.2017 tarihleri arasında, Ambarlı Limanında gerçekleşen 1032 gemi hareketinden oluşan egzoz emisyonlarını Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplamıştır. Entec metoduna göre NO_x 538,8 ton/3ay, SO_2 376,14 ton/3ay, CO_2

27.332,03 ton/3ay, VOC 33,11 ton/3ay, PM 53,68 ton/3ay, CO 22,1 ton/3ay şeklinde hesaplamıştır (Ünlügençoğlu, 2018).

Tokuşlu, Karadenizde bulunan 10 adet Türk Limanda, 2018 yılı ölçeğinde, gerçekleşen gemi kaynaklı emisyonları hesapladığı çalışmasında; NO_x, 4.949 ton/yıl, CO_2 280.498 ton/yıl, SO_2 2.059 ton/yıl, VOC 197 ton/yıl, PM 260 ton/yıl bulunmuştur (Tokuşlu, 2022).

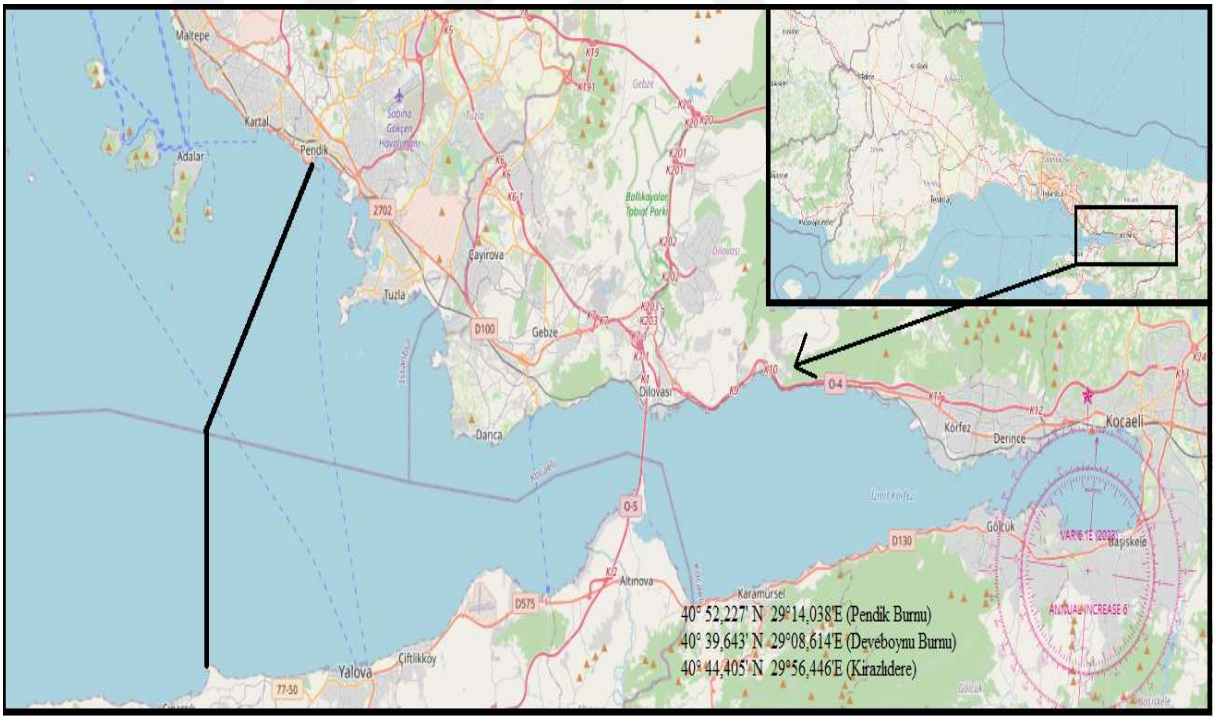
Saraçoğlu, 2007 yılına ait veriler ile İzmir Limanında gerçekleşen 2806 gemi hareketi neticesinde ortaya çıkan egzoz emisyon yükünü; CO_2, 100.590,1 ton/yıl, NO_x 1.882,2 ton/yıl SO_2 1.709.3 ton/yıl, HC 135,7 ton /yıl, PM 210,5 ton/yıl olarak hesaplamıştır (Saraçoğlu, 2010).

Tokuşlu, İstanbul Boğazından 2015 yılı içerisinde geçen 43.541 transit gemi ve 515.160 yerel ulaşım aracı hareketinden ortaya çıkan egzoz emisyonlarını, Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplamıştır. Trozzi&Vaccaro metoduna göre NO_x 18.324 ton, SO_2 5.294 ton, CO_2 937.017 ton, VOC 693 ton, PM 692 ton, CO 2.138 ton; Entec metoduna göre NO_x 13.861 ton, SO_2 1.547 ton, CO_2 1.407.854 ton, VOC 1.547 ton, PM 1.491 ton, şeklinde hesaplamıştır (Tokuşlu, 2019).

1.2.Çalışma Bölgesi

Bu çalışmada İzmit Körfezi kuzeyde İstanbul Pendik burnu ile güneyde Yalova Deveboynu burnunu birleştiren çizgi ile batı sınırları başlayan (Koordinatsal 40° 52.30’ N / 29° 13.57’ E (Pendik Burnu),40° 48.44’ N / 29° 08.96’ E (Kirazlıdere), 40° 39.66’ N / 29° 08.66’ E (Deveboynu Burnu) ve Marmara denizinin doğuda geri kalan kısmını temsil eden alandır. Batısı ile doğusu arasında 36 deniz mili mesafe olup, ortalama 66 kilometreye karşılık gelmektedir.

İzmit Körfezi, çift tabakalı su kütlesine sahip olup, üst kısım suları Karadenizden kaynaklı, kalınlığı ortalama 10-15 metre ve tuzluluk oranı yaklaşık ‰ 24 olan bir su kütlesidir. Alt kısım suları ise 25-30 metre derinlikte ve Akdenizden kaynaklı, tuzluluğu yaklaşık ‰ 38.5 olan daha yoğun bir su kütlesidir (Altıok ve diğerleri, 2020; Eyüpoğlu ve Eyüpoğlu, 2020). Çevresinde kurulu bulunan limanlar, yoğun yerleşim alanları ve sanayi tesisleriyle İzmit Körfezi; ekonomik açıdan önem taşımakla beraber yoğun sanayileşme ve gemi trafiği sonucu çevresel kirlilik yönünden risk altındadır



Şekil 3. İzmit Körfezi/Türkiye (openseamap.org, (2023) sitesinden alınmıştır).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Gemi Kaynaklı Emisyonlar

Gemi kaynaklı emisyonlar, genel itibariyle küresel emisyonların %3'ünü oluşturmaktadır (IMO, 2020). Bu emisyonların ortalama %96'sını CO_2 emisyonu, geri kalanını diğer emisyonlar oluşturmaktadır. Toplamda gemi bacalarından 450 türün üstünde kirletici salınımının yapıldığı varsayılmaktadır (Bilgili ve Çelebi, 2016). Bu türlerin kütlesel miktarı ve çeşidi birden fazla parametreye bağlıdır. Bunlar geminin türüne, tonilatosuna, yaşına, çalıştığı bölgeye, işletme mantalitesine, makinasına, makine yük oranına, yakıt tercihine ve benzeri durumlara bağlı olmaktadır.

Bu çalışmada, egzoz çıktıları arasında en fazla yer kaplayan karbondioksit (CO_2), azotoksit (NO_x), kükürtoksit (SO_x), uçucu organik madde (VOC), partikül madde (PM) ve karbonmonoksit (CO) kirletici maddeleri ele alıncaktır.

2.1.1. Karbondioksit (CO_2)

Karbondioksit yanma sonucu kütlesel olarak en fazla meydana gelen egzoz gazıdır. Egzoz içerisinde yaklaşık %96 paya sahiptir. Sera gazı etkisi oluşturarak; yeryüzü ısınmasının ve iklimsel düzensizliklerin en büyük tetikleyicilerinden biridir. Gemilerde enerji verimliliği, operasyonel verimlilik gibi uygulamalar yoluyla; minimum hareket ve maksimum iş prensibi yoluyla azaltımı hedeflenmektedir (Aspelund ve diğerleri, 2006; IMO, 2020; Ülker ve diğerleri, 2018).

2.1.2. Azotoksit(NO_x)

Makine silindirlerine, yakıt ile karışması için alınan havanın içerisinde doğal olarak bulunan azot molekülleri, yüksek sıcaklık ile birlikte azotoksit gazlarını oluşturmaktadır. Solunum yolu ile vücuda giren azotoksitler akciğerlerde olumsuz etki bırakmaktadır (IMO, 2020).

2.1.3. Kükürtoksit (SO_x)

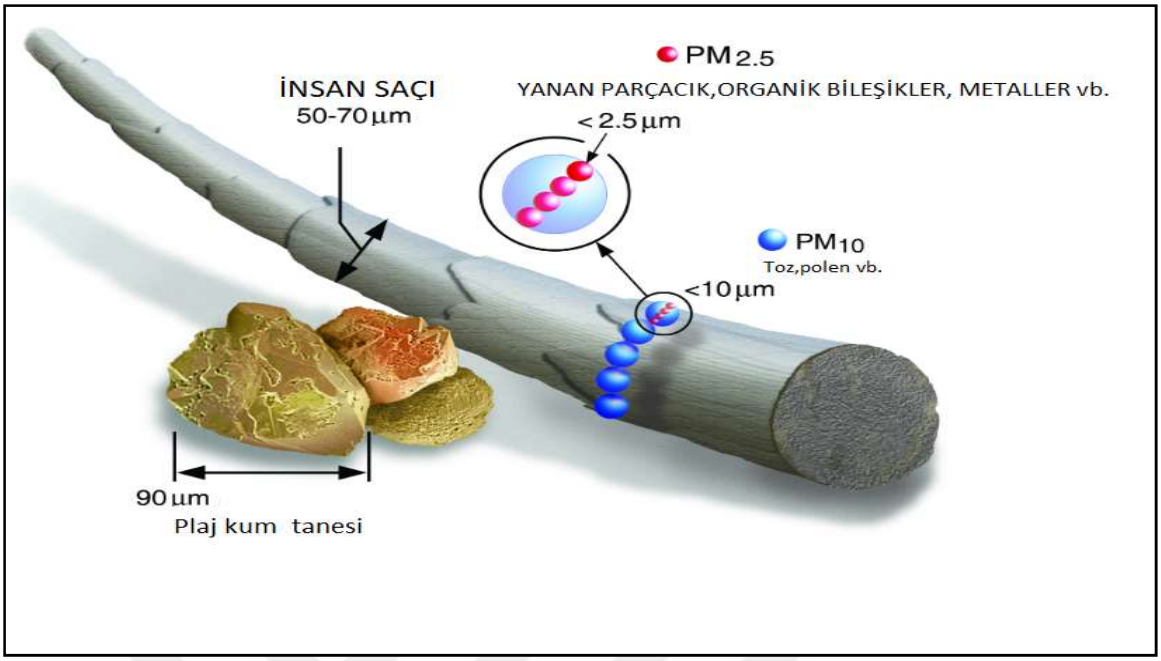
Yakıt içerisinde bulunan kükürt, yanma sürecinde oksijenle reaksiyona girerek yaklaşık %1 oranında kükürtoksit (SO_x) çıktılarına sebebiyet vermektedir. Kükürtoksit emisyonlarının insan ve çevre üzerinde olumsuz etkileri vardır. İnsan üzerindeki etkisi; solunum sistemlerinde tahribata neden olur, kardiyovasküler ve akciğer hastalıklıklarına sebep olabilmektedir. Çevre üzerindeki en önemli etkisi asitleşmedir. Yanma reaksiyonu sonucu oluşan SO_x emisyonları özellikle su kaynaklarına nüfuz ederek asitleşmeye katkıda bulunur (Gazioğlu, 2018; Mersin ve diğerleri, 2019). Bunun yanında havada yağmur damlaları ile birleşerek asit yağmurlarına neden olur (IMO, 2019). Fakat SOx emisyonlarının bu olumsuz etkilerinin yanında, son dönemde yapılan araştırmalar farklı bir etkisini ortaya koymuştur; Yapılan araştırmalara göre havadaki sülfür aerosollerinin; güneş ışınlarını yansıttığı, sülfür miktarında düşüş meydana geldiğinde ters orantılı olarak güneş ışınlarının emiliminin arttığı ortaya çıkmıştır. Bu sebeple sülfür aerosol miktarının düşmesi ile birlikte deniz yüzey sıcaklığının arttığı gözlenmiştir. (Sofiev ve diğerleri, 2018).

2.1.4. Uçucu organik bileşikler (VOC)

Uçucu organik bileşikler, gemilerin yakıt tanklarında buharlaşarak yakıtın oluşturduğu emisyon türüdür. Maruz kalma yoğunluğu ve zamanına bağlı olarak insanların solunum yollarında tahribata ve solunum yetersizliklerine sebep olmaktadır (Corbett ve diğerleri, 2007).

2.1.5. Partikül madde (PM)

Gemi egzoz emisyonlarının katı formunda ortaya çıkan ürünü olan partikül madde (PM), Şekil 4'de gösterildiği üzere farklı ebatlarda olabilmekle birlikte $PM_{2.5}$ ve PM_{10} gibi çeşitli ölçülerde bulanabilmektedir. Çapı 10 mikrometreden küçük olan partikül maddeler solunum yoluyla akciğer gibi iç organlara nüfuz edip zarar verebilmektedir. Uluslararası Denizcilik Örgütü, partikül maddeyi tehlike olarak gördüğünden elimine edilmesi için gerekli düzenlemelere dahil etmiştir. (Chu Van ve diğerleri, 2019; IMO, 2020).



Şekil 4. Partikül madde (PM) boyut karşılaştırılması (www.ccacoalition.org, (2023)'dan alınmıştır.)

2.1.6. Karbonmonoksit (CO)

Karbonmonoksit gazı, gemi makinelerinde eksik yanmadan oluşmaktadır. Birincil kirleticilerden olup doğada iki ay kalabilmektedir. Zehirleyici bir etkiye sahip olması nedeniyle tehlikelidir. Kapalı ortamda soluma ile bilinç kaybına ve ölüme sebebiyet verebilmektedir (Corbett ve diğerleri, 2007).

2.2. Gemi Kaynaklı Emisyonlara Getirilen Kısıtlamalar

18. yüzyılın sonu ile başlayan sanayi devrimi ve endüstrileşme, insanoğlu tarafından doğaya absorbe edilemeyecek etkiler bırakmıştır. Sanayide makineleşme ve buna bağlı olarak kömür ve petrolün kullanımı ile birlikte oluşan karbon emisyonları; sera gazı etkisi, küresel ısınma, iklim değişikliği gibi kavramların konuşulmasını doğurmuştur. Antropojenik kaynaklı kirletici gazlar, ilk defa somut olarak 1979 yılında Cenova'da İklim Konferansında enine boyuna ele alınmıştır. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1988 yılında Birleşmiş Milletlerin iki ilgili yapısı Dünya Meteoroloji Örgütü ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı tarafından insan faaliyetlerinin neden olduğu iklim değişikliğinin risklerini değerlendirmek üzere kurulmuştur. Bu organizasyonun 1995 de yayınladığı ve dikkatleri sera gazı emisyonlarına çektiği 2. Raporun etkisiyle birlikte 1997 yılında Kyoto Protokolu

imzalanmıştır. Bu anlaşma ile birlikte üye ülkeler, karbondioksit ve sera etkisine neden olan diğer beş gazın salımını azaltmaya yada bunu yapamıyorlarsa karbon ticareti yoluyla haklarını arttırmaya söz vermişlerdir (T.C. Dışişleri Bakanlığı, 2022; United Nationals, 2023).

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Rio de Janeiro'da 1995 yılında tertip edilen Birleşmiş Milletler (BM) Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda imzaya açılan uluslararası alanda atılan ilk ve en önemli adımdır. BMİDÇS; taraf ülkeleri, sera gazı emisyonlarını azaltmaya, araştırma ve teknoloji üzerinde işbirliği yapmaya ve ormanlar, okyanuslar, göller gibi sera gazı yutaklarını korumaya teşvik etmektedir. Sözleşme, sera gazı emisyonlarının azaltılması için, ülkelerin kalkınma önceliklerini ve kendine has koşullarını göz önüne alarak "ortak fakat farklılaştırılmış sorumluluklar ve göreceli kabiliyetler" ilkesine dayanmaktadır (UNEP, 2022). BMİDÇS'nin: Kyoto Protokolü (2020 yılına kadar) ve Paris Anlaşması (2020 yılından sonra) iki uygulama aracı bulunmaktadır.

4 Kasım 2016 itibariyle yürürlüğe giren Paris Anlaşması, kabulünün üzerinden 1 yıl geçmeden yürürlüğe giren ilk küresel anlaşmadır. Anlaşma, antropojenik kaynaklı sera gazı salınımlarının neden olduğu küresel sıcaklık artışını uzun vadede, sanayileşme öncesi döneme kıyasla 2 santigrat derecenin altıyla sınırlamayı hedeflemekte; bu konuda 1,5 santigrat dereceyi yakalamanın önemine dikkat çekmektedir (United Nationals, 2023). Bu çalışmaların gemiler boyutu Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından MARPOL uluslararası anlaşması üzerinden yürütülmektedir (IMO, 2017).

2.2.1. MARPOL

1973 yılında imzalanan ve 1978 yılında yürürlüğe giren Uluslararası Gemilerden Kaynaklanan Kirliliği Önleme Anlaşması (International Convention for the Prevention of Pollution from Ships-MARPOL 73/78) gemi kaynaklı kirlilikle ilgili en kapsamlı sözleşmedir. Bu sözleşme 6 ana kısımdan oluşmaktadır (IMO, 2017);

- Ek I: Petrolden oluşan kirlenmenin önlenmesi için kurallar
- Ek II: Dökme zehirli sıvı maddelerden oluşan kirlenmenin kontrolü için kurallar
- Ek III: Paketlenmiş olarak taşınan zehirli sıvı maddelerden oluşan kirlenmenin kontrolü için kurallar
- Ek IV: Gemi pis sularından oluşan kirlenmenin kontrolü için kurallar
- Ek V: Gemilerden atılan çöplerden kirlenmenin önlenmesi için kurallar
- Ek VI: Gemi baca gazlarından kirlenmenin önlenmesi için kurallar

1997 yılında kabul edilen ve 2005'de yürürlüğe giren ek VI 'da genel olarak gemi kaynaklı baca gazı kirliliği ele alınmış olup ihtiyaca bağlı olarak ve gereklere göre revize edilmektedir. 400 gros ton ve üzeri gemilere, sondaj gemilerine, platformlara uygulanmakta ve uluslararası hava kirliliği sertifikasını (IAPPC) zorunlu kılmaktadır ve bayrak devleti tarafından düzenlenmektedir. Ek 6'da genel olarak kükürtoksit (SO_x), azotoksit (NO_x), uçucu organik madde (VOC), klora flora karbon (CFC) ve özel alanlar ile ilgili düzenlemeleri barındırmaktadır. Genel itibariyle aşağıda açıklaması yapılacak altı ana kural sınırlandırmaları getirmektedir.

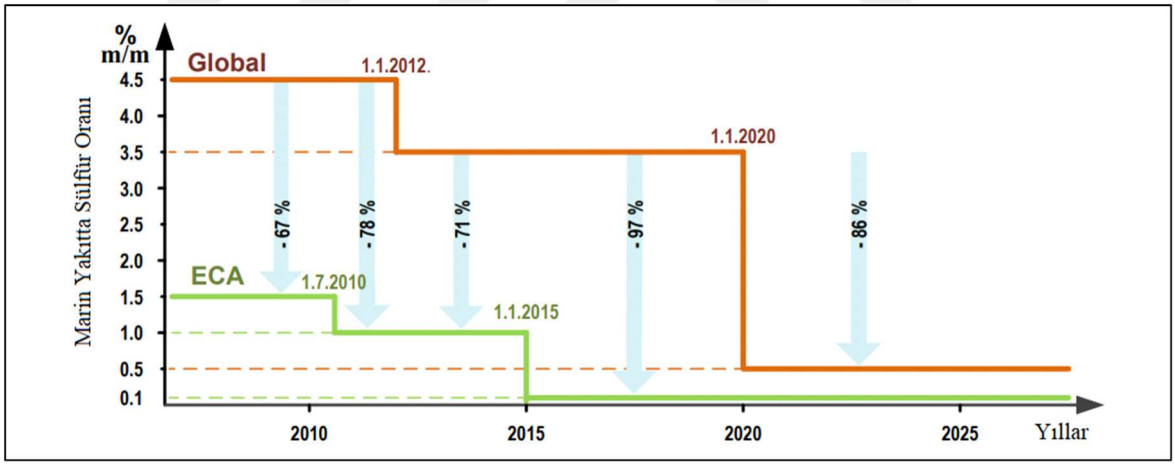
Kural 12; ozon tabakasına zarar veren madde olan klora flora karbon (CFC) kullanımını ve salınmasını yasaklamaktadır. Genel olarak eski gemilerde soğutma maksatlı kullanılan bir gaz çeşidi olan CFC'nin yeni yapılan gemilerde kullanımı yasaktır. Ancak gemilerdeki mevcut kurulumlara ise 1 Ocak 2020 tarihine kadar müsaade edilmiştir (Čampara ve diğerleri, 2018).

Kural 13; gemi üzerinde bulunan acil durum ekipmanlarının (yangın dizeli, can filikası vb.) haricindeki, 130 kW büyük güç üretimi yapan makinaların NO_x salımını sınırlandırmaktadır. Bu şartlara sahip her bir makine için test ölçümü yapılmakta ve değerlerin Tablo 2'deki gemi inşa tarihi ve devir özellikleri dikkate alınarak limitleri aşıp aşmadığı gözlenerek raporlanmaktadır. Sonuç olarak ilgili makinaya ait spesifik bir teknik dosya verilerek sertifikalandırılmaktadır. Makinalardaki NO_x salınımı makinanın yapısıyla alakalıdır. Yakıtın kendisi ve özellikleri NO_x salınımı için önemli bir etkendir.

Tablo 2. MARPOL Ek 6 Kural 13 gemilerin izin verilen NOx değerleri (IMO(2022)'den alınmıştır).

Tier	**Gemi İnşa Tarihi**	**Toplam NO_x Emisyon Limit Değeri (g/kWh) n = Makine Devir Sayısı**		
		n < 130	n = 130 – 1999	n ≥ 2000
I	1 Ocak 2000	17.0	$45 \times n^{-0.2}$	9.8
II	1 Ocak 2011	14.4	$44 \times n^{-0.23}$	7.7
III	1 Ocak 2021	3.4	$9 \times n^{-0.2}$	2.0

Kural 14; SO_x salınımını sınırlandırmaktadır. Yakıtlardaki maksimum sülfür içeriği en fazla %0,5 olabilir ve buna ek olarak da Marpol özel alanlar belirlemiştir. Baltık Denizi, Kuzey Denizi, British Isles, Batı Avrupa, Amerika kıyıları ve Akdeniz bu özel alanlardandır. Bu özel alanlarda %0.1 sülfür üst limit sınırı uygulanmaktadır.



Şekil 5. Yıllara ve bölgelere göre marin yakıtta sülfür oranların azaltılması (Čampara ve diğerleri (2018)'den alınmıştır).

Kural 15; VOC için sınırlama bulunan limanlar için uygun geri dönüşüm tesislerini, zorunlu kılar.

Kural 16; PCB, ağır metal içeren çöpler, halojen rafine petrol artıkları, Annex 1,2 ve 3 yüklerinin insineratörde yakılmasını yasaklamaktadır.

Kural 18; Yakıtların kalitesi hakkında standartları düzenlemektedir. Fuel Oil içersinde; inorganik yağlar, kimyasal artıklar olmamalı ve %4,5 oranını geçmemelidir.Yakıt teslim tutanağında 15 derecedeki yoğunluk ve sülfür miktarına bakılmalıdır.

16 Aralık 2022 tarihinde yapılan 79. IMO Deniz Çevre Koruma Komitesi toplantısında; Baltık Denizi bölgesi, Kuzey Denizi bölgesi, Kuzey Amerika bölgesi, Amerika Birleşik Devletleri Karayip Denizi bölgesinden sonra 1 Ocak 2025 tarihinden itibaren Akdeniz 5. Emisyon Kontrol Alanı olacaktır. MED-SO_x ECA olarak ilan edilen Akdenizde yakıtlarda var olan kükürt oranı %0.1 kısıtlaması ile sınırlandırılacak ve Partikül Madde (PM) salınımı azaltılacaktır. Bu, kükürtoksit emisyonlarında yüzde 78,7'lik bir düşüş ve atmosfere salınan yıllık 8,5 milyon ton SO_x azalması anlamına gelmektedir. Ayrıca Partikül Madde (PM 2.5) emisyonları da yüzde 23.7 oranında azaltılacağı hesaplanmaktadır. Şekil 6'da Akdeniz emisyon kontrol alanı belirtilmektedir (Türk Loydu, 2023).



Şekil 6. Yeni ilan edilen emisyon kontrol alanı (Türk Loydu (2023)'dan alınmıştır).

2.3. İzmit Körfezi Gemi İstatistikleri

İzmit Körfezi, bulunduğu coğrafi konum, İstanbul iline komşu olması, güney ve kuzey bandında bulunan tersane bölgesi, fabrika-liman-pazar yakınlığının ekonomik etkenliği vb. birçok sebeple; yoğun ticari sirkülasyonun merkezi konumundadır. Kocaeli Valiliğinin yayınladığı değerlendirme raporunda, Türk limanları içerisinde gemicilik faaliyetinin en yoğun olduğu bölge olarak saptanmıştır (Kocaeli Liman Başkanlığı, 2022).

Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğüne bağlı bir birim olarak 2016 yılında kurulan İzmit Gemi Trafik Hizmetleri Merkezi (GTHM) 2018 yılı sonundan itibaren Körfez içindeki gemi trafiğine yönetici ve tavsiye edici olarak müdahil olmuştur. Bu tarihten itibaren Körfez içerisindeki gemicilik faaliyetleri izlenebilir olmuştur.

Bu doktora tez çalışması Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü istatistiklerinden istifade edilerek hazırlanmıştır. Konu istatistikler tez çalışmasının analitik yürütülebilmesi adına; 150 gros ton üzeri gemiler (bölge dışından tamir, çeki, yedekleme vb. maksatlı gelen römorkör ve ikmal gemileri dahil) ve servis römorkörleri şeklinde ele alınmıştır.

2.3.1. İzmit Körfezinde hareket eden 150 gros üstü gemilerin istatistikleri

İzmit GTHM tarafından bölge içerisine giren, çıkan, bölge içerisinde hareket eden 150 gros ton üzere, yerel trafik ve askeri gemiler hariç bütün deniz araçları kayıt altında tutulmaktadır. Bu kapsamda gemiler; boy, yaş, draft (su çekimi-derinlik),makine gücü ve gros (hacimsel) tonajlarına göre özellikleri; giriş, çıkış, demirleme, limanlama, GTH içi seyir adet ve süreleri vb. hareketlerine göre tasnif edilmiştir. Bu çalışmada gros tonaj üzerine yapılan tasnif üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Şekil 7'de gros tonajın tafsilatlı hali belirtilmektedir.



Gross Gore Özetler

| Gemi Giriş Adetleri | | |

2.3.2. İzmit Körfezinde hizmet veren römorkörlerin çalışma istatistikleri

Bu çalışmada römorkör istatistikleri iki şekilde ele alınmaktadır. Birincisi istatistik sağlayan Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğünün (KEGM) istatistiklerinde yer verdiği; İzmit Körfezi dışından çeki, yedekleme, tamir, bakım onarım ve benzeri (vb.) maksatla gelip, tonajı 150 gt üzerinde olan; Tug, Suply Vessel kapsamındaki deniz vasıtalarıdır.

İkincisi literatürde pek yer edinmeyip, tez motivasyonunda da yer edinen ve bu çalışma ile birlikte literatüre kazandırılması amaçlanan liman römorkörleridir. Bu römorkörler genelde bağlı bulundukları limanda; giriş, çıkış, yedekleme, refakat ve ihtiyaca göre kurtarma hizmeti verebilmektedir. Bu çalışma kapsamında ise İzmit Körfezine giriş, ve demirleme gibi faaliyetlerin yürütülebilmesini sağlayan liman römorkörleri kapsanmaktadır.

2020 NİSAN ENTEC — LİMAN ROMORKÖRÜ KULLANMA SAYISI GİRİŞ İÇİN

ALMASI GEREKEN LİMAN ROMORKÖRÜ HESAPLAMA TABLOSU

Gemi Tipi	800	2800	7800	18000	26000	38000	50000	60000	TOPLAM
Barge		7	0	0	0	0	0	0	7,00
Bulk / Oil		1	6	0	4	0	3	9	23,00
Bulk Carrier		104	22	32	18	40	4	2	222,00
Cable Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
Cement Carrier		0	2	2	0	0	0	0	4,00
Chemical Tanker		40	88	14	34	4	0	0	180,00
Container		1	52	62	52	28	48	52	295,00
Dredger		0	0	0	0	0	0	0	-
Ferry		0	0	0	0	0	0	0	-
Fishing Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
Floating Crane		0	0	0	0	0	0	0	-
General Cargo		120	70	12	6	2	0	0	210,00
Heavy lift		0	0	0	0	0	0	0	-
High Speed Craft		0	0	0	0	0	0	0	-
L.N.G.		0	0	0	0	0	0	0	-
L.P.G.		5	6	2	0	0	0	0	17,00
Livestock Carrier		1	0	0	0	0	0	0	1,00
Navy Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
Ore / Oil		0	0	0	0	0	0	0	-
Ore Carrrier		0	0	0	0	0	0	0	-
OTHER		5	0	0	0	0	0	0	5,00
Passenger		38	0	0	0	0	0	0	38,00
Passenger /Ro-Ro		0	0	0	4	2	2	0	8,00
Reefer Carrier		0	0	0	0	0	0	0	-
Research Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
Ro Ro		0	2	0	14	18	4	12	50,00
Salvage Tug		0	0	0	0	0	0	0	-
Supply Ship		2	0	0	0	0	0	0	2,00
Tanker		16	2	8	6	2	3	18	55,00
Training Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
Tug		1	0	0	0	0	0	0	1,00
Unknown		0	0	0	0	0	0	0	-
Vehicle Carrier		0	6	0	0	14	22	8	50,00
WARSHIP		0	8	0	0	0	0	0	8,00
Waste Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
Wig In Ground		0	0	0	0	0	0	0	-
							TOPLAM		1.176

TOPLAM GİRİŞ+ÇIKIŞ: 2.352

Lejand:
- 0 ROMORKÖR
- 1 ADET ROMORKÖR
- 2 ADET ROMORKÖR
- 3 ADET ROMORKÖR

Şekil 8. Nisan 2020'ye ait tonajlara bağlı römorkör alma tablosu.

Şekil 8'de gemi tür ve tonajına göre Nisan 2020'ye ait römorkör gereksinim tablosu verilmektedir. Gerekli olan römorkör sayı ve özellikleri Türkiye Cumhuriyeti Mevzuatınca belirlenmektedir.

Bu konu ile ilgili Limanlar Yönetmeliği tafsilatı vermektedir (Resmi Gazete, 2019). Yönetmelikte özetle, İzmit Körfezine gelen ya da çıkış işlemi yapacak olan gemiler için talimatlandırma yapılmaktadır. 2.000-5.000 gros tonaj arasındaki gemiler 1 adet, 5.001-45.000 gros tonaj arası gemiler 2 adet, 45.000 üstü tehlikeli yük taşıyan tüm tankerler 3 adetten az olmamak kaydı ile römorkör alacağı belirtilmiştir. Bununla birlikte talep ve acil durum halinde fazladan römorkör görevlendirmesi yapılabilmektedir.

Tablo 3. Gros tonaja göre gemi ve deniz araçlarının alması gereken römorkör sayısı ve römörkörlerin çekme kuvveti

	Gemi GT Tonajı	**Gemi Tipi**	**İstenen Römorkör Sayısı (Asgari)**	**İstenen Toplam Çekme Kuvveti (Asgari)**	**Açıklama**
1	2000 – 5000	Tüm Gemiler	1	16	En az 16 ton
2	5001 – 15000	Tüm Gemiler	2	32	Her biri en az 16 ton
3	15001 – 30000	Tüm Gemiler	2	60	Her biri en az 30 ton
4	30000 – 45000	Tüm Gemiler	2	75	Her biri en az 30 ton
5	45000 üstü	Tehlikeli Madde Taşımayan Gemiler	2	90	Her biri en az 30 ton
6	45001 – 75000	LPG, Parlayıcı, Patlayıcı ve Kimyasal Tankerler	3	90	Her biri en az 30 ton
7	75 000 üstü	LPG, Parlayıcı, Patlayıcı ve Kimyasal Tankerler	3	120	Her biri en az 30 ton
8	Her Tonaj	LNG Taşıyan Gemiler	3	150	Her biri en az 30 ton

İzmit Körfezinde yapılan izlemlerde römorkör manevralarının, liman giriş ve çıkışı, gemi tonajı, hava durumu, liman şekillerine bağlı olmak koşuluyla değiştiği bununla birlikte ortalama 0,75 saat (45 dakika) sürdüğü kabul edilmiştir. Halihazırda İzmit Körfezinde 6 adet römorkaj firması hizmet vermekte olup, römorkörlerin ortalama uzunluğu 25m, ortalama toplam ana makine gücü 2250 kW, iki adet yardımcı makineye sahip teknik özellikte olmaktadır.

Römorkör emisyon hesabında; ana ve yardımcı makinelerin çalışma süresi, toplam maksimum çıkış gücü kapasiteleri, çalışma moduna göre yük katsayısı ve emisyon katsayısının çarpılması ile elde edilmektedir. Aşağıdaki eşitlikte birimleri ile birlikte verilmiştir.

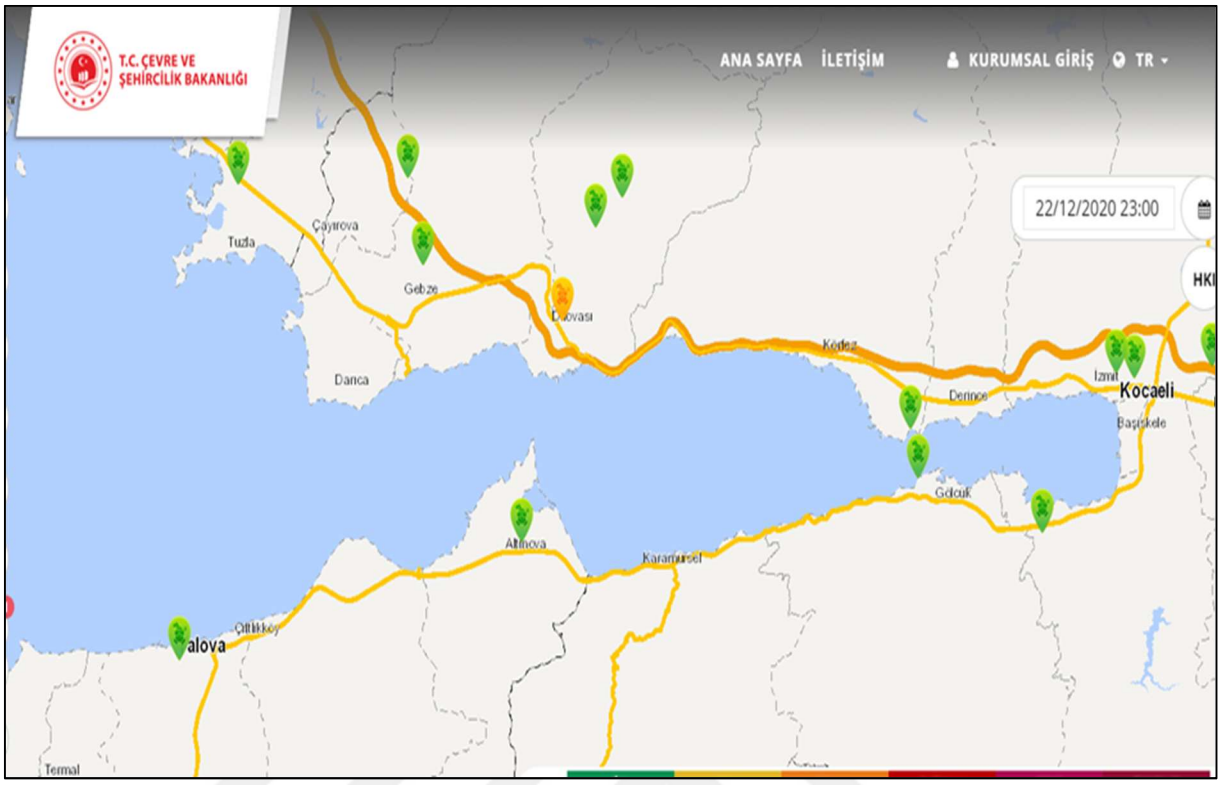
$$E_{Kirletici(gr)} = t(h) \text{ X } [(\sum ME(kW) \text{ X } LF_{ME} (\%) \text{ X } EF_{ME} (g/kWh)) + (\sum AE (kW) \text{ X } LF_{AE} (\%) \text{ X } EF_{AE} (g/kWh)] \text{ X } \sum \text{ROMOKÖR FALİYETİ} \quad (2.1)$$

∑ROMOKÖR FALİYETİ= İlgili ayda yapılan toplam römorkör sefer sayısı

Bu formülasyonda liman römorkörlerinin emisyonu hesaplandığı için, formül (2.3)'e ilaveten toplam aylık liman römorkör sefer sayısı çarpan olarak ilave edilmiştir.

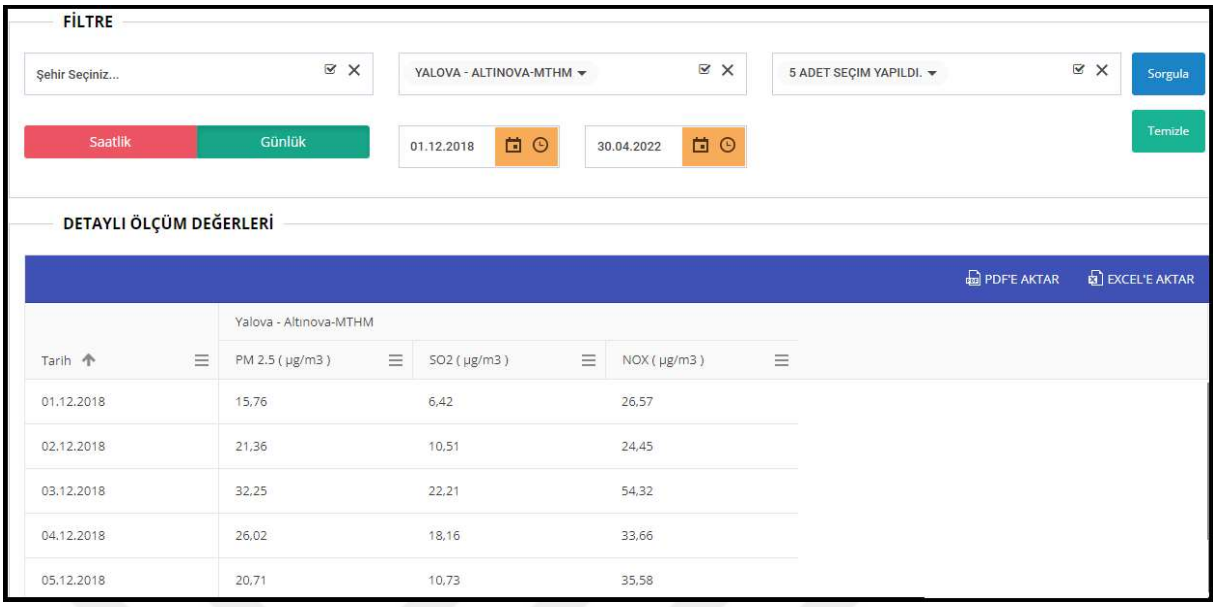
2.4. İzmit Körfezi Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının Verileri

Çalışmanın önemli bir boyutunu da teşkil eden, hesaplaması yapılan egzoz emisyonları ile pratikte izlemesi yapılan hava kirliliği parametreleri arasında bir bağıntı kurulabilip kurulamayacağıdır. Konu ile ilgili hava parametreleri; Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı Ulusal Hava Kalite İzleme Ağı dahilindeki, hava kalitesi izleme istasyonlarından temin edilmiş olup, İzmit körfezi çevresinde, hakim rüzgar karakteristlikleri Tablo 4'deki istatistikler ve Şekil 12'daki bölgeye ait rüzgar gülü göz önüne alınarak; Körfezin güneyinde bulunan Yalova Altınova istasyonu verilerinden SO_2 ($\mu g/m^3$), NO_X ($\mu g/m^3$) ve PM 2.5 ($\mu g/m^3$) konsantrasyonları izlenmektedir (Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı-ÇŞB, 2022).



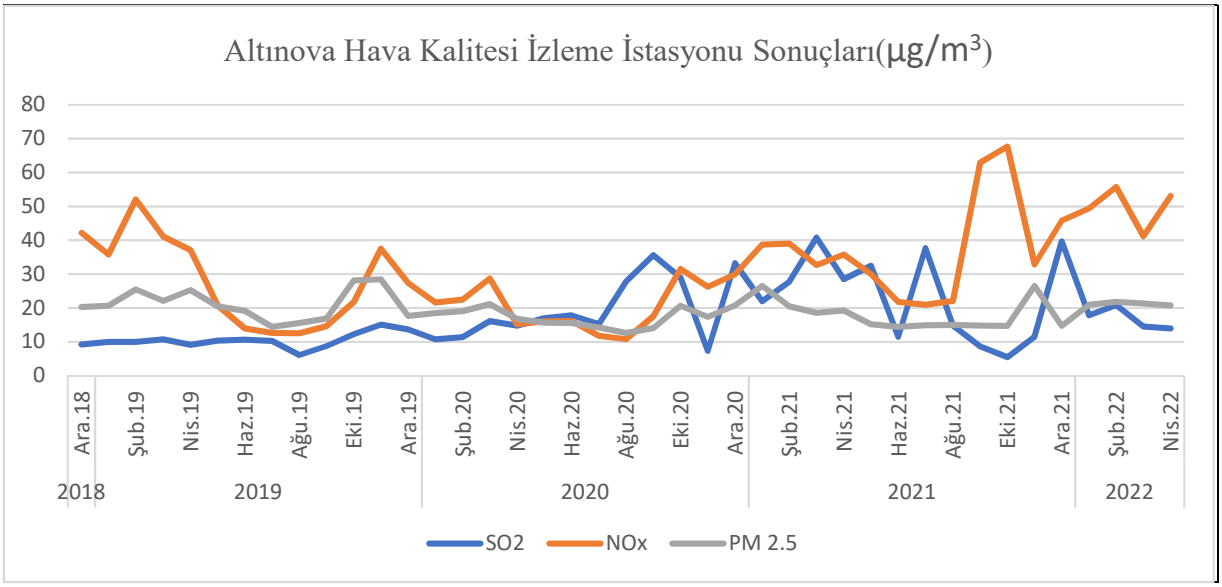
Şekil 9. İzmit Körfezi hava kalitesi izleme istasyonları (ÇSB (2022)'den alınmıştır).

Hava kalitesi izleme istasyonlarından temin edilen veriler Şekil 10'da gösterildiği gibi günlük veriler olarak ilan edilmektedir. Bu veriler, gece ve gündüz zaman dilimi etkenleri, rüzgar, nem, basınç ve anlık çevresel koşullar sebebiyle saatlik ve günlük olarak dramatik değişiklikler gösterebildiğinden çalışmamız için anlamlı sonuç ifade edemeyip, ham halde bulunmaktadır.



Şekil 10. Hava kalitesi izleme istasyonu günlük verileri (ÇSB, 2022'den alınmıştır).

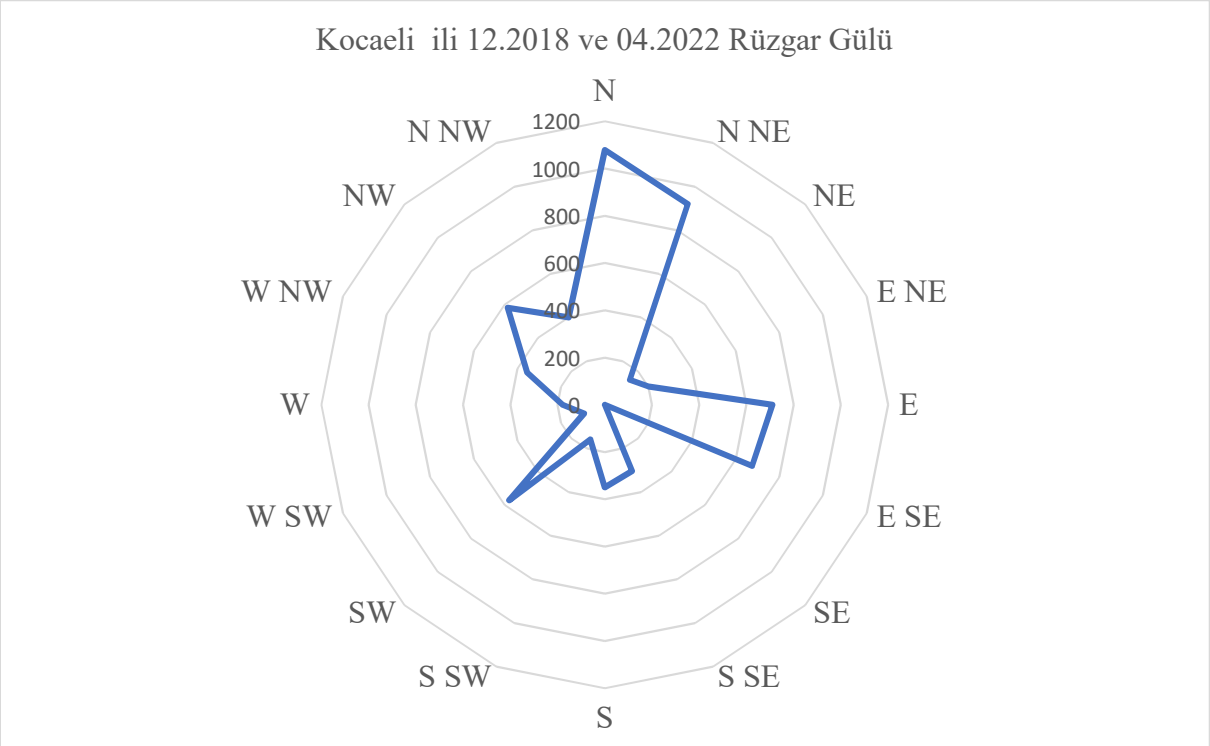
Çalışmada, diğer veriler ile anlamlı hale gelebilmesi için, günlük istasyon verileri, aritmetik ortalaması çıkartılarak aylık hale çevirilmiş bu şekilde daha stabil ve anlamlı hale getirilmiştir. Çıkan bu aylık veriler yan yana getirilerek 41 aylık değişimi gösteren grafikler çıkartılarak gemi hareketiyle bir bağıntı kurulmak istenmiştir.



Şekil 11. Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonu kirletici konsantrasyon grafiği

2.5. Rüzgar İstatistikleri

İzmit Körfezi, bulunduğu Marmara Bölgesi itibariyle, kuzeyli hakim rüzgarların tesiri altındadır. Egzoz emisyon çalışmasının yapıldığı 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasındaki meteorolojik verilerin ilan edildiği, www.rp5.ru rasat portalı, (2023) internet sitesinden alınan ve İzmit Körfezini temsil ettiği değerlendirilen Kocaeli iline ait 9989 adet rüzgar gözleminden derlenen rüzgar istatistikleri incelendiğinde, 41 aylık süre içerisinde; kuzey yönünden 1079 adet, kuzey kuzeydoğu yönünden 920 adet, doğu yönünden 710 adet, doğu güneydoğu yönünden 675 adet, kuzeybatı yönünden 581 adet, güneybatı yönünden 572 adet, kuzey kuzetbatı yönünden 400 adet rüzgar aldığı raporlanmıştır. Bu raporlar üzerinden; İzmit Körfezinde bileşke yönlü kuzey kuzeydoğu rüzgarlarının estiği anlaşılmaktadır.



Şekil 12. Kocaeli İli 12.2018-04.2022 tarihli rüzgar gülü.

Şekil 12'de Kocaeli iline ait 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasındaki rüzgar datalarından oluşturulan rüzgar gülünde, İzmit Körfezi için hakim rüzgar yönünün kuzeyli rüzgarlar olduğu görülmektedir. Rüzgar gülü incelendiğinde; dönemsel olarak doğu güneydoğu (E SE), güney güney doğu (S SE), güney batı (SW) ve kuzey batı (NW), yönünden rüzgarlar

gelebilmekle birlikte, hakim yön; kuzey (N) ile kuzey kuzey doğu (N NE) olarak anlaşılmaktadır.

2.6. Yağmur Suyu Analizleri

Yağmur suları, araştırma yapılan bölgenin hava kompozisyonunu ölçmek için önemli bir bilgi kaynağı olabilmektedir. Gerekli etkileşim analizlerini de dikkate alarak, uygun şartlarda numune alınıp analiz edildiğinde; hava kirliliği analizi için önemli ölçüde veri temin edilebilmektedir (Bodor ve diğerleri, 2001). Bu çalışmada, Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesabı yapılan gemi kaynaklı egzoz emisyonlarının, bölgeden alınan yağmur suyu sonuçları ile ilişkisinin olup olmadığını tespit maksatlı, Şekil 13'de gösterilmekte olan Karamürsel/Kocaeli bölgesinin kıyı şeridinde bulunan lokasyondan, biri 18.02.2020 tarihinde, diğeri 10.03.2020 tarihinde olmak üzere iki adet numune alımı yapılmıştır.

Alınan numunelerin, oksidasyondan kaynaklı yanıltıcı etkiden korunabilmesi adına ilk anda, pH ölçüm kartıyla ölçümü yapılmış olup, akabinde İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstititüsünün laboratuvarlarında incelemiştir.



Şekil 13. İzmit Körfezi yağmur suyu örnek alma noktası (openseamap.org, 2023'den alınmıştır).

2.7. Korelasyon Analizi

İki ya da daha fazla değişken arasındaki doğrusal yada doğrusal olmayan ilişkiyi açıklayan istatistik yöntemine korelasyon analizi denilmektedir. Korelasyon analizleri kullanılma amaçlarına göre; basit korelasyon, çoklu korelasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Büyüköztürk Şener ve diğerleri, 2012). Bu çalışmada; hesaplamaları yapılan azotoksit (NO_x), kükürtoksit (SO_x) ve partikül madde (PM) sonuçlarından her biri ile hava ölçüm istasyonundan ölçümü yapılan ilgili parametrenin birbiriyle ilişkilerini yorumlamak için basit korelasyon yöntemi kullanılacaktır.

Korelasyon analizlerinde; ilişki düzeyini belirleyen, korelasyon katsayısıdır. Bu katsayı 0 (sıfır) çıktığında, iki bağımsız değişken arasında hiçbir ilişki olmadığı, 1 (bir) olduğunda doğrusal yönde pozitif mükemmel bir ilişki olduğu, -1 olduğunda ise doğrusal yönde negatif bir mükemmel ilişki olduğu ortaya çıkmaktadır. Tablo 4'de korelasyon katsayısına göre iki değişkenin ilişki durumu açıklanmaktadır (Tavşancıl Ezel, 2022).

Tablo 4. Korelasyon katsayıları ve açıklamaları

-1,00	Negatif mükemmel ilişki
-(0,71 – 0,99)	Negatif yüksek düzeyde ilişki
-(0,30 – 0,70)	Negatif orta düzeyde ilişki
-(0,01 – 0,29)	Negatif düşük düzeyde ilişki
0,00	İlişki yok
0,01 – 0,29	Düşük düzeyde ilişki
0,30 – 0,70	Orta düzeyde ilişki
0,71 – 0,99	Yüksek düzeyde ilişki
1,00	Mükemmel ilişki

2.8. Covid-19 Pandemisi ve Gemi Hareketlerine Etkisi

Denizciliğin en büyük fonksiyonu; küresel ticari malların transferini, en efektif şekilde sağlayabilmesidir. Bu düzeyde etkileşim kapasitesi bulunan sistemin küresel salgınlarda olumsuz etkilenmesi kaçınılmaz bir durumdur.

2019 yılı Aralık ayında, Çin'in Wuhan Eyaletinde başlayan ve kısa sürede tüm dünyayı etkisi altına alan, kolayca insandan insana geçebilme özelliği bulunan Covid-19 pandemisi insanlık tarihi içersinde çok yıkıcı bir etki bırakmıştır. Pandemi etkisinin azalmaya yüz tuttuğu 23 Kasım 2020'ye kadar dünyada 6.706.305 kişinin ölümüne, 662.735.182 doğrulanmış vaka rakamına ulaşmıştır (March ve diğerleri, 2021).

Ulusal ölçekte, 11 Mart 2020'de ilk vakanın tespit edildiği, 11-12 Nisan 2020'de ilk kısıtlamaların uygulandığı Covid-19 pandemisi sebebiyle; üretim kısmen durmuş, talepte azalma meydana gelmiştir (Öçal, 2022). Bu durum denizcilik sektörünü kısa sürede etkisi altına almıştır. Küresel ve ulusal ölçekte meydana gelen bu etki taşımacılığın bel kemiği olan denizciliği negatif yönlü bir işlem hacmi düşüşüne maruz bırakmıştır (Alnıpak ve Kale, 2021). Tablo 5'de 2019, 2020 ve 2021 yılları çeyrek dilimlerine ait değişimler gösterilmektedir. Covid-19 pandemisi ile ilgili dramatik düşüşler; 2020'nin 2. çeyreğinde ve 2021'in 1. çeyreğinde belirmektedir. Tablo 5'de belirtilen bu değişiklikler sebebiyle Türk denizyolu taşımacılığının Covid-19 pandemisinden etkilendiği anlaşılmaktadır.

Tablo 5. Türkiye denizyolu taşımacılığı yıllara göre değişim (Öçal'dan(2022) alınmıştır).

Denizyolu/İhracat (Dolar)	**2019**	**2020**	**2021**
1. Çeyrek	27.453.448.544	25.904.333.685	29.594.135.276
2. Çeyrek	26.605.325.192	19.043.436.586	32.737.306.10
3. Çeyrek	26.139.795.370	25.272.060.443	33.723.374.278
4. Çeyrek	28.915.694.609	30.688.096.765	37.659.453.796

2.9. Gemi Egzoz Emisyonu Hesaplama Yöntemleri

Gemi egzoz emisyonlarının gündem olmasıyla birlikte, bu emisyonları belirleme arayışları ortaya çıkmış ve o günün koşulları ile yeterli veriler olmaması sebebiyle; genel yaklaşımlar, hesaplama yöntemlerinin temelini oluşturmuştur. Akabinde gemilere ait verilerin daha nitelikli hale gelmesi, 2000 sonrası AIS (Automatic identification systems- otomatik tanımlama sistemleri) cihazlarının belli tonaj ve sefer bölgesine zorunlu kılınması gibi gelişmeler gemi egzoz emisyonlarının daha gerçekci hesaplanmasını sağlamıştır (IMO, 2000). Bu gelişmeler ışığında literatürde, gemi egzoz gazlarının tespiti için iki ana yöntem ortaya çıkmıştır. Bu yöntemler; yukarıdan aşağıya metodu (top-down) ve aşağıdan yukarı(bottom up) metodu olarak tanımlanmaktadır.

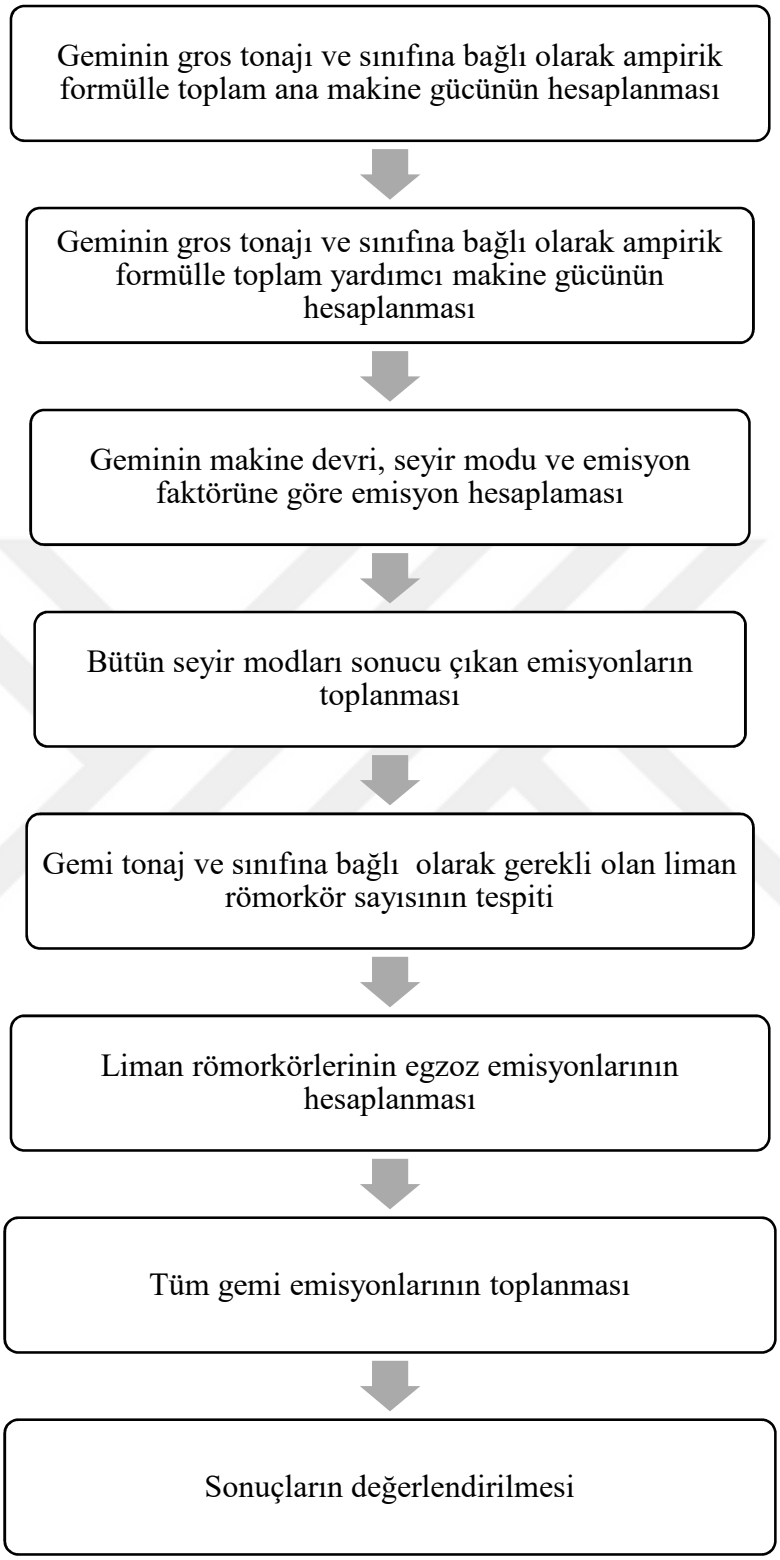
2.9.1. Yukarıdan aşağıya (top-down) metodu

Bu yaklaşım, gemi özellikleri hakkında çok fazla spesifik bilginin olmadığı, filo bazlı hesaplamaların yapılmasını kolaylaştıran ve yakıt tüketimini baz alan, daha genel bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu yaklaşımda deniz yakıtlarının satış raporları, yakıt alımı yapan gemilerin türleri, bu türlere ait yakıt tüketim miktarları ve bu parametlere ait emisyon faktörlerine bağlı hesaplama yapılabilmektedir. Bu yaklaşımın temel parametresi harcanan yakıt ton başına ortaya çıkan emisyondur (Trozzi, 2013).

2.9.2. Aşağıdan yukarıya (bottom-up) metodu

Gemilerin türü, kurulu bulunan ana makine, yardımcı makine ve kazanların; çalışma saatleri, çalışma modlarına bağlı olarak emisyon katsayıları ile çarpılması sonucu oluşan, yukarıdan aşağıya (bottom-up) metodu hali hazırda en spesifik egzoz emisyonu hesaplama metodudur (Entec UK, 2010; Trozzi, 2013). Yukarıdan aşağıya metoduna göre daha detaylı veri ihtiyacı ve hesaplama gereksinimi sebebiyle filo bazlı hesaplamaları zor olmasına rağmen gerçekliğe yakınlığı daha fazladır. Bu yaklaşımın temel birimi; emisyon kütle bölü harcama yapılan enerji saattir (gr/kWh).

Gemi egzoz emisyonlarının hesaplama prosesi gerek Entec gerek Trozzi&Vaccaro metodolojileri için genel itibariyle Şekil 14'de gösterildiği gibi yürütülmektedir. Prosesde ampirik formülü oluşturan; gemi sınıfı ve tonajına göre ana ve yardımcı makine gücü, seyir modu, gereksinime bağlı liman römorkör sayısı ve benzeri girdilerden itibaren, emisyon sonuçlarının kümülatif hesaplanması ve nihai değerlendirilmesine kadar olan kısım özetlenmektedir.



Şekil 14. Gemi egzoz emisyonlarının hesaplanma prosesi.

2.9.2.1. Entec UK emisyon hesaplama yöntemi

Yükselen çevre hassasiyeti, yoğun olarak kullanılan limanlarının da baskısıyla Avrupa Birliği; gemi egzoz emisyonlarının mevcudiyetini tespit etmek ve buna bağlı olarak tedbir geliştirmek maksadıyla 2005 yılında, İngiliz menşeili Entec UK firmasından bir metodoji sistemi talebinde bulunmuştur.

Bu metodolojide, öncesinde de yüzeysel ifade edildiği üzere; gemilerin inşa edildiği yıllar, gemi sınıfları, makine devir özellikleri, seyir modları (seyir, manevra, liman, demir), seyir süreleri, kullandıkları yakıt tipleri ve özellikleri, kullanılan makine yükleri (% cinsinden), yardımcı makine gücü ve yükleri ve bu parametrelere bağlı olarak kirletici katsayılarının çarpılması ile hesaplanmaktadır.Hesaplanan her moda ait değer en sonda toplanarak, sonuç olarak harcanan enerji birim başına kirletici kütle bulunmaktadır (Entec UK, 2010). Formül 2.3'de ayrılıntılı formülasyon verilmektedir.

$$\sum E_{TOPLAM} = \sum E_{SEYİR} + \sum E_{MANEVRA+DEMİR} + \sum E_{LİMAN} \quad (2.2)$$

$$\sum E = t\,[(\sum P_{ME} \times LF_{ME} \times EF_{ME}) + (\sum P_{AE} \times LF_{AE} \times EF_{AE})\,] \quad (2.3)$$

Formül daha fazla açıklanarak (2.4) birimlendirilmiştir.

$$\sum E = t(h) \times (\,(\sum ME(kW) \times LF_{ME}(\%) \times EF_{ME}(g/kWh)) + (\sum AE(kW) \times LF_{AE}(\%) \times EF_{AE}(g/kWh)\,) \quad (2.4)$$

$\sum E$ = Toplam emisyon (g)

t = Time- Süre (saat)

$\sum ME$ = Total main engine power-Toplam ana makine çıkış gücü (kW)

LF_{ME} = Main engine load factor-Seyir moduna göre ana makine yük faktörü (%)

EF_{ME} = Main engine emission factor- Ana makine emisyon katsayısı (g/kWh)

$\sum AE$ = Total auxiliary engine power- Toplam yardımcı makine (kW)

LF_{AE} = Auxiliary engine load factor- Yardımcı makine yük faktörü (%)

EF_{AE} = Auxiliary engine emission factor- Yardımcı makine emisyon katsayısı (g/kWh)

Tablo 6'da Entec firmasınca yapılan gemi sınıfladırması, bu çalışma için genelleştirilmiş ve çalışmada bu sınıflandırma kullanılmıştır.

Tablo 6. Gemi Türleri

Uluslararası Gemi Sınıflandırması	**Türkçe Karşılıkları**
Tanker	Tanker
Bulk Carrier	Dökmeci
Chemical Tanker	Kimyasal Tanker
Container	Konteyner
General Cargo	Genel Kargo
LPG/LNG	LPG/LNG
Passenger	Yolcu
RO RO-RO RO	RO RO
Vehicle Carrier	Araba Gemisi
Other	Diğer Gemiler
Tug/Supply ship	Römorkör ve İkmal Gemisi
Service Tug	Liman Römorkörü

Formülasyondaki bulunan gemilerin ana makine güçlerini ayrı ayrı tespit etmek uzun soluklu çalışmalar için pek mümkün olamaması sebebiyle bu çalışmada Tablo 7'de belirtilen Trozzi metodolojisinde kullanılan; gemi tipi ve gros tonajına bağlı hesaplanan ampirik formül kullanılmıştır.

Tablo 7. Gros tonoja göre ana makine gücü hesaplama tablosu.

Gemi Tipi	**2010 ve Sonrası**	**2010 Öncesi**
Tam Konteyner	2,9165*GT^0,8719	1,3284*GT^0,9303
RO RO/Yolcu Gemisi	9,55078*GT^0,7570	1,39129*GT^0,9222
RO RO Gemisi	164,578*GT^0,4350	35,93*GT^0,5885

Tanker	14,755*GT^0,6082	29,821*GT^0,5552
LPG/LNG	14,755*GT^0,6082	29,821*GT^0,5552
Kuruyük	5,56482*GT^0,7425	10,539*GT^0,6760
Konteyner	2,9165*GT^0,8719	1,3284*GT^0,9303
Kimyasal	14,755*GT^0,6082	29,821*GT^0,5552
Dökmeci	35,912*GT^0,5276	89,571*GT^0,4446
İkmal/Römörkör/Arama Kurtarma	59,049*GT^0,5485	44,324*GT^0,5300

Şekil 15'de gros tonaja bağlı, gemilerin türlerine göre, ana makine gücü hesaplama tablosu verilmektedir. Şekilde gösterilen ampirik formüller, Tablo 7'da belirtilen formüllerdir.

		GROS TONOJA GÖRE MAKİNE GÜÇLERİ (ME) (kW)							
Açık Formül (Makine Gücü)	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000
14,755*GT^0,6082	Barge	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
14,755*GT^0,6082	Bulk / Oil	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
35,912*GT^0,5276	Bulk Carrier	953,27	2.228,40	3.978,52	5.735,16	7.509,18	8.967,88	10.824,71	11.917,69
59,049*GT^0,5485	Cable Ship	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
35,912*GT^0,5276	Cement Carrier	953,27	2.228,40	3.978,52	5.735,16	7.509,18	8.967,88	10.824,71	11.917,69
14,755*GT^0,6082	Chemical Tanker	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
2,9165*GT^0,8719	Container	657,80	2.676,25	6.974,74	12.764,27	19.926,26	26.719,90	36.466,49	42.749,60
59,049*GT^0,5485	Dredger	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Ferry	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
9,75891*GT^0,7527	Fishing Ship	1.049,34	3.523,96	8.056,75	13.575,17	19.940,26	25.687,47	33.598,20	38.540,36
59,049*GT^0,5485	Floating Crane	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
5,56482*GT^0,7425	General Cargo	561,61	1.855,33	4.194,54	7.017,77	10.254,67	13.165,02	17.156,80	19.643,93
59,049*GT^0,5485	Heavy lift	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
183.18*GT^0.4028	High Speed Craft	2.238,84	4.281,23	6.664,27	8.810,64	10.823,51	12.394,49	14.309,46	15.399,88
59,049*GT^0,5485	L.N.G.	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	L.P.G.	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Livestock Carrier	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Navy Ship	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Ore / Oil	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Ore Carrrier	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	OTHER	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Passenger	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
164,578*GT^0,4350	Passenger /Ro-Ro	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
59,049*GT^0,5485	Reefer Carrier	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Research Ship	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Ro Ro	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
54,2171*GT^0,6420	Salvage Tug	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
54,2171*GT^0,6420	Supply Ship	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
14,755*GT^0,6082	Tanker	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
164,578*GT^0,4350	Training Ship	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
54,2171*GT^0,6420	Tug	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
59,049*GT^0,5485	Unknown	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Vehicle Carrier	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
59,049*GT^0,5485	WARSHIP	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
35,912*GT^0,5276	Waste Ship	953,27	2.228,40	3.978,52	5.735,16	7.509,18	8.967,88	10.824,71	11.917,69
59,049*GT^0,5485	Wig In Ground	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01

Şekil 15. Gemilerin gros tonaja bağlı ana makine gücü hesaplama tablosu.

Formülasyondaki diğer bir çarpan olarak, yardımcı makine gücü gerekmektedir. Bu güç miktarının tespiti için Trozzi metodolojisinde kullanılan, gemi sınıfı ve ana makineye oranlama yapılarak sonuca ulaşıbilmektedir (Trozzi, 2013). Tablo 8'de ilgili değerler verilmektedir.

Tablo 8. Gemi yardımcı makinelerini, ana makineye göre oranlama.

Gemi Tipi	**Yardımcı Makine/Ana Makine Oranı**
Tam Konteyner	0,25
RO RO/Yolcu Gemisi	0,16
RO RO Gemisi	0,24
Tanker	0,3
LPG/LNG	0,3
Kuruyük	0,23
Konteyner	0,25
Kimyasal	0,3
Dökmeci	0,3
İkmal/Römörkör/Arama Kurtarma	0,35

Gemilerde kurulu bulunan ve sevk sistemi için hareket enejisi sağlayan ana makineler çeşitli sınıflandırmalara tabi tutulurlar. Hali hazırda en yaygın kullanılan dizel yakıtlı içten yanmalı makineler, olduğu için bu çalışmada da ana makineler dizel yakıtlılar olarak ele alınmaktadır. Bu yakıt sistemine sahip dizel makineler; genel olarak çevrim başına yaptığı iş olarak ikiye ayrılmaktadır (Küçükşahin, 2008). İlki, bir çevrimi iki zamandan oluşan ve iki zamanda bir iş üreten, iki zamanlı makinelerdir. İkincisi ise bir çevrimi dört zamandan oluşan ve dört zamanda bir iş üreten dört zamanlı makinelerdir. İki zamanlı dizel makineler; Tablo 9'da görüldüğü üzere, düşük devirli dizel olarak adlandırılan, dakikada 300 den az devir yapan ve genel itibariyle 7.000 gros ton üzeri hacime sahip çok fazla hız gerektirmeyen; tanker kuru yük, dökmeci ve genel kargo tip gemilerde kullanılmaktadır.

Orta devirli dizel makineler, dakikada ortalama 300 ila 1000 devir arasında çalışan, hacimsel olarak orta büyüklüğe sahip ve hız unsuru önem arzeden; roro ve konteyner tip gemilerde kullanılmaktadır.

Yüksek devirli dizel makineler; dakikada ortalama 1000 devir üzerinde çalışan ve tonaj olarak düşük grosa sahip, diğer büyük gemilere göre, çok fazla makine gücü gerektirmeyen, hız kabiliyeti sağlayan gemilerde kullanılmaktadır.

Tablo 9. Ana makine tipi ve devirleri.

Ana Makine Devri	**Devir Sayısı (n), rpm**	**Ana Makine Özellikleri**
Düşük Devirli - SSD	n<300	İki zamanlı dizel makinesi
Orta Devirli - MSD	300<n<1000	Dört zamanlı dizel makinesi
Yüksek Devirli - HSD	n>1000	Dört zamanlı dizel makinesi, Buhar – Gaz Türbini

Formülasyonun diğer bir çarpanıda gemi işletme modu ve makine devir türüne göre ilgili emisyon çarpanıdır. Tablo 10'da seyir işletme moduna bağlı emisyon çarpanı verilmiştir. Bu çalışmada NO_x emisyon çarpanı, 2000 öncesi ve 2000 sonrası makine değerlerinin ortalaması şeklinde alınmıştır. Birimlendirme gr/kWh olarak yapılmıştır (Entec UK, 2010).

Tablo 10. Entec metoduna göre seyir durumunda kirletici madde katsayıları.

İşletme modu	**Tip**	**NOxort**	**SO2**	**CO2**	**VOC**	**PM**	**CO**
Seyir	Düşük Devirli - SSD	16,00	5,60	588	0,60	0,30	0,54
Seyir	Orta Devirli - MSD	12,40	6,20	645	0,50	0,40	0,54
Seyir	Yüksek Devirli - HSD	11,30	6,20	645	0,20	0,40	0,54

Gemiler yanaşma-kalkış manevraları yaparken, limanda bağlı durumdayken, açıkta alarga (demir) beklemesindeyken makine devirleri ve yükleri yukarıda (seyir) ki durumunun haricinde bir emisyon katsayısı oluşturular. Tablo 11'de gemi ana makine ve devir türlerine

göre; manevra, liman ve alarga (demir) durumunda ortaya çıkan emisyonları verilmektedir (Entec UK, 2010).

Tablo 11. Entec metoduna göre manevra-liman durumunda kirletici madde katsayıları.

İşletme Modu	**Tip**	**$NO_{X\ Ort.}$**	**SO_x**	**CO_2**	**VOC**	**PM**	**CO**
Manevra - Liman	Düşük Devirli - SSD	12,8	6,2	647	1,8	1,2	0,54
Manevra - Liman	Orta Devirli - MSD	9,9	6,8	710	1,5	1,2	0,54
Manevra - Liman	Yüksek Devirli - HSD	9	6,8	710	0,6	1,2	0,54

Entec formülasyonunda kullanılan diğer bir çarpanda, Tablo 12'de gösterilen, yardımcı makine kirletici emisyon katsayısıdır. Bu kirletici katsayıları Entec 2010 çalışmasından alınmıştır. Seyir, manevra, demir ve liman modları için ortalama katsayı alınmıştır (Entec UK, 2010).

Tablo 12. Entec metoduna göre yardımcı makine kirletici madde katsayıları.

Makine Sınıfı	**NOxort**	**SOx**	**CO_2**	**VOC**	**PM**	**CO**
Yardımcı Makine	13,00	6,50	690	0,40	0,40	0,54

Tablo 13'de Entec metoduna, gemi ana makine ve yardımcı makinelerinin her bir işletme modu için ayrı ayrı yük oranları verilmiştir. Bu oran ana makineler için manevrada %30, liman ve demirleme modunda %0, seyir modunda %80 olarak ele alınmıştır. Yardımcı makineler için ise, manevra modunda %80, liman modunda %50 ve seyir modunda %50 şeklinde alınmış olup, tanker tipi gemilerde yükün hassasiyetine bağlı olarak bu oran manevra ve liman modunda %60 olarak ele alınmıştır.

Tablo 13. Entec metoduna göre ana ve yardımcı makinelerin yük oranları.

İşletme Modu	Ana Makine Yükü	Yardımcı Makine Yükü		
Manevrada	0,3	0,8	Tanker için	0,6
Limanda	0,0	0,5	Tanker için	0,6
Seyirde	0,8	0,5		

2.9.2.2 Trozzi&Vaccaro emisyon hesaplama metodu

İlk olarak 1998 yılında yukarıdan aşağıya metodunun temelini oluşturan ve Carlo Trozzi ile Rita Vaccaro tarafından formülasyonu yapılan bu metot, yakıt satış miktarlarından istifade ederek, gemilerin yakıt tüketim değerleri ve emisyon faktörleri üzerine bina edilmiştir (Trozzi ve Vaccaro, 2000). Filo ve bölge bazlı ölçek hesaplamaları için daha kullanışlı olan Trozzi&Vaccaro metodu zamanla revize edilerek katsayılar güncellenmiş, devamında gerek gemilerin izlenmesini sağlayan AIS cihazlarının tüm gemilere donatılması, gerek uydu takip sistemlerinin daha kullanılır olmasıyla, yakıt tüketim odaklı hesaplamaların yanında gemi hareketlerini baz alan yaklaşımda formül opsiyonunu içerisine alınmıştır.

Bu çalışmada Trozzi'nin Avrupa Çevre Ajansı (EEA-European Environment Agency) Avrupa Görüntüleme ve Değerlendirme Programı (EMEP-European Monitoring and Evaluation Programme) kapsamında hava kirliliği emisyon envanteri rehberinde kullandığı, gemi hareket metodolojisi formülasyonunu kullanacağız (Trozzi, 2013).

$$E_{i,m} = \sum_{b}\sum_{e}\sum_{z}\left(N_{b,e,z} \times T_{b,e,z} \times P_{b,e,z} \times LF_{b,e,z} \times EF_{b,e,z}\right) \quad (2.5)$$

E = Emisyon(ton)

N = Gemi sayısı

T = Ortalama seyir süresi (hours/vessel)

P = Makine gücü (kW)

LF = Makine yük faktörü (%)

EF = Emisyon faktörü (g/kWh)

b = Gemi tipi

e = Makine tipi (2 zamanlı, 4 zamanlı orta devir, 4 zamanlı yüksek devir)

i = kirletici (NMVOC, NH3, NOx, PM) yada yakıt tüketimi

m = yakıt tipi (dizel, fuel oil)

z = teknoloji katmanı

Tablo 14. Trozzi&Vaccaro metoduna göre makine yük oranları.

İşletme Modu	Ana Makine Yükü	Yardımcı Makine Yükü		
Manevrada	0,2	0,5	Tanker	0,6
Limanda	0,2	0,4	Tanker	0,6
Seyirde	0,8	0,3		

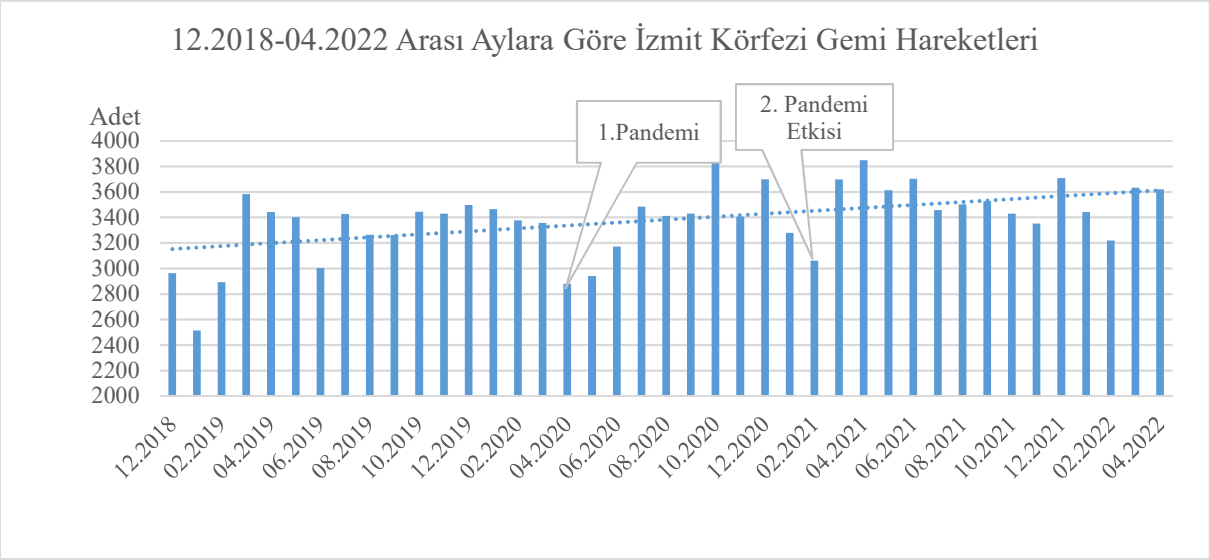
Trozzi&Vaccaro metodunda ana makine yük oranı; manevrada %20, liman fazında %20, seyir fazında ise %80 olarak alınmaktadır. Yardımcı makinelerde ise yük oranı; manevrada %50, limanda %40, seyirde %30'dur. Tanker sınıfında istisna olarak bu yük oranı manevra ve liman fazında %60 olarak alınmaktadır. Bu çalışmada hesaplama yapılırken bölgenin kendine mahsus şartları göz önünde tutulmuştur. İzmit Körfezi gemicilik faaliyetleri genel itibariyle limanlama ve demirde bekleme oranlarının seyir fazından daha fazla olduğu bir alandır. Bu sebeple Trozzi ve Vaccaro metoduyla hesaplama yapılırken, Tablo 14'de verilen liman modu ana makine yük oranı 0,2 olarak alındığında toplam sonuçlar, olması gereken sonuçlardan yaklaşık 50 kat fazla çıkmakta, bu durum da hesaplama sonuçlarının gerçeklik katsayısını düşürmektedir. Yukarıda açıklaması yapılan sebeplerden dolayı, Trozzi ve Vaccaro metodu ile yapılan hesaplamanın liman modunda ana makine yük oranı Entec modunda kabul edilen şekliyle 0,0 alınmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Aylara Göre Gemi Hareketleri

İzmit Körfezi deniz sahası sınırları içerisinde, 01 Aralık 2018 ve 30 Nisan 2022 tarihleri arasındaki dönemde, askeri gemiler, yerel trafik ve liman römorkörleri haricinde, 150 gros ton ve üzeri, gemi trafik hizmetlerine rapor edilen; aylık ortalama 3.400 adet, yıllık ortalama 40.000 adet ve toplamda 138.492 adet; gemi girişi, çıkışı, alargada (demirleme) bekleme, körfez içi limandan limana hareket ve limanlamadan oluşan faaliyet gerçekleşmiştir. İzmit Körfezindeki, aylara göre, gemi hareketleri Şekil 16'da gösterilmiştir.

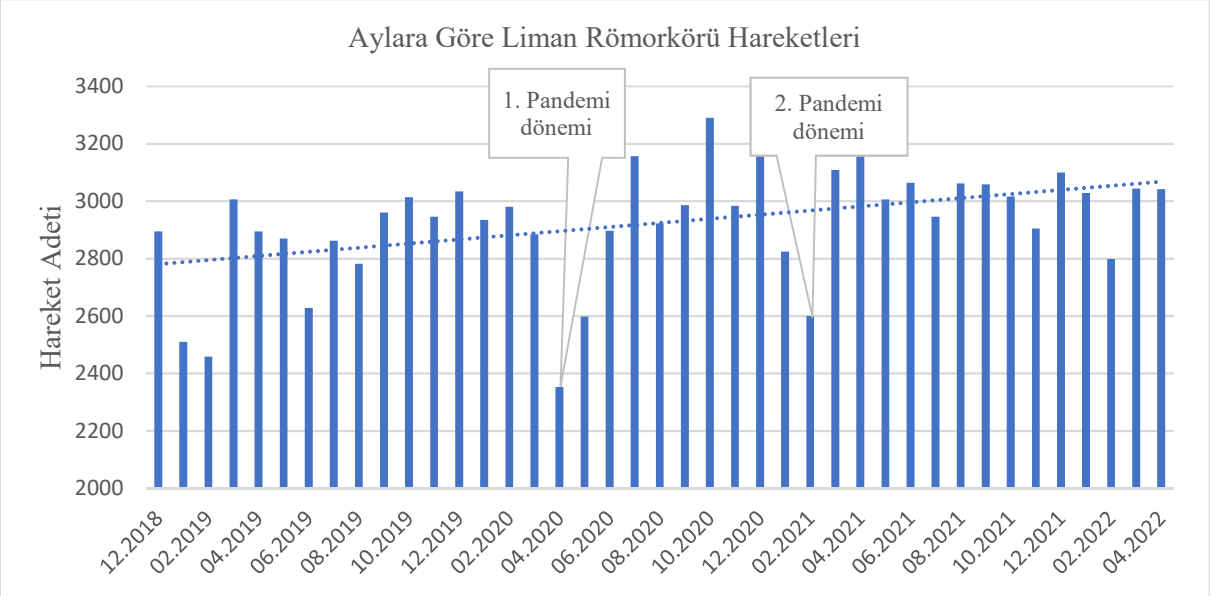
Gemi hareketlerinde mevsimsel dalgalanmalar ile birlikte, Tablo 5'de bahsi geçen Covid-19 pandemisine bağlı, Nisan 2020 ve Şubat 2021'de belirgin iki dönemden oluşan, gemi hareketlerinde azalmalar gözükmektedir. Bununla birlikte genel itibariyle zamana bağlı olarak, yukarı doğru artış trendi gözlenmektedir.



Şekil 16. Aylara göre gemi hareketlerinin sayısı.

3.2. Aylara Göre Liman Römorkör Hareketleri ve Egzoz Emisyon Sonuçları

İzmit Körfezinde, Şekil 16'da gösterilen gemi hareketlerine bağlı olarak, limanlar yönetmeliğinde belirtilen zorunluluk sebebiyle, gemi yanaştırma ve kaldırma maksatlı, ayda ortalama 2.900 adet, yılda ortalama 35.000 olmak üzere 01 Aralık 2018 ve 30 Nisan 2022 tarihleri arasında 119.902 adet liman römorkör faaliyetinin gerçekleştiği hesaplanmıştır. Şekil 17'de aylara göre liman römorkörü hareketleri gösterilmiştir. Şekil 16'da gösterilen gemi hareketleri ile senkron bir şekilde, Covid-19 pandemisine bağlı, Nisan 2020 ve Şubat 2021'de belirgin iki dönemden oluşan liman römorkör hareketlerinde azalmalar gözükmektedir. Bununla birlikte liman römorkör hareketlerinde genel itibariyle yukarı yönlü bir artış gözlenmektedir.



Şekil 17. Aylara göre liman römorkörlerinin hareket dağılımı.

3.2.1. Entec metoduna göre liman römorkörü egzoz emisyon sonuçları

Tablo 15'de, 01.12.2018 ve 31.12. 2020 tarihleri arasında İzmit Körfezinde gerçekleşen 25 aylık, liman römorkörü kaynaklı egzoz emisyonlarının, Entec metoduna göre hesaplanmış sonuçları gösterilmektedir. Başlangıç tarihi; İzmit Körfezinde Gemi Trafik Hizmetleri Merkezinin kurulup verilerin nitelikli şekilde tutulma tarihi 01.12.2018 olması sebebiyle seçilmiştir. Karbondioksit (CO_2), azotoksit (NO_X), kükürtoksit (SO_X), partikül madde (PM),

uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO), ve toplam emisyon hesaplanarak gösterilmiştir.

Tablo 15. 12.2018-12.2020 tarihleri arasında Entec metoduna göre liman römorkör emisyonları.

Tarih	CO_2 ton	NO_X ton	SO_X ton	PM ton	VOC ton	CO ton	Toplam Emisyon (ton)
12.2018	2.733,27	44,74	24,55	1,584	0,79	2,138	2.807,06
01.2019	2.370,59	38,80	21,29	1,373	0,69	1,854	2.434,60
02.2019	2.321,48	38,00	20,85	1,345	0,67	1,816	2.384,16
03.2019	2.839,05	46,47	25,50	1,645	0,82	2,221	2.915,70
04.2019	2.733,27	44,74	24,55	1,584	0,79	2,138	2.807,06
05.2019	2.710,60	44,37	24,34	1,570	0,79	2,120	2.783,78
06.2019	2.482,04	40,62	22,29	1,438	0,72	1,941	2.549,05
07.2019	2.669,04	43,69	23,97	1,546	0,77	1,546	2.741,11
08.2019	2.627,49	43,01	23,60	1,522	0,76	2,055	2.698,43
09.2019	2.795,60	45,76	25,11	1,620	0,81	2,187	2.871,08
10.2019	2.846,60	46,59	25,56	1,649	0,82	2,227	2.923,46
11.2019	2.782,38	45,54	24,99	1,612	0,81	2,176	2.857,50
12.2019	2.865,49	46,90	25,73	1,660	0,83	2,241	2.942,86
01.2020	2.771,05	45,35	24,89	1,605	0,80	2,167	2.845,86
02.2020	2.814,49	46,07	25,28	1,631	0,82	2,201	2.890,48
03.2020	2.723,82	44,58	24,46	1,578	0,79	2,130	2.797,36
04.2020	2.221,37	36,36	19,95	1,287	0,64	1,737	2.281,34
05.2020	2.453,71	40,16	22,04	1,422	0,71	1,919	2.519,95
06.2020	2.735,16	44,77	24,56	1,585	0,79	2,139	2.809,00
07.2020	2.980,72	48,79	26,77	1,727	0,86	2,331	3.061,19
08.2020	2.759,71	45,17	24,78	1,599	0,80	2,159	2.834,22
09.2020	2.820,16	46,16	25,33	1,634	0,82	2,206	2.896,30
10.2020	3.107,27	50,86	27,90	1,800	0,90	2,430	3.191,17
11.2020	2.818,27	46,13	25,31	1,633	0,82	2,204	2.894,36
12.2020	3.026,05	49,53	27,18	1,753	0,88	2,367	3.107,75

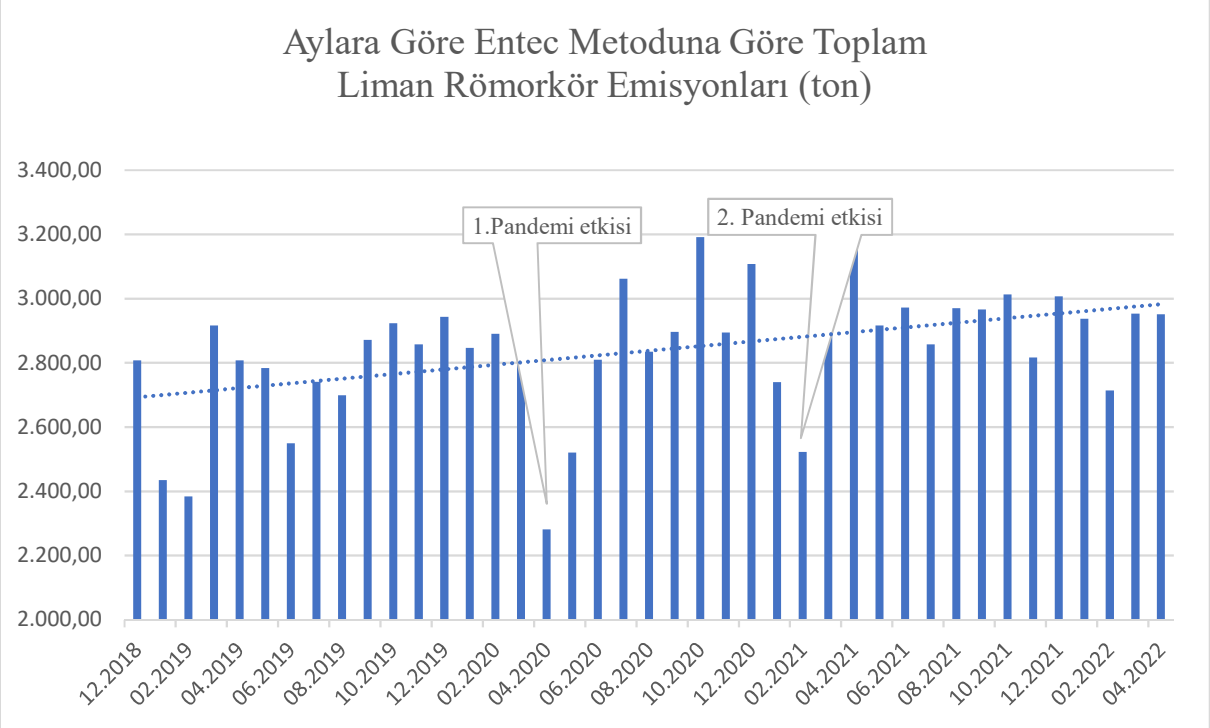
Tablo 16'da 01.01.2021 ve 30.04.2022 tarihleri arasında İzmit Körfezinde meydana gelen, 16 aylık liman römorkörü egzoz emisyonunun Entec metodu ile hesaplanmış sonuçları gösterilmektedir. Bu dönemde lineer bir şekilde artış gözlenmektedir.

Tablo 16. 12.2021-04.2022 tarihleri arasında Entec metoduna göre liman römorkör emisyonları.

Tarih	**CO_2 ton**	**NO_X ton**	**SO_X ton**	**PM ton**	**VOC ton**	**CO ton**	**Toplam Emisyon (ton)**
01.2021	2.667,16	43,65	23,95	1,545	0,77	2,086	2.739,17
02.2021	2.455,60	40,19	22,05	1,423	0,71	1,921	2.521,89
03.2021	2.935,38	48,04	26,36	1,701	0,85	2,296	3.014,63
04.2021	3.077,05	50,36	27,63	1,783	0,89	2,407	3.160,13
05.2021	2.839,05	46,47	25,50	1,645	0,82	2,221	2.915,70
06.2021	2.893,83	47,36	25,99	1,677	0,84	2,263	2.971,96
07.2021	2.782,38	45,54	24,99	1,612	0,81	2,176	2.857,50
08.2021	2.891,94	47,33	25,97	1,676	0,84	2,262	2.970,02
09.2021	2.888,16	47,27	25,94	1,673	0,84	2,259	2.966,14
10.2021	2.933,49	48,01	26,34	1,700	0,85	2,294	3.012,69
11.2021	2.742,71	44,89	24,63	1,589	0,79	2,145	2.816,76
12.2021	2.927,83	47,92	26,29	1,696	0,85	2,290	3.006,87
01.2022	2.859,82	46,81	25,68	1,657	0,83	2,237	2.937,04
02.2022	2.642,60	43,25	23,73	1,531	0,77	2,067	2.713,95
03.2022	2.874,94	47,06	25,82	1,666	0,83	2,249	2.952,56
04.2022	2.873,05	47,02	25,80	1,665	0,83	2,247	2.950,62

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında Entec metoduna göre aylık ortalama 2.900 yıllık ortalama 35.000, 41 ayın tamamında 119.902 hareket sonucunda;

CO_2 113.293,64 ton, NO_x 1.854,33 ton, SOx 1.017,42 ton, PM 65,640 ton, VOC 32,82 ton, CO 88,073 olmak üzere toplamda 116.352,46 ton liman römorkörü kaynaklı egzoz emisyonunun salınım yapıldığı hesaplanmıştır. Şekil 18'de aylara göre yayılmış şekilde gösterilmektedir.



Şekil 18. Aralık 2018-Nisan 2022 arası Entec metoduna göre toplam liman römorkör emisyonları.

3.2.2. Trozzi&Vaccaro metoduna göre liman römorkörü egzoz emisyon sonuçları

Tablo 17'de, 01.12.2018 ve 31.12. 2020 tarihleri arasında İzmit Körfezinde gerçekleşen 25 aylık, liman römorkör kaynaklı egzoz emisyonlarının, Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplanmış sonuçları gösterilmektedir. Başlangıç tarihi; İzmit Körfezinde Gemi Trafik Hizmetleri Merkezinin kurulup verilerin nitelikli şekilde tutulma tarihi 10.12.2018 olması sebebiyle seçilmiştir. Karbondioksit (CO_2), azotoksit (NO_X), kükürtoksit (SO_X), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO), ve toplam emisyon hesaplanarak gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde dalgalanmalar ile birlikte yukarı doğru artış gözlenmektedir.

Tablo 17. 12.2018-12.2020 tarihleri arasında Trozzi&Vaccaro metoduna göre liman römorkör emisyonları.

Tarih	CO2 ton	NOX ton	SOX ton	PM ton	VOC ton	CO ton	Toplam Emisyon (ton)
12.2018	2.661,38	44,74	24,55	1,584	0,79	2,138	2.735,18
01.2019	2.308,25	38,80	21,29	1,373	0,69	1,854	2.372,25
02.2019	2.260,43	38,00	20,85	1,345	0,67	1,816	2.323,10
03.2019	2.764,38	46,47	25,50	1,645	0,82	2,221	2.841,03
04.2019	2.661,38	44,74	24,55	1,584	0,79	2,138	2.735,18
05.2019	2.639,31	44,37	24,34	1,570	0,79	2,120	2.712,49
06.2019	2.416,76	40,62	22,29	1,438	0,72	1,941	2.483,77
07.2019	2.598,85	43,69	23,97	1,546	0,77	2,088	2.670,91
08.2019	2.558,38	43,01	23,60	1,522	0,76	2,055	2.629,32
09.2019	2.722,08	45,76	25,11	1,620	0,81	2,187	2.797,55
10.2019	2.771,73	46,59	25,56	1,649	0,82	2,227	2.848,59
11.2019	2.709,20	45,54	24,99	1,612	0,81	2,176	2.784,32
12.2019	2.790,13	46,90	25,73	1,660	0,83	2,241	2.867,49
01.2020	2.698,17	45,35	24,89	1,605	0,80	2,167	2.772,98
02.2020	2.740,47	46,07	25,28	1,631	0,82	2,201	2.816,46
03.2020	2.652,18	44,58	24,46	1,578	0,79	2,130	2.725,72
04.2020	2.162,95	36,36	19,95	1,287	0,64	1,737	2.222,92
05.2020	2.389,17	40,16	22,04	1,422	0,71	1,919	2.455,42
06.2020	2.663,22	44,77	24,56	1,585	0,79	2,139	2.737,07
07.2020	2.902,32	48,79	26,77	1,727	0,86	2,331	2.982,80
08.2020	2.687,13	45,17	24,78	1,599	0,80	2,159	2.761,64
09.2020	2.745,99	46,16	25,33	1,634	0,82	2,206	2.822,13
10.2020	3.025,55	50,86	27,90	1,800	0,90	2,430	3.109,44
11.2020	2.744,15	46,13	25,31	1,633	0,82	2,204	2.820,24
12.2020	2.946,46	49,53	27,18	1,753	0,88	2,367	3.028,16

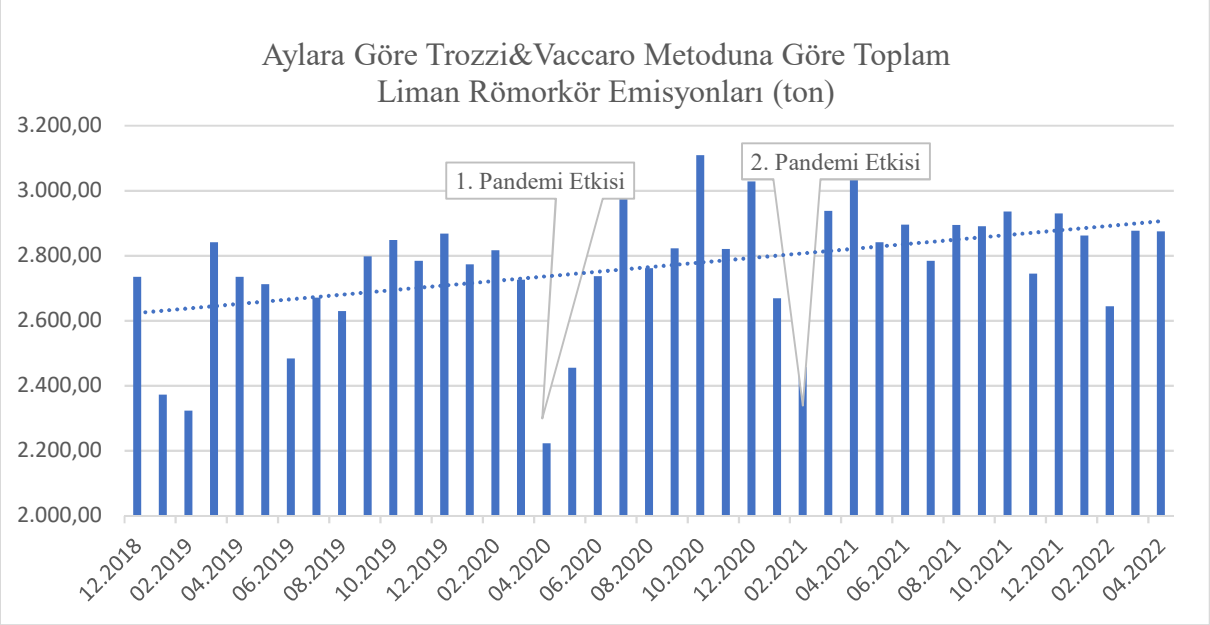
Tablo 18'de 01.01.2021 ve 30.04.2022 tarihleri arasında İzmit Körfezinde meydana gelen, 16 aylık liman römorkörü egzoz emisyonunun Trozzi&Vaccaro metodu ile hesaplanmış sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 18. 12.2021-04.2022 tarihleri arasında Trozzi&Vaccaro metoduna göre liman römorkör emisyonları.

Tarih	**CO2 (ton)**	**NOX (ton)**	**SOX (ton)**	**PM (ton)**	**VOC (ton)**	**CO (ton)**	**Toplam Emisyon (ton)**
01.2021	2.597,01	43,65	23,95	1,545	0,77	2,086	2.669,02
02.2021	2.391,01	40,19	22,05	1,423	0,71	1,921	2.457,31
03.2021	2.858,18	48,04	26,36	1,701	0,85	2,296	2.937,43
04.2021	2.996,12	50,36	27,63	1,783	0,89	2,407	3.079,20
05.2021	2.764,38	46,47	25,50	1,645	0,82	2,221	2.841,03
06.2021	2.817,72	47,36	25,99	1,677	0,84	2,263	2.895,85
07.2021	2.709,20	45,54	24,99	1,612	0,81	2,176	2.784,32
08.2021	2.815,88	47,33	25,97	1,676	0,84	2,262	2.893,96
09.2021	2.812,20	47,27	25,94	1,673	0,84	2,259	2.890,18
10.2021	2.856,34	48,01	26,34	1,700	0,85	2,294	2.935,54
11.2021	2.670,58	44,89	24,63	1,589	0,79	2,145	2.744,63
12.2021	2.850,82	47,92	26,29	1,696	0,85	2,290	2.929,87
01.2022	2.784,61	46,81	25,68	1,657	0,83	2,237	2.861,82
02.2022	2.573,10	43,25	23,73	1,531	0,77	2,067	2.644,44
03.2022	2.799,32	47,06	25,82	1,666	0,83	2,249	2.876,94
04.2022	2.797,48	47,02	25,80	1,665	0,83	2,247	2.875,05

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında Trozzi&Vaccaro metoduna göre aylık ortalama 2.900 yıllık ortalama 35.000, 41 ayın tamamında 119.902 hareket sonucunda; CO2 110.313,94 ton, NOx 1.854,33 ton, SOx 1.017,42 ton, PM 65,640 ton, VOC

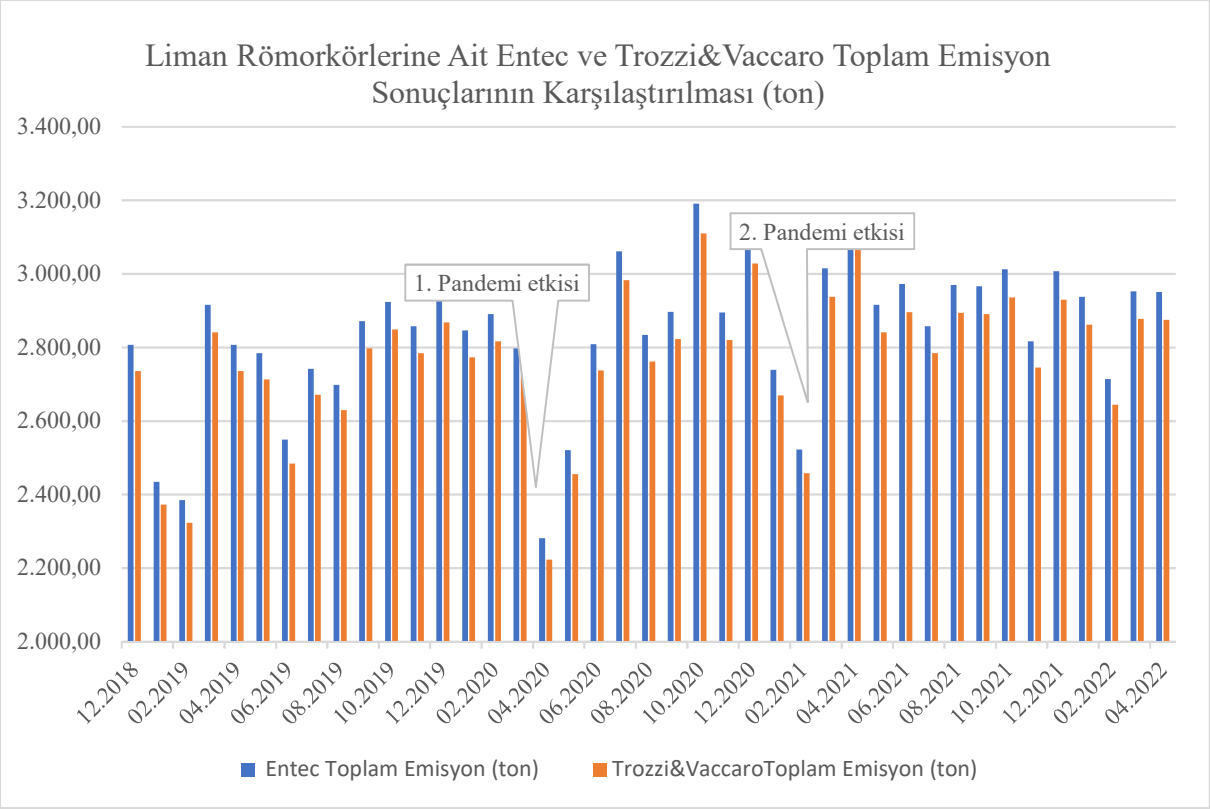
32,82 ton, CO 88,61 olmak üzere toplamda 113.372,76 ton liman römorkörü kaynaklı egzoz emisyonunun salınım yapıldığı hesaplanmıştır. Yıllara bağlı olarak genel itibariyle artış gözlenmektedir.



Şekil 19. Aralık 2018-Nisan 2022 arası Trozzi&Vaccaro metoduna göre toplam liman römorkör emisyonları.

3.2.3. Liman Römorkörlerine ait Entec ve Trozzi&Vaccaro egzoz emisyon sonuçlarının karşılaştırılması

Entec ve Trozzi&Vaccaro metodlarına ait hesaplamaların sonuçlarında, her iki formülasyonda çarpan olarak bulunan; ana makine ve yardımcı makine yük oranlarının farklı alınması sebebiyle birbirinden farklı sonuçlar çıkmaktadır. Bu sonuçlar belli bir ölçeğe kadar kayda değer olmamakla birlikte; 100.000,00 ton ve üstü mertebesindeki ölçeklerde belirginleşmektedir. Şekil 20'de verilen Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplanmış liman romörkör sonuçları bu durumun somut bir örneğidir. Bu örnekte; Entec metoduna göre 41 aylık liman römorkörü toplam emisyon hesaplaması 116.352,46 ton, Trozzi&Vaccaro metoduna göre 113.372,76 ton bulunmuştur. Bu iki metodolojinin toplam emisyonları arasında %2,5'luk fark olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla bölgesel ve kısa süreli liman römorkör hesaplamalarında iki metot için belirgin fark bulunmamaktadır.



Şekil 20. Liman römorkörlerine ait Entec ve Trozzi&Vaccaro toplam emisyon sonuçlarının karşılaştırılması (ton).

3.3. İzmit Körfezi Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarının Verileri

İzmit körfezinde, muhtelif lokasyonlarda bulunan ve hava kalitesi izleme görevi yapan istasyonlardan; hakim rüzgar yönü, diğer istasyonlara nazaran en uygun lokasyonda bulunması ve benzeri nedenler dikkate alınarak körfezin güney yönü, orta kesiminde bulunan, Yalova şehri dahilindeki Altınova istasyonunun verileri, çalışma için baz alınıp, ham veriler işlenerek yorumlanabilir hale getirilmiştir. Tablo 19'da Aralık 2018 ve Nisan 2022 tarihleri arasında ölçümü yapılan; Azotoksit (NO_x), kükürt dioksit (SO_x) ve partikül madde (PM 2.5), miligram/metreküp (µg/m3) birimiyle 41 ayı kapsayacak şekilde verilmiştir.

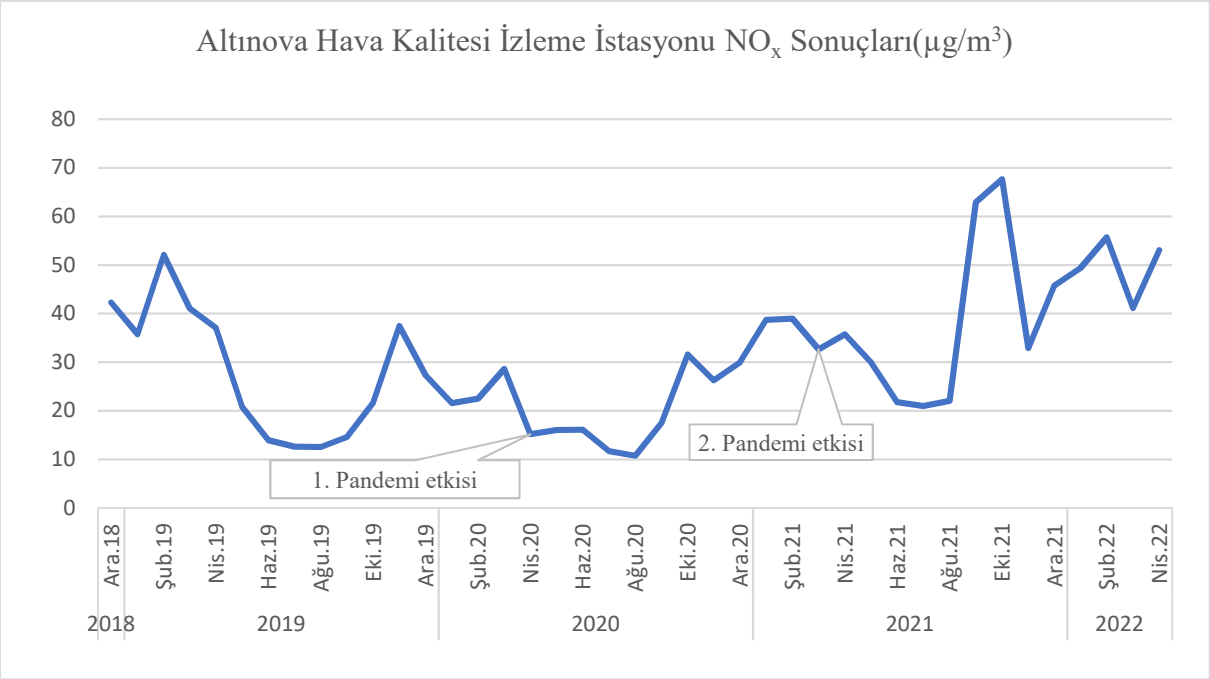
İlgili azotoksit (NOx), kükürtoksit (SOx) ve partikül madde (PM 2.5) verileri genel olarak incelendiğinde stabil olmayan bir şekilde, bazı dönemlerde senkron bir vaziyette, bazı dönemlerde birbirinden bağımsız inişler ve çıkışların olduğu görülebilmektedir. Söz konusu kirleticiler öncelikle ayrı ayrı, sonrasında bütün olarak, nihayetinde hesaplanan gemi egzoz sonuçlarıyla birlikte değerlendirilerek aralarındaki ilişki yorumlanacaktır.

Tablo 19. Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonu ölçüm sonuçları

TARİH	NO_X (µg/m³)	SO_2 (µg/m³)	PM 2.5 (µg/m³)
12.2018	42,25	9,20	20,26
01.2019	35,76	9,98	20,62
02.2019	52,07	9,96	25,48
03.2019	41,11	10,76	22,06
04.2019	37,07	9,10	25,31
05.2019	20,78	10,37	20,47
06.2019	13,98	10,66	19,14
07.2019	12,61	10,27	14,39
08.2019	12,56	6,07	15,58
09.2019	14,64	8,72	16,84
10.2019	21,67	12,28	28,13
11.2019	37,46	15,10	28,46
12.2019	27,35	13,64	17,60
01.2020	21,62	10,74	18,48
02.2020	22,50	11,43	19,05
03.2020	28,65	16,15	21,12
04.2020	15,18	14,84	16,78
05.2020	16,05	17,00	15,64
06.2020	16,11	17,83	15,55
07.2020	11,73	15,25	14,24
08.2020	10,77	27,87	12,63
09.2020	17,52	35,61	14,07
10.2020	31,57	28,95	20,70
11.2020	26,26	7,29	17,32
12.2020	29,93	33,21	20,78
01.2021	38,72	22,01	26,55
02.2021	39,01	27,71	20,44
03.2021	32,69	40,77	18,58
04.2021	35,76	28,53	19,19
05.2021	29,99	32,49	15,19
06.2021	21,78	11,49	14,40
07.2021	20,97	37,69	14,85
08.2021	22,03	14,79	14,94
09.2021	62,89	8,65	14,84
10.2021	67,66	5,47	14,74
11.2021	32,89	11,44	26,52
12.2021	45,79	39,68	14,69
01.2022	49,39	17,84	20,93
02.2022	55,73	20,81	21,77
03.2022	41,14	14,48	21,33
04.2022	53,05	13,98	20,79

3.3.1. Azotoksit (NO_x) ölçüm sonuçları

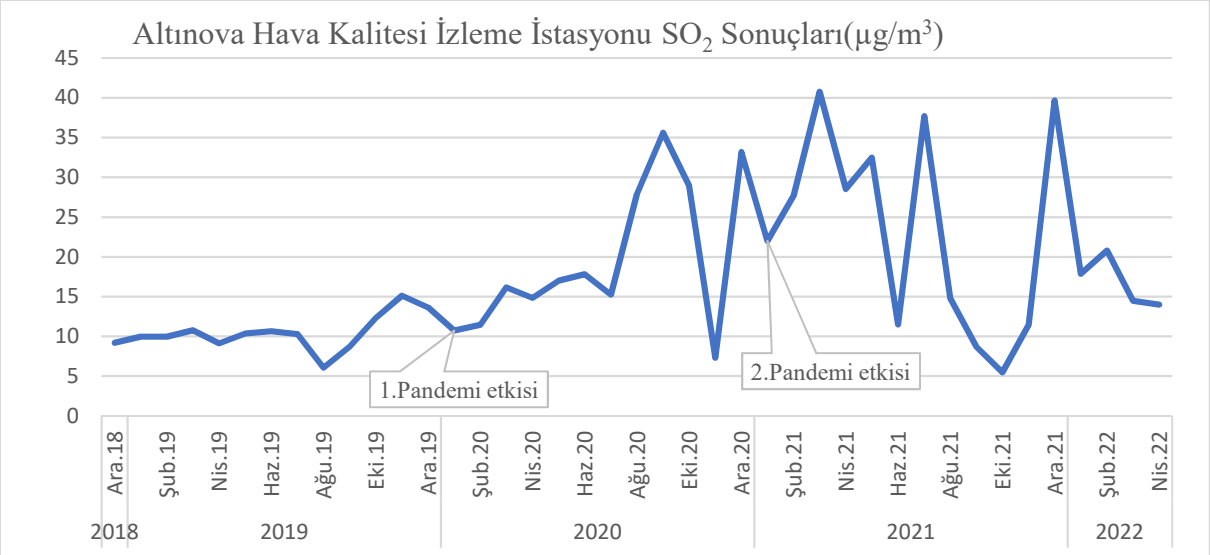
Tablo 19'da verilen kirletici madde ölçüm sonuçlarından, azotoksit bölümü Şekil 21'de ayrıntılı verilen grafikte gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde azotoksit emisyonları için; öncelikli hava kirlilik kaynağı olan ısınma giderlerinin kullanılmadığı yaz dönemlerinde, sistematik bir düşüş gözlenmekte olup, kış dönemlerinde belirgin yükselmeler devam etmektedir. Bununla birlikte Covid-19 pandemisi ve mevsimsel etkilerin azalmaya başladığı, Eylül 2021'den itibaren önceki dönemlerin düşüşünü karşılayacak toparlanma dönemi artışı devam etmekte ve zamanla kararlılık kazanacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 21. Altınova hava kalitesi izleme istasyonu NO_x sonuçları

3.3.2. Kükürt dioksit (SO_2) ölçüm sonuçları

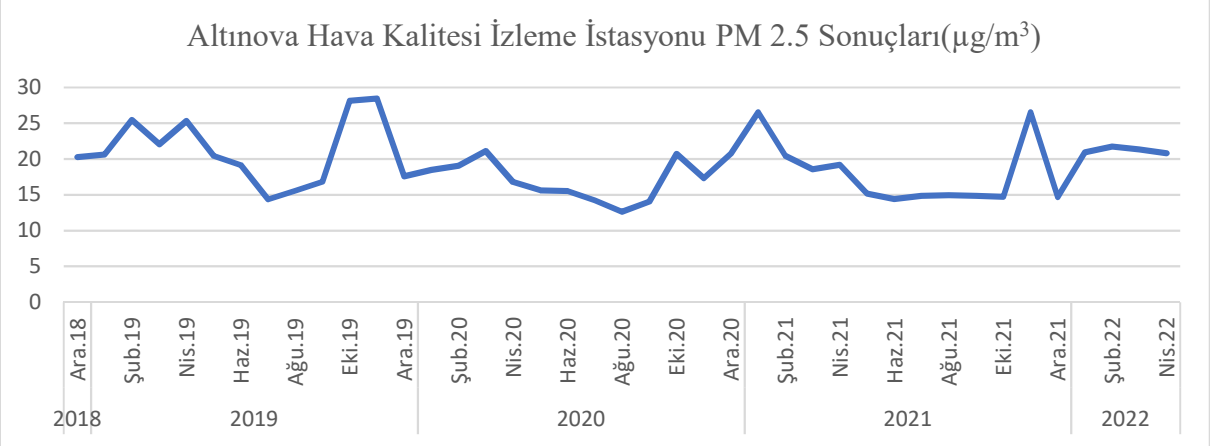
İzmit Körfez bölgesine ait hava ölçüm sonuçları kapsamındaki, kükürt dioksit (SO_2) verilerini gösteren, Şekil 22 incelendiğinde, bariz mevsimsel etkilerin olmadığı, bununla birlikte 2020 Temmuz ayından itibaren yüksek mertebede inişli çıkışlı bir kararsızlık durumunun olduğu gözlenmektedir. Bu durumun Covid-19 pandemisi ilk etkilerinin sona ermesine bağlı sanayi üretimindeki artış ve ısınma kaynaklı baca gazlarından oluşabileceği düşünülmektedir.



Şekil 22. Altınova hava kalitesi izleme istasyonu SO_2 sonuçları

3.3.3. Partikül madde (PM) 2.5 ölçüm sonuçları

Bölgeye ait partikül madde (PM) 2.5 konsantrasyonu şekil 23'de verilmektedir. Azotoksit grafiğine benzer şekilde, yaz dönemlerinin özel durumu olan, ısıtma harcamalarındaki düşüşe bağlı, partikül madde kirliliğinde azalış gözlenmekte olup, kış dönemlerinde yine söz konusu durum sebebiyle tekrar yükselmektedir. Partikül maddelerin düşük özkütlesel yapıları sebebiyle rüzgar, nem, basınç, sıcaklık ve yağmur gibi çevresel faktörler bağımlılığı diğer kirleticelere göre yüksektir. Bu sebeple yağmur yoluyla kolayca çökebilmektedir. Bundan dolayı ölçüm sonuçlarında kaynağı ile ilgi net yorum yapmak mümkün olmayabilmektedir.



Şekil 23. Altınova hava kalitesi izleme istasyonu PM 2.5 sonuçları

3.4. Tüm Gemilere ait Egzoz Emisyon Sonuçları

Bu bölümde, gemiler olarak; liman römorkörleri ve askeri gemiler hariç,150 gros ton üzeri, deniz vasıtaları kastedilmiş olup, tüm gemiler olarak da, askeri, yerel trafik ve 150 gros ton altı tüm gemilerin haricini ifade etmektedir.

Gemilere ait egzoz emisyon sonuçları hesaplanırken İzmit Körfezindeki mevcut uygulama dikkate alınarak, hareket modları; seyir giriş, seyir çıkış, alargada(demirde) bekleme, yanaşma ve kalkış manevrası, varsa körfez dahilindeki limandan limana seyir şeklinde ele alınarak, her gemi sınıfı için tasnif edilerek ve karbondioksit (CO_2), azotoksit (NO_x), kükürtoksit (SO_x), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO), toplam emisyon sınıflandırılarak, Entec ve Trozzi&Vaccaro metodu ile ayrı hesaplanmıştır.

3.4.1. Entec metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyon sonuçları

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri dahilinde bulunan ve Entec metoduna göre hesaplamaları yapılan, tüm gemilere ait emisyon ve makine enerji tüketim oranları Tablo 20 ve 21' de belirtilmektedir. İlgili tablolarda,aylara göre makine enerji tüketim miktarları (kWh), karbondioksit (CO_2), azotoksit (NO_X), kükürtoksit (SO_X), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO), ve toplam emisyon olarak hesaplanarak gösterilmiştir.

Tablo 20. Entec Metoduna göre 01.12.2018 ve 31.12.2020 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları.

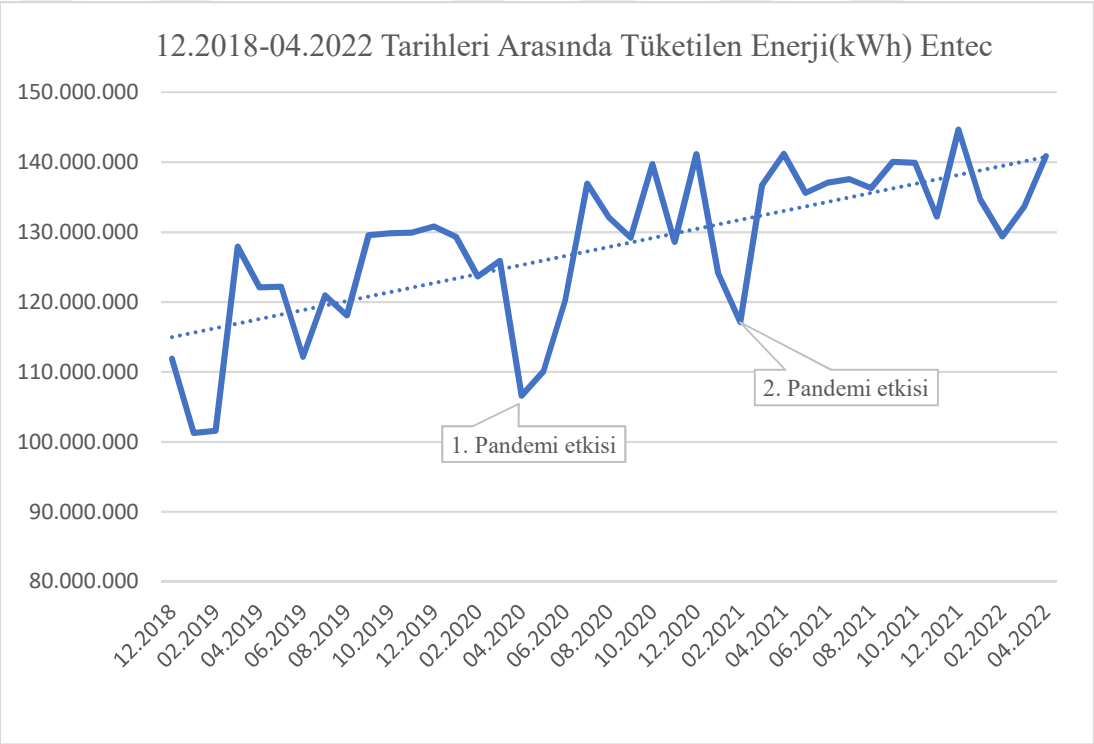
Tarih	CO_2 (ton)	NOx (ton)	SO_x (ton)	PM (ton)	VOC (ton)	CO (ton)	TOPLAM EMİSYON (ton)	TOPLAM MAKİNE GÜCÜ kW.h
12.2018	22.275	484	210	16	22	18	23.025	111.878.264
01.2019	20.644	452	195	15	21	17	21.344	101.277.710
02.2019	20.648	451	195	15	21	17	21.347	101.613.326
03.2019	25.913	564	245	20	28	21	26.791	127.916.771
04.2019	24.405	531	230	18	25	20	25.229	122.100.859
05.2019	24.388	530	230	18	25	20	25.211	122.204.595
06.2019	22.364	488	211	16	23	18	23.120	112.152.227
07.2019	24.353	532	230	18	25	20	25.178	120.972.887
08.2019	23.308	505	220	17	24	19	24.093	118.070.176
09.2019	25.314	554	239	18	26	21	26.172	129.567.112
10.2019	25.451	557	240	19	26	21	26.314	129.863.703
11.2019	25.027	544	236	19	26	21	25.873	129.939.415
12.2019	25.769	561	243	19	26	21	26.639	130.795.864
01.2020	25.298	553	239	19	26	21	26.156	129.318.744
02.2020	24.578	536	232	18	25	20	25.409	123.656.666
03.2020	24.778	539	234	18	25	20	25.614	125.923.194
04.2020	21.651	478	204	16	22	18	22.389	106.570.737
05.2020	21.657	474	204	16	22	18	22.391	110.089.847
06.2020	23.741	518	224	17	25	20	24.545	120.223.119
07.2020	26.058	566	246	19	27	22	26.938	136.958.593
08.2020	25.480	557	240	19	26	21	26.343	132.088.958
09.2020	25.168	553	237	18	26	21	26.023	129.199.488
10.2020	27.095	591	256	20	28	22	28.012	139.723.822
11.2020	24.946	545	235	18	26	21	25.791	128.594.448
12.2020	27.323	598	258	20	28	23	28.250	141.128.681

Tablo 21. Entec Metoduna göre 01.01.2021 ve 31.04.2022 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları.

Tarih	CO_2 (ton)	NOx (ton)	SO_x (ton)	PM (ton)	VOC (ton)	CO (ton)	TOPLAM EMİSYON (ton)	TOPLAM MAKİNE GÜCÜ kW.h
01.2021	24.446	537	231	18	25	20	25.277	124.137.063
02.2021	23.940	534	226	17	25	20	24.762	117.105.721
03.2021	26.171	571	247	19	27	22	27.057	136.690.048
04.2021	27.508	599	260	20	28	23	28.438	141.193.717
05.2021	26.152	572	247	19	27	22	27.039	135.621.998
06.2021	26.020	565	246	19	27	22	26.899	137.088.944
07.2021	26.153	575	247	19	27	22	27.043	137.556.993
08.2021	25.817	563	244	19	27	21	26.691	136.304.928
09.2021	26.823	590	253	20	28	22	27.736	140.043.394
10.2021	26.730	586	252	20	28	22	27.638	139.913.401
11.2021	24.745	539	233	18	25	20	25.580	132.213.566
12.2021	27.330	599	258	20	28	23	28.258	144.658.954
01.2022	25.670	562	242	19	26	21	26.540	134.665.046
02.2022	24.494	537	231	18	25	20	25.325	129.365.081
03.2022	24.820	537	234	18	25	20	25.654	133.620.075
04.2022	26.271	571	248	19	27	22	27.158	140.871.322

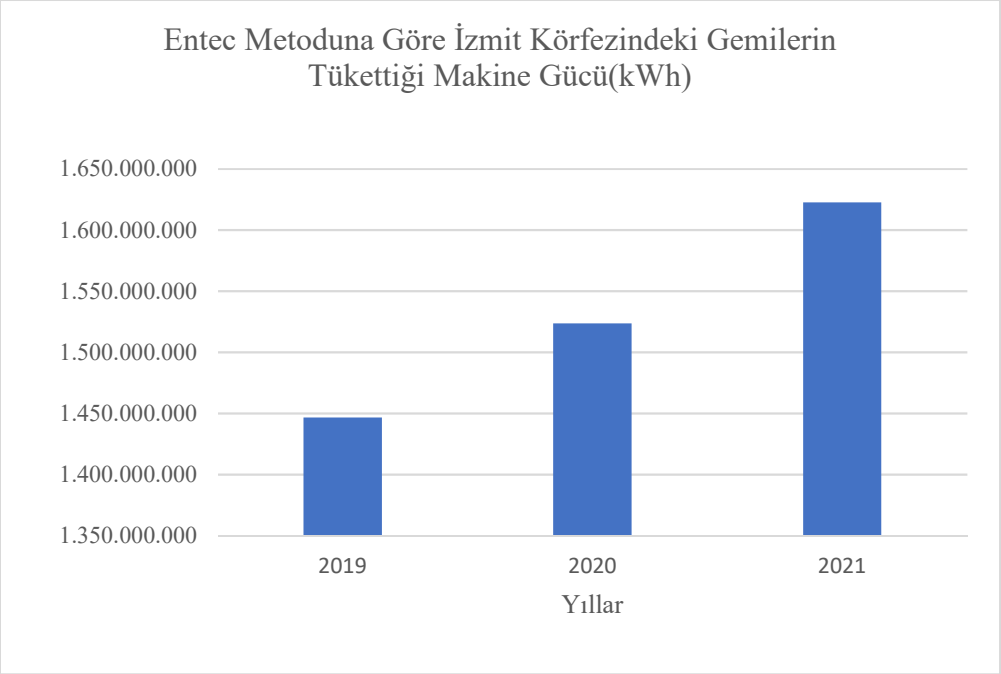
3.4.1.1. Entec metoduna göre tüm gemilere ait makine enerji tüketim miktarı

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 tarihinden 30.04.2022 tarihine kadar, 41 aylık dönem içerisinde bulunan tüm gemilerin Entec metoduna göre tükettiği enerji miktarı (kWh) Şekil 24'de aylara göre bölünmüş haliyle gösterilmektedir. Genel itibariyle ticari yoğunluğa bağlı olarak gerçekleşen gemi hareketlerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan rakamlar, gemi egzoz kirliliğinin direk yönde göstericisi, ekonomik göstergelerin ise dolaylı bir yansıması olarak okunabilmektedir. Mevsimsel ve sektörel dalgalanmaların dışında Covid-19 pandemisinin etkisi olarak %14 ve %6'lık iki dönemden oluşan belirgin düşüş alanları mevcuttur. Bununla birlikte yıllara bağlı olarak yukarı doğru artış eğrisi genel eğilimi temsil etmektedir.



Şekil 24. Tüm gemilere ait Entec metoduna göre makine gücü tüketim grafiği

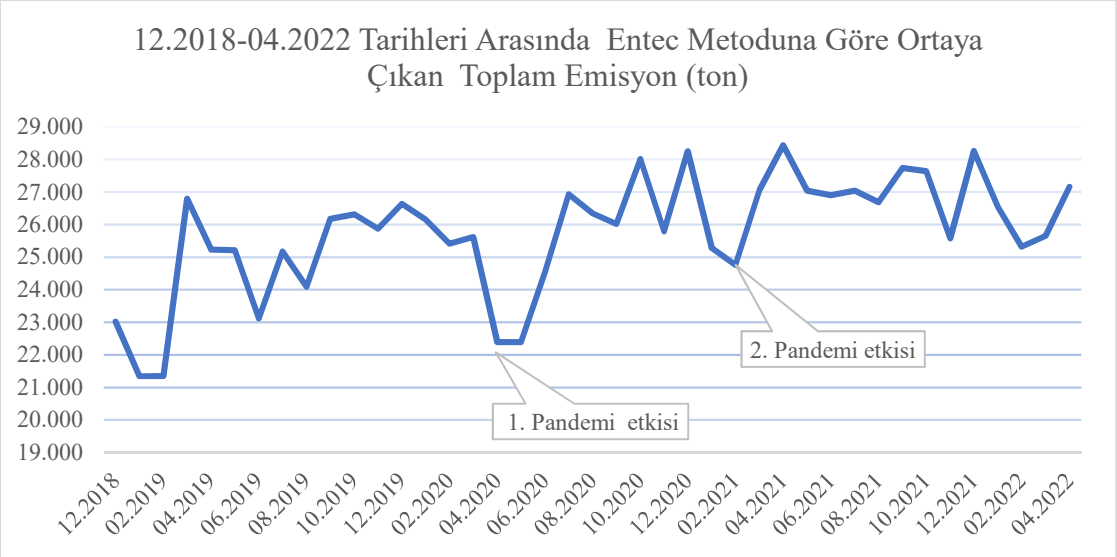
İzmit Körfezinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarına ait tüm gemilerin Entec metoduna göre enerji tüketim değişimini Şekil 25'de gösterilmektedir. Yıllara göre sırasıyla 1.446.474.644 kWh, 1.523.476.295 kWh ve 1.622.528.727 kWh'lik tüketim gösterilmekte olup, dalgalanmalara rağmen; bölgede gemi hareketlerine bağlı enerji tüketiminde, sürekli bir artış olduğu gözlenmektedir.



Şekil 25. Entec metoduna göre İzmit Körfezindeki gemilerin tükettiği makine gücü (kWh).

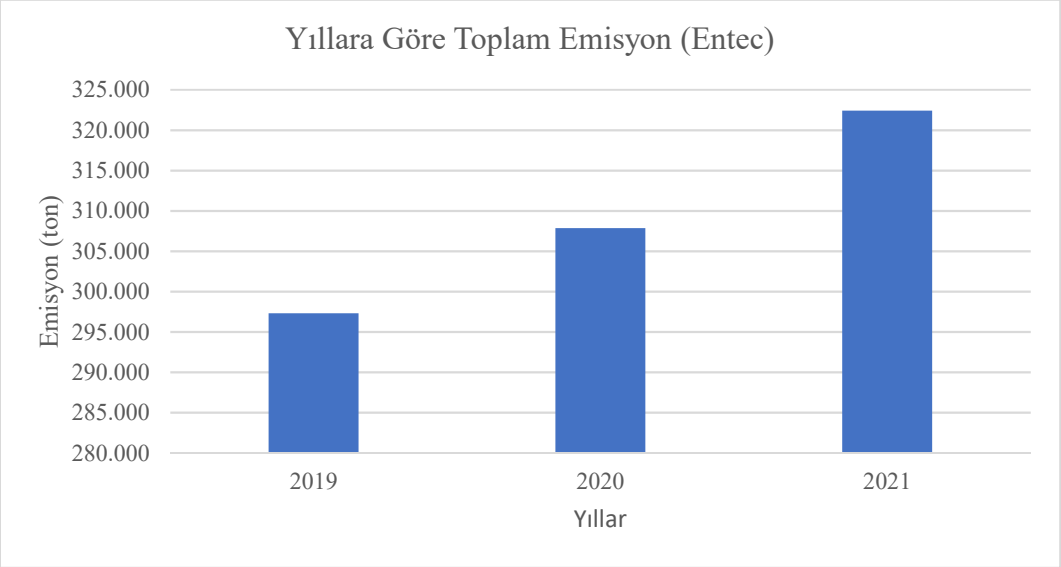
3.4.1.2. Entec metoduna göre tüm gemilere ait toplam emisyon miktarı

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 tarihinden 30.04.2022 tarihine kadar, 41 aylık dönem içerisinde bulunan tüm gemilerin Entec metoduna göre hesaplanmış toplam egzoz emisyon salınımları Şekil 26'da aylara göre bölünmüş haliyle gösterilmektedir. Makine gücü tüketim eğrisine paralel bir görüntü, toplam egzoz emisyon eğrisinde de görülmektedir. Bu şekilde belirgin olan diğer bir husus; Covid-19 pandemisinin etkisidir. İki dönemden oluşan etki alanı ilk dönemde ortalama %13, ikinci dönemde ise ortalama %3'lük, toplam emisyonlarda düşüş meydan getirmiştir. Bununla birlikte yıllara bağlı olarak egzoz emisyonlarında, yukarı doğru artış eğrisi genel eğilimi temsil etmektedir.



Şekil 26. Entec metoduna göre tüm gemilere ait toplam emisyon grafiği.

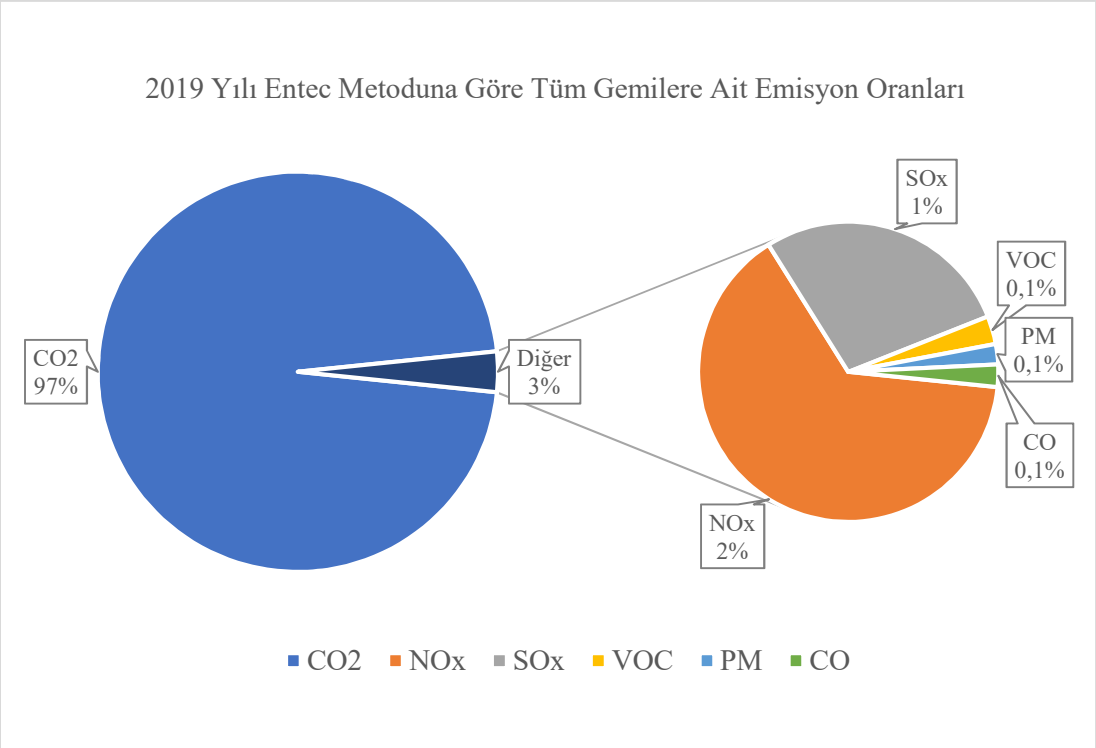
İzmit Körfezinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarına ait tüm gemilerin Entec metoduna göre hesaplanmış egzoz emisyon üretim değişimi Şekil 27'de gösterilmektedir. Yıllara göre sırasıyla 297.311 ton, 307.861 ton ve 322.418 tonluk salınım gösterilmekte olup, dalgalanmalara rağmen; bölgede gemi hareketlerine bağlı toplam egzoz emisyon salınımında, lineer bir artış olduğu gözlenmektedir.



Şekil 27. Entec metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyonları.

3.4.1.3. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait emisyon türlerinin oranları

Tablo 20'de verilen değerlerden 2019 yılına ait emisyon türleri Şekil 28'de yüzdelik pasta dilimi şeklinde gösterilmektedir. Dönemsel bir dalgalanma olmaması sebebiyle 2019 yılı verileri tercih edilmiştir. Tabloda karbondioksit (CO_2) emisyonunun %97'lik payla en fazla emisyon türünü oluşturduğu belirtilmektedir. Diğer emisyon türlerinin kalan %3'lük kısmı oluşturduğu gösterilmektedir. Bu türler sırasıyla azotoksitler (NO_x), kükürtoksitler (SO_x), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO) ve partikül madde (PM); %2, %1, ‰1, ‰1 ve ‰1 payla takip etmektedir.



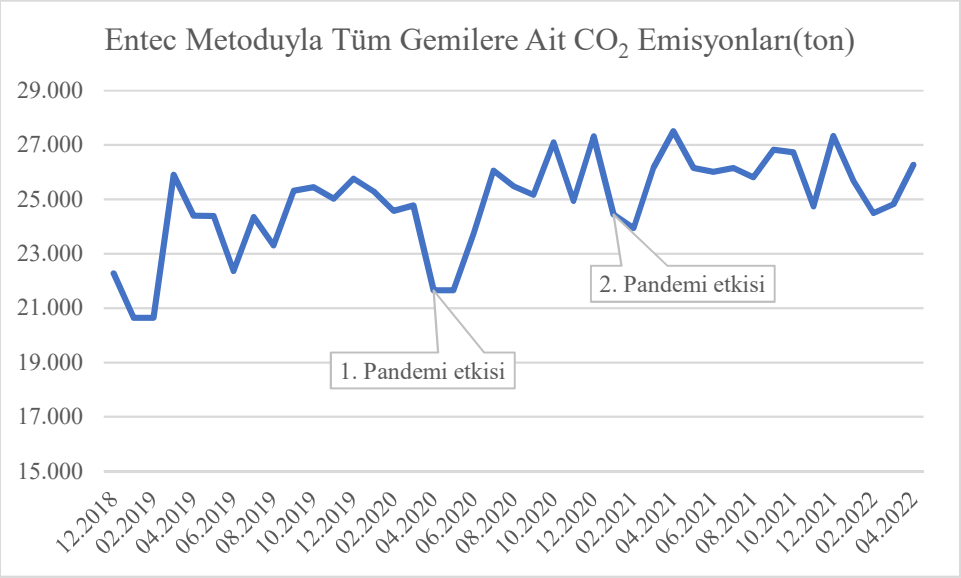
Şekil 28. Entec metoduna göre 2019 yılı emisyon türlerinin oranlanması.

Karbondioksit (CO_2) egzoz çıktısının %97' lik paya sahip olması ve küresel sera gazı emisyonlarında en öncül parametre olması, alınacak tedbirlerlerde bu kirletici maddeye özel önem verilmesini gerektirmektedir. Karbondioksit gazı makine silindiri içerisinde iyi bir yanma sonucu meydana gelen bir gazdır. Bu yanma olayı verimli bir şekilde gerçekleşmediğinde, korbon monoksit gazı ortaya çıkmakta ve bu gazın zehirli bir gaz olması sebebiyle daha büyük

bir risk doğurmaktadır. Bu sebeple alınacak tedbirleri operasyonel iyileştirmeler yoluyla enerji verimliliği üzerinden almak yerinde olacaktır.

3.4.1.4. Entec metoduna göre tüm gemilere ait CO_2 emisyon miktarı

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 tarihinden 30.04.2022 tarihine kadar, 41 aylık dönem içerisinde bulunan, tüm gemilere ait Entec metoduna göre hesaplanmış karbondioksit (CO_2) egzoz emisyon salınımları Şekil 29'da aylara göre bölünmüş haliyle gösterilmektedir. Şekil 28'de belirtildiği üzere emisyon salınımının %97'sini oluşturması ve sera gazı etkisi, küresel ısınma konularının en önemli parametresi olması sebebiyle müstakil bir grafik olarak ele alınmıştır. Mevsimsel ve dönemsel dalgalanmalar ile birlikte Covid-19 pandemisinin neden olduğu ilk dönemde ortalama %5 ikinci dönemde ise %3'lük düşüş söz konusudur. Genel itibariyle zaman bağlı olarak yukarı doğru bir eğri grafiği oluşturmaktadır.



Şekil 29. Entec Metoduna göre tüm gemilere ait CO_2 emisyon grafiği.

3.4.1.5. Entec metoduna göre tüm gemilere ait emisyon miktarının yıllık değişimi

İzmit Körfezindeki gemi hareketlerinin Entec metoduna göre; 2019, 2020 ve 2021 yıllarındaki değişim Tablo 22'de kirletici türleri ve toplamları şeklinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde her bir emisyon türünün yıllara bağlı olarak artış yaptığı gözlenmektedir.

Tablo 22. Entec metoduna göre tüm gemilere ait emisyonların yıllara bağlı değişimi.

Yıllar	CO_2(ton)	NOx(ton)	SOx(ton)	VOC(ton)	PM(ton)	CO(ton)	Toplam(ton)
2019	287.584,00	6.269	2.714	296	212	236	297.311,00
2020	297.773,00	6.508	2.809	306	218	247	307.861,00
2021	311.835,00	6.830	2.944	322	228	259	322.418,00

3.4.1.6. Entec metodu ile gemi türlerinin yıllara göre toplam emisyon miktarı

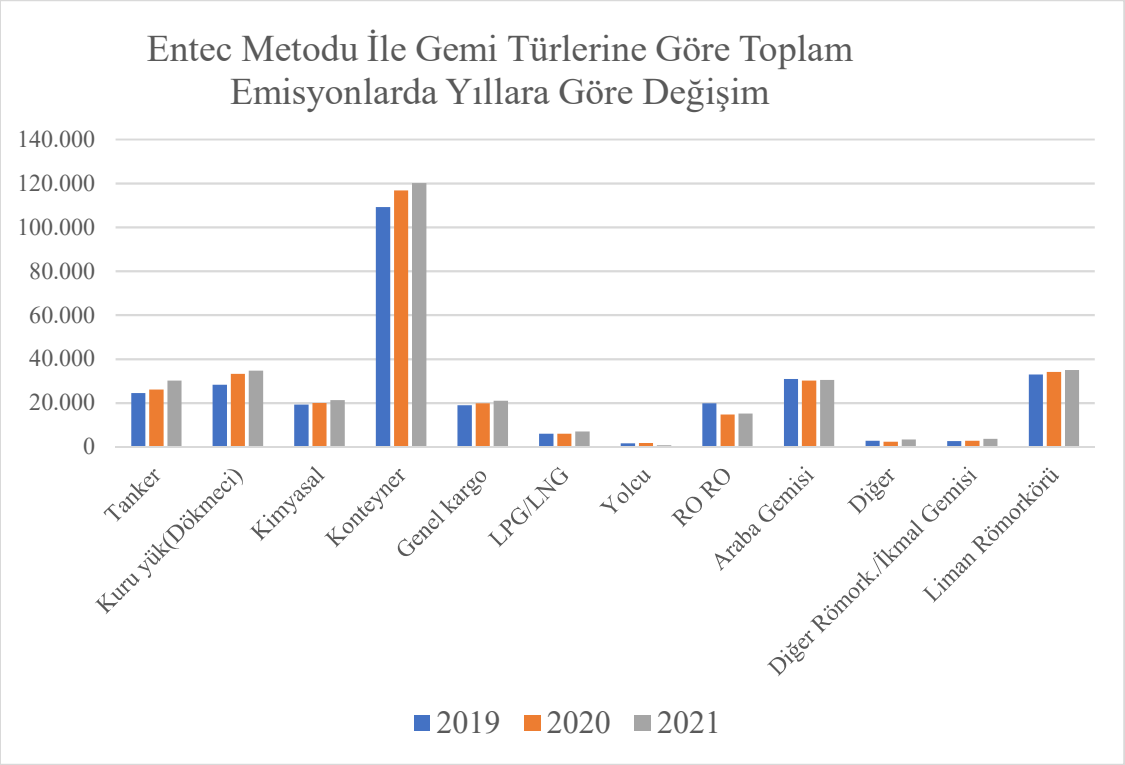
İzmit Körfezinde; 2019, 2020 ve 2021 yıllarında bulunan gemilerin Entec metoduna göre hesaplanmış toplam emisyon miktarları, Tablo 23'de gösterilmektedir. Benzer şekilde diğer liman alanlarında olduğu gibi bu bölgede de konteyner gemi hareketlerinin fazla olması konteyner emisyonlarının 2019 için 109.154,47; 2020 için 116.756,93 ve 2021 için 120.046,36 ton CO2 eşdeğeri emisyon ortaya çıkarmasına sebep olmuştur. Bu gemi türünü sırasıyla liman römorkörleri 2019, 2020 ve 2021 için toplamda 101.991,24 ton CO2 eşdeğeri emisyon ile takip etmiştir.

Tablo 23. Entec Metodu İle Gemi Türlerinin Yıllara Göre Toplam Emisyon Miktarı Tablosu.

Gemi Türleri	2019	2020	2021	Toplam
Tanker	24.483,85	26.008,07	30.127,00	80.618,92
Kuru yük (Dökmeci)	28.206,36	33.154,84	34.720,79	96.082,00
Kimyasal	19.270,68	20.017,48	21.339,37	60.627,52
Konteyner	109.154,47	116.756,93	120.046,36	345.957,75
Genel kargo	18.905,18	19.874,17	20.903,60	59.682,96
LPG/LNG	6.001,50	5.890,02	7.024,35	18.915,88
Yolcu	1.602,42	1.799,23	670,11	4.071,76
RO RO	19.838,82	14.721,09	15.157,45	49.717,36
Araba Gemisi	30.927,29	30.179,53	30.465,48	91.572,29
Diğer	2.771,37	2.377,17	3.394,39	8.542,92

Diğer Römork./İkmal Gemisi	2.542,27	2.752,34	3.631,80	8.926,41
Liman Römorkörü	32.908,79	34.129,00	34.953,46	101.991,24

Şekil 30'da gemi türlerine göre 2019, 2020 ve 2021 yılları arasında gemi türlerine bağlı olarak Entec metodu ile yapılan toplam emisyon miktarının değişimi gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde, bazı gemi türlerinde, mevsimsel, dönemsel ve taşıma yaptığı yük türünün sektörel etkilerinin altında, artış, azalış ve dalgalanma olduğu görülmektedir. Konteyner, liman römorkörü, kuru yük, tanker, genel kargo, kimyasal ve diğer gemi türlerinde artış olduğu; yolcu gemi türünde muhtemel covid pandemisi sebebiyle azalma olduğu; araba, RORO ve LPG/LNG gemi türlerinde ise dalgalanma olduğu gözlenmektedir. Liman römorkör hareketlerinin diğer gemi hareketlerine bağlı olduğu düşünülürse konteyner, kuru yük ve tanker sınıfı gemilerde yıllık ölçekde pandemi etkisine bağlı emisyon azalması meydana gelmemiştir.

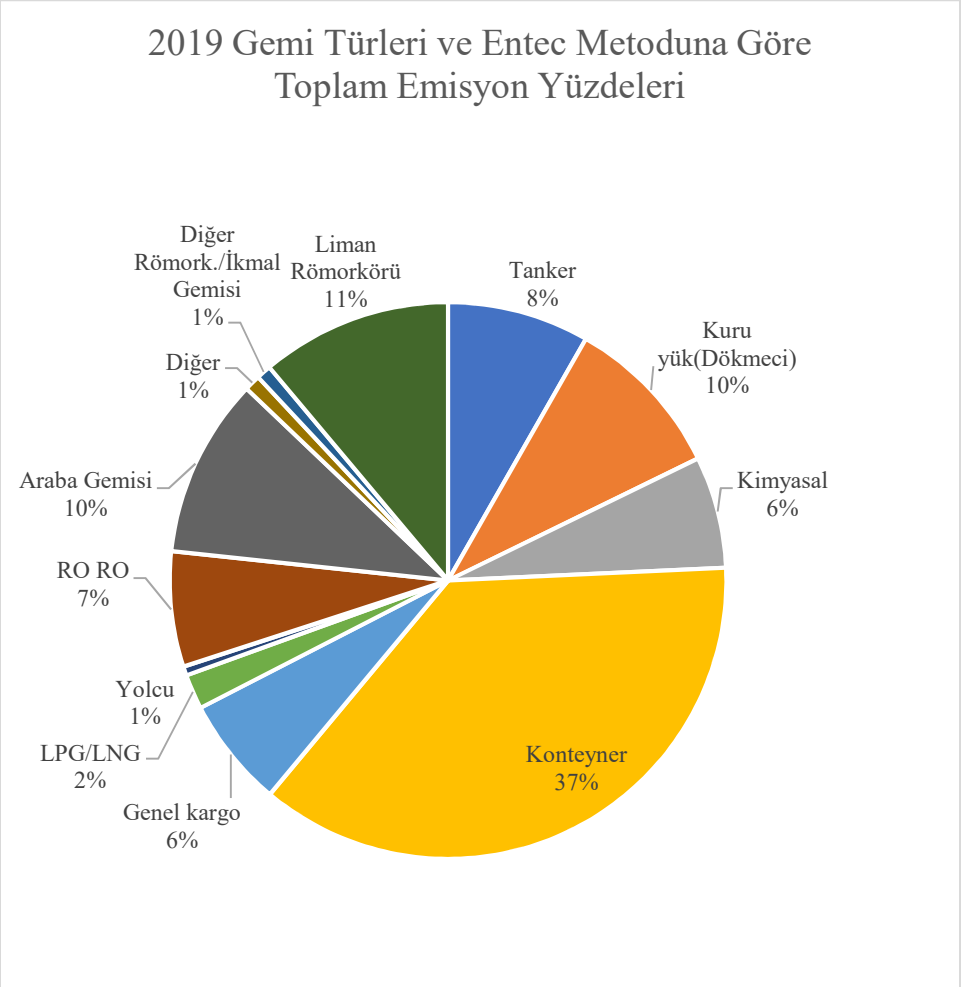


Şekil 30. Entec Metodu İle Gemi Türlerine Göre Toplam Emisyonalarda Yıllara Göre Değişim.

3.4.1.7. Entec metodu ile gemi türlerinin toplam yıllık emisyon oranları

Tablo 25'de verilen değerlerden 2019 yılına ait, gemi türlerine göre toplam emisyon miktarı Şekil 31'de yüzdelik pasta dilimi şeklinde gösterilmektedir. Dönemsel bir dalgalanma olmaması sebebiyle 2019 yılı verileri tercih edilmiştir.

Şekil incelendiğinde; konteyner gemileri %37 oranı ile İzmit Körfezi içerisinde en fazla emisyon üreten gemi türü olmuş, bu türü, sırasıyla liman römorkörleri, araba gemisi, kuru yük, tanker, RORO, kimyasal, genel kargo gemileri ve diğerleri; %11, %10, %10, %8, %7, %6, %6 oranları ile takip etmiştir. Bu durum Körfez bölgesinde en fazla konteyner gemilerinin bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 31. Entec metoduna göre gemi türlerinin 2019 yılı toplam emisyon oranları.

3.4.1.8. Liman römorkörlerin diğer gemilere oranla egzoz emisyon payı

Şekil 31'de dikkat çeken diğer bir önemli husus; liman römorkörlerinin emisyon oranlarıdır. Liman römorkerleri genel itibariyle tonajı, sefer sahası ve yerel trafik unsuru olarak değerlendirildiği için, emisyon hesaplama çalışmalarında dikkate alınmamaktadır. Fakat barındırdıkları yüksek güç çıktısı sağlayan ana makineleri ve görev icra ettikleri liman manevraları esnasında kullandıkları yüksek ana makine yükü nedeniyle ciddi emisyon kaynağı olarak yer teşkil etmektedir. Bu çalışmada %11 ile oluşturdukları emisyon payı ve gemi sınıfı olarak 2. sırada yer alması, önemini göstermektedir.

3.4.2. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyon sonuçları

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri dahilinde bulunan ve Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplamaları yapılan, tüm gemilere ait emisyon ve makine enerji tüketim oranları Tablo 24 ve 25' de belirtilmektedir. İlgili tablolarda,aylara göre makine enerji tüketim miktarları (kWh), karbondioksit (CO_2), azotoksit (NO_X), kükürtoksit (SO_X), partikül madde (PM), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO), ve toplam emisyon olarak hesaplanarak gösterilmiştir.

Tablo 24. Trozzi&Vaccaro Metoduna göre 01.12.2018 ve 31.12.2020 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları.

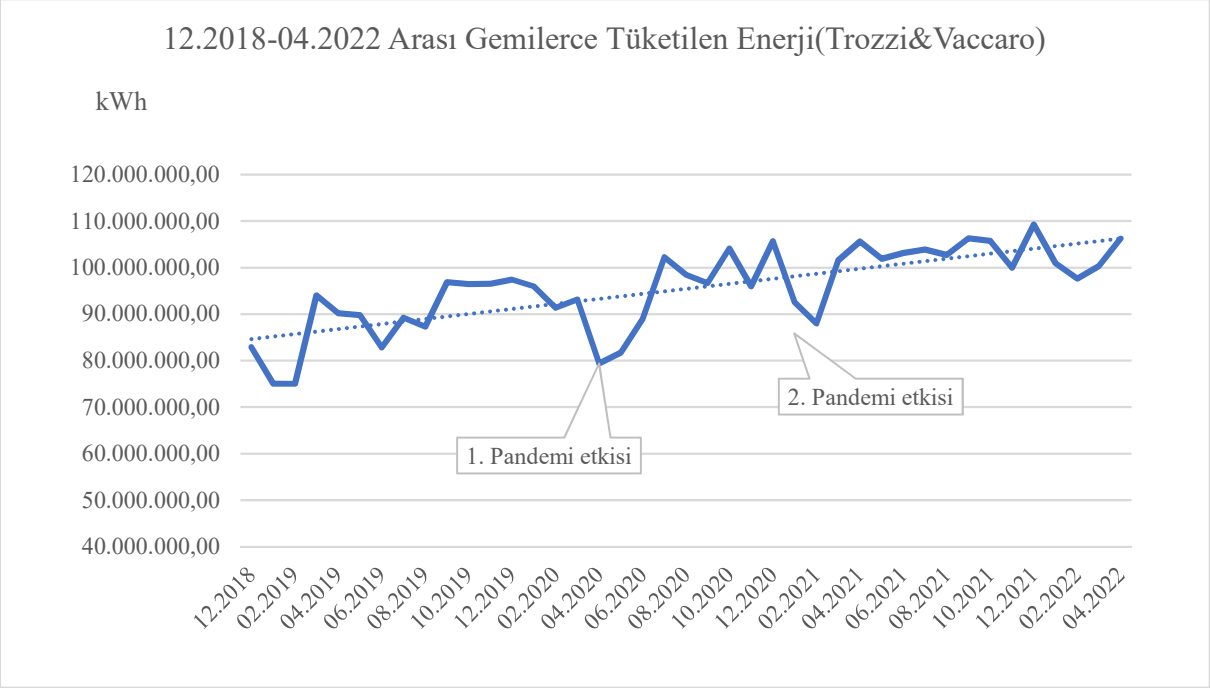
Tarih	CO_2 (ton)	NOx (ton)	SO_x (ton)	PM (ton)	VOC (ton)	CO (ton)	TOPLAM EMİSYON (ton)	TOPLAM MAKİNE GÜCÜ kW.h
12.2018	19.392,68	433,24	183,84	13,61	19,02	16,63	20.059,03	82.936.204,49
01.2019	18.060,39	405,61	171,30	12,56	17,73	15,52	18.683,10	75.027.596,69
02.2019	18.002,37	403,41	170,77	12,64	17,76	15,46	18.622,41	75.024.734,19
03.2019	22.373,50	500,13	212,24	16,30	23,02	19,20	23.144,39	94.079.995,07
04.2019	21.242,80	473,86	201,51	14,97	20,95	18,22	21.972,31	90.195.213,69
05.2019	21.175,54	472,17	200,88	15,00	21,02	18,16	21.902,76	89.805.673,64
06.2019	19.441,68	435,29	184,41	13,74	19,39	16,69	20.111,20	82.809.960,16
07.2019	21.230,02	475,66	201,41	14,87	20,96	18,23	21.961,15	89.210.804,79
08.2019	20.251,23	449,81	192,10	14,35	19,98	17,35	20.944,81	87.289.877,14
09.2019	22.066,27	495,21	209,28	15,50	21,97	18,94	22.827,16	96.849.728,18
10.2019	22.160,65	497,20	210,17	15,57	22,09	19,03	22.924,71	96.491.389,48
11.2019	21.701,15	483,75	205,81	15,44	21,64	18,59	22.446,38	96.531.351,79
12.2019	22.452,70	500,98	212,97	15,82	22,19	19,25	23.223,90	97.414.732,61
01.2020	21.983,08	492,79	208,50	15,55	22,06	18,87	22.740,85	95.996.906,21
02.2020	21.357,87	477,91	202,55	15,12	21,36	18,33	22.093,15	91.385.552,02
03.2020	21.532,84	480,32	204,26	15,21	21,34	18,46	22.272,44	93.158.985,64
04.2020	18.955,25	429,19	179,86	13,21	19,08	16,33	19.612,92	79.401.484,91
05.2020	18.853,33	423,05	178,80	13,25	18,86	16,19	19.503,47	81.700.231,62
06.2020	20.624,46	461,27	195,59	14,62	20,75	17,69	21.334,39	88.938.439,50
07.2020	22.574,28	503,41	214,04	16,13	22,74	19,33	23.349,93	102.253.406,18
08.2020	22.152,34	496,82	210,10	15,63	22,27	19,01	22.916,18	98.459.441,47
09.2020	21.936,98	494,21	208,02	15,40	22,06	18,84	22.695,51	96.645.269,89
10.2020	23.543,7	527,16	223,24	16,65	23,59	20,19	24.354,48	104.093.200,16
11.2020	21.708,98	487,01	205,85	15,29	21,70	18,63	22.457,46	96.000.070,33
12.2020	23.801,86	534,45	225,72	16,74	23,80	20,43	24.622,99	105.652.020,08

Tablo 25. Trozzi&Vaccaro Metoduna göre 01.01.2021 ve 31.04.2022 tarihleri arası tüm gemilere ait enerji tüketim ve emisyon salınım miktarları.

Tarih	CO_2 (ton)	NOx (ton)	SO_x (ton)	PM (ton)	VOC (ton)	CO (ton)	TOPLAM EMİSYON (ton)	TOPLAM MAKİNE GÜCÜ kW.h
01.2021	21.321,45	480,48	202,23	14,94	21,44	18,32	22.058,86	92.507.754,31
02.2021	21.052,70	482,00	199,72	14,50	21,28	18,19	21.788,37	87.964.278,82
03.2021	22.681,47	507,74	215,08	16,11	22,93	19,44	23.462,77	101.560.524,74
04.2021	23.954,88	535,15	227,19	16,92	23,93	20,54	24.778,61	105.629.300,36
05.2021	22.796,20	511,06	216,20	16,03	22,80	19,55	23.581,85	101.882.861,80
06.2021	22.641,30	504,31	214,71	16,01	22,56	19,38	23.418,27	103.131.982,52
07.2021	22.819,56	514,21	216,40	15,98	22,92	19,60	23.608,68	103.896.725,07
08.2021	22.476,57	503,11	213,12	15,85	22,51	19,26	23.250,43	102.737.139,22
09.2021	23.451,77	529,12	222,38	16,39	23,48	20,15	24.263,29	106.279.211,90
10.2021	23.326,31	524,66	221,19	16,37	23,37	20,02	24.131,92	105.735.235,76
11.2021	21.530,90	481,10	204,14	15,19	21,50	18,44	22.271,27	99.974.629,71
12.2021	23.829,47	535,43	225,97	16,69	23,76	20,44	24.651,78	109.250.601,54
01.2022	22.333,64	501,45	211,76	15,71	22,38	19,16	23.104,10	100.912.695,61
02.2022	21.352,89	480,62	202,47	14,96	21,37	18,33	22.090,64	97.624.137,07
03.2022	21.485,88	477,56	203,67	15,32	21,46	18,37	22.222,27	100.293.798,07
04.2022	22.829,16	509,17	216,47	16,15	22,74	19,54	23.613,23	106.262.391,23

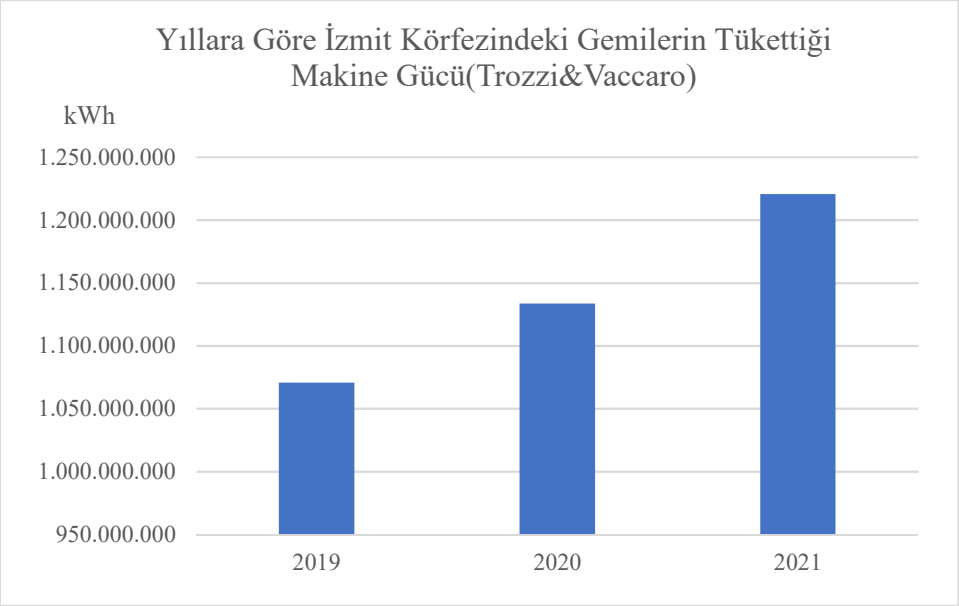
3.4.2.1. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait makine enerji tüketim miktarı

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 tarihinden 30.04.2022 tarihine kadar, 41 aylık dönem içerisinde bulunan tüm gemilerin Trozzi&Vaccaro metoduna göre tükettiği enerji miktarı (kWh) Şekil 24'de aylara göre bölünmüş haliyle gösterilmektedir. Genel itibariyle ticari yoğunluğa bağlı olarak gerçekleşen gemi hareketlerinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan rakamlar, gemi egzoz kirliliğinin direk yönde göstericisi, ekonomik göstergelerin ise dolaylı bir yansıması olarak okunabilmektedir. Mevsimsel ve sektörel dalgalanmaların dışında Covid-19 pandemisinin etkisi olarak iki dönemden oluşan, sırasıyla %15 ve %5'lik düşüş alanları mevcuttur. Bununla birlikte yıllara bağlı olarak yukarı doğru artış eğrisi genel eğilimi temsil etmektedir.



Şekil 32. Tüm gemilere ait Trozzi&Vaccaro metoduna göre makine gücü tüketim grafiği.

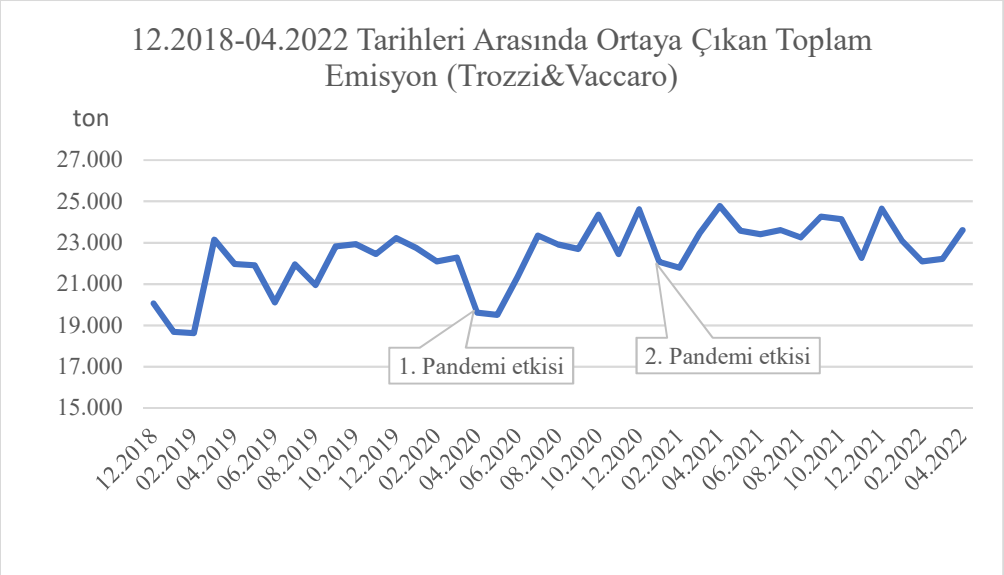
İzmit Körfezinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarına ait tüm gemilerin Trozzi&Vaccaro metoduna göre enerji tüketim değişimi Şekil 33'de gösterilmektedir. Yıllara göre sırasıyla 1.070.731.057 kWh, 1.133.685.008 kWh ve 1.220.550.245 kWh'lik tüketim gösterilmekte olup, dalgalanmalara rağmen; bölgede gemi hareketlerine bağlı enerji tüketiminde, sürekli bir artış olduğu gözlenmektedir.



Şekil 33. Trozzi&Vaccaro Metoduna Göre İzmit Körfezindeki Gemilerin Tükettiği Makine Gücü (kWh).

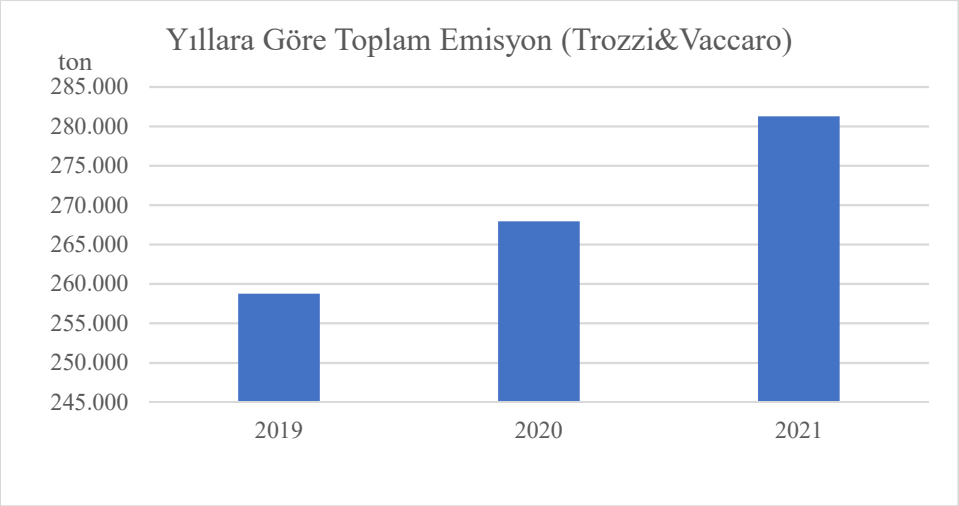
3.4.2.2. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait toplam emisyon miktarı

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 tarihinden 30.04.2022 tarihine kadar, 41 aylık dönem içerisinde bulunan tüm gemilerin Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplanmış toplam egzoz emisyon salınımları Şekil 34'de aylara göre bölünmüş haliyle gösterilmektedir. Makine gücü tüketim eğrisine paralel bir görüntü toplam egzoz emisyon eğrisinde de görülmektedir. Toplam emisyonlarda, mevsimsel ve sektörel dalgalanmaların dışında Covid-19 pandemisinin etkisi olarak, sırasıyla %12 ve %2'lik iki dönemden oluşan düşüş alanları mevcuttur. Bununla birlikte yıllara bağlı olarak yukarı doğru artış eğrisi genel eğilimi temsil etmektedir.



Şekil 34. Trozzi&Vaccaro Metoduna Göre Tüm Gemilere Ait Toplam Emisyon Grafiği.

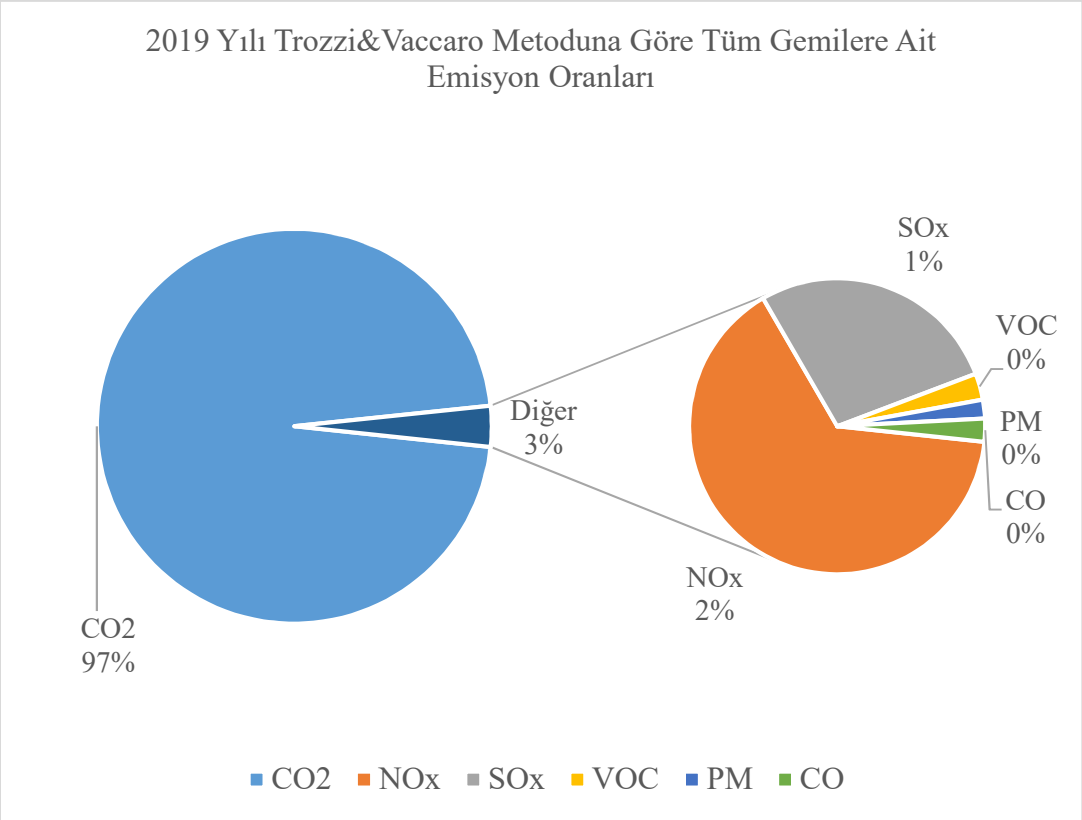
İzmit Körfezinde 2019, 2020 ve 2021 yıllarına ait tüm gemilerin Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplanmış egzoz emisyon üretim değişimi Şekil 35'de gösterilmektedir. Yıllara göre sırasıyla 258.764 ton, 267.953 ton ve 281.266 tonluk salınım gösterilmekte olup, dalgalanmalara rağmen; bölgede gemi hareketlerine bağlı toplam egzoz emisyon salınımında, lineer bir artış olduğu gözlenmektedir.



Şekil 35. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait egzoz emisyonları.

3.4.2.3. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait misyon türlerinin oranları

Tablo 26'da verilen değerlerden 2019 yılına ait emisyon türleri Şekil 36'da yüzdelik pasta dilimi şeklinde gösterilmektedir. Dönemsel bir dalgalanma olmaması sebebiyle 2019 yılı verileri tercih edilmiştir. Tabloda karbondioksit (CO_2) emisyonunun %97'lik payla en fazla emisyon türünü oluşturduğu belirtilmektedir. Diğer emisyon türlerinin kalan %3'lük kısmı oluşturduğu gösterilmektedir. Bu türler sırasıyla azotoksitler(NO_x), kükürtoksitler (SO_x), uçucu organik bileşikler (VOC), karbonmonoksit (CO) ve partikül madde (PM); %2, %1, ‰1 ve ‰1 payla takip etmektedir.

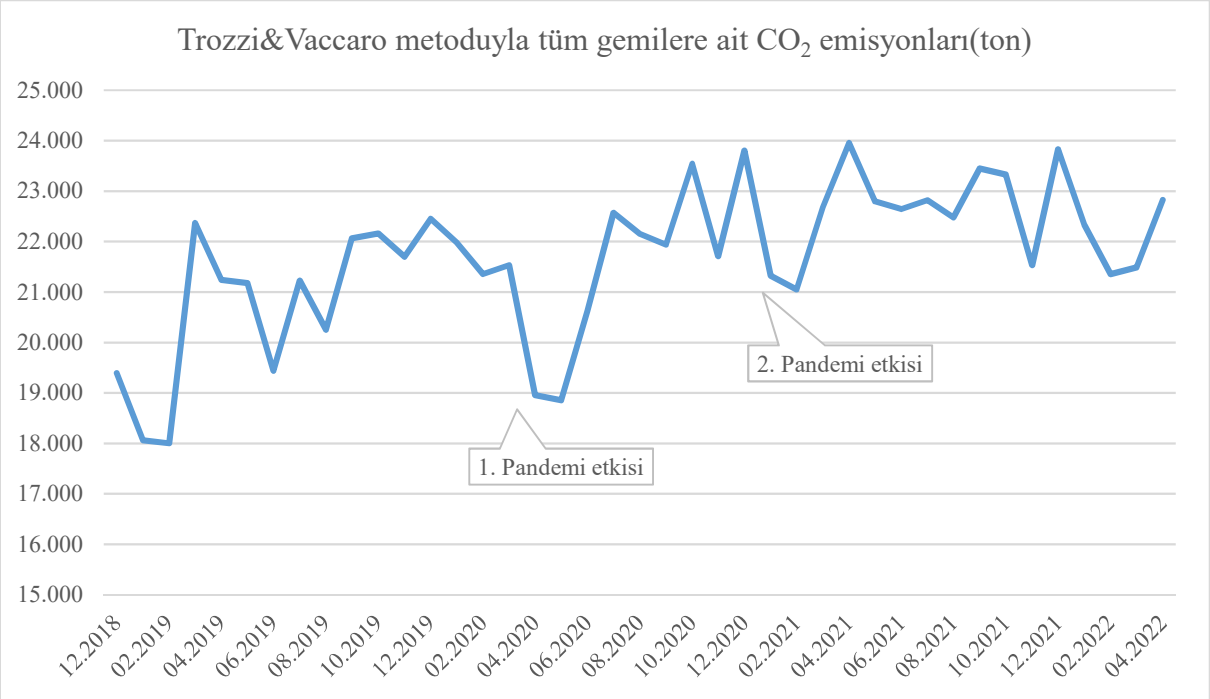


Şekil 36. Trozzi&Vaccaro metoduna göre 2019 yılı emisyon türlerinin oranlanması.

Trozzi&Vaccaro metodu ile bulunan bu emisyon yüzdeleri ile Şekil 28'de gösterilen Entec metodu yüzdeleri ile aynı olduğu gözükmektedir. Burada iki metodolojinin kirletici madde emisyon faktörü olarak aynı katsayıları almalarının etkileri ortaya çıkmaktadır.

3.4.2.4. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait CO_2 emisyon miktarı

İzmit Körfezinde, 01.12.2018 tarihinden 30.04.2022 tarihine kadar, 41 aylık dönem içerisinde bulunan, tüm gemilere ait Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplanmış karbondioksit (CO_2) egzoz emisyon salınımları Şekil 37'de aylara göre bölünmüş haliyle gösterilmektedir. Şekil 36'da belirtildiği üzere emisyon salınımının %97'sini oluşturması ve sera gazı etkisi, küresel ısınma konularının en önemli parametresi olması sebebiyle müstakil bir grafik olarak ele alınmıştır. Grafikte mevsimsel dalgalanmalar ile birlikte Covid-19 pandemisinin iki dönem halinde %12'lik ve %2'lik azalmalar olmuştur. Genel olarak zamana bağlı olarak yukarı doğru bir eğri grafiği oluşturmaktadır.



Şekil 37. Trozzi&Vaccaro metoduna göre tüm gemilere ait CO_2 emisyon grafiği.

3.4.2.5. Trozzi&Vaccaro metoduyla tüm gemilere ait emisyon miktarının yıllık değişimi

İzmit Körfezindeki gemi hareketlerinin Trozzi&Vaccaro metoduna göre; 2019, 2020 ve 2021 yıllarındaki değişim Tablo 26'de kirletici türleri ve toplamları şeklinde ayrıntılı olarak gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde her bir emisyon türünün yıllara bağlı olarak artış yaptığı gözlenmektedir.

Tablo 26. Trozzi&Vaccaro metoduyla tüm gemilere ait emisyonların yıllara bağlı değişimi.

Yıllar	CO_2(ton)	NO_X(ton)	SO_X(ton)	VOC(ton)	PM(ton)	CO(ton)	Toplam(ton)
2019	250.158,29	5.593,06	2.372,84	248,69	176,74	214,65	258.764,28
2020	259.024,95	5.807,58	2.456,53	259,62	182,79	222,29	267.953,76
2021	271.882,58	6.108,38	2.578,33	272,49	190,99	233,34	281.266,10

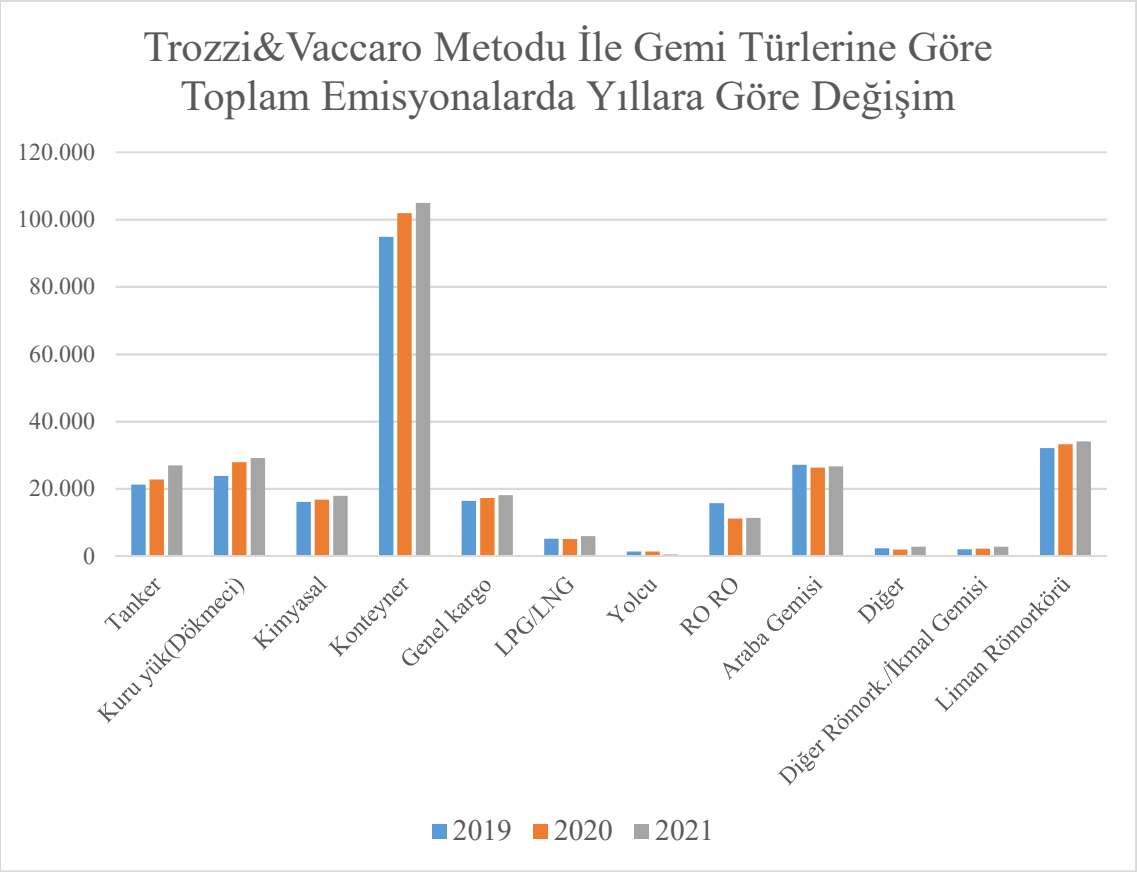
3.4.2.6. Trozzi&Vaccaro metoduyla gemi türlerinin yıllara göre toplam emisyon miktarı

İzmit Körfezinde; 2019, 2020 ve 2021 yıllarında bulunan gemilerin Trozzi&Vaccaro metoduna göre hesaplanmış toplam emisyon miktarları, Tablo 27'de gösterilmektedir. Tablo 23'deki duruma benzer şekilde diğer liman alanlarında olduğu gibi bu bölgede de konteyner gemi hareketlerinin fazla olması konteyner emisyonlarının 2019 için 94.898,68; 2020 için 101.880,7 ve 2021 için 104.959,55 ton CO_2 eşdeğeri emisyon ortaya çıkarmasına sebep olmuştur. Bu gemi türünü sırasıyla liman römorkörleri 2019, 2020 ve 2021 için toplamda 99.379,32 ton CO_2 eşdeğeri emisyon ile takip etmiştir.

Tablo 27. Trozzi&Vaccaro Metoduyla Gemi Türlerinin Yıllara Göre Toplam Emisyon Miktarı Tablosu

Gemi Türleri	2019	2020	2021	Toplam
Tanker	21.284,48	22.804,76	26.935,88	71.025,11
Kuru yük (Dökmeci)	23.798,47	27.923,19	29.146,44	80.868,10
Kimyasal	16.143,60	16.779,41	17.890,19	50.813,20
Konteyner	94.898,62	101.880,70	104.959,55	301.738,87
Genel kargo	16.358,68	17.233,63	18.124,83	51.717,14
LPG/LNG	5.167,71	5.042,54	5.960,19	16.170,44
Yolcu	1.350,22	1.339,86	525,45	3.215,53
RO RO	15.749,70	11.124,85	11.383,12	38.257,67
Araba Gemisi	27.130,09	26.318,04	26.638,76	80.086,89
Diğer	2.303,35	1.898,61	2.819,98	7.021,94
Diğer Römork./İkmal Gemisi	1.988,53	2.187,88	2.811,29	6.987,71
Liman Römorkörü	32.066,02	33.254,98	34.058,33	99.379,32

Şekil 38'de gemi türlerine göre 2019, 2020 ve 2021 yılları arasında gemi türlerine bağlı olarak Trozzi&Vaccaro metodu ile yapılan toplam emisyon miktarının değişimi gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde, bazı gemi türlerinde, mevsimsel, dönemsel ve taşıma yaptığı yük türünün sektörel etkilerinin altında, artış, azalış ve dalgalanma olduğu görülmektedir. Konteyner, liman römorkörü, kuru yük, tanker, genel kargo, kimyasal ve diğer gemi türlerinde artış olduğu; yolcu gemi türünde Şekil 37'de detaylı olarak belirtilen covid pandemisi sebebiyle azalma olduğu; araba, RORO ve LPG/LNG gemi türlerinde ise dalgalanma olduğu gözlenmektedir.



Şekil 38. Trozzi&Vaccaro metodu ile gemi türlerine göre toplam emisyonalarda yıllara göre değişim.

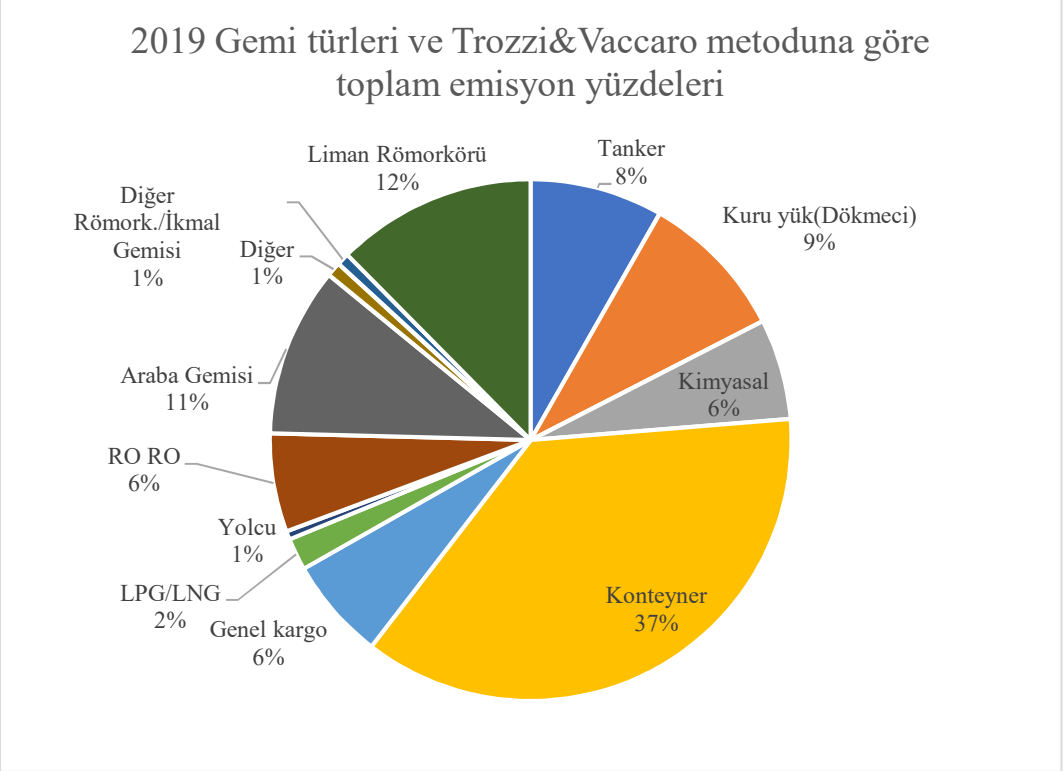
Bu değişimler üzerinden pandemi türü etkilerin, insan faktörünün yoğun olduğu yolcu gemisi ve roro gemilerini direk yönde etkilediği gözükmektedir. Buna bağlı olarakda bu gemi

türlerinin yoğun olarak çalıştığı liman sahalarında baca gazı emisyonlarında belirgin bir düşüşün olacağı ortaya çıkmaktadır.

3.4.2.7. Trozzi&Vaccaro metodu ile gemi türlerinin toplam yıllık emisyon oranları

Tablo 29'da verilen değerlerden 2019 yılına ait, gemi türlerine göre toplam emisyon miktarı Şekil 39'da yüzdelik pasta dilimi şeklinde gösterilmektedir. Dönemsel bir dalgalanma olmaması sebebiyle 2019 yılı verileri tercih edilmiştir.

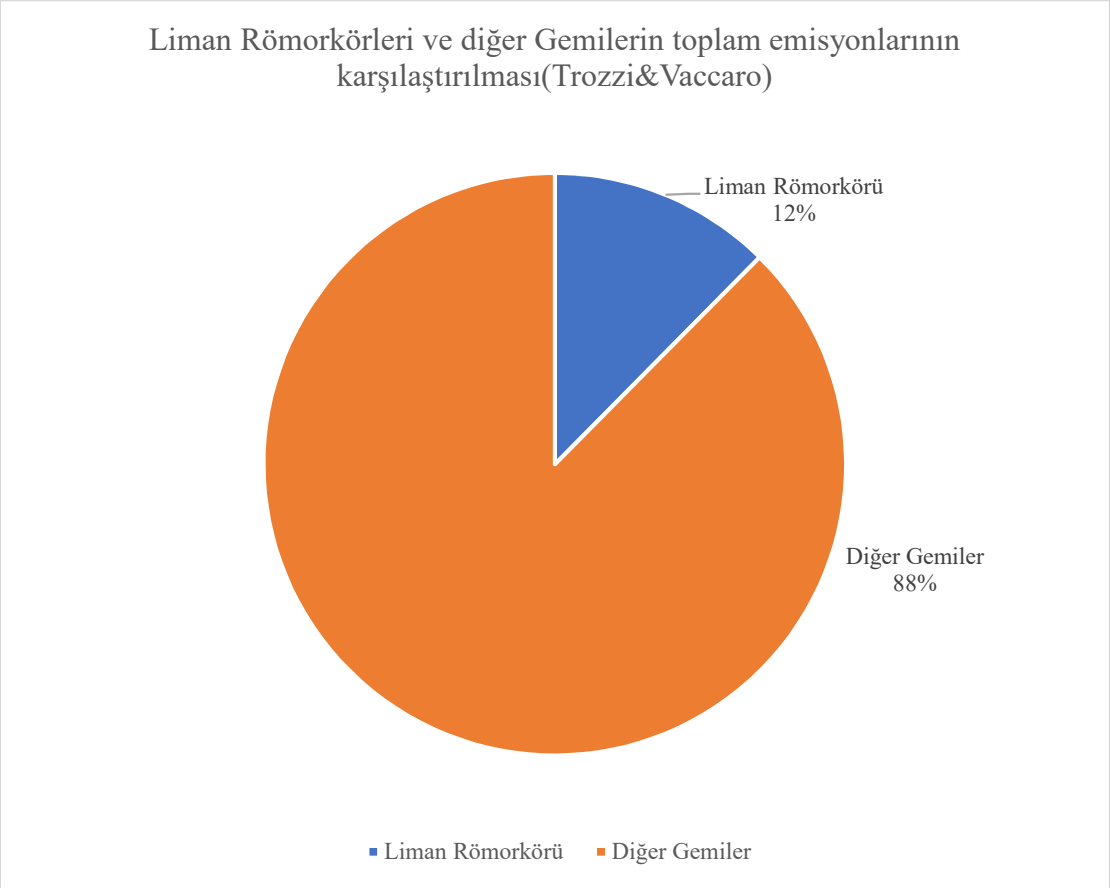
Şekil incelendiğinde; konteyner gemileri %37 oranı ile İzmit Körfezi içerisinde en fazla emisyon üreten gemi türü olmuş, bu türü, sırasıyla liman römorkörleri, araba gemisi, kuru yük, tanker, RORO, kimyasal, genel kargo gemileri ve diğerleri; %12, %11, %9, %8, %6, %6, %6 oranları ile takip etmiştir. Bu durum Körfez bölgesinde en fazla konteyner gemilerinin bulunduğunu göstermektedir.



Şekil 39. Trozzi&Vaccaro metoduna göre gemi türlerinin 2019 yılı toplam emisyon oranları.

3.4.1.8. Liman römorkörlerinin diğer gemilere oranla egzoz emisyon payı

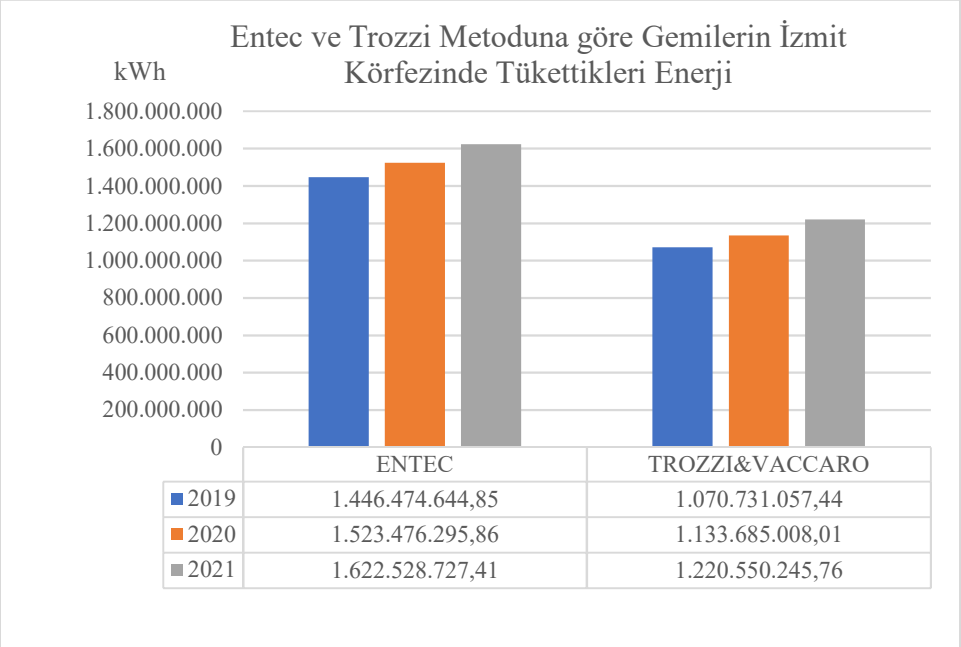
İzmit Körfezi içerisinde 2019 yılı verileri baz alınarak Trozzi&Vaccaro metodu ile yapılan hesaplama sonuçlarında liman römorkörleri ve diğer gemilerin toplam emisyon oranları Şekil 40'da gösterilmektedir. Liman römorkörleri genel itibariyle tonajı, sefer sahası ve yerel trafik unsuru olarak değerlendirildiği için, emisyon hesaplama çalışmalarında dikkate alınmamaktadır. Fakat barındırdıkları yüksek güç çıktısı sağlayan ana makineleri ve görev icra ettikleri liman manevraları esnasında kullandıkları yüksek ana makine yükü nedeniyle ciddi emisyon kaynağı olarak yer teşkil etmektedir. Bu çalışmada %12 ile oluşturdukları emisyon payı ve gemi sınıfı olarak 2. sırada yer alması, önemini göstermektedir.



Şekil 40. Liman römörkörleri ve diğer gemilere ait toplam emisyonların karşılaştırılması.

3.5. Entec ve Trozzi&Vaccaro egzoz emisyon sonuçlarının karşılaştırılması

İzmit Körfezinde 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında bulunan gemilerin, tükettikleri enerji miktarı Entec ve Trozzi&Vaccaro metotları ile ayrı ayrı hesaplanmış olup, Şekil 41'de iki metodun karşılaştırılması gösterilmektedir. Tablo incelendiğinde, hesap formülasyonlarında çarpan olarak bulunan, ana makine ve yardımcı makine yük oranlarının farklı olması sebebiyle, Entec metoduna ait değerlerin, Trozzi&Vaccaro metoduna ait sonuçlardan yüksek olduğu, bununla birlikte her iki metodolojiye ait sonuçların yıllara göre lineer bir şekilde artış eğilimine devam ettiği gözlenmektedir.



Şekil 41. Entec ve Trozzi&Vaccaro metotları göre enerji tüketim miktarlarının karşılaştırılması.

İzmit Körfezinde 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında bulunan gemilerin, ürettikleri egzoz emisyon miktarı Entec ve Trozzi&Vaccaro metotları ile ayrı ayrı hesaplanmış olup, Şekil 42'da iki metodun karşılaştırılması gösterilmektedir.

Tablo incelendiğinde, hesap formülasyonlarında çarpan olarak bulunan, ana makine ve yardımcı makine yük oranları ve kirletici emisyon katsayılarının farklı olması sebebiyle, Entec metoduna ait değerlerin, Trozzi&Vaccaro metoduna ait sonuçlardan yüksek olduğu, bununla

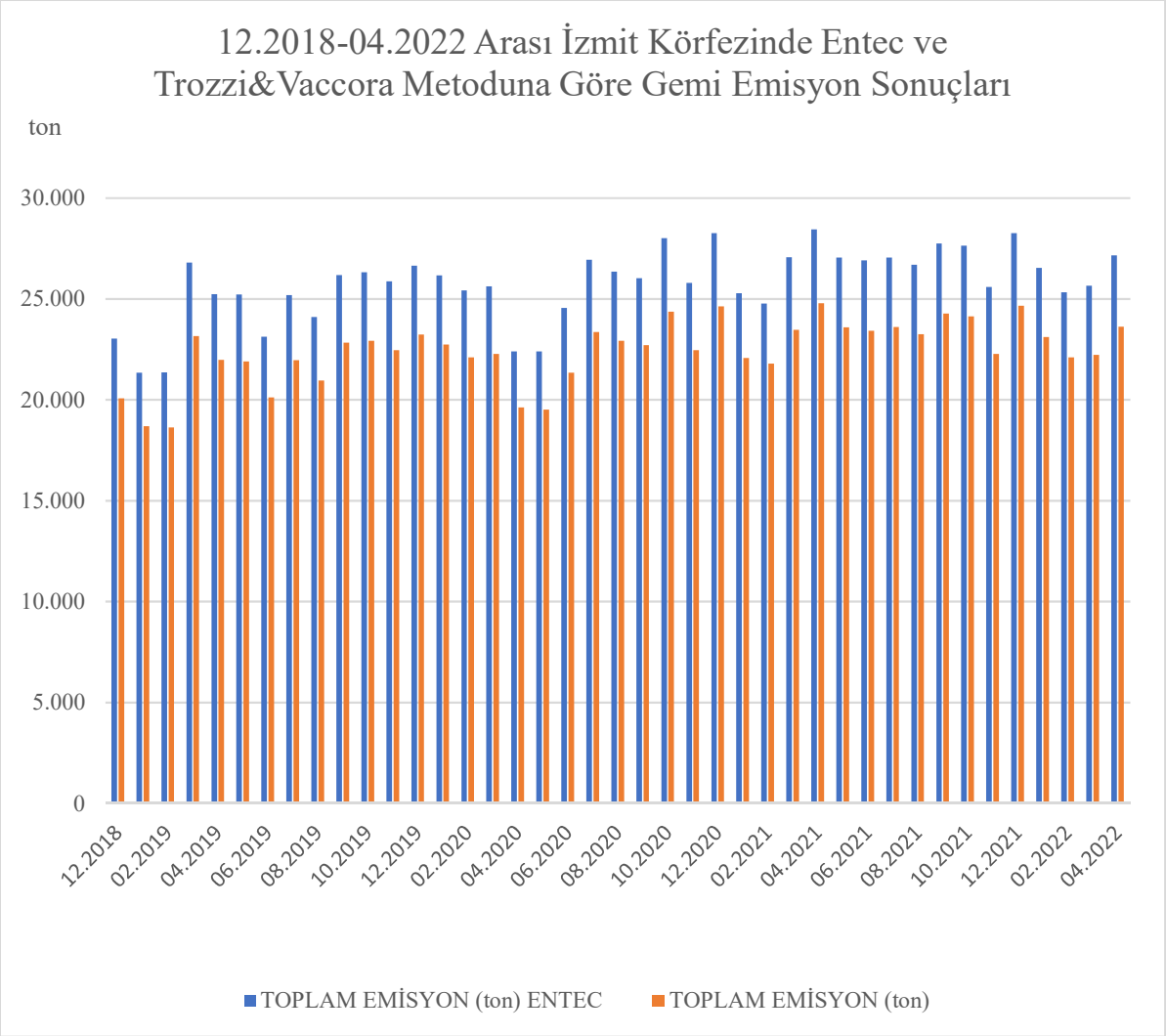
birlikte her iki metodolojiye ait sonuçların yıllara göre lineer bir şekilde artış eğilimine devam ettiği gözlenmektedir.

Entec metodolojisine ait egzoz emisyon sonuçları; 2019, 2020, 2021 yılları için, sırasıyla 297.311,00 ton, 307.861,00 ton ve 322.481,00 ton; Trozzi&Vaccaro emisyon sonuçları, 2019 için 258.764,00 ton, 2020 için 267.953,76 ton ve 2021 için 281.266,10 ton olarak hesaplanmıştır.



Şekil 42. Entec ve Trozzi&Vaccaro emisyon sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 43'de İzmit Körfezinde 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında bulunan gemilerin, Entec ve Trozzi&Vaccaro metotları ile ürettikleri egzoz emisyonların aylara bağlı seyri karşılaştırılmalı olarak gösterilmektedir.



Şekil 43. Aylara göre Entec ve Trozzi emisyon sonuçlarının karşılaştırılması.

3.6. Yağmur Suyu Analiz Sonuçları

Körfezdeki hakim rüzgar yönleri; N (Yıldız), NE (Poyraz) dikkate alınarak, en uygun lokasyon olan Karamürsel mevkiinden şekil 44'de gösterilmekte olan düzenekle, 18.02.2020 ve 10.03.2020 tarihlerinde yağmur suyu numunesi alınmıştır. Alınan numunelerden, anlık olarak Şekil 45'de gösterildiği üzere pH ölçümü yapılmış olup ortalama 5 değeri alınmıştır.



Şekil 44. Yağmur suyu örneklemi



Şekil 45. Örneklem pH ölçümü

Akabinde numuneler İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün laboratuvarda analiz edilmiş olup Tablo 28'de belirtildiği üzere, 18.02.2020 tarihindeki örneklem sülfat, nitrat, amonyum ve pH değerleri için sırasıyla 53 ppm, 108 ppm, 67 ppm ve 6.2 bulunmuş olup 10.03.2020 tarihli örneklem 64 ppm, 140 ppm, 90 ppm ve 5.6 olarak tahlil edilmiştir. Literatürde, marin dizel kullanımının yoğun olduğu bölgelerde; amonyum nitrat değerlerinin yüksek çıkması, karşılaşılan bir durum olarak geçmesinden dolayı, Körfez bölgesi için gemi kaynaklı egzoz kirliliğinin yağmur suyu analizlerinden takip edilebileceği görülmektedir (Oduber ve diğerleri, 2020).

Tablo 28. Yağmur suyu örneklem sonuçları.

	18.02.2020	**10.03.2020**
Sülfat	53 ppm	64 ppm
Nitrat	108 ppm	140 ppm
Amonyum	67 ppm	90 ppm
Ph	6.2	5.6

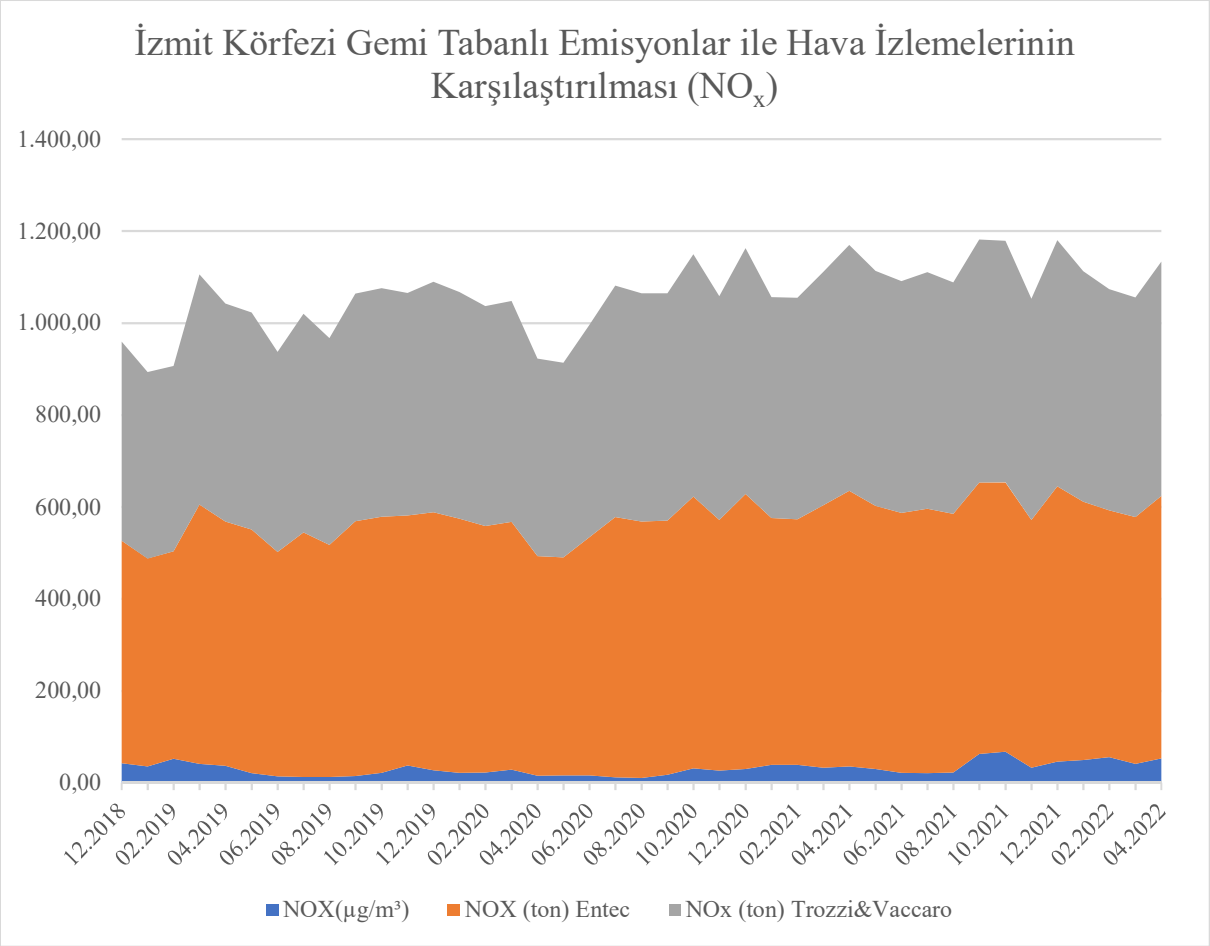
3.7. Emisyon Sonuçları ve Hava Ölçüm Sonuçları Arasındaki Korelasyon

Çalışmanın en önemli özgün boyutlarından biri Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplaması yapılan egzoz emisyon sonuçlarının, bölgeden alınan hava değerleriyle arasında ilişki bulunup, bulunmadığını tespit etmektir. Bu durumla ilgili, her iki metotla hesaplaması yapılan, Şekil 43'de gösterilen, kütlesel ton cinsinden, azotoksit (NO_x), kükürtoksit (SO_x) ve partikül madde (PM) kirletici maddeler ile Tablo 19'da gösterilen Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan alınan, miligram bölü metreküp ($\mu g/m^3$) olan yoğunluksal verilerin korelasyon işlemi yapılmıştır. Bağıntıyı direk yönden etkiyecek; rüzgar, basınç, sıcaklık, nem, yağmur gibi bir çok çevresel etken olmasına rağmen Tablo 29'da belirtildiği üzere basit (ikili) korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir.

Tablo 29. Korelasyon tablosu.

	Entec	**Trozzi&Vaccaro**
NOX Korelasyon	0,195086464	0,206630245
SOX Korelasyon	0,41671298	0,424805941
PM Korelasyon	-0,133402736	-0,18262633

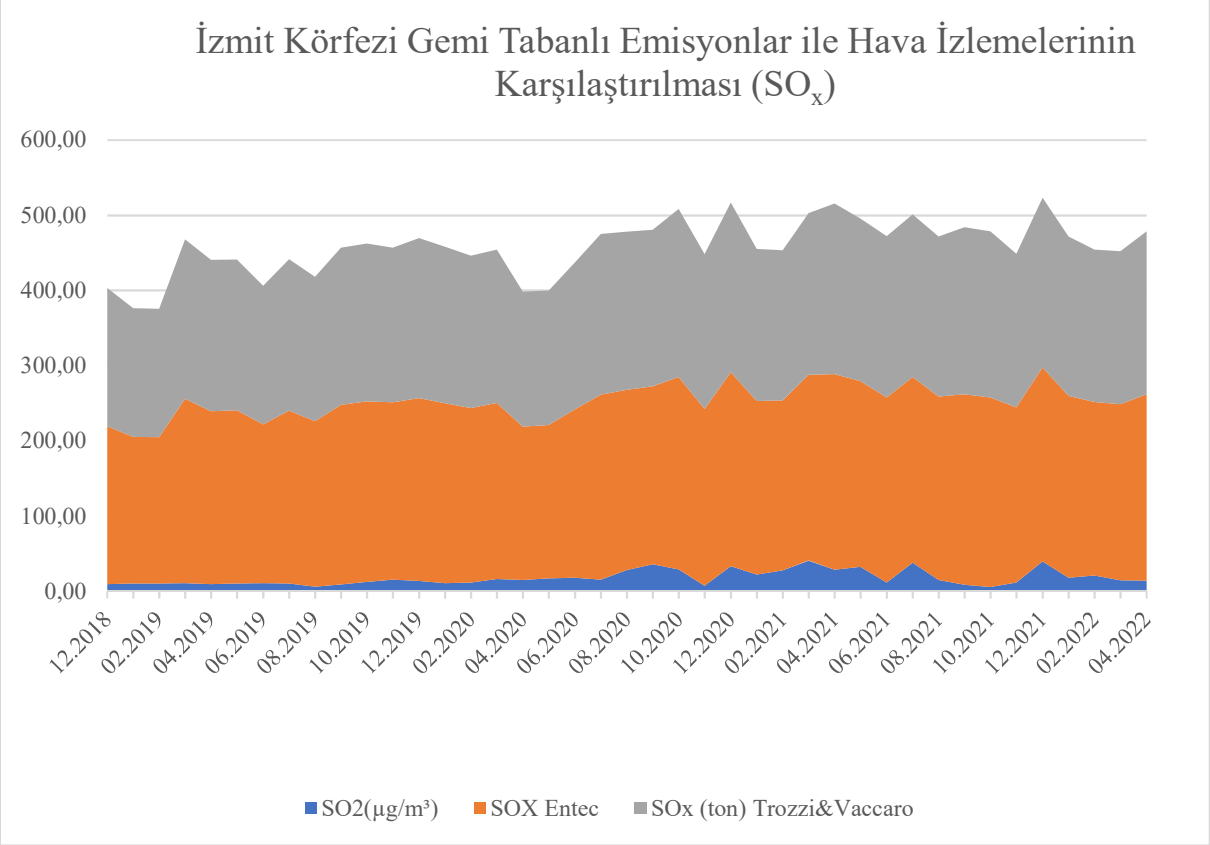
Şekil 46'da, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplanan gemi azotoksit (NO_x)emisyonları, ile Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan alınan NO_x ölçüm sonuçları bütünleşik grafik olarak karşılaştırılmıştır. Tablo 29'da gösterildiği üzere Entec sonucu ile İstasyon verisi arasındaki korelasyon 0.19; Trozzi&Vaccaro verisi arasındaki korelasyon 0,20 çıkmıştır. Her iki hesaplama sonucu ile ölçüm sonucu arasında düşük düzeyde korelasyon çıkmıştır.



Şekil 46. Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla bulunan NO_x sonuçlarının, Altınova hava ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 47'de, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplanan gemi kükürtoksit (SO_x)emisyonları, ile Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan alınan SO_2 ölçüm sonuçları karşılaştırılmış olup, Tablo 32'de gösterildiği üzere Entec sonucu ile İstasyon verisi arasındaki korelasyon 0.41, Trozzi&Vaccaro verisi arasındaki korelasyon 0,42 çıkmıştır. Her iki hesaplama sonucu ile ölçüm sonucu arasında orta düzeyde korelasyon çıkmıştır. Bu korelasyon ilişki düzeyi, karşılaştırma yapılan 3 veri cinsi arasındaki en yüksek ilişki düzeyidir. Son dönemde yapılan araştırmalar, kükürtoksit parametresinin izlenmesi için yeni bir sebep ortaya koymuştur. Simons tarafından ileri sürülen iddada; gemi yakıtlarında IMO'nun aldığı karara bağlı olarak azaltılan kükürt oranı ile birlikte güneş ışığının yansıtılmasına yardımcı olan sülfür aerosollarında düşüş meydana gelmekte ve bu sebeple

güneş ışığın yansıtılma oranı düşürek denizlerin daha fazla ısınmasına sebep olmaktadır (Simons ve diğerleri, 2021). Bu yönüyle deniz suyu sıcaklığı ve sülfürlü yakıt kullanımının yıllara bağlı olara incelenmesi gerekmektedir.

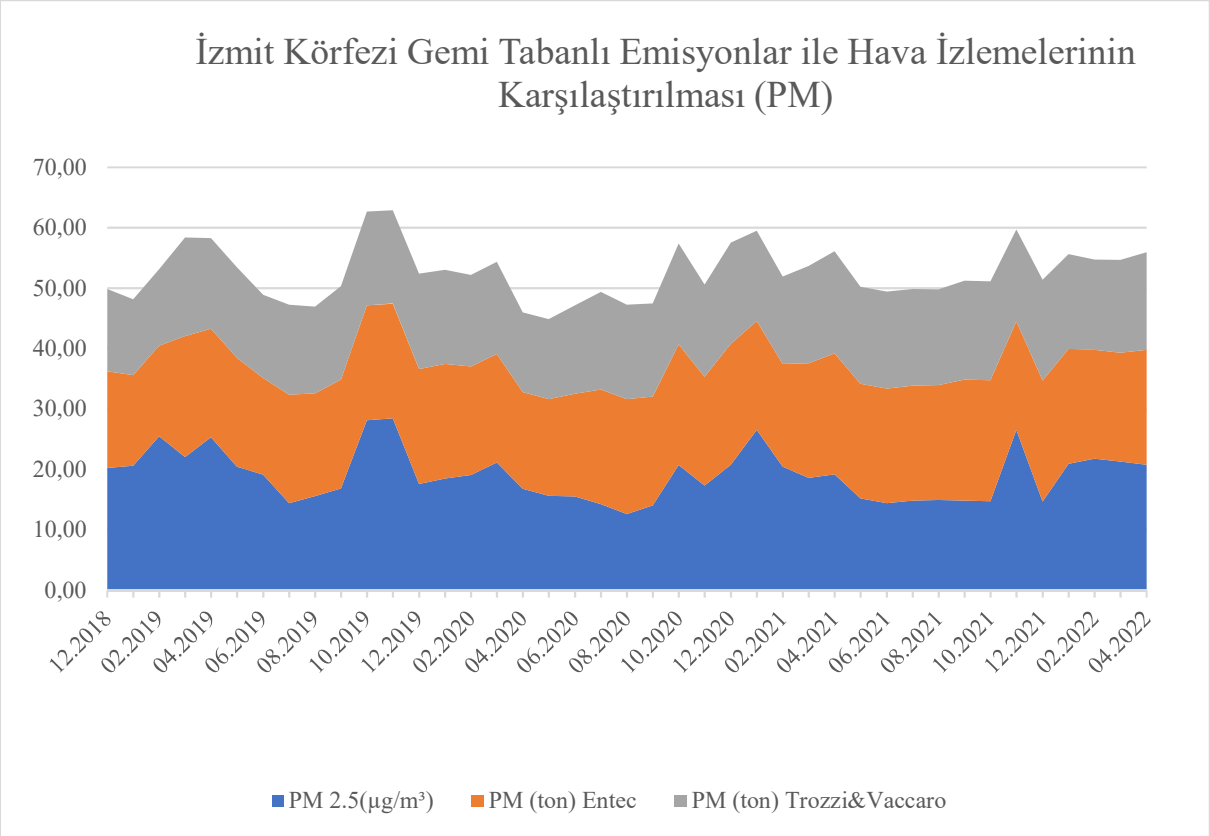


Şekil 47. Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla bulunan SOx sonuçlarının Altınova hava ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Şekil 48'de, 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplanan gemi partikül madde (PM) emisyonları, ile Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan alınan PM 2.5 ölçüm sonuçları karşılaştırılmış olup, Tablo 29'da gösterildiği üzere Entec sonucu ile İstasyon verisi arasındaki korelasyon -0.13 bunun yanında Trozzi&Vaccaro verisi arasındaki korelasyon -0,18 çıkmıştır. Her iki hesaplama sonucu ile ölçüm sonucu arasında negatif yönlü düşük düzeyde korelasyon çıkmıştır.

Bu korelasyon ilişki düzeyi, karşılaştırma yapılan 3 veri cinsi arasındaki en düşük ilişki düzeyidir. Bu karşılaştırmada bağlantı düzeyinin, belli noktalarda yüksek olmasına rağmen

genelde zayıf ilişki düzeyinde çıkmasında; yağmur, sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar gibi çevresel faktör etkisinin, gemi bacasından çıkan partikül madde konsantrasyonunu çevreye dağılmadan dar alanda sıkışıp çökmeye maruz bırakarak, hava kalitesi izleme istasyon alıcılarına ulaşamamasına, bu sebeple korelasyon ilişkisinin çok düşük çıkmasına neden olduğu değerlendirilmiştir.



Şekil 48. Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla bulunan PM sonuçlarının, Altınova hava ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılması.

Sonuç olarak gemi egzoz emisyonlarından, azotoksit (NO_x), kükürtoksit (SO_x) ve partikül madde kirleticilerinin zamana yayılı hesaplama sonuçlarının; rüzgar, yağmur, sıcaklık, basınç ve nem gibi çevresel koşulların etkisine bağlı olarak, hava ölçüm sonuçlarıyla korelasyon ilişkisi olduğu gözlenmiştir. Bu parametreler içerisinde özellikle kükürtoksit (SO_x) kirleticisinin hava ölçüm sonuçlarından takibi, NO_x ve PM kirlerticisine göre daha izlenebilir olduğu görülmüştür.

4. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Dünyanın dörtte üçünün denizler ile çevrili olması ve suyun kaldırma kuvvetinin sağladığı, birim taşıma kapasitesi bölü güç oranının diğer tüm taşımacılık (raylı sistemler, havayolu ve karayolu) yöntemlerine hakimliği sebebiyle denizcilik; küresel ticaretin en önemli unsurlarından biridir.

Sağladığı bu önemli faydanın yanında; dezavantajlı boyutları da bulunmaktadır. Bu dezavantajlı boyutlarından, günümüzde en fazla ses getiren kısmı; egzoz emisyonu, gürültü emisyonu, atık su emisyonu vb. çevresel etkileridir. Denizcilik; genel itibariyle, fosil yakıtların içten yanmalı makinelerde kimyasal reaksiyona girerek hareket enerjisine çevrilmesiyle ortaya çıkan tahrikle yürütülen gemileri ifade etmektedir. Bu yönüyle bahsi geçen enerji dönüşümü, egzoz emisyonu olarak ifade edilen ve çevreye istenmeyen etkiler bırakan süreçleri barındırmaktadır. Artan küresel ısınma, gittikçe daha fazla hissedilebilen sera gazı etkileri, fosil yakıt kullanımını kaçınılmaz bir şekilde mercek altına almayı gerektirmektedir.

Gemilerde kurulu bulunan makineler ve yardımcı donanımları hali hazırda, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin en önemli tetikleyicisi olarak kabul edilen CO_2 emisyonlarının %3'üne kaynaklık etmektedir. Bunun yanında NO_x, SO_x, VOC, PM ve CO gibi kirletici maddelerde karbondioksit kadar etken olmamakla birlikte çevrede olumsuz tesirler oluşturan, birincil kirletici kategorisinde olan maddelerdir. Karbondioksit ve bahsi geçen bu maddelerin tamamı, 2016 yılı küresel sera gazlarının toplam emisyon rakamı olan 49.4 milyar ton/yıl CO_2 eşdeğerinin %1.7'sini oluşturmaktadır.Bu çevresel etkileri ile birlikte en çevreci transfer aracı olmaya devam etmektedir.

Sağladığı bu önemli fayda, ve olumsuz tesirleri de göz önünde tutarak, denizciliği daha efektif ve çevreci şekilde gerçekleştirmek bir mecburiyettir. Bu durumdan dolayı denizcilik sektörünü takip etmek, egzoz emisyonu gibi zararlı boyutlarını en aza indirmek, çözümler üretmek gerekmektedir.

Türkiyenin denizcilik faliyetleri açısından en yoğun bölgesi olan İzmit Körfezinde meydana gelen gemi kaynaklı egzoz emisyonlarını inceleyen bu çalışmada; 01.12.2018 ve 30.04.2022 tarihleri arasında buluna 3 yıl 5 aylık sürede gerçekleşen gemi kaynaklı egzoz emisyonları, Entec ve Trozzi&Vaccaro yöntem kullanılarak hesaplanmış ve iki farklı yöntemle karşılaştırılmıştır.

Yapılan hesaplamalar neticesinde Entec ve Trozzi&Vaccaro metotlarının; filo ve bölge bazlı hesaplama zorluk ve kolaylığı, spesifik hesaplamalarda gerçeklik katsayısının yüksek ve düşük olması gibi birbirine göre güçlü ve zayıf yönlerinin olduğu görülmüştür. Liman bölgelerini konu alan bu ve benzeri çalışmalarda, sabit hız ve makine yükü bulunmadığından, bu durumun aksine, her birinde farklı makine yük oranları bulunan; seyir, manevra, alarga(demir) fazlarından oluştuğu için Entec metodunun kullanımının daha gerçeklik katsayısı yüksek sonuçlar çıkaracağı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte liman bölgelerine göre, daha stabil hız ve makine yükü bulunan; İstanbul ve Çanakkale Boğaz geçişleri, Marmara Denizi geçişi gibi alanlarda tümevarım usulüyle yaklaşan Entec ve tümdengelim usulüyle yaklaşan Trozzi&Vaccaro yöntemleriyle kullanılabileceği düşünülmektedir.

Literatürde pek fazla yer etmeyen, genelde yerel trafik olarak değerlendirilen, son dönemde dünya ekseninde çalışılmaya başlanan liman römorkörleri konusu; bu tez kapsamında çalışılmış olup, ilk defa bir Türk deniz alanı için hesaplanmış ve çalışılan alan için %10-14 gibi ciddi bir emisyon kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Bu rakam, bölgede %37 tutarında egzoz emisyonu oluşturan konteyner gemilerinden sonra 2. sırada en fazla emisyon oluşturan gemi olması sebebiyle ve mevcut çalışmalarda yeterince böyle büyük bir emisyon kaynağının bulunmaması dolayısıyla dikkat çekicidir.

Çalışmanın önemli özgün boyutlarından biri aylara göre Entec ve Trozzi&Vaccaro metoduyla hesaplaması yapılan egzoz emisyon sonuçlarının, bölgeden alınan hava değerleriyle arasında ilişki bulunup, bulunmadığını tespit etmektir. Hesaplaması yapılan, kütlesel ton cinsinden, azotoksit (NOx), kükürtoksit (SOx) ve partikül madde (PM) kirletici maddeler ile Altınova Hava Kalitesi İzleme İstasyonundan alınan, miligram bölü metreküp ($\mu g/m^3$) olan yoğunluksal verilerin korelasyon işlemi yapılmıştır. Bağıntıyı direk yönden etkiyecek; rüzgar, basınç, sıcaklık, nem, yağmur gibi bir çok çevresel etken olmasına rağmen, basit (ikili) korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. İstasyondan ölçümü yapılan azotoksit (NO_x) ile Entec metodu sonucu arasında 0.19; Trozzi&Vaccaro metodu arasında 0.20 sonucu bulunmuş ve

pozitif yönlü düşük düzeyde korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Kükürtoksit (SO_x) hava ölçüm parametresi ile Entec metodu sonucunda 0.41, Trozzi&Vaccaro sonucunda 0,42 sonucu bulunmuş ve orta düzeyde pozitif korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Partikül madde (PM) hava ölçüm sonucu ile Entec metodu sonucu arasında -0,13, Trozzi&Vaccaro sonucunda -0.18 sonucu bulunmuş ve negatif yönlü düşük düzeyde korelasyon ilişkisi görülmüştür.

Parametreler içerisinde özellikle kükürtoksit (SOx) kirleticisinin hava ölçüm sonuçlarından takibi, NOx ve PM kirlerticisine göre ortalama %42 daha fazla izlenebilir olduğu görülmüştür. Bununla birlikte dikkat çeken diğer bir husus, hava ölçüm sonuçları ile Entec ve Trozzi metodolojisine bağlı korelasyon ilişkilerinde Trozzi&Vaccaro korelasyonunun %1 mertebesinde daha yüksek çıkmasıdır. Bu, Trozzi&Vaccaro sonuçlarının Entec sonuçlarına göre azda olsa hava ölçüm sonuçları ile daha iyi bir ilişkisinin bulunduğudur.

4.1. Bölgede Yapılan Benzer Çalışmalar ile Mukayesesi

Deniz ve Durmuşoğlu tarafından Marmara Denizi ölçeğinde, 2003 yılı verilerinden yola çıkarak, Trozzi&Vaccaro metodolojisi ile yapılan hesaplamada 5.680.275 ton/yıl CO_2 eşdeğeri emisyon bulunmuştur (Deniz ve Durmuşoğlu, 2008). Bu çalışmada aynı metot olan Trozzi&Vaccaro ile İzmit Körfezi ölçeğinde hasaplanan 2019, 2020 ve 2021 tarihlerinin ortalaması alınarak çıkan sonuç ise 268.996,39 ton/yıl CO2 eşdeğeri bulunmuştur. Ölçek farklılıklarının yanında Deniz ve Durmuşoğlu'nun hesaplamasını yaptığı dönemde makine teknolojilerindeki farklılıklar, kural kısıtlamalarının bulunmaması, yüksek emisyon değerlerine sahip ağır yakıt olan fuel-oilin kullanılması gibi nedenler sebebiyle belirgin oran farklılığı göze çarpmaktadır.

Kılıç ve Deniz tarafında 2005 yılının verileri ile bu çalışmanında yapıldığı İzmit Körfezinde yapılan çalışmada, Entec metodu kullanılarak CO_2 254.261 ton/yıl sonucu bulunmuştur. Bu çalışmada ise yine Entec metodu ile yapılan hesaplamada 2021 yılı verisi 311.835/yıl olarak çıkmıştır. Bu noktada 2005 yılındaki çalışmada 11645 gemi, bu çalışmada ise 42167 adet gemi hareketi gerçekleşmiştir. Arada bulunan 16 yıllık dönemde filonun, makine teknolojilerinin, kural gerekliliklerinin ve yakıt içerik ve tercihlerinin de değişmesi göz önününe alınarak; İzmit Körfezi için birim iş miktarında artış, bu artış ile ters orantılı olarak yapılan işe karşılık egzoz emisyonlarında düşüş olduğu söylenebilmektedir.

Bununla birlikte Ekmekçioğlu ve diğerleri tarafından 2017 ve 2018 tarihleri arasındaki 1 yıllık süreyi kapsayan çalışmada, Türkiye'nin en büyük konteyner limanı olan Ambarlı

Limanını Entec metotu ile ele almış ve 75.357 ton/yıl CO_2 eşdeğeri emisyon hesaplanmıştır (Ekmekçioğlu ve diğerleri, 2020). Bu çalışmanın ilgili tarihe en yakın kısmı olan 2019 yılı verileri ise 297.311 ton/yıl CO_2 eş değeri çıkması açısından göz önününe alındığında, İzmit Körfezinin Türk liman bölgeleri arasında en yoğun alan olduğu emisyon verileriyle tekrar ortaya çıkmaktadır.

Ekmekçioğlu ve diğerleri tarafından yapılan aynı çalışmada İzmit Körfezin en büyük limanı olan Kocaeli limanının 138.822 ton/yıl CO2 eşdeğeri emisyona sebep olduğu hesaplanmıştır. Bu çalışmada ilgili tarihleri en yakın dönem olan 2019 yılı sonuçları olan 297.311 ton/yıl CO2 eşdeğeri emisyonun bulunması ise bölgede yapılan benzer zamanlı çalışmaların tutarlı sonuçlara sahip olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmaların ayrı ayrı değerlenmesi ile ortaya çıkan sonuçların yanında,Tablo 30 üzerinden yapılan değerlendirmede, teknolojik gelişmeler, filo yaşının gençleşmesi, regülasyon değişikliklerine rağmen artan denizcilik faaliyetleri sebebiyle, İzmit Körfezinde gerçekleşen gemi kaynaklı egzoz kirliliğinin birim hareket bölü emisyon olarak azaldığı fakat gemi hareketlerinin zamana bağlı olarak artması ile doğru orantılı olarak emisyon miktarınında artarak devam ettiği görülebilmektedir. Bu emisyon parametresinin yanında Körfez bölge nüfusunun da yine zamana bağlı olarak arttığı gözlenmektedir. Bu değişimler göz önünde tutularak, daha fazla takip ve tedbir alınması gerekmektedir.

Tablo 30. Egzoz emisyon çalışması yapılan bazı bölgelerin karşılaştırılması

Çalışma Yapılan Alan ve Yıl	**CO_2 (ton)**	**NO_x (ton)**	**SO_x (ton)**	**VOC (ton)**	**PM (ton)**	**CO (ton)**	**Kaynak**	**Kullanılan Yöntem**
Marmara Denizi 2003 (1 yıl)	5.451.224	111.039	87.168	5.801	4.762	20.281	Deniz ve Durmuşoğlu, 2007	Trozzi&Vaccaro
İzmit Körfezi 2005 (1 yıl)	254.261	5.356	4.305	-	484	-	Kılıç ve Deniz, 2007	Entec
Ambarlı Limanı 2017-2018 (1 yıl)	72.802	1430	900	60,9	105,3	59	Ekmekçioğlu,2020	Entec
Kocaeli Limanı 2017-2018 (1 yıl)	134.120	2.655	1.652	108	181	106	Ekmekçioğlu,2020	Entec
İzmit Körfezi 12.2018-04. 2022 (41 ay)	1.020.722	22.298	9.632	1.049	748	843	Bu çalışma	Entec
İzmit Körfezi 12.2018-04. 2022 (41 ay)	888.460	19.911	8.425	887	626	762	Bu çalışma	Trozzi&Vaccaro

4.2. Bölgedeki Benzer Egzoz Emisyon Kaynaklarının Değerlendirilmesi

Tablo 4.2.'de İzmit Körfezinde meydana gelen gemi kaynaklı egzoz kirliliği ile bölgede bulunan diğer emisyon kaynaklarının mukayesesi yapılmaktadır. Çalışmanın geçmiş boyutlarında temas edildiği gibi, denizyolu taşımacılığı, birim enerji başına yük taşımada, karayolu, denizyolu ve havayoluna göre en efektif ve çevreci yoldur.

Tablo 31. Bölgeki diğer emisyon kaynakları.

Çalışma Yılı	**Çalışma Bölgesi ve Türü**	**Emisyon Türü**	**Kaynak**
2017	Kocaeli toplam sera gazı emisyonu	21,23 Mton CO_2-eşd	Atmaca ve Sevimoğlu, 2020
2017	Kocaeli ulaşım emisyonu	4,15 Mton CO_2-eşd	Atmaca ve Sevimoğlu, 2020
2017	İstanbul karayolu toplu ulaşım	1,19 Mton CO_2-eşd	Öztürk, 2018
2019	İzmit Körfezi gemi kaynaklı toplam	0,29 Mton CO_2-eşd	Bu çalışma

İzmit Körfezinin büyük bölümünüde barındırın Kocaeli ili ile ilgili 2017 yılında Atmaca ve Sevimoğlu, (2020)'da yapılan çalışmada; antropojenik kaynaklı toplam 21,23 Mton CO_2 eşdeğeri emisyon hesaplamış, aynı çalışmada Kocaeli ili kara taşıtları ulaşım emisyonunu 4,15 Mton CO_2-eşdeğeri hesaplamıştır. Bu çalışmada ilgili tarihlere en yakın dönem olan 2019 yılı sonuçları olan 0.29 Mton/yıl CO_2 eşdeğeri emisyonun bulunması ile mukayese edildiğinde İzmit Körfezi gemi egzoz emisyonları Kocaeli'de oluşan antropojenik kaynaklı sera gazı emisyonun ortalama %1.3'üne karşılık gelmektedir. Bu rakam 2019 yılı dünya ortalaması olan %1.7'nin altında olması ile olumlu karşılanabilmekte birlikte tedbir alınmasını gerektirmektedir (Atmaca ve Sevimoğlu, 2020). Bununla birlikte gemi emisyonları Kocaeli ilindeki kara kaynaklı ulaşım emisyonlarının ortalama %7'sine karşılık gelmektedir. Bu rakam 2019 yılı dünya ortalaması olan %10'nun altında olması sebebiyle olumlu değerlendirilebilir fakat, Türkiye'nin gelişen bir ülke olması bu oranın artacağını göstermektedir. Genel itibariyle İzmit Körfezi gemi kaynaklı egzoz emisyonlarının bölgedeki payı dünya ortalamasının altında olmakla birlikte artan hacmi sebebiyle tedbir alınması gerekmektedir.

2017 yılında Öztürk (2018) tarafından yapılan hesaplamada ise İstanbul dahilinde, otobüs, minubüs, dolmuş, servis ve taksiden oluşan toplu ulaşım araçları filosunun ortaya çıkardığı emisyon, 1,19 Mton CO_2- eşdeğeri olarak gösterilmiştir. Bu çalışmada ilgili döneme en yakın 2019 yılı verisi olan 0.29 Mton/yıl CO_2-eşdeğeri ile değerlendirildiğinde İzmit Körfezi gemi egzoz emisyonları, İstanbul ili 2017 yılı toplu taşıma emisyonlarının %24'üne karşılık gelmektedir. Yapılan işe karşılık ortaya çıkan emisyon değerlendirmesinde İzmit Körfezi gemicilik faaliyetlerinin çevreci olduğu bu karşılaştırma üzerinden çıkarılabilmektedir.

Söylenebilir ki, Türkiye'nin en büyük denizcilik ve lojistik alanı olan İzmit Körfezinde gemi kaynaklı egzoz emisyon kirliliği, diğer emisyon kaynakları ile yan yana getirildiğinde, yerine getirdiği fonksiyonda göz önüne alınarak en çevreci ve efektif ulaşım aracı olduğu ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte artış eğilimi devam eden ve çevresel etkileri göz ardı edilemeyecek gemi egzoz gazlarıda bir realite olarak bulunmaktadır.

İzmit Körfezinde, Entec ve Trozzi&Vaccaro metodu ile yapılan hesaplamalarda, gemi tabanlı egzoz emisyonlarının, yıllara bağlı olarak lineer bir şekilde arttığı gözlenmektedir. Bununla birlikte hesabı yapılan emisyon sonuçları ile bölgede yapılan hava ölçüm sonuçları arasında korelasyon olduğu, özellikle kükürtoksit parametresinin Entec hesaplama sonucuyla 0,41; Trozzi&Vaccaro ile 0,42'lik korelasyon ilişkisi sebebiyle daha izlenebilir olduğu, bu vesileyle yapılan hesaplama sonuçlarının fiziki doğrulamalarının da yapılabileceği görülmüştür.

Bu çalışma ile birlikte, 2019 yılında Çin'de başlayan, ve Türkiye'de Nisan 2020 yılında kısıtlamalarının başladığı COVID pandemisinin, denizcilik üzerindeki etkilerinin emisyon hesaplamalarında görülebildiğidir. Bulgular bölümünde bulunan Şekil 16'da de görülebileceği üzere Nisan 2020 ve Şubat 2021 dönemlerinde ticari talebin düşmesi ve kapanma kısıtlamalarına bağlı olarak gemi hareketlerinde iki bölümden oluşan belirgin düşüşler olmuş, bu düşüşler ile doğru orantılı olarak emisyonlarda ilk pandemi etkisinde ortalama %13, ikinci pandemi etkisinde %3'lük düşüşler gözlenmiştir. Bu düşüşlere bağlı olarak da hava ölçüm istasyon verilerinde düşüş gözlenmiştir.

Gemi hareketlerine bağlı olarak; yanaşma-kalkma hizmeti veren liman römorkörleri, gemi hareketi olarak ve emisyon kaynağı olarak, %10-14'lük pay ile ciddi bir emisyon kaynağı olarak tespit edilmiştir. İzmit Körfezinin artan gemi yoğunluğuna bağlı olarak liman römorkör

hareketleri ve buna bağlı olarak emisyon miktarında artış olacağı öngörülmektedir. Bahsi geçen bu tespitler ve riskler sebebi ile alınması gereken tedbirler gerekmektedir.

4.3. Öneriler

İzmit Körfezi ve içinde bulunduğu Marmara Denizinin meydana getirdiği hinterland, Marmara Bölgesinin icra ettiği çok boyutlu fonksiyonunun sonucu olarak kirlilik artışına maruz kalmaktadır. Bölgenin büyük bir bölümünü teşkil eden Kocaeli ilinin 2021 yılında 153.479 TL ile ülkenin en yüksek gayrisafi yatırım hasılasına sahip olması ve bölgenin sanayi ve finans merkezi olması, en yoğun limanlama alanı olması, son dönemde tersane alanlarının artması ile birlikte, İzmit Körfezi; artan gemicilik faaliyetlerinin oluşturduğu baskıya maruz kalmaktadır (TÜİK, 2023). Öte yandan artan çevre hassasiyetleri ve IMO'nun koymuş olduğu 2050 yılında gemi emisyonlarının, 2008 yılı emisyonlarına göre %50 düşürülmesi hedefi ve olası revizeyle bu hedefin sıfır emisyona evrilmesi, çevrenin mevcut durumu kadar gelecek projeksiyonu da dikkate alınarak, problemin bütün boyutlarına cevap veren çok yönlü yapısal tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu tedbirler; uluslararası, ulusal, yerel yönetim ve denizcilik firmaları olmak üzere tüm paydaşları kapsayacak şekilde, çeşitli ölçeklerde olmalıdır. Özetle alınabilecek tedbirleri şu şekilde sıralayabiliriz;

- Asya ile Avrupa arasında doğal bir geçiş koridoru olarak bulunan Türk boğazları ve Marmara Denizi; raylı sistemlere entegrasyon altyapısı ve ulaşımdaki diğer göz ardı edilemeyecek avantajları dikkate alındığında; özelde İzmit Körfezi genelde Türk Denizleri daha fazla gemicilik faaliyetlerine konu olacaktır. Bu faaliyetlerin kaçınılmaz etkileri olan egzoz emisyonlarının çalışmalara konu olmasının dışında Avrupa'da ve Amerika' daki gibi müstakil kurumlar oluşturarak takibinin yapılması gerekmektedir. Bu sayede koordinasyon kurulup gerekli izleme, ölçme ve aksiyon faaliyetlerinin idareye bildirilip icrasına imkan doğacak, daha efektif olarak önleyici tedbilerin alınmasına sebep olacaktır.

- Marmara Denizinin, dünya denizlerindeki serbestiye nazaran, %0.1 oranında ultra düşük sülfür bulundurma gibi yakıt hassasiyeti sağlayan, kullanılan yakıtların ve ortaya çıkardığı egzoz emisyonlarının hassas bir şekilde izleme yükümlülükleri getiren; ECA (Emission Control Area-Emisyon Kontrol Alanı) olarak ivedilikle ilan edilmesi gerekmektedir. Bu noktada Uluslararası Denizcilik Örgütünün Akdenizi 1 Mayıs 2025 tarihinde itibaren ECA ilan etmesi mühim bir adım, Marmara Bölgesinin ilan edilmemiş olması bir eksikliktir. Bu çalışma vb. çalışmaların argüman olarak kullanılarak İzmit Körfezinin ECA olarak ilan

edilmesi sağlanmalıdır. Bu sayede bölge daha hassas kontrol edilebilecek, doğabilecek zararlar yerinde yerinde engellenecek ve bu durumun sağladığı finansman, zararların bertarafında kullanılabicektir.

- Emisyon azaltma çalışmalarının en önemli parametrelerinden biri yakıt çalışmalarıdır. Bunun içinde yakıt tedariki önemli bir kısmı temsil etmektedir. Yakıtları; halen kullanımının yaygın olduğu dizel oil ve fuel oil ile alternatif olarak kullanımının yaygınlaşacağı yakıtlar olan LNG, LPG, metanol ve amonyak olarak ele aldığımızda; Marmara Bölgesinde yakıt tedariki ile ilgili gerekli altyapının iyileştirilmesi, kontrol edilmesi ve düşük çevre emisyonu oluşturan yakıtların imal ve dağıtımının teşvik edilmesi ve takibinin yapılması çok önemli bir tetikleyici olacaktır. Bununla birlikte çözüm önerisi olarak ikinci paragrafta sunulanan; Marmara Denizinin IMO tarafından emisyon kontrol alanı olarak karar verilmesi ve ilan edilmesi ile ilgili gecikmelerin olabileceği göz önünde tutularak bölgede İdare olarak düşük kükürtlü yakıt kullanım kararının verilmesi gerekmektedir.

- Yakıt konusu ile ilgili son dönemde dikkat çeken; yakıtlarda bulunan kükürt oranının düşüşü ile havada bulunan ve güneş ışınlarınıda yansıtma özelliği bulunan sülfür aerosollarının azalması, bu durumla ters orantılı olarak güneş ışınlarının yansıtılmaması sebebiyle denizlerin ısınacağı iddasıdır (Simons ve diğerleri, 2021). İzmit Körfezi ve Marmara ölçeğinde; gemi kaynaklı kükürtoksit emisyonlarının, bölgede ölçümü yapılan kükürtoksit konsantrasyonunun ve deniz suyu sıcaklığının eşgüdümlü olarak takibinin yapılması gerekmektedir.

- İzmit Körfezi dahilinde liman altyapıları iyileştirilerek; limanlarda gemilerin bağlı durumda iken enerji ihtiyaçlarını giderebilecekleri ve jeneratör çalıştırmalarına gerek bırakmayacak, sahil bağlantı altyapısının (cold ironing) kurulması önemli ölçüde emisyon kaynağını sona erdirecektir.

- Egzoz emisyonlarının azaltılabilmesi için, hem bölgesel yoğunluğun, hem operasyonelliğin daha fazla iyileştirilerek planlanması gerekmektedir. Bu noktada bütünleşik yönetim mekanizmasının kurularak, makine öğrenmesi, akıllı öğrenme gibi metotların kullanılması ile lüzümsuz bekleme ve bölgede kalış sürelerinin azaltılması emisyonlarda gereksiz üretimi durduracaktır.

-Bölgede sabit hat olarak çalışan gemilerde; LNG, metanol vb. çevre dostu yakıt kullanımlı olan gemiler teşvik edilmeli, bununla birlikte tüm gemiler için egzoz emisyon kontrolü sıkı bir şekilde uygulanmalıdır.

- Bölge, Akdeniz ve Ege Bölgesinin İstanbul'a geçiş güzergahı olması sebebiyle gemi trafiği dışında değerlendirilebilecek, arabalı vapur hattının yoğun bir şekilde çalışmasından kaynaklı yerel trafiğe maruz kalmaktadır. Hatta bölgeye benzer bazı çalışmalarda, bu yerel trafiğin %25 emisyon payına ulaşabildiği bildirilmektedir (Durmaz, 2015; Tokuşlu, 2019). Her kadar 2016 yılında Altınova Gebze arasına yapılan Osman Gazi köprüsü arabalı vapur hattının yükünü düşürsede bölgedeki yerel trafiğin izlenmesi gerekmektedir.

- Bölgede çalışan, yerel trafik unsuru olarak değerlendirilen; arabalı vapur (ferry), yolcu vapuru, gezinti tekneleri ve balıkçı motorlarına; filo yenileştirme, düşük emisyonlu motor tercihi vb. teşvik uygulamalarının yapılması gerekmektedir.

- Liman römorkör filosunun yenileştirilmesi ve düşük emisyon kaynağı için revizyonların yapılması gerekmektedir. Bununla ilgili; römorkörlerde çift yakıtlı (dual) makine yenilemelerinin yapılması, hem dizel hem elektrik kaynaklı tasarımlar (hibrid) ve özellikle sıfır emisyon sağlayacak, liman operasyon menzilini sağlayan tam elektrikli (bataryalı) römorkörler ile iyileştirmelerin yapılması, kıyı bölgesinde gerçekleşen emisyonların önemli bir bölümünü elimine edecektir.

- Yukarıda temas edilen tedbirlerin bir çoğunun hayata geçirilmesinde; bölgenin hali hazırda kurulu bulunan geniş tersane alanları altyapı teşkil edebilir ve yerinde dönüşümü hızlı bir şekilde gerçekleştirebilir. Bu yönüyle bölge zengin fırsatlara sahiptir.

Sonuç olarak, ülkemizin bir çok alanda olduğu gibi sanayi alanı için de önemli yer tutan Marmara Bölgesi ve bu bölgeninin sanayi merkez üssü olarak ele alınabilecek İzmit Körfezi Gemi taşımacılığının ve tersaneciliğin en yüksek boyutta icra edildiği alandır. Sanayide olduğu gibi sanayiyi ayakta tutan iş gücü de bu mahalde meskündur. Bu sebeple gemicilik faaliyeti ve yaşam alanlarının iç içe geçtiği bu alandaki sağlık etkileşiminde gemi makinalarının ortaya çıkardığı egzoz emisyonlarının doğru olarak hesaplanması bu hesapta ortaya çıkan CO_2, NO_X, SO_2, VOC, PM ve CO gibi kirletici gazların mevcut hava kalitesine olan etkilerini ele almak ve yukarıda önerilen çözümleri aksiyona geçirmek, kıyı şeridinde yaşayan halkımızın sağlığı için ve daha temiz denizcilik faaliyetleri için gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Alnıpak, S., Kale, S. (2021). Covid-19 Sürecinin Ulaştırma Sektörü Finansal Performansına Etkileri. Ekonomi, Politika & Finans Araştırmaları Dergisi, 6(IERFM Özel Sayısı), 139-156. https://doi.org/10.30784/epfad.1020882

Altıok, H., Can, L., Mutlu, S. (2020). Daily variations in stratification in İzmit Bay. Turkish Journal of Earth Sciences, 29(5), 815-829. https://doi.org/10.3906/yer-1908-18

Ampah, J. D., Yusuf, A. A., Afrane, S., Jin, C., Liu, H. (2021). Reviewing two decades of cleaner alternative marine fuels: Towards IMO's decarbonization of the maritime transport sector. Journal of Cleaner Production, 320, 128871. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128871

Aspelund, A., Mølnvik, M. J., De Koeijer, G. (2006). Ship Transport of CO2. Chemical Engineering Research and Design, 84(9), 847-855. https://doi.org/10.1205/cherd.5147

Atmaca, Ç., Sevimoğlu, O. (2020). Determination of City-Based Greenhouse Gas Emissions: The Case Study of Kocaeli Province. Journal of the Institute of Science and Technology, 1616-1627. https://doi.org/10.21597/jist.669651

Bayırhan, İ., Mersin, K., Tokuşlu, A., Gazioğlu, C. (2019). Modelling of Ship Originated Exhaust Gas Emissions in the Strait of Istanbul (Bosphorus). International Journal of Environment and Geoinformatics, 6(3), 238-243. https://doi.org/10.30897/ijegeo.641397

Bilgili, L., Celebi, U. B. (2016). Emission Routing in Maritime Transportation (ss. 837-849). https://doi.org/10.1007/978-3-319-30127-3_62

Bodor, K., Bodor, Z., Szep, R. (2001). The Trend of Trace Elements (Cd, Ni, Pb) from PM2.5 and PM10 Aerosols and its Effect on Human Health in Bucharest, Romania. Revista de Chimie, 71(3), 433-439. https://doi.org/10.37358/RC.20.3.8017

Büyüköztürk Şener, Çokluk Ömay, Köklü Nilgün. (2012). Sosyal Bilimler İçin İstatistik. İstanbul: Pegem Akademi.

Čampara, L., Hasanspahić, N., Vujičić, S. (2018). Overview of MARPOL ANNEX VI regulations for prevention of air pollution from marine diesel engines. SHS Web of Conferences, 58, 01004. https://doi.org/10.1051/shsconf/20185801004

Chu Van, T., Ramirez, J., Rainey, T., Ristovski, Z., Brown, R. J. (2019). Global impacts of recent IMO regulations on marine fuel oil refining processes and ship emissions. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 70, 123-134. https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.04.001

Climate And Clean Air Coalition. (2023). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: https://www.ccacoalition.org/en (Erişim tarihi: 12.03.2023)

Corbett, J. J., Winebrake, J. J., Green, E. H., Kasibhatla, P., Eyring, V., Lauer, A. (2007). Mortality from Ship Emissions: A Global Assessment. Environmental Science & Technology, 41(24), 8512-8518. https://doi.org/10.1021/es071686z

Deniz, C., Durmuşoğlu, Y. (2008). Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara, Turkey. Science of the Total Environment, 390(1), 255-261. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.09.033

Durmaz, M. (2015). Bir Feribottan Yayılan Egzoz Emisyonlarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ekmekçioğlu, A., Kuzu, S. L., Ünlügençoğlu, K., Çelebi, U. B. (2020). Assessment of shipping emission factors through monitoring and modelling studies. The Science of The Total Environment, 743, 140742. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140742

Endresen, Ø. (2003). Emission from international sea transportation and environmental impact. Journal of Geophysical Research, 108(D17), 4560. https://doi.org/10.1029/2002JD002898

Entec UK. (2010). Entec UK Ship Emissions Inventory Final Report. https://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat15/1012131459_21897_Final_Report_291110.pdf (Erişim tarihi:01.05.2018)

Equasis-Electronic Ship Qualty Shipping İnformation System. (2020). The World Merchant Fleet In 2020. https://www.equasis.org/Fichiers/Statistiquei/ (Erişim tarihi: 08.10.2022)

Eyüpoğlu, H., Eyüpoğlu, Ö. (2020). İzmit Körfezi' nde Kirletici Kaynakların Dağılımı ve Deniz Ekosistemine Etkisi. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences, 5(1), 25-37. https://doi.org/10.35229/jaes.649669

Gazioğlu, C. (2018). Biodiversity, Coastal Protection, Promotion and Applicability Investigation of the Ocean Health Index for Turkish Seas. International Journal of Environment and Geoinformatics, 5(3), 353-367. https://doi.org/10.30897/ijegeo.484067

Hava İzleme. (2023). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: https://sim.csb.gov.tr/STN/STN_Report/StationDataDownloadNew (Erişim tarihi: 25.02.2023)

IMEAK. (2019). IMEAK 2019 Sektör Raporu. https://www.denizticaretodasi.org.tr/tr/yayinlarimiz/sektorraporu (Erişim tarihi: 11.09.2021)

IMO. (2000). AIS transponders. https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/AIS. (Erişim tarihi: 21.03.2021)

IMO. (2017). MARPOL Consolidated Edition 2017. London,UK.

IMO. (2019, Ekim). IMO 2020 – cutting sulphur oxide emissions. https://www.imo.org/en/MediaCentre/HotTopics/Pages/ Sulphur-2020.aspx (Erişim tarihi:20.12.2021)

IMO. (2020). Fourth IMO GHG Study 2020. https://www.imo.org/sites/imocloud-Dev/en/OurWork/Environment/Documents/ (Erişim tarihi: 23.04.2022)

ISO 8217 Bunker Standart-Specifications of Marine Fuels, (2017). www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:8217:ed-6:v1:en (Erişim tarihi: 22.03.2022)

Jalkanen, J.-P., Brink, A., Kalli, J., Pettersson, H., Kukkonen, J., Stipa, T. (2009). A modelling system for the exhaust emissions of marine traffic and its application in the Baltic Sea area. Atmospheric Chemistry and Physics, 9(23), 9209-9223. https://doi.org/10.5194/acp-9-9209-2009

KEGM. (2016). İzmit VTS Service Provided. https://www.kiyiemniyeti.gov.tr/userfiles/editor/pdf/izmit-gth (Erişim tarihi: 13.05.2021)

Kiliç, A., Deniz, C. (2009). Inventory of shipping emissions in Izmit Gulf, Turkey. Environmental Progress and Sustainable Energy, 29(2), 221-232. https://doi.org/10.1002/ep.10365

Kocaeli Liman Başkanlığı. (2022). İzmit Körfezi Liman İstatistikleri. https://kocaeliliman.uab.gov.tr/istatistiklerle-kocaeli (Erişim tarihi: 29.01.2023)

Küçükşahin, F. (2008). Dizel motorları (3. bs). Güven Kitabevi. İstanbul

Lebedevas, S., Norkevičius, L., Zhou, P. (2021). Investigation of effect on environmental performance of using lng as fuel for engines in seaport tugboats. Journal of Marine Science and Engineering, 9(2), 1-19. https://doi.org/10.3390/jmse9020123

March, D., Metcalfe, K., Tintoré, J., Godley, B. J. (2021). Tracking the global reduction of marine traffic during the COVID-19 pandemic. Nature Communications, 12(1). https://doi.org/10.1038/s41467-021-22423-6

Marine Traffic. (2023). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:28.8/centery:41.0/zoom:8 (Erişim tarihi: 10.01.2023)

Mersin, K. (2020). Review of total emission of transit Shipsin the Dardanelle which including possible CO2 emission of 1915 Canakkale Bridge. Thermal Science, 24(Suppl. 1), 391-398. https://doi.org/10.2298/TSCI20S1391M

Mersin, K., Bayirhan, İ., Gazioglu, C. (2019). Review of CO2 emission and reducing methods in maritime transportation. Thermal Science, 23(Suppl. 6), 2073-2079. https://doi.org/10.2298/TSCI190722372M

Oduber, F., Calvo, A. I., Castro, A., Blanco-Alegre, C., Alves, C., Barata, J., Nunes, T., Lucarelli, F., Nava, S., Calzolai, G., Cerqueira, M., Martín-Villacorta, J., Esteves, V., Fraile, R. (2020). Chemical composition of rainwater under two events of aerosol transport: A Saharan dust outbreak and wildfires. Science of The Total Environment, 734, 139202. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139202

Open Sea Map. (2023). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: https://map.openseamap.org/ (Erişim tarihi: 23.02.2023)

Ortega-Piris, A., Diaz-Ruiz-Navamuel, E., Martinez, A. H., Gutierrez, M. A., Lopez-Diaz, A.-I. (2022). Analysis of the Concentration of Emissions from the Spanish Fleet of Tugboats. Atmosphere, 13(12), 2109. https://doi.org/10.3390/atmos13122109

Our World in Data. (2023). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions (Erişim tarihi: 15.03.2023)

Öçal, B. (2022). Covid-19'un Türkiye'nin Dış Ticaret Taşıma Türlerine Etkisinin İncelenmesi. Disiplinler arası Girişimcilik ve Yenilikçilik Çalışmaları Dergisi , 1(2), 62-74. https://www.jinenis.com/index.php/jinenis/article/view/13/11 (Erişim tarihi: 26.02.2023)

Öztürk, Z. (2018). İstanbul'da Karayolu Yolcu Taşımacılığında Elektrikli Araç Kullanımının İncelenmesi. El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 5(2), 367-386. https://doi.org/10.31202/ecjse.382348

Rp5 Rasat Portalı. (2023). Masa üstü sürümü. Erişim adresi: https://rp5.ru/ (Erişim tarihi: 14.03.2023)

Russo, M. A., Leitão, J., Gama, C., Ferreira, J., Monteiro, A. (2018). Shipping emissions over Europe: A state-of-the-art and comparative analysis. Atmospheric Environment, 177, 187-194. https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.01.025

Saraçoğlu, H. (2010). İzmir Limanına Gelen Gemilerin Oluşturduğu Egzoz Gazı Emisyonlarının İncelenmesi ve Çevresel Etkileri. (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Savaş, A., Bilgili, L. (2022). Çanakkale Boğazı Gemi Trafiğinin Emisyon Tahmini. Çanakkale Onsekiz Mart University Journal of Marine Sciences and Fisheries. https://doi.org/10.46384/jmsf.1134339

Simons, L., Hansen, J. E., Dufournet, Y. (2021). Climate Impact of Decreasing Atmospheric Sulphate Aerosols and the Risk of a Termination Shock. Annual Aerosol Science Conference 2021.

Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P., Corbett, J. J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate tradeoffs. Nature Communications, 9(1), 406. https://doi.org/10.1038/s41467-017-02774-9

Tavşancıl Ezel. (2022). Temel İstatistik Korelasyon I. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/169657/ (Erişim tarihi: 18.01.2023)

T.C. Dışişleri Bakanlığı. (2022). Kyoto Protokolü. https://www.mfa.gov.tr/kyoto-protokolu.tr.mfa (Erişim tarihi: 17.01.2023)

Tokuşlu, A. (2022). Analysing Shipping Emissions of Turkish Ports in the Black Sea and Investigating Their Contributions to Black Sea Emissions. International Journal of Environment and Geoinformatics, 9(3), 14-20. https://doi.org/10.30897/ijegeo.912837

Tokuşlu Aydın. (2019). İstanbul Boğazın'da Gemi Kaynaklı Egzoz Emisyonlarının Modellenmesi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi, İstanbul.

Trozzi, C. (2013). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook. https://www.researchgate.net/publication/273098351(Erişim tarihi: 15.01.2023)

Trozzi Carlo, Vaccaro Rita. (2000). Environmental impact of port activities. Maritime Engineering and Ports II, 51. https://www.witpress.com/elibrary/wit-transactions-on-the-built-environment/51/4640

TÜİK. (2023). Dış Ticaret İstatistikleri Şubat 2023. Erişim adresi: https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=Dis-Ticaret-104 (Erişim tarihi: 17.03.2023)

Türk Loydu. (2023). Türk Loydu Newsletter. www.turkloydu.org (Erişim tarihi: 19.03.2023)

UNEP. (2022). The Mediterranean Reaches A Historic Milestone İn The Regional Endeavour For Greener Shipping. https://www.unep.org/unepmap/ar/news/press-release/mediterranean-historic-milestone-MedSOxECA (Erişim tarihi: 10.11.2022)

United Nationals. (2023). Kyoto Protocol. https://unfccc.int/resource/docs/convkp/conveng.pdf (Erişim tarihi: 07.03.2023)

Ülker, D., Ergüven, O., Gazioğlu, C. (2018). Socio-economic impacts in a Changing Climate: Case Study Syria. International Journal of Environment and Geoinformatics, 5(1), 84-93. https://doi.org/10.30897/ijegeo.406273

Ünlügençoğlu, K. (2018). Gemi Kaynaklı Emisyonların Farklı Yöntemlerle İncelenmesi. (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yeo, S.-J., Kim, J., Lee, W.-J. (2022). Potential economic and environmental advantages of liquid petroleum gas as a marine fuel through analysis of registered ships in South Korea. Journal of Cleaner Production, 330, 129955. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129955

EKLER

EK 1. Gros Tonajın Fonksiyonu Ana Makine Güçlerini Hesaplama Tablosu

		GROS TONOJA GÖRE MAKİNE GÜÇLERİ (ME) (kW)							
Açık Formül (Makine Gücü)	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000
14,755*GT^0,6082	Barge	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
14,755*GT^0,6082	Bulk / Oil	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
35,912*GT^0,5276	Bulk Carrier	953,27	2.228,40	3.978,52	5.735,16	7.509,18	8.967,88	10.824,71	11.917,69
59,049*GT^0,5485	Cable Ship	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
35,912*GT^0,5276	Cement Carrier	953,27	2.228,40	3.978,52	5.735,16	7.509,18	8.967,88	10.824,71	11.917,69
14,755*GT^0,6082	Chemical Tanker	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
2,9165*GT^0,8719	Container	657,80	2.676,25	6.974,74	12.764,27	19.926,26	26.719,90	36.466,49	42.749,60
59,049*GT^0,5485	Dredger	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Ferry	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
9,75891*GT^0,7527	Fishing Ship	1.049,34	3.523,96	8.056,75	13.575,17	19.940,26	25.687,47	33.598,20	38.540,36
59,049*GT^0,5485	Floating Crane	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
5,56482*GT^0,7425	General Cargo	561,61	1.855,33	4.194,54	7.017,77	10.254,67	13.165,02	17.156,80	19.643,93
59,049*GT^0,5485	Heavy lift	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
183.18*GT^0.4028	High Speed Craft	2.238,84	4.281,23	6.664,27	8.810,64	10.823,51	12.394,49	14.309,46	15.399,88
59,049*GT^0,5485	L.N.G.	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	L.P.G.	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Livestock Carrier	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Navy Ship	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Ore / Oil	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Ore Carrrier	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	OTHER	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Passenger	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
164,578*GT^0,4350	Passenger /Ro-Ro	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
59,049*GT^0,5485	Reefer Carrier	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
59,049*GT^0,5485	Research Ship	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Ro Ro	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
54,2171*GT^0,6420	Salvage Tug	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
54,2171*GT^0,6420	Supply Ship	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
14,755*GT^0,6082	Tanker	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
164,578*GT^0,4350	Training Ship	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
54,2171*GT^0,6420	Tug	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
59,049*GT^0,5485	Unknown	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
164,578*GT^0,4350	Vehicle Carrier	2.457,11	4.948,52	7.980,38	10.788,76	13.473,35	15.597,01	18.214,77	19.718,21
59,049*GT^0,5485	WARSHIP	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01
35,912*GT^0,5276	Waste Ship	953,27	2.228,40	3.978,52	5.735,16	7.509,18	8.967,88	10.824,71	11.917,69
59,049*GT^0,5485	Wig In Ground	1.784,83	4.315,02	7.882,86	11.529,18	15.257,47	18.349,91	22.315,04	24.662,01

EK 2. Yardımcı Makine Hesaplama Tablosu

		GROS TONOJA GÖRE YARDIMCI MAKİNE GÜCÜ (AE) (kW)							
Açık Formül (Yard. Makine Gücü)	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000
0,3*14,755*GT^0,6082	Barge	193,90	516,05	1.006,64	1.534,47	2.093,57	2.568,99	3.191,35	3.565,60
0,3*14,755*GT^0,6082	Bulk / Oil	193,90	516,05	1.006,64	1.534,47	2.093,57	2.568,99	3.191,35	3.565,60
0,3*35,912*GT^0,5276	Bulk Carrier	285,98	668,52	1.193,56	1.720,55	2.252,76	2.690,36	3.247,41	3.575,31
0,35*59,049*GT^0,5485	Cable Ship	624,69	1.510,26	2.759,00	4.035,21	5.340,12	6.422,47	7.810,26	8.631,70
0,3*35,912*GT^0,5276	Cement Carrier	285,98	668,52	1.193,56	1.720,55	2.252,76	2.690,36	3.247,41	3.575,31
0,3*14,755*GT^0,6082	Chemical Tanker	193,90	516,05	1.006,64	1.534,47	2.093,57	2.568,99	3.191,35	3.565,60
0,25*2,9165*GT^0,8719	Container	164,45	669,06	1.743,68	3.191,07	4.981,57	6.679,98	9.116,62	10.687,40
0,35*59,049*GT^0,5485	Dredger	624,69	1.510,26	2.759,00	4.035,21	5.340,12	6.422,47	7.810,26	8.631,70
0,24*164,578*GT^0,4350	Ferry	589,71	1.187,65	1.915,29	2.589,30	3.233,60	3.743,28	4.371,55	4.732,37
0,39*9,75891*GT^0,7527	Fishing Ship	409,24	1.374,34	3.142,13	5.294,32	7.776,70	10.018,11	13.103,30	15.030,74
0,35*59,049*GT^0,5485	Floating Crane	624,69	1.510,26	2.759,00	4.035,21	5.340,12	6.422,47	7.810,26	8.631,70
0,23*5,56482*GT^0,7425	General Cargo	129,17	426,73	964,74	1.614,09	2.358,57	3.027,96	3.946,06	4.518,10
0,35*59,049*GT^0,5485	Heavy lift	624,69	1.510,26	2.759,00	4.035,21	5.340,12	6.422,47	7.810,26	8.631,70
0,35*183,18*GT^0,4028	High Speed Craft	783,59	1.498,43	2.332,50	3.083,73	3.788,23	4.338,07	5.008,31	5.389,96
0,3*59,049*GT^0,5485	L.N.G.	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	L.P.G.	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	Livestock Carrier	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	Navy Ship	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	Ore / Oil	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	Ore Carrier	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	OTHER	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,16*164,578*GT^0,4350	Passenger	393,14	791,76	1.276,86	1.726,20	2.155,74	2.495,52	2.914,36	3.154,91
0,16*164,578*GT^0,4350	Passenger /Ro-Ro	393,14	791,76	1.276,86	1.726,20	2.155,74	2.495,52	2.914,36	3.154,91
0,3*59,049*GT^0,5485	Reefer Carrier	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*59,049*GT^0,5485	Research Ship	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,24*164,578*GT^0,4350	Ro Ro	589,71	1.187,65	1.915,29	2.589,30	3.233,60	3.743,28	4.371,55	4.732,37
54,2171*GT^0,6420	Salvage Tug	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
54,2171*GT^0,6420	Supply Ship	2.930,05	8.234,06	16.669,62	26.012,79	36.108,86	44.815,47	56.347,55	63.344,57
14,755*GT^0,6082	Tanker	646,33	1.720,15	3.355,46	5.114,91	6.978,57	8.563,30	10.637,82	11.885,32
0,16*164,578*GT^0,4350	Training Ship	393,14	791,76	1.276,86	1.726,20	2.155,74	2.495,52	2.914,36	3.154,91
0,1*54,2171*GT^0,6420	Tug	293,00	823,41	1.666,96	2.601,28	3.610,89	4.481,55	5.634,75	6.334,46
0,3*59,049*GT^0,5485	Unknown	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,24*164,578*GT^0,4350	Vehicle Carrier	589,71	1.187,65	1.915,29	2.589,30	3.233,60	3.743,28	4.371,55	4.732,37
0,3*59,049*GT^0,5485	WARSHIP	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60
0,3*35,912*GT^0,5276	Waste Ship	285,98	668,52	1.193,56	1.720,55	2.252,76	2.690,36	3.247,41	3.575,31
0,3*59,049*GT^0,5485	Wig In Ground	535,45	1.294,51	2.364,86	3.458,76	4.577,24	5.504,97	6.694,51	7.398,60

EK 3. Entec Metoduna Göre Gemilerin Tükettikleri Makine Gücünü Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)

		2018 ARALIK ENTEC			MAKİNE GÜCÜ (kW.H)				
	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000	TOPLAM
SEYİR GİRİŞ	Barge	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bulk / Oil	-	47.104,97	46.720,06	-	60.001,73	-	99.683,50	171.705,87	425.216,12
	Bulk Carrier	58.025,97	729.768,38	191.161,03	285.072,37	368.310,01	199.875,16	49.887,47	-	1.882.100,40
	Cable Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cement Carrier	-	45.973,09	-	-	-	-	-	-	45.973,09
	Chemical Tanker	-	263.699,26	361.992,91	194.737,97	523.585,48	35.133,34	39.907,20	43.881,91	1.462.938,07
	Container			253.339,14	1.476.443,75	1.367.409,54	1.448.975,61	1.407.202,66	3.524.844,28	9.478.214,99
	Dredger	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ferry	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fishing Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Floating Crane	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	General Cargo	1.937,50	658.432,50	477.939,35	139.832,50	215.213,75	-	-	58.221,34	1.551.576,94
	Heavy lift	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	High Speed Craft	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.N.G.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.P.G.	-	116.089,49	29.612,39	-	-	104.963,51	184.009,79	-	434.675,18
	Livestock Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Navy Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore / Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore Carrrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	OTHER	13.351,34	45.967,89	-	-	-	-	-	-	59.319,23
	Passenger	3.372,24	90.942,13	-	-	-	-	-	-	94.314,37
	Passenger /Ro-Ro	-	51.219,42	-	-	32.931,87	69.687,45	-	-	153.838,74
	Reefer Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Research Ship	1.768,77	24.728,89	-	-	-	-	-	-	26.497,66
	Ro Ro	-	44.638,99	50.870,47	365.858,79	585.055,11	500.771,68	197.727,42	-	1.744.922,47
	Salvage Tug	141.095,82	-	-	-	-	-	-	-	141.095,82
	Supply Ship	-	172.986,52	-	-	-	-	-	-	172.986,52
	Tanker	908.829,46	305.802,86	49.729,34	390.280,19	101.459,08	-	87.757,31	83.965,81	1.927.824,05
	Training Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tug	14.155,27	57.659,43	-	-	-	-	-	-	71.814,70
	Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vehicle Carrier	3.229,73	-	54.209,82	-	173.137,57	1.069.290,18	1.096.807,03	227.843,96	2.624.518,29
	WARSHIP	3.437,59	-	-	-	-	-	-	-	3.437,59
	Waste Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wig In Ground	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		1.149.203,69	2.655.013,81	1.515.574,52	2.852.225,57	3.427.104,14	3.428.696,93	3.162.982,38	4.110.463,18	**22.301.264,22**

Açık Formül, ESEYİR=SÜRE*[(ME(kW)*LFME(%))*EF(g/kWh)]+(AE(kW)*LFAE(%))*EF(g/kWh)]

Lejand

- Düşük Devirli SSD
- Orta Devirli MSD
- Yüksek Devirli HSD

EK 4. Trozzi&Vaccaro Metoduna Göre Gemilerin Tükettikleri Makine Gücünü Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)

		2018 ARALIK TROZZI&VACCARO			MAKİNE GÜCÜ (kW.H)					
	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000	TOPLAM
SEYİR GİRİŞ	Barge	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bulk / Oil	-	35.235,94	35.143,74	-	50.371,31	-	85.003,30	138.902,39	344.656,67
	Bulk Carrier	21.191,60	571.396,14	147.238,14	209.884,46	269.864,61	156.560,29	34.949,37	-	1.411.084,60
	Cable Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cement Carrier	-	38.285,11	-	-	-	-	-	-	38.285,11
	Chemical Tanker	-	205.540,98	280.958,67	148.857,24	408.020,39	29.224,66	32.567,10	35.681,05	1.140.850,08
	Container			201.202,98	1.168.186,65	1.080.969,50	1.157.060,65	1.218.488,59	2.861.156,74	7.687.065,12
	Dredger	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ferry	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fishing Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Floating Crane	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	General Cargo	1.343,31	540.656,04	378.088,37	113.845,71	177.240,72	-	-	47.829,70	1.259.003,86
	Heavy lift	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	High Speed Craft	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.N.G.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.P.G.	-	95.247,96	24.173,22	-	-	92.302,07	153.215,04	-	364.938,28
	Livestock Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Navy Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore / Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore Carrrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	OTHER	3.499,07	37.035,80	-	-	-	-	-	-	40.534,87
	Passenger	- 2.053,05	- 18.321,28	-	-	-	-	-	-	- 20.374,33
	Passenger /Ro-Ro	-	- 54.401,87	-	-	27.973,67	52.468,35	-	-	26.040,15
	Reefer Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Research Ship	537,23	18.774,17	-	-	-	-	-	-	19.311,40
	Ro Ro	-	6.396,79	42.060,14	318.215,64	369.373,68	328.580,68	157.509,20	-	1.222.136,13
	Salvage Tug	80.443,79	-	-	-	-	-	-	-	80.443,79
	Supply Ship	-	116.171,54	-	-	-	-	-	-	116.171,54
	Tanker	491.107,86	206.894,23	34.294,25	272.637,28	69.357,66	-	63.290,32	56.629,58	1.194.211,18
	Training Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tug	10.111,80	51.977,93	-	-	-	-	-	-	62.089,73
	Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vehicle Carrier	1.873,41	-	40.994,31	-	143.388,41	871.270,53	915.825,06	195.190,60	2.168.542,32
	WARSHIP	974,52	-	-	-	-	-	-	-	974,52
	Waste Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wig In Ground	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		609.029,54	1.850.889,47	1.184.153,80	2.231.626,97	2.596.559,95	2.687.467,22	2.660.847,99	3.335.390,06	**17.155.965,01**

Açık Formül, ESEYİR=SÜRE*[(ME(kW)*LFME(%))*EF(g/kWh)]+(AE(kW)*LFAE(%))*EF(g/kWh)]

Lejand

- Düşük Devirli SSD
- Orta Devirli MSD
- Yüksek Devirli HSD

EK 5. Entec Metoduna Göre Gemilerin Salınım Yaptıkları CO_2 Miktarını Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)

		2018 ARALIK ENTEC			CO_2 EMİSYONU					
	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000	TOPLAM
SEYİR GİRİŞ	Barge	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bulk / Oil	-	13.024.242,09	12.190.649,19	-	22.568.857,04	-	39.236.036,69	57.662.459,94	144.682.244,95
	Bulk Carrier	- 16.443.517,75	239.081.204,30	54.424.462,78	68.374.508,16	86.618.356,90	60.350.965,22	9.615.544,30	-	502.021.523,90
	Cable Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cement Carrier	-	18.408.980,77	-	-	-	-	-	-	18.408.980,77
	Chemical Tanker	-	85.029.546,39	105.886.625,79	53.943.357,91	155.322.342,62	12.858.943,81	13.776.505,92	14.977.418,12	441.794.740,56
	Container	-	18.777.543,21	80.143.677,65	461.249.557,00	425.935.953,97	466.669.912,26	578.332.592,61	1.196.540.884,24	3.227.650.120,93
	Dredger	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ferry	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fishing Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Floating Crane	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	General Cargo	380.690,54	252.440.891,26	149.225.053,12	47.918.948,18	76.421.283,76	-	-	20.517.183,47	546.904.050,34
	Heavy lift	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	High Speed Craft	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.N.G.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.P.G.	-	44.396.973,98	10.232.379,36	-	-	45.005.446,98	67.548.685,52	-	167.183.485,85
	Livestock Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Navy Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore / Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore Carrrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	OTHER	- 5.797.339,97	16.586.110,49	-	-	-	-	-	-	10.788.770,53
	Passenger	- 5.759.388,82	- 101.140.064,64	-	-	-	-	-	-	- 106.899.453,46
	Passenger /Ro-Ro	-	- 121.434.619,00	-	-	12.819.122,78	18.247.005,61	-	-	- 90.368.490,62
	Reefer Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Research Ship	- 660.263,28	7.241.348,64	-	-	-	-	-	-	6.581.085,36
	Ro Ro	-	- 27.137.062,51	19.926.337,33	166.300.802,91	61.926.452,21	71.168.395,22	63.175.677,01	-	355.360.602,18
	Salvage Tug	2.303.206,07	-	-	-	-	-	-	-	2.303.206,07
	Supply Ship	-	28.484.396,22	-	-	-	-	-	-	28.484.396,22
	Tanker	- 24.722.830,55	52.588.976,18	8.866.527,01	74.196.113,23	17.284.071,09	-	19.304.869,20	13.288.070,72	160.805.796,87
	Training Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tug	3.216.573,69	28.881.140,44	-	-	-	-	-	-	32.097.714,14
	Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vehicle Carrier	99.553,71	-	14.430.905,81	-	62.535.998,46	367.356.683,92	406.026.332,03	90.869.811,47	941.319.285,40
	WARSHIP	- 1.384.994,74	-	-	-	-	-	-	-	- 1.384.994,74
	Waste Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wig In Ground	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		- 48.768.311,09	555.229.607,82	455.326.618,03	871.983.287,39	921.432.438,85	1.041.657.353,02	1.197.016.243,28	1.393.855.827,96	**6.387.733.065,25**

Açık Formül, ESEYİR=SÜRE*[(ME(kW)*LFME(%))*EF(g/kWh)]+(AE(kW)*LFAE(%))*EF(g/kWh)]

Lejand

	Düşük Devirli SSD
	Orta Devirli MSD
	Yüksek Devirli HSD

EK 6. Trozzi&Vaccaro Metoduna Göre Gemilerin Salınım Yaptıkları CO2 Miktarını Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)

		2018 ARALIK TROZZI&VACCARO			CO_2 EMİSYONU					
SEYİR GİRİŞ	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000	TOPLAM
	Barge	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Bulk / Oil	-	12.312.099,98	11.496.069,92	-	21.991.031,60	-	38.355.224,92	55.694.251,29	139.848.677,70
	Bulk Carrier	- 18.653.580,15	229.578.869,96	51.789.088,89	63.863.233,36	80.711.632,84	57.752.072,97	8.719.258,53	-	473.760.576,39
	Cable Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Cement Carrier	-	17.947.702,41	-	-	-	-	-	-	17.947.702,41
	Chemical Tanker	-	81.540.050,04	101.024.570,87	51.190.513,85	148.388.437,26	12.504.423,00	13.336.100,04	14.485.365,95	422.469.461,01
	Container	-	18.223.560,48	77.015.507,67	442.754.131,15	408.749.551,50	449.155.014,58	567.009.748,40	1.156.719.631,79	3.119.627.145,57
	Dredger	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ferry	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Fishing Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Floating Crane	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	General Cargo	345.039,41	245.374.303,68	143.233.994,83	46.359.740,94	74.142.901,76	-	-	19.893.685,07	529.349.665,69
	Heavy lift	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	High Speed Craft	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.N.G.	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	L.P.G.	-	43.146.481,68	9.906.029,08	-	-	44.245.760,83	65.701.000,53	-	162.999.272,12
	Livestock Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Navy Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore / Oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Ore Carrrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	OTHER	- 6.388.476,66	16.050.185,22	-	-	-	-	-	-	9.661.708,56
	Passenger	- 6.084.906,10	- 107.695.869,28	-	-	-	-	-	-	- 113.780.775,38
	Passenger /Ro-Ro	-	- 127.771.896,83	-	-	12.521.631,15	17.213.859,60	-	-	- 98.036.406,08
	Reefer Carrier	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Research Ship	- 734.155,37	6.884.065,13	-	-	-	-	-	-	6.149.909,76
	Ro Ro	-	- 29.431.594,13	19.397.717,13	163.442.213,42	48.985.566,25	60.836.935,11	60.762.584,05	-	323.993.421,83
	Salvage Tug	- 1.335.915,99	-	-	-	-	-	-	-	- 1.335.915,99
	Supply Ship	-	25.075.497,40	-	-	-	-	-	-	25.075.497,40
	Tanker	- 49.786.126,18	46.654.458,58	7.940.421,31	67.137.538,71	15.357.986,27	-	17.836.849,59	11.647.896,84	116.789.025,11
	Training Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Tug	2.973.965,56	28.540.250,56	-	-	-	-	-	-	31.514.216,12
	Unknown	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Vehicle Carrier	18.174,39	-	13.637.975,51	-	60.751.048,67	355.475.504,79	395.167.413,74	88.910.609,73	913.960.726,83
	WARSHIP	- 1.532.778,91	-	-	-	-	-	-	-	- 1.532.778,91
	Waste Ship	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Wig In Ground	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		- 81.178.760,01	506.428.164,87	435.441.375,20	834.747.371,43	871.599.787,29	997.183.570,86	1.166.888.179,79	1.347.351.440,67	**6.078.461.130,11**
		Açık Formül, ESEYİR=SÜRE*[(ME(kW)*LFME(%))*EF(g/kWh)]+(AE(kW)*LFAE(%))*EF(g/kWh)]						Lejand		Düşük Devirli SSD
										Orta Devirli MSD
										Yüksek Devirli HSD

EK 7. Liman Römorkörü Hareketlerini Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)

2018 ARALIK ENTEC		LİMAN ROMORKÖRÜ KULLANMA SAYISI GİRİŞ İÇİN								
	Gemi Tipi	500	2500	7500	15000	25000	35000	50000	60000	TOPLAM
ROMORKÖR	Barge		0	0	0	0	0	0	0	-
	Bulk / Oil		10	10	0	4	0	6	12	42,00
	Bulk Carrier		103	32	38	38	14	4	0	229,00
	Cable Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
	Cement Carrier		5	0	0	0	0	0	0	5,00
	Chemical Tanker		49	70	26	48	2	3	3	201,00
	Container		6	26	84	50	38	18	54	276,00
	Dredger		0	0	0	0	0	0	0	-
	Ferry		0	0	0	0	0	0	0	-
	Fishing Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
	Floating Crane		0	0	0	0	0	0	0	-
	General Cargo		120	90	14	14	0	0	2	240,00
	Heavy lift		0	0	0	0	0	0	0	-
	High Speed Craft		0	0	0	0	0	0	0	-
	L.N.G.		0	0	0	0	0	0	0	-
	L.P.G.		7	2	0	0	2	6	0	10,00
	Livestock Carrier		0	0	2	0	0	2	0	4,00
	Navy Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
	Ore / Oil		0	0	0	0	0	0	0	-
	Ore Carrrier		0	0	0	0	0	0	0	-
	OTHER		3	0	0	0	0	0	0	3,00
	Passenger		60	0	0	0	0	0	0	60,00
	Passenger /Ro-Ro		58	0	0	2	6	0	0	66,00
	Reefer Carrier		0	0	0	0	0	0	0	-
	Research Ship		2	0	0	0	0	0	0	2,00
	Ro Ro		14	4	16	58	40	8	0	140,00
	Salvage Tug		0	0	0	0	0	0	0	-
	Supply Ship		3	2	0	0	0	0	0	5,00
	Tanker		25	4	20	4	0	3	3	59,00
	Training Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
	Tug		3	0	0	0	0	0	0	3,00
	Unknown		0	0	0	0	0	0	0	-
	Vehicle Carrier		0	6	0	8	46	36	6	102,00
	WARSHIP		0	0	0	0	0	0	0	-
	Waste Ship		0	0	0	0	0	0	0	-
	Wig In Ground		0	0	0	0	0	0	0	-

		TOPLAM GİRİŞ+ÇIKIŞ
TOPLAM	1.447	2.894

Lejand	
	0 ROMORKÖR
	1 ADET ROMORKÖR
	2 ADET ROMORKÖR
	3 ADET ROMORKÖR

EK 8. Gemi Tür ve Çıkardıkları Emisyon Türüne Göre Hesaplama Tablosu (Aralık 2018)

TOPLAM NO_X		TOPLAM SO_X		TOPLAM CO_2		TOPLAM VOC		TOPLAM PM		TOPLAM CO		TOPLAM EMİSYON
Tanker	30.143.622,53	Tanker	13.889.251,94	Tanker	1.462.601.329,78	Tanker	1.424.698,78	Tanker	1.076.079,71	1.206.960,88	Tanker	1.510.341.943,62
Bulk Carrier	37.464.245,69	Bulk Carrier	17.181.435,51	Bulk Carrier	1.803.403.802,92	Bulk Carrier	2.035.132,11	Bulk Carrier	1.469.590,23	1.506.270,40	Bulk Carrier	1.863.060.476,86
Chemical Tanker	31.751.816,28	Chemical Tanker	13.497.277,64	Chemical Tanker	1.418.359.595,73	Chemical Tanker	1.666.851,96	Chemical Tanker	1.116.211,97	1.210.204,73	Chemical Tanker	1.467.601.958,30
Container	195.768.533,10	Container	76.643.072,97	Container	8.057.726.832,10	Container	9.672.155,30	Container	5.905.621,40	7.066.169,15	Container	8.352.782.384,02
General Cargo	32.658.069,10	General Cargo	14.513.156,23	General Cargo	1.521.815.746,73	General Cargo	1.722.270,00	General Cargo	1.199.713,79	1.288.450,39	General Cargo	1.573.197.406,24
LPG/LNG	8.765.158,29	LPG/LNG	3.670.189,93	LPG/LNG	385.064.165,76	LPG/LNG	419.004,96	LPG/LNG	274.959,08	332.013,29	LPG/LNG	398.525.491,31
Passenger	10.586.172,50	Passenger	5.777.342,85	Passenger	606.117.858,53	Passenger	832.137,60	Passenger	665.506,20	481.178,03	Passenger	624.460.195,72
RO RO	24.538.700,46	RO RO	13.270.665,25	RO RO	1.393.411.554,11	RO RO	957.900,68	RO RO	1.284.575,72	1.119.618,79	RO RO	1.434.583.015,02
Vehicle Carrier	61.436.277,73	Vehicle Carrier	23.860.147,13	Vehicle Carrier	2.508.538.096,21	Vehicle Carrier	2.966.196,06	Vehicle Carrier	1.792.833,61	2.206.176,03	Vehicle Carrier	2.600.799.726,78
Other	2.463.826,64	Other	1.205.187,86	Other	126.567.100,69	Other	143.920,71	Other	110.303,88	103.398,19	Other	130.593.737,96
Tug/Supply ship	4.586.409,38	Tug/Supply ship	2.445.975,34	Tug/Supply ship	257.386.989,57	Tug/Supply ship	195.163,75	Tug/Supply ship	204.950,23	204.852,55	Tug/Supply ship	265.024.340,82
Service Tug	44.736.609,60	Service Tug	24.545.750,40	Service Tug	2.733.267.240,0	Service Tug	791.798,40	Service Tug	1.583.597	2.137.855,68	Service Tug	2.807.062.850,88

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi :

Doğum yeri :

Lise : (1999-2003), İstanbul Denizcilik ve Su Ürünleri Anadolu Meslek Lisesi, Güverte Bölümü

Lisans : (2004-2008), Sakarya Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü

(2018-2021), Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : (2008-2011), Sakarya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Bölümü(MBA)

Doktora : (2017-2023), İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Ana Bilim Dalı

Çalıştığı kurum : (2011, - devam ediyor), Kıyı Emniyeti Genel Müdürlüğü, Kaptan

Bilimsel etkinlikleri :

TR Dizin dergilerde yayımlanan makaleler

- Ergüven O., Bayırhan İ., Deniz C., Gazioğlu C. (2023). Role of port tugs in ship-borne emissions: an analysis in Turkey's Izmit Bay, International Journal of Environment and Geoinformatics 10 (2), 180-183.
- Ülker D., Ergüven O., Gazioğlu C. (2018). Socio-economic impacts in a Changing Climate: Case Study Syria, International Journal of Environment and Geoinformatics 5 (1), 84-93.

Doktora Tezi ile ilgili Yayımlanan Makale

IJEGEO

International Journal of Environment and Geoinformatics 10(2):180-186 (2023)

Research Article

Role of Port Tugs in Ship-Borne Emissions: An Analysis in Izmit Bay-TURKIYE

Orhan Ergüven[1,*], İrşad Bayırhan[1], Cengiz Deniz[2], Cem Gazioğlu[1]

[1] Istanbul University, Institute of Marine Science and Management, Department of Marine Environment, 34134 Istanbul, TURKIYE
[2] Istanbul Technical University, Maritime Faculty, Tuzla, Istanbul, TURKIYE

* Corresponding author: O.Ergüven
E-mail: drerhankaptan@gmail.com

Received 22.03.2023
Accepted 01.06.2023

How to cite: Ergüven et al., (2023). Role of Port Tugs in Ship-Borne Emissions: an Analysis in Turkey's Izmit Bay. *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO)*. 10(2):180-186. doi. 10.30897/ijegeo.1300605

Abstract

Thanks to the awareness created by the concrete effects of global warming and climatic irregularities, concepts such as carbon emissions, polluting gases, internal combustion engines, energy efficiency are gaining more and more importance in our lives globally. In this context, the maritime sector, which provides the transfer of 90% of global trade, has become the center of attention with its ships boasting huge machinery and has also been a subject of exhaust emission studies. The fact that approximately 70% of ship emissions occur in coastal areas requires more scrutiny of ships operating in these areas. Providing docking and departing services for ports, having small hull sizes compared to other ships but featuring big machinery in terms of power output (kW), port tugboats are a serious source of emissions. Although it is not calculated cumulatively, it is an undeniable fact that its effects on the emissions of tugboats in port areas where ship movement is intense. As a first in this literature, the present study aimed to make a 3-month emission inventory of port tugs in Izmit Bay, where Turkey's largest shipping activities take place, and to compare it with emission studies for other ships. In the study period, port tugs' emissions of CO2, NOX, SOX, VOC, PM, CO were calculated to be 7,398.88 tonnes, 121.09 tonnes, 66.43 tonnes, 2.13 tonnes, 4.27 tonnes, and 5.77 tonnes, respectively. This suggests that port tugs have a significant place among ship types in terms of producing exhaust emissions.

Keywords: Ship emissions, port tugs, carbon emissions, Izmit Bay

Introduction

Regardless of a specific route, the seaway, which provides the transfer of large masses and volumes of cargo, today constitutes approximately 90% of the world trade. As of 2020, approximately 120,000 merchant ships are in service worldwide and 40% of these are 25 years old or over (Equasis-Electronic Ship Qualty Shipping İnformation System, 2020). Both their high average age as mentioned in the table, also their significant intensity of use makes them the subject of many researches, and especially make their huge internal combustion engines the subject of exhaust emission studies. In parallel, the trend of combating climate change in the world is to focus on reducing emissions policies. In 2030, it is aimed to reduce human-induced CO2 emissions by 45% compared to 2010 and to reach net zero emissions by 2050 (IPCC, 1996). Perhaps the most important of the measures taken for this purpose is to reduce the sulfur content in ship bunkers to 0.5% by 2020 (IMO, 2020).

For this reason, recently increasing awareness of emissions pollution has led to the emergence of many studies on the subject, and ultimately, governments to sign agreements to take precautions and organizations such as the International Maritime Organization (IMO) to take action by issuing regulations (Bayırhan et al., 2019; Corbett et al., 2007; IMO, 2020; Mersin, 2020; Ülker et al., 2021; UNCTAD, 2020; United Nationals, 2023; United Nations, 1992; Wang and Corbett, 2007; Mersin and Yıldırım, 2021).

The Mediterranean is one of the most useful waterways in the world due to its location and is the region where the most shipping activities are carried out after Southeast Asia. Being surrounded by seas on three sides and geographically situated as a bridge between Asia and Europe, Türkiye has been a useful route and destination for ships. Each year, approximately 40,000 ships pass through the Turkish Straits, which serve as a transit corridor (UAB- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı, 2022). Some are transitive, that is, they enter from the north and exit from the south or vice versa. The rest stop by Turkish ports (Bayırhan et al., 2019; Tokuşlu, 2019; Ülker et al., 2021).

It is necessary to monitor ship-based exhaust emissions in areas where such intensive shipping activities take place and where a coastal settlement is also present. Although it is not calculated cumulatively, it is an undeniable fact that its effects on the emissions of tugboats in port areas where ship movement is intense. Therefore, in this study, as a first in the literature, the effects of port tugboats on emission pollution are discussed. This study presents the exhaust emissions caused by port tugs in the Izmit Bay area, where the highest number of ship movements takes place among all Turkish ports.

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU

ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI	: ORHAN ERGÜVEN
ÖĞRENCİ NO	: 3002170002
ÖĞRETİM YILI	: 2023
ANABİLİM DALI / BİLİM DALI	: DENİZEL ÇEVRE / KIYI BÖLGELERİ YÖNETİMİ
PROGRAM TÜRÜ	: **YÜKSEK LİSANS** ☐ **DOKTORA** ☑
TEZ DANIŞMANI ÜNVANI ADI SOYADI	: PROF. DR. CEM GAZİOĞLU
II. TEZ DANIŞMANI ÜNVAN ADI SOYADI	:
TEZ BAŞLIĞI	: İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE,

Yukarıda başlığı verilen tez çalışmamın Kapak sayfası, Türkçe ve İngilizce özet, giriş ve amaç, genel bilgiler, materyal-metot, bulgular, tartışma, sonuç ve kaynaklar bölümlerinden oluşan toplam. . 98. sayfalık kısmına ilişkin, 05./06./2023tarihinde Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsünün kullandığı TURNİTİN programı ile, *Lisansüstü Tezlere ait Benzerlik Raporlarının Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Uygulama Esaslarının* 5inci madde ikinci fıkrasında belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış nihai rapora göre benzerlik oranı % .7. 'dir.

Tezimin benzerlik oranı, *06/122017 tarih ve 20 sayılı Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Yönetim Kurul Kararıyla* Tezin intihal kapsamı dışında değerlendirilmesi için kabul edilmiş olan üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır.

İntihal programı ile raporlanan Tezime ait Benzerlik oranım Üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu beyan ederim.

Gereğini arz ederim.

İmza
Öğrenci Ad-Soyadı
Tarih: .05.../06.../2023.....

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

Orhan ERGÜVEN

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR / UYGUN DEĞİLDİR
(Ünvan, Ad Soyadı, İmza)

PROF. DR. CEM GAZİOĞLU

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM VE ÖĞRETİM YÖNETMELİĞİ (08.09.2016/29825)
(Yüksek Lisans) MADDE 36 – (2) Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihaî raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir.
(Doktora) MADDE 50 – (4) Öğrenci, doktora tezinin savunmasından önce tezini, düzeltme verilen tezlerde ise düzeltilmiş tezini danışmanına sunar. Tezle ilgili benzerlik ön incelemesi, danışmanın bilgisi dahilinde öğrenci ile birlikte Üniversitenin kabul ettiği yazılım programı kullanılarak yapılır. Enstitü, söz konusu teze ilişkin intihal yazılım programı nihaî raporunu alarak danışmana ve jüri üyelerine gönderir. Rapordaki verilerde veya sınav jüri üyesi/üyelerinin somut kanıtlarla belgeledikleri verilere göre gerçek bir intihalin tespiti halinde; tez, gerekçesi ile birlikte, karar verilmek üzere enstitü yönetim kuruluna gönderilir

İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

Yazar Orhan Ergüven

Gönderim Tarihi: 07-Haz-2023 11:25AM (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2110901360
Dosya adı: Z_EM_SYONLARIN_ENTEC_VE_TROZZ_VACCARO_Y_NTEMLER_YLE_ANAL_Z.docx (6.11M)
Kelime sayısı: 18004
Karakter sayısı: 120922

İZMİT KÖRFEZİ GEMİ TABANLI EGZOZ EMİSYONLARIN ENTEC VE TROZZİ VACCARO YÖNTEMLERİYLE ANALİZİ

ORİJİNALLİK RAPORU

%7	%7	%1	%3
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	dspace.yildiz.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
3	borsaistanbul.com İnternet Kaynağı	%1
4	openaccess.iste.edu.tr İnternet Kaynağı	%1
5	www.denizcilikbilgileri.com İnternet Kaynağı	%1
6	k.ogren-sen.com İnternet Kaynağı	%1
7	polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
8	teolupus.com İnternet Kaynağı	<%1
9	www.coursehero.com İnternet Kaynağı	<%1