

PAPER DETAILS

TITLE: ANTARKTIKA SEFERLERİNDE ARASTIRMA GEMİLERİNİN KARBON EMİSYONLARININ
İSTATİSTİKSEL YAKLASIMLA BELİRLENMESİ

AUTHORS: Efecan ÖZCAN,Atilla YILMAZ,Osman OKUR,Burcu ÖZSOY

PAGES: 25-43

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2277524>

Yayına Geliş Tarihi:31-03-2022
Yayına Kabul Tarihi:14-04-2022
DOI: 10.54410/denlojad.1079719

Mersin Üniversitesi
Denizcilik ve Lojistik
Araştırmaları Dergisi
Cilt: 4 Sayı:1
Yıl:2022
Sayfa:25-43
E-ISSN: 2687-6604

Araştırma Makalesi

ANTARKTİKA SEFERLERİNDE ARAşTIRMA GEMİLERİNİN KARBON EMİSYONLARININ İSTATİSTİKSEL YAKLAşIMLA BELİRLENMESİ

Efecan ÖZCAN¹
Atilla YILMAZ²
Osman OKUR³
Burcu ÖZSOY⁴

ÖZ

Antarktika'da yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu araştırma gemileri tarafından sağlanmaktadır. Bununla birlikte, araştırma gemilerinden kaynaklanan karbon emisyonlarının çevresel etkisine ilişkin veriler çok sınırlıdır. Bu çalışmada istatistiksel yöntemle iki farklı senaryo geliştirilerek Antarktika'da bilimsel amaçlı seferler yapan gemilerin emisyonlarının belirlenmesi ve daha sonra azaltılması için farklı yöntemlerin onerilmesi hedeflenmektedir. Araştırma gemisi ve uçakların yakıt tüketiimi bu senaryolara göre hesaplandıktan sonra, literatürde yer alan emisyon faktörleri kullanılarak her senaryo için tüm kirletici gazların emisyon miktarları tahmin edilmiştir. İlk senaryoda, Avrupa'dan Antarktika'nın batısına sadece deniz yolu ile bilimsel seferler yapıldığı varsayılarak emisyon hesaplamaları yapılmıştır. İkinci senaryoda ise, aynı bölgeye hava yolu ile deniz yolu entegre bir şekilde kullanıldığı varsayılarak hesaplama yapılmıştır. Yalnızca deniz yolu kullanılan birinci senaryoda toplam 2143 ton CO₂ emisyonu hesaplanırken, bunun %60'ının açık deniz seyriden, %38'inin demirde beklemeden ve %2'sinin ise buzlu sularda seyirden

¹İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı, İstanbul, Türkiye ozcanef@itu.edu.tr*

²TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, atilla.yilmaz@tubitak.gov.tr

³TÜBİTAK MAM Kimyasal Teknoloji Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, osman.okur@tubitak.gov.tr

⁴TÜBİTAK MAM Kutup Araştırmaları Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, burcu.ozsoy@tubitak.gov.tr

kaynaklandığı saptanmıştır. Araştırma seferinin havayolu ile entegre edildiği ikinci senaryoda ise 1218 ton CO₂ emisyonu hesaplanmış olup, burada emisyonun %66'sı demirde beklemeden, %21'i uçuştan, %10 açık deniz seyrinden ve %3'ü buzlu sulara seyirden kaynaklanmaktadır. Hesaplamalar, havayolu ile araştırma gemisinin birlikte kullanımının bu çalışma kapsamında emisyonları %57 oranında azaltabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, bu alışma, Antarktika'ya coğrafi olarak yakın olmayan ülkelerin araştırma gemilerini doğrudan Antarktika seferleri için göndermek yerine hava ve deniz yolunu birlikte kullanmaları durumunda karbon emisyonlarının Antarktika evresi üzerindeki etkilerinin azalabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: *Karbon Emisyonu, Antarktika, İklım Değişikliği, Araştırma Gemileri, Kutup Bölgeleri*

DETERMINATION OF THE CARBON EMISSIONS OF RESEARCH VESSELS IN ANTARCTIC EXPEDITIONS WITH A STATISTICAL APPROACH

ABSTRACT

The vast majority of studies carried out in Antarctica is provided by research vessels. However, data on the environmental impact of carbon emissions from research vessels are limited. In this study, it is aimed to develop two different scenarios with statistical methods, to determine the emissions of ships conducting scientific expeditions in Antarctica and to propose different methods to reduce the emissions. After calculating the fuel consumption of the research ship and aircraft according to these scenarios, the emission amounts of pollutant gases were estimated for each scenario using the emission factors in the literature. In the first scenario, emission calculations were made assuming that only scientific expeditions were made by sea from Europe to the west of Antarctica. In the second scenario, the calculation is made by assuming that the same region is used in an integrated way by air and sea transportation. A total of 2143 tons of CO₂ emissions were calculated in the first scenario where only the sea route is used. 60%, 38% and 2% of the carbon emissions are due to open sea voyage, staying at anchor and ice navigation, respectively. In the second scenario, where the expedition is integrated with the airline, 1218 tons of CO₂ emissions are calculated, where 66%, 21%, 10% and 3% of the emission are due to staying at anchor, flight, open sea voyage and ice navigation, respectively. Calculations show that the use of a research vessel along with the airline can reduce emissions by 57% in this study. In conclusion, this study shows that the effects of carbon emissions on the Antarctic environment can be reduced if countries that are not geographically close to Antarctica use air and sea transportation together, instead of sending research vessels directly for Antarctic expeditions.

Keywords: *Carbon Emissions, Antarctica, Climate Change, Research Ships, Polar Regions*

1.GİRİş

Küresel iklim değişikliğinin bir sonucu olarak kutup bölgelerindeki buzulların erimesi birok evre sorununa yol açmaktadır. Başlıca evre sorunları literatürde deniz seviyelerinin yükselmesi (Walsh vd., 2012; Bamber ve Aspinall, 2013; Barua vd., 2022), okyanuslarda asitlenmenin artması ve buna bağlı olarak deniz canlılarının olumsuz etkilenmesi (Yusof vd., 2022; Vargas vd., 2022) ve Termohalin akıntısı gibi okyanus akıntılarının değişmesi (Gamo, 1999; Trossman ve Plater, 2021) şeklinde sıralanabilir. İklım araştırmalarını güçlendirmek ve Dünya'yı daha iyi anlamak için bilim insanları kutup bölgelerinde araştırmalar yürütmektedir. Özellikle Antarktika'daki araştırmalar, iklim değişikliğini anlamak ve önlem almak için çok önemlidir. Örneğin, ozon tabakasındaki seyrelme 1980'lerin başlarından itibaren Antarktika'da yapılan gözlemler sonucunda keşfedilmiştir (Farman vd., 1985). Ayrıca Vostok araştırma üssünde çıkartılan buz karotlarının incelenmesi sonucunda, Antarktika'daki sıcaklık ve atmosferik CO₂ ve CH₄ konsantrasyonlarının günümüzde önceki dönemlerden daha yüksek olduğu keşfedilmiştir (Petit vd., 1999). Antarktika, yeryüzünde yerli nüfusun bulunmadığı tek kıtadır. 20. yüzyıla kadar hiçbir insan faaliyetinin olmaması, burada elde edilen verilerin antropojenik kirliliğin belirlenmesinde referans değer olarak kabul edilmesini sağlamaktadır. Antarktika'nın korunması dünya iklimini düzenlemesi ve kıtadaki buzlar nedeniyle dünyadaki tatlı su rezervlerinin büyük bölümüne sahip olması nedeniyle gezegenimizin ve insanlığın geleceği açısından büyük önem arz etmektedir.

1991'de Madrid'de imzalanan ve 1998'de yürürlüğe giren Antarktika Antlaşması evre Koruma Protokolü, Antarktika'yı barış ve bilime adanmış doğal bir rezerv olarak tanımlamaktadır. Uluslararası bir anlaşma olarak Antarktika'nın çevresel, bilimsel, tarihsel ve içsel (el değmemişlik ve estetik değerler dahil olmak üzere) değerlerini korur. Uzun süredir gerçekleştirilen çevresel araştırmalarda, bilim insanları Antarktika ve Güney Okyanusu'nun insan etkilerine karşı savunmasızlığını belgelemiştir (Tin vd., 2009; Chown vd., 2012a,b) ve küresel çevresel değişim konusunda farkındalığı artırmıştır. Günümüzde, bilim insanları Antarktika'nın daha iyi korunması ve olduğu gibi bozulmadan kalması için politika yapıcılara yol gösterecek bir konum kazanmaktadır. Bunun sonucunda bilim insanları da uluslararası evre düzenlemeleri konusunda araştırmalar yaparak politika yapıcıları aydınlatmaktadır. Ancak bu noktada bilim camiasına tüm otoritelerden hem maddi hem de manevi destek sağlanması elzemdir (Constable vd., 2014; Turner vd., 2014).

Kutup bölgelerinde lojistik, bu bölgenin anakaradan uzak olması ve iklim koşullarının çok sert olması nedeniyle oldukça zordur (Tin vd., 2009). Tüm bunlar göz önüne alındığında Antarktika özelinde yapılacak olan bilim seferleri genellikle Güney yarımkürenin yaz mevsiminde gerçekleştirilmektedir. Gemi ve araştırma istasyonlarının ikmal operasyonları, personel değişimleri ve geçici sürveyler de genellikle bu dönemde yapılmaktadır. Bu sefer ve operasyonlar sırasında ulaşım genellikle hava ve deniz yoluyla veya bunların bir kombinasyonu ile gerçekleştirilmektedir (Farreny vd., 2011). 1959'da Antarktika Antlaşması'nın imzalanmasından sonra, Antarktika büyük ölçüde bilim insanlarına ayrılmış bir kıta haline gelmiş olsa da balıkçılık ve son yıllarda artan turizm faaliyetleri de mevcuttur. Ulusal Antarktika Programları Yöneticileri Konseyi (COMNAP) kataloğuna göre, yaklaşık yarım asırdır bölgede faaliyet gösteren birçok ülkeye ait araştırma istasyonları da dahil olmak üzere 100'den fazla tesis ile bilimsel faaliyetler günümüzde de devam etmektedir (COMNAP, 2017). Son yıllarda güneş ve rüzgâr enerjisi gibi alternatiflerin kullanımı artsa da burada bulunan istasyonların çoğu, enerjilerini üretmek için çoğunlukla fosil yakıtları kullanmakta ve bunun sonucunda kirletici gazlar atmosfere salınmaktadır (Tin vd., 2009). Ayrıca bölgeye sefer yapan balıkçı tekneleri, turistik gemiler ve araştırma gemileri, Güney Okyanusunda ve Antarktika kıyılarındaki faaliyetleriyle karbon emisyonlarını arttırmaktadır. Bu gemiler baz alındığında çevre kirliliği bakımından en az etkiye sahip olanların araştırma gemileri olduğu görülmektedir.

Literatürde ticaret gemilerinin faaliyetlerine ilişkin çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Bu çalışmalarda konteynerlerin, dökme yük gemilerinin ve tankerlerin sera gazı emisyonları değerlendirilmiştir. Gemilerin boyutlarının artmasıyla birlikte gaz emisyonları da önemli ölçüde artmıştır. Gemiler atmosfere karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x), kükürt oksit (SO_x), karbon monoksit (CO), yanmamış hidrokarbon (HC) ve partikül madde (PM₁₀ – PM_{2.5}) yaymaktadır. Bu gazlar iklim değişikliğini tetiklemekte ve aynı zamanda ciddi ölçüde hava kirliliğine neden olmaktadır (Richter vd., 2004; Traut vd., 2018). Dökme yük gemileri, konteyner gemileri ve tankerlerin deniz taşımacılığından kaynaklanan emisyonların %80'inden sorumlu olduğu öne sürülmektedir (Yau vd., 2012). Literatürde gemi emisyonlarının hız optimizasyonu ile azaltılması (Chang ve Wang, 2013; Molders vd., 2013; Zis vd., 2014; Chang ve Jhang, 2016; Li vd., 2020), liman sahası, yaşam alanları ve çevresel etkilerinin belirlenmesi (Tzannatos, 2010; Sun vd., 2013; Tichavska ve Tovar, 2015; Papaefthimiou vd., 2016; Wan vd., 2020), enerji verimliliği ile yakıt tasarrufu sağlanarak azaltılması (Linstad vd., 2013; Acomi ve Acomi, 2014; Tzannatos vd., 2015; Chou vd., 2021) ve

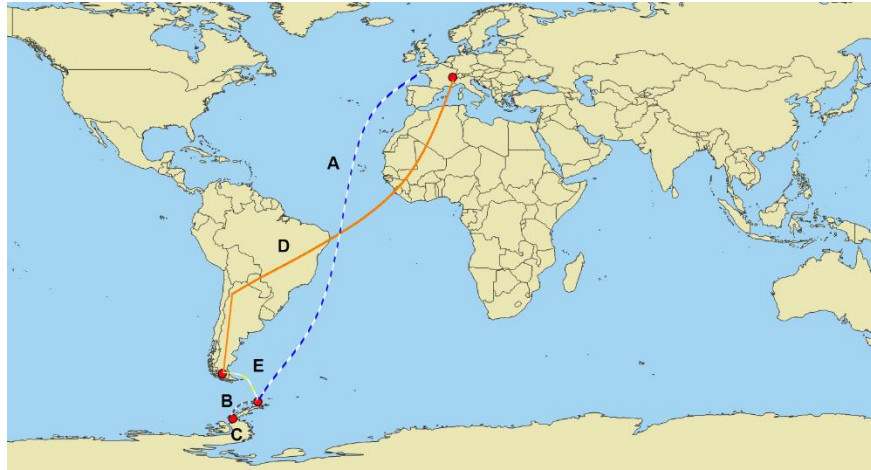
Antarktika bölgesinde turistik faaliyetlerin çevresel etkileri (Farreny vd., 2011) olmak üzere bir çok çalışma yer almaktadır.

Literatürde Antarktika bölgesinde bilimsel araştırma seferleri yapan gemilerin emisyonları ile ilgili spesifik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Antarktika'ya bilimsel sefer gerçekleştiren araştırma gemilerinin Antarktika bölgesi ve Güney Okyanusu üzerindeki çevresel etkilerine ilişkin çalışmaların sınırlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, bu çalışma, Antarktika'ya araştırma gemileriyle yapılacak bilimsel keşif seferinin karbon emisyonları konusundaki bilgi boşluklarını dolduracağı için önem arz etmektedir.

2.METODOLOJİ

2.1. Sefer Senaryoları

Antarktika seferlerinden kaynaklanan emisyonları tahmin etmek için iki farklı senaryo hazırlanmıştır. İlk senaryoda, Antarktika seferi sadece Avrupa'dan hareket eden bir araştırma gemisi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. İkinci senaryoda ise sefer ekibi hava yoluyla Avrupa'dan Şili'ye varmakta ve daha sonra buradan hareket eden bir araştırma gemisi vasıtasıyla sefer gerçekleştirilmektedir. Her iki senaryoda da aynı gemiler kullanılmakta ve aynı alanda eşit süre boyunca araştırma yapılmaktadır. Senaryoların aşamaları harflerle kodlanarak emisyon hesaplarının kolaylaştırılması hedeflenmiştir.

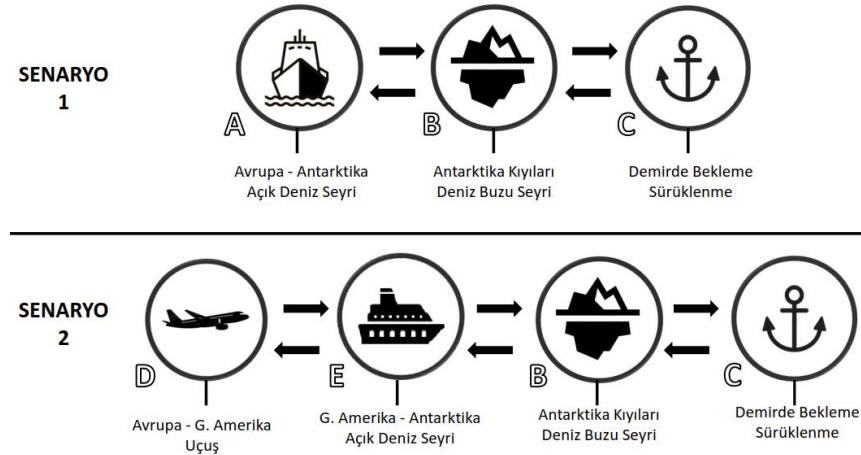


Şekil 1: Senaryolara ait rotalar

Şekil 1'de senaryoların kodlarla belirtilen rotaları harita üzerinde verilmiştir. A kodlu kesik çizgili mavi rota Avrupa'dan Antarktika'ya

yapılan açık deniz seyrini, B kodlu kesik çizgili gri rota buzlu sularda seyri, C kodlu alan araştırma fazı için beklenen noktayı, D kodlu düz turuncu çizgi uçak rotasını ve E kodlu kesik çizgili sarı rota Şili'den Antarktika'ya gerçekleştirilen açık deniz seyrini temsil etmektedir.

A kodu ile ilk senaryoda Avrupa'dan Antarktika'ya yapılan açık deniz seyri 29 gün sürmekte ve 8500 deniz mili yol kat edilmektedir. B kodu ile tanımlanan Antarktik kıyılarındaki buzlu sularda seyir her iki senaryoda da ortak aşama olup 1 gün sürmekte ve toplamda 75 mil yol kat edilmektedir. B kodlu seyirde Arktik ve Antarktik Araştırmaları Enstitüsü (AARI) tarafından yayınlanan bölgenin buzul istatistikleri göz önünde bulundurularak ortalama bir mesafe çıkarılmıştır (AARI, 2021). C kodu demirde ya da sürüklenme sırasında bekleme durumunda 30 günlük araştırma periyodunu tanımlamaktadır. D harfiyle ifade edilen kodlama ise ikinci senaryodaki Avrupa'dan Güney Amerika'ya gerçekleştirilen uçuş aşamasını tanımlamaktadır. Son olarak E harfli kod Şili'den Antarktika'ya açık deniz seyri anlamına gelmektedir. B ve C kodları her iki senaryoda da aynı anlamdaki kodlama olarak hesaba katılmıştır. Dolayısıyla, ilk senaryo için toplam emisyon, A, B ve C kodlarının toplamı ve ikinci senaryo için toplam emisyon, D, E, B ve C kodlarının toplamı olarak emisyonlar belirlenmiştir.



Şekil 2: Senaryolara ait diyagram

2.2. Karbon Emisyon Hesaplama Yöntemi

Karbon emisyonlarının tespit edilmesi için Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) ve Avrupa İzleme ve Değerlendirme Programı / Avrupa Çevre Ajansı (EMEP/EEA) emisyon faktör envanterlerinde yer alan yakıtların karbon emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyon miktarı

hesaplanırken istatistiksel yöntemden faydalanılmıştır. İstatistiksel yöntemlerde, gemilerden kaynaklanan CO₂ emisyonlarının hesaplanması kabaca tahmin edilmektedir. Farklı gemi yakıtları ve farklı çalışma modları için farklı emisyon faktörleri kullanılarak hesaplama yapılmaktadır. Ayrıca farklı gemi tipleri de emisyon hesaplamasını etkilediği gibi yakıt tipini de etkiler. CO₂ emisyonlarının kütlesi için formül denklem 1’de verilmiştir (Cosofret vd., 2016).

$$m_{CO_2} = \frac{C_h \times EF_{CO_2}}{1000} \text{ ton CO}_2/\text{saat} \quad (1)$$

Bu denklemde; m_{CO_2} CO₂ kütlesi, C_h saat başına yakıt tüketimi ve EF_{CO_2} ise karbondioksit emisyon faktörüdür (Cefic-ECTA, 2011).

Bu yöntemde, karbondioksit emisyonlarını hesaplamak için iki seçenek bulunmaktadır. Birincisi, yakıta göre doğru emisyon faktörünün belirlenmesidir. İkincisi ise, geminin türüne ve makinesine göre yakıt tüketimine dayalı hesaplama. Bu hesaplama için 1 kWh enerji için ne kadar yakıt harcanacağını bilmesi gerekmektedir. Bu yakıt değerleri genellikle makine üreticileri tarafından teknik belgelerde belirtilmektedir. Sonraki adımlarda, gemi tipleri tarafından elde edilen istatistiksel veriler ışığında kullanılan formüllerle karbon emisyonları tahmin edilmektedir (Cosofret vd., 2016). Her yakıt türünün karbon içeriğinin sabit olduğu kabul edilmektedir. Tüketilen yakıtın tonu başına kg olarak CO₂ emisyonlarının kütlesi belirlendiğinde, hesaplamalar makine tipinden veya diğer parametrelerden etkilenmemektedir.

Gemideki ana ve yardımcı makineler için emisyon envanterlerine göre hesaplanan CO₂ emisyon faktörleri Tablo 1’de verilmiştir (IMO, 2012).

Tablo 1: Yakıt türlerine göre karbon emisyon faktörleri

Yakıt Türü	EF_{CO2} (kg CO₂/ton)
Yüksek Kükürtlü Fuel Oil (HFO)	3114
Marine Diesel Oil (MDO)	3206
Sıvı Doğal Gaz (LNG)	2750

MDO yakıtı kullanan gemiler için CO₂ dışındaki diğer sera gazları azot oksitler (NO_x), kükürt oksitler (SO_x), karbon monoksit (CO), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC) ve partikül madde kirleticileri (PM₁₀ – PM_{2,5}) olarak sınıflandırılmaktadır. CO₂ dışında diğer sera gazları için emisyon faktörleri Tablo 2’de verilmiştir (EMEP/EAA, 2019).

Tablo 2: CO₂ Harici Emisyon Faktörleri

Kirletici	Demir/Sürüklenme EF (kg/ton)	Seyir EF (kg/ton)
NO _x	59,7	60,6
SO _x	10	10
CO	7,4	7,4
NMVOC	1,8	2,4
PM ₁₀	1,4	1,5

Kirletici gaz emisyonlarının kütlesinin hesaplama formülü denklem 2’de gösterilmiştir.

$$m_{pg} = \frac{(C_f \times EF_{pg})}{1000} \text{ ton} \quad (2)$$

Bu denklemde; C_f yakıt tüketimini, m_{pg} yayılan kirletici gazın kütlesini ve EF_{pg} kirletici gazın emisyon faktörü olarak tanımlanmaktadır.

Antarktika bölgesinde araştırma gemisi olarak kullanılan gemiler göz önüne alındığında, senaryolarda 24 kişi için 3600 kW gücünde olan bir araştırma gemisinin yeterli olacağı belirlenmiştir (de Waal vd., 2018). Yakıt tüketimi açısından emisyon hesaplamalarında en fazla veriyi sağladığı için Wärtsila 6L20 model 1200 kW deniz dizel makinesi tercih edilmiştir (Wärtsila, 2020).

Tablo 3: Seçilen dizel makine yakıt sarfıyatı

Makine Yüğü	Özgöl Yakıt Tüketimi (SFOC) (g/kWh)
%100	196
%85	190
%75	190
%50	194

Dizel makinenin özgöl yakıt tüketim değeri yük yüzdesine göre farklılık göstermektedir. Tablo 3'te SFOC değeri senaryolarda tercih edilen gemi makinesi için verilmiştir. Hesaplamalarda Wärtsilä marka makinenin SFOC değeri kullanılmıştır. Seyir halindeki makine yükü %85, buzlu sularda seyirde %75 ve demirde bekleme veya sürüklenme durumunda %50 kabul edilerek yakıt sarfiyatları hesaplanmıştır. Yakıt sarfiyatı formülü denklem 3'te verilmiştir.

$$C_f = \frac{(P \times L \times \text{SFOC} \times 24 \times t)}{1000000} \text{ ton} \quad (3)$$

Denklemden; C_f yakıt tüketimini, P makine gücünü, L makine yükünü, SFOC özgöl yakıt tüketimini ve t ise sefer günleri anlamına gelmektedir.

İkinci senaryoda, bilim insanları ve araştırma gemisi mürettebatı hava yoluyla Şili'nin Punta Arenas kentine geldikten sonra, araştırma gemisiyle Şili'den Batı Antarktika Yarımadası bölgesine sefer yapmaktadır.

Avrupa'dan Punta Arenas'a uçuşların yakıt tüketimi, Uluslararası Sicil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından yayımlanan uçak yakıt tüketim tabloları kullanılarak hesaplanmaktadır. Kıtalararası uçuş için Boeing 787-8, Şili'de iç hat uçuşu için Airbus A320 kullanılmaktadır (ICAO, 2018). İkinci senaryoda, Avrupa'dan kalkış için İngiltere'deki Londra Heathrow Havaalanı tercih edilmiş olup Santiago aktarmalı olarak uçuş öngörülmüştür. Tek yön uçuş mesafesi 13826 kilometre olup, tek yön toplam yakıt tüketimi 77,13 ton olarak hesaplanmıştır. Uçakların yakıt sarfiyatları ICAO karbon emisyonu hesaplama metodolojisi kılavuzunda yer alan sarfiyat tabloları kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri de Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) 1996 raporundaki değerler üzerinden yapılmıştır. Bu faktör değerleri Tablo 4'te verilmiştir (IPCC, 1996). IPCC 1996 raporundaki faktörler uçak filolarının yaşına ve LTO (Landing and Take-off) olarak ifade edilen iniş – kalkış çevrimine göre ayrı ayrı belirtilmiştir.

Tablo 4: Uluslararası uçuş yapan uçaklar için standart emisyon faktörleri

Kirleticiler	Ortalama Filo (kg/LTO)	Eski Filo (kg/LTO)	Seyir (kg/ton)
Yakıt tüketimi	2500	2400	-
SO ₂	2,5	2,4	1,0
CO	50	101	5
CO ₂	7900	7560	3150
NO _x	41	23,6	17
NMVOCS	15	66	2,7
CH ₄	1,5	7	0
N ₂ O	0,2	0,2	0,1

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Senaryo Emisyonları

Senaryolardaki emisyonlar her aşama için ayrı ayrı hesaplanmış ve birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Senaryolar, fazlarına göre karbondioksit ve diğer gazlar olarak kategorize edilerek değerlendirilmiştir. Bu bölümde tüm kirletici gazlar için kodlanan her aşamadaki emisyon değerleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5: Senaryoların tüm aşamalarındaki emisyon miktarı (ton)

Kirletici	A	B	C	D	E
CO ₂	1297	39,5	806	251	121
NO _x	24,5	0,75	15,0	1,4	2,3
SO _x	4,0	0,12	2,5	0,08	0,38
CO	3,0	0,09	1,9	0,51	0,28
NMVOCS	0,97	0,03	0,45	0,24	0,09
PM ₁₀	0,61	0,02	0,35	0,0	0,06
N ₂ O	-	-	-	0,008	-
CH ₄	-	-	-	0,005	-

Senaryolar için toplam emisyonlar Tablo 6'da verilmiştir. Özet tablolarında açıkça görüldüğü gibi, ikinci senaryoda daha düşük emisyonlar hesaplanmış olup daha çevre dostu olduğu görülmektedir. Yalnızca gemi kullanılan birinci senaryoda, ikinci senaryoya kıyasla emisyon miktarı iki kat daha fazla tespit edilmiştir. İkinci senaryoda hem karbon hem de azot türevli gazlar en aza indirilmiştir.

Tablo 6: Senaryolarda hesaplanan toplam emisyon miktarı (ton)

Kirletici	Senaryo 1	Senaryo 2
CO ₂	2143	1218
NO _x	40,2	19,4
SO _x	6,7	3,1
CO	4,9	2,7
NM VOC	1,5	0,81
PM ₁₀	1,0	0,43
N ₂ O	-	0,008
CH ₄	-	0,005

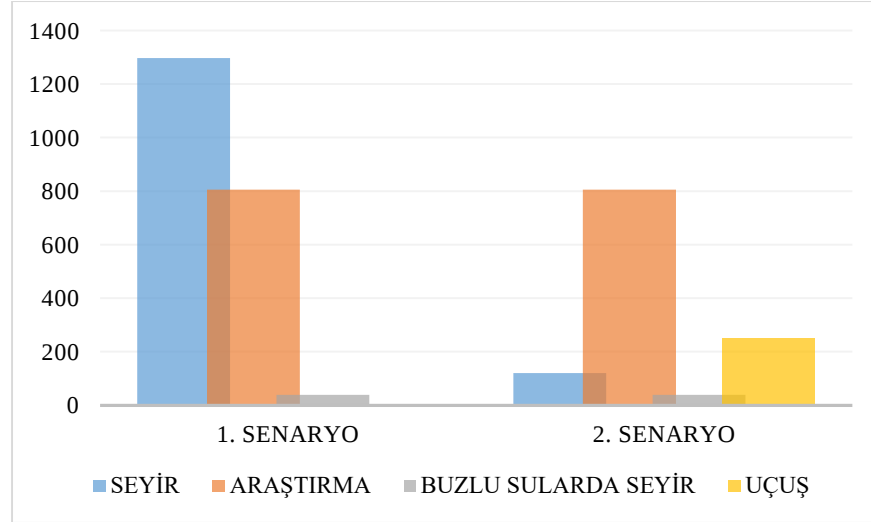
3.2. Senaryoların Karşılaştırılması

İlk senaryoda seferin tüm aşamaları tamamen deniz yoluyla gerçekleştirilirken, ikinci senaryoda seferler havayolları ile entegre olarak deniz yoluyla gerçekleştirilmektedir. Açık deniz seyri, çok uzun bir mesafe ve çok zaman aldığı için ilk senaryodaki en kirletici aşamadır. İkinci senaryoda, açık deniz seyri havayolu alternatifi kullanılarak yapıldığından, emisyon birinci senaryoya göre çok daha azdır. Her iki senaryoda da seferlerin çevresel etkisini belirlemek için aynı rota ve araştırma süresi belirlenmiştir. Bu nedenle, buzlu sularda seyir aşaması ve araştırma aşamasında demirleme veya sürüklenme sırasındaki tahmini CO₂ emisyonları tamamen aynıdır.

Tablo 7: Senaryolardaki CO₂ emisyonu tahmini (ton)

Faz	1. Senaryo	2. Senaryo
Seyir	1297	121
Araştırma	806	806
Buzlu sularda seyir	39,4	39,4
Uçuş	0	251
Toplam	2142	1217

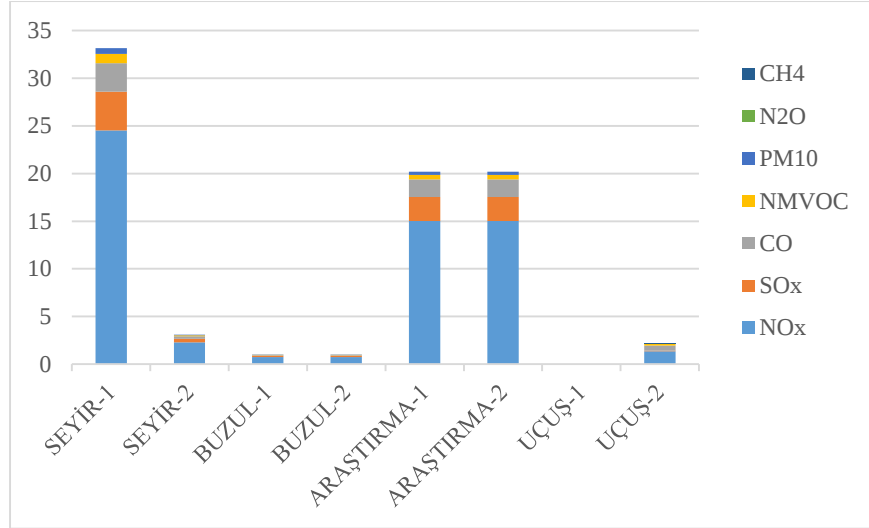
Tablo 7’deki tahmini CO₂ gazı emisyonları, her iki senaryonun tüm aşamaları için kütle olarak verilmiştir. Demirde ve buzlu sularda seyirdeki miktarlar her iki senaryo için de aynı olması nedeniyle benzerdir. İkinci senaryoda açık deniz seyri emisyonuna uçuş emisyonu eklense dahi, birinci senaryodaki açık deniz seyirindeki emisyon değerine ulaşamayacağı görölmektedir. Tahmin edilebileceği üzere bu seferlerde araştırma gemilerinin seyir süresi ile karbon salınımı arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. Çalışmada araştırma gemisi seferin tüm aşamalarında kullanılan tek araç olduğu için en fazla CO₂ emisyonu ilk senaryoda salınmaktadır. İkinci senaryoda ise havayolu entegrasyonu ile emisyonlarda gözle görölür bir azalma olduğu belirlenmiştir. Emisyonun temel nedeni ise fosil yakıtların yakılarak enerji elde edilmesi sonucunda ortaya çıkan atık gazlardır. Bu bilgiler ışığında, ilk senaryoda seyir süresi ikinci senaryoya göre çok daha uzun olduğundan, emisyonların ilk senaryoda çoğunlukla seferin lojistik kısmında olduğu belirlenmiştir. En yüksek emisyon safhasının, enerji ve ısıtma ihtiyaçları için yakıtın kullanıldığı demirde veya sürüklenme sırasında beklenen araştırma aşaması olduğu saptanmıştır. Her iki senaryonun her aşamasına ait CO₂ emisyonları Şekil 2’de verilmiştir. Antarktika’ya deniz seyri ile entegre bir uçuş düzenlemek, Avrupa’dan doğrudan gemiyle sefer düzenlemekten daha çevre dostu olduğu açıkça görölmektedir.



Şekil 2: Her iki senaryonun aşamalarına göre toplam CO₂ tahmini (ton)

İlk senaryoda uçuş emisyonu olmaması nedeniyle, CH₄ gazı açığa çıkmamaktadır. İkinci senaryodaki uçuş neticesinde ihmal edilebilir miktarda CH₄ gazı ortaya çıksa da uçakların yüksek irtifadaki seyri esnasında salınan bu gaz ozon artışına sebep olmaktadır (Olsen vd., 2013; Khodayari vd., 2015).

Şekil 3'te iki senaryoda gerçekleşen tüm aşamaların karşılaştırmalı grafiği gösterilmektedir. Seyir fazı açık deniz seyrini, buzul fazı buzlu sularda seyri, araştırma fazı demirde ya da sürüklenmede beklemeyi ve uçuş fazı da havayolu ulaşımını ifade etmektedir. Bu fazların yanında belirtilen numaralar da senaryoyu tanımlamaktadır. Bu sebeple birinci senaryoda havayolu entegrasyonu olmadığından Uçuş-1 için herhangi bir değer bulunmamaktadır. Ayrıca, N₂O gazı uçuş emisyonları için ayrı ayrı hesaplanırken, N₂O emisyon değeri, gemiden kaynaklanan emisyonlar için NO_x'a dahildir. Bu nedenle, iki senaryoda ortak olmayan tek gaz CH₄'dür. PM₁₀ da yine yalnızca gemi seyri sonucunda salınır. CO₂ emisyonunda olduğu gibi, diğer gazların emisyonları da buzlu sularda seyir aşamasındaki ve demirde veya sürüklenme sırasında araştırma aşamasındaki değerler ile tamamen aynıdır. Her iki senaryoda da aynı bölgeye seferler düzenlenmektedir ve araştırma süreleri eşit olarak belirlenmiştir. Bu nedenle, demirde veya sürüklenme sırasında araştırma aşaması için tahmini gaz emisyonları ve tüketilen yakıt miktarı tamamen aynıdır. Bunun sonucu olarak da bu aşamalardaki emisyon değerleri karbondioksitte olduğu gibi aynı gelmektedir. İki senaryo arasında çevreye etki bakımından farkı gösteren unsur Antarktika'ya ulaşımında tercih edilen lojistik yöntemidir.



Şekil 3: Her iki senaryonun aşamalarına göre CO₂ harici toplam emisyonları (ton)

Azot ve kükürt türevi gazların emisyonları, karbon salınımından sonra en yüksek oranda ortaya çıkan kirletici gazlar olarak belirlenmiştir. İlk senaryoda, seferde sadece araştırma gemisinin ulaşım aracı olarak kullanılması nedeniyle ikinci senaryodan daha fazlasının sera gazı emisyonuna neden olduğu anlaşılmıştır. Bunların dışında, CH₄ gazı uçaklardan kaynaklandığı için, ikinci senaryoda sadece ihmal edilebilir düşük bir seviyede meydana gelmiştir. NMVOC, PM₁₀ ve CO emisyonları da ilk senaryoda ikinci senaryoya göre daha yüksek seviyede salınmıştır. Bu bakımdan, kullanılan yüksek miktardaki yakıtın öncelikle emisyonlardan sorumlu olduğu açıkça görülmektedir.

Antarktika seferlerinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek için en temel yöntem yakıt tüketimini azaltmak olacaktır. Bunun için bölgesel koşullara ve bilimsel çalışmaların ihtiyaçlarına uygun olarak en az emisyonu neden olan araştırma gemileri tercih edilmelidir. Ayrıca rota optimizasyonları ve düşük hızlı seyir uygulamalarıyla emisyon oranlarında azalma sağlanabilir. Bölgenin soğuk iklimi göz önüne alındığında, araştırma safhasında ısıtma için gereken enerji de yakıt tüketimini artıracak bir faktör olarak görülmektedir. Sistemdeki baca gazları ile atılan atık ısıyı yeniden kullanabilen kojenerasyon teknolojileri, emisyonları ve yakıt tüketimini azaltabilecek yöntemler arasındadır (Yang, 2016). Azot ve kükürt türevi gazların salınımını azaltmak için gemi makinesine ek filtrasyon teknolojileri yerleştirilerek bu gazların emisyonu dramatik olarak azaltılabilir (Lamas ve Rodriguez, 2012). Ayrıca, alternatif yakıt kullanan gemiler azot ve kükürt emisyonlarını neredeyse sıfırlayacak

ve karbon içeriği azalacağı için karbon emisyonlarını da önemli ölçüde azaltacaktır. Hibrit araştırma gemilerinin kullanımının Antarktika koşullarına dayanması sağlanabilirse, tüm emisyonlar büyük ölçüde sıfıra indirilebilir. Bu çalışmada belirtilmemişse de otonom gemiler řu anda test aşamasında olduğundan ve Antarktika ile ilgili çalışmalar için gerekli olmadığından, bu tür gemiler Güney Okyanusu'ndaki tehlikeli bölgelerde uzaktan kumanda ile veri toplamak için kullanılabilir.

4. SONUÇ

Küresel iklim değişikliğinin sonuçlarını azaltmak için öncelikle tetikleyen faktörleri ortadan kaldırmak veya azaltmak gerekir. Antarktika'da yapılan araştırmalar gezegenimizin geçmişi hakkında bilgi sağlayıp, geleceği konusunda bir projeksiyon oluşturmamıza olanak sağlamaktadır. Bu nedenle de beyaz kıtaya düzenlenen bilimsel amaçlı seferler büyük önem taşımaktadır.

Ticari gemiler limanlar arasında yük ya da yolcu taşımak için sık seferler yaptığından dolayı literatürdeki çalışmalar gemi emisyonlarının iklim değişikliğine ve liman çevresine etkisi üzerinde durmaktadır. Rota optimizasyonu ve ekonomik srat uygulamalarının yakıt tasarrufu sağladığı ve bu sayede gemilerden kaynaklanan emisyonu azalttığı literatürdeki çalışmalarda görülmüştür. Çalışma kapsamında hazırlanan senaryolar sonucunda birinci senaryonun ikinci senaryoya göre çevreye daha çok zarar verdiği belirlenmiştir. Araştırma gemisinin çok uzun süreli seyir yapması daha çok yakıt sarfiyatına neden olarak salınımı arttırmaktadır. Sefer rotasının optimize edilmesi neticesinde yakıt tkretiminde ve emisyonda azalma tespit edilmiştir. İkinci senaryo, Antarktika'ya uzak olan ülkeler için en mantıklı ve çevreci senaryo olarak tespit edilmiştir. Araştırma gemisinin hızına ilişkin senaryolar içerisinde bir değişiklik yapılmadığı için hız optimizasyonuna yönelik bir varsayım mümkün olmamıştır. Ancak, senaryo için seçilen araştırma gemisinin sürati buzlu sulara ve zor meteorolojik şartlara uygun mutedil bir seviyede belirlenmiştir. Literatürde yer alan çalışmalarda liman sahası ve i denizlerde operasyonları için bekleyen gemilerden kaynaklanan emisyon ile Antarktika'ya turizm amaçlı sefer yapan otel gemileri ve Güney Okyanusunda balıkçılık faaliyeti gösteren gemilerin çevreye etkileri incelendiğinde, araştırma fazı süresince Antarktika'da seyir yapmadan bekleyen bir araştırma gemisinin de benzer ölçüde çevreyi etkilediği saptanmıştır. Bu sonuçlar, literatürde yer alan çalışmalarla uyumaktadır.

Her iki senaryoda da en çok karbondioksit gazı salınırken bunu azot ve kükürt türevli gazlar takip etmiştir. Karbon salınımının azaltılması için

yakıt sarfiyatı azaltılmalı ve alternatif yakıt sistemleri tercih edilmelidir. Azot ve kükürt türevi gazların salınımının azaltılması için modern filtreleme teknolojileri kullanılabilir. Çalışmanın daha ileriye götürülmesi için bölgeye yapılan seferler daha ayrıntılı incelenerek farklı lojistik yöntemler geliştirilebilir. Böylece kirli gaz salınımları bu senaryolarda tespit edilen değerlerin de altına çekilebilir.

Bu çalışmada yapılan hesaplamalar, Antarktika seferleri yapan araştırma gemilerine örnek teşkil etmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonucun gelecekte bölgeye yapılacak yeni seferlerde farklı lojistik yöntemlerin uygulanmasını teşvik edeceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- AARI (2021). *AARI-NIC-NMI pilot project on integrated sea ice analysis for Antarctic waters*. <http://ice.aari.aq/antice/2021/> Erişim tarihi: 11.03.2022.
- Acomi, N. ve Acomi, O.C. (2014). Improving the voyage energy efficiency by using EEOI. *Procedia Soc. Behav. Sci.* 138, 531–536.
- Bamber, J. & Aspinall, W. (2013). An expert judgement assessment of future sea level rise from the ice sheets. *Nature Clim Change* 3, 424–427.
- Barua, R., Bardhan, N., & Banerjee, D. (2022). Impact of the Polar Ice Caps Melting on Ecosystems and Climates. *Handbook of Research on Water Sciences and Society* (pp. 722-735). IGI Global.
- Cefic-ECTA (2011). Guidelines for Measuring and Managing CO₂, *Emission from Freight Transport Operations*, Issue 1.
- Chang, C.C. ve Jhang, C.W. (2016). Reducing speed and fuel transfer of the green flag incentive program in Kaohsiung port Taiwan. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.*, 46, 1–10.
- Chang, C.C. ve Wang, C.M. (2013). Energy conservation for international dry bulk carrier via vessel speed reduction. *Energy Policy*, 59, 710–715.
- Chou, C-C., Hsu, H-P., Wang, C-N. ve Yang, T-L. (2021). Analysis of energy efficiencies of in-port ferries and island passenger-ships and improvement policies to reduce CO₂ emissions, *Marine Pollution Bulletin*, 172.
- Chown, S.L., Lee, J.E., Hughes, K.A., Barnes, J., Barrett, P.J., Wall, D.H. (2012a). Challenges to the future conservation of the Antarctic. *Science* 337, 158–159.
- Chown, S.L., Huiskes, A.H.L., Gremmen, N.J.M., Lee, J.E., Terauds, A., Bergstrom, D.M. (2012b). Continent-wide risk assessment for the

- establishment of nonindigenous species in Antarctica. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 109, 4938–4943.
- COMNAP (2017). *COMNAP Antarctic Station Catalogue*. https://www.comnap.aq/Members/Shared%20Documents/COMNAP_Antarctic_Station_Catalogue.pdf. Erişim tarihi: 11.03.2022.
- Constable, A.J., Melbourne-Thomas, J., Corney, S.P., Arrigo, K.R., Ziegler, P. (2014). Climate change and Southern Ocean ecosystems I: how changes in physical habitats directly affect marine biota. *Global Change Biol.* 20, 3004–3025.
- Cosofret, D., Bunea, M. ve Popa, C. (2016). The Computing Methods for CO₂ Emissions in Maritime Transports, *International Conference Knowledge-Based Organization*, 22, 3.
- de Waal R.J.O., Bekker A., Heyns, P.S. (2018). Indirect load case estimation for propeller-ice moments from shaft line torque measurements, *Cold Regions Science and Technology*, Volume 151, Pages 237-248.
- EMEP/EEA (2019). *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019*. <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019/part-b-sectoral-guidance-chapters/1-energy/1-a-combustion/1-a-3-b-i/download>. Erişim tarihi: 11.03.2022.
- Farman, J. C., Gardiner, B. G., & Shanklin, J. D. (1985). Large losses of total ozone in Antarctica reveal seasonal ClO_x/NO_x interaction. *Nature*, 315(6016), 207-210.
- Farreny, R., Oliver-Solà, J., Lamers, M., Amelung, B., Gabarrell, X., Rieradevall, J., Boada, M., Benayas, J. (2011). Carbon dioxide emissions of Antarctic tourism. *Antarctic Science*, 23(6), 556-566.
- Gamo T. (1999). Global warming may have slowed down the deep conveyor belt of a marginal sea of the northwestern Pacific' Japan Sea. *Geophysical Research Letters*, Vol. 26, No. 20, Pages 3137-3140.
- ICAO (2018). *ICAO Carbon Emissions Calculator Methodology Version 11*, https://www.icao.int/environmental-protection/CarbonOffset/Documents/Methodology%20ICAO%20Carbon%20Calculator_v11-2018.pdf. Erişim tarihi: 11.03.2022.
- IMO (2012). *Resolution MEPC.212(63) Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for the new ships*, MEPC 63/23, IMO London. [https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.212\(63\).pdf](https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MEPCDocuments/MEPC.212(63).pdf). Erişim tarihi: 11.03.2022
- IPCC (1996). *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Reference Manual*, p 1.98.
- Khodayari A., Olsen S. C., Wuebbles D. J., Phoenix D. B. (2015). Aviation NO_x-induced CH₄ effect: Fixed mixing ratio boundary conditions

- versus flux boundary conditions, *Atmospheric Environment*, Volume 113, Pages 135-139.
- Lamas, M.I. and Rodriguez, C.G. (2012). Emissions from Marine Engines and NOx Reduction Methods. *Journal of Maritime Research*, 9, 77-81.
- Li, X., Sun, B., Guo, C., Du, W., Li, Y. (2020). Speed optimization of a container ship on a given route considering voluntary speed loss and emissions. *Appl. Ocean Res.* 94.
- Lindstad, H., Jullumstrø, E., Sandaas, I. (2013). Reductions in cost and greenhouse gas emissions with new bulk ship designs enabled by the Panama Canal expansion. *Energy Policy*, 59, 341–349.
- Molders, N., Gende, S., Pirhalla, M. (2013). Assessment of cruise-ship activity influences on emissions, air quality, and visibility in Glacier Bay National Park. *Atmos. Pollut. Res.*, 4, 435–445.
- Olsen, S. C., Brasseur, G. P., Wuebbles, D. J., Barrett, S. R. H., Dang, H., Eastham, S. D., Jacobson, M. Z., Khodayari, A., Selkirk, H., Sokolov, A., & Unger, N. (2013). Comparison of model estimates of the effects of aviation emissions on atmospheric ozone and methane. *Geophysical Research Letters*, 40(22), 6004-6009.
- Papaefthimiou, S., Maragkogianni, A., Andriosopoulos, K. (2016). Evaluation of cruise ships emissions in the Mediterranean basin: the case of Greek ports. *Int. J. Sustain. Transp.*, 10 (10), 985–994.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J. M., Basile, I., Stieyenard, M. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature Journal*, 399, 429 – 436.
- Richter A., Eyring V., Burrows J.P., Bovensmann H., Lauer A., Sierk B., Crutzen P.J. (2004). Satellite measurements of NO2 from international shipping emissions. *Geophys. Res. Lett.*, 31 (23).
- Sun, X., Yan, X.P., Wu, B., Song, X. (2013). Analysis of the operational energy efficiency for inland river ships. *Transp. Res. Part D: Transp. Environ.* 22, 34–39.
- Tichavska, M., ve Tovar, B. (2015). Port-city exhaust emission model: an application to cruise and ferry operations in Las Palmas port. *Transp. Res. A*, 78, 347–360.
- Tin, T., Fleming, Z.L., Hughes, K.A., Ainley, D.G., Convey, P., Snape, I., (2009). Impacts of local human activities on the Antarctic environment. *Antarct. Sci.* 21, 3–33.
- Traut M., Larkin A., Anderson K., McGlade C., Sharmina M., Smith T. (2018). CO₂ abatement goals for international shipping. *Clim. Pol.* pp. 1-10.
- Trossman, D., Palter, J. (2021). Changing Ocean Currents. From Hurricanes to Epidemics. Global Perspectives on Health Geography. *Springer*, Cham. Pp 11-26.

- Turner, J., Barrand, N.E., Bracegirdle, T.J., Convey, P., Hodgson, D.A., Klepikov, A. (2014). Antarctic climate change and the environment: an update. *Polar Rec.*, 50, 237–259.
- Tzannatos, E. (2010). Ship emissions and their externalities for the port of Piraeus-Greece. *Atmos. Environ.*, 44, 400–407.
- Tzannatos, E., Papadimitriou, S., Koliouisis, I. (2015). A techno-economic analysis of oil vs. natural gas operation for Greek island ferries. *Int. J. Sustain. Transp.*, 9 (4), 272–281.
- Vargas, C.A., Cuevas, L.A., Broitman, B.R. (2022). Upper environmental pCO₂ drives sensitivity to ocean acidification in marine invertebrates. *Nat. Clim. Chang.* 12, 200–207.
- Walsh K. J. E., McInnes K. L., McBride J. L., (2012). Climate change impacts on tropical cyclones and extreme sea levels in the South Pacific — A regional assessment, *Global and Planetary Change*, Volumes 80–81, Pages 149-164.
- Wan, Z., Ji, S., Liu, Y., Zhang, Q., Chen, J., Wang, Q. (2020). Shipping emission inventories in China's Bohai Bay, Yangtze River Delta, and Pearl River Delta in 2018. *Mar. Pollut. Bull.*, 151.
- Wartsila (2020). Wartsila 6L20 Product Guide. <https://www.manualslib.com/manual/1177300/W-Rtsil-W-Rtsil-20.html?page=20#manual>. Erişim tarihi: 11.03.2022.
- Yang M-H. (2016). Optimizations of the waste heat recovery system for a large marine diesel engine based on transcritical Rankine cycle. *Energy*, Vol 113, Pages 1109-1124.
- Yau, P.S., Lee, S.C., Corbett, J.J., Wang, C.F., Cheng, Y., Ho, K.F. (2012). Estimation of exhaust emission from ocean-going vessels in Hong Kong. *Sci. Total Environ.*, 431, 299–306.
- Yusof, N.A., Masnoddin, M., Charles, J. (2022). Can heat shock protein 70 (HSP70) serve as biomarkers in Antarctica for future ocean acidification, warming and salinity stress?. *Polar Biol* 45, 371–394.
- Zis, T., North, R.J., Angeloudis, P., Ochieng, W.Y., Bell, M.G.H. (2014). Evaluation of cold ironing and speed reduction policies to reduce ship emissions near and at ports. *Marit. Econ. Logist.*, 16 (4), 371–398.