T. C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİSİ

DOKTORA TEZİ

Araş. Gör. İrşad BAYIRHAN
DENİZEL ÇEVRE ANA BİLİM DALI

Danışman
Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

Temmuz, 2023

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

İRŞAD BAYIRHAN tarafından hazırlanmış ve sunulmuş "KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİSİ" başlıklı tez DENİZEL ÇEVRE Ana Bilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Selçuk NAS

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Erdal ARLI

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Burcu ÖZSOY

Jüri Üyesi
Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR

Tez Savunma Tarihi: 27.07.2023

ETİK BEYAN

İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu kurallarına uygun olarak hazırladığım "KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİSİ" başlıklı 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.

İrşad BAYIRHAN

Pandemi ve 6 Şubat Depremlerinde Kaybettiğim Tüm Akraba ve Yakınlarıma…

ÖNSÖZ

Bu çalışmada küresel iklim değişikliğinin dünya deniz ticaretine etkileri, Arktik bölge seyir olanakları kapsamında ele alınmıştır.

Tez çalışmamın planlanması ve yürütülmesi sürecinde desteğini esirgemeyen, her konuda bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan, kıymetli danışman hocam ve Denizel Çevre Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Cem GAZİOĞLU'na bana bu süreçte kattıkları her şey için ve sonsuz destekleri için teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Tez konusunun şekillenmesinde ve çalışmam boyunca her konuda değerli bilgilerini paylaşan ve destek olan Sayın Prof. Dr. Selçuk NAS'a teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerim sırasında tecrübelerini benimle paylaşan ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşım Dr. Öğr. Üyesi Kadir MERSİN'e, teşekkürlerimi sunarım.

Kimyasal Oşinografi Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Nuray ÇAĞLAR'a doktora sürecim boyunca sağladığı sonsuz desteği için teşekkürlerimi ve sevgilerimi sunarım.

Kıymetli çalışma arkadaşlarım Dr. Öğr. Üyesi Esra Billur BALCIOĞLU İLHAN ve Araş. Gör. Seben YÜCEL'e bilimsel ve manevi destekleri için teşekkürlerimi sunarım. Özellikle pandemi süreci boyunca hep yanımda olduğunu hissettiğim kıymetli hocam Prof. Dr. Vesile Selma ÜNLÜ'ye, doktora sürecimde bana kattıkları değerli bilgiler için sayın hocalarım Prof. Dr. Zinet Selmin BURAK ve Prof. Dr. Erdal ARLI'ya, ayrıca değerli yardımlarını için enstitü sekreterimiz Sayın Zeki Yaşar YÜCEL'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora sürecim boyunca yaşadığımız tüm zorluk ve kayıplara rağmen sabırla yanımda duran ve desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ 1
İÇİNDEKİLER 2
ÖZET 4
ABSTRACT 5
TABLO LİSTESİ 6
ŞEKİL LİSTESİ 7
SİMGE LİSTESİ 8
KISALTMA LİSTESİ 9
EK LİSTESİ 11
1. GİRİŞ 12
1.1. Küresel İklim Değişimi ve Değişen Denizler 15
1.2. Arktik Bölge ve Arktik Okyanusu 21
1.2.1. Arktik Bölge'de hava durumu ve iklim koşulları 22
1.2.2. Deniz buzları 23
1.4. Değişen Deniz Ticareti ve Yeni Deniz Ticaret Rotaları 27
1.5. Arktik Bölgede Deniz Ticaretinin Kısa Tarihi 33
1.6. Arktik Bölgede Deniz Taşımacılığı ve Emniyet 36
1.6.1. Polar kod 37
1.6.2. Buzkıran gemiler, buz sınıfı gemiler ve buz sınıfları 37
1.7. İklim Değişikliği Performans Endeksi (CCPI) 40
1.8. İklim Değişikliği Senaryoları ve Arktik Bölge 42
1.9. Liner Taşımacılığı Bağlantı Endeksleri 45
2. MATERYAL METOT 48
2.1. Çalışma Alanı 48
2.2. Çalışmada Kullanılan Materyaller 49
2.3. Metodoloji 50
2.3.1. Koordinat seçimi ve liman mesafelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntem 51
2.3.2. Arktik deniz taşımacılığının maliyetine etki eden faktörler 58
2.3.2.1. Yakıt maliyeti 59
2.3.2.1.1. Buz koşullarının yakıt tüketimine etkisi 60
2.3.2.1.2. Hava muhalefetinin yakıt tüketimine etkisi (ekstrem) 62
2.3.2.1.3. Hava şartlarının fonksiyonu 62
2.3.2.1.4. Hız kaybı fonksiyonu ve yakıt tüketimine etkisi 65
2.3.2.1.5. Emisyon tüketimi ile yakıt maliyeti ilişkisi 67
2.3.2.1.6. Alternatif düşük emisyonlu ve katsayılı yakıtlar 67
2.3.2.2. Sermaye maliyeti 68
2.3.2.3. Operasyon maliyeti 70
2.3.2.4. Tarife Ücretleri 71
2.3.3. Buz sınıfı gemilerde risk değerleri 71
3. BULGULAR 74
3.1. NSR Rota Optimizasyonu, Koordinat Seçimi ve Liman Mesafelerinin Belirlenmesi 74
3.2. Gemi, Buzkıran ve Hız 82
3.3. Nakliye Maliyeti Modeli 83

3.4. Modelin Senaryo Uygulamasına Örnek: Yokohama-Hamburg Seferi 85
3.5. Örnek Seferin Senaryoları ve Sonuç Analizleri 92
3.6. Seçilen Diğer Liman Setlerinin Elverişliliği 96
3.7. Kuzey Denizi Rotası'na Yönelik GZFT 101
4. TARTIŞMA VE SONUÇ 105
KAYNAKLAR 113
EKLER.....124
ÖZGEÇMİŞ 130
FORMLAR
Tez Çalışması Benzerlik Raporu Uygunluk Yazısı ve Eki

ÖZET

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİSİ

İrşad BAYIRHAN

Bu çalışmada iklim değişikliğin deniz ticaretine etkileri, değişen çevresel koşullar ile ortaya çıkan yeni deniz ticaret rotalarının etkinliği ile analiz edilmiştir. Küresel iklim değişikliğinin deniz ticareti yaptığı etkileri ele alabilecek boyutlardan biri olan yeni nakliye güzergahları, "küresel iklim değişimi deniz ticaretinin değişimine neden olmuştur", ana hipotezi ile hem ampirik bir çalışma oluşturulup bu güzergahlarının işlerliğini senaryolaştırmayı hem de daha önceki bilgilerin veya gözlemlerin doğruluğunu saptamak üzere oluşturulan farklılık varsayım hipotezinin sınanıp geçerliliği değerlendirmeyi sağlamaktadır.

Yeni oluşan ve oluşması muhtemel senaryolar için bugünkü durum yani mevcut ticaret aksının etkileşimi ile yeni rotaların gelecek potansiyeline bir projeksiyon oluşturmayı araştıran alt hipotezler; SCR-NSR karşılaştırma ve kullanım uygunluğunun sınanmasını gerektirmektedir. Arktik taşımacılığında en optimum rotanın ne olduğu ve hangi cazibe merkezleri için kullanımın ideal olacağı sorusu, NSR'nin yanında TSR'ın da ele alınmasına ve gelecek buz ortamının seyir emniyetini engellemeyeceği varsayımı ile 2100 ve sonrası koşullarındaki durumu çalışmaya dahil edilmiştir. Farklı hızlarda açık deniz ve buz sınıfı gemilerin, ayrıca gelecekte değişmesi muhtemel düşük emisyonlu ve ücretli yakıtların da fonksiyondaki yeri anlaşılmak istenmiştir.

Bu amaçla çalışmaya rota mesafelerinin yeniden değerlendirilmesi ile başlanmış, ardından seçilen Doğu Asya – Batı Avrupa limanları için Arktik bölgenin buz ve hava koşulları dolayısıyla hız kaybı fonksiyonunun da dahil edildiği nakliye maliyet modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan senaryo sonuçlarında NSR'nin çoğu durumda SCR'den elverişli olduğu, 2100 yılı, TSR kullanımı ve yeni teknolojilerin ortaya çıkartacağı her gelecek durumun deniz mili ölçüsü ile de orantılı olarak çok daha ekonomik olacağı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İklim Değişikliği, Arktik Bölge, Kuzey Denizi Rotası, Yakıt Tüketimi, Nakliye Maliyet Modeli

ABSTRACT

IMPACT OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON MARINE TRADE

İrşad BAYIRHAN

In this study, the effects of climate change on maritime trade were analyzed with the effectiveness of new maritime trade routes that emerged with changing environmental conditions. One of the dimensions that can address the effects of global climate change on maritime trade, new shipping routes, with the main hypothesis that "global climate change has caused the change in maritime trade", aims to both create an empirical study and scenario the operability of these routes and to determine the accuracy of previous information or observations. It allows to test the difference hypothesis and evaluate its validity.

Sub-hypotheses that seek to create a projection for the future potential of new routes with the current situation, that is, the interaction of the existing trade axis, for newly formed and probable scenarios; SCR-NSR requires comparison and testing of suitability for use. The question of where the most optimum route in Arctic transportation is and for which attraction centers it would be ideal to use, the TSR is also included in the study, and the situation in the conditions of 2100 and later, with the assumption that the future ice environment will not prevent navigational safety. It is desired to understand the role of offshore and ice class ships at different speeds, as well as low emission and fee fuels that are likely to change in the future.

For this purpose, the study started with a re-evaluation of the route distances, and then a transportation cost model was created for the selected East Asian - Western European ports, including the speed loss function due to the ice and weather conditions of the Arctic region. In the scenario results created, it has been determined that NSR is more favorable than SCR in most cases, and that the year 2100, the use of TSR and any future situation that new technologies will reveal will be much more economical in proportion to the nautical mile measure.

Key words: Climate Change, Arctic Region, Northern Sea Route, Fuel Consumption, Shipping Cost Model

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. İklim değişikliğinin açık deniz, haliç ve iç su yolu limanları üzerindeki etkilerini….19
Tablo 2. Fin-İsveç buz sınıfı kurallarının buz sınıfları ile diğer klas kuruluşlarındaki karşılıkları (BSIS-ICE (2023)'den uyarlanmıştır)…….....….....40
Tablo 3. 2023 yılına göre İklim Değişikliği Performans Endeksleri (CCPI, 2023)……...42
Tablo 4. Limanlar arası LSCBI değerleri……..47
Tablo 5. NSR transit gemi geçiş sayıları……51
Tablo 6. Seçilen limanların koordinat bilgileri……..……55
Tablo 7. Beaufort skalası…..…….…….63
Tablo 8. Beaufort skalasına göre Aertssen sayıları…..…….…….64
Tablo 9. Seçilen ülke limanlarının SCR ve NSR'ye olan uzaklıkları……..…..….80
Tablo 10. Yakıt tüketim fonksiyonuna göre hesaplanan günlük tüketim miktarları…….....90
Tablo 11. Senaryolara göre hesaplanan sefer maliyetleri……..95
Tablo 12. Nakliye maliyet modeline göre en yakın – uzak ölçümü…….….98
Tablo 13. Nakliye maliyet modeline göre Asya en Güney……99
Tablo 14. Nakliye maliyet modeline göre Avrupa en Güney……99

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Yıllara göre Şubat ve Eylül aylarına ait ortalama buz yoğunluğu haritaları A) 1986-2005, B) ve C) 2081-2100 tahminleri……16
Şekil 2. Bir limanda kritik sosyo-ekonomik faktörlerin etkileşimi (Inoue, 2013)…….……....18
Şekil 3. Arktik Okyanusu ve ilişkili denizler…….……21
Şekil 4. Yaz aylarında Arktik Havzasında hakim rüzgar yönleri (Bilello, 1973'ten uyarlanmıştır)……....22
Şekil 5. Yıllara göre minimum Eylül Arktik deniz buzunun yaşı (EPA, 2022'den uyarlanmıştır)……....24
Şekil 6. A) 1979 Mart, B) 1979 Eylül, C) 2022 Mart, D) 2022 Eylül aylarına ait buz kapsamları (NSIDC, 2023b)……..…….……....25
Şekil 7. Aylık ortalama deniz buzu kalınlığı verileriyle Arktik Okyanusu'nun görünümü A) Şubat 2021; B) Eylül 2021 Düşük değerler açık mavi, daha yüksek değerler Magenta ile gösterilmiştir (ICESat-2, 2023)……..…..……...26
Şekil 8. Kuşak ve yol girişim koridorları (Ibold, 2018)……28
Şekil 9. Arktik Rotaları (Arctic Institute, 2016'dan uyarlanmıştır)…….……..…29
Şekil 10. Farklı buz sınıflarına ilişkin H_{nom} eşdeğer buz kalınlığını (Riska, 2009'dan uyarlanmıştır)……...……...……..38
Şekil 11. Kuzey Denizi Rotası……..……....48
Şekil 12. 2022 AIS verilerine göre gemi yoğunluk haritası (MarineTraffic, 2022)…….……56
Şekil 13. Aylık Arktik buz alanı Mayıs 1979-2023 (NSIDC, 2023b'den uyarlanmıştır)...……57
Şekil 14. Kış mevsimi için POLARIS risk değerleri…….....73
Şekil 15. Arktik deniz buzu genişliği değişim grafiği (NSIDC, 2023b'den uyarlanmıştır) …….....75
Şekil 16. A) Ocak, B) Şubat, C) Mart, D) Nisan, aylarına ait ortalama buz genişliği (Kırmızı çizgi NSR'yi temsil etmektedir. Kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı, düz çizgiler ise buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir). (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır)…...…….……...…….…76
Şekil 17. E) Mayıs, F) Haziran, G) Temmuz, H) Ağustos, aylarına ait ortalama buz genişliği (Kırmızı çizgi NSR'yi temsil etmektedir. Kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı, düz çizgiler ise buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir). (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır)…....……...…….…77
Şekil 18. J) Eylül, K) Ekim, L) Kasım, M) Aralık, aylarına ait ortalama buz genişliği (Kırmızı çizgi NSR'yi temsil etmektedir. Kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı, düz çizgiler ise buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir). (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır)…...……...……...…….…78
Şekil 19. NSR hattı POLARIS buz konsantrasyonları(PolarView, 2023) ……79
Şekil 20. Buz sınıfı ve buzkıran hattı……..……...81
Şekil 21. Yokohama-Hamburg NSR seyri hava koşullarına göre yakıt tüketimi değişim grafiği……..…..……87
Şekil 22. Batı Avrupa – Doğu Asya bağlantıları……97

SİMGE LİSTESİ

C_{tm}	: TEU başına yıllık maliyet
K_{tm}	: Yıllık sermaye maliyeti
OC_{tm}	: Yıllık işletme maliyetleri
TEU_{tm}	: Yıllık TEU sayısı
T_b	: Seyrin buzlu aşama etabında harcanan zaman
$T_{jkt}\gamma$	: İki taraflı ve zamanla değişen ticaret maliyetlerini yansıtan bir değişkenler vektörü
VC_{tm}	: Yıllık sefer maliyetleri
$Z_{jk}\beta$	: Standart zamanla değişmeyen yerçekimi iki taraflı değişkenlerin bir vektörü
∇	: Deplasman
$\sum$	: Toplam sembolü
°C	: Santigrat derece
A	: Buz sınıf gemiler seyir halindeyken oluşan ek yakıt tüketim katsayısı
a	: Buz sınıfı gemiler için ek fiyat katsayısı
B	: Buzlu rota
Cm	: Santimetre
CS	: Yeni gemi inşa maliyeti
e	: Tüketilen yakıt başına CO_2 salınım değeri
F	: Yakıt tüketimi
Fmaks	: Maksimum yakıt tüketim oranı
IC	: Buz sınıfı gemi
K	: Yıllık sermaye maliyeti
km^2	: Kilometre kare
Knot (kn)	: Saatte 1 deniz miline eşit hız birimi
$\ln(X_{jkt})$	: J ülkesinden k ülkesine yüksek oranda konteynırlanabilir ihracatın doğal logaritması
L_{pp}	: Dikeyler arasındaki uzunluk
m	: Metre
m/s	: Saniye başına alınan yolun metre cinsinden ifadesi
m-n	: Aertssen sayıları
mt	: Metrik ton
Ps	: Buz direncinin üstesinden gelebilmek için gereken ek güç
T	: Buzsuz aşama zamanı
Δ V/V	: Hız kaybı
O_{jk} - δ_{jk}	: İhracatçı/zaman ve ithalatçı/zaman kesişimi ifade eden değişkenler
θ	: CO_2 miktarında uygulanan emisyon birim vergisi
λ	: Gemi motorlarının sahip olduğu özgün tüketim sabit katsayısı
nm	: Nautical mile (deniz mili)

KISALTMA LİSTESİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ABS	: American Bureau of Shipping (Amerikan Loydu)
AEC	: Arctic Economic Council (Arktik Ekonomik Konseyi)
AIS	: Automatic Identification System (Otomatik Tanımlama Sistemi)
AMSA	: Arctic Marine Shipping Assessment (Arktik Deniz Taşımacılığı Değerlendirmesi)
AOGCM	: Atmosphere-Ocean General Circulation Model (Atmosfer-Okyanus Küresel Sirkülasyon Modelleri)
ASYM	: Arktik Seferi Yakıt Maliyeti
BN	: Beaufort Number (Beaufort Sayısı)
CASPPR	: Canadian Arctic Shipping Pollution Prevention Rules
CAT	: Climate Action Tracker (İklim Eylem Takibi)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CCPI	: The Climate Change Performance Index (İklim Değişikliği Performans Endeksi)
CMTS	: Deniz Taşımacılığı Sistemi Komitesi Committee on the Marine Transportation System
DNV	: Det Norske Veritas
DWT	: Detveyt
EPA	: United States Environmental Protection Agency (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı)
FC	: Yakıt tüketimi foksiyonu
FMA	: The Finnish Maritime Administration (Finlandiya Denizcilik İdaresi)
FSICR	: The Finnish-Swedish Ice Class Rules (Fin-İsveç Buz Sınıfı Kuralları)
GL	: Germanischer Lloyd (Alman Loydu)
GZFT	: Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar, Tehditler
IACS	: International Association of Classification Societies (Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği)
ICESat-2	: Ice, Cloud and Land Elevation Satellite-2 (Buz, Bulut ve Kara Yüksekliği Uydusu-2)
IMO	: International Maritime Organization (Uluslararası Denizcilik Örgütü)
IPCC	: Intergovermental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
KDRT	: Kuzey deniz rotası tarifeleri
LNG	: Liquefied Natural Gas (Sıvılaştırılmış doğalgaz)
LR	: lloyd's register (İngiliz Loydu)
LSBCI	: Liner Shipping Bilateral Connectivity Index (Liner Taşımacılığı İkili Bağlantı Endeksi)
LSCI	:Liner Shipping Connectivity Index (Liner Taşımacılığı Bağlantı Endeksi)
MARPOL	: International Convention for the Prevantion of Pollution from Ships (Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme)
MEB	: Münhasır Ekonomik Bölge

NASA	: National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NEP	: Northeast Passage (Kuzeydoğu Geçidi)
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi)
NSIDC	: National Snow and Ice Data Center (Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi)
NSR	: Northern Sea Route (Kuzey Denizi Rotası)
NSRA	: Northern Sea Route Administration (Kuzey Denizi Rotası İdaresi)
NWP	: Northwest Passage (Kuzeybatı Geçidi)
POLARIS	: Polar Operational Limit Assessment Risk Indexing System (Polar Operasyonel Limit Değerlendirme Risk Endeksleme Sistemi)
RCP	: Representative Concentration Pathways (Temsili Konsantrasyon Yolları)
RIO	: Risk Endeksi Sonucu
RMRS	: Russian Maritime Register of Shipping (Rus Loydu)
RV	: Risk Değerleri
SCA	: Suez Canal Authority (Süveyş Kanalı Otoritesi)
SCNT	: Suez Canal Net Tonage (Süveyş Kanalı Net Tonajı)
SCR	: Suez Canal Route (Süveyş Kanalı Rotası)
SECA	: Sulphur Emission Control Area (Sülfür Emisyonu Kontrol Alanı)
SMA	: Swedish Maritime Administration (İsveç Denizcilik İdaresi)
SOF	: Ship and Ocean Foundation (Gemi ve Okyanus Vakfı)
SOLAS	: Safety of Life at Sea (Uluslararası Denizde Can Güvenliği Sözleşmesi
SRES	: Special Report on Emissions Scenarios (Emisyon Senaryolarına İlişkin Özel Rapor)
SRT	: Süveyş rotası tarifeleri
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
TEU	: Twenty-Foot Equivalent Unit (Yirmi feet eşdeğer birimi)
TSR	: Transpolar Sea Route (Transpolar Denizyolu)
UNCTADSTAT	: United Nations Conference on Trade and Development (Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı)
UNECE	: United Nations Economic Comission for Europe (Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu)
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change (Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi)

EK LİSTESİ

Sayfa

EK 1. Felixstowe ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi……..124

EK 2. Rotterdam ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi……...125

EK 3. Hamburg ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi…….126

EK 4. Le Havre ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi…….127

EK 5. Bilbao ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi……...……..128

EK 6. Kopenhag ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi……...129

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği etkilerinin belki de en kolay gözlemlenebildiği okyanuslar ve denizler, dünya üzerindeki neredeyse tüm ticari ve sosyal faaliyetlerin temelini oluştururken, enerji ve kaynakların taşınması için önemli bir yol olarak da hizmet vermektedir. Bu nedenle küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen iklim değişikliği sorunlarının, üzerinde en çok çalışmaya ihtiyaç duyulan kısmını okyanuslar oluşturmaktadır. Küresel ısınma, dünya üzerinde birçok etkiye sahiptir ve bunlardan en önemlisi bilindiği üzere sera gazlarının artışına bağlı olarak gerçekleşen küresel sıcaklık artışıdır. Bu değişimler okyanus ve deniz sistemlerini dramatik bir şekilde etkilemektedir. Arktik okyanusu bu etkilerin belirgin bir şekilde gözlemlenebildiği hassas bir bölgeyi temsil etmektedir. Özellikle küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin bir sonucu olan buzul erimesinin, bu bölgede hem ekosistem hem de denizcilik faaliyetleri açısında önemli değişikliklere sebep olmaya başladığı görülmektedir. Söz konusu bu dolaylı etkilerden biri de seyir ve ulaşım üzerindeki değişimlerdir. Kuzey Kutbu'ndaki deniz buzu kaybı, ekonomi ve enerji açısından daha verimli bir ulaşım için yeni olanaklar sunmaktadır. Bu durum küresel ısınmanın ölçülebilir etkilerinin öngörülmesinde ayrı bir öneme sahiptir ve modellere dayanılarak yapılan tahminleme çalışmalarına da zemin hazırlamaktadır (Love, ve diğerleri, 2010; Xu, 2011; Ng ve diğerleri, 2013; Nordquist ve diğerleri, 2013; Wang ve diğerleri, 2016;).

Bunu yanında ısınma ve buz tabakalarının yüksek oranda tahrip olması, deniz ticaret hatlarında deniz buzu tehlikesinin artmasına da neden olacaktır. Grönland'daki gibi büyük buz tabakalarının kaybolma oranı henüz başlamakta ve artarak devam etmektedir. Azalan buz örtüsü ayrıca Kuzey Kutbu'ndaki fosil yakıtlar ve balıkçılık çalışmalarının artmasına ve keşfedilmesine neden olmaktadır. Fosil yakıtların keşfedilmesi, çıkarılması ve taşınmasının bir sonucu olarak, kirlenme riski artmakta ve şu an için son derece kritik olan Arktik ortamlarında bu gelişmeler karşında yalnızca asgari düzeyde bir hazırlık bulunmaktadır. Ek olarak, deniz buzu kaybıyla birlikte azalan buz bazlı verimlilik, Kuzey Kutbu besin ağlarında çeşitlilik kaybına ve sürdürülebilir trofik yapının değişmesine neden olmaktadır. Atmosfere ve

okyanuslara büyük miktarlarda karbondioksit eklenmesi, asitlenmeyi arttıran veya pH'ı düşüren bir etki ile okyanus kimyasında değişime sebep olmaktadır. Daha asitli bir okyanustaki ses yayılımı, deniz memelileri ve balıkların göç yollarının değişmesine sebep olmaktadır. Değişen okyanusun küresel ısınmanın etkileri karşısında acilen adaptasyonunu sağlamak ve kırılganlığı azaltmak için daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir.

İklimde gelecekte olacak değişimlerin tahmin edilmesinde kullanılmak üzere IPCC (Intergovermental Panel on Climate Change)(2001), tarafından çeşitli senaryolar yayınlamıştır. Raporda yayınlanan senaryolarda, 2000 yılından bu yana ortalama 2,5 °C ısınan Kuzey Kutbu'nun, Arktik Okyanusu'nu 2035 yılına kadar özellikle yaz aylarında tamamen buzsuz bırakacağı düşünülmektedir. Arktik Bölgesi, Arktik amplifikasyonu olarak kabul edilen bir olgu olarak, Dünya'nın geri kalanından iki kat daha hızlı ısınmaktadır (Serreze ve Barry, 2011; Çetin ve Büyüksağnak, 2021). Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) 2013 raporuna göre iklim değişikliğinden en çok etkilenecek sektör denizyolu taşımacılığı olarak belirtilmiştir (UNECE, 2013). Raporda iklim değişikliğinin deniz ticareti üzerindeki potansiyel etkileri faktörler ve bu faktörlere bağlı etkiler olarak yer almaktadır.

Politik konjonktürde ise, Arktik bölgede olmayan devletlerin ve Avrupa Birliği'nin çıkarları, Arktik Okyanusunu "insanlığın ortak mirasının" bir parçası olarak görmeye meyillidir. Ancak Rusya'nın ve Kanada'nın Kuzey Doğu geçidi, gelişmekte olan deniz yolları üzerindeki ulusal yetki alanlarını karasuları üzerinden korumaya kararlı olduğu görünmektedir. Yeni deniz yollarının ortaya çıkışı, tarihsel olarak uluslararası güç dengesi üzerinde ağır bir etki yaratmış ve ticaret filolarının gittiği her noktayı bir süre sonra donanmalar takip etmiştir. Bu nedenle Kuzey Kutbu egemenlik mücadelelerinin devam edeceği ve konunun ayrı bir çalışmada jeostratejik yönünün de ele alınması gerektiği açıktır. Ayrıca ilgilli ülkelerin yeni deniz ticaret rotalarının ekonomik ve politik avantajlarının yanında bahsi geçen bu stresleri kontrol altına almak amacıyla, uluslararası kuruluşlar ve çevre kuruluşları ile koordineli bir planlamayı ve gerekli diğer yasal düzenlemeleri gerçekleştirmelidir.

Bu çalışmada iklim değişikliği ile değişen deniz, dolayısıyla değişen deniz ticareti ve bu bağlamda özellikle Arktik bölgenin deniz ticaretinde etkinliği (yeni deniz ticaret rotaları) ile bu etkinliğin geleneksel deniz ticaret rotalarına yapacağı etkiyi incelemek amaçlanmaktadır. Ayrıca iklim değişikliğinin dünya deniz ticaret rotalarına etkileri, Kuzey Kutup Bölgesi'nde özellikle yaz aylarında yüzer buz miktarlarında meydana gelen düşüş ile deniz taşımacılığının

uygulanabilirliği üzerinden ele alınacaktır. Ticari seyirler için mevsimler kullanılabilirlik, buzkıranlar yardımı ile yapılan seyir, rotanın kullanıldığı aya bağlı olarak ve en emniyetli yolu seçen hat planlaması, gidiş-dönüş maliyet planlamasında Süveyş Kanalı Rotasının yaratacağı alternatifler karşılaştırılacaktır. Bu kapsamda iklim değişikliğinin geleneksel dünya deniz ticaretini ve rotalarını ne şeklide etkileyeceği, bu anlamda ortaya çıkan alternatif deniz ticaret rotalarının etkinliği önem arz etmektedir. Arktik Bölge'de iklim değişikliğine bağlı gelişen süreçlerin sonucunda, Arktik deniz taşımacılığının uygulanabilirliğinin gün geçtikçe merak uyandırması, güzergâh üzerinde bulunan ülkelerin coğrafi konumlarının yanı sıra ekonomik ve politik konumları sebebiyle hassas bir öneme sahiptir. Bu noktada NSR'nin kullanım artışı ile SCR'nin gelecekteki kullanım sıklığı, konu hakkındaki artan duyarlılıklar göz önüne alındığında çalışmanın ciddi bir farkındalığa sebebiyet vereceği düşünülmektedir. Yaklaşım sonuçları Arktik ve geleneksel (Süveyş) hattın veya oluşturulan diğer senaryoların da elverişliliği ve ekonomikliğine dair bir referans sağlayacaktır.

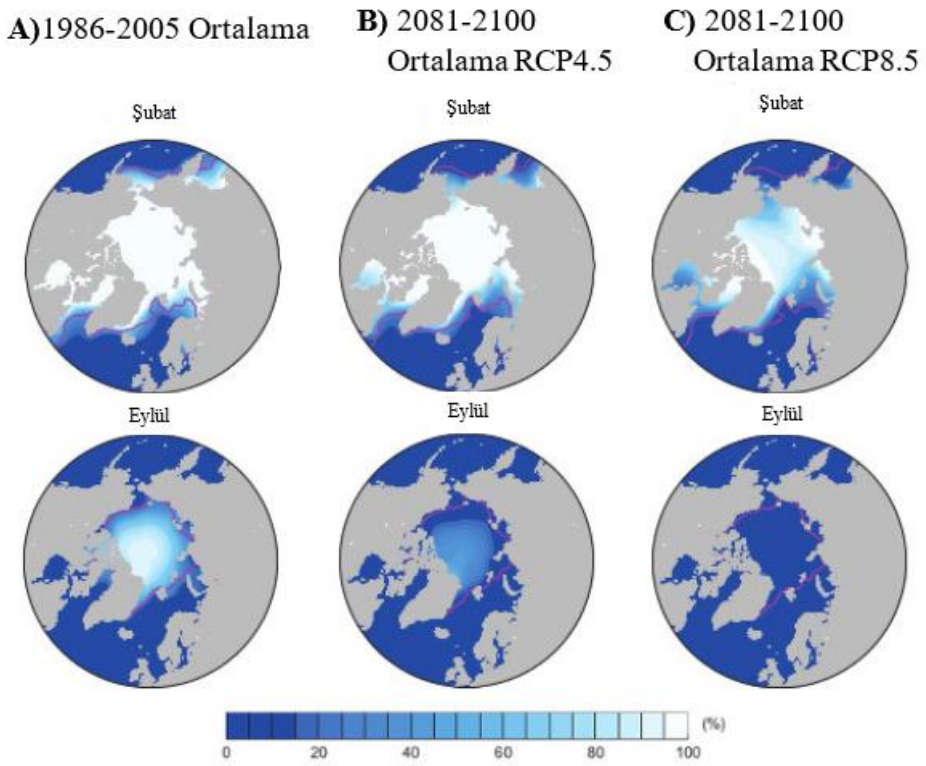
Bu amaçla Arktik deniz taşımacılığında değişiklikleri değerlendirmek için bugünkü durum, yüzyıl sonuna kadar olan iklim değişikliği senaryosu, değişen deniz buzu koşulları, gelecekte oluşacak düşük yakıt maliyeti, NSR'yi kullanan açık su gemileri ve kısmen buzla güçlendirilmiş (PC6) gemiler için Eylül ayı seyrüsefer kabiliyetini ve TSR gibi yeni bir alternatif rotanın kullanımı araştırılmıştır. İklimsel olmayan diğer birçok faktör de Arktik nakliye potansiyelini sınırlasa da bu bulguların bölge için önemli ekonomik, stratejik, çevresel ve yönetişimsel etkileri bulunmaktadır.

1.1. Küresel İklim Değişimi ve Değişen Denizler

IPCC'e göre, iklim değişikliği, onlarca yıl veya daha uzun sürede devam eden, iklimin ya da iklimin değişkenliğinin ortalama durumunda izlenen istatistiksel olarak anlamlı değişiklik olarak tanımlanabilir (IPCC, 2000). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'ne (UNFCCC) göre ise iklim değişikliği, karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen iklimin doğal değişkenliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı bir şekilde atmosferin bileşimini değiştiren insan faaliyetleri nedeniyle iklimde meydana gelen değişim olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC, 1992). İklim değişimi etkisiyle kuraklık, olağandışı hava olaylarının sıklığı, deniz suyu seviyelerinde yükselme ve asit oranlarında artış, buzulların erimesi gibi gözlemlenlenebilir olgular snucunda canlı ekosistemlerin yaşam alanları tehdit altına sokmuştur. Bu değişimin içerisinde ise önemli miktarda insan etkisi olduğu bilinmektedir. IPCC'ye göre antropojenik sera gazı emisyonlarının %56'sı fosil yakıt kullanımı sonucunda ortaya çıkan karbondioksite aittir. Karbondioksitin atmosferik konsantrasyonu son 400.000 yıl içinde milyonda 200-300 parçaya (ppm) yükselmiştir. Özellikle Sanayi Devrimi'nin başlangıcından bu yana antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan CO_2 emisyonları bu konsantrasyonları 397 ppm'e çıkarmıştır (IPCC, 2014).

Çalışmalar, iklim değişikliğinin aşırı etkilerinin en aza indirilmesi için sıcaklıklardaki ortalama artışın maksimum 2°C ile sınırlandırılması gerektiğini göstermektedir. Mevcut ülke politikaları ve uygulamalarıyla bu artışın devam edeceği, CO_2 emisyonlarındaki artış hızıyla paralel 2060 yılında ortalama sıcaklık artışının 4°C'ye ulaşacağı ve bu artışın etkilerinin özellikle gelişmemiş ülkelerde daha çok hissedileceği öngörülmektedir (World Bank, 2019).

Küresel iklim değişikliğinin denizlerin kimyasal, fiziksel, biyolojik özellikleri üzerinde değişikliklere sebep olduğu ve bu duruma bağlı olarak sosyal ve ekonomik sistemler üzerinde ciddi etkileri olduğu görülmektedir (Harley ve diğerleri, 2006). Denizlerde meydana gelen değişiklikler en temel olarak deniz yüzeyi sıcaklıkları, okyanusların ısı içeriği, pH değerleri, çözünmüş oksijen konsantrasyonları, deniz seviyesi ve Kuzey Buz Denizi'nin buzullarının alanı, kalınlık ve hacmi gibi değişkenlere bakılarak değerlendirilmektedir (Garcia-Soto ve diğerleri, 2021). Şekil 1'de verilen haritalar 1986-2005 ve bu çalışmada da kullanılan IPCC RCP (Representative Concentration Pathways-Temsili Konsantrasyon Yolları) iklim senaryolarına göre tahmini 2081-2100 yıllarına göre Şubat ve Eylül aylarına ait ortalama buz yoğunluğunu göstermektedir (IPCC, 2014).



Şekil 1. Verilen haritalar yıllara göre Şubat ve Eylül aylarına ait ortalama buz yoğunluğunu göstermektedir; A) 1986-2005, B) ve C) 2081-2100 (tahmini olarak)

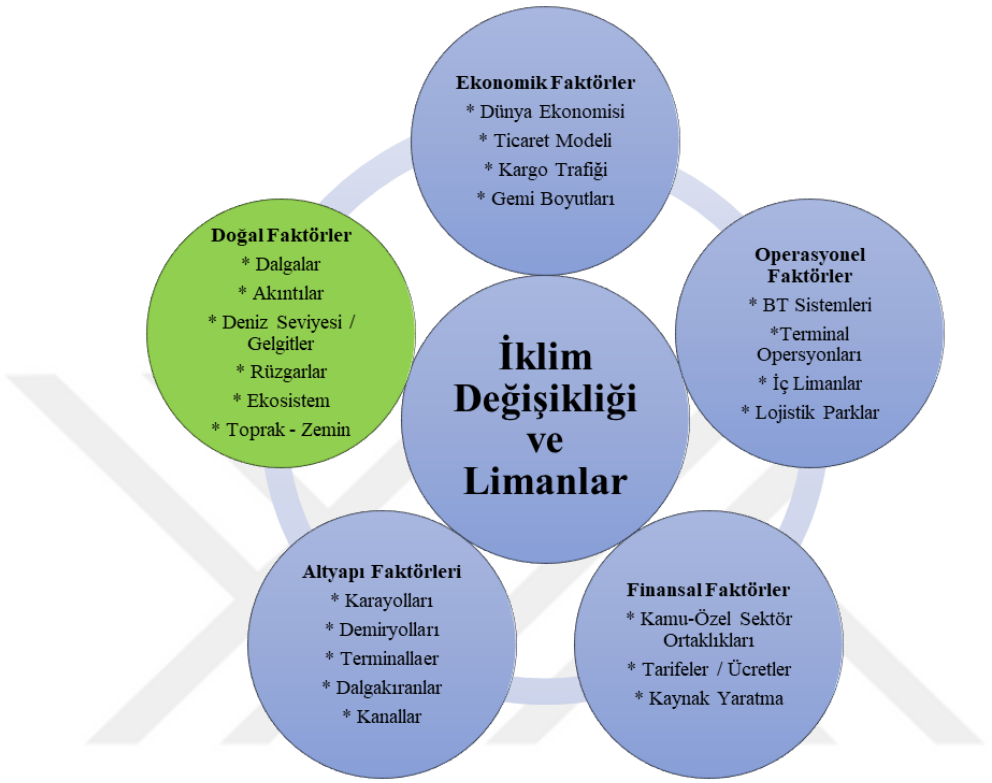
Antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan karbon emisyonları, okyanusların asitlenmesine, ısınmasına ve oksijen kaybına neden olmakla birlikte besin döngüsü ve birincil üretimdeki bazı değişiklikleri de beraberinde getirmektedir (IPCC, 2019). Okyanuslar, atmosferdeki fazla karbondioksiti emerek dünyayı iklim değişikliğinin sebep olduğu kötü etkilerden korumaktadır (Bijma ve diğerleri, 2013). Son 20 yılda antropojenik faaliyetlere bağlı olarak salınan karbondioksitin, okyanuslar tarafından emilim oranının %20-%30 arasında olduğu belirtilmektedir (Kleypas ve diğerleri, 2005; IPCC, 2019). Aşırı miktarda karbondioksit alımı, karbonat kimyasının değişmesine ve deniz suyu pH değerinin düşmesine sebebiyet vermektedir ve bu durum okyanus asitlenmesi olarak adlandırılmaktadır. Küresel yüzey sularının pH değeri sanayi öncesi dönemden bu yana 8,2'den 8,1'e düşmüştür ve bu yüzyılın sonuna kadar 0,3 pH birimi daha düşmesi beklenmektedir (Kroeker ve diğerleri, 2010; Turley ve diğerleri, 2010; IPCC 2022).

Küresel iklim değişikliğinin denizler üzerinde sebep olduğu diğer önemli değişiklik yüzey suyu sıcaklıklarının ve okyanusların ısı içeriğinin değişmesidir. Okyanuslar, atmosferin ışıma özelliklerindeki ve Dünya'nın ısı bütçesindeki antropojenik değişikliklerin doğrudan bir sonucu olarak ısınmaktadır (IPCC, 2019). Atmosferde bulunan sera gazları ısı enerjisinin bir kısmını hapsederek gezegenin ısınmasına yardımcı olur. Ancak sera gazlarının miktarının büyük ölçüde artması nedeniyle, geçtiğimiz yüzyılda küresel hava ve deniz yüzeyi sıcaklıkları artış göstermiştir (Harley ve diğerleri, 2006). Artan sera etkisinden (1971–2010) kaynaklanan ekstra ısının %93'ünü okyanuslar tarafından emilirken, ısınmanın çoğu (%64) okyanusun üst kısımlarında (0-700 m) meydana gelmektedir (Hoegh-Guldberg ve diğerleri, 2014). Küresel okyanus sıcaklığı 1961'den 2003'e kadar olan dönemde, yüzeyden 700 m derinliğe kadar 0,10°C artmıştır (Bindoff ve diğerleri, 2007).

Okyanusların çözünmüş oksijen düzeylerindeki azalma, okyanusların ısınmasının bir sonucudur (IPCC, 2022). Deoksijenasyon olarak adlandırılan çözünmüş oksijen kaybı, oksijenin daha sıcak sularda daha az çözünmesi nedeniyle ve aynı zamanda küresel ısınmanın üst okyanus tabakalaşmasını artırabilmesi ve böylece okyanusun iç kısımlarına oksijen tedarikini azaltabilmesi nedeniyle de oluşabileceği belirtilmektedir (Keeling ve diğerleri, 2010). Yapılan okyanus modelleri, gelecek yüzyılda küresel okyanus oksijen miktarında %1-%7'lik düşüşler ve bu düşüşlerin daha uzun yıllar boyunca devam edeceğini öngörmektedir (Keeling ve diğerleri, 2010). Yapılan araştırmalarla okyanus oksijen konsantrasyonunun 1970–2010 arasında küresel olarak ortalama %0,5–3,3'lük bir düşüşle, oksijen kaybının oluştuğu belirtilmiştir (IPCC, 2022).

İklim sistemindeki doğal ve antropojenik değişikliklerin bir sonucu olarak, kıyı topluluklarını, şehirleri ve alçak adaları tehdit eden zamansal ve mekansal ölçeklerde deniz seviyesi değişiklikleri meydana gelmektedir (IPCC, 2019). Okyanus suyunun ısıl genleşmesi, buzullardan ve buz tabakalarından kütle kaybı gibi durumların meydana gelmesi, okyanustaki su hacminin artmasına ve böylece deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır (Dutton ve diğerleri, 2015). Küresel ısınmaya bağlı olarak, küresel deniz seviyeleri 20. yüzyıl boyunca yükseliş göstermiştir ve bu artışların 21. yüzyıl ve sonrasında hızlanacağı neredeyse kesin olarak görülmektedir (Nicholls ve Cazenave, 2010). Ayrıca deniz seviyesi yükselme hızının 19. yüzyılın ortalarından bu yana, önceki iki bin yıldaki ortalama orandan daha yüksek olduğu

belirtilmektedir (Hoegh-Guldberg ve diğerleri, 2014). Küresel ortalama deniz seviyesi, 1901-2010 yılları arasında ~0,19 m artış göstermiştir (Stocker, 2014).



Şekil 2. Bir limanda kritik sosyo-ekonomik faktörlerin etkileşimi (Inoue, 2013)

Deniz seviyesinin yükselmesi ve buna bağlı kıyı erozyonu ise, suyollarını ve limanların modifikasyon ve adaptasyonunun planlamasını gerektirir. İklim değişikliğinin kolaylıkla okyanus dolaşımını, rüzgar dinamiklerini, fırtına üretimi ve buna bağlı fırtına dalgalanmalarını etkileyebileceği anlaşılmıştır. Buna bağlı olarak Şekil 2, bir limanda kritik sosyo-ekonomik faktörlerin etkileşimini ve Tablo 1 ise iklim değişikliğinin açık deniz, haliç ve iç su yolu limanları üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Tablo 1. İklim değişikliğinin açık deniz, haliç ve iç su yolu limanları üzerindeki etkileri

İklim Değişikliği Faktörü	Açık Deniz, Haliç ve İç Su Yolu Limanları Üzerindeki Etkileri
Deniz seviyesi (ortalama ve aşırı), fırtına dalgalanmalarının/dalgalarının artması, dalga enerjisi ve yönündeki değişiklikler	• Liman altyapısında yıkıcı su rejimi değişikliklerinden kaynaklanan hasarlar • Daha yüksek liman inşaatı/bakım maliyetleri • Liman/iç liman kanallarında tortullaş/taranmaya neden olan gelgitlerin potansiyel modülasyonu ve operasyonel zaman çizelgesi değişiklikleri • Kilit transit noktalara etkiler • Kara yolu/demir yolu bağlantıları için artan riskler • İnsanların/ işletmelerin yer değiştirmesi • Sigorta sorunları
Sıcaklık, daha yüksek ortalama sıcaklıklar, ısı dalgaları ve kuraklıklar, aşırı sıcaklıklarda artan spatiotemporal değişkenlik, Arktik bölgelerde permafrost bozulması ve azalmış arktik buz tabakası	• Altyapı/ekipman/kargo ömrünü kısaltan zararlar, personel sağlık riskinde artışlar, soğutma terminalleri ve daha yüksek enerji tüketimi; haliç limanlarının rekabet edebilirliğini etkileyebilecek iç suyolu seyirleri kısıtlamaları (örnek; Rotterdam limanı); inşaat (tadilat) dönemlerinin uzaması; ulaşım talebindeki değişiklikler • Altyapıdaki büyük hasarlar; limanlara karayolu ve demiryolu bağlantılarını etkileyen kıyı erozyonu • Daha uzun seyir dönemi- NSR; yeni kısa seyir rotaları- NWP/daha az yakıt maliyeti, ancak daha yüksek destek hizmeti maliyeti
Yağış ve Sis, afetlerin yoğunluğu ve sıklığı, taşkınlar ve kuraklıklar, sis yoğunluğu ve süresi artar	• Arazi altyapısı bozulması; kargo/ekipmanın hasar görmesi; iç sularda seyir kısıtlamaları; (örnek; köprüler); liman ekipmanlarındaki problemler (örnek; vinçler); talepteki değişiklikler • Gemi ve terminal operasyonları üzerindeki etki (görüşün bozulması)
Rüzgar, aşırı liman rüzgarları	• Limanda seyir ve yanaşma problemleri, yükleme/boşaltma işleminden kaynaklanan operasyonel aksaklıklar

İklim değişikliğinin kilit göstergelerinden biri ise 1979'dan bu yana Arktik buzul miktarındaki önemli düşüş olmuştur (Thoman ve diğerleri, 2020) En çarpıcı değişiklikler, özellikle yaz sonu ve sonbahar başında Arktik Havzasındaki buz örtüsünün hızla azalmasıyla gerçekleşmektedir. Bu durum, 21. yüzyılın ilk yarısı kadar erken bir sürede, yaz ve sonbahar aylarında Arktik havzasında deniz buzunun oluşma olasılığının düşük olduğunu göstermektedir (Mokhov ve diğerleri, 2016). Arktik deniz buzunun mevsimsel döngüsü, Mart ayında maksimum düzeydeyken, ilkbahar ve yaz boyunca Eylül ayında yıllık minimum düzeye kadar azalmaktadır (Meier ve diğerleri, 2021). Arktik deniz buzu miktarı, son 40 yılda (1979–2020)

yazın (Eylül) her on yılda bir-%13,1 ve kışın (Mart) her on yılda -%2,6 oranında azalmaktadır. Deniz buzu alanı ve deniz buzu kalınlığında gözlenen eğilimler, Arktik deniz buzu hacminin 1979'dan bu yana %75'in üzerinde azaldığını göstermektedir (NSIDC, 2023b).

Küresel iklim değişikliğine bağlı olarak denizlerde gerçekleşen bu değişimler beraberinde ciddi sorunlar meydana getirmektedir. Deniz suyu sıcaklıklarının artması ve çözünmüş oksijen miktarının azalması canlılar üzerinde strese sebep olmaktadır. Bunun sonucu olarak bu duruma adaptasyon sağlayamayan canlılar ölebilir ya da uygun koşulların bulunduğu alanlara göç etmek zorunda kalırlar (Sağlam ve diğerleri, 2008). Okyanus asitlenmesindeki artışa bağlı olarak kabuk oluşturarak yaşayan canlılar, kabuk inşa etmek için yaşadıkları ortamda ham madde bulmakta zorlanmaktadırlar (DeWeerdt, 2017). Ayrıca bu değişimler deniz birincil üreticileri, deniz memelileri ve deniz kuşları gibi birçok canlıyı etkilemektedir ve organizmaların fizyolojik işleyişini, davranışlarını değiştirerek, popülasyonların yapısında ve mevsimsel bolluğunda kaymalara yol açabilir (Doney ve diğerleri, 2012). Pirotta (2018) Kuzey Kutbu'ndaki Beluga gibi bazı hassa deniz canlılarının gemi trafiğine maruz kalması deniz ekosistemi olumsuz etkiyecektir. Arktik deniz buzlarındaki azalma foklar ve kutup ayıları gibi canlıların biyolojik habitatlarını tehdit etmekte ve balıkçılık faaliyetlerini de etkilemektedir (Demir, 2009).

Deniz seviyesinde yükselmenin etkileri; alçak kıyı alanlarında şiddetlenen su baskını ve taşkınları, kıyı erozyonunda artış, nehir kanalları boyunca tortu birikimindeki değişiklikler ve bu temel etkilere bağlı olarak gelişen çevre ve insanlara olan etkiler olarak sıralanmaktadır (Mimura, 2013). ABD'de, deniz seviyesinin 1,2 m yükselmesi, mevcut liman tesislerinin %70'ini, 2400 mil bağlantı yolunu, demiryolu hatlarının %9'undan fazlasını ve 3 havaalanını kalıcı olarak su basması anlamına gelir (Karl ve diğerleri, 2009).

Öte yandan, Arktik deniz buzunda gerçekleşen bu kayıp, Kuzey Buz Denizi ulaşım sisteminin potansiyel gelişimi nedeniyle büyük önem taşımaktadır ve Arktik deniz yolunun Avrupa ile Asya arasındaki geçiş sürelerini büyük ölçüde azaltacak olan küresel ticaret bağlantıları için fırsatlar yaratmaktadır (Ho, 2011; Melia ve diğerleri, 2017).

1.2. Arktik Bölge ve Arktik Okyanusu

Arktik Bölge, Kuzey Kutbu veya Arktik Dairesi olarak bilinmekte olan okyanus ve kara parçalarını kapsayan 66° 33' kuzey enlemlerinde kalan temsili dairedir. Bu bölgede yer alan Arktik Okyanusu'na beş ülkenin kıyısı bulunmaktadır; Kanada, Norveç, Rusya, Alaska ve Grönland.

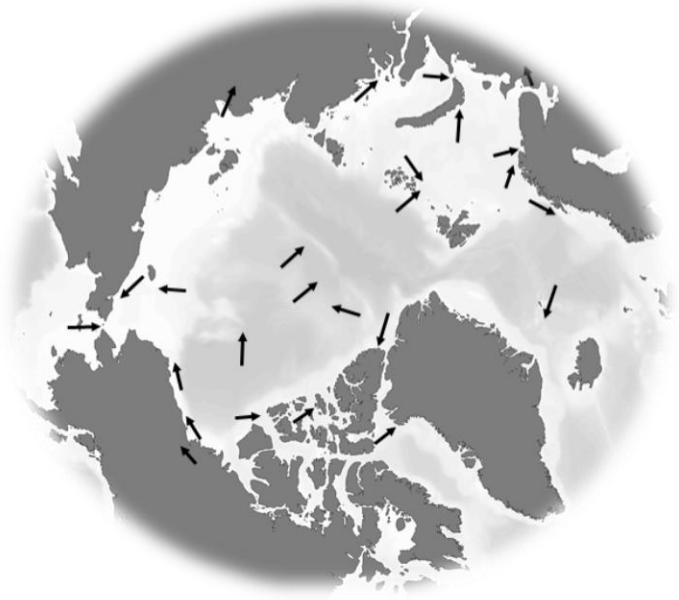
Arktik Okyanusu, kendisi ile ilişkili marjinal denizlerle (Çukçi, Doğu Sibirya, Laptev, Kara, Barents, Beyaz, Grönland ve Beaufort ve ayrıca bazı oşinograflara göre Bering ve Norveç) birlikte, dünyanın en küçük okyanus alanını oluşturmaktadır (Carroll ve Carroll, 2020) (Şekil 3). Arktik Okyanusu, 5 440 000 mil^2 (14 090 000 km^2) bir alanı kaplamaktadır ve büyük bir deniz olan Akdeniz'den sadece beş kat daha büyüktür (Ostenso, 2023).



Şekil 3. Arktik Okyanusu ve ilişkili denizler

1.2.1. Arktik Bölge'de hava durumu ve iklim koşulları

Kuzey kutbu onu etkileyen özel faktörler nedeniyle hava ve iklim açısından çok hassas bir yerdir. Bölgedeki hava koşulları, günden güne ve bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Bu özel faktörlerden biri olan güneş ışığı, kışın çok az veya neredeyse hiç olmayan güneş enerjisi yazın ise günün her saati ısı ve enerji sağlamaktadır (NSIDC, 2023). Bölgede altı ay gündüz ve altı ay gece yaşanmaktadır ve sıcaklık kışları -40°C civarında iken yazları 10°C'nin altında kalmaktadır. Bölgede okyanus yakınında deniz iklimi hakimken, Alaska kıyılarında, İzlanda, kuzey Rusya ve İskandinavya ile birlikte kışlar fırtınalı ve yağışlı geçmektedir ve ek olarak her yıl 60 cm ile 125 cm ulaşan kar ve yağış görülmektedir (NSIDC, 2023). Kuzey Kutbu'ndaki rüzgârlara bakıldığı zaman, düşük atmosferik basınç ve yüksek siklonik aktiviteye sahip bölgelerde (Atlantik, Baffin Körfezi ve Pasifik bölgeleri) Ocak ayındaki ortalama rüzgar hızı 6 m/s ile 10 m/s değişiklik göstermektedir. Yüksek atmosferik basınca ve yüksek antisiklonik aktiviteye sahip bölgelerde ise (neredeyse Arktik Okyanusu'nun tamamı ve Kanada bölgesinin kuzey ve batı kesimleri) en düşük rüzgâr hızlarına yani 4-6 m/s sahiptir. Kuzey Kutbu'nun merkezinde gözlemlenen en yüksek rüzgâr hızları nadiren 25 m/s'yi aşmaktadır.



Şekil 4. Yaz aylarında Arktik Havzasında hakim rüzgar yönleri (Bilello, 1973'ten uyarlanmıştır)

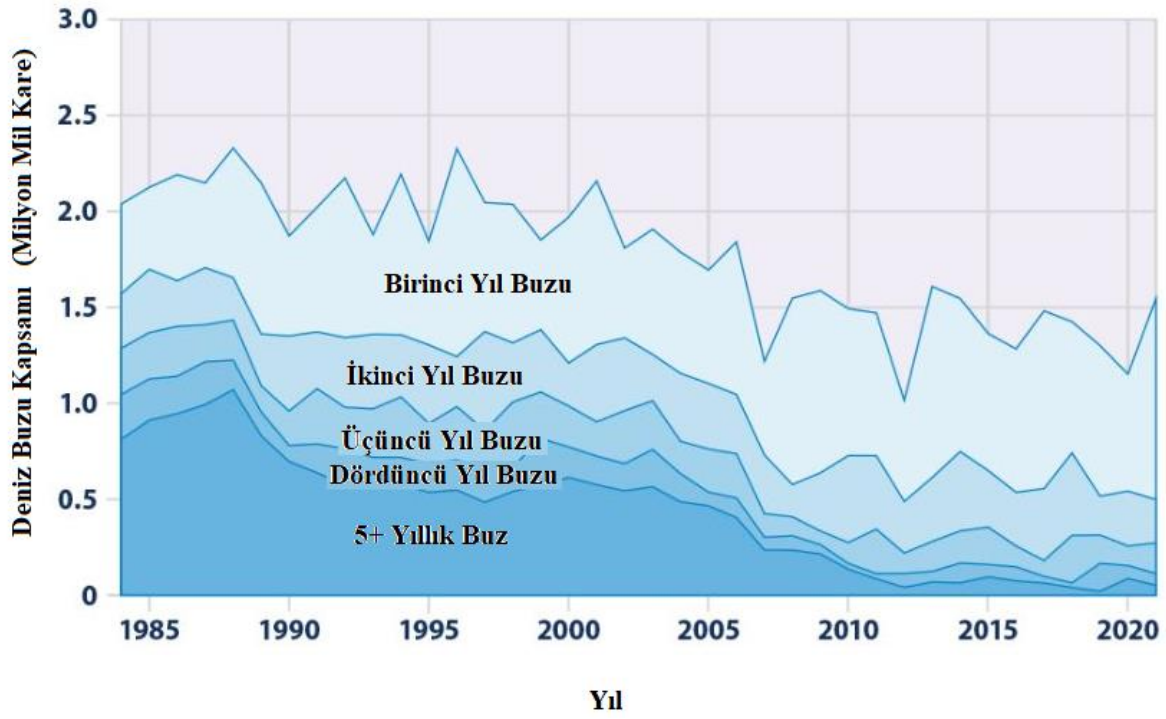
Kuzey Kutbu'nun en rüzgârlı kısmında (yani Atlantik bölgesinde) maksimum rüzgâr hızları iki kat daha güçlüdür ve hız değeri 50 m/s'ye kadar ulaşmaktadır. Bu fırtına rüzgârları muhtemelen şiddetli hareket eden siklonlarla veya "kutup alçakları" gibi orta ölçekli fenomenlerle bağlantılıdır. Batı Kuzey Kutbu'nda, ortalama rüzgâr hızları nadiren 6 m/s'yi aşmaktadır. Daha yüksek hızlar yalnızca Kanada bölgesinin güney kesiminde ve Baffin Körfezi bölgesinde kaydedilmiştir. Kışın olduğu gibi, en güçlü rüzgârlar Atlantik bölgesinin güney kesiminde meydana gelmektedir. Barents Denizi'nin kuzey kesiminde güneybatı ve batı rüzgarları daha doğuda ise, Rus Kuzey Kutbu'nun çoğu yerinde kuzey ve doğu rüzgarları hakimdir (Przybylak, 2022). Liu ve diğerleri (2016), yaz sezonunda (Ağustos-Eylül) Arktik Okyanusu'ndaki okyanus rüzgarlarının klimatolojisini ve eğilimlerini incelemek için yirmi yıllık (1996–2015) uydu gözlem verilerini kullanmışlardır. Yapılan bu çalışmada, Kuzey kutbu boyunca genel ortalama rüzgar hızının 8 m/s olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca Doğu Sibirya Denizi ve Baffin Körfezi üzerindeki rüzgarların hızının yaklaşık 7,0 m/s olduğu belirtilirken, Chukchi Denizi, Beaufort Denizi ve Laptev Denizi'nin güneydoğu bölgesinde biraz daha güçlü rüzgarların (8 m/s) görüldüğü bildirilmiştir.

1.2.2. Deniz buzları

Deniz buzu iklim sisteminin temel taşlarından biri olan ve deniz/okyanus sularının donma noktasına geldiğinde oluşan bir yapı olarak ifade edilmektedir. Deniz buzları, dünyanın %7'si kadarını kapsamaktadır (çoğunluğu arktik ve antarktika bölgelerinde yer almaktadır) (Özsoy ve diğerleri, 2017). Kutup okyanuslarında için özel bir yapıda olan deniz buzları, Antarktika'da Arktik'e göre daha fazladır (arktik'te yaklaşık olarak $7x10^6$ km^2, antarktika'da ise $16x10^6$ km^2 alanda oluşmaktadır) (Gradinger ve Ikavalko, 1998). Deniz buzu terminolojisine göre Arktik'te deniz buzu gelişiminin dört aşaması şu şekildedir Şekil 5'te görüldüğü gibi; yeni buz (new ice), nilas, genç buz (young ice) ve ince birinci yıl buzu (thin first-year ice) bunlara ek bir de eski (yıllanmış) buz (old ice) çeşidi vardır (Różańska ve diğerleri, 2008; NSIDC, 2023a).

Yeni buz, su üzerindeyken belirli bir şekle sahip ve zayıf ancak birarada donmuş bir şekilde buz kristallerinden oluşan buz çeşididir. Yeni buz, görünümüne bağlı olarak şu sınıfları içermektedir; frazil buzu, gres buzu, shuga buzu ve slush buzu (Markham, 1986, Różańska ve diğerleri, 2008). Deniz suyu donmaya başladığında, sadece mm genişliğinde frazil adı verilen küçük kristaller oluşturmaktadır. Kristallerin daha büyük buz kütlelerinde birleşmesi, denizlerin

sakin veya dalgalı olmasına bağlıdır. Sakin denizlerde, kristaller ince buz tabakaları oluştururlar, o kadar pürüzsüzdürler ki yağlı veya gresli bir görünüme sahiptirler (Scott ve diğerleri, 2016). Nilas, elastik bir yapıya sahip olan 10 cm kalınlığa kadar ulaşabilen ince dalgalar ile kolayca bükülen bir türdür. Genç buz ise kalınlığı 10-30 cm aralığında değişen, nilas buzu ile birinci yıl buzu arasında bir geçiş haline denk gelmektedir. Birinci yıl buzu ise, genç buzun dönüşmesiyle meydana gelen bir kış büyümesinden fazla olmayan 30 cm veya daha kalın olan buz tipidir (Różańska ve diğerleri, 2008). Kalınlığı 3 metreye varan veya daha fazla olan deniz buzları eski buz olarak tanımlanmaktadır. Eski buz neredeyse tuzsuzdur; eski buzda kar olmadığında mavi renktedir (NSIDC, 2023a).

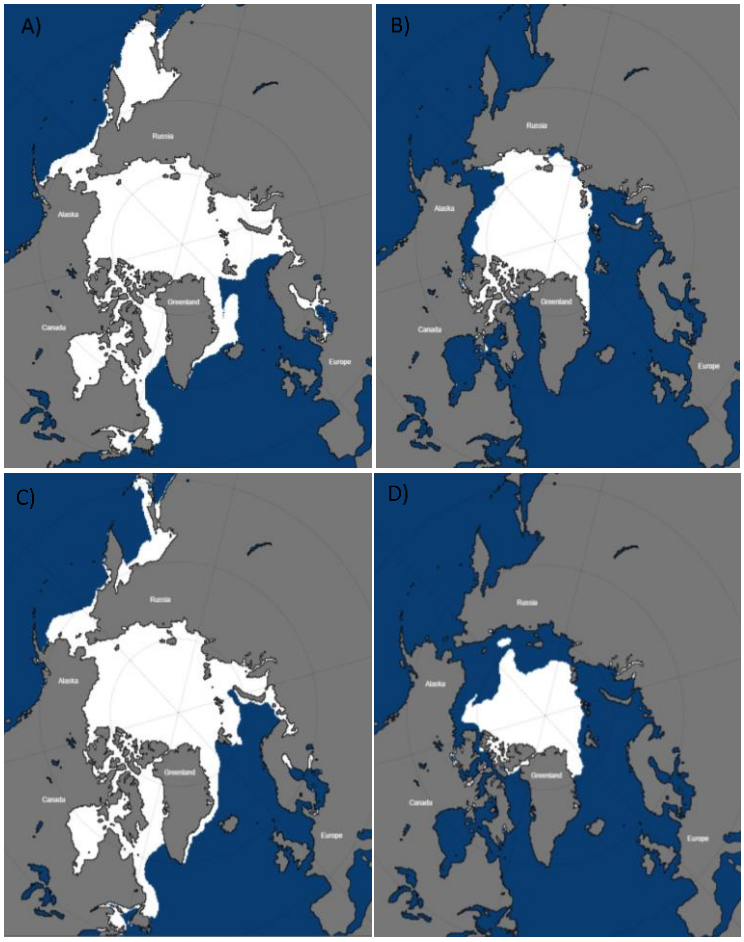


Şekil 5. Yıllara göre minimum Eylül Arktik Deniz Buzunun yaşı (EPA, 2022'den uyarlanmıştır)

Öte yandan arktik denizinde yüzen buzlar da yer almaktadır. Arktik okyanusunda sürüklenen çok yıllı buz genellikle 2-4 m kalınlığındadır (Vinje ve Kvambekk, 1991). Kışın gerçekleştirilen gemicilik faaliyetleri için deniz buzu engel oluşturmaktadır. Ayrıca buzun sürüklenmesi yolları açar ya da kapatır ve buzla kaplı bir denizde navigasyonda kilit noktalar

olan basınç bölgelerini oluşturmaktadır. Ek olarak tümsekler ve deniz buzu sırtları buz hacminin ve gücünün yerel olarak birikmesine neden olarak denizcilik operasyonlarında ve inşaatlarda büyük sorunlara neden olmaktadır (Leppäranta, 2011).

Arktik buzları oldukça önemlidir, deniz buzu açık renkli olduğu için, sudan daha fazla güneş ışığını (güneş enerjisi) uzaya geri yansıtır, böylece Dünya'nın enerji dengesinin korunmasında ve kutup bölgelerinin serin tutulmasında rol oynamaktadır (EPA, 2016). Arktik deniz buzunun hacmi ve kapsamı hızla azalmaktadır. Yapılan araştırmalar, Arktik Okyanusu'nun 2040 yılına kadar veya daha önce mevsimlere bağlı olarak buzsuz hale gelebileceğini tahmin etmektedir (Polyak ve diğerleri, 2010).

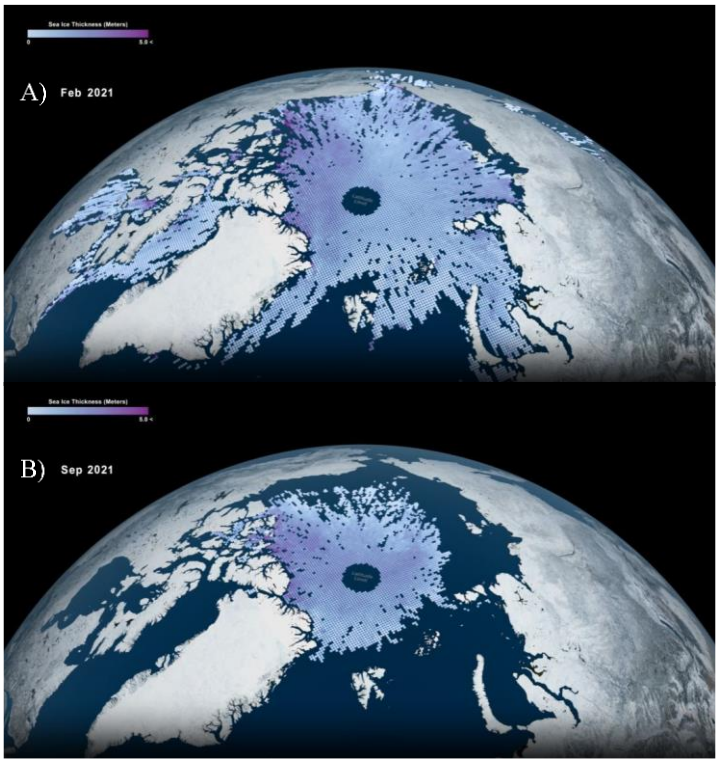


Şekil 6. A) 1979 Mart, B) 1979 Eylül, C) 2022 Mart, D) 2022 Eylül aylarına ait buz kapsamları (NSIDC, 2023b)

Arktik deniz buzu miktarı, kırk yılda (1979–2020) yazın (Eylül) her on yılda %-13,1 ve kışın (Mart) her on yılda %-2,6 oranında azalmaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi deniz buzu kapsamı ve deniz buzu kalınlığının birleşik eğilimleri, Arktik Deniz Buzunun hacminin 1979'dan bu yana %75 oranında azaldığını göstermektedir (NSIDC, 2023b).

Arktik buzul örtüsü değerlendirilirken bazı kavramlar kullanılmaktadır bunlar; buz kapsamı (ice extent), buz kalınlığı (ice thickness) ve buz hacmidir (ice volume). Deniz buzu kapsamı, yüzeyin en az %15'inin donmuş olduğu okyanus alanı olarak tanımlanmaktadır (Serreze ve diğerleri, 2003).

Deniz buzu kalınlığını ölçmek, okyanus yüzeyini ne kadar deniz buzu kapladığını ölçmekten daha zordur. Günümüzdeki hiçbir teknoloji, geniş bir alanda deniz buzu kalınlığını doğrudan ve sürekli olarak ölçmesine olanak sağlamamaktadır. Bunun yerine, uzaktan algılama sistemleri ve modeller gibi deniz buzu kalınlığını tahmin etmek için birden fazla yaklaşım kullanılmaktadır. (Scott, 2022).



Şekil 7. Aylık ortalama deniz buzu kalınlığı verileriyle Arktik Okyanusu'nun görünümü A) Şubat 2021; B) Eylül 2021. (Düşük değerler açık mavi, daha yüksek değerler magenta ile gösterilmiştir) (ICESat-2, 2023)

ICESat-2 görevi, çeşitli konumlardaki farklı donmuş su biçimlerini araştırmak için tasarlanmıştır. Bu uydu araştırmacılara; buzullar, deniz buzu, ormanlar ve daha birçok coğrafi obje dahil olmak üzere arazi değişikliklerini tam olarak takip edebilen verileri toplayarak, Dünya'nın 3. boyutunun küresel bir portresini oluşturan yükseklik ölçümleri sağlamaktadır (ICESat-2, 2023). Şekil 7'de Aylık ortalama deniz buzu kalınlığı verileriyle Arktik Okyanusu'nun görünümüne yer verilmektedir. Buna göre uydular, 1979'dan bu yana tüm aylar boyunca Arktik deniz buzu kapsamında bir düşüş gözlemlemişlerdir. Ancak, Arktik deniz buzu örtüsündeki değişikliklerin küresel hava ve iklimimizi nasıl etkilediğini tam olarak anlamak için, kalınlık dağılımının uzun vadeli ve doğru gözlemleri de gereklidir (Tilling ve diğerleri, 2018).

1.4. Değişen Deniz Ticareti ve Yeni Deniz Ticaret Rotaları

Geçmişten günümüze denizcilik faaliyetleri medeniyetlerin oluşup gelişmesinde önemli bir role sahip olmuştur. Bu bağlamda, önemli yerleşim yerleri deniz kıyılarına kurulmuş ve güçlü filolara sahip ülkelerin kalkınması bu sayede olmuştur. Deniz ticareti yarattığı iktisadi çekim alanı ile bulunduğu bölgenin demografik yapısı, alt yapı ve sanayileşme ve dolayısıyla yerel kaynakların azalması ve ikinci bir itici güç olarak yeniden kaynak arayışı gibi faktörlerle döngüsel olarak sürekli büyüyen bir sektördür (Christiansen ve diğerleri, 2007).

Dünya deniz taşımacılığında geleneksel rotaları üç grupta incelemek mümkündür (Stopford, 2008). Bu üç grup ve dünya deniz ticaretinden aldıkları paylar aşağıda belirtilmiştir;

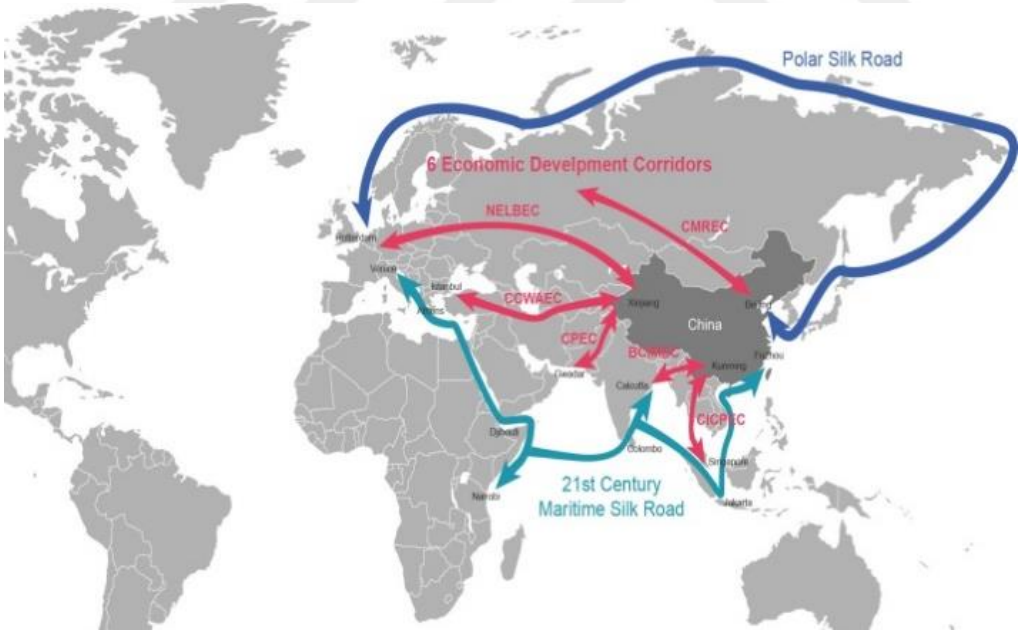
- Doğu–Batı Ekseni (The East West Trades 44%)
- Kuzey–Güney Ekseni (North South Trades 22%)
- Bölgesel (Intra regional 34%)

Süveyş kanalını kullanan rotalar ise doğu-batı ekseninin odağındadır ve aynı zamanda kuzey-güney ticaretinde de önemli bir rolü bulunmaktadır. Süveyş Kanalı, Kıta Afrikası'nı (Ümit Burnu) dolaşmaya gerek kalmadan Asya ile Avrupa arasında deniz taşımacılığı yapılmasını sağlayan, dünyanın en önemli su yolları arasındadır. Kanal, Akdeniz'i Süveyş kıstağı üzerinden Kızıldeniz'e bağlayan yapay bir su yoludur ve dünyanın eklüz olmayan en uzun kanalıdır (Tadini, 2019). Kanal, Atlantik Okyanusu'ndan Hint Okyanusu'na en hızlı geçiş yolu olduğu için modern gemiler tarafından yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kanal, Port

Said limanı ile Süveyş Körfezi arasında yer alan ülke sınırlarından. Süveyş Kanalı deniz seviyesinde bir kanaldır ve aşırı gelgit oluşumu aralığı kuzeyde 65 cm ve güneyde 1,9 m'ye kadar su seviyesini değiştirmektedir (Süveyş Kanalı İdaresi, 2019).

Geleneksel rotaların göz bebeği olan kanalın, yakın zamanda ortaya çıkan coğrafi değişimlerle güçlü alternatifleri oluşmuştur. Elbette ki 2021 Mart ayında yaşanan ve Kanalın günlerce tıkalı kalmasını sebep olan EverGreen gemi kazası, SCR (Süveyş Kanalı Rotası)'ye alternatif rotaların gerekliliğinin açıklanmasında güçlü bir referans olarak tarihteki yerini almıştır. Tıkanıklığın dünya ticaretine olan zararının 100 milyar $'ı bulmuştur (Ha ve diğerleri., 2021).

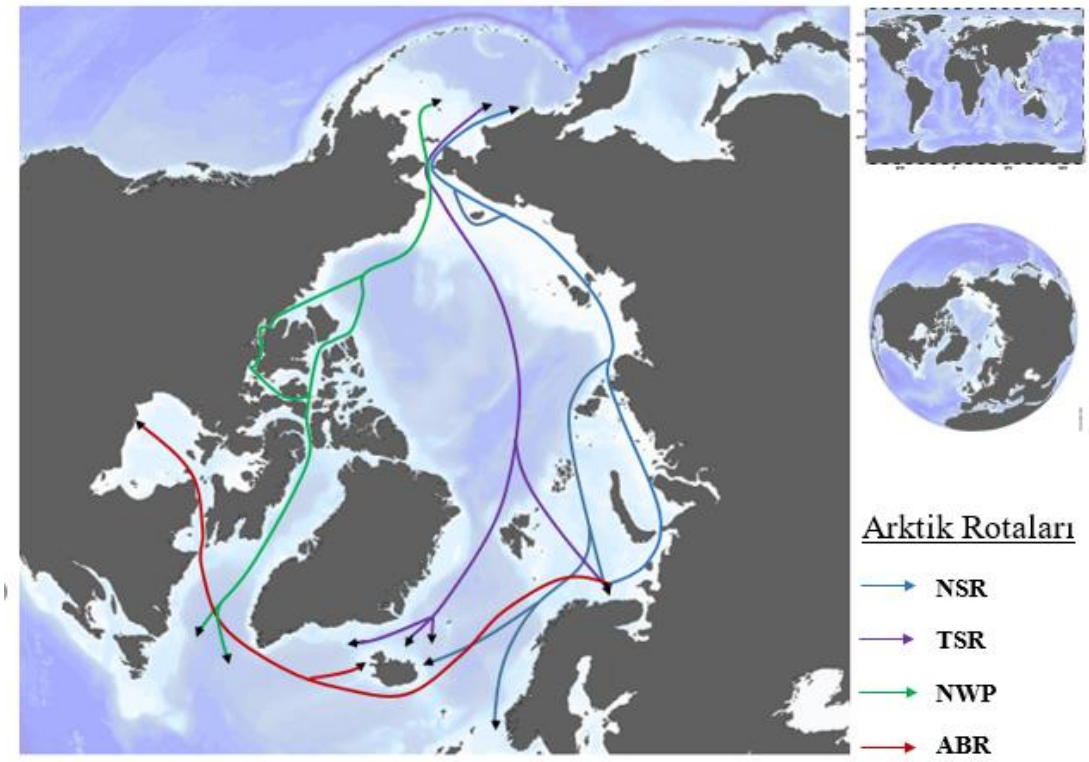
Şekil 8'de görüldüğü gibi alternatif rotalardan biri tarihi ipek yolunun canlandırıldığı, Bir Kuşak bir Yol Projesi'dir. Projenin özellikle kara güzergahı İpek Yolu Ekonomi Kuşağı; 6 koridor ile Çin'den, Avrupa'ya ulaşacak şekilde demiryolu bağlantıları oluşturulmasını ve bölge ülkeleri ile ticareti artırıcı anlaşmaların hayata geçirilmesini içermektedir (Li ve diğerleri, 2015).



Şekil 8. Kuşak ve Yol Girişim Koridorları (Ibold, 2018)

Alternatif rotalardan diğeri ise iklim değişikliğinin bir sonucu olarak bu çalışmanında öznesi olan Arktik Bölge yeni deniz ticaret rotalarıdır. Kuzey Kutbu'ndaki deniz buzu kaybı, ekonomik ve enerji açısından daha verimli bir ulaşım için yeni olanaklar sunmuştur. Bunun yanında ısınma ve buz tabakalarının yüksek oranda tahrip olması, deniz ticaret hatlarında deniz buzu tehlikesinin artmasına da neden olacaktır. Fakat daha önce ulaşılamayan yerlere ulaşım olanaklarının ortaya çıkması denizyolu taşımacılığına imkan vererek bölgeye olumlu katkı sağlayabilecektir. Şekil 9'da görüldüğü gibi bölgedeki oluşan belli başlı rotalar:

- Kuzeydoğu Geçidi (NEP - the Northeast Passage),
- Kuzey Denizi Rotası (NSR - the Northern Sea Route),
- Kuzeybatı Geçidi (NWP - the Northwest Passage),
- Transpolar Denizyolu (TSR - the Transpolar Sea Route),
- Arktik Köprüsü (Arctic Bridge).



Şekil 9. Arktik Rotaları (Arctic Institute, 2016'dan uyarlanmıştır).

Kuzeydoğu Geçidi-NEP: Asya ve Avrupa'yı Çukçi Denizi, Doğu Sibirya Denizi, Laptev Denizi, Kara Denizi ve Barents Denizi aracılığıyla birbirine bağlayan rota, Avrupa'dan Asya'ya giden geleneksel rotalara kıyasla NEP üzerinden seyahat edilerek yaklaşık %40 kısalabilir (Liu ve Kronbak, 2010). Ayrıca, zengin kaynaklara sahip Yamal Yarımadası Kara Denizi'nde yer almaktadır ve bölgeye NEP üzerinden erişilebilmektedir. Bu nedenle NEP'in, kaynak kullanımı ve kıtalar arası taşımacılıkta giderek daha önemli bir role sahip olacağı belirtilmektedir (Yu ve diğerleri, 2021).

Kuzey Deniz Rotası-NSR: Novaya Zemlya'dan Bering Boğazı'na kadar uzanan bir nakliye rotasıdır. Rotanın tamamı Arktik sularında ve Rusya'nın MEB'inde (Münhasır Ekonomik Bölge) bulunmaktadır. NEP tüm Doğu Arktik denizlerini kapsayarak, Atlantik ve Pasifik okyanuslarını birbirine bağlarken, NSR Barents Denizi'ni kapsamaz ve Atlantik'e ulaşmaz (Stephenson ve diğerleri, 2014). Kuzeydoğu Geçidi'nin kilit bölümü olan NSR, giderek artan uluslararası ilgiyi üzerine çekmektedir. Azalan buzul örtüsü ve Rusya'nın deniz trafiğini arttırmaya yönelik teşviklerinin birleşmesi ile nakliye şirketlerine Pasifik ve Atlantik arasındaki geçiş seferlerinde ve ayrıca Kuzey Kutbu'ndan dünya pazarlarına kaynak taşınmasında fırsatlar yaratmaktadır (Gunnarsson ve Moe, 2021).

Kuzeybatı Geçidi-NWP: Atlantik ve Pasifik okyanusları arasında Arktik Okyanusu, Kuzey Amerika'nın kuzey sahili ve Kanada Arktik Takımadaları boyunca uzanan deniz yoludur. Takımadalar birbirlerinden ve Kanada anakarasından, Kuzeybatı Geçitleri (Northwest ya da Northwestern Passages) olarak bilinen bir dizi Arktik suyolu ile ayrılır (Ostreng ve diğerleri, 2013). NWP üç bölümden oluşmaktadır; Doğu bölümü, (Baffin Adası'nın Doğusu, Baffin Adası'nın Batısı), Merkez bölümü (Kanada Arktik Takımadaları: Kuzey, Güney) ve Batı bölümü.

Transpolar Denizyolu-TSR: hızla eriyen Arktik deniz buzu önümüzdeki on yıllarda bölgeyi erişilmesi zor donmuş bir çölden mevsimsel olarak gezilebilme imkanı sağlayan bir okyanusa dönüştürebileceğini göstermektedir (Humpert ve Raspotnik, 2012). Atlantik ve Pasifik Okyanuslarını Kuzey Kutbu üzerinden birbirine bağlayan Transpolar Denizyolu, Arktik için en doğrudan rotayı temsil etmektedir (yaklaşık 2100 deniz mili (nm) uzunluğuyla Kuzey Kutbu'ndaki üç nakliye rotasının en kısasıdır) (Bennette ve diğerleri, 2020). Bu rota, Atlantik Okyanusu'ndan Arktik Okyanusu'nun merkezi boyunca Pasifik Okyanusu'na uzanan bir Arktik

nakliye rotasıdır. Aynı zamanda Trans-Arktik Rotası olarak da adlandırılır. TSR, Kuzey Kutbu kıyı devletlerinin MEB'lerinin dışından geçmektedir.

Arktik Köprüsü (AB): Rusya'yı Kanada'ya, bağlayan yaklaşık 3600 deniz mili uzunluğundaki mevsimlik bir deniz yoludur (Kitagawa, 2008; Ostreng ve diğerleri, 2013). Bahsi geçen rotaların tamamını Şekil 9'da görmek mümkündür.

Bu rotalardan, küresel ticaretin ağırlıkta olduğu doğu-batı aksında, en önemlileri Kuzeydoğu Geçidi (NEP) ve Kuzeybatı Geçidi (NWP)'dir. Dünyada deniz taşımacılığında geleneksel rota dağılımları Doğu-Batı ekseninin %44 pay aldığı düşünüldüğünde Arktik rotaların bu hattan ciddi bir oranda rol çalması söz konusudur.

Bu bölge Kuzey yarımkürede, Kuzey Amerika, Avrupa ve Doğu Asya'da üç sanayileşmiş alan arasındaki mesafeyi önemli ölçüde azaltabilme potansiyeli taşımaktadır. 1979'dan beri her yıl ortalama %1,2 oranında azalan (NSIDC, 2018) Kuzey Kutbu'nun minimum deniz buzu tabakası, 2009 yılına gelindiğinde bölgede ilk uluslararası taşımacılığın başlamasına imkân vermiştir. Bölge özellikle Eylül ayında, Kuzey Kutup deniz taşımacılığını olanaklı kılacak şekilde defalarca buzsuz kalmıştır. Gemi sayısı ve tonaj bakımında her yıl bir önceki yıla nazaran yeni bir rekor elde edilmiş ve Arktik Ekonomik Konseyi, taşınan kargo hacimlerinin 2025 yılına kadar 100 milyon tona kadar çıkacağını belirtmiştir (AEC, 2019). Peters ve diğerleri (2011), yaptıkları araştırmada NSR'nin 2030'da Asya ve Avrupa arasındaki toplam konteyner ticaretinin yaklaşık %8'i, 2050'de Asya ile Avrupa arasındaki tüm konteyner trafiğinin yaklaşık %10'u için kullanılacağı belirtmiştir. En önemli nakliye hatları ve yükler; Kuzeybatı Rusya ve Kuzey Norveç'ten Doğu Asya'ya kadar petrol ve LNG, Rusya'dan Çin'e demir cevheri ve Güney Kore'den Kuzey Avrupa'ya taşınan petrol ürünleridir. Altın, gümüş, petrol, doğal gaz, kurşun, elmas, çinko gibi bölgenin yeraltı zenginlikleri Kuzey Kutbu'na kıyısı olan ülkeler için son derecede önemli bir gelir kaynağı niteliği taşımaktadır. Rusya'nın Sibirya'daki kömür, petrol ve doğalgaz yatakları; enerji karşılığı olarak dünya rezervlerinin %30'unu teşkil etmektedir (Marceau, 2010). Kanada, Kuzey Kutup dairesine yakın toprakları sayesinde uranyum ihracatında dünya birincisi, doğal gazda ise ikinci, Kuzey Adalarındaki elmas rezervleri ise dünya rezervlerinin %15'i kadardır (CGC, 2023). ABD'nin Alaska'daki, şu an karadaki petrol rezervleri 10.4 milyar varildir (Gvyc, 1988). Bu nedenle eriyen buzların boşaltacağı açık denizde petrol aramak, çıkarmak ve boru hattı döşemek çok daha ekonomik

olacaktır. Haliyle bu bölgelerin ısınması yeraltı zenginliklerinin işletme maliyetlerini düşürmektedir.

Kuzey Deniz'i üzerinden taşınan tonajın genellikle sıvı ve dökme yükler olduğu ve yük çeşitliliğin sınırlı olduğu görülebilmektedir. Bunun bir nedeni, düzenli hat taşımacılığına ait olan konteyner taşımacılığının Kuzey Kutup sularında çok çeşitli deniz ve buz koşullarına maruz kalacak olmasıdır. Ayrıca buz tabakalarının yüksek oranda tahrip olması, deniz ticaret hatlarında deniz buzu tehlikesinin artmasına ve buzkıran gemilerinin kullanılması durumunda ciddi gemi işletme maliyetlerine neden olmaktadır. Ancak uzun vadede Arktik deniz buzunun daha da azalmasıyla birlikte, bölgede konteyner taşımacılığı da ekonomik olarak daha uygulanabilir hale gelebilecektir. Çünkü bu rota deniz yolunun en önemli ticaret bölgelerinden biri olan Doğu Asya ve Kuzeybatı Avrupa arasındaki mesafeyi önemli ölçüde kısaltmaktadır. NSR, Kuzey Avrupa'dan Doğu Asya'ya (veya tersi) seyir eden gemiler için Süveyş Kanalı ve Malakka Boğazı üzerinden yapılan seyire oranla yaklaşık % 40 daha kısadır (Bird ve diğerleri, 2008). Şu anda çevresel ve politik nedenlerle birtakım engellerle karşı karşıya olan Arktik rotalarının gelecekte düzenli geçişe imkân vermesi hususu, yalnızca iklim değişikliği ile değil, mevcut Süveyş Kanal rotasındaki yoğun trafik nedeniyle de hızlanabilecektir.

Özellikle NSR rotasının işlevleşmesi için Rusya'nın yaptığı alt yapı yatırımları ve deniz hizmetleri, Çin'in bölgeye olan yoğun ilgisi ve son 15 yılda artan ikili işbirlikleri net olarak gözlemlenmektedir (Bennett, 2014). NSR'yi rekabetçi bir rotaya dönüştürmenin zorluklarından biri, gemilerin genellikle bir sefer sırasında birden fazla limana uğrama isteğidir. Literatürde, kuzey rotalarının etkinliğini inceleyen çalışmalarda özellikle Asya - Avrupa hatları arasında sefer yapan gemilerin geleneksel SCR ile yeni NSR rotasının kıyaslanmasına sıklıkla rastlanmaktadır (Liu ve Kronbak, 2010; Omre, 2012; Lasserre, 2014; Xu ve diğerleri, 2018). Çünkü arktik rotalarının dünya denizyolu taşımacılığından aldığı pay arttıkça SCR dolayısıyla Akdeniz ticareti o oranda etkilenecektir. Süveyş (kızıl deniz), Akdeniz ticaret aksının en önemli noktasıdır ve Uzak Doğu orijinli yüklerin Ortadoğu, Rusya, Kuzey Afrika ve Avrupa'ya açılan kapısıdır. Bu nedenle SCR üzerinden geçen gemi sayısına, 2009 yılından bu yana artarak devam eden Arktik bölge taşımacılığına yapacağı etki büyük bir ilgiyle takip edilmektedir.

Blunden (2012) "Jeopolitik ve Kuzey Denizi Rotası" adlı bu konudaki öncül çalışması ile iklim değişikliği ile beraber Kuzey Denizi'nin artan jeopolitik önemine değinerek,

güzergahın Rusya limanlarından hammadde ihracatı için önemini ve Rus hükümetinin rotanın geliştirilmesi için iddialı planlarından bahsetmiştir.

Omre (2012), Kuzey Denizi Rotasını ilk modelleyen ve Süveyş Kanalı Rotası ile alternatiflerini karşılaştıran bir tez çalışması yapmıştır. Xu ve diğerleri (2018) ise bu temel üzerinden dinamik faktörlerinde dahil olduğu söz konusu tezin devam niteliğinde bir çalışma yapmıştır. Çalışmalarında ekonomik bir seyir planlaması için Kuzey Denizi Rotasını ve Süveyş Kanalı Rotasını kullanarak, Şangay ve Rotterdam'ı birbirine bağlayan mevsimsel bir NSR (Kuzey Denizi Rotası) / SCR (Süveyş Kanalı Rotası) dinamik hattını önermişlerdir.

Pirotta (2018), Kuzey Kutbu'ndaki muhtemel sanayileşmeye karşı, etkili koruma sağlamak için deniz canlılarının gemi trafiğine maruz kalma durumunun modellemesini yapmış ve oluşacak potansiyel deniz trafiğinin olası etkileri ve deniz ekosisteminde yaratacağı sonuçlar hakkında çalışmıştır.

Howell ve Yackel (2004), 1969–2002 Batı Arktikteki deniz buzu değişkenliğini bir yaklaşım gemisi ile değerlendirmiş ve olası navigasyon senaryoları için çıkarımlarda bulunmuştur.

Reeves ve diğerleri, (2014) Küresel ısınmanın Kuzey Kutbu'nda endemik canlılar ve bu canlıların artan deniz ticareti ile etkileşimini incelemiştir.

Bennett (2014), Kuzey Kutbu Devletleri ve Arktik Konseyi yapılarının ekonomik ve politik yönlerini ve bu oluşumlara üye ülkelerin uluslararası yük hareketlerini konu edinmiştir.

VanderBerg (2018), Arktik bölgedeki optimum liman yerleri üzerine bir değerlendirme yapmıştır.

Xu ve diğerleri (2011), Kuzey Kutup Denizi'nde buz miktarının azalması ile Asya-Avrupa konteyner servisinin potansiyel mevsimsel alternatifi konusunda bir model önermiştir.

Kubat ve diğerleri (2007), Yeni Kanada Kuzey Nakliye Yönetmeliği'nin iklim değişikliğini ve gerekli düzenlemelerini içeren yapısını incelemiş ve gelecek değerlendirmelerinde bulunmuştur.

1.5. Arktik Bölgede Deniz Ticaretinin Kısa Tarihi

Arktik terimi, Kuzey Kutup Dairesi'nin kuzeyindeki bölgeye 66 ° 33′N'de çizgisel yapıyı "Kuzey Kutbu devletleri" ifadesi ise bölgenin başlıca hükümetler arası forumu olan Kuzey Kutbu Konseyi'nin (Arctic Council) daimi üyelerini ifade etmektedir. 1996 yılında Ottawa Deklarasyonu tarafından kurulan konsey, sekiz daimi üye devletten (Faroe Adaları ve

Grönland'ı da temsil eden Kanada, Danimarka, Finlandiya, İzlanda, Norveç, Rusya, İsveç ve Amerika Birleşik Devletleri) ve katılımcılardan oluşur. 45 ° N'nin kuzeyindeki tüm bölgeleri ve denizleri içeren bir "Kuzey Jantı" tanımlamaktadır. Bu alanda dünyanın en büyük üç gemi üreticisi ve büyük denizcilik ülkesi, Çin, Japonya ve Güney Kore, Kuzey Kutbu'na gelecekteki daha fazla ekonomi sağlayabilecek alternatif denizcilik rotaları ile ilgilenmektedir.

Arktik buz örtüsünün tarihsel olarak kuzey taşımacılığının önündeki bir engel olduğu varsayılsa da bölge aslında 11. yy'den itibaren asırlarca zengin denizcilik faaliyetlerine tanık olmuştur (Bennett, 2014). Vikinglerin avcılık seferleriyle başlayan bölgenin önemi, 1497'de Venedikli kâşif John Cabot'un Doğu'ya doğrudan bir yol bulmak için VII. Henry tarafından gönderilen doğu-batı yolculuğu (Ouin, 1875) ve 1525'te Rus diplomat Gerasimov'un Atlantik ve Pasifik'i birleştiren bir suyolu fikri ile dünya jeopolitik gündeminde de yerini almıştır (Oktay, 2017). 1539 Anián Boğazı keşfedilmiştir ve 1576 Martin Frobisher düzenlediği seferde adının verildiği Frobisher Körfezi'ni keşfetmiştir (Britannica, 2022).

16. yy Arkhangelsk (Rusya), Ortadoğu (Pers-Arap) ve Asya ile İngiltere arasındaki gerçekleşen deniz ticareti ise bölgede ticari gemi trafiğinin oluşmasını sağlamıştır (Curtin, 1984). 16. ve 17. yy Kuzey Atlantik, Svalbard'a giden Hollandalı, İngiliz ve Bask balina avcıları için Kuzey Kutbu'na ortak bir giriş noktası olmuştur. 1609'da Henry Hudson'un Hudson Körfezi ve bazı doğu kıyılarını keşfi (Ouin, 1875) ve 17. yy Mangazeya denizyolunun kullanımı bölgenin Avrupalılar açısından da değerini arttırmıştır (Kitagawa, 2008). 1680'den 1730'a kadar Bask ve Eskimo halkları arası ticaret ve kültürler arası işbirliği mevcuttur (Quebec). 1728 yılında Vitus Bering ve 1778'de ise James Cook güneyden Bering Boğazı'na girmiştir (Brigham, 2014). 1743'ten itibaren Rus kürk tüccarlarının faaliyetleri görülmüştür (Kuril Adaları, Ainu). 1819'da Parry Kanalı bulunmuştur. 1826 yılında Frederick William Beechey, Point Barrow'a ulaşarak Alaska'nın kuzey kıyı sınırlarını keşfetmiştir (McGraw ve Walker, 2015). 1845 yılında John Franklin'in dünya kamuoyunda yankı uyandıran seferinin etkileri henüz bitmemişken, Robert McClure 1850 Kuzeybatı geçidine sefer düzenlemiştir (Stein, 2015). 1867'de ABD'ye satılıncaya kadar Rusya'nın Alaska'daki faaliyetleri sürmüştür.

1879 yılına gelindiğinde ise Adolf Erik Nordenskiöld, SS Vega gemisi ile batıdan doğuya Kuzeydoğu Geçidi'nin ilk tam geçişini gerçekleştirmiştir (Handesten, 2020). 1898'den 1945'e kadar, Rusya ve ardından Japonya, Dalian- Harbin, Trans-Sibirya Demiryolu. 1906'da Roald Amundsen, Grönland'dan Alaska'ya Kuzeybatı pasaj geçişini başarıyla tamamlamıştır

(Handesten, 2020). 1911 Kolyma Nehri vapurları yılda bir kez Vladivostok'tan Kolyma'ya geçiş yapmıştır. 1932'de Profesör Otto Yulievich Schmidt bir buz kırıcı yardımıyla yolda kışı geçirmeden Arkhangelsk'ten Bering Boğazı'na giden ilk kişi olmuştur (Kitagawa, 2008). Bu dönemde bölgede ilk Arktik limanlar inşa edilmeye başlanmıştır.

20.yy bölge ikili işbirliklerinin gözle görülür biçimde arttığı, bölgenin ekonomik çekiciliği ile büyük ülkelerin rekabet ortamına dönüşmüştür. 1942'de Japonya, Endonezya'dan Kuzey Kutup Bölgesi'ndeki Aleut Adaları Kiska ve Attu'ya kadar genişlemiştir. 1960'larda SSCB, Kuzey Kutbu'nda Churchill Limanı aracılığıyla Kanada'dan buğday ithal etmeye başlamış ve 1968'de Japonya ve SSCB, Kanada ile ortak bir kargo gemisiyle hat hizmeti başlatmıştır (Bennett, 2014). 1969 yılında Kuzeybatı Geçidi'nden geçen ilk ticari kargo gemisi SS Manhattan olmuştur (Kitagawa, 2008).

1974 yılında kuzey ülkelerinin çevresel, iklimsel, ekonomik ve sosyal ortaklığını sağlamaya yönelik Kuzey Forumu (The Northern Forum) kurulması kararlaştırılmıştır (Northern Forum, 2020). 1977 yılında Willy de Roos Amerika'nın çevresini tamamen gemiyle dolaşan ilk denizci olmuştur (De Roos, 1989). 1984'de yolcu gemisi MV Explorer, Kuzeybatı Geçidi'nde seyir eden ilk yolcu gemisi olmuştur. 1986'da ise David Scott Cowper Kuzeybatı Geçidi aracılığıyla dünyanın çevresini dolaşan ilk denizci olarak adını tarihe yazdırmıştır (Cowper, 1994).

1987'de Kuzey Denizi Rotasında, 1306 sefer, 331 gemi ve toplamda 6.58 milyon ton kargo taşınmıştır (Liu ve Kronbak, 2010). 1988'de Kanada ve ABD hükümetleri, egemenlik sorunlarını çözen bir anlaşma olan "Arktik İşbirliği" imzalamıştır (Nilsson, 2018). 1990'larda Japonya, Güney Kore, Çin, Finlandiya ve İtalya, Büyük Vladivostok Serbest Ekonomik Bölgesi'ne katılmak için müzakerelere başlamıştır (Bennett, 2014). 1992 yılında ise Baltık Denizi Devletleri Konseyi, 1993'te Barents Bölgesi'nin ilanı ve Barents Bölgesel Konseyi ve nihayet 1996 Arktik Konseyi (Arctic Council) kurulmuştur. 1997 Fin petrol tankeri Uikku, Murmansk'tan Bering Boğazı'na kadar Kuzey Denizi Rotasını geçmiştir.

2000'li yıllara gelindiğinde ise güçlü yaz erimeleri ile Kuzeybatı geçişi ve Kuzey Denizi Rotasında geçişler artmıştır. Japonya ve Rusya arasında bölgeye yönelik büyük ölçekli ticaret ve ikili işbirlikleri gözlemlenmiştir. 2002 Fransız denizci Eric Brossier yelkenliyle ilk NWP geçişini yapmıştır (Brossier, 2007). 2005 yılında Kuzey Denizi Rotası tam kullanıma açılmıştır. 2006'da ise yolcu gemisi MS Bremen, deniz buzunun yerini gösteren uydu görüntülerinin

yardımıyla Kuzeybatı Geçidi'ni başarıyla geçmiştir. 2007 yılında Kuzeybatı Geçidi resmi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Liu ve Kronbak, 2010). 2009'da Vladivostok'da Güney Kore, Japonya ve Çin yükleri için bir aktarma merkezi düşüncesi oluşmuştur.

2010-2014 ikili işbirlikleri: İzlanda-Çin (FTA), İsveç-Çin (FTA), Güney Kore-Norveç, Kanada–Japonya, Kanada-Güney Kore, Kanada-Malezya, Kanada-Singapur, Kanada-Hong Kong. 2011 yılında 34 gemi Kuzeydoğu Geçidi'nin tamamını sorunsuz geçmiştir. Bu sayı 2012 yılında 46, 2013 yılında 71'e ulaşmıştır (PAME, 2021). 2012 yılında buzkıran gemisi Snow Dragon, Transpolar Denizyolu 'nu kullanan ilk büyük gemi olarak kayıtlara geçmiştir (Blunden, 2012). 2013'te MS Nordic Orion, Kuzeybatı Geçidi'nden geçiş yapan ilk ticari dökme yük gemisi olmuştur (Lasserre, 2014). 2015 yılında Qingdao China, Murmansk'tan Bering Boğazı'na 13 günde geçerek hız rekoru kırmıştır. 2016 yılında Kuzeybatı Geçidi'nde dolaşan en büyük yolcu gemisi Crystal Serenity olmuştur. 2017'de ise buz kırıcı kullanılmadan ilk gemi Kuzey Denizi Rotasını geçmiştir.

IMO'nun 1 Ocak 2017'de Kutup Sularında Çalışan Gemiler için Uluslararası Kod (Polar Kodu) yayınlamıştır (IMO, 2023). 2018 yılında Maersk Line, yeni "buz sınıfı" konteyner gemisi Venta Maersk'in geçişi gerçekleşmiştir. Aynı zamanda yelkenli yat Infinity ve 22 kişilik mürettebatı, Kuzeybatı Geçidi'nden geçişini başarıyla tamamlamıştır. 2018'de Rus hükümeti, Kuzey Denizi Rotası'nın ana sorumluluğunu, Rosatom'a devretmiştir. Ayrıca 2018 kışında gemiler ilk kez buz kıranlar olmadan geçmiştir. 2019 NEP (Northeast Passage-Kuzeydoğu Geçidi) ve NWP (Northwest Passage-Kuzeybatı Geçidi) aynı anda sorunsuz geçişi gerçekleştirilmiştir. 2020 yılında ise son yıllarda görünen transit sefer sayısı ve kargo hacmindeki kademeli ve devam eden büyüme, 2020'de keskin bir artışa geçmiştir. 2021 yılında NSR'den rekor sayıda transit sefer gerçekleşmiştir (85 gemi yaklaşık olarak 2,75 milyon ton Kargo ile NSR'yi geçmiştir) (CHNL, 2022).

1.6. Arktik Bölgede Deniz Taşımacılığı ve Emniyet

İklim değişikliği ile Kuzey Kutbu deniz taşımacılığı arasındaki bağlantı, kuzey kutbu nakliye faaliyetlerinde hızlı ve potansiyel olarak çok önemli bir artış olduğunu ve olacağını göstermektedir. Ancak bu bölgede seyir yapan gemiler başta buz koşulları olmak üzere birçok dinamik ortam koşullarına da hazır olmalıdır. Gün geçtikçe azalan buzullar nedeniyle Arktik gemicilik faaliyetlerine olan ilginin artmasının, bu sularda meydana gelebilecek olası kaza risklerini de beraberinde getireceği belirtilmektedir (Kujala ve diğerleri, 2019). Bölgedeki

ekosistemi, oşinografik yapıyı korumak ve gemiler tarafından gerçekleştirilen ticaretin sosyo-ekonomik açıdan da emniyetini sağlamak adına bazı önlemler alınmaktadır. Bu önlemler IMO'nun Polar Kod'u yayınlaması ve IACS'nin ve diğer sınıflandırma topluluklarının buz sınıflarını oluşturmasıyla güçlenmiştir.

1.6.1. Polar kod

IMO 1 Ocak 2017'de yürürlülüğe giren, kutup sularında seyir yapan gemiler için uluslararası bir kod yayınlamıştır. Polar kod olarak adlandırılan bu kod, hem Uluslararası Denizde Can Güvenliği Sözleşmesi (SOLAS) hem de Gemilerden Kaynaklanan Kirliliğin Önlenmesine İlişkin Uluslararası Sözleşme (MARPOL) kapsamında zorunlu tutulmuştur (IMO, 2023).

Polar kod, iki kutbu da çevreleyen elverişsiz sularda seyir yapan gemiler için tüm tasarım, inşaat, donanım, işletim, eğitim, arama ve kurtarma ve çevre koruma konularını kapsamaktadır. Bu kapsamda bu bölgede seyir yapacak ve çalışacak gemiler üç kategoride değerlendirilmiştir. A Kategorisinde yer alan gemi kutup sularında, eski buz kalıntılarını da içerebilen, orta düzeyde birinci yıl buzunda çalışmak üzere tasarlanmış bir gemi anlamına gelmektedir. Kategori B gemisi, A kategorisine dahil olmayan, kutup sularında eski buz kalıntılarını da içerebilen en azından ince birinci yıl buzunda çalışmak üzere tasarlanmış bir gemi anlamına gelir. Kategori C gemisi ise açık sularda veya A ve B kategorilerinde yer alan koşullardan daha az şiddetli buz koşullarında çalışmak üzere tasarlanmış bir gemi anlamına gelmektedir (IMO, 2023).

1.6.2. Buzkıran gemiler, buz sınıfı gemiler ve buz sınıfları

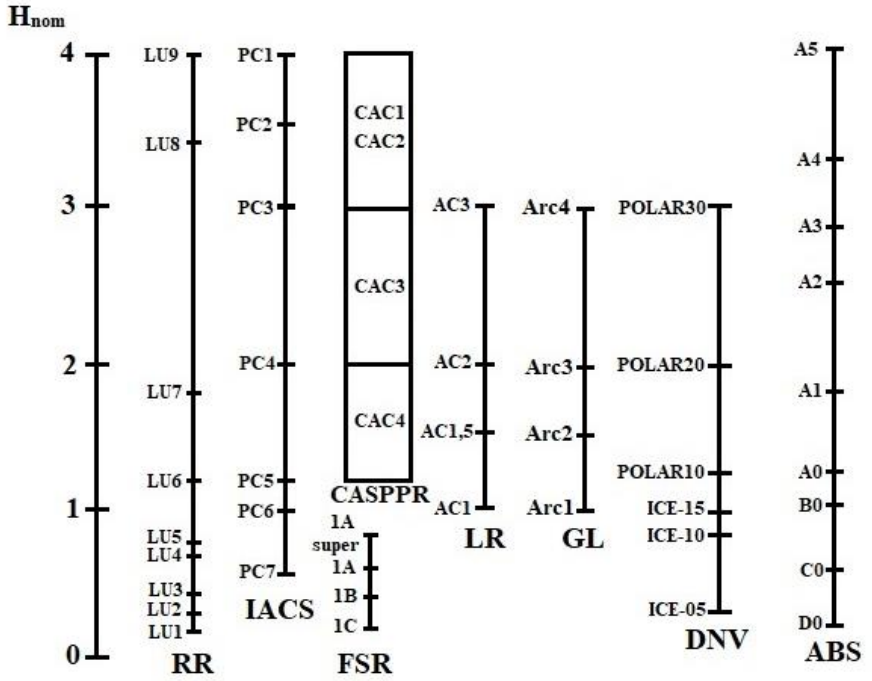
Bazı gemiler kış aylarında buzla kaplı sularda bağımsız olarak seyir yapma kabiliyetlerine sahip değillerdir. Bu nedenle buzkıran sınıfı bir geminin yardımı ile taşımacılığın sorunsuz bir şekilde yürütülmesi açısından buzla kaplı sularda geçiş kanalları açmaya yönelik operasyonlar büyük önem ar etmektedir (Zhang ve diğerleri, 2019). Buzla kaplı sularda hareket etmek ve gezinmek için tasarlanmış özel amaçlı bu gemilerin buz kıran olarak kabul edilmesi için şu üç bileşeni sağlaması gerekmektedir. Bunlar; güçlendirilmiş bir gövde, buz temizleme şekli ve çoğu gemide bulunmayan buzu itme gücüdür (Hannah ve diğerleri, 2020).

Küresel ısınmanın etkisiyle buzulların eriyip ana parçalardan ayrılarak kütleler halinde daha uzak bölgelere yüzer hale gelmesi, bu denizlerdekideniiiz trafiğinin seyir emniyeti

üzerinde oluşturduğu en büyük risk unsurudur (Gosh, 2021). Ayrıca bu seyirler, deniz buzu koşulları, meteorolojik ve hidrolojik koşullar, su derinliği gibi birçok faktörden etkilenmektedir (Chen ve diğerleri, 2022). Bu seyirlerin emniyetli ve doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi için otoriteler tarafından bazı buz sınıfları oluşturulmuştur. Geminin donanımı, seyir alacağı bölgenin buz koşullarına ve oraya uygun kurallara göre şekil almaktadır yani daha kalın gövdeler ve güçlü bölümlerle inşa edilmektedirler (Dvorak, 2009).

Buzlu alanlarda seyir kurallarıda yine bölgelere göre değişiklik göstermektedir bunlar; Rus Loydu Buz Kuralları (Russian Maritime Register of Shipping Ice Class Rules-RMRS) Fin-İsveç Buz Sınıfı Kuralları (Finnish-Swedish Ice Class Rules-FSICR) ve Kutup Sularında Seyir Kuralları (Polar Ship Rules-PSR) olarak adlandırılmaktadır. Buz sınıflarının uygulanabileceği üç ana bölge bulunmaktadır bunlar; Baltık Denizi, Arktik Okyanusu ve Okhotsk Denizi'dir.

Uygulamada şu anda, kullanımda olan birçok farklı buz sınıfı bulunmaktadır; Kuzey Kutbu'nu çevreleyen ülkeler arasında Rusya, Kanada, Finlandiya, İsveç ve ABD, her biri farklı bir buz sınıfı kümesine sahiptir.



Şekil 10. Farklı buz sınıflarına ilişkin H_{nom} eşdeğer buz kalınlığı (Riska, 2009'dan uyarlanmıştır)

FSICR ayrımına göre; IA-Süper (1 m), IA (0,8 m), IB (0,6 m) ve IC (0,4 m) (birinci yıl buzu kalınlıkları ile birlikte parantez içinde verilmiştir) bu gemiler kırık buz kanalarında seyir hızları minimum 5 knot olarak belirlenmiştir. IA-Süper son derece ekstrem buz koşullarında seyir edebilecek donanıma sahip gemilerdir, buzkırıcı eskortluğuna ihtiyaç duymamaktadırlar (MAN-ES, 2021).

IA zor buzul koşullar, IB orta dereceli buzul koşullar, IC ise az buzul koşullarda, II hafif buz koşullarında ve III buz olmayan açık denizlerde seyir edebilecek şartlara sahip gemileri ifade etmektedir ve IA sınıfı gemiler ihtiyaç halinde buzkırıcı eskortluğunda seyir etmektedirler.

Uluslararası Klas Kuruluşları Birliği (International Association of Classification Societies-IACS) tarafından Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO)'nun polar kodundan yola çıkılarak hazırlanmıştır. Bu sınıflar PC1, PC2, PC3, PC4, PC5, PC6 ve PC7'dir. PC1 sınıfı sınırlama olmaksızın bağımsız çalışma yeteneğine sahip, esas olarak çok yıllı buzda seyrüsefer için geçerlidir. PC6 ve PC7 ise eski buz kalıntılarını içerebilen ince birinci yıl buzunda yazın ve sonbaharda operasyona elverişli olarak bildirilmişlerdir. Diğer buz sınıfları ise; PC2 orta dereceli çok yıllı buz koşullarında, PC3 çok yıllık buz kalıntıları içerebilen ikinci yıl buzunda, PC4 eski buz kalıntılarını içerebilen kalın birinci yıl buzunda ve PC5 Eski buz kalıntılarını içerebilen orta dereceli birinci yıl buzunda çalışmaya elverişli olduğu belirtilmiştir (IACS, 2023).

RMRS sınıflandırmasında hem birinci hem de çok yıllık buz için geçerlidir. LU9, LU8 ve LU7 sınıflarında, yazın ve sonbaharda okyanusun tüm bölgelerinde seyir gerçekleştirilebilir. Arktik'te kışın ve ilkbaharda çok yakın yüzen buzda, L9 sınıfı 3,5 m kalınlığa kadar çok yıllık buzda, L8 sınıfı 2,1 m kalınlığa kadar ikinci yıl buzunda, L7 sınıfı 1,4 m kalınlığa kadar birinci yıl buzunda ve kutup dışı dondurucu denizlerde kısıtlama olmaksızın seyir gerçekleştirilebilirler. LU6, LU5 ve LU4 sınıflarında yaz ve sonbaharda sırasıyla 1,3 m, 1 m ve 0,8 m kalınlığa kadar yüzen birinci yıl buzunda seyir yapabilirken, kış ve ilkbaharda kutup dışı dondurucu denizlerde sırasıyla 1,1 m, 0,8 m ve 0.6 m kalınlığa kadar yüzen birinci yıl buzunda seyir yapabilmektedir. LU3, LU2 ve LU1 sınıfları ise Arktik dışı denizlerde sırasıyla 0,7 m, 0,5 m ve 0,4 m kalınlığa kadar yüzen buz kalıplarıyla seyir yapabilmektedirler ve LU3 ile LU2 düzenli sefer gerçekleştirebilmektedir (RS-Class, 2023).

Tablo 2. Fin-İsveç buz sınıfı kurallarının buz sınıfları ile diğer klas kuruluşlarının buz sınıflarındaki karşılıkları (BSIS-ICE, 2023; Riska, 2009'dan uyarlanmıştır)

Sınıflandırma Toplulukları	Buz Sınıfı				
Fin-İsveç Buz Sınıfı Kuralları	IA Super	IA	IB	IC	II
Rus Loydu Buz Kuralları (2007)	Arc 5	Arc 4	Ice 3	Ice 2	Ice 1
Rus Loydu Buz Kuralları (1995)	UL	L1	L2	L3	L4
Rus Loydu Buz Kuralları (1999)	LU5	LU4	LU3	LU2	LU1
ABS	IAA A1	IA Ao	IB	IC	D0
IACS Polar Code	PC6	PC7	-	-	-
Bureau Veritas	IA-Super	IA	IB	IC	ID
CASPPR (1972)	A	B	C	D	E
Çin Loydu	Ice Class B1*	Ice Class B1	Ice Class B2	Ice Class B3	Ice Class B
DNV	ICE-1A* ICE-10	ICE-1A ICE-05	ICE-1B	ICE-1C	ICE-C
GL	E4	E3	E2	E1	E
Kore Loydu	ISS	IS1	IS2	IS3	IS4
Lloyd's Register of Shipping	1SS	1A	1B	1C	1D
Nippon Kaiji Kyokai	IA Super	IA	IB	IC	ID
İtalyan Loydu	IAS	IA	IB	IC	ID

Finlandiya Denizcilik İdaresi (The Finnish Maritime Administration-FMA) ve İsveç Denizcilik İdaresi (Swedish Maritime Administration-SMA), çeşitli klas kuruluşlarına danışarak Finlandiya-İsveç Buz Sınıfı Kurallarını oluşturmuştur (Dvorak, 2009). Tablo 2'de hem buz sınıfları hem de bu sınıf referansı yardımıyla diğer sınıflandırma topluluklarının buz sınıflarının karşılıkları verilmiştir.

1.7. İklim Değişikliği Performans Endeksi (CCPI)

İklim Değişikliği Performans Endeksi (The Climate Change Performance Index-CCPI), 2005 yılından bu yana her yıl yayınlanan, ülkelerin iklim koruma performansını izlemek için bağımsız bir izleme aracıdır ve bu endeks uluslararası iklim politikalarında şeffaflığı arttırmayı amaçlayarak ülkelerin iklim koruma çabalarının ve ilerlemesinin karşılaştırılmasını

sağlamaktadır (CCPI, 2023). Bu endeks ile küresel sera gazı emisyonunun %90'ından fazlasını meydana getiren AB'nin ve 59 ülkenin iklim koruma performansı dört kategoride değerlendirilmektedir. Bunlar; sera gazı emisyonları, yenilenebilir enerji, enerji kullanımı ve iklim politikasıdır (Burck ve diğerleri, 2017).

CCPI (2023) güncel durumunda G20 ve AB performans değerlendirmelerine bakıldığında, Hindistan (8.), Birleşik Krallık (11.) ve Almanya (16.) ile CCPI 2023'te yüksek performans gösterenler arasında yalnızca üç G20 ülkesi yer alırken, Kanada, Rusya, Güney Kore ve Suudi Arabistan G20'nin en kötü performans gösteren ülkeleri olmuştur. Macaristan (53.) ve Polonya (54.) çok düşük puan alan AB ülkeleri olarak değerlendirilirken, genel CCPI sıralamasında Danimarka (4.) ve İsveç (5.) lider olarak yer almışlardır. Yapılan bu değerlendirmelere ek olarak, Filipinler sera gazı emisyonları ve enerji kullanımında yüksek, yenilenebilir enerjide orta ve iklim politikasında ise düşük kategoride değerlendirilmiştir. Hollanda, yenilenebilir enerji ve iklim politikası kategorilerinde yüksek puan alırken, sera gazı emisyonları ve enerji kullanımındaki performansı orta düzeyde olarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda Filipinler ve Hollanda yüksek performans gösteren ülkeler arasında yer aldığı belirtilmektedir. İspanya, dört ana CCPI kategorisinde orta dereceli not aldığı belirtilmektedir. Fransa, sera gazı emisyonları, enerji Kullanımı ve iklim politikasındaki performansı orta olarak derecelendirilirken, yenilenebilir enerji alanında düşük kategoride derecelendirilmiştir (CCPI, 2023).

Bu 59 ülkeden biri olan Çin, CCPI 2023 yılı verileri değerlendirildiğinde 13 sıra gerilediği görülmektedir. Çin aynı zamanda dünyanın en büyük karbon yayıcısıdır (Pan ve diğerleri, 2021). Bunun sebebinin emisyonlar ve enerji verimliliğindeki zayıf performansın hala ağır basması ve yeni kömür santrallerine yatırım yapması gösterilmektedir. Ek olarak nüfus faktörleri çevre üzerinde büyük bir baskı oluşturmuş ve çevre sorunlarının ana nedenlerinden biri haline gelmiştir. Dünyanın en büyük gelişmekte olan ülkesi olan ve büyük bir nüfusa sahip olan Çin'de artan nüfus, konut, ulaşım, su ve elektrik temini, eğitim ve sağlık tesisleri üzerindeki yükü artırmış, enerji talebinde ve karbon emisyonlarında sürekli artışa yol açmaktadır (Pan ve diğerleri, 2021). Öte yandan Çin yenilenebilir enerji açısından güçlü bir gelişme göstermektedir (Burck ve diğerleri, 2017).

Sıralamada yer almayan Singapur, CAT (Climate Action Tracker) tarafından iklim hedeflerini ve politikalarını "Kritik derecede yetersiz" olarak derecelendirmektedir. Bu

derecelendirme, Singapur'un iklim politikaları ve taahhütleri için çok az veya hiç eylem göstermediğini ve Paris Anlaşması'nın 1,5°C sıcaklık sınırıyla hiçbir şekilde tutarlı olmadığını göstermektedir (CAT, 2022).

Tablo 3. 2023 yılına ait ülkelere göre İklim Değişikliği Performans Endeksleri (CCPI, 2023)

İklim Değişikliği Performans Endeksi (CCPI)	Ülkeler
63,07	Birleşik Krallık
62,24	Hollanda
61,11	Almanya
52,97	Fransa
59,59	İspanya
79,61	Danimarka
-	Singapur
38,8	Çin
-	Çin-Hong Kong (ÖİB)
24,91	Güney Kore
40,85	Japonya
62,75	Filipinler

Tablo 3'te Singapur ve Hong Kong dışında, bu çalışmada yer alan bazı ülkelerin 2023 yılına ait iklim değişikliği performans endeksleri verilmiştir.

1.8. İklim Değişikliği Senaryoları ve Arktik Bölge

Küresel iklimin geçmişte ve şimdi nasıl değiştiğini daha iyi anlamak ve gelecekteki iklim eğilimlerini tahmin edebilmek için iklim modelleri kullanılmaktadır (Buis, 2020). İklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olunması ve olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi için iklimde gözlenen değişikliklerin ve eğilimlerin gelecekte nasıl olacağının tahmin edilmesi ve bu değişikliklerin doğal ve insan sistemlerine etkilerinin belirlenmesi gerekmektedir. Modeller vasıtasıyla elde edilen geleceğe yönelik iklim öngörülerinde değişik senaryolar kullanılmaktadır. Bu amaçla yapılan modeller, gezegenin ışınımsal dengesini etkileyen sera gazları, aerosol konsantrasyonları, hava kirletici emisyonlar, arazi kullanımı güneş radyasyonu ve diğer atmosferik bileşenlerin konsantrasyonları gibi değişkenleri dikkate alarak, senaryolara dayalı olarak gelecek on yıllar (2100'e kadar) için küresel iklimin simülasyonlarını oluşturmaktadır.

Senaryolar, karmaşık bir etkileşim içinde olan insan ve çevre sistemlerindeki belirsizliği karakterize etmenin bir yolu olarak kırk yıldır küresel değişimleri konu edinen araştırmaların önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Son on yılda, iklim değişikliğini araştırmak için toplanan araştırma grupları, entegre araştırmayı ve tutarlı değerlendirmeyi kolaylaştırmak için iklim ve toplumun alternatif geleceklerini birleştiren bazı senaryo çerçeveleri geliştirmişlerdir (O'Neill ve diğerleri, 2020).

2007 yılında IPCC kapsamında geliştirilen 40'tan fazla senaryo arasından seçilen RCP'ler (Representative Concentration Pathways-Temsili Konsantrasyon Yolları) SRES senaryolarının yerine geliştirilmiştir. Öncelikli olarak SRES (Special Report on Emissions Scenarios-Emisyon Senaryolarına İlişkin Özel Rapor) senaryoları, demografik gelişmelerden teknolojik ve ekonomik gelişmelere kadar, gelecekteki emisyonların ana itici güçlerinin geniş bir yelpazesini kapsamaktadır (IPCC, 2000). RCP'ler ise daha geniş bir literatürde sera gazı emisyonlarının aralığını temsil etmektedir. RCP'ler, endüstri öncesi zamanlara göre atmosferdeki sera gazlarının neden olduğu yerküre ve atmosfer sisteminin enerji dengesindeki değişikliklerin bir ölçüsü olan ışınımsal zorlama seviyesini tanımlamaktadır. RCP'ler, düşük emisyonlardan yüksek emisyonlara kadar çok çeşitli senaryoları kapsamaktadır. RCP'ler bir hafifletme senaryosu (RCP2.6), iki ortalama senaryo (RCP4.5 ve RCP6.0) ve çok yüksek sera gazı emisyonlarına sahip bir senaryo (RCP8.5) içermektedir (IPCC, 2014). RCP8.5 yüksek ışınımsal zorlama ve konsantrasyon yolunun, RCP2.6 ile arasındaki fark, iklimin bu senaryoya karşı Atmosfer-Okyanus Küresel Sirkülasyon Modelleri (AOGCM) yardımı ile görüntülenen tepkisinin değerlendirilmesinde önemli rol oynamaktadır. RCP4.5 ise orta bir dengede tutma rotası olup 2100-2150 yılları arasında ışınımsal zorlamanın 4.5w/m^2'de sabitleneceğini varsayılmaktadır (MGM, 2023).

DNV (Det Norske Veritas), klas kuruluşunun hazırladığı 2022, raporunda karbon nötr yakıtların maliyet ve mevcudiyetindeki değişkenliğin yanı sıra dekarbonizasyona odaklanmıştır. Bu doğrultuda 24 senaryo geliştiren kuruluş, modellenen bu senaryolarda gelecekteki yakıt karışımı ile ilgili olarak, 2030'da enerji kullanımının yaklaşık %5'inin karbon nötr yakıtlardan sağlanacağı belirtilmiştir. IMO hedefleri kapsamında, söz konusu senaryoya bağlı olarak bu payın 2040'ta yaklaşık %20'ye ulaşacağı ve 2050'ye kadar dekarbonizasyon yoluyla, karbon nötr yakıtların payı önemli ölçüde artacağı belirtilmektedir (DNV, 2022).

IMO ise bu senaryolar karşısında uluslararası nakliyeden kaynaklanan toplam yıllık sera gazı emisyonlarını 2050 yılına kadar 2008 seviyelerine kıyasla en az %50 oranında azaltma vizyonunu ortaya koymaktadır (IMO, 2019).

AMSA (Arctic Marine Shipping Assessment-Arktik Deniz Taşımacılığı Değerlendirmesi), senaryolarında küresel iklim değişikliğinin ve Arktik deniz buzu erimesinin devam eden rolleri tam olarak ele alınmaktadır. Arktik deniz buzunun erimesinin, deniz erişiminde potansiyel olarak daha uzun seyir sezonları için fırsatlar sağladığı varsayılmaktadır. AMSA'ya göre, gelecekteki Kuzey Kutbu'nun küreselleşmesi ve doğal kaynaklarının çıkartılması bölgede artan deniz kullanımının başlıca itici güçlerindendir. Bu doğrultuda AMSA dört farklı senaryoyu ortaya koymaktadır. Kuzey Kutbu Yarış senaryosu (Arctic Race), Kuzey Kutbu doğal kaynaklarına olan talebi içeren egemenlik hakları veya yeni topraklar için jeopolitik bir "yarış" değil de küresel pazarlara dayalı bir kalkınma için "ekonomik acele" anlamına geldiği belirtilmektedir. Düşük kullanım (Polar Lows) senaryosu, kaynaklara yönelik düşük talebin ve istikrarsız yönetimin geleceğini temsil etmektedir. Bu senaryoda Kuzey Buz Denizi'nde minimum deniz trafiği mevcuttur. Polar Koruma (Polar Preserve) senaryosu, deniz kullanımına ilişkin istikrarlı ve gelişmiş bir durumu ve düşük talebi temsil etmektedir. Optimum senaryo (Arktik Saga), istikrarlı bir deniz kullanımı yönetimi ile birlikte kaynaklara ve ticarete yönelik yüksek talebin geleceğini yansıtmaktadır (AMSA, 2009).

Khon ve diğerleri (2010) yaptıkları model çalışmasında, Kuzey Atlantik'ten Asya'ya alternatif deniz rotaları olarak bilinen NSR ve NWP için denizcilik sezonunun bu yüzyılda önemli ölçüde artacağını belirtmişlerdir. IPCC'nin A1B (hızlı ekonomik büyüme, 2050'de dokuz milyara ulaşan küresel nüfus artışı ve tüm enerji kaynaklarına dengeli vurgu ile karakterize edilen IPCC senaryolarından biri olan ılımlı senaryo) senaryosuna göre oluşan model, 21. yüzyılın sonunda NSR için 3 aydan 6 aya ve NWP için 2 aydan 4 aya serbest geçişle sezonun uzamasını öngörmektedir. Bu, Batı Avrupa'dan Uzak Doğu'ya NSR üzerinden geçişin, 21. yüzyılın sonunda Süveyş Kanalı geçişine kıyasla %15'e kadar daha karlı olabileceğini gösterdiği belirtilmektedir.

Wang ve Overland'in 2009 yılında yaptıkları çalışmada Arktik Okyanusu'nun 2037 gibi erken bir tarihte deniz buzu olmayan Eylül ayları yaşayacağını tahmin etmektedirler (Wang ve Overland, 2009). Yapılan tahminlere göre, gemi trafiğinde %100 (düşük büyüme ekonomik senaryosu) ile %500 (yüksek büyüme ekonomik senaryosu) arasında bir artış olduğunu

göstermektedir. bu yapılan tahminler, bölgenin kuzeyindeki petrol ve gaz genişlemesi, altyapı gelişimi, Kuzey Denizi Rotası ve Kuzeybatı Geçidi'nden geçen gemilerin sayısı ve diğer değişkenlerle ilgili belirsizlikler nedeniyle büyük ölçüde değişmektedir. Kuzey Kutbu'ndaki gemi trafiğinin kesin tahminleri imkansız olsa da, bazı genellemeler yapılabilmektedir (Ocean Conservancy, 2017).

ABD Deniz Taşımacılığı Sistemi Komitesi (CMTS-U.S. Committee on the Marine Transportation System) 2019 yılında yaptığı çalışmada dört senaryoyu değerlendirmişlerdir. Bu senaryolar; Azaltılmış Faaliyet Senaryosu, En Makul Senaryo, Optimize Edilmiş Büyüme Senaryosu ve Hızlandırılmış, ancak Olasılıksız Senaryodur. Her biri, önümüzdeki on yılda Kuzey Kutbu ve çevresindeki sularda, yıllık %0,3 ila %4,9'luk büyüme oranları ve 284 gemiden 535 gemiye kadar toplam yıllık gemi sayısı arasında değişen, gemi faaliyeti için farklı olasılıklar sunmaktadır. Oluşturulan bu senaryolardan, En Makul Senaryo, bölge için mevcut tarihsel verilerden elde edilen matematiksel projeksiyonlarla en iyi şekilde uyuşan senaryodur. İhtiyatlı varsayımlara dayanan En Makul Senaryo ise 2030'da Kuzey Kutbu'nda faaliyet gösteren gemi sayısının 2008'deki gemi sayısının üç katından fazla olacağına işaret etmektedir. Hızlandırılmış, ancak Muhtemel Olmayan Senaryoda yer alan en yüksek tahminler yansıtılmaktadır. 2008 rakamlarının dört katından ve bugün gördüğümüz rakamların iki katından fazla büyümeye işaret etmektedir (CMTS, 2019).

1.9. Liner Taşımacılığı Bağlantı Endeksleri

Liner taşımacılığı bağlantı endeksi (The Liner Shipping Connectivity Index-LSCI), ülkelerin deniz ağlarına bağlantısının değerlendirilmesine olanak sağlayan bir endekstir ve bu endeks her yıl toplanan beş bileşene bağlıdır (Niérat ve Guerrero, 2019). Bu bileşenler şunlardır:

- Bir ülkeye hizmet veren nakliye hatlarının sayısı,
- Bu hizmetlerde kullanılan en büyük geminin boyutu (TEU)
- Bir ülkeyi diğer ülkelere bağlayan servislerin sayısı,
- Bir ülkede konuşlandırılan toplam gemi sayısı,
- Bu gemilerin toplam kapasitesi (TEU cinsinden).

Liner Taşımacılığı İkili Bağlantı Endeksi (The Liner Shipping Bilateral Connectivity Index-LSBCI) ise UNCTAD (Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı) tarafından LSCI'ın tamamlayıcısı olarak oluşturulmuştur. Ülkeler arasındaki deniz taşımacılığı bağlantılarının kalitesini ölçmeyi amaçlamaktadır. LSCI her ülke için tek bir puan verirken, LSBCI ülke çiftlerine göre puanlar vermektedir (Guerrero, 2021). UNCTAD, ülke çiftlerinin deniz bağlantısını beş gösterge kullanarak değerlendirmektedir (Niérat ve Guerrero, 2019):

- İki ülkeyi birbirine bağlamak için gereken minimum aktarma sayısı (0 ile 3 arasında değişen),
- İki ülke için ortak olan doğrudan bağlantıların sayısı (bu gösterge, tek bir aktarma ile iki ülke arasındaki tüm potansiyel bağlantıları saymaktadır. İkisinin doğrudan bir servisle bağlı olması gerekmese bile, iki ülkenin her birinin dünyanın geri kalanıyla ortak bağlantılarını dikkate almaktadır),
- İki ülkenin her birinin doğrudan bağlantı sayısının geometrik ortalaması,
- Doğrudan ve dolaylı yolları kullanarak her iki ülkeyi birbirine bağlayan nakliye şirketlerinin sayısı,
- İki ülke arasındaki seyahat programının en zayıf rotasında kullanılan en büyük geminin boyutu.

Fugazza ve Hoffman (2017) yaptıkları çalışmada LSBCI veya bileşenlerini içeren ikili ihracatın standart çekim modelinin arttırılmış bir versiyonunun tahmin edilmesiyle elde edilen sonuçları sunmaktadır. Fugazza ve Hoffman referans ampirik model olarak, deniz bağlantı değişkenlerinin dahil edilmesiyle zenginleştirilmiş uluslararası ticaretin standart çekim modelini sunmuşlardır;

$$\ln(X_{jkt}) = o_{jk} + \delta_{jk} + Z_{jk}\beta + T_{jkt}\gamma + \varepsilon_{ijt} \quad (1.1)$$

Verilen denklemde bağımlı değişken olan $\ln(X_{jkt})$, j ülkesinden k ülkesine yüksek oranda konteynırlanabilir ihracatın doğal logaritmasıdır ve t yılı boyunca kaydedilmektedir. O_{jt} ve δ_{kt} değişkenleri, ihracatçı-ve-zaman ve ithalatçı-ve zamana özgü kesişmeleri ifade

etmektedir. Z_{jk}, standart zamanla değişmeyen yerçekimi iki taraflı değişkenlerin bir vektörüdür. T_{jkt}, iki taraflı ve zamanla değişen ticaret maliyetlerini yansıtan bir değişkenler vektörüdür.

Tablo 4. Limanlar arası LSCBI değerleri

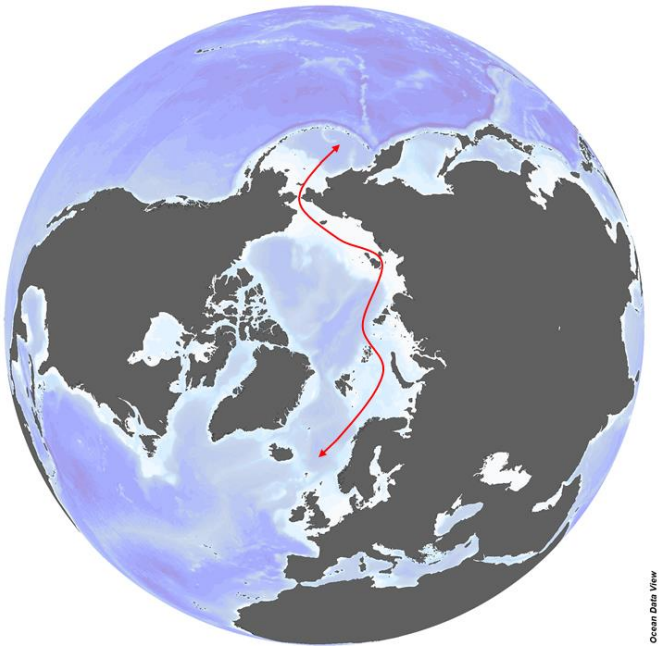
	SİNGAPUR	**ŞANGAY**	**HONG KONG**	**PUSAN**	**YOKOHAMA**	**MANİLA**
FELİXSTOWE	0,462	0,424	0,437	0,455	0,414	0,200
ROTERDAM	0,467	0,474	0,445	0,460	0,420	0,203
HAMBURG	0,465	0,477	0,438	0,452	0,410	0,203
LE HAVRE	0,470	0,480	0,378	0,462	0,313	0,201
BİLBAO	0,473	0,483	0,367	0,454	0,312	0,199
KOPENHAG	0,364	0,366	0,272	0,364	0,272	0,191

Çalışma kapsamında seçilen Batı Avrupa – Doğu Asya liman setleri oluşturulurken mümkün ölçülerde coğrafi bölge temsilini (Kuzey-Güney veya uzak-yakın) sağlaması istenmiş ve LSCBI değerleri de göz önünde bulundurulmuştur. Verilen literatür bilgilerinin ışığında Tablo 4'te limanlar arası LSCBI değerleri verilmiştir.

2. MATERYAL METOT

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada güzergah olarak seçilen Kuzey Denizi Rotası (NSR), batıda Novaya Zemlya'nın kuzeyinden, doğuda Sibirya Adaları'nın kuzeyinden Bering Boğazı'na kadar Rus kıyıları boyunca mevsimsel olarak buzla kaplı yaklaşık 3150 deniz mili uzunluğunda bir deniz nakliye rotasıdır. Kara Deniz, Laptev Denizi, Doğu Sibirya Denizi ve Çukçi Denizi yoluyla Rusya Arktik kıyısı boyunca, 66 ° Kuzey paralelinde ve 168 ° Batı meridyeni arasında kalan bölgededir. Şekil 10'da belirtilen rota hattının tamamı NEP içerisinde yer almakta ve Arktik sularında Rusya'nın münhasır ekonomik bölgesi (MEB) içinde yer almaktadır.



Şekil 11. Kuzey Denizi Rotası

Çalışmada incelenen bir diğer güzergâh olan geleneksel Süveyş Kanalı Rotası ise Kuzey rotalarının etkinliğini inceleyen birçok çalışmada olduğu gibi özellikle Asya- Avrupa hatları

arasında sefer yapan gemilerin kıyaslanmasında sıklıkla işlenmiştir. Süveyş (Kızıl Deniz), Akdeniz ticaret aksının en önemli noktasıdır ve Uzak Doğu orijinli yüklerin Ortadoğu, Rusya, Kuzey Afrika ve Avrupa'ya açılan kapısıdır. Bu rotalarının dünya denizyolu taşımacılığındaki etikliğinin artması ölçüsünde SCR dolayısıyla Akdeniz ticareti etkilenecektir. Bu nedenle SCR üzerinden geçen gemi sayısına, 2009 yılından bu yana artarak devam eden Arktik bölge taşımacılığının yapacağı etki ve ayrıca daha sağlıklı bir durum tespiti ortaya koymak ve daha anlaşılır bir kıyaslama yapabilmek amacıyla SCR etüdünü de ele almak gerekecektir.

2.2. Çalışmada Kullanılan Materyaller

Küresel iklim değişikliğin deniz ticaretine yaptığı etkinin boyutlarının anlaşılması için öncelikle denizlerin ve denizcilik sektörünün değişimini ortaya koyan veriler incelenmek istenmiştir. Dünya Bankası ülke verileri ile değişen deniz ticaretine dair edinim Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı (UNCTADSTAT- United Nations Conference on Trade and Development), Liner Taşımacılığı İkili Bağlantı Endeksi (LSBCI) veri tabanı ile çalışmada kullanılan ülke ikililerinin deniz ticareti etkileşimi anlaşılmıştır. Ayrıca bu etkileşime sahip ülkelerin İklim Değişikliği Performans Endeksi (CCPI- The Climate Change Performance Index) verileri derlenmiştir.

Değişen denizler ile ilgili yapılan literatür taraması ve iklim projeksiyonları ile Arktik bölgenin buz kütlesi değişiminin denizciliğe doğrudan bir etkisi olarak yorumlanan yeni ticaret yollarının potansiyeli anlaşılmak istenmiştir. Bu amaçla NASA (National Aeronautics and Space Administration) NSIDC (National Snow and Ice Data Center) veri tabanından günlük ve aylık deniz buz endeksi ve Arktik deniz buzu mekânsal karşılaştırma aracı kullanılmıştır. Ayrıca Avrupa Birliği'nin uzay programının Dünya gözlem bileşeni olan ve ESA (European Space Agency) verilerini de işleyen Copernicus verileri de Arktik deniz buzu kapsamının güncel durumu hakkında 1979'dan itibaren edinilen NSIDC verileri ile rota koordinatlarının buz yoğunluğunun anlaşılmasına yardımcı olmuştur. Bu veriler ayrıca IMO Polar Kod POLARIS sistemi ayarlarında PolarView anlık buzluluk online sistemi ile incelenmiştir.

Ardından bu veriler ile bilinen NSR hattı üzerinde yapılan ölçümler için MapInfo Pro. 16.0 CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ve haritalama programına Google Earth Pro. rota izdüşümleri koordinat turu oluşturularak güzergah uzunluğu belirlenmiştir. Otografik görselleştirmede iki boyutlu düşeye çevrilmiş görüntülerin görselleştirmesinde MapInfo Pro16.0 ve GlobbalMapper20 CBS programları kullanılmıştır. Seçilen ülkelerin deniz limanları ile SCR

kullandıkları durumdaki nakliye mesafeleri, Lloyds Denizcilik Atlası ve geleneksel denizcilik haritaları ile elde edilmiştir. Seçilen limanların koordinatları MapInfo Pro. 16.0 CBS programı ile Dünya haritası üzerinde işaretlenmiştir. Halihazırda kullanılan NSR'nın gemi izleri ve bu kalıp ile limanlar arası mesafe belirlenmesinde kullanılan yöntem için ise geçmiş 2022-2023 AIS verilerinden yararlanılmıştır.

2.3. Metodoloji

Bu bölümde iklim değişikliğin deniz ticaretine etkileri, değişen çevresel koşullar ile ortaya çıkan yeni deniz ticaret rotalarının etkinliği ile analiz edilmiştir. Küresel iklim değişikliğinin deniz ticareti yaptığı etkileri ele alabilecek boyutlardan biri olan yeni nakliye güzergahları, "küresel iklim değişimi deniz ticaretinin değişimine neden olmuştur", ana hipotezi ile hem ampirik bir çalışma oluşturulup bu güzergahlarının işlerliğini senaryolaştırmayı hem de daha önceki bilgilerin veya gözlemlerin doğruluğunu saptamak üzere oluşturulan farklılık varsayım hipotezinin sınanıp geçerliliği değerlendirmeyi sağlamaktadır.

Yeni oluşan ve oluşacağı muhtemel durum ve senaryolar için bugünkü durum yani mevcut ticaret aksının (Süveyş) etkileşimi ile yeni rotaların gelecek potansiyeline bir projeksiyon oluşturmayı sağlayan alt hipotezler; SCR-NSR karşılaştırma ve kombine kullanım uygunluğunun sınanmasını gerektirmektedir. Diğer taraftan yapılan literatür araştırmasında optimum rota ve buzlu alanların çevresel, jeostratejik ve ekonomik boyutları nedeniyle birbirinden farklı hesaplamaların yeniden değerlendirilip ortaya çıkarılmasına ihtiyaç olunmuştur. Bu çerçeve birçok alt hipotezin de sondajına ihtiyaç doğuran araştırmayı beraberinde getirmektedir. Arktik taşımacılığında en optimum rotanın ne olduğu ve hangi cazibe merkezleri için kullanımın ideal olacağı sorusu NSR'nin yanında TSR'ın da ele alınmasına ve gelecek buz ortamının seyir emniyetini engellemeyeceği varsayımı ile 2100 ve sonrası koşullarındaki durumu çalışmaya dahil edilmiştir. Farklı hızlarda açık deniz ve buz sınıfı gemilerin, ayrıca gelecekte değişmesi muhtemel düşük emisyonlu ve ücretli yakıtların da fonksiyondaki yeri anlaşılmak istenmiştir.

Bu amaçla çalışmaya rota alanlarının yeniden değerlendirilmesi ile başlanmış, ardından söz konusu rotanın kullanımında yer alan Doğu Asya – Batı Avrupa ülkeleri için nakliye maliyet hesaplamaları ve bu hesapta yer alan ana kalemlerde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Arktik bölgenin buz ve hava koşulları dolayısıyla hız kaybı fonksiyonunun yöntemi de açıklanmıştır.

2.3.1. Koordinat seçimi ve liman mesafelerinin belirlenmesinde kullanılan yöntem

Daha önce NSR kullanılarak nakliye mesafesinden tasarruf edilmesini sağlayan temsili birçok tekli ve çoklu rota üzerinden çalışmalar yapılmıştır. Yokohama-Rotterdam (Lee, 2013), ve Şangay-Rotterdam (Xu ve diğerleri, 2018) gibi liman ikililerini kullanarak literatüre çeşitli optimizasyon hesapları konusunda katkı yapmış araştırmalardan bazılarıdır. Bazı araştırmacılar ise Avrupa-Asya hattındaki önemli liman merkezlerinin NSR kullanım senaryolarını incelemiştir (Vemy ve Grigentin, 2009; Liu ve Kronbak, 2010; Omre, 2012; Lasserre, 2014; Pruyn, 2016; Wang ve diğerleri, 2016; Schislyaeva, 2019).

Ancak çalışmaların çoğunda koordinatlar arası tek bir CBS programı ya da özel rota planlama programları ve de varsayımsal olarak alınan NSR mesafesi ile mümkün olduğu ölçüde çalışmaların yapıldığı anlaşılmıştır. Bu varsayımların temelinde var olan husus ise şimdiye kadar NSR'nin düzenli ve aktif kullanımının olmamasının mesafe ölçümünde yaşattığı bazı zorluklardır. Şu an oldukça nadir kullanılan hatta Tablo 5'te yer alan 2022 NSR toplam 48 transit geçişlerinden 18'i doğu yönünde ve 25'i batı yönünde olmuştur.

Tablo 5. NSR transit gemi geçiş sayıları

Yıllar	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
NSR transit geçişleri	4	34	46	71	31	18	19	27	27	37	64	85	43

NSR'nin en batı kısmı Murmansk ile en doğudaki limanı Provideniya arasındaki mesafe olan 3184 deniz mili üzerine batıda Murmansk ve doğuda Provideniya'ya olan diğer dünya limanlarının bilinen mesafeleri ek olarak hesaplanmış ve yaklaşık bir deniz mili mesafesi ortaya çıkarılmıştır. Ancak bölgenin yıllar içerisinde ve hatta yılın her döneminde aynı olmayan buz örtüsü gibi coğrafik unsurları, emniyetli deniz rotalarının güncel kutup koşullarının incelenmesinden bağımsız olamayacağını kanıtlar niteliktedir. Bu nedenle bölge özelliklerine göre yapılan dinamik hesaplamalar ve buz koşullarının hiç olmadığı varsayılan tüm gelecek opsiyonlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar arasında Asya ve Avrupa arasındaki mesafeyi kısaltan NSR'nin yanında TSR'nin de senaryolara dahil edilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada ilk olarak NSR ve TSR'nın mevcut, 2050 ve 2100 yıllarında sunduğu seyir olanakları ile ortaya çıkardığı mesafe avantajı Avrupa ve Asya coğrafyasında altışar büyük limanı özelinde ele alınmıştır. Kuzeybatı Avrupa'dan başlanarak kuzey rotalarını kullanmaya müsait; İngiltere (Felixstowe), Danimarka (Kopenhag), Hollanda (Rotterdam), Almanya (Hamburg), Fransa (Le Havre) ve İspanya (Bilbao) limanları kullanılmıştır. Asya'da ise Japonya (Yokohama), Güney Kore (Pusan), Çin (Şangay), Hong Kong (Hong Kong), Filipinler (Manila) ve Singapur (Singapur) olmak üzere altı ana liman bölgesi seçilmiştir.

Felixstowe Limanı: Birleşik Krallık'ın Güney Doğu kıyısında stratejik bir konuma sahip olan liman, aynı zamanda Kuzey Batı kıta Avrupası'ndaki büyük limanlara kolay erişim mesafesinde konumlanmıştır. Üç demiryolu terminali ile aynı zamanda İngiltere'deki en yoğun ve en büyük intermodal demiryolu taşımacılığı tesisine sahiptir (Hutchison Ports, 2023). Ayrıca İngiltere'nin en büyük ve en işlek konteyner limanı olma özelliğine sahiptir ve Avrupa'nın en büyük limanlarından biridir. Bu limanda, yıllık 4 milyondan fazla TEU elleçlenmektedir ve günümüzde faaliyet gösteren en büyük konteyner gemileri dahil her yıl yaklaşık 2000 gemiyi bünyesinde ağırlamaktadır. Felixstowe'dan yaklaşık 17 nakliye hattına direkt bağlantı bulunmaktadır (Port of Felixstowe, 2023).

Rotterdam Limanı: Hollanda'nın Rotterdam şehrinde yer alan Rotterdam limanı, 12 600 hektarı aşan yüzölçümü ile Avrupa'nın en büyük limanı konumundadır. Toplam liman uzunluğu 42 km olan Rotterdam limanı, Kuzey Denizi'nin tam kıyısında ve Ren nehrinin ağzında elverişli coğrafi konumu sayesinde optimum erişilebilirliğe sahiptir. Eşsiz derinliği, geniş havzaları, minimum gelgitleri ve maksimum büyüklükteki gemiler için 7/24 erişilebilir olmasını sağlamaktadır (Rotterdam Limanı, 2023). Limanın 2021 raporuna göre yıllık elleçlenen kargo tonajının 468,7 milyon ton olduğu belirtilirken, yıllık konteyner hacminin 15,3 milyon TEU olduğu belirtilmiştir. Toplam açık deniz gemilerinin sayısının 28 876 ve toplam iç gemilerin sayısının ise 99 558 olduğu bildirilmiştir (Port of Rotterdam, 2021).

Hamburg Limanı: Kuzey Denizi ile Baltık Denizi arasındaki coğrafi konumu Hamburg Limanı'nı Almanya'nın önde gelen dış ticaret merkezi yapmaktadır. Günümüzde Hamburg Limanı yalnızca Almanya'nın en büyük ve Avrupa'nın üçüncü büyük limanı değil, aynı zamanda Avrupa'nın en büyük demiryolu limanı ünvanına sahiptir. Ek olarak kuzey Avrupa'nın en büyük sanayi bölgesidir (Port of Hamburg, 2023). Limanın, elleçlenen konteyner hacmi yaklaşık 8,5 milyon TEU konteynere ulaştığı belirtilmektedir. Hamburg'un terminal

tesisleri her türden gemiyi boşaltabilme ve neredeyse tüm kategorilerdeki malları elleçleyebilme kapasitesine sahiptir (Port of Hamburg, 2021).

Şangay Limanı: Çin'in Şangay şehrinde konumlanan liman, dünyanın en büyük limanı ünvanına sahiptir. Liman yaklaşık 4 km^2'lik bir alanı kaplamakta ve Çin'in birçok eyaletine ulaşan Yangtse Nehri ile bağlantısı bulunmaktadır. Bu nedenle limanın Çin denizlerine ve dünya okyanuslarına geniş erişim sayesinde konteyner elleçleme istatistikleri her yıl artarak rekor kırmış; 2019 pandemi öncesi dönemde Şangay limanı konteyner elleçlemesi 40 milyon TEU'yu aşmıştır (Chen, 2021; Shiphub, 2023).

Le Havre Limanı: Fransa'nın ikinci, Kuzey Avrupa'nın ise beşinci büyük limanıdır. Liman, doğudan batıya 27 kilometre, en geniş yeri ise kuzeyden güneye 5 kilometre uzanan bir alanı kapsamaktadır. Le Havre Limanı, konteyner trafiğinde için Fransa'nın en önemli limanı konumundadır ve Fransa'nın ham petrolünün neredeyse yarısı bu limandaki terminallerden geçmektedir. Le Havre Limanı ayrıca ülkenin karayolu, demiryolu ve iç su yolu ağlarına doğrudan bağlantılara sahiptir. Liman, dünya kargo ticaretinin yaklaşık %25'ini temsil eden İngiliz Kanalı ve Kuzey Denizi ticaret yollarında seyreden gemiler için ilk uğrak limanlardan biridir (WPS, 2023a).

Hong Kong Limanı: Çin'in güneyine açılan bir deniz kapısı görevi gören Hong Kong limanı, konteyner gemilerinin elleçlenmesi ve işletilmesi açısından dünyanın önde gelen limanlarındandır Hong Kong, dünyanın en işlek ve en verimli uluslararası konteyner limanlarından biri konumundadır. Limanda 2022 yılında yaklaşık olarak 17 milyon TEU konteyner elleçlendiği belirtilmektedir (Mohit, 2018). Ayrıca aynı yıl Kwai Chung-Tsing Yi Konteyner Terminallerinde, yaklaşık 12,9 milyon TEU'nun elleçlendiği ve bunun liman konteyner iş hacminin yaklaşık %77'sini temsil ettiği belirtilmiştir (HKMPB, 2023).

Singapur Limanı: 100'den fazla ülkede 600 limanla deniz ticareti bağlantısı sunan, dünyanın en işlek konteyner aktarma tesisi konumundadır. Ayrıca Singapur limanı dünyanın en büyük yakıt ikmali tesislerinden biridir. Aktarma faaliyetleri için en büyük merkez olarak kabul edilen liman, 2019'da yaklaşık 30,9 milyon TEU elleçlenmesine ev sahipliği yapmıştır. 2020'de, liman yıllık 37,5 milyon TEU'luk bir elleçleme kaydetmiştir. Singapur Denizcilik ve Liman İdaresi tarafından işletilen çok amaçlı terminaller Keppel, Pasir Panjang ve Tuas'ta bulunmaktadır. Pasir Panjang Terminali, 12 000 TEU ve üzeri konteyner gemilerini dahi işletebilecek kapasiteye sahiptir (Raunek, 2022).

Pusan Limanı: Güney Kore hükümetine ait olan liman, Kore yarımadasının ucunda yer almaktadır. Limanın doğu bölgesinde uluslararası ticaret, batı bölgesinde ise başlıca faaliyet olarak balıkçılığın yapıldığı iki bölüm bulunmaktadır. Liman 4 rıhtım alanı ve 6 konteyner elleçleme tesisinden oluşmaktadır. Liman, 2020'de 21,82 milyon TEU'dan fazla konteyner elleçleyen, Güney Kore'nin en büyük limanı konumundadır. Pusan Limanı Pasifik'teki limanlara ve büyük Asya limanlarına bağlayan ülke için çok önemli bir deniz geçidi konumuna getirmektedir. Ülkenin deniz yükünün %30'dan fazlası bu limandan geçmektedir (Raunek, 2022).

Bilbao Limanı: Bilbao Halici'nde yer alan liman, "Dış Liman" veya "Süper Puerto" olarak bilinmektedir. Bilbao sahilinin yaklaşık 17 kilometresini kapsayan liman 14. yüzyılın başlarından beri aktif olarak kullanılmaktadır. Yıllık yaklaşık 1 milyon TEU konteyner hacmine ve yaklaşık çeyrek milyon yolcu hacmine sahiptir. Boyut olarak, bu liman İspanya'nın en büyük limanıdır ve hem karayolu hem de demiryolu ile bağlantılara sahiptir (Menon, 2021a). 2022'de Bilbao Limanı'nda 32,7 milyon ton mal elleçlenmiştir. Aynı yıla ait konteyner sayısı ise 496 624 TEU olarak rapor edilmiştir (Port of Bilbao, 2022).

Manila Limanı: Filipinler'deki en büyük liman olma özelliğine sahiptir. Ülkedeki çoğu liman gibi, Filipin Limanlar Kurumu tarafından işletilmekte ve yönetilmektedir. Manila Limanı, 137,5 hektarlık bir alanı kaplayan doğal-yapay bir liman olarak sınıflandırılmaktadır. Liman, Manila Körfezi'nde birincil ticaret limanı olarak hizmet vermektedir. Limanın önemli bölümlerinden biri olan Manila Uluslararası Konteyner Terminali (Manila International Container Terminal-MICT), TEU hacmi açısından dünyada 38. sırada yer alan en işlek konteyner terminallerinden biridir. Yıllık yaklaşık olarak 21 000 geminin ziyaretine ev sahipliği yapmaktadır. Manila Limanı, yıllık 72 milyon yolcuya, 4,5 milyon TEU'nun üzerinde konteyner hacmine ve 75 milyon tonun üzerinde kargo hacmine sahiptir (Menon, 2021).

Yokohama Limanı: Japonya'nın hem ticari hem de endüstriyel anlamda en işlerlikli limanlarından biridir. Limanda konteyner, otomobil ve hatta yolcu gemilerinden çeşitli gemi/kargo türleri elleçlenmektedir. Japonya'nın başkenti Tokyo'ya yaklaşık 30 km uzaklıkta ve Tokyo Körfezi'nin girişine yakın bir konumdadır. Liman Japonya'daki en büyük konteyner terminaline sahiptir. Limana ait 2021 raporunda, yurt içi ve yurt dışı denizyolu kargo trafiği sonuçlarına göre, tüm kargo hacminin yaklaşık 104,8 milyon ton, konteyner yük hacmi 41,5

milyon ton ve konteyner hacminin 2,8 milyon TEU olduğu bildirilmiştir (City of Yokohama, 2023).

Kophenag Limanı: Kopenhag Limanı Kopenhag Malmo Port AB tarafından işletilmektedir. Kopenhag, yaklaşık dört milyon tüketiciye ulaşan Oresund Bölgesi'nin kalbinde yer almaktadır. Baltık Denizi bölgesindeki 100 milyondan fazla tüketiciye açılan önemli bir kapıdır. Kopenhag Limanı, yaklaşık 200 hektarlık bir üretim alanını ve yaklaşık 300 hektarlık bir geliştirme alanını kapsamaktadır. Liman, biri serbest liman statüsünde olan iki limanı bünyesinde bulundurmaktadır. Limanda toplam rıhtım uzunluğu 16,5 kilometre olup, aynı zamanda limanda 36 kilometre demiryolu hattı bulunmaktadır. Limanda 250 bin metrekarelik iki modern konteyner terminali bulunmaktadır. 2008 yılında Kopenhag Limanı'nda toplam 18 milyon ton yük elleçlendiği belirtilmiştir (WPS, 2023b).

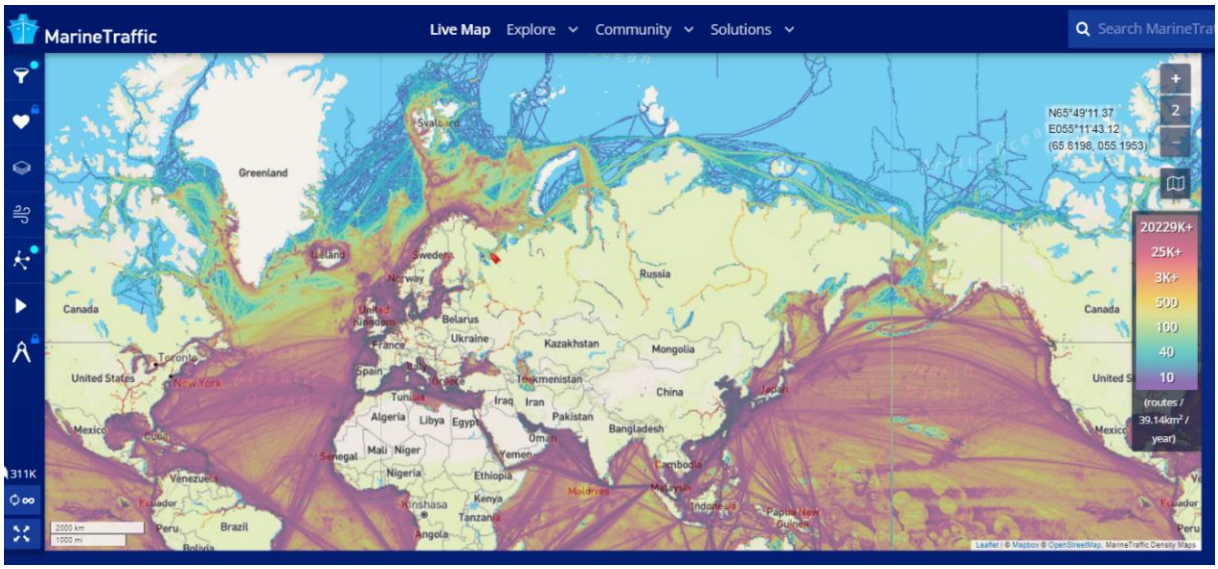
Tablo 6. Seçilen Limanların koordinat bilgileri

Ülke	Liman	Kod	Enlem	Boylam
Birleşik Krallık	Felixstowe	GBFXT	51º 57' 28" N	1º 20' 40" E
Hollanda	Rotterdam	NLRTM	51º 54' 15" N	4º 26' 32" E
Almanya	Hamburg	DEHAM	53º 32' 51" N	9º 58' 9" E
Fransa	Le Havre	FRLEH	49º 29' 9" N	0º 6' 25" E
İspanya	Bilbao	ESBIO	43º 20' 23" N	-3º -2' -49" W
Danimarka	Kopenhag	DKCPH	55º 42' 13" N	12º 35' 52" E
Singapur	Singapur	SGSIN	1º 14' 21" N	103º 49' 56" E
Çin	Şanghay	CNSHG	31º 24' 0" N	121º 29' 49" E
Çin-Hong Kong (ÖİB)	Hong Kong	HKHKG	22º 17' 41" N	114º 10' 12" E
Güney Kore	Pusan	KRPUS	35º 5' 53" N	129º 2' 8" E
Japonya	Yokohama	JPYOK	35º 27' 27" N	139º 38' 4" E
Filipinler	Manila	PHMNL	14º 37' 52" N	120º 58' 19" E

Tablo 6'da koordinatları belirtilen limanların seçiminde NSR'yi kullanma potansiyeline göre ana ekonomik bölgenin en kuzeyi – en güneyi olabilecek noktalarının oluşturulması amaçlanmış ve lojistik avantaj-dezavantaj durumunun bölgedeki diğer liman kentleri için referans oluşturması amaçlanmıştır. Ardından seçilen ülkelerin limanları ile SCR kullandıkları

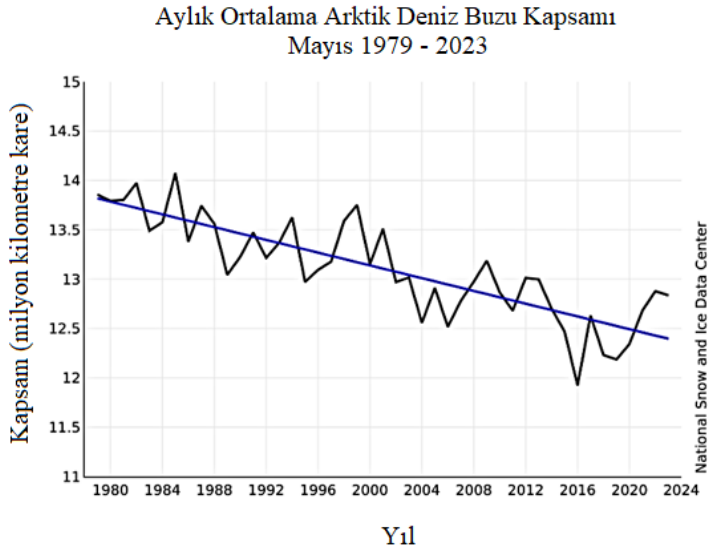
durumdaki nakliye mesafeleri, Lloyds Denizcilik Atlası (2005) ve geleneksel denizcilik haritaları ile elde edilmiştir.

NSR güzergahı için (ve TSR) seçilen limanların koordinatları MapInfo Pro. 16.0 ve Google Earth Pro. CBS programı ile Dünya haritası üzerinde işaretlenmiştir. Limanlar arası mesafelerin belirlenmesi için liman ikililerinin birleştirilmesi amacıyla ilk olarak geçmiş AIS gemi yoğunluk haritası verilerinden derlenen gemi izleri Google Earth Pro. programına işlenmiştir. Şekil 12'de Marinetraffic servisinden sağlanan 2022 AIS verilerine göre toplam gemi yoğunluk haritası yer almaktadır.



Şekil 12. 2022 AIS verilerine göre gemi yoğunluk haritası (MarineTraffic, 2022)

Oluşturulan rotaların tur izdüşümleri MapInfo Pro. 16.0 programında gölge ızgaralar olarak boyutlandırılmıştır. Rotaların belirginleştirilmesi için Rusya iç limanlarında kullanılan dahili güzergahlarda izlenilen yollar 20 kadar geçişten elde edilen ortalama 500 mil kadar mesafenin AIS izleri takip edilerek kesiştirilen alanlar ile Avrupa liman altılısına ve Asya liman altılısına uzanacak şeklide kemer rota oluşturulmuş ve deniz mili ölçüleri doğrulanmıştır. Bulunan değerler tekli rota hesapları yapılan çalışmalar (Xu ve diğerleri, 2018) ile de uyumludur.



Şekil 13. Aylık Arktik buz kapsamı Mayıs 1979-2023 (NSIDC, 2023b'den uyarlanmıştır)

Arktikte optimal rota bulunması için ayrıca deniz buzu kapsamının değişiminin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu nedenle NASA Ulusal Kar ve Buz Veri Merkezi (NSIDC) veritabanından alınan veriler ile oluşturulan haritalar MapInfo pro ile yaklaşık 2000 deniz mili bir alanda buz koşullarının seyiri değiştirdiği hesaplanmıştır. Otografik görselleştirmede iki boyutlu düşeye çevrilmiş görüntüler MapInfo16 ve GlobbalMapper20 ile işlenmiştir. 45 yıllık uydu deniz buzu endeks verilerine göre Mayıs ayında Arktik deniz buzu kapsamındaki aşağı yönlü doğrusal eğilim, yılda 32.300 kilometrekare (12.500 mil kare) veya 1981-2010 ortalamasına göre on yılda yüzde 2.4'tür (Şekil 13). Doğrusal eğilime göre, 1979'dan bu yana Mayıs ayında 1,42 milyon kilometrekare (548.000 mil kare) buz kaybetmiştir. Son 10 yılda 2980 ile 710 arasında değişen mevsimsel buz alanı ve dolayısıyla yaz ısınması ile oluşan buzsuz Eylül ayı en neta seyir olanağının oluşturduğu dönemdir.

Optimal rota hesaplama sistemini kullanarak, dünya lojistiğinde tasarruf etkisinin değerini elde etmek mümkündür ve kullanışlı rota eşlerine göre (altışarlı bölge skalasına göre) örneğin Baltık Denizi boyunca güzergâhın dağılım noktalarında bölgenin yeni ana liman seçimi ve inşası için etüdü mümkün olacaktır. Bu sayede bölge ülkelerinin bu çekim alanlarından kendi kısa sevkiyat rotalarını oluşturmaları mümkün olacaktır.

2.3.2. Arktik deniz taşımacılığının maliyetine etki eden faktörler

Bir deniz nakliye işletmesinin maliyet hesabında göz önüne alması gerek çokça kalem ve bu kalemleri bir araya getiren, literatürde birbirinden farklı birçok sınıflandırma yöntemi bulunmaktadır. Karmaşıklığın azaltılması için genel olarak klasik işletme ekonomisi bakış açısı ile sabit ve değişken maliyetler şeklinde bir sınıflandırma yapılabilmektedir. Bu ve diğer her sınıflandırmanın temelini ise bir deniz ve gemi işletmeciliği firmasının gemi, tedarik edilen ürünler ve yönetim giderleri şeklinde üç ana faktör oluşturmaktadır (Stopford, 2016). Bu faktörlerin her birinin kimi zaman birbirlerinin alt başlıkları altında da yer bulabilen karmaşık bir finansal sınıflandırması bulunmaktadır. Gemi yatırımı, yakıt tüketimi, personel, tamir ve bakım masrafları ya da satın alınanlar grubunu oluşturan yakıt ve sarf malzemeleri, maaşlar, faiz ve diğer finans ücretlerini birbirinden ayırmak mali sınıflandırmanın işlevine göre birbirinden ayrılacak ya da birlikte hesaplanacaktır.

Bu çalışmada seçilen yaklaşım, ölçek ekonomilerinde birim maliyetler hakkında çıkarım yapılmasına olanak sağlayan giderler ve gemi boyutu arasındaki ilişkiye göre oluşturulmuştur. Böyle bir hesaplama; metreküp, kap, ton ve TEU başına birim maliyeti hesaplamak için en elverişli yöntemlerden biridir (Stopford, 2016). Maliyetleri yıllık gemi işletme, sermaye, sefer ve tarife/harç/liman şeklinde dört kategori ile sınıflandırdığımızda ve tüm bu maliyet kalemleri ilgili birime (DWT, TEU) bölündüğünde birim maliyeti elde edilecektir. Düzenli hat taşımacılığı için yapılan bir hesaplamada piyasa ekonomisine ilişkin daha net bir çıkarım yapabilmek için bu çalışmada; operasyon (işletme maliyeti), sermaye, sefer maliyeti ve tarife ücretleri olarak dört kalem maliyet türü ele alınmıştır. Diğer ücretleri oluşturan tarife değişkende kanal geçiş ücretleri ve buzkıran ücretleri olarak da değerlendirmek mümkündür. Bu durumda NSR rotası üzerinde bir Arktik konteyner hizmeti ile SCR konteyner hizmetini kıyaslamak için TEU başına yıllık maliyetlerini hesaplamak için oluşturulan fonksiyon:

$$C_{tm} = \frac{OC_t + VC_t + K_t + KDRT/SRT}{TEU_t} \qquad (2.1)$$

şeklidedir. Burada; C TEU başına yıllık maliyeti, OC yıllık işletme maliyetlerinin, VC yıllık sefer maliyetlerini, K yıllık sermaye maliyetini yıllık TEU sayısı, t ise yılı ifade etmektedir. KDRT, Kuzey Deniz Rotası Tarifeleri ve SRT ise Süveyş Rotası Tarifeleridir.

Operasyon giderleri, bir geminin günlük işletme masrafları; personel, kumanya, bakım gibi çalışan bir gemi için ortaya çıkan maliyettir. Kimi zaman operasyon maliyetleri altında ele alınan periyodik bakımlar ve diğer klas ve sörvey giderleri beş yıllık periyoda uygun olarak oranlanarak ve amortisman ile sermaye maliyeti altında hesaplanabilmektedir. Sermaye maliyetlerinin asıl kısmı olan gemi tedariğinin, nasıl finanse edildiğine bağlı olarak ödeme, borç ve faiz finansmanı şeklinde alt kalemleri mevcuttur.

Sefer maliyetleri, genellikle bir değişken maliyet grubu olarak belli bir sefere ilişkin yakıt, harçlar ve kimi zaman diğer masraflar olarak da ele alınabilen kanal geçiş ücretleri, liman, yük elleçleme ücretleri gibi maliyetlerden oluşur. Bir nakliye maliyet modeli içerisinde giderlerin %40'ını oluşturan sefer maliyetlerinin kendi içerisinde tek başına %60'ını ise yakıt maliyetleri oluşturmaktadır (Stopford, 2016). Daha konforlu bir durum tespiti ortaya koymak ve daha anlaşılır bir kıyaslama yapabilmek amacıyla tarife ücretlerinin ayrıldığı modelde, toplam sefer maliyetini yakıt tüketiminin değişkenliği ve piyasa yakıt fiyatlarının (bunker price) durumu belirleyecektir. Sağlıklı bir kıyaslama yapabilme için sefer maliyetini, yakıt tüketimi olarak NSR ve SCR kademelerine göre ele almak gerekecektir.

2.3.2.1. Yakıt maliyeti

Deniz taşımacılığı, hem ekonomik hem de çevresel faktörler düşünüldüğünde çeşitli maliyetleri ve sorunları beraberinde getirmiştir. Bu maliyetlerin en büyük kısmını yakıt maliyeti; yer değiştirme ve servis hızı faktörleri ile yakıt tüketimi oluşturmaktadır. Ayrıca sefer maliyetini rota uzunluğu ve deplasman faktörleri de arttırmaktadır ve yakıt tüketiminin hız artışına göre geometrik olarak değiştiği gözlemlenmiştir (Chrzanowski, 1989; Notteboom, 2006). Dolayısıyla, yakıt tüketiminin optimizasyonu bu maliyetleri düşürebilir. Servis hızı, yakıt tüketimini doğrudan etkileyen parametrelerden biridir, bu nedenle deniz ticaretinde gemilerin optimum hızına göre planlama yapılmaktadır. Geliştirdiği gemi kaynaklı emisyon salınımı hesabındaki çalışmasında bazı gemi tiplerinin optimum gemi hızlarına yer veren Trozzi ve Vaccaro (2006) normal deniz koşullarında örneğin; dökme yük gemileri için 14,32, kuru yük gemileri için 14,29 ve konteyner gemileri için 19,09 referans değerlerini kullanmıştır. Bunun dışında yakıt tüketim maliyetlerini, gemini yaşı, gemi makinesinin tipi ve beygir gücü, hava ve

deniz koşulları, kullanılan yakıtın cinsi ve yakıtın birim fiyatına göre değişmektedir (Yıldız, 2008). Arktik seferi yakıt maliyeti (ASYM) için T zamanda gerçekleşen NSR güzergâhında yakıt (F) maliyetini bulmak için FC ile gösterilen yakıt tüketimi fonksiyonu:

ASYM = FC (T . F)

$$Y(v) = \lambda \,.\, v^{\Omega} \qquad (2.2)$$

$$\lambda > 0;\ \Omega > 1$$

λ gemi motorlarının sahip olduğu özgün bir tüketim sabit katsayısıdır. Günlük yakıt tüketimi yaklaşık olarak hızın kübü ile orantılıdır (Ronen, 1982). Wang ve Meng'in (2011) çalışmalarında verdiği 3000 TEU, 5000 TEU ve 8000 TEU üç konteyner gemisinin ortalama hız (knot) ve tüketim tabloları ile yapılan regresyon hesapları ile yakıt tüketim fonksiyonunda Ω kuvvetinin konteyner gemileri için 2,7 ile 3,3 arasında olduğunu geçmiş veriler ile belirlemiş ve hızın kübü ile orantılı olduğu saptamasını doğrulamıştır. Ancak seferin belirli bir kısmının deniz buzu alanlarından geçeceği hesaplamalar için fonksiyon yeniden değerlendirilmelidir. Çünkü buzlu seyir için kullanılacak olan buz sınıfı gemiler (ice class) ve buzkıran gemiler eşliğinde seyir daha yavaş bir hız, ekstra güç ve ekstra zaman gerektirecektir.

2.3.2.1.1. Buz koşullarının yakıt tüketimine etkisi

Buz koşulları nedeniyle ortaya çıkan ekstra güç ihtiyacı ve hız değişimi yakıt tüketim fonksiyonun çalışmaya uygun hale getirilmesini gerektirmiştir. Dolayısıyla seyirin buzkıran gemiyle olduğu, olmadığı ve buz sınıfı gemilerin kullanıldığı durumların fonksiyona eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda *b* buzlu rotayı tabir etmek üzere;

$$ASYM = FC\ (T \,.\, F + T_b \,.\, F_b) \qquad (2.3)$$

Şeklinde olacaktır. *Fmaks,* maksimum hızında seyreden bir geminin maksimum yakıt tüketim oranı, *Ps,* buz direncinin üstesinden gelebilmek için gereken ek güç *BHPmax,* ana makinenin maksimum güç çıkışı ve *a* buz sınıf gemiler seyir halindeyken neden olduğu ek yalıt tüketim katsayısı olmak üzere buz direncinin de hesaba dahil edilmesi ile;

$$F_b = F_{maks}\ \left(a_1 \frac{Vb^3}{Vmax^3} + \frac{PS}{BHPmax}\right) \quad (2.4)$$

λ sabit değeri buzlu ortamda yapılan seyir ve hava koşullarının oluşturacağı ekstra güç nedeniyle şu şekilde açılmıştır.

$$F_b = F_{maks}\ a_1 \frac{Vb^3}{\mathrm{V}max} \quad (2.5)$$

Dolayısıyla;

$$\mathrm{ASYM} = \mathrm{FC}\,.\ F_{maks}(T_b \left(a_1 \frac{Vb^3}{Vmax^3} + \frac{PS}{BHPmax}\right) +\ T\ .a_1 \frac{V^3}{Vmax^3} \quad (2.6)$$

Denklemde belirtilen T_b seyrin buzlu aşama etabında harcanan zaman (gün), *T* buzsuz aşama zamanıdır. *PS* hesaplanırken kural kanal direncinin, pervane çapının ve pervane sayısı, tipi veya makinesine göre değişen katsayısı ile yapılan bazı matematiksel işlemler söz konusudur. Bu işlemler sabit/kumanda edilebilir pitch pervane veya elektrikli, hidrolik tahrik makine tipleri için değişen katsayılar ile formülüze edilir. Kural kanal direnci ise pruva tarafından yeri değiştirilen ve orta gövdeye karşı yana hareket ettirilen sert buz tabakasının kalınlığı ile geminin ölçüleri ile orantılı bir dizi hesaplama gerektirmektedir. Literatürde balp pruvalı gemiler için daha önceden doğruluğu kanıtlanmış birçok çalışma mevcuttur. Lasserre (2014); yıl boyunca Kuzeybatı Geçidi/Süveyş döngüsüne göre günlük tüketim oranını 78,76 mt/gün, Liu ve Kronbak (2010); yılda 91 gün 98 mt/gün, 182 gün 93 mt/gün ve 274 gün 87 mt/gün, Solakivi ve diğerleri (2017); sabit bir günlük tüketim oranında buz sınıfının %10 fazla olduğunu belirtmiştir.

Ancak denizcilik ekonomisinde buz kırmanın maliyet yapısı bilgisi yetersizdir. Bu tür bilgiler, yatırım kararları, kurumsal kaygılar, hizmetlerin etkin fiyatlandırılması ve finansman tasarımı ve bunların ücretsiz olarak sağlanmasının etkilerinin analizini kapsayan bir dizi belirsizliğe neden olmaktadır. Bu nedenle Lindborg ve Andersson (2020), yaptıkları çalışmaların ortalama bir operasyonunun sosyal marjinal maliyetinin 6476 Euro ve her gemi için 5304 Euro olduğu tahmininde bulunarak, buz kırıcılar için çalışma saati başına 907 Euro ve bir gemiye yardım edilen saat başına 1990 Euro olduğu sonucuna varmışlardır.

2.3.2.1.2. Hava muhalefetinin yakıt tüketimine etkisi (ekstrem)

Daha önce kullanılan birçok yakıt tüketimi formülünde hava koşullarından etkilenen geminin harcadığı ekstra enerji için bilinmesi gereken önemli bir değişken olan deplasman tonajı kullanılmamış (Alderton, 1981; Ronen, 1982; Chrzanowski, 1989) ya da pervane yasasına göre geliştirilmiş fonksiyonlar temel alınmıştır (Rankine, 1865; Greenhill, 1888; Froude, 1889).

Barras (2004), ise geminin ağırlığını ihmal etmeyen yakıt tüketimi için bir formül yayınlamıştır. Ardından formül yakıt tüketiminin birçok dolaylı hesaplamalarına dahil olmuştur. Notteboom ve Carlou (2013), formülün yavaş hız uygulamalarının etkilerini araştırmış ve yakıt tüketimi karşılığında taşıyıcılar tarafından ödenen BAF'yi (Bunker Adjustment Factor-Bunker Düzenleme Faktörü) de analiz etmişlerdir. Khor ve diğerleri (2013), ultra konteyner gemilerinin hızını optimize etmek için bir model kurarak 19,5 knot'luk bir optimum hız bulmuştur. Doudnikoff ve Lacoste (2014), SECA (Sulphur Emission Control Area-Sülfür Emisyonu Kontrol Alanı) içindeki ve dışındaki toplam taşıma süresi ile CO_2 emisyonları arasındaki hız ve maliyet etkinliği farklılıklarını ortaya koymuştur.

2.3.2.1.3. Hava şartlarının fonksiyonu

Hava durumu, geminin tahriki için kullanılan enerjiyi etkiler. Bu nedenle rota hesabı yapılırken hava koşullarının da dikkate alınması gerekmektedir. Geminin rotası ne kadar uzun olursa, hava koşullarının dönüşünde o kadar fazla esneklik sağlanabilir. Bu bağlamda kıtalararası okyanus geçişlerinde hava koşullarına göre rotasyon operasyonel bir önlem olarak alınabilir (Eide ve Endersen, 2010). Ancak, hava koşulları rota belirlemede verimlilik açısından yüksek bir potansiyele de sahiptir. Çünkü yakıt tasarrufu sağlamanın yanında geminin performansını da artırabilmektedir. Ancak tam tersi bir durumda yakıt tüketimini arttırıcı bir etkiye sahip olacaktır. Pruvadan alınan kuvvetli bir rüzgar gemi direncini ortalama %10 oranında artıracaktır ve hava durumuna göre rota belirlenirken enerji tasarrufuna %0,1 ila %4 arasında katkı sağlayabilecektir (Talay ve diğerleri, 2013).

Rüzgar ve dalgalar bir geminin ana gövdesi, su üstü kısmı ve yapısal direnci rüzgarın yönüne ve hızına bağlı olarak değişmektedir. Dolayısıyla rüzgarlı hava koşullarındaki direnç, hem sakin hava direncini hem rüzgar hem de rüzgar kaynaklı dalga ek direncini içermektedir. Gemi yüzeyine etki eden rüzgar kuvveti; geminin hızını değiştirerek geminin yalpalamasına

veya trim yapmasına neden olmaktadır. Söz konusu rüzgar kuvveti aslında sürekli olmayıp, genellikle aralıklıdır ve şiddeti de bir dalga kuvvetidir (Erat, 2014).

Geminin çalışacağı güzergahların önceden belirlenmesi ile rüzgar etkisinin tahmini gemi yapısı modellenerek yapılabilmektedir. Rüzgar tüneli testleri ya da sayısal rüzgar kuvvetinin tahmini sağlayan birçok yöntem bulunmaktadır (Haddara, 1999). Reynolds Sayısı, rüzgar etkisinin sistem içerisinde bir değer olarak ölçülebilir hallerinden biridir. Bu sayede gemi operasyonları boyunca elde edilen değerler Reynolds eşitliğini kullanarak 23 ölçek modellemesi ile yaklaşık bir değere ulaşmayı sağlamaktadır (Blendermann, 1990). Bu modellerden biri de Beaufort Rüzgar Ölçeğidir. Tablo 6'da rüzgar hızı ve dalga yüksekliği 0-12 arasında değerler verilerek sınıflandırılmış skala yer almaktadır.

Tablo 7. Beaufort skalası

Beaufort Sayısı (BN)	Rüzgar Türü	Rüzgar Hızı (knot)	Tahmini Dalga Yüksekliği (m)
0	Sakin	1	-
1	Esintili	1-3	-
2	Hafif	4-6	0,7
3	Tatlı	7-10	1,2
4	Orta	11-16	2,0
5	Sert	17-21	3,1
6	Kuvvetli	22-27	4,0
7	Fırtınamsı	28-33	5,5
8	Fırtına	34-40	7,1
9	Kuvvetli Fırtına	41-47	9,1
10	Tam Fırtına	48-55	11,3
11	Çok şiddetli Fırtına	56-63	13,2
12	Kasırga	64 ve üstü	-

Beaufort Rüzgar Ölçeğinden rüzgar tipi ve şiddeti (yoğunluğu) belirlendikten sonra ikinci adım rüzgar yönü etkisinin belirlenmesidir. Hava sürüklenmesinin belirlenmesinde rüzgar yönünün belirlenmesi şarttır. Bu amaçla gemilerde rüzgar gücünü ve yönünü belirlemek için anemometreler bulunmaktadır. Rüzgar şiddetinin 7 BN'den (Beaufort Number) büyük olduğu durumlarda pervanenin su üzerine çıkma ihtimalinden dolayı hız kayıpları meydana gelebilmekte ve bu nedenle 6 BN'den büyük değerlerde kimi zaman hesaplamalar doğru sonuç vermeyebilecektir (Kwon, 2008). Beaufort ölçeğinin hız kaybına etkisinin anlaşılması için *m*

ve *n* olmak üzere iki tür Aertssen Sayısı oluşturulmuştur (Molland ve diğerleri, 2011). Tablo 8'de BN 5 ila 8 arasındaki değerlerine karşılık gelen Aertssen Sayılarına yer verilmiştir.

Tablo 8. Beaufort skalasına göre Aertssen sayıları

Beaufort Sayısı	Baştan Gelen Dalga	Baş Omuzluktan Gelen Dalga	Bordadan Gelen Dalga	Kıçtan Gelen Dalga
5	*m*=900; *n*=2	*m*=700; *n*=2	*m*=350; *n*=1	*m*=100; *n*=0
6	*m*=1300; *n*=6	*m*=1000; *n*=5	*m*=500; *n*=3	*m*=200; *n*=1
7	*m*=2100; *n*=11	*m*=1400; *n*=8	*m*=700; *n*=5	*m*=400; *n*=2
8	*m*=3600; *n*=18	*m*=2300; *n*=12	*m*=1000; *n*=7	*m*=700; *n*=3

Aertssen sayıları kullanılarak aşağıdaki formül ile hız kayıpları yüzde olarak hesaplanabilir (Molland ve diğerleri, 2011):

$$\frac{\Delta V}{V} x\ 100\% = (\frac{m}{L_{pp}} + n) \quad (2.7)$$

$$\mu i : BN \rightarrow M \times N \quad (2.8)$$

$$\mu i(b) = (m, n)$$

L_{pp} dikeyler arasındaki uzunluk ve $\Delta V/V$ hız kaybıdır. Yukarıdaki tabloya göre Beaufort sayıları (BN) kümesi ile Aertssen sayıları ($M \times N$) kümesi arasında bir μi (μ_1 baş, μ_2 pruva, μ_3 borda ve μ_4 kıç) fonksiyonu formül 2.8 şeklinde tanımlanır (Mersin, 2016).

Kuzey Denizi Rotası üzerinde Arktik amplifikasyonun tam etkisinin belirsizliğini koruması ve doğal atmosferik değişkenliğe göre deniz buzu kaybı, termodinamik zorlanma, değişen yüzey ısı akışları ve büyük ölçekli sıcaklık ve basınç gradyanları yoluyla da hava olaylarına katkıda bulunmaktadır. Ancak hava durumunun atmosferik dinamiklerdeki içsel kaymalar- jet akımının konumu, gücü ve karakteri, engelleme ve stratosferik kutupsal girdabın (SPV) değişkenliği- doğrudan nedenleri ve etkileri belirsizleşmektedir (Overland ve diğerleri, 2021). Bu nedenle hava tahminlemenin zor olmasına rağmen, 7 günü kapsayan kısa vadeli deterministik tahminler sağlayan NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration)

ve Birleşik Krallık Met Ofisi (Global Atmospheric High-Resolution Model) verilerinden üretilebilmektedir. Hava sıcaklığı, rüzgar, dalga, okyanus akıntısı ve su sıcaklığı için tahmin verileri 168 saate kadar, her 12 saatte bir güncellenmektedir.

2.3.2.1.4. Hız kaybı fonksiyonu ve yakıt tüketimine etkisi

Hız kaybı yüzdesi μi fonksiyonu kullanılarak bir fonksiyon ile tanımlanabilir. Yani;

$$\alpha: \mathbb{R} \times \mathbb{R} \times B \rightarrow \mathbb{R}$$

$$\alpha\ (v, L_{pp}, \mu i(b)) = v \times \left(\frac{(100-n)\times Lpp - m}{100 \times Lpp}\right) \quad (2.9)$$

burada v, geminin hızıdır.

Deplasman, zaman, hız ve rüzgar direnci geminin yakıt tüketimini etkileyen önemli parametrelerdir. Bu nedenle, yakıt tüketimi için oluşturulan formülün bu parametreleri içermesi gerekir. Ayrıca yakıt tüketimi geminin ağırlığına göre artan bir fonksiyondur (Barras 2004). Bu nedenle çalışmadaki yakıt tüketimi için Barras'ın (2004) geliştirdiği ve gemi ağırlığı (deplasman) dikkate alan 2.10'daki yakıt tüketimi fonksiyonun kullanılmasının daha doğru olacağı anlaşılmıştır.

$$C\ (\nabla) = \lambda .\ v^3\ .\ \nabla^{2/3} \quad (2.10)$$

Gemileri her limanda ve seyir halinde yakıtın yanması sonucu gemi ağırlığı değişecektir. Üzerindeki yükün ihmal edilmemesi gereken bu fonksiyonun zamanla azalan bir fonksiyon olması gerekecektir. Çünkü geminin ağırlığı tükettiği yakıt oranında zamanla azalmaktadır. Yani bu fonksiyon şu şekilde kullanılmalıdır (Mersin, 2020);

$$C\ (t) = \lambda .\ v^3\ .\ \nabla(t)^{2/3} \quad (2.11)$$

Bu eşitlikte λ değeri geminin türüne göre değişen bir sabittir. Buharlı gemilerde bu değer 110.000^{-1} iken dizel makineli gemilerde yaklaşık olarak 120.000^{-1} alınmaktadır (Barras, 2004). Limanlar arasındaki mesafe d ve v hızıyla seyreden bir gemi için seyir süresi $t_{sailing} = d/v$ şeklindedir. Böylece, yakıt tüketimi formülü parametre değiştirilerek modifiye edilebilir

(Mersin, 2020). Ayrıca, seyir süresi net hıza bağlıdır, yani $v_{net} = v_{ship} - v_{wind}$. Bu hız, hız kaybı fonksiyonu ile hesaplanabilir.

$$v_{net} = \alpha\ (v, L_{pp}, \mu i\ (b)) = v\ x\ (\frac{(100-n)\times Lpp-m}{100\times Lpp}) \Rightarrow t_{sailing} = d\ /v \times (\frac{100\ \times Lpp}{(100-n)\times Lpp-m}) \quad (2.12)$$

Yani, $t_{sailing}$ zamanındaki yakıt tüketimi:

$$C(t_{sailing}) = C\ (\frac{d}{v} \times \frac{100\ x\ L_{pp}}{(100-n)\times Lpp-m}) = \lambda.\ v^3\ .\ (\nabla\ (\ d/v \times \frac{100\ x\ L_{pp}}{(100-n)\times Lpp-m}))^{2/3} \quad (2.13)$$

Bu formül 0'dan $t_{sailing}$'ye entegre edilirse; toplam tüketimi sağlar. Bunun anlamı,

$$C_{total}\ (\frac{d}{v} \times \frac{100\ x\ L_{pp}}{(100-n)\times Lpp-m}) \ = \lambda.\ v^3.\ \int_0^{\frac{d}{v} \times \frac{100\ x\ L_{pp}}{(100-n)\times Lpp-m}} (\nabla(\tau))^{2/3}dt \quad (2.14)$$

Bununla birlikte, bir geminin t anında yer değiştirmesi (Mersin ve diğerleri, 2017);

$$\nabla(t) = [\ \sqrt[3]{\nabla(0)}\ -\ \frac{\lambda.v^3\ t}{3}\ ]^3 \quad (2.15)$$

Yani, yukarıdaki integralin sonucu son hali ile aşağıdaki şekilde olur.

$$Ctotal(t) = \nabla(0) - \nabla\ (\frac{d}{v} \times \frac{100\ x\ L_{pp}}{(100-n)\times Lpp-m}) \quad (2.16)$$

∇ gemi ağırlığı sayısı için genellikle standart gemilerin deplasmanı bilinmektedir. Ancak pratikte gemi ile ilgili sunulan dedveyt (DWT) tonajdır. Modelde çalıştırılacak gemiler için eğer deplasman bilinmiyor ise DWT ile deplasman arasındaki korelasyona dayalı bulunan bağıntılardan biri kullanılabilir. Bu çalışmada kullanılan formül gemilerde (DWT) ile boş gemi kütlesi (lightship) arasındaki ilişkiye dayalı kurulan:

$$Deplasman\ (\nabla) = a.\ DWT^b \quad (2.17)$$

formülü şeklindedir. Gemi türlerine göre değişen *a* ve *b* sayılarından, konteyner gemileri için *a* sayısı 2,05 ve *b* ise 0,96 olarak alınmaktadır.

2.3.2.1.5. Emisyon tüketimi ile yakıt maliyeti ilişkisi

Bir geminin zaman kayıpları ile beraber yakıt tüketimi ile orantılı olarak artan diğer bir maliyet kalemi de CO_2 salınım vergisidir. Tüm bu masrafların toplamı hesaplanırken geminin bir *i* limanından *j* limanına gitmesi için gerekli olan yakıt miktarı bulunmalı yani sefer süresi ile yakıt tüketim miktarı çarpılmalıdır. Ardından yakıtla doğru orantılı şekilde CO_2 salınımları daha açığı bu miktar ile orantılı bir çevre vergisi değeri bulunmaktadır. Bu vergi (Kim, 2012);

$$\theta . e . Q_{i,j} = \frac{1}{24} \theta . e . \lambda . d_{ij} . v^{\Omega - 1} \tag{2.18}$$

ile hesaplanır. Burada θ, CO_2 miktarında uygulanan emisyon birim vergisi; e ise tüketilen yakıt başına CO_2 salınım değeridir. Bu eşitlikler ile *si* sabit maliyeti eklendiğinde *i* limanından *j* limanına *v* hızında giden bir geminin yakıt tüketimi maliyeti (Kim, 2012)

$$C_{ij} = s_i + \frac{1}{24} \left[(\theta . e + \rho_i) . \lambda . d_{ij} v_{ij}^{\Omega - 1} + c . \frac{d_{ij}}{v} \right. \tag{2.19}$$

şeklinde saatlik olarak bulunmuş olacaktır.

2.3.2.1.6. Alternatif düşük emisyonlu ve katsayılı yakıtlar

Gün geçtikçe artan iklim değişikliği konusundaki farkındalıklar ve yasal düzenlemeler deniz ulaştırmasında kullanılan yakıt türlerinin de gözden geçirilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca bu yakıtların çevreci olmasının yanında bir kısmının daha ekonomik olduğu gerçeği, gelecekte tercih edilmesi muhtemel birkaç yakıt türünü daha net olarak ortaya çıkartmaktadır. Bunlara örnek olarak LNG, metanol, amonyak ve hidrojen verilebilmektedir. Arktik bölgesinde ise şu an faaliyet gösteren gemilerin kullandığı yakıtlar genel olarak; ağır yakıtlar (HFO), deniz distilatları, LNG ve nükleer güce sahip gemilerden oluşmaktadır (PAME, 2019).

Bu yakıtlardan LNG'nin ana bileşeni, en düşük karbon içeriyle ve dolayısıyla CO_2 emisyonlarını azaltma potansiyeli en yüksek olan metandır (DNV, 2023). LNG aynı zamanda yakma, depolama ve üretme teknolojisi bakımından onlarca yıldır en kullanışlı alternatif

yakıtlardan biri olarak kabul edilmektedir. Metanol ise en basit alkoldür ve sıvı yakıtlar arasında en düşük karbon içeriğine ve en yüksek hidrojen içeriğine sahip bir maddedir. Metanol, farklı hammadde kaynaklarından üretilebilmektedir. Örneğin, kömürden üretilen metanol, ucuz ve yaygın olarak bulunabilmektedir. Ancak sera gazı emisyonları, doğal gazdan elde edilenin yaklaşık iki katıdır (DNV, 2023). Yenilenebilir kaynaklardan (biyokütle) üretilen metanol emisyonları ise doğal gazdan elde edilen türüne göre önemli ölçüde daha düşüktür. Hidrojen, deniz yakıtı olarak kullanılması durumunda sıfır emisyonlu gemilerin olmasına olanak sağlayan bir enerji taşıyıcısıdır. Ancak yakıt olarak işlenmesi durumunda önemli miktarda enerji gerektirdiği bilinmelidir. "Diğer hidrojen" olarak adlandırılan amonyak, karbon içermez ve birim hacim başına sıvı hidrojenin %50'sinin üzerinde daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Ancak korozyon oluşumu, düşük alev hızı ve yüksek buharlaşma ısısı gibi dezavantajlarda mevcuttur (PAME, 2019). Bunlara ek olarak; uranyum, plütonyum ve toryum gibi maddelerle çalışan nükleer enerji, gemi tahriki için kullanılan elektriği üretmektedir. Kuzey Denizi Rotasında faaliyet gösteren Rus buzkıran filosu, bunun bir örneğidir. Nükleer üretim, sera gazı yaymaması bir avantaj sağlasa da kullanılan madde kaynaklarının kısıtlı olması, sürdürülebilir bir enerji alternatifi olarak görülmemesinin ana nedenidir.(PAME, 2019).

2.3.2.2. Sermaye maliyeti

Sermaye maliyeti, bir sefer de konuşlandırılan gemilerin sayısı ve yeni gemi inşa fiyatları ile belirlenir. Genel olarak toplama maliyetin %42'sini oluşturmaktadır (Stopford, 2016). Gemi edinimleri ile ilgili finans, değer ve faiz ilişkileri için kar ve nakit akışlar arasındaki ayrıma göre karmaşık bir muhasebe söz konusudur. Ancak toplam bir gemi sahipliği masrafını sabit bir gemi varlık hesabına, her yıl belli bir değeri (örneğin %5) katarak hesaplamak daha adil bir muhasebedir. Bir geminin amortisman değeri doğrusal olarak 20 yılın üzerinde ise maliyetlere 1/20, 20 yıl boyunca maliyetlere dahil edilerek hesaplanmalıdır. Bu hesaplama yöntemi ile "doğrusal amortisman" her yıl için bir sermaye maliyeti olarak fonksiyonda yerini alacaktır. Ancak literatürde 10 ve 15 yılı baz alan çalışmalar da bulunmaktadır.

Gemi ömrü 20 yıl alınarak, doğrusal amortisman yıllık amortismana tabii değer yeni gemi inşa maliyetinin (CS) 1/20'u olarak belirlendiği durumda bir geminin yıllık sermaye maliyeti K;

$$K = a \,.\, CS/20 \tag{2.20}$$

Burada a buz sınıfı gemiler için ek fiyat katsayısıdır. Buz sınıfı gemiler için ya bu katsayı ya da gerçek piyasa değeri kullanılmalıdır. Düzenli hat taşımacılığında bir servisi sürdürebilmek için (haftalık), bir geminin bir yılda tamamlayabileceği gidiş-dönüş sefer sayısı yaklaşık *365/(T+TS)* veya *365/(/N)* (bir doğu-bir batı) KR;

$$KR = \frac{K}{365/7N} \approx a2N.\frac{CS}{52\,.10} \tag{2.21}$$

Yıllık sermaye maliyeti denkleminde seçilen gemi fiyat tahminlerini elde etmek için literatürde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Cullinane ve Khanna'nın (1999) tahminleri direkt kullanmak yerine regresyon yöntemini ile daha güçlü bir temel sağlayarak ve kap boyutuna göre sermaye maliyetini değiştirmişlerdir. Ancak bu çalışmada gerçek değerler ile işlem yapmak istenmiştir. Bunun nedeni 2020 küresel pandemisi ile beraber gemi fiyatları 2020-21 yılarında oldukça gerilemiş ancak 2019 seviyelerinde olmasa da 2022 sonlarına doğru tekrar yükselişe geçmiştir (Clarksons, 2023). World Fleet Register (2023) değerlerine göre 2023 yılında, 2021 değeri 16 000 TEU bir gemi bu skalada 140 milyon dolardan, 115 milyon dolar değerine kavuşarak satılmıştır (Clarksons, 2023).

Bu çalışmada seçilen konteyner gemileri 5000, 8000, 10000, 12000, 14000 ve 16000 TEU açık deniz gemisi (OW) spesifikasyonudur. Buz sınıfı gemiler (IC) ise 5000 ve 8000 TEU PC3 ve 8000 TEU PC6 sınıf gemilerdir.

Ancak buz sınıfı ticari gemiler az sayıda inşa edildiğinden, piyasada yüksek derecede bir belirsizlik vardır. Piyasa da şu an daha çok modifikasyon ile buz sınıfına dönüştürülme trendi gözlemlenmektedir. Bir buz sınıfı gemisinin buz kırma işlevi için daha kalın bir cidar, ektra güç sağlayacak ikinci bir özdeş motor ve bir pervane artısı ile OW'ye göre ölçeklendirilmelidir. Temel durum için, ek elektrik ekipmanının %20 ve daha kalın çelik yapının %10 eklediği tahminine dayanarak (Smith ve Stephenson, 2013), buz sınıfı gemi fiyatları hakkında yeterli veri olmadığı için bu çalışmada PC6 için %30 ve PC3 için %35 ek değer olarak hesaplanmıştır.

2.3.2.3. Operasyon maliyeti

Operasyon maliyetleri bir geminin personel, stok ve sarf (yağ), sigorta, yönetim giderleri, günlük tamir ve bakım giderleriyle birlikte devam eden günlük masraflardır ve ortalama olarak toplam maliyetin %14'ünü oluşturur (Stopford, 2016). Bu çalışmada kanal geçişleri ve kılavuz giderleri ise ayrı bir kalem olarak fonksiyonda yer almaktadır.

Operasyon maliyeti literatürü, hesaplanan bazı oranlara göre işlem yapıldığını da göstermektedir. Liu ve Kronbak (2010), çalışmalarında işletme maliyetini gemi fiyatının %3,5'u olarak belirlemiş ve 3500 TEU bir gemi için 6100 dolar, Wang ve diğerleri (2021), aynı oran ile benzer şekilde günlük 6266 dolar, Furuichi ve Otsuka (2015) 5500 dolar bulmuştur. Zhang ve diğerleri (2016), 5100 TEU'luk bir konteyner gemisi için operasyon maliyetinin, sermaye maliyetinin yaklaşık %56'sı olduğunu öne sürmüştür. Tran ve Haasis (2015), bu oranın %16 (11000 TEU) ila %52 (1200 TEU) arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Xu ve diğerleri (2018), 5000 ile 16000 TEU arasında beş gemi boyutu için toplam operasyon maliyetini, sermaye maliyetinin %50'si olarak kabul etmiştir.

Bu çalışmada bakım maliyetleri için değerleri kesin olmayan birtakım değişkenler Arktik ve Süveyş seferleri için literatür ve endüstriye göre uyarlanarak belirlenmiştir. SCR gemisi için 5 yıllık kuru havuz bakım periyodu ve buz sınıfı gemileri için yılda bir sıklığa çıkarılmıştır ve Arktik kullanan açık deniz gemiler için de ayrı bir değer kabul edilmiştir. Buz sınıfı gemiler için çelik onarım işi de eklenmiş, ayrıca rutin bakım ve onarım masraflarına ek yedek parçalar ve ikinci motorun onarımları eklenmiştir. Temel personel maaşları her senaryo için aynı ve 2500 $ alınmıştır. Ancak Kuzey Kutbu denizlerinde seyir eden bir gemi için, bir buz pilot (günlük 673 $) (NSRA, 2023), ek bir ikinci mühendis veya ek bir makine zabiti (günlük 200 $) ve ek bir güverte gemicisi (günlük 150 $) olarak hesaplanmıştır (Wang ve diğerleri, 2021).

Her gemi türü için Makine (H&M) ve Koruma ve Tazminat (P&I) olmak üzere iki tür sigorta maliyeti öngörülmüştür. Kuzey Kutbu rotasının riskli seyir koşullarında örneğin buz çarpması veya ekstrem hava koşullarından kaynaklanan potansiyel hasarlar, sigorta ücretini büyük ölçüde etkileyecektir ve sigorta primi tahmin etmek oldukça zordur. Ancak Süveyş için de korsan saldırıları ciddi endişe kaynağıdır ve 2020 yılında yaşanan EverGreen gemisinin kanalı tıkaması vukuatı sonrası bazı rizikolar yeniden değerlendirilmektedir. Bu nedenle kimi zaman iki katı bir sigorta maliyeti kabul edilebilir görünse de bu çalışmada Li ve diğerleri

(2023), çalışmalarında en güncel piyasa sigorta primini sektör üzerinden araştırdıkları oranlar kullanılmıştır.

Liman harçları genellikle liman giriş ücreti, yanaşma ücreti, ardiye, konteyner elleçleme ve hat taşıma ücretinden oluşur. Doğu Asya ve Kuzeybatı Avrupa arasındaki SCR üzerinden konteyner gemisi operasyonu, çoklu talebin karşılaması amacıyla pragmatik olarak 10 liman ziyaret içermelidir. Ancak NSR güzergahında liner fizibilitelere ve bu anlamda literatüre göre hala net bir belirsizlik mevcuttur. Bu nedenle, bu çalışmada NSR veya SCR nakliyesinden hangisi uygulanırsa uygulansın, genellikle transit tek bir sefer için sadece yükleme limanına ve boşaltma limanına uğrama olarak ücret aynı kabul edilir. Haberleşme, ofis, sarf ve diğer harcamalar ise her durum için 1000 $ sabit olarak kabul edilmiştir.

2.3.2.4. Tarife Ücretleri

Süveyş Kanalı ücreti, geminin gross tonajına göre hesaplanan Süveyş Kanalı Net Tonajına (SCNT) göre her gemi türü için belirlenir. Süveyş Kanal Otoritesi'nin (SCA) 2023'teki %15'lik son zammı sonrası ton başına 8 $ civarı ve diğer ücretler 1000-500 $ (Liman, izin, emniyet, acente, sağlık vs. harçlar) arasıdır (SCA, 2023). Gemi işletmeciliğinde Süveyş geçişi planlanırken genellikle kargo türü, konteyner türü, TEU, emniyet maliyetleri ve diğer faktörler, Süveyş Kanalı maliyet kalemi olarak genellikle TEU başına 85 ila 100 $ arasında hesaplanmaktadır.

NSR güzergahında seyir eden buz sınıfı (ice-class) dışındaki açık deniz gemiler için (ocean going) Rus Hükümeti'nin Kuzey Denizi Rotası İdaresi (NSRA) buzkıran gemileri kullanımını zorunlu tutmaktadır. Rusya'nın içinde bulunduğu durum ve güncel politik ve ekonomik etkiler her ne kadar standart bir tarife oluşturmasını engellese de NSR ticari nakliye işletmeciler tarafından NSR ücreti ton başına 5 $ olarak ödenmektedir. Ayrıca köprüüstü vardiyasındaki gemi kaptanının, buzlu sularda asgari düzeyde seyrüsefer bilgisine (en az 15 gün boyunca buz koşullarında gemileri yönlendirme deneyimi) sahip olmalıdır. Böyle bir deneyimin olmaması durumunda, gemide bir buz pilotunun bulunması zorunludur (SOF, 2000). Kara ve Bering boğazları arasında NSR seferi için buz pilotu ücreti günlük 673 $ olarak belirlenmiştir (NSRA, 2023).

2.3.3. Buz sınıfı gemilerde risk değerleri

IMO, buz koşularında operasyonel sınırlamaları değerlendirmek için Polar Operasyonel Limit Değerlendirme Risk Endeksleme Sistemi (POLARIS) adı verilen uyumlaştırılmış bir

metodoloji geliştirmiştir. Bu sistem, buzlu seyir deneyimlerini ve en iyi uygulamaları bir araya getirmektedir. Buz koşullarında deniz trafiğini düzenleme deneyimine sahip diğer kıyı idareleri tarafından sağlanan ek girdilerle Kanada AIRSS (Arctic Ice Regime Shipping System- Arktik Buz Rejimi Nakliye Sistemi) sisteminden ve Rus Buz Sertifikası konseptinden de girdiler bir araya getirilmektedir. POLARIS'in temeli, Dünya Meteoroloji Örgütü terminolojisi ve gemiye tanımlanan buz sınıfı kullanılarak buz koşullarının gemiye getirdiği risklerin değerlendirilmesidir.

POLARIS, herhangi bir metodolojide olduğu gibi deneyimli bir kaptanın yargısının yerini alması amaçlanmasa da köprüüstünde gerçek zamanlı olarak yolculuk planlama veya gemide karar verme için kullanılabilmektedir. POLARIS, aşağıdaki hesaplamayla belirlenen bir Risk Endeksi Sonucuna (RIO) dayalı olarak buz koşullarını değerlendirmektedir:

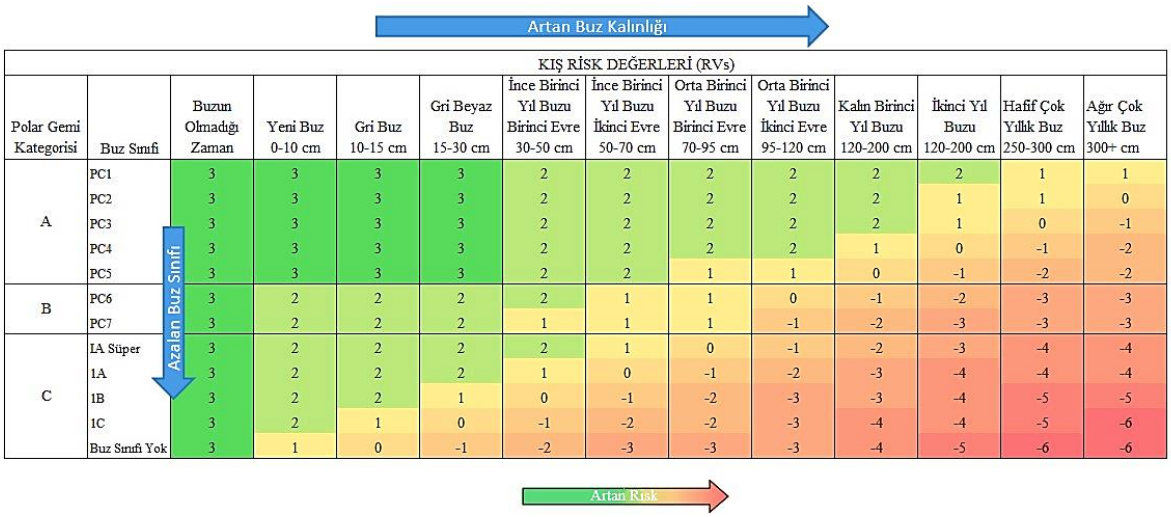
$$RIO=(C1\times RV1)+(C2\times RV2)+(C3\times RV3)+(C4\times RV4) \quad (2.22)$$

Burada;

• C1…C4 – buz rejimi içindeki buz türlerinin konsantrasyonları,

• RV1…RV4 – belirli bir buz sınıfına karşılık gelen risk indeksi değerleridir.

Pozitif bir RIO, operasyonların devam edebileceği kabul edilebilir bir risk seviyesini gösterirken; negatif bir RIO, potansiyel olarak kabul edilemez seviyelere kadar artan bir risk seviyesini göstermektedir. Negatif RIO'lar için operasyonların durdurulması ve yeniden değerlendirilmesi veya düşük hızlarda dikkatli bir şekilde ilerlemesi gerektiğini öne süren kriterler oluşturulmuştur.



Şekil 14. Kış mevsimi için POLARIS risk değerleri

Risk Değerleri (RV), buz sınıfının, çalışma mevsiminin ve çalışma durumunun (bağımsız çalışma veya buzkıran eskortu) bir fonksiyonudur. Bağımsız operasyonlar için örnek bir RV tablosu Şekil 14'de gösterilmektedir. Buna göre artan buz kalınlığı ve azalan buz sınıfı ile risk seviyeleri artmaktadır. POLARIS, yedi IACS Polar Sınıfı, dört Finlandiya-İsveç Buz Sınıfı ve buz sınıfı olmayan gemiler için risk değerleri sağlamaktadır.

3. BULGULAR

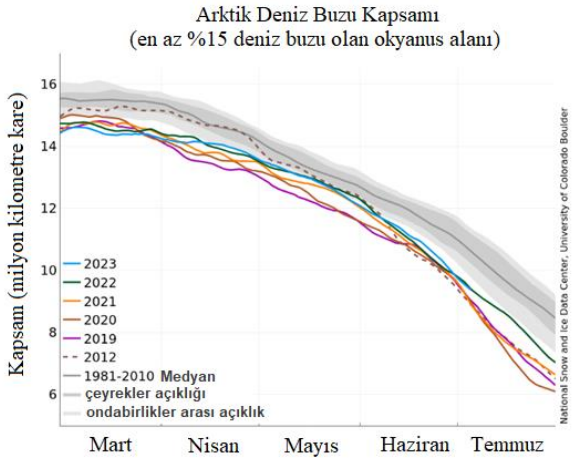
Kuzey Kutbu nakliye potansiyelinin Doğu-Batı dünya deniz ticaretindeki en özel *Supra-Polar* rotalarından biri olan NSR ekonomiklik, altyapı ve emniyet gibi tüm sınırlılıklarının yanında işlerliğini her geçen gün arttırmaktadır ve IPCC'nin RCP 4.5 ve 8,5 iklim modellerine göre 2050 itibari ile erişilebilirliğini oldukça arttıracaktır. 2100 ve daha sonrası için ise hiç buz olmayan durum için şimdiden fizibilitelere başlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda deniz buzunda öngörülen jeofiziksel değişikliklerin gemi navigasyonunu nasıl etkileyeceğine dair sayısal bir çalışmadır.

Bu amaçla Arktik deniz taşımacılığında değişiklikleri değerlendirmek için bugünkü durum, yüzyıl sonuna kadar olan iklim değişikliği senaryosu, değişen deniz buzu koşulları, gelecekte oluşacak düşük yakıt maliyeti, NSR'yi kullanan açık su gemileri ve kısmen buzla güçlendirilmiş (PC6) gemiler için Eylül ayı seyrüsefer kabiliyetini ve TSR gibi yeni bir alternatif rotanın kullanımı araştırılmıştır. İklimsel olmayan diğer birçok faktör de Arktik nakliye potansiyelini sınırlasa da bu bulguların bölge için önemli ekonomik, stratejik, çevresel ve yönetişimsel etkileri bulunmaktadır.

3.1. NSR Rota Optimizasyonu, Koordinat Seçimi ve Liman Mesafelerinin Belirlenmesi

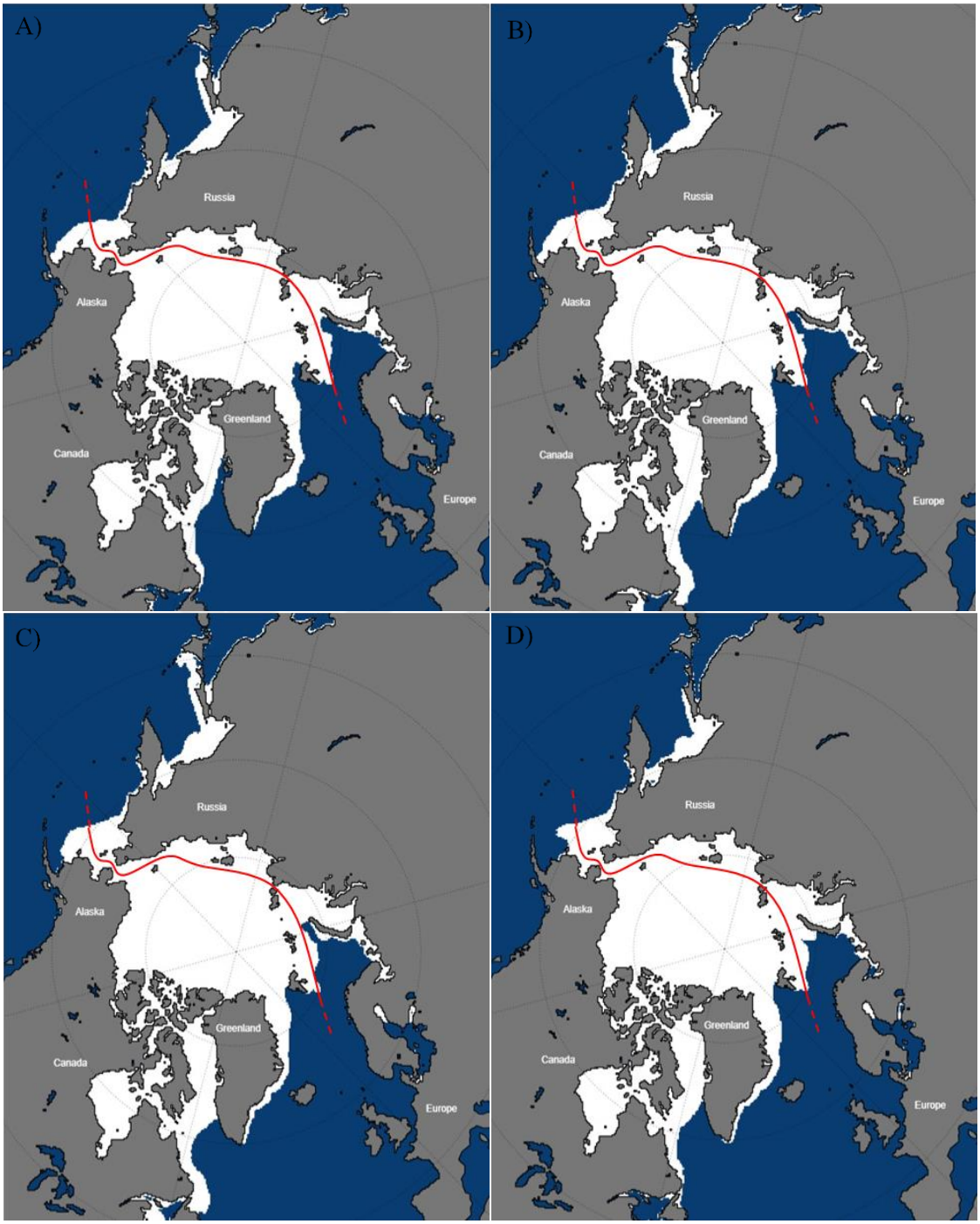
NSR'nin en batı kısmı Murmansk ile en doğudaki limanı Provideniya arasındaki mesafe olan 3184 deniz mili üzerine bu noktalardan diğer dünya limanlarının bilinen mesafeleri ek olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle NSR'ye göre mesafe ölçümünde çalışmalarda kullanılan kalıp mil ya da bu mesafe içerisinde çeşitli kombinasyonlarda yer alan 3184 ya da kısmi buz değişimi hesaba katan ve nispeten daha Arktik içerisinde kalan Chukchi Denizi ile Novoya Zemiya arasındaki 2100-2800 arasındaki kalıp mildir. Bu çalışmada, NSIDC verileri ile analiz edilen son buz verileri ile oluşturulan deniz buzu yoğunluğu analiz aracı ve aylık deniz buzu haritaları ile buz riskli alanlar yeniden hesaplanmıştır. NSIDC aylık buz kapsamlarını gösteren görseller üzerinde oluşturulan koordinat ızgarası yapılan ölçümlere ait erime ve çekinim açıklıkları ile NSR bölgesindeki deniz buzu genişliği kayıp alanı yeniden oluşturulmuştur. İklim değişikliğinin bir sonucu olarak azalan, diğer bir ifade ile süblimleşen (uçunum) ve kutup

buzul kütlesi üzerinde eriyen suyun yarattığı kaydırıcı etkiyle birlikte, bulunduğu ortamdan ayrılan ya da kayan yüzer buzulların çekinim yönü bu anlamda oldukça önemlidir. Çünkü buzdan yoksun alan, yüzer buzların olduğu alan, az katmanlı, ince-ilk yıl buzlarının ve orta yaştaki ilk yıl buzlarının olduğu alan Arktik koşullarında doğru bir navigasyon fizibilitesinin oluşturulmasının bir gereğidir. Dolayısıyla deniz buzu genişliğinin çekinim yönü, uydu verilerindeki açık deniz alanları olarak görülen yerlerin gerçek buzluluk riskinin de anlaşılacağı bir parametredir. Bunun için Şekil 15'te yer alan Arktik deniz buzu kapsamı değişim grafiğinin harita üzerinde buzluluk durumu ile ilişkisini göstermektedir.

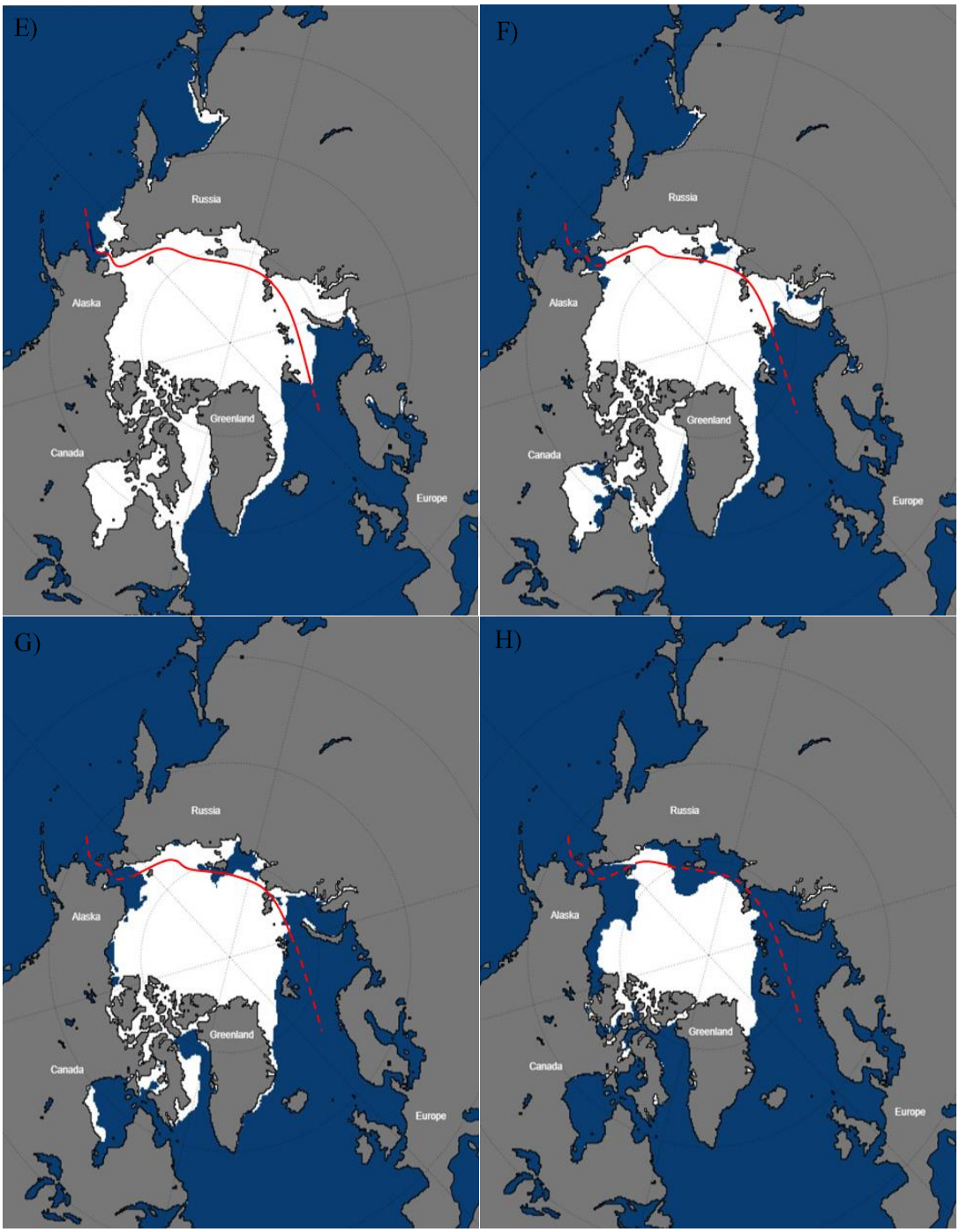


Şekil 15. Arktik deniz buzu kapsamı değişim grafiği (NSIDC, 2023b'den uyarlanmıştır)

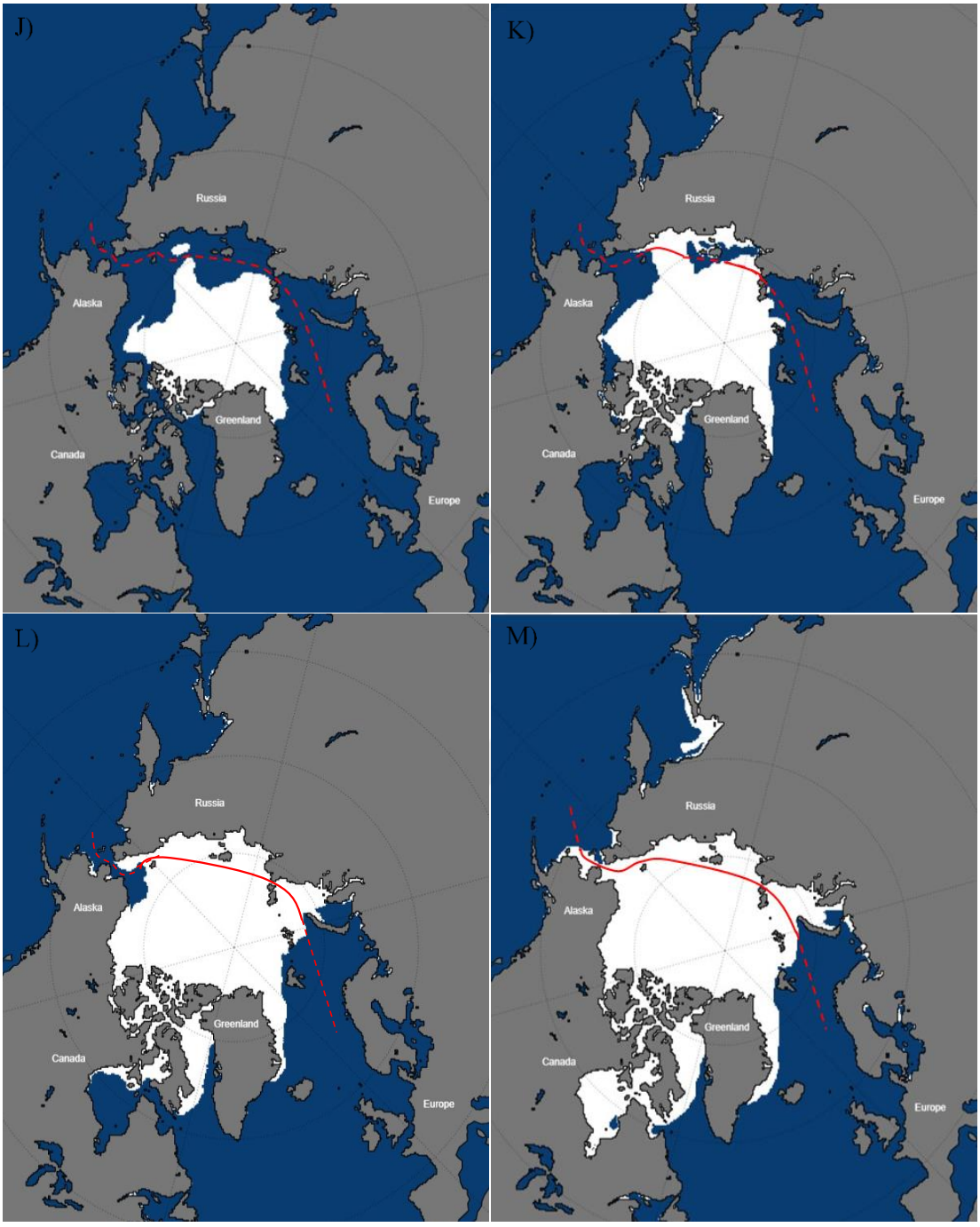
Buzul kapsamındaki bu dinamik duruma göre kütle kaybının maksimuma ulaştığı Eylül ayı deniz buzu kapsamı ortalaması, açık deniz alanını genişletmesi ve kütle kaybının diferansiyel yansımasında açtığı hatla kendisini göstermektedir. Buradaki elverişliliğinin birincil varsayımı iklim değişikliğinin etkisi ile bu durumun azalarak devam edeceği ve ilerleyen on yıllarda buzsuz (ya da minimum) bir form oluşturacak olmasıdır. Bu amaçla çalışmanın buz kapsamı geçmiş verileriyle beraber aylık kapsam genişliği durumu da analiz edilmiştir.



Şekil 16. A) Ocak, B) Şubat, C) Mart, D) Nisan, aylarına ait ortalama buz genişliği (Kırmızı çizgi NSR'yi temsil etmektedir. Kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı, düz çizgiler ise buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir) (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır).



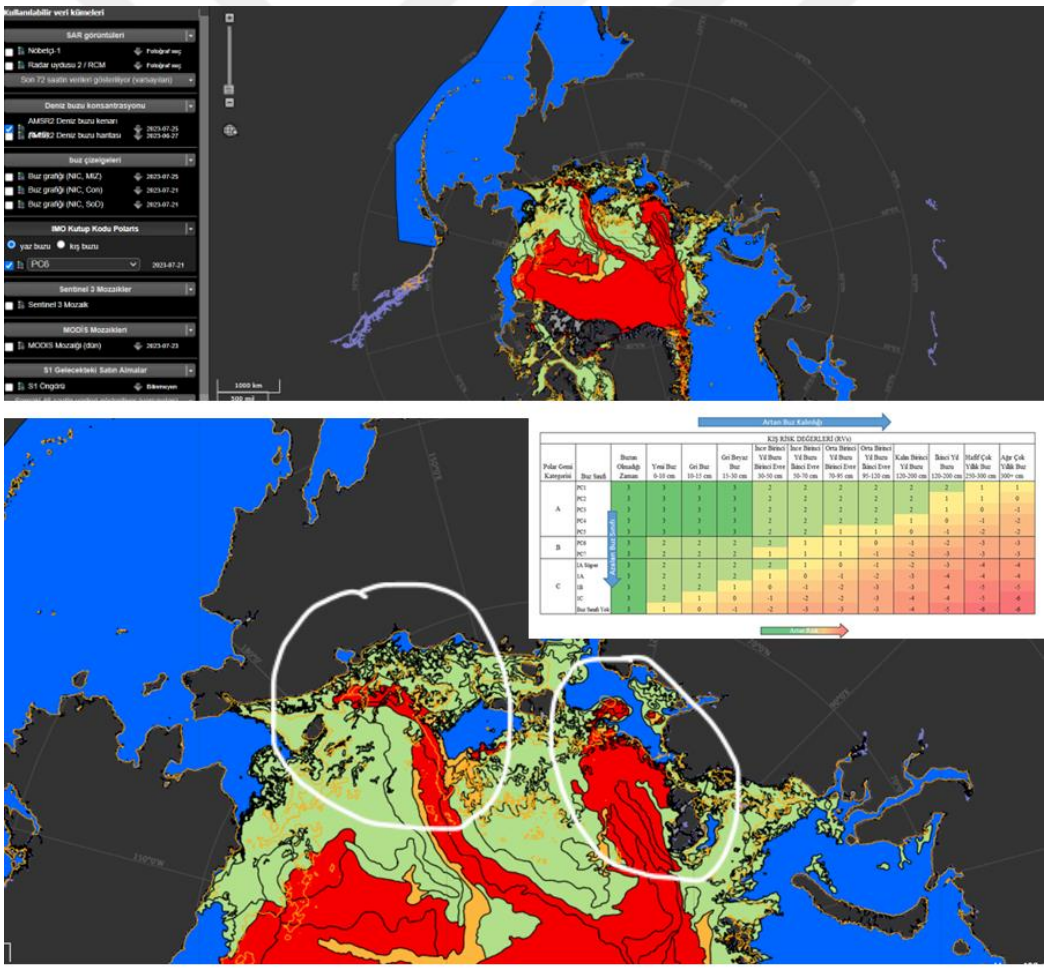
Şekil 17. E) Mayıs, F) Haziran, G) Temmuz, H) Ağustos, aylarına ait ortalama buz genişliği (Kırmızı çizgi NSR'yi temsil etmektedir. Kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı, düz çizgiler ise buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir) (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır).



Şekil 18. J) Eylül, K) Ekim, L) Kasım, M) Aralık, aylarına ait ortalama buz genişliği (Kırmızı çizgi NSR'yi temsil etmektedir. Kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı, düz çizgiler ise buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir) (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır).

Sırasıyla 2022 yılı aylarına ait Şekil 16, 17 ve 18'de verilen Arktik deniz buzu kapsamını ve çekimi gösteren haritalarda, kırmızı çizgi NSR'yi, kesikli çizgiler buz örtüsünün olmadığı alanı ve düz çizgiler buz örtüsü üzerinde kalan rotayı temsil etmektedir (NSIDC, 2023c'den uyarlanmıştır).

İkinci olarak, optimum rotanın belirlenmesinde NSR alanı; literatür, AIS transit gemi yoğunluk haritası verilerinden derlenen gemi izleri ve yine AIS Rusya iç limanlarında kullanılan dahili güzergahlarda izlenilen 20 kadar geçişten elde edilen ortalama 500 mil kadar mesafenin gemi izleri takip edilerek kesiştirilen alanlar Google Earth Pro programına işlenerek oluşturulmuştur. Bu üç değer sayesinde çıkan koridor hat, Avrupa liman altılısına ve Asya liman altılısına uzanacak şeklide bir kemer rota ortaya çıkarmıştır.



Şekil 19. NSR hattı POLARIS buz konsantrasyonları (PolarView, 2023)

Üçüncü olarak, bu çakışmalardan elde edilen kemer hat, buzluluk duruma göre seyir olanakları hakkında bilgi veren POLARIS Risk Endeksi (RIO) buz sınıfı ve açık deniz gemi skalası ile değerlendirilmiştir. Buz rejimi içindeki buz türlerinin konsantrasyonları ve belirli bir buz sınıfına karşılık gelen risk endeksi değerlerine göre Şekil 19'da örnek bir PC6 gemisi 710 nm alan içerisinde yalnızca 2 bölgede buz kırıcı kullanılmalıdır.

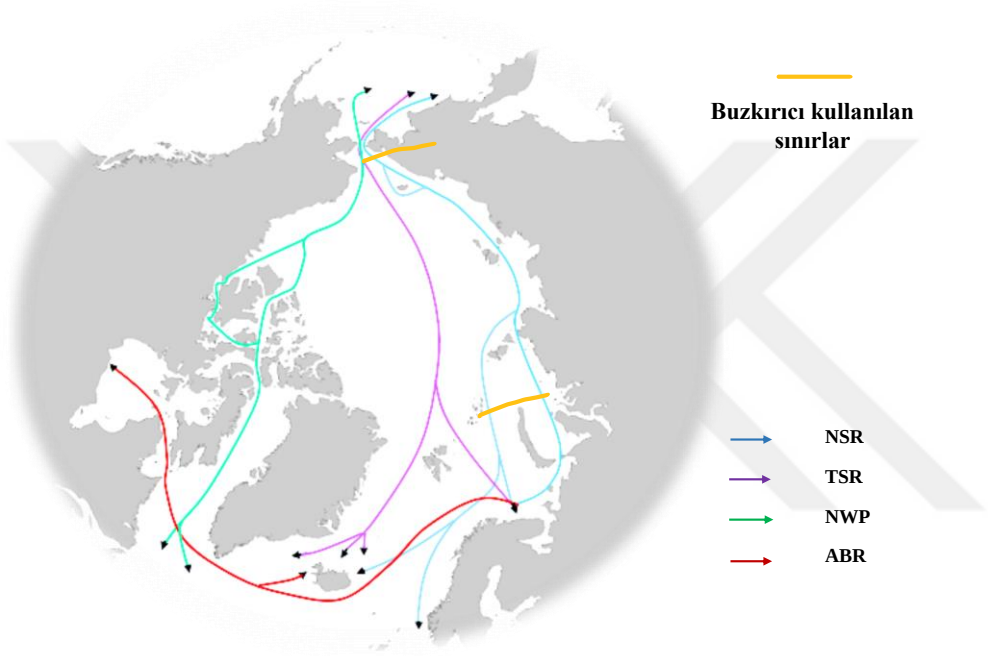
Bu sonuçlar ışığında Bering Boğazı girişi Chukchi Denizi ile Novoya Zemiya-Barents Denizi buz yoğunluğunun daha fazla olduğu ve çekinimin denizel alanları nispeten daha fazla sınırladığı alan olarak Eylül ayı ortalaması 710 nm bir kemer ortaya çıkarmaktadır. Diğer bir ifade ile her koşulda 710 nm uzunluğunda buzlu seyir alanı olarak kabul edilmesi gereken bir kalıp hat üzerinden seyir planı yapılmalıdır. Bu hat ulaştırma mühendisliği argümanlarıyla da minimum seyir emniyetinin sağlanacağı eşiği belirtmektedir.

Dördüncü olarak, kemer hat ile birleştirilen Avrupa liman altılısı ve Asya liman altılısının arasındaki uzaklıklar yeniden hesaplanmış ve deniz mili ölçüleri bağlanmıştır. Tablo 9'da verilen kemer hat ile oluşan mesafeler, tekli rota hesapları yapılan çalışmalar (Xu ve diğerleri, 2018) ile de uyumludur.

Tablo 9. Seçilen ülke limanlarının SCR ve NSR'ye olan uzaklıkları

				SÜVEYŞ KANALI ROTASI (SCR) nm					
ÜLKE	**LİMAN**	**UN/LOCODE**	**KOORDİNAT**	**SİNGAPUR**	**ŞANGAY**	**HONG KONG**	**PUSAN**	**YOKOHAMA**	**MANİLA**
İngiltere	**FELİXSTOWE**	GBFXT	51º 57' 28'' N, 1º 20' 40'' E	8219	10456	9679	10722	11111	9560
Hollanda	**ROTERDAM**	NLRTM	51º 54' 15'' N, 4º 26' 32'' E	8288	10525	9748	10791	11180	9629
Almanya	**HAMBURG**	DEHAM	53º 32' 51'' N, 9º 58' 9'' E	8541	10778	10001	11044	11433	9882
Fransa	**LE HAVRE**	FRLEH	49º 29' 9'' N, 0º 6' 25'' E	8083	10320	9543	10586	10975	9424
İspanya	**BİLBAO**	ESBIO	43º 20' 23'' N, -3º -2' -49'' E	7788	10025	9248	10291	10680	9129
Danimarka	**KOPENHAG**	DKCPH	55º 42' 13'' N, 12º 35' 52'' E	8839	11076	10299	11342	11731	10180
				KUZEY DENİZ ROTASI (NSR) nm					
				FELİXSTOWE	**ROTERDAM**	**HAMBURG**	**LE HAVRE**	**BİLBAO**	**KOPENHAG**
Singapur	**SİNGAPUR**	SGSIN	1º 14' 21'' N, 103º 49' 56'' E	9597	9586	9548	9739	10819	9513
Çin	**ŞANGAY**	CNSHG	31º 24' 0'' N, 121º 29' 49'' E	7640	7630	7592	7782	8862	7556
Hong Kong	**HONG KONG**	HKHKG	22º 17' 41'' N, 114º 10' 12'' E	8313	8303	8265	8455	9535	8230
Güney Kore	**PUSAN**	KRPUS	35º 5' 53'' N, 129º 2' 8'' E	7186	7175	7137	7327	8408	7102
Japonya	**YOKOHAMA**	JPYOK	35º 27' 27'' N, 139º 38' 4'' E	6817	6806	6768	6958	8038	6733
Filipinler	**MANİLA**	PHMNL	14º 37' 52'' N, 120º 58' 19'' E	8531	8520	8483	8673	9753	8447

NSR'yi kullanma potansiyeline göre ana ekonomik bölgelerin en kuzeyi – en güneyi olabilecek noktalarının ve lojistik avantaj-dezavantaj durumunun bölgedeki diğer liman kentleri için referans oluşturması amaçlanmıştır. Yani coğrafi erişebilirlik ölçüsünde bir mil/zaman etüdüne gidilmiştir. Ardından seçilen ülkelerin limanları ile SCR kullandıkları durumdaki nakliye mesafeleri, Lloyds Denizcilik Atlası (2005) ve geleneksel denizcilik haritaları ile elde edilmiştir.



Şekil 20. Buz Sınıfı ve Buzkıran hattı

Diğer taraftan, her ne kadar bölgenin projeksiyonel fotoğrafı ile bir NSR bağlantısı kurulmuş olsada, yıllar içerisinde ve hatta yılın her döneminde aynı olmayan buz örtüsü gibi doğal unsurlar, emniyetli deniz rotalarının güncel kutup koşullarının sürekli incelenmesinden bağımsız olamayacağını kanıtlamaktadır. Bu nedenle NSR dışında da bölge özelliklerine göre yapılan dinamik hesaplamalar ve buz koşullarının hiç olmadığı varsayılan tüm gelecek opsiyonlar göz önünde bulundurulmalıdır. Bunlar arasında Asya ve Avrupa arasındaki mesafeyi kısaltan bir diğer hat olan TSR'nin de senaryolara dahil edilmesi gerekmektedir. Şekil 20'de

tüm Arktik rotaları ve NSR hattı içerisinde yaz aylarında buz kıran kullanılması olası olan maksimum hat belirtilmiştir.

3.2. Gemi, Buzkıran ve Hız

Bir arktik nakliyesi planlaması söz konusu olduğu zaman, seferin buzla kaplı ve buzsuz aşama, buz sınıfı gemi ve açık deniz gemisi seyir opsiyonları da göz önünde bulundurulmalıdır. NSR'ın günümüz seyir olanakları doğrultusunda buzla kaplı aşama ve buzsuz aşama hız farkına dikkat edilerek, buzlu sularda seyir ve bu alana giriş çıkış yaptıkları rotaların seyrinin ayrı ayrı hesaplanması gerekmektedir. Buzla kaplı aşamadaki hız için buzkıran gemilerine dair literatür ve NSR'da buz hizmeti veren Rus filosu incelendiğinde buzkıran hızlarının 3, 4 ve 5 knot olarak kabul edildiği görülmektedir. Her ne kadar Kuzey Denizi Rotası İdaresi'nin beyanı 10 knot olsa da şu an Atomflot sınıfı Rus nükleer buzkıran filosunun da hızlarının 5 ve 8 knot aralığında olduğu bilinmektedir. Ayrıca Fin sınıfı buz kırıcıların da maksimum ortalaması 8 knottır. Ancak elbette nükleer filonun yanında, dizel motorlu buz kırıcıların çoğunun 1 m ve daha yüksek seviyedeki buzdaki hızı 3 knot veya daha düşüktür. Buz karakterizasyonun seyiri olumsuz etkileyeceği ve bu anlamda buz kalınlığının da daha yüksek olması beklenen Chukchi-Laptev Denizi arası göz önüne alındığında bu çalışmada buzkıran gemi hızlarının 3, 5 ve 8 knot olan üç senaryo kabul edilmiştir.

Liner taşımacılıkta her yolculuğun transit süresi sabit olduğundan, buzla kaplı aşama ne kadar uzunsa, geminin buzsuz aşamada hızı o kadar yüksek olmalıdır. Bir konteyner gemisinin ise maksimum hızı genel olarak 20-25 knottur. Literatürdeki çalışmaların bir kısmında buradaki ana odak bir line hizmeti planlayabilmek ve haftalık bir servisi sürdürebilmek için gerekli olan optimum gemi sayısı üzerinden, optimum hız ve ekonomikliği elde etmektir. Ancak bu çalışmaların çoğu bugün geniş kitlelerce kabul gören NSR / SCR kombine hizmetinin daha uygulanabilir olduğu sonucuna varmıştır. Bu kullanımın ise yine liner taşımacılık doğasında termin ve ara durak limanları gibi tam da yerini bulmayan ya da beklenen servisi karşılamayan yönleri vardır. Dolayısıyla değişen arktik koşulları ile NSR'ın kullanılabilirliğinin çok yönlü değerlendirilmesi ve gelecek senaryolarda politik, teknolojik ve çevresel koşulların ticaret aksının değişmesinde, gemi teknolojilerinin değişmesinde ve denizel ve ekonomik çevrenin değişmesindeki yeri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle bu çalışmada ele alınan dinamik yaklaşım ile NSR kullanımının buzlanma aşamasında hızları farklı kombinasyonların ve buzsuz aşamadaki 20-25 knot gemi hızlarının 710 ve 3184 mil için SCR ile karşılıklı

değerlendirilmesinin yanında hiç buz olmadığı durum, TSR kullanıldığı durum, düşük maliyetli yakıtların kullanıldığı durum da ele alınmıştır. Bu kombinasyonlara ait 5000, 8000, 10000, 12000, 14000 ve 16000 TEU OC ve 5000 ve 8000 TEU PC6, 8000 TEU PC IC standartlı geminin farklı kombinasyonların buzsuz açık deniz ve buzlu safhalarında harcanan zamanlar ve yakıt tüketimleri Microsoft Excel programı kullanarak hesaplanmıştır. Açık deniz (OC/OW) gemileri seçilirken şu an için transit geçişlere de müsait mil/yük değerinde okyanus ötesi ekonomiklikte gemiler, buz sınıfı gemilerin (IC/PC) seçiminde ise yeni inşası ya da modifikasyonu karlılığı karşılayabilecek ölçüde PC6 ve sert buz koşulları seyirinde de kullanılabilecek 8000 TEU PC3 gemi özellikleri dikkate alınmıştır.

Ayrıca incelenen çalışmalarda gözlemlenen bir eksiklik olarak, arktik koşullarında yapılması söz konusu bir nakliye planlamasında daha gerçekçi bir yaklaşım için hava koşullarının (kimi zaman ekstrem) her zaman göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bir sonraki bölümde yakıt tüketimi ile beraber, hava koşulları etkisi ile hız kaybı dolayısıyla ek güç (yakıt) durumu da eklenen nakliye maliyet modeline yer verilmiştir.

3.3. Nakliye Maliyeti Modeli

Bu bölümde, NSR ve SCR Arktik konteyner servisinin TEU biriminde yıllık maliyetini hesaplamak için bir maliyet modeli oluşturulmaktadır. Model: mevcut uygulama, literatür ve erişilen tarifeler ve geminin sefer masraflarını: sermaye gideri, işletme maliyeti ve yakıt maliyetinin yanı sıra kanal geçiş ücretleri ve buz kırıcı ücretlerinden oluşturur (Stopford, 1997; Zheng ve Yang 2016; Yang ve diğerleri, 2017). Şu halde bir Kuzey Kutbu seyahatinin maliyeti:

$$C_{tm} = \frac{OC_t + VC_t + K_t + KDRT/SRT}{TEU_t} \quad (3.1)$$

VC sefer maliyeti için ana kalem yakıt maliyetidir: (*ASYM)* Arktik sefer yakıt maliyeti buzlu ve buzsuz alanlarda olmak üzere ve Süveyş Kanalı (*SSYM*) aşaması etabında harcanan zaman kanal dışında ve içinde hız sınırları farklı olduğundan dolayı yakıt tüketimi de farklı olacaktır (Süveyş kanalı içinde hız üst sınırı 8,64 kn).

$$ASYM = FC\,(T \,.\, F + T_b \,.\, F_b) \quad (3.2)$$

$$SSYM = FC\,(T \,.\, F + T_k \,.\, F_k) \tag{3.3}$$

Barras (2004), yakıt tüketim fonksiyonunda λ değeri geminin türüne göre değişen motor sabiti 120.000^{-1} ve bu çalışmada düşük katsayılı yakıt için 200.000^{-1} alınarak;

$$F(t) = \lambda . v^3 \,.\, \nabla(t)^{2/3} \tag{3.4}$$

Deplasmanın bulunması için DWT-Deplasman korelasyonu için; a ve b sayıları konteyner gemileri için $a=2,05$ ve $b=0,96$ alınarak;

$$Deplasman\ (\nabla) = a.\ DWT^b \tag{3.5}$$

Hava koşullarının sebep olduğu hız kaybı fonksiyonunda bir geminin t anında yer değiştirmesi (Mersin ve diğerleri, 2017);

$$\nabla(t) = [\ \sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda . v^3\ t}{3}\ ]^3 \tag{3.6}$$

Mersin (2020), Molland'ın BN ve Aertssen sayıları kullanarak oluşturduğu yakıt tüketimi formülü parametre değiştirilerek modifiye edilen $vnet = vship - vwind$ hız kaybı fonksiyonu;

$$Ftotal(t) = \nabla(0) - \nabla\ (\frac{d}{v} \times \frac{100\ x\ L_{pp}}{(100-n)\times Lpp - m}) \tag{3.7}$$

Yakıt tüketimi ile orantılı olarak artan CO_2 emisyon vergisi için bir i limanından j limanına gerekli olan yakıt miktarı yani sefer süresi ile yakıt tüketim miktarı çarpılmalıdır. Ardından doğru orantılı şekilde CO_2 emisyon çevre vergisi değeri bulunmaktadır (Kim, 2012).

$$\theta . e . Q_{i,j} = \frac{1}{24} \theta . e . \lambda . d_{ij} . v^{\Omega - 1} \tag{3.8}$$

θ, uygulanan emisyon birim vergisi; *e* ise tüketilen yakıt başına alınım değeridir. Bu eşitlikler ile *si* sabit maliyeti eklendiğinde v hızında giden bir geminin yakıt tüketimi maliyeti;

$$F_{ij} = s_i + \frac{1}{24}[(\theta.e.+p_i).\lambda.d_{ij}{v_{ij}}^{\Omega-1}.\nabla^{\frac{2}{3}} + c.\frac{d_{ij}}{v}] \quad (3.9)$$

şeklinde saatlik olarak bulunmaktadır.

K Sermaye maliyeti için gemi ömrü 20 yıl alınarak, doğrusal amortisman yıllık amortismana tabii değer yeni gemi inşa maliyetinin *(CS),* 1/20'si olarak belirlendiği durumda bir geminin yıllık sermaye maliyeti;

$$K = CS/20 \quad (3.10)$$

olarak hesaplanmış ve günlük değere dönüştürülmüştür.

OC işletme maliyetlerin 5 yıllık kuru havuz bakım periyodu, Arktik gemileri için yılda bir sıklığa çıkarılmıştır ve buz sınıfı gemiler için çelik onarım işi de eklenmiştir. Ayrıca rutin bakım ve onarım masraflarına ek yedek parçalar ve ikinci motorun onarımları eklenmiştir. Tekne ve Makine (H&M) ve Koruma ve Tazminat (P&I) olmak üzere iki tür sigorta maliyeti ve rizikolara göre ek pirim öngörülmüştür. Temel personel maaşları aynı alınmıştır. Ancak Kuzey Kutbu denizlerinde seyir eden bir gemi için, bir buz pilotu, ek bir ikinci mühendis veya ek bir makine zabiti ve ek bir güverte gemicisi bu maliyete eklenecektir. Haberleşme, ofis, sarf ve diğer harcamalar ise 1000 $'dır. Liman giderleri transit bir servis olarak düşünüldüğünde yükleme-tahliye toplam yıla oranlanarak günlük masrafa olan etkisi eklenmiştir.

KDRT/SRT Kuzey Deniz Rotası ve Süveyş Rotası Tarifeleri ise NSR ücreti net ton başına 5 $, SCNT başına 8 $ gidiş-dönüş ve diğer ücretler 1000-500 $ seferlik maliyettir.

3.4. Modelin Senaryo Uygulamasına Örnek: Yokohama-Hamburg Seferi

Bu çalışmada seyir maliyeti NSR üzerinden, aynı senaryo SCR ve gelecek TSR üzerinden hesaplanmıştır. Ancak metodolojide belirtilen 6'lı Asya-Avrupa liman eşleniklerinden oluşan her rota üzerinden muhtelif kombinasyonlar ile oldukça yüksek sayıda bir korelasyon ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle tüm kombinasyon detaylı Microsoft Excel

programı kullanarak hesaplanmış hali EK 1-6'da yer almaktadır. Bu bölümde ise nakliye maliyet modeli, söz konusu liman eşlerinden Yokohama-Hamburg arasında çalıştırılarak bu hesaplama adımları gösterilmiştir.

Bölüm 3.1. hesaplamalarına göre Yokohama-Hamburg arasında 6768 nm ve bunun 710 milini oluşturan Chukchi-Laptev Denizi en açık Eylül ayında dahi buzlu etap olarak kabul etmek gerekecektir. Bu çalışmada yine de Murmansk-Provideniya arası 3184 nm olarak kabul edilen diğer çalışmalardaki kalıp buzlu etap da hesaplanmıştır. Ayrıca diğer gemi ve hız değerleri kullanılsa idi oluşacak durum, 2100 ve sonrası hiç buzun olmadığı kabul edilen senaryo, gelecek düşük maliyetli yakıt tüketildiği varsayılan senaryo, TSR rotası kullanıldığı durum, PC6 gemisini çalıştırıldığı senaryo ile SCR rotası kullanıldığı durumda oluşacak durum hesaplamalarına da yer verilmiştir.

Yakıt Tüketimi: NSR doğu-batı saatteki hızı 20 knot olan OW tipi 5000 TEU (55925 DWT – 294 m Lpp) geminin yakıt tüketimi;

$$(\nabla_{nsr}) = 2{,}05.\ 55925^{0{,}96} = 74038{,}15949 \tag{3.11}$$

Açık deniz seyiri 20 knot için yakıt tüketim fonksiyonunda;

$$F_{nsr}\,(12) = \lambda.\ v^3\ .\ \nabla(t)^{2/3} = \frac{20^3.74038{,}15949^{\frac{2}{3}}}{120000}\ .\ 12 = 117\ .\ 12 = 1404 \text{ mt} \tag{3.12}$$

Buzlu etap seyiri 5 knot için yakıt tüketim fonksiyonunda;

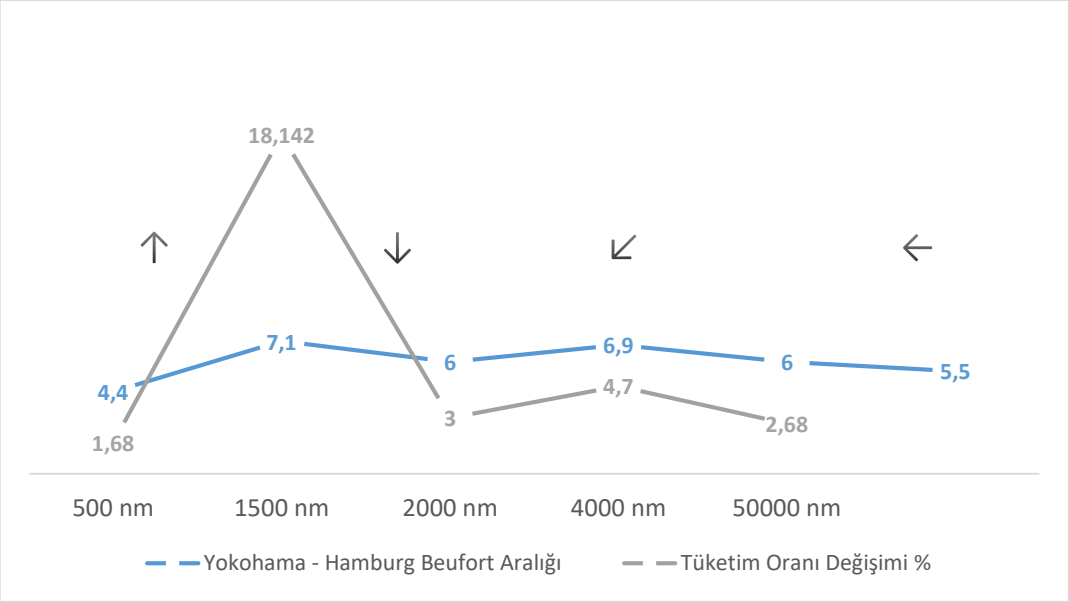
$$F_{nsrb}\,(6) = \frac{5^3.74038{,}15949^{\frac{2}{3}}}{120000} = 27\ .\ 6 = 10{,}8 \text{ mt} \tag{3.13}$$

olarak bulunur. Açık deniz seyiri 25 kn için 2290 mt'dir. Buzlu etap seyiri 3 kn için 4 mt, 8 kn için 27,75 mt'dir. 3184 nm kemer için 20, 25, 3, 5 ve 8 kn için sırasıyla 819, 1145, 17,7 47,7 ve 124,5 mt'dir. 2100 ve sonrası hiç buzun olmadığı kabul edilen senaryo için toplam rota 20 kn için 1638 ve 25 kn için 2519 mt'dir. Gelecek düşük katsayı yakıt tüketildiği takdirde ise 20 kn için 980 ve 25 kn için 1507 mt'dir. TSR rotası kullanıldığı durumda 20 kn için 1404 ve 25 kn için 2061 mt'dir. TSR rotası düşük katsayı yakıt tüketildiği takdirde 20 kn için 840 ve

25 kn için 630 mt'dir. SCR rotası kullanıldığı durumda ise 20 kn için 2691 ve 25 kn için 4122 mt ve kanal için hız sınırı olan 8 kn için 7,5 mt'dir. PC6 gemisi kullanıldığı durumda 19 kn için 1722 mt ve 14 kn için 1000 mt'dir.

Arktik Hava Koşullarının Yakıt Tüketimine Etkisi: Bu çalışmada yakıt tüketimi fonksiyonun hava koşullarının belirleyici bir değişkene sahip olduğu kuzey bölgesinde gemi mukavemetine dolayısıyla yakıt tüketimine yapacağı etkinin ortaya konması amaçlanmıştır. Metodolojide belirtilen 6'lı Asya-Avrupa liman eşleniklerinden oluşan her rota üzerinden değişen rüzgar ve dalga koşullarının, seyrin muhtelif lokasyonlarında gösterdiği değişkenlik ile oldukça yüksek sayıda bir korelasyon ortaya çıkmaktadır. Pratikte hava koşullarının yakıt tüketimine olan etkisinin seçilen her spesifik rota için ve seyrin mevsimine uygun Tablo 8 Beaufort/Aertssen skalaları ile tespit edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle çalışmanın Eylül NSR doğu-batı hattında bir geminin hava koşullarından etkilendiği hız kaybı fonksiyonu örnek olarak göstermek gerekirse; $v_{net} = v_{ship} - v_{wind}$ formül 2.11 ve 2.15 hız kaybı fonksiyonu ile hesaplanabilir.

$$v_{net} = \alpha\,(v, L_{pp}, \mu i\,(b)) = v\,x\,(\frac{(100-n)\times Lpp - m}{100\times Lpp}) \Rightarrow t_{sailing} = d\,/v \times (\frac{100\times Lpp}{(100-n)\times Lpp - m}) \qquad (3.14)$$



Şekil 21. Yokohama-Hamburg NSR seyri hava koşullarına göre yakıt tüketimi değişim grafiği

Eylül ayı Bering Boğazına kuzey seyrinde karşılaşılan rüzgar yönü 6BN Kuzey (kıç), Bering çıkışı yer yer 7BN Güney (baş) ve Güneydoğu (bodoslama), seyrin en yüksek enlemlerinde ise Barents Denizine kadar 6BN Güney (borda) ve Norveç Denizinden sonra ise Güney (kıç) 7BN ağırlıklıdır. Güzergahların her biri için ayrı ayrı hesaplanması gereken hız kaybı fonksiyonu için G_1, G_2, G_3 ve G_4 olmak üzere dört majör hava etkili alanı oluşturulmuştur. Belirtilen değerlere göre Aertsen Sayıları ve Şekil 21'de arktik seyirde karşılaşılan rüzgar yönlerine dair haritaya yer verilmiştir. G_1 normal koşullar altında 1000 mil yani 2 günlük seyir:

$$G_1\,(20, 294) = 2\,x\,\left(\frac{100\times294}{(100-1)\times294-200}\right) = 2{,}034 \tag{3.15}$$

G_2 normal koşullar altında 1 günlük seyir:

$$G_2\,(20, 294) = \left(\frac{100\times294}{(100-11)\times294-2100}\right) = 1{,}221 \tag{3.16}$$

G_3 normal koşullar altında 4 günlük seyir:

$$G_3\,(20, 294) = 4\,x\,\left(\frac{100\times294}{(100-3)\times294-500}\right) = 4{,}188 \tag{3.17}$$

G_4 normal koşullar altında 2 günlük seyir:

$$G_4\,(20, 294) = 2\,x\,\left(\frac{100\times294}{(100-2)\times294-200}\right) = 2{,}055 \tag{3.18}$$

İlgili Beaufort değerlerine göre $t_{sailing}$ toplam yakıt tüketimi;

$$\mathrm{F}total(\mathrm{t}) = \nabla(0) - \nabla\left(\frac{d}{v}\times\frac{100\,x\,L_{pp}}{(100-n)\times Lpp-m}\right) \quad \text{ve} \quad \nabla(\mathrm{t}) = \left[\sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda v^3 t}{3}\right]^3 \tag{3.19}$$

$$\sum F_{total}\,(2{,}034\,,\,1{,}221\,,\,4{,}188\,,\,2{,}055) = \nabla(0) - \sum_{i=1}^{4} G_i\nabla(\mathrm{t}) \tag{3.20}$$

$$74038 - \nabla\,(2{,}034\ ,\ 1{,}221\ ,\ 4{,}188\ ,\ 2{,}055) = 1468{,}8 \text{ mt} \quad (3.21)$$

olarak bulunur. Yani Arktik hava koşullarının normal seyrinde Yokohama – Hamburg arası bir sefer için ilave 54 ton (%3,5) daha yakıt ihtiyacı doğuracaktır. Ancak kutup iklim koşullarında yaşanması muhtemel ekstrem koşulların ve iklim değişikliği etkisi ile oluşan yeni meteorolojik koşullarında bilinmesinde fayda vardır. Ekstrem koşullarda BN8 fırtına durumunun ve dalga yüksekliğinin 7 metreyi geçtiği durumlarda seyir emniyeti sağlamak zorlaşacaktır. Kaldı ki IMO Polar kod emniyet limitleri dahilinde de risk sınırları göz önüne alındığında bir geminin bu şartlarda maksimum hızda yol alması olanaklı değildir. Arktik taşımacılığında 7-8 BN değerlerinde oluşturulan olası ekstrem koşullar altında bir seyir planlamasında optimum hızda seyir eden bir gemi için güzergah (*G*) en az beş ızgaradan oluşacak ve baş, omuzluk ve bordadan alacaktır. Bu durumda oluşan ilave güç ihtiyacı $v_{net} = v_{ship} - v_{wind}$ ile en yüksek değerlerinde hesaplandığında ise ortaya çıkan ilave güç ihtiyacı için *m*=3600 ve *n*=18 alındığında %30'lara kadar ulaşabilecektir. Bunun tersi bir başka senaryoda ise maksimum 5-6 BN değerlerinde ya da daha neta bir seyir durumu için yakıt tasarrufu sağlanacaktır.

Emisyon Etkisi: θ= 20 $ (Japonya uygulaması) uygulanan emisyon birim vergisi; *e=3.1144* ise tüketilen yakıt başına salınım değeridir. Bu eşitlikler ile 20 knot hızında giden bir geminin ton başına yakıt fiyatı IFO (Intermediate fuel oil) 380'in 2023 ilk yarısındaki küresel ortalama bunker fiyatı olan *FC*= 580 $ (shipandbunker, 2023) olarak alınan yakıt tüketimi maliyeti;

$$F_{NSR} = [(20\ .\ 3{,}1144 + 580).\ 1468{,}8] = 943\ 392\ \$ \quad (3.22)$$

olarak bulunur. Yakıt ücreti piyasada genel olarak 200 ile 800 dolar arasına değişmektedir. Tablo 10'da çalışmada kullanılan diğer gemi türlerine göre hızların yakıt tüketim oranları hesaplanmıştır.

Tablo 10. Yakıt tüketim fonksiyonuna göre hesaplanan günlük tüketim miktarları

OW	dwt mt	20 kn	25 kn	8 kn	5 kn	3 kn	20 kn düşük katsayı	25 kn düşük katsayı
5000	55925	117	229	7,52	1,84	0,40	70	137
6000	61700	125	244	8,01	1,96	0,42	75	146
8000	82200	150	293	9,63	2,35	0,51	90	176
10000	114900	186	363	11,93	2,91	0,63	111	218
12000	140600	212	414	13,57	3,31	0,72	127	248
14000	165800	235	460	15,08	3,68	0,80	141	276
16000	186470	254	496	16,26	3,97	0,86	152	297
PC	dwt mt	14 kn	19 kn				19 kn düşük katsayı	14 kn düşük katsayı
PC6 5000	68000	49	123				73	29
PC6 8000	98000	55	139				83	33
PC3 8000	100000	58						35

NSR açık deniz alanı 20 kn geçiş senaryosunda eğer buzlu alan için buz kıran hızı 3 kn olsaydı tüketim maliyeti 939 025 $ ve 8 kn olsaydı 960 702 $ olurdu. Açık deniz seyiri 25 kn için hava muhalefetinin etkisi bu kez 114 ton (%5) daha yakıt ihtiyacı doğuracaktır. Bu durumda buzlu etap seyiri 3 kn için toplam 1 546 630 $, 5 kn için 1 550 997 $ ve 8 kn için 1 561 884 $'dır. 3184 nm kemer 20 kn seyir için hava muhalefetinin etkisi 28,5 ton ekstra yakıt ihtiyacı doğuracaktır. Bu durumda buzkıran 8 kn için 624 303 $, 5 kn 574 976 $ ve 3 kn için 555 707 $'dır. 25 kn seyir için hava muhalefetinin etkisi bu kez 57 ton daha yakıt ihtiyacı doğuracaktır. 8 kn için 851 995 $, 5 kn için 802 539 $ ve 3 kn için 783 270 $'dır. 2100 ve sonrası hiç buzun olmadığı kabul edilen senaryo için toplam rota 20 kn için 1 052 068 $ ve 25 kn için 1 617 923 $'dır. Gelecek düşük maliyetli yakıt tüketildiği takdirde ise emisyon vergisi dahil edilmeyen hesapta 20 kn için 568 400 $ ve 25 kn için 874 060 $'dır. TSR rotası bugünkü koşullarda kullanıldığı durumda 20 kn için 901 772 ve 25 kn için 1 323 755$'dır. TSR rotası düşük katsayı yakıt tüketildiği takdirde 20 kn için 487 200 $ ve 25 kn için 365 400 $'dır. SCR rotası kullanıldığı durumda ise Hint Okyanusu Eylül muson döneminin de hava muhalefetine etkisi göz önünde bulundurularak 20 kn için (ilave 8 kn Süveyş Kanalı) 1 733 214 $ ve 25 kn için (ilave 8 kn Süveyş Kanalı) 2 652 328 $'dır. PC6 gemisi kullanıldığı durumda 19 kn için 1 106 020 $ ve 14 kn için 642 288 $'dır. Çalışmada kullanılan PC3 gemisi Arktik optimum tonajlı 8000 TEU gemidir.

Sermaye Maliyeti: OW tipi 5000 TEU (55925 DWT) geminin fiyatı 60 000 000 dolar alınmıştır. *K* Sermaye maliyeti için gemi ömrü 20 yıl alınarak, yıllık amortismana tabii değer, yeni gemi inşa maliyetinin 1/20'si olarak belirlendiği durumda bir geminin yıllık sermaye maliyeti;

$$K_{ow} = 60\,000\,000 / 20 = 3\,000\,000\ \$ \tag{3.23}$$

ve güne oranlandığında; K günlük = 8219 $ bulunur. Buz sınıfı gemi PC6 için %30 ek değer olarak hesaplanmıştır. Bu durumda;

$$K_{pc} = 78\,000\,000 / 20 = 3\,900\,000\ \$ \tag{3.24}$$

ve güne oranlandığında; K günlük = 10685 $ bulunur.

Operasyon Maliyeti: SCR gemisi için 5 yıllık kuru havuz bakım periyodu (günlük 100 $) Arktik gemileri için yılda bir sıklığa çıkarılmıştır (OW için günlük 350 $) ve buz sınıfı gemiler için çelik onarım işi de eklenmiş ve yıla orantılanarak günlük $500 olarak alınmıştır. Ayrıca rutin bakım ve onarım masraflarına ek yedek parçalar ve ikinci motorun onarımları eklenmiş (günlük 150 $) ve bu maliyette günlük 650$'dır.

Tekne ve Makine (H&M) (günlük 1150 $) ve Koruma ve Tazminat (P&I) (günlük 1397 $) olmak üzere iki tür sigorta maliyeti öngörülmüştür. NSR'nin riskli seyir koşullarında, buz çarpması veya ekstrem hava koşullarından kaynaklanan potansiyel hasarlar, sigorta ücretini büyük ölçüde etkileyecektir ve sigorta primi SCR 274 $ ve NSR 1274 $ olarak hesaplanmıştır.

Temel personel maaşları aynı ve 2500 $ alınmıştır. Ancak Kuzey Kutbu denizlerinde seyir eden bir gemi için, bir buz pilotu (günlük 673 $), ek bir ikinci mühendis veya ek bir makine zabiti (günlük 200 $), ve ek bir güverte gemicisi (günlük 150 $) ile bu maliyete 1023 $ daha eklemek gerekecektir.

Haberleşme, ofis, sarf ve diğer harcamalar ise 1000 $'dır. Liman giderleri transit bir servis olarak düşünüldüğünde yükleme-tahliye toplam yıla oranlanarak günlük 550 $'dır.

Bu durumda operasyon maliyeti günlük işletim maliyetine dönüştürüldüğünde;

$$OC_{nsr} = 350 + 150 + 1150 + 1397 + 1274 + 2500 + 1023 + 1000 + 550 = 9394\ \$ \tag{3.25}$$

$$OC_{scr} = 100 + 1150 + 1397 + 274 + 2500 + 1000 + 550 = 6971\ \$ \quad (3.26)$$

$$OC_{pc6} = 500 + 150 + 1150 + 1397 + 1274 + 2500 + 1023 + 1000 + 550 = 9544\ \$ \quad (3.27)$$

olarak bulunur. 2100 ve daha sonrası, gelecek teknolojilerin ve gelişmiş enerjilerin olduğu durum ve TSR kullanıldığı tüm durumlar için operasyon maliyeti de belli ölçüde değişecektir. Elbette gelecek muhtemel ek maliyetlerin yarattığı bir belirsizlik unsuru da bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada özellikle sigorta primlerinde ve bakım maliyetlerinde anlamlı, diğer maliyetlerde kısmi bir düşüş olarak hesaplanmıştır. Bu durumda bakım maliyeti düşen (%50), ek prim olmayan ve sarf ve diğer harcamaların (%50) azalacağı ve diğer maliyetlerin aynı kalacağı kabul edilen durum için;

$$OC_{tsr} = 250 + 1150 + 1397 + 2500 + 500 + 550 = 6347\ \$ \quad (3.28)$$

olarak bulunur.

Tarifeler: NSR refakat ücreti net ton başına 5 $, SCR ise SCNT başına 8 $ ve diğer ücretler 1000 $'dır. 28000 net tonaj kuzey yönlü (NSR için Doğu) ve 20000 (NSR için Batı) net ton güney yönlü geçişi varsayılarak;

$$KDRT = 140\,000 + 100\,000 = 240\,000\ \$ \quad (3.29)$$

$$SRT = 224\,000 + 160\,000 + 1000 = 385\,000\ \$ \quad (3.30)$$

seferlik tarife maliyetidir.

3.5. Örnek Seferin Senaryoları ve Sonuç Analizleri

Modelde çok çeşitli maliyet kalemlerinden büyük bir kısmı hesaplanmış; endüstri verileri ve tahminleri kullanılmıştır. Yıllık gidiş-dönüş seferleri, nakliye modeline uyumlu şekilde Excel girdisinden bir dağılım olarak hesaplanmıştır. Sistem, tüm maliyet öğeleriyle birlikte bu dağılımı örneklemiş ve yürütülen her senaryo için TEU başına dolar birimi cinsinden

bir nakliye maliyeti hesaplanmıştır. Modelin birden fazla çalıştırılması, hesaplanan nakliye maliyeti değerlerinin bir dağılımını verecektir.

Önceki başlıkta hesaplanan değişkenler ile bir Kuzey Kutbu seyahatinin maliyet hesabı temelinde, diğer tüm senaryoların karşılaştırılması yapılabilecektir. 6'lı liman çiftlerinin her birinin diğerine kombinasyonunu sağlayan 36 sefer planı ve 6 farklı OW gemi tipi, 2 tip PC6 ve tek PC3 gemisi için toplam 324 kombinasyon ve 3 farklı buzkıran ve açık deniz seyri şekliyle 1152 kombinasyona ek olarak; yılın diğer ayları, buzluluk durumu, değişen yakıt fiyatlarıyla, farklı tip hava koşulları, 10 kn ve üzeri buzkıran hızları, nükleer buzkıranlar, farklı gemi hızları, konvoy taşımacılık planı, ara limanlı liner hat optimizasyonla, otonom gemiler ve farklı ülke destinasyonları için bu model kullanılarak aşağıdaki senaryolardaki gibi uyarlanabilecektir. Örnekteki senaryolar ise;

Senaryo 1: Bu çalışmada kullanılan kemer 710 nm buzul saha için 20 kn seyir hızı ve örnekte kullanılan 5 kn buzkıran seyri

Senaryo 2: Bu çalışmada kullanılan kemer 710 nm buzul saha için 20 kn seyir hızı ve 3 kn buzkıran seyri

Senaryo 3: Bu çalışmada kullanılan kemer 710 nm buzul saha için 20 kn seyir hızı ve 8 kn buzkıran seyri

Senaryo 4: Bu çalışmada kullanılan kemer 710 nm buzul saha için 25 kn seyir hızı ve 3 kn buzkıran seyri

Senaryo 5: Bu çalışmada kullanılan kemer 710 nm buzul saha için 25 kn seyir hızı ve 5 kn buzkıran seyri

Senaryo 6: Bu çalışmada kullanılan kemer 710 nm buzul saha için 25 kn seyir hızı ve 8 kn buzkıran seyri

Senaryo 7: Literatürde kullanılan kemer 3184 nm buzul saha için 20 kn seyir hızı ve 3 kn buzkıran seyri

Senaryo 8: Literatürde kullanılan kemer 3184 nm buzul saha için 20 kn seyir hızı ve 5 kn buzkıran seyri

Senaryo 9: Literatürde kullanılan kemer 3184 nm buzul saha için 20 kn seyir hızı ve 8 kn buzkıran seyri

Senaryo 10: Literatürde kullanılan kemer 3184 nm buzul saha için 25 kn seyir hızı ve 3 kn buzkıran seyri

Senaryo 11: Literatürde kullanılan kemer 3184 nm buzul saha için 25 kn seyir hızı ve 5 kn buzkıran seyri

Senaryo 12: Literatürde kullanılan kemer 3184 nm buzul saha için 25 kn seyir hızı ve 8 kn buzkıran seyri

Senaryo 13: 2100 ve sonrası hiç buzun olmadığı kabul edilen durum için 20 kn toplam rota seyri

Senaryo 14: 2100 ve sonrası hiç buzun olmadığı kabul edilen durum için 25 kn toplam rota seyri

Senaryo 15: Gelecek düşük katsayılı yakıt tüketildiği takdirde 20 kn için

Senaryo 16: Gelecek düşük katsayılı yakıt tüketildiği takdirde 25 kn için

Senaryo 17: TSR rotası bugünkü koşullarda kullanıldığı durumda 20 kn seyri

Senaryo 18: TSR rotası bugünkü koşullarda kullanıldığı durumda 25 kn seyri

Senaryo 19: TSR rotası düşük katsayı yakıt tüketildiği takdirde 20 kn için

Senaryo 20: TSR rotası düşük katsayı yakıt tüketildiği takdirde 25 kn için

Senaryo 21: SCR rotası kullanıldığı durumda 20 kn seyri

Senaryo 22: SCR rotası kullanıldığı durumda 25 kn seyri

Senaryo 23: PC6 gemisi kullanıldığı durumda 19 kn seyri

Senaryo 24: PC6 gemisi kullanıldığı durumda 14 kn seyri

Senaryolara göre hesaplanan maliyet kalemlerinden Senaryo 1, Yokohama – Hamburg arası bir Arktik seferi için yakıt tüketiminde hesaplandığı gibi tam dolu kabul edilen bir geminin dönüş tüketiminin de hesaplanması gerekecektir. Bu nedenle klasik Batı-Doğu 2/3 dolulukta olduğu kabul edilen bir geminin deplasmanı değiştiğinden, yeni deplasmanın yakıt tüketim fonksiyonuna yeniden yazılıp hesaplanması gerekecektir. Senaryo 1 için gidiş 943 392 $ olan tüketim maliyeti, dönüşte 733 013 $ olarak hesaplanmış ve VC_{toplam} olarak denklemde yerini almıştır. Farklı senaryolara ait farklı günlük işletim maliyetleri gidiş-dönüş sefer süresi ile çarpılarak OC_{toplam} oluşturmuştur. Yokohama – Hamburg arası bir SCR seferinde muhtemel bekleme süre daha çok olabilecektir ancak bu çalışmada tüm durumlarda maksimumum 2 gün

bekleme ve 2 gün liman süresinin de ilave edildiği NSR ve SCR ilave 4 gün olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11. Senaryolara göre hesaplanan sefer maliyetleri

	Gün	VC		OC	K	KDRT/SRT	Toplam	Birim TEU
		Gidiş	Dönüş					
Senaryo 1	40	$943.392	$733.013	$375.760	$328.760	$240.000	$2.620.925	$314
Senaryo 2	48	$939.025	$729.623	$450.912	$394.512	$240.000	$2.754.072	$330
Senaryo 3	35	$960.702	$746.466	$328.790	$287.665	$240.000	$2.563.623	$307
Senaryo 4	44	$1.546.630	$1.201.732	$413.336	$361.636	$240.000	$3.763.334	$451
Senaryo 5	36	$1.550.997	$1.205.125	$338.184	$295.884	$240.000	$3.630.190	$435
Senaryo 6	31	$1.561.884	$1.213.585	$291.214	$254.789	$240.000	$3.561.472	$427
Senaryo 7	106	$555.707	$431.784	$995.764	$871.214	$240.000	$3.094.469	$371
Senaryo 8	71	$574.976	$446.756	$666.974	$583.549	$240.000	$2.512.255	$301
Senaryo 9	51	$624.303	$485.083	$479.094	$419.169	$240.000	$2.247.649	$269
Senaryo 10	102	$783.270	$608.601	$958.188	$838.338	$240.000	$3.428.397	$411
Senaryo 11	67	$802.539	$623.573	$629.398	$550.673	$240.000	$2.846.183	$341
Senaryo 12	47	$851.995	$662.000	$441.518	$386.293	$240.000	$2.581.806	$309
Senaryo 13	32	$1.052.068	$817.457	$203.104	$263.008	$0	$2.335.637	$280
Senaryo 14	26	$1.617.923	$1.257.127	$165.022	$213.694	$0	$3.253.766	$390
Senaryo 15	32	$568.400	$441.647	$203.104	$263.008	$0	$1.476.159	$177
Senaryo 16	26	$874.060	$679.145	$165.022	$213.694	$0	$1.931.921	$231
Senaryo 17	28	$901.772	$700.677	$177.716	$230.132	$0	$2.010.297	$241
Senaryo 18	22	$1.323.755	$1.028.558	$139.634	$180.818	$0	$2.672.765	$320
Senaryo 19	28	$487.200	$378.554	$177.716	$230.132	$0	$1.273.602	$152
Senaryo 20	22	$365.400	$283.916	$139.634	$180.818	$0	$969.768	$116
Senaryo 21	52	$1.733.214	$1.346.708	$362.492	$427.388	$385.000	$4.254.802	$510
Senaryo 22	42	$2.652.328	$2.060.860	$292.782	$345.198	$385.000	$5.736.168	$688
Senaryo 23	32	$1.106.020	$859.378	$305.408	$341.920	0 ya da KDRT	$2.612.726	$313
Senaryo 24	44	$642.288	$499.058	$419.936	$470.140	0 ya da KDRT	$2.031.422	$243

EK 1-6'da yer alan tüketim miktarı değerlerinde SCR geçişi ilave 1 gündür. K_{toplam} sermaye maliyetinin iki tip gemi için güne orantılandığı değer de yine aynı şekilde sefer süresi ile çarpılarak elde edilmiştir. KDRT ücreti ilk 12 senaryoda, SRT ise senaryo 21 ve 22'ye

eklenmiştir. Bu durumda senaryo 1 için toplam maliyeti, 5000 TEU kapa dönüş orantılı hesaplarsak 8333 gidiş-dönüş 1 TEU'nun maliyeti;

$$C_{NSR} = \frac{VC_t + OC_t + K_t + KDRT/SRT}{TEU_t} = \frac{1\,676\,405 + 375\,760 + 328\,760 + 240\,000}{8333} = 314{,}52\ \$ \qquad (3.31)$$

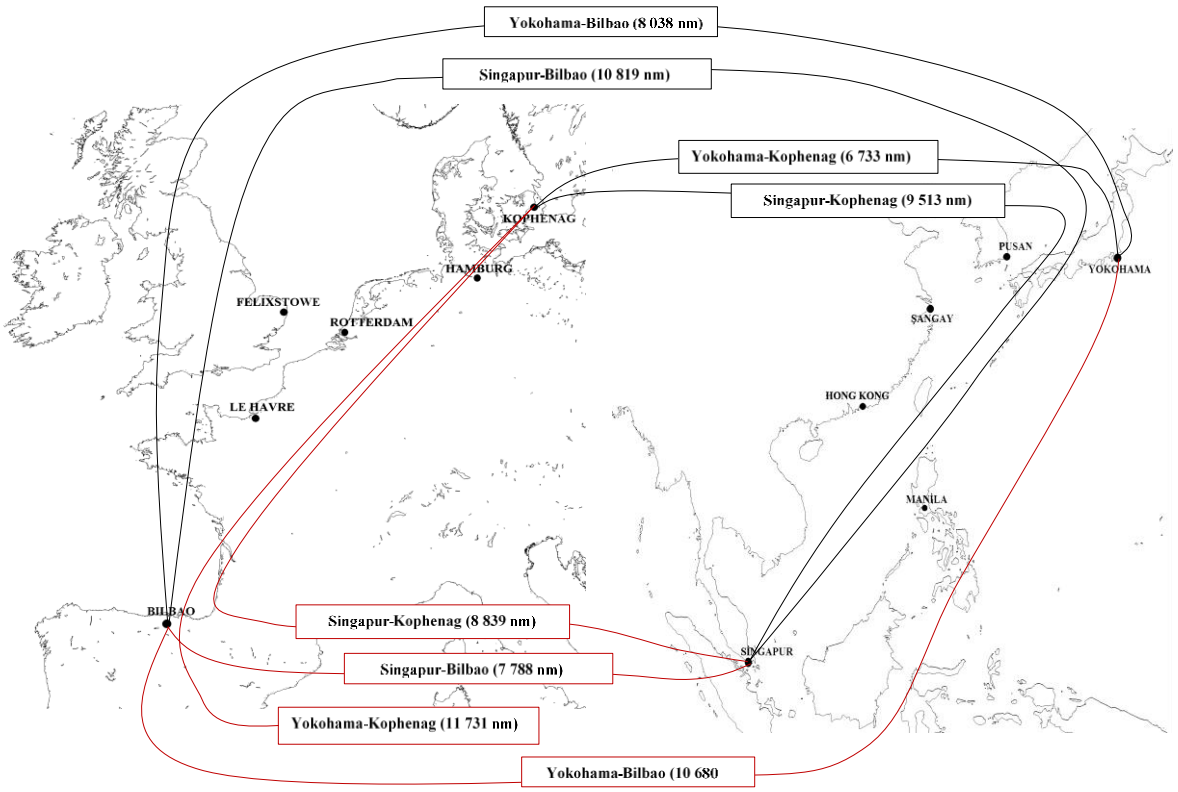
ve 40 gün olarak bulunur. Senaryo 21, aynı hızda aynı tip geminin SCR kullandığı durumda ise Tablo 11'de verildiği gibi 52 gün ve 510 $'dır. Senaryo 8, 3184 nm hat için ise 71 gün ve 301 $'dır. Senaryo 23, buzkıransız 19 kn PC6 gemisi kullanıldığı durumda 32 gün ve 313 $, senaryo 24, buzkıransız 14 kn PC6 gemisi kullanıldığında 44 gün ve 243 $'dır. Senaryo 17, TSR bugünkü koşullarda kullanıldığı durumda 20 kn seyri ise 28 gün ve 241 $'dır.

Bu durumda; Tablo 11'in olağan senaryoları içerisinde 20 kn seyir hızı ve buzkıran hızının 8 kn olduğu durum aslında en optimum senaryodur. Senaryolar NSR'nin her durumda SCR'den elverişli olduğunu hatta rotayı kısaltan TSR, düşük maliyetli ya da yeni teknolojilerin ortaya çıkartacağı her gelecek durumun deniz mili ölçüsü ile de orantılı olarak çok daha ekonomik olacağı açıktır. Buz sınıfı gemilerin yakıt tüketimleri daha yüksektir ancak buzkıran olmadan kullanılabilmesi durumunda Senaryo 23 ve 24'teki gibi maaliyet/zaman değeri en yüksek verimliliği sunabilecektir.

3.6. Seçilen Diğer Liman Setlerinin Elverişliliği

Bu çalışmada Kopenhag, Felixstowe, Rotterdam, Hamburg, Le Havre, Bilbao olmak üzere 6 Avrupa ve Singapur, Şangay, Hong Kong, Pusan, Manila, Yokohama noktaları ise 6 Asya ana liman koordinatları ile Kuzey deniz ticaret rotalarının geleneksel rotalara göre elverişliliği ve ekonomikliği incelenmek istenmiştir. Bu amaçla bir önceki bölümde oluşturulan nakliye maliyet modeli ile ticaret aksının iki ekonomik bölgeden hangi coğrafi sınırlarda bu elverişliliğin olabileceği belirlenmelidir. Elbette Süveyş'i kulanım imkanına sahip herhangi bir Akdeniz ülkesi için kuzey yollarının kullanımının ekonomik olmayacağı açıktır. Ancak coğrafi erişilebilirlik unsuru ile bu ekonomik sınırın nereden başladığının belirlenmesi için Tablo 8'de liman noktalarından hesaplanan SCR-NSR deniz mili hesabı göz önünde bulundurulmalıdır. Coğrafi uzaklık ve yakınlık durumuna göre SCR üzerinde Bilbao-Singapur en yakın, Kopenhag-Yokohama en uzak; NSR üzerinde Kopenhag-Yokohama en yakın, Bilbao-Singapur en uzak limanlardır. O halde Avrupa-Asya hattında seçilen sınırlar Şekil 22'de görüldüğü gibi

bu limanların kendi en uzaklık-yakınlıkları ile de değerlendirilmelidir. Dolayısıyla Bilbao'nun en uzak olduğu nokta Yokohama etüdü de yapılmalıdır. Aynı şekilde, ele alınan setlerin en yakın-en uzak ya da en kuzey-en güney ilişki matrisi erişilebilirliğinin ekonomiklik boyutunu ortaya koyacaktır.



Şekil 22. Batı Avrupa – Doğu Asya bağlantıları

Tablo 12'de nakliye maliyet modeli senaryo 3'e göre hesaplanan TEU başına maliyet değerlerine göre seçilen liman setlerinden en yakın SCR, en uzak NSR mesafesine sahip Bilbao-Singapur arasında gerçekleşen bir sefer gerçekten de NSR'ye kıyasen daha kısa ve daha ekonomik olacaktır. En uzak SCR, en yakın NSR mesafesi olan Kopenhag-Yokohama hattı için ise NSR kullanımı oldukça elverişlidir. Ayrıca Kopenhag'a NSR'de en uzak SCR'de en yakın nokta olan Singapur etüdü de SCR kullanımının daha elverişli olduğuna işaret etmektedir. Bu noktaya dayanarak Singapur'a SCR üzerinden yapılacak bir seferin Batı Avrupa'da seçilen en

uzak ve en Kuzey liman eşleşmesinde bile daha elverişli olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Seçilen Doğu Asya'nın en Kuzey limanı Yokohama için ise en uzak Bilbao için dahi NSR kullanımının elverişli olduğu gözlemlenmektedir. Yokohama bu anlamda NSR kullanımının hem Asya Kuzey ekonomik hem de Asya Kuzey optimum coğrafi sınırını belirlemektedir. Şu halde NSR kullanımının coğrafi sınırının diğer uçları belirlenirken Singapur koordinatlarının daha doğusunda bir nokta ile modelin yeniden çalıştırılması gerekmektedir.

Tablo 12. Nakliye maliyet modeline göre en yakın – uzak ölçümü

	Gün	TEU ($)
Bilbao-Yokohama NSR	41	368
Bilbao-Yokohama SCR	50	503
Bilbao-Singapur NSR	53	492
Bilbao-Singapur SCR	36	361
Kopenhag-Yokohama NSR	35	305
Kopenhag-Yokohama SCR	54	543
Kopenhag-Singapur NSR	47	430
Kopenhag-Singapur SCR	42	421

Tablo 13, Singapur'dan sonraki Asya-Güney coğrafi sınırı belirlemek için seçilen liman bölgesi olan Manila'nın Batı Avrupa bağlantı noktalarının ilişkisini göstermektedir. Yeni en yakın SCR, en uzak NSR mesafesi olarak aldığımız Manila-Bilbao'nun, nakliye maliyet modeli senaryo 3'e göre hesaplanan TEU başına maliyet değerlerine göre SCR kullanımı yine daha efektif olacaktır. Hong Kong çıkışlı bir sefer için ise SCR 3 gün daha kısa ancak TEU başına 95 $ daha yüksek olacaktır. Ancak Şangay, Pusan ve modelin çalıştırıldığı ilk sınır Yokohama için hem zaman hem maliyet avantajı sağladığı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla seçilen ana güzergahın NSR kullanımı için Hong Kong'un ekonomik Asya Güney sınırı, Şangay'ın ise optimum Asya Güney coğrafi sınırı belirlediği söylenilebilmektedir.

Tablo 13. Nakliye maliyet modeline göre Asya en Güney

	Gün	TEU ($)
Manila-Kopenhag NSR	43	388
Manila-Kopenhag SCR	46	462
Manila-Bilbao NSR	48	440
Manila-Bilbao SCR	42	422
Hong Kong-Bilbao NSR	47	430
Hong Kong-Bilbao SCR	44	442
Şangay-Bilbao NSR	45	409
Şangay-Bilbao SCR	46	462
Pusan-Bilbao NSR	43	388
Pusan-Bilbao SCR	48	483

Batı-Doğu güzergahın NSR kullandığı durumda ekonomik Avrupa Kuzey sınırının Tablo 13'te görüldüğü gibi Kopenhag-Manila arasında zaman ve maliyet avantajı sağladığı ve bu nedenle Singapur'dan Manila'ya çekilen aksta optimum Avrupa Kuzey coğrafi sınırının da Kopenhag olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 14. Nakliye maliyet modeline göre Avrupa en Güney

	Gün	TEU ($)
Le Havre-Singapur NSR	49	451
Le Havre-Singapur SCR	39	391
Le Havre-Manila NSR	44	399
Le Havre-Manila SCR	44	442

Tablo 14'te yapılan analiz doğrultusunda ise Bilbao'dan kuzeyde seçilen Le Havre orijinli hatlardan en yakın Manila'da SCR ile aynı zaman ancak TEU başına 43$ avantajlı olduğu görülmektedir. Bu nedenle Le Havre ekonomik ve optimum Avrupa Güney coğrafi sınırı kabul edilecektir.

Modelin çalıştırıldığı tüm noktalar arasında NSR kullanımının ekonomik ve optimum sınırlarının Doğu Asya Liman seti için Kuzey-Güney (uzak-yakın) ilişkisi ile en ekonomik ve en optimum aralığın Yokohama-Şangay arasındaki bölgelerin olduğu, yalnızca ekonomik sınırın ise Yokohama ve daha Güney'deki Manila'nın Avrupa'da Le Havre ve kuzeyindeki tüm noktaları kapsadığı bir alan olabileceği anlaşılmaktadır. Batı Avrupa Liman 6'lısı için Kuzey-Güney (uzak-yakın) ilişkisi ile en ekonomik ve en optimum aralığın Kopenhag-Le Havre arasındaki bölgelerin olduğu, yalnızca ekonomik sınırın ise Kopenhag ve daha Güney'deki Bilbao'nun Asya'da Hong Kong ve kuzeyindeki tüm noktaları kapsadığı bir alan olabileceği anlaşılmaktadır. Singapur ve yakını bölgenin ise hiçbir eşlemede NSR kullanımının fizibıl olmadığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak Yokohama, Pusan, Şangay ile Kopenhag, Rotterdam, Hamburg ve Le Havre bölge ve yakınları arasındaki her eşlemede NSR kullanımı daha elverişlidir.

3184 mil buzul alan olarak alındığı senaryolarda ise literatürde en çok hesaplanan ve coğrafi mesafeleri birbirlerine yakın olan Rotterdam ve Hamburg'un Doğu Asya'nın orta ve Kuzey'i için kullanışlı ancak Güney'i için her durumda öyle olmadığı anlaşılmaktadır. Örneğin EK 5'te yer alan mil-tüketim kombinasyonlarına göre Manila-Bilbao arasındaki bir sefer SCR ile 42 gün ve TEU başına 422$ iken NSR ile 74 gün ve 500$ olacaktır. Bunun nedeni 3184 mil kemerinin buzkıran hızı 8 knot dahi olsa bölgeyi 16,5 günde geçecek olmasıdır. Çünkü her durumda daha az buz, daha ekonomik bir nakliye maliyeti demektir. Bunun dışında yakıt tüketim katsayısı düşük olan, hiç buzun olmadığı ve potansiyel TSR kullanılan her durum için ise NSR daha elverişlidir.

Ayrıca yapılan incelemede gemi boyutu büyüdükçe NSR'ın büyüklük oranında SCR'den daha elverişli olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin 5000 TEU ile yapılan senaryolarda gemi 10000 TEU olarak modele yeniden girildiğinde elbette başta yakıt tüketim oranı olmak üzere tüm maliyetler artacaktır. Ancak TEU başına maliyet düşecektir. Le Havre-Şangay arası bir seferin nakliye süresi ve maliyeti NSR ile 39 gün ve TEU başına 237$, SCR ile ise 48 gün ve 335$'dır. Bu durum liner servisinin ara liman sayısı azaldıkça ve özellikle transit her durumda NSR lehine bir avantaj yaratmaktadır.

3.7. Kuzey Denizi Rotası'na Yönelik GZFT

Bu bölümde çalışmanın bulguları ve literatür özetleri temelinde NSR'ye yönelik bir GZFT (Güçlü yönler, Zayıf yönler, Fırsatlar, Tehditler) oluşturarak güzergahın hala belirsiz olan bazı yönlerinin ele alınması amaçlanmıştır.

Kuzey rotalarının altyapısı, özellikle Doğu Asya-Batı Avrupa ülkeleri arasındaki deniz ticaretinde çok modlu taşımacılığa da elverişli olan ana liman (hubport) bağlantısını sağlayan bir alternatif güzergâh oluşturmaktadır. Bu anlamda günlük binlerce transferin gerçekleştiği ve bir moddaki yükün alınıp çeşitli varış noktalarına dağıtıldığı terminal yapıları ile kompleks liman lojistiğinin, küresel tedarik zincirindeki gecikmeleri önlemek ve lojistik ağlarını optimize ederek teslimatları zamanında sağlamak açısından önemi büyüktür. NSR üzerinde henüz bu kompleks yapılarda olan ve çoklu aracı sistemin mevcut olduğu bir cazibede olduğu merkez limanların varlığından söz edilemez. Ayrıca deniz yollarının, demiryollarının ve otoyolların kesiştiği bir ulaşım sistemi ağıda henüz oluşturulamamıştır. Bunun için Kuzey Denizi Rotası kullanımının yoğunlaştırılması, yıl boyunca navigasyon sağlanması, kargo trafiğinin planlaması, lojistik merkezlerin geliştirilmesi ve kavramsal çerçevesinin oluşturulması gerekmektedir. Diğer taraftan bölgenin MEB'ne sahip Rusya'nın ve güzergahı aktif kullanmaya hazır Çin'in Kuzey Kutbu ekonomisi adına, denizyolunun optimizasyonu, deniz taşımacılığının seyahat emniyetinin sağlanması, gemilerin servisi, iletişim merkezleri ve kargo işleme merkezleri ve terminalleri gibi birçok lojistik sorunun çözümüne dair uzun vadeli stratejileri bulunmaktadır. Çünkü Kuzey Denizi Rotasının gelişimi, Kuzey Kutbu bölgesindeki ekonomik işlevleri bir bütün olarak etkilemektedir (Schislyaeva, 2019).

2013 yılında Arktik Konseyi'nde gözlemci olarak dahil olan Çin'in bölgeye olan ilgisi artmış ve 2017'de Kutup İpek Yolu (PSR, Polar Silk Road) olarak tanımladığı Kuzey Denizi Rotasını, Kuşak ve Yol Girişimi'ne (BRI, Belt and Road Initiative) eklemiştir (Song, 2018). Dolayısıyla çalışmada SCR dışında Orta Koridor (Kuşak) ve Demir İpek Yolu olarak da bilinen BRI'nin demiryolu bağlantısının potansiyeli de durumu göz önünde bulundurulmalıdır.

Aslında 2009 yılından buyana Doğu Asya ve Avrupa'nın Trans Sibirya Demiryolu hattı ile alternatif bir yolu bulunmakta ancak bu hat üzerinden sunulan servisin pahalı ve yavaş olması talebin yetersiz kalmasına neden olmaktadır (Bucsky, 2020). Orta Koridor servisi ise bu hatta göre taşıma süresi, birçok ülkenin iştiraki ve yapılan çok uluslu anlaşmalar ile özellikle

yüksek değerli yüklerin taşınmasında oldukça elverişlidir. Ancak denizyolu taşımacılığına göre çok ciddi kapasite sorunları bulunmaktadır.

2019 yılında 12 bin kilometrelik Uzak Asya ile Batı Avrupa arasında ilk seferini, 18 günde tamamlayan hatta, uzunluğu 820 metre olan trende 42 konteyner yüklü vagon transit olarak taşınmıştır (Utikad, 2019). Ardışık seferlerde dahi, denizyolunun optimum gemi sayısını kullanılarak yapısallaştırdığı bir hatta TEU başına maliyette rekabet olanağının düşük olacağı açıktır. Bu durumda operatörlerin zaman değeri yüksek kargolar için hızlı bir transit süresi talep etmesi durumunda demiryolu seçeneği tercih edilebilecek ancak nakliye maliyeti, denizyolu seçeneklerine göre iki kat daha fazla olacaktır. Termin süresi dışında çoğu durumda ise SCR seçeneği daha uzun bir sefer süresi sunduğu için NSR seçeneğinden daha fazla etkilenecektir (Pruyn ve Hassel, 2022). Bu durumda yük sapmasının Orta Koridor demiryolu ve NSR deniz yolu alternatiflerine doğru olacağı anlaşılmaktadır. Bu açıdan BRI, NSR ile tamamlayıcı olarak çalıştırılabilir gözükmektedir.

Bunun yanında tedarik zincirinde tam zamanlı (jit, just in time) üretim ve teslim verimliliğini arttıran envanter stratejisinin tasarruf fonksiyonunu lojistik olarak iyileştirme yani Arktik rotaların transit seferlerde olan maliyet ve zaman avantajını kullanma imkanı bulunmaktadır. Güzergah boyunca üretim sisteminden, gemide depo etme ve sipariş oluşturulmasına kadar tüm proses en iyi kalitede ve çıktıların istenilen sürede doğru yere teslim edilebilmesine olanak tanır. Bu anlamda deniz lojistiğinde bambaşka bir alanın da en popüler kullanılan rotası olma özelliğini elde edebilecektir.

Çalışmada arktik rotaları için en elverişli dönem olan yaz ayları ve özellikle buz erimesinin maksimuma ulaştığı Eylül ayı aynı zamanda Süveyş güzergahının en hassas denizyollarından biri olan Güney Asya'nın muson dönemine denk gelmektedir. Diğer bir ifade ile bu durumun aslında Haziran- Ekim aralığında sert yaz yağışlarının yaşandığı Muson Bölgesi'nde (Atalay, 2007) seyirin de en zorlaştığı dönemler olduğu söylenilebilir. Kuzey denizi rotası bu açıdan da oldukça avantajlı bir opsiyon olarak görülecektir.

NSR'nin, SCR'ye göre en büyük avantajlarından biri de elbette daha kısa mesafede taşımacılık yapılmasına imkan vermesidir. Daha kısa nakliye süresi daha yüksek karlılık ile sonuçlanacaktır. Ancak, NSR'yi kullanan ülkelerin konumları nedeniyle bu alternatif nakliye rotasından yalnızca coğrafi, ekonomik ve optimum sınırları kapsayan ülkelerin yararlanacağını belirtmek gerekmektedir. Bu nedenle, daha kısa seyir süresi avantajının büyük ölçüde varış yeri

seçimine bağlı olduğu açıktır ve bazı bölgeler için Süveyş Kanalı ekonomik olarak hala daha uygun bir seçenektir. NSR İklim değişikliğin alternatif bir sonucu olsa da bu konuda sunabileceği bir avantaj da bölgeler arasındaki mesafenin kısalması sonucu yakıt tüketimini azaltacak ve bu nedenle daha az CO_2 emisyon salınımına vesile olacaktır.

Arktik Denizi'ndeki buzsuz sezon son on yıllarda muazzam bir şekilde artmış olsa da Kuzey Buz Denizi'nin çoğunu kalın deniz buzu kapladığından, henüz NSR üzerinden bir hattın SCR'de olduğu gibi yıl boyunca kullanılabilir olamayacağı açıktır. Bu sert hava koşulları nedeniyle Arktik Okyanusu yakınlarındaki bölgeye yerleşimleri hala ıssız kabul edilmektedir. Özellikle liner taşımacılıkta gemiler için sürdürülebilir bir servis oluşturmak hala çok kolay gözükmemektedir. Çünkü düzenli konteyner hatları, NSR aracılığıyla liman şehirlerinin hinterlandındaki ağa erişemedikleri için optimize edilemeyeceklerdir. Altyapı yetersizliğinin yol açabileceği bir diğer sorun da kargo taşımacılığı seçeneklerinin sınırlı olmasıdır. Ancak "uzun izolasyon süresine kayıtsız" belirli kargo türlerinin NSR aracılığıyla başarılı bir şekilde aktarılabileceği bilinmektedir (Verny ve Grigentin, 2009).

Ayrıca buzsuz sezonda dahi yalnızca aşırı koşullar için inşa edilmiş özel buz sınıfı gemiler ya da buzkıran kullanılarak icra edilen seyir planlamaları da operasyonel zorlukların en önemlilerinden biridir. Rusya Deniz Operasyonları Otoritesi'ne göre gerekli izinler alınarak NSR boyunca hareket etmesine izin verilen gemiler, 1B Sınıfı ve üzeri gemiler ve NSR buz kırıcılarıdır. NSR kullanıldığında yapılması gereken ve zaman alan prosedürlerin başında gelen teknik ve idari izinler ise kimi zaman 4 ay kadar sürmektedir (Bouchalis, 2017). Süveyş Kanalı'nda ise bu prosedür çok daha kolay ve 4 gün gibi daha az zaman alan bir geçiş prosedürüyle çelişmektedir. NSR'den geçmek üzere olan gemi ayrıca buza dayanıklılık açısından denetlenmektedir. Geminin acentesinin bulunduğu limana teslimi ile ilgili masraflar armatör tarafından karşılanmaktadır. Rusya'nın buz kırma ücreti, gemi boyutuna, yolculuk rotasına ve gereken destek düzeyine bağlıdır. Bu ücrete keşif uçağı ile rehberlik, hidrografik ve meteorolojik hizmetler ile haberleşme hizmetlerinden yararlanma da dahildir. Ücretin maliyeti, geminin boyutuna bağlıdır (yani, gemi ne kadar büyükse, tonaj başına tarife o kadar düşük olur). Ayrıca, NSR 3 güzergâha (dolayısıyla farklı tarife bölgelerine) ayrıldığı için geminin NSR üzerinden izleyeceği güzergâha da bağlıdır. Bunun yanında NSR seferi sırasında buz kırma ücreti dışında da operasyon maliyetlerini arttırabilecek ek maliyet bileşenleri bulunmaktadır. Meteorolojik ve buz tahminlerine dayalı rota bilgisinin alınması, gemide buzlu navigasyon

deneyimli nitelikli bir gemici yoksa Rus gemi adamı maaşı, haritalar, rehber kitaplar, gelgit tabloları, sinyal defteri gibi deniz emniyeti sayılabilir (Liu ve Kronbak, 2010).

Draft ve buz kırıcının genişlik kısıtlaması ise bir başka dezavantajdır. Ancak NSR'nin sığ olan tek bir hattında daha katı uygulanan 13 m draft limiti, en büyük konteyner gemisinin, tam yüklü olarak 16,5 m'lik bir drafta sahip olduğu düşünüldüğünde buzkıran genişliği kadar etken olmayacaktır. Şu an 32 m'lik bu sınır konteyner gemisinin boyutunu 5.000–5.500 TEU ile sınırlayacaktır. Bu gemiler de yalnızca 13 m'lik bir drafta sahiptir.

Bir başka dezavantaj, aşırı iklim koşullarıyla ilişkili tehlikeler nedeniyle gemilerin karşılaşabileceği teknik sorunlara çok az yanıt verilmesi veya hiç yanıt verilmemesi ihtimallerdir. Gemilere teknik desteğin olmaması gemi sahipleri için daha yüksek sigorta primlerine neden olacaktır. Bu yüzden makine ve tekne sigortası ile yük sigortası çok daha yüksek bir maliyete sahip olmaktadır.

NSR'nin daha kısa mesafesi gemi emisyonlarını azaltacak olsa da yerel emisyonun Arktik ortamının kendine özgü kırılgan alanlarda yayılacak olması gerçeğinin altını çizmek gerekmektedir.

Yapılan ampirik değerlendirmede NSR'nin niceliksel faktörlerde (mil/zaman) güçlü, tüm nitel faktörlerde (maliyet ve emniyet) hala çok güçlü olmadığı anlaşılmaktadır. Yılın tamamında aktif bir kullanım için sermaye ve operasyon maliyetlerinin SCR'ye kıyasla ekonomik olarak rekabetçiliğinin önüne geçtiği sonucuna varılabilir. NSR'nin işlek olmayan trafiği nedeniyle gemi şirketlerinin seyir emniyetini adına mürettebatı eğitmek ve donatmak için daha fazla mali kaynağa ihtiyaç duyması ekonomik ve fiziksel bir engel teşkil edebilecektir. Buna rağmen, teknik zorluklar şirketlerin gelecekte NSR kullanmasını engelleyecek kadar önemli yer tutmayacaktır. Her geçen yıl buzun geri çekilmesi ve Arktik bölgesindeki deniz sularının yükselmesi beklendiğinden, NSR'nin ticari kullanımına olan talep de artacaktır. Gemilerin buzda daha yüksek bir hızda seyredebilmesi ise NSR'nin rekabet gücünü arttıracaktır. Ayrıca Rusya Federasyonu tarafından belirlenen transit geçiş ücretlerinin azaltılması, NSR'de gemileri çalıştırmak isteyen işletmelerin toplam maliyetinin büyük bir kısmını oluşturan transit maliyeti düşürecektir. Ancak hala NSR'nin Asya ve Avrupa arasında önemli bir uluslararası geçiş yolu olarak kullanılmasından önce yapılması gereken çok iş olduğu sonucuna varılmaktadır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Küresel ısınmanın dünya üzerinde sebep olduğu etkilerden en önemlisi sera gazlarının artışına bağlı olarak gerçekleşen küresel sıcaklık artışıdır. Bu değişimler okyanus ve deniz sistemlerini de etkilemektedir. Arktik okyanusu bu etkilerin belirgin bir şekilde gözlemlenebildiği önemli bir bölgeyi temsil etmektedir. 2000 yılından bu yana ortalama 2,5 °C ısınan Kuzey Kutbu'nun, Arktik Okyanusu'nu 2035 yılına kadar özellikle yaz aylarında tamamen buzsuz bırakacağı öngörülmektedir. Arktik Bölgesi, Arktik amplifikasyonu olarak kabul edilen bir olgu olarak, Dünya'nın geri kalanından iki kat daha hızlı ısınmaktadır. Bu nedenle özellikle küresel ısınmaya bağlı iklim değişikliğinin önemli bir sonucu olan buzul erimesinin, bu bölgede hem ekosistem hem de denizcilik faaliyetleri açısında önemli değişikliklere sebep olmaya başladığı görülmektedir. Söz konusu bu dolaylı etki ve değişimlerden biri de seyir ve ulaşım üzerindeki etkidir. Kuzey Kutbu'ndaki deniz buzu kaybı, ekonomi ve enerji açısından daha verimli bir ulaşım için yeni olanaklar sunmaktadır.

Bu çalışmada iklim değişikliği sebebiyle değişen deniz ile değişen deniz ticareti ve bu bağlamda Arktik Bölgenin deniz ticaretinde etkinliği (yeni deniz ticaret rotaları) ardından bu etkinliğin geleneksel deniz ticaret rotalarına yapacağı etkiyi incelemek amaçlanmıştır. Ticari seyirler için kullanılabilirlik, buzkıranlar yardımı ile yapılan seyir, rotanın kullanıldığı aya bağlı olarak ve en emniyetli yolu seçen dinamik hat planlaması, gidiş-dönüş maliyet planlaması kuzey hattı alternatif taşımacılığı konsepti ile ele alınmış ve Süveyş Kanalı Rotası ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada güzergah olarak seçilen hat ise Rus kıyıları boyunca uzanan Kuzey Denizi Rotası'dır (NSR). Bu kapsamda iklim değişikliğinin geleneksel dünya deniz ticaretini ve rotalarını ne şeklide etkileyeceği, alternatif deniz ticaret rotalarının etkinliği ile ortaya konarak açıklanmıştır.

Küresel iklim değişikliğinin deniz ticaretine yaptığı etkileri ele alabilecek boyutlardan biri olan yeni nakliye güzergahları, "küresel iklim değişimi deniz ticaretinin değişimine neden olmuştur", ana hipotezi ile hem ampirik bir çalışma oluşturulup bu güzergahlarının işlerliğini senaryolaştırmayı hem de daha önceki bilgilerin veya gözlemlerin doğruluğunu saptamak üzere

oluşturulan farklılık varsayım hipotezinin sınanıp geçerliliği değerlendirmeyi sağlamaktadır. Yeni oluşan ve oluşacağı muhtemel durum ve senaryolar için bugünkü durum yani mevcut ticaret aksının (Süveyş) etkileşimi ile yeni rotaların gelecek potansiyeline bir projeksiyon oluşturmayı sağlayan alt hipotezler; SCR-NSR karşılaştırma ve kullanım uygunluğunun sınanmasını gerektirmektedir. Diğer taraftan yapılan literatür araştırmasında optimum rota ve buzlu alanların çevresel, jeostratejik ve ekonomik boyutları nedeniyle birbirinden farklı hesaplamaların yeniden değerlendirilip ortaya çıkarılmasına ihtiyaç olunmuştur. Bu çerçeve birçok alt hipotezin de sondajına ihtiyaç doğuran araştırmayı beraberinde getirmektedir. Arktik taşımacılığında en optimum rotanın ne olduğu ve hangi cazibe merkezleri için kullanımın ideal olacağı sorusu NSR'nin yanında TSR'ın da ele alınmasına ve gelecek buz ortamının seyir emniyetini engellemeyeceği varsayımı ile 2100 ve sonrası koşullarındaki durumu çalışmaya dahil edilmiştir. Farklı hızlarda açık deniz ve buz sınıfı gemilerin, ayrıca gelecekte değişmesi muhtemel yeni teknolojili, düşük emisyonlu ve ücretli yakıtların da fonksiyondaki yeri anlaşılmak istenmiştir.

Bu amaçla çalışmaya rota alanlarının yeniden değerlendirilmesi ile başlanmış, ardından söz konusu rotanın kullanımında yer alan Doğu Asya– Batı Avrupa ülkeleri için nakliye maliyet maliyet moeli oluşturulmuş ve modelde yer alan ana kalemlerde kullanılan yöntemler açıklanmıştır. Arktik bölgenin buz ve hava koşulları dolayısıyla hız kaybı fonksiyonunun yöntemi de açıklanmıştır. Belirtilen limanların seçiminde NSR'yi kullanma potansiyeline göre ana ekonomik bölgenin en kuzeyi– en güneyi olabilecek noktalarının oluşturulması amaçlanmış ve lojistik avantaj-dezavantaj durumunun bölgedeki diğer liman kentleri için referans oluşturması amaçlanmıştır. Ardından seçilen ülkelerin limanları ile SCR kullandıkları durumdaki nakliye mesafeleri tayin edilmiştir.

Arktikte optimal rota bulunması için ayrıca deniz buzu kapsamının değişiminin de hesaba katılması gerekmektedir. Bu nedenle NASA veritabanından alınan veriler ile oluşturulan haritalar ile yaklaşık 2000 deniz mili bir alanda buz koşullarının seyiri değiştirdiği hesaplanmıştır. 45 yıllık uydu deniz buzu endeks verilerine göre Mayıs ayında Arktik deniz buzu kapsamındaki aşağı yönlü doğrusal eğilim, yılda 32.300 kilometrekare veya 1981-2010 ortalamasına göre on yılda yüzde 2.4'tür. Doğrusal eğilime göre, 1979'dan bu yana Mayıs ayında 1,42 milyon kilometrekare buz kaybetmiştir. Son 10 yılda 2980 ile 710 arasında değişen mevsimsel buz alanı ve dolayısıyla yaz ısınması ile oluşan buzsuz Eylül ayı en neta seyir

olanağının oluşturduğu dönemdir. Ancak bulunan 710 deniz mili mesafe Eylül ayında dahi emniyetli seyir için buzlu alan olarak hesaplanmasına gereken bir marj oluşturmaktadır.

Arktik deniz taşımacılığının maliyet analiz için ise bir nakliye maliyet modeli oluşturulmuştur. Bu çalışmada seçilen yaklaşımın temeli, birim maliyetler hakkında çıkarım yapılmasına olanak sağlayan giderler ve gemi boyutu arasındaki ilişkiye göre TEU başına birim maliyeti hesaplamaktır. Maliyetler; yıllık operasyon, sermaye, sefer ve tarife şeklinde dört kategori ile sınıflandırılarak ilgili TEU sayısına bölündüğünde birim maliyeti elde edilmiştir. Maliyet kalemleri içerisinde en yüksek kalemi oluşturan sefer yani yakıt maliyeti için daha detaylı bir fonksiyon oluşturulmuştur. Deplasman, zaman, hız, hava muhalefeti ve rüzgar direnci geminin yakıt tüketimini etkileyen önemli parametrelerdir. Ayrıca tüketim oranında hesaplanması gereken emisyon vergi kalemi de göz önünde bulundurulmuştur. Bu nedenle çalışmada kullanılan formüller uyarlanarak yeni bir fonksiyon tanımlanmış; sermaye, operasyon ve tarifeler ile tüm senaryolara uygulanabilecek bir nakliye maliyet modeli oluşturulmuştur.

NSR'nin en batı kısmı Murmansk ile en doğudaki limanı Provideniya arasındaki mesafe olan 3184 deniz mili, diğer dünya limanlarının bilinen mesafelerinin üzerine bağlanarak mesafe ölçümü hesaplanmaktadır. Bu nedenle NSR için çalışmalarda kullanılan kalıp mil ya bu mesafe içerisinde çeşitli kombinasyonlarda yer alan 3184 ya da kısmi buz değişimi hesaba katan ve nispeten daha Arktik içerisinde kalan Chukchi Denizi ile Novoya Zemiya arasındaki çeşitli kombinasyonlarda 2100-2800 arasındaki kalıp mildir. Bu çalışmada, güncel buz verileri ile oluşturulan deniz buzu yoğunluğu analiz aracı ve aylık deniz buzu haritaları ile buz riskli alanlar yeniden hesaplanmıştır. İklim değişikliğinin etkisi ile azalan diğer bir ifade ile süblimleşen (uçunum) ve kutup buzul kütlesi üzerinde eriyen suyun yarattığı kaydırıcı etkiyle birlikte, bulunduğu ortamdan ayrılan ya da kayan yüzer buzlar ile oluşan çekinim yönü bu anlamda oldukça önemlidir. Çünkü buzdan yoksun alan, yüzer buzların olduğu alan, az katmalı, ince-ilk yıl buzlarının ve orta yaştaki ilk yıl buzlarının olduğu alan Arktik koşullarında doğru bir navigasyon fizibilitesinin oluşturulmasını bir gereğidir. Dolayısıyla deniz buzu genişliğinin çekinim yönü uydu verilerindeki açık deniz alanları olarak görülen yerlerin gerçek buzluluk riskinin de anlaşılacağı bir parametredir. Buzul kapsamındaki bu dinamik duruma göre kütle kaybının maksimuma ulaştığı Eylül ayı deniz buzu kapsamı ortalaması, açık deniz alanını genişletmesi ve kütle kaybının diferansiyel yansımasında açtığı hatla kendisini göstermektedir.

Buradaki elverişliliğinin birincil varsayımı iklim değişikliğinin etkisi ile bu durumun azalarak devam edeceği ve ilerleyen on yıllarda buzsuz (ya da minimum) bir form oluşturacak olmasıdır. Bu amaçla çalışmanın buz kapsamı geçmiş verileriyle beraber aylık kapsam genişliği durumu da analiz edilmiştir.

İkinci olarak, optimum rotanın belirlenmesinde NSR alanı; literatür, AIS transit gemi yoğunluk haritası verilerinden derlenen gemi izleri ve yine AIS Rusya iç limanlarında kullanılan dahili güzergahlarda izlenilen 20 kadar geçişten elde edilen ortalama 500 mil kadar mesafenin gemi izleri takip edilerek kesiştirilen alanlar CBS programına işlenerek oluşturulmuştur. Bu üç değer sayesinde çıkan koridor hat, Avrupa liman altılısına ve Asya liman altılısına uzanacak şeklide bir kemer rota ortaya çıkarmıştır. Ardından, CBS programı üzerinde çakıştırılarak, elde edilen kemer hat buzluluk duruma göre seyir olanakları hakkında bilgi vermesi amacıyla buz sınıfı ve açık deniz gemi skalasına göre POLARIS Risk Endeksi (RIO) ile değerlendirilmiştir. 3 farklı değerlendirilmeye tabi optimum rotanın belirlenmesi sonuçları ışığında Bering Boğazı girişi Chukchi Denizi ile Novoya Zemiya-Barents Denizi buz yoğunluğunun daha fazla olduğu ve çekinimin denizel alanları nispeten daha fazla sınırladığı alan olarak Eylül ayı ortalaması 710 nm bir kemer ortaya çıkarmaktadır. Diğer bir ifade ile her koşulda 710 nm uzunluğunda buzlu seyir alanı olarak kabul edilmesi gereken bir kalıp hat üzerinden seyir planı yapılmalıdır. Bu hat ulaştırma mühendisliği argümanlarıyla da minimum seyir emniyetinin sağlanacağı eşiği belirtmektedir. Ardından kemer hat ile birleştirilen Avrupa liman altılısı ve Asya liman altılısının arasındaki uzaklıklar yeniden hesaplanmış ve deniz mili ölçüleri doğrulanmıştır.

Bu çalışmada buzkıran gemi hızlarının 3, 5 ve 8 knot olan üç senaryo kabul edilmiştir. Çalışmada ele alınan dinamik yaklaşım ile NSR kullanımının buzlanma aşamasında hızları farklı kombinasyonların ve buzsuz aşamadaki 20-25 knot gemi hızlarının 710 ve 3184 mil için SCR ile karşılıklı değerlendirilmesinin yanında hiç buz olmadığı durum, TSR kullanıldığı durum, düşük maliyetli yakıtların kullanıldığı durum da ele alınmıştır. Bu kombinasyonlara ait 5000, 8000, 10000, 12000, 14000 ve 16000 TEU OC ve 5000 ve 8000 TEU PC6, 8000 TEU PC IC standartlı geminin farklı kombinasyonların buzsuz açık deniz ve buzlu safhalarında harcanan zamanlar ve yakıt tüketimleri Excel programı kullanarak hesaplanmıştır. Açık deniz gemileri seçilirken şu an için transit geçişlere de müsait mil/yük değerinde okyanus ötesi ekonomiklikte gemiler, buz sınıfı gemilerin seçiminde ise yeni inşası ya da modifikasyonu

karlılığı karşılayabilecek ölçüde PC6 ve sert buz koşulları seyirinde de kullanılabilecek 8000 TEU PC3 gemi özellikleri dikkate alınmıştır. Ayrıca incelenen çalışmalarda gözlemlenen bir eksiklik olarak, arktik koşullarında yapılması söz konusu bir nakliye planlamasında daha gerçekçi bir yaklaşım için hava koşullarının (kimi zaman ekstrem) her zaman göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu nedenle yakıt tüketimi ile beraber hava koşulları etkisi ile hız kaybı dolayısıyla ek güç (yakıt) durumu da eklenen nakliye maliyet modeline yer verilmiştir. Barras (2004)'ün yakıt tüketim formülü, Mersin'in (2020) hız kaybı fonksiyonuna Molland'ın (2011) BN ve Aertssen sayıları kullanarak oluşturduğu yakıt tüketimi formülü parametre değiştirilerek modifiye edilmiş ve son olarak emisyon tüketimine oranlı vergi değeri hesaplanmıştır.

Sermaye maliyeti için gemi ömrü 20 yıl alınarak, doğrusal amortisman yıllık amortismana tabii değer yeni gemi inşa maliyetinin 1/20'si olarak belirlenmiştir. Operasyon maliyetlerinden olan; bakım periyodu Arktik gemileri için ayrıca uyarlanmış ve buz sınıfı gemiler için çelik onarım işi de eklenmiştir. Tekne ve Makine (H&M) ve Koruma ve Tazminat (P&I) sigorta maliyetleri rizikolarına göre ek pirim öngörülmüştür. Temel personel maaşları aynı alınmıştır. Ancak Kuzey Kutbu denizlerinde seyir eden bir gemi için ek buz pilotu ve diğer ek mürettebat ihtiyacı bu maliyete eklenmiştir. Haberleşme, ofis, sarf ve diğer harcamalar ise ve liman giderleri transit bir servis olarak düşünüldüğünde yükleme-tahliye toplam yıla oranlanarak günlük masrafa olan etkisi eklenmiştir. Son olarak Kuzey Deniz Rotası ve Süveyş Rotası Tarifeleri hesaplanmıştır.

Nakliye maliyet modelini söz konusu liman eşlerinden Yokohama-Hamburg arasında çalıştırılarak bu hesaplama adımları gösterilmektedir. Yokohama-Hamburg arasında 6768 nm ve bunun 710 milini oluşturan Chukchi-Laptev Denizi en açık Eylül ayında dahi buzlu etap olarak kabul etmek gerekecektir. Bu çalışmada yine 3184 nm olarak kabul edilen diğer çalışmalardaki kalıp buzlu etap da hesaplanmıştır. Ayrıca diğer gemi ve hız değerleri kullanılsa idi oluşacak durum, 2100 ve sonrası hiç buzun olmadığı kabul edilen senaryo, gelecek düşük maliyetli yakıt tüketildiği varsayılan senaryo, TSR rotası kullanıldığı durum, PC6 gemisini çalıştırıldığı senaryo ile SCR rotası kullanıldığı durumda oluşacak durum hesaplamalarına da yer verilmiştir.

Nakliye maliyet hesabı temelinde, diğer tüm senaryoların karşılaştırılması yapılabilme imkanı bulunmaktadır. 6'lı liman çiftlerinin her birinin diğerine kombinasyonunu sağlayan 36

sefer planı ve 6 farklı OW gemi tipi, 2 tip PC6 ve tek PC3 gemisi için toplam 324 kombinasyon ve 3 farklı buzkıran ve açık deniz seyri şekliyle 1152 kombinasyona ek olarak; yılın diğer ayları, buzluluk durumu, değişen yakıt fiyatlarıyla, farklı tip hava koşulları, 10 kn ve üzeri buzkıran hızları, nükleer buzkıranlar, farklı gemi hızları, konvoy taşımacılık planı, ara limanlı liner hat optimizasyonla, otonom gemiler ve farklı ülke destinasyonları için bu model kullanılarak bu çalışmadaki senaryolara uyarlanabilecektir.

Örnekteki senaryolara göre hesaplanan maliyet kalemlerinden Senaryo 1, Yokohama – Hamburg arası bir Arktik seferi için yakıt tüketiminde hesaplandığı gibi tam dolu kabul edilen bir geminin dönüş tüketiminin de hesaplanması gerekmektedir. Bu nedenle klasik Batı-Doğu 2/3 dolulukta olduğu kabul edilen bir geminin deplasmanı değiştiğinden, yeni deplasmanın yakıt tüketim fonksiyonuna yeniden yazılıp hesaplanması ile gidiş 943 392 $ olan tüketim maliyeti, dönüşte 733 013 $ olarak hesaplanmış ve VC_{toplam} olarak denklemde yerini almıştır. Farklı senaryolara ait farklı günlük işletim maliyetleri gidiş-dönüş sefer süresi ile çarpılarak OC_{toplam} oluşturmuştur. Yokohama–Hamburg arası bir SCR seferinde muhtemel bekleme süre daha çok olabilecektir ancak bu çalışmada tüm durumlarda maksimumum 2 gün bekleme ve 2 gün liman süresinin de ilave edildiği NSR ve SCR ilave 4 gün olarak hesaplanmıştır. SCR geçişi ilave 1 gündür. K_{toplam} sermaye maliyetinin iki tip gemi için güne orantılandığı değer de yine aynı şekilde sefer süresi ile çarpılarak elde edilmiştir. KDRT ücreti ilk 12 senaryoda, SRT ise senaryo 21 ve 22'ye eklenmiştir. Bu durumda senaryo 1 için toplam maliyeti, 5000 TEU dönüş orantılı hesaplandığında 8333 gidiş-dönüş 1 TEU'nun maliyeti 314,5 $ ve 40 gün olarak bulunmuştur. Senaryo 21, aynı hızda aynı tip geminin SCR kullandığı durumda ise 52 gün ve 510 $'dır. Senaryo 8, 3184 nm hat için ise 71 gün ve 301 $'dır. Senaryo 23, buzkıransız 19 kn PC6 gemisi kullanıldığı durumda 32 gün ve 313 $, senaryo 24, buzkıransız 14 kn PC6 gemisi kullanıldığında 44 gün ve 243 $'dır. Senaryo 17, TSR bugünkü koşullarda kullanıldığı durumda 20 kn seyri ise 28 gün ve 241 $'dır.

Bu durumda; olağan senaryolar içerisinde 20 kn seyir hızı ve buzkıran hızının 8 kn olduğu durum en optimum senaryodur. Senaryolar NSR'nin her durumda SCR'den elverişli olduğunu hatta rotayı kısaltan TSR, düşük maliyetli ya da yeni teknolojilerin ortaya çıkartacağı her gelecek durumun deniz mili ölçüsü ile de orantılı olarak çok daha ekonomik olacağı açıktır. Buz sınıfı gemilerin yakıt tüketimleri daha yüksektir ancak buzkıran olmadan kullanılabilmesi

durumunda Senaryo 23 ve 24'teki gibi maaliyet/zaman değeri en yüksek verimliliği sunabilecektir.

Bu çalışmada Kopenhag, Felixstowe, Rotterdam, Hamburg, Le Havre, Bilbao olmak üzere 6 Avrupa ve Singapur, Şangay, Hong Kong, Pusan, Manila, Yokohama noktaları ise 6 Asya ana liman koordinatları ile Kuzey deniz ticaret rotalarının geleneksel rotalara göre elverişliliği ve ekonomikliği incelenmek istenmiştir. Bu amaçla oluşturulan nakliye maliyet modeli ile ticaret aksının iki ekonomik bölgeden hangi coğrafi sınırlarda bu elverişliliğin olabileceği belirlenmiştir. Elbette Süveyş'i kulanım imkanına sahip herhangi bir Akdeniz ülkesi için kuzey yollarının kullanımının ekonomik olmayacağı açıktır. Ancak coğrafi erişilebilirlik unsuru ile bu ekonomik sınırın nereden başladığının belirlenmesi için seçilen liman noktalarından hesaplanan SCR-NSR deniz mili hesabı göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı şekilde, ele alınan setlerin en yakın-en uzak ya da en kuzey-en güney ilişki matrisi erişilebilirliğinin ekonomiklik boyutunu ortaya koymaktadır.

Modelin çalıştırıldığı tüm noktalar arasında Doğu Asya-Batı Avrupa arasında NSR kullanımının ekonomik ve optimum sınırlarının Doğu Asya Liman seti için Kuzey-Güney (uzak-yakın) ilişkisi ile en ekonomik ve en optimum aralığın Yokohama-Şangay arasındaki bölgelerin olduğu, yalnızca ekonomik sınırın ise Yokohama ve daha Güney'deki Manila'nın Avrupa'da Le Havre ve kuzeyindeki tüm noktaları kapsadığı bir alan olabileceği anlaşılmaktadır. Batı Avrupa Liman 6'lısı için Kuzey-Güney (uzak-yakın) ilişkisi ile en ekonomik ve en optimum aralığın Kopenhag-Le Havre arasındaki bölgelerin olduğu, yalnızca ekonomik sınırın ise Kopenhag ve daha Güney'deki Bilbao'nun Asya'da Hong Kong ve kuzeyindeki tüm noktaları kapsadığı bir alan olabileceği anlaşılmaktadır. Singapur ve yakını bölgenin ise hiçbir eşlemede NSR kullanımının fizibıl olmadığı anlaşılmıştır. Sonuç olarak Yokohama, Pusan, Şangay ile Kopenhag, Rotterdam, Hamburg ve Le Havre bölge ve yakınları arasındaki her eşlemede NSR kullanımı daha elverişlidir.

3184 mil buzul alan olarak alındığı senaryolarda ise literatürde en çok hesaplanan ve coğrafi mesafeleri birbirlerine yakın olan Rotterdam ve Hamburg'un Doğu Asya'nın orta ve Kuzey'i için kullanışlı ancak Güney'i için her durumda öyle olmadığı anlaşılmaktadır. Örneğin EK'te yer alan mil-tüketim kombinasyonlarına göre Manila-Bilbao arasındaki bir sefer SCR ile 42 gün ve TEU başına 422$ iken NSR ile 74 gün ve 500$ olacaktır. Bunun nedeni 3184 mil kemerinin buzkıran hızı 8 knot dahi olsa bölgeyi 16,5 günde geçecek olmasıdır. Çünkü her

durumda daha az buz, daha ekonomik bir nakliye maliyeti demektir. Bunun dışında yakıt tüketim katsayısı düşük olan, hiç buzun olmadığı ve potansiyel TSR kullanılan her durum için ise NSR daha elverişlidir.

Ayrıca yapılan incelemede gemi boyutu büyüdükçe NSR'ın büyüklük oranında SCR'den daha elverişli olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin 5000 TEU ile yapılan senaryolarda gemi 10000 TEU olarak modele yeniden girildiğinde elbette başta yakıt tüketim oranı olmak üzere tüm maliyetler artacaktır. Ancak TEU başına maliyet düşecektir. Le Havre-Şangay arası bir seferin nakliye süresi ve maliyeti NSR ile 39 gün ve TEU başına 237$, SCR ile ise 48 gün ve 335$'dır. Bu durum özellikle transit her durumda NSR lehine bir avantaj yaratmaktadır.

Kuzey Kutbu nakliye potansiyelinin Doğu-Batı dünya deniz ticaretindeki en özel Supra-Polar rotalarından biri olan NSR ekonomiklik, altyapı ve emniyet gibi tüm sınırlılıklarının yanında işlerliğini her geçen gün arttırmaktadır ve iklim modellerine göre 2050 itibari ile erişilebilirliğini oldukça arttıracaktır. 2100 ve daha sonrası için ise hiç buz olmayan durum için şimdiden fizibilitelere başlanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda deniz buzunda öngörülen jeofiziksel değişikliklerin gemi navigasyonunu nasıl etkileyeceğine dair sayısal bir çalışmadır. Bu amaçla Arktik deniz taşımacılığında değişiklikleri değerlendirmek için bugünkü durum, yüzyıl sonuna dair projeksiyonel durum, gelecekte oluşacak düşük yakıt maliyeti, NSR'yi kullanan açık deniz ve buz sınıfı gemileri için Eylül ayı seyrüsefer kabiliyeti ve TSR gibi yeni bir alternatif rotanın kullanımı araştırılmıştır. Yeni bir nakliye rotasını değerlendirirken birçok belirsizliğin etkisini analiz etmek için stokastik modelleme tekniklerinden de faydalanılmıştır. Önceki çalışmalarda açıklanan geçiş modellerinde deniz buzu koşullarının dağılımı gibi birçok çevresel belirsizlik mevcuttur. İklim değişikliğinin deniz buzu üzerinde önemli bir etkisi vardır ve model yıllık gidiş-dönüş seferlerinin türetildiği geçiş hızının dağılımını yeniden hesaplaması için tekrar güncellenebilir. Ayrıca bu çalışmada tartışılan maliyet modeli, finansal faktörlerdeki belirsizliği, NSR üzerinden bir nakliye planlamasında, kritik değişkenlerdeki belirsizliği azaltmaya olanak tanımaktadır.

NSR kullanımının yakın geçmişi elverişliliğin ve çeşitli risk hesaplamalarının doğru bir şekilde yapılamamış olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın önemli bir sınırlılığı Arktik denizinin geleceğine dair somut bir bilginin bulunmamasıdır. Gelecekteki çalışmalar, NSR'nin kullanımı arttıkça daha çok veri ve deneyim ile incelenmesine imkan tanıyacaktır.

KAYNAKLAR

AEC. (2019). Arctic Economic Council Maritime Transportation Working Group Report: The State of Maritime Transportation in the Arctic. Tromsø, Norway: AEC.

Alderton, P. M. (1981). The optimum speed of ship. The Journal of Navigation, 34(3), 341355.10.1017/S0373463300047962.

Aldworth, P. (2021). Lloyd's maritime atlas of world ports and shipping places. Informa Law from Routledge.

Arctic Institute. (2016). Arctic Maps – Visualizing the Arctic. May 17, 2016. Son erişim tarihi: 15 Aralık 2020. https://www.thearcticinstitute.org/arctic-maps/

Atalay, İ. (2007). Kıtalar ve Ülkeler Coğrafyası. İzmir, Türkiye: Meta Basımevi.

Barras, B. (2004). Ship design and performance for masters and mates. Oxford: Elsevier. ISBN 0-7506- 6000-7

Becker, A., Inoue, S., Fischer, M., Schwegler, B. (2012). Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators, Climatic change, 110(1-2), 5-29.

Bennett, M. M. (2014). North by Northeast: toward an Asian-Arctic region. Eurasian Geography and Economics, 55(1), 71–93.

Bennett, M. M., Stephenson, S. R., Yang, K., Bravo, M. T., De Jonghe, B. (2020). The opening of the Transpolar Sea Route: Logistical, geopolitical, environmental, and socioeconomic impacts. Marine Policy, 121, 104178.

Beuthe, M., Jourquin, B. U., Lingemann N., Berry, I., U., (2014). Climate Change Impacts on Transport on the Rhine and Danube: A Multimodal Approach, Transportation Research Part D, 27, 6-11.

Bijma, J., Pörtner, H. O., Yesson, C., Rogers, A. D. (2013). Climate change and the oceans–What does the future hold. Marine Pollution Bulletin. 74(2), 495-505.

Bilello, M. A. (1973). Prevailing wind directions in the Arctic Ocean. Corps of Engineers, US Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory.

Bindoff, N.L., J. Willebrand, V. Artale, A, Cazenave, J. Gregory, S. Gulev, K. Hanawa, C. Le Quéré, S. Levitus, Y. Nojiri, C.K. Shum, L.D. Talley, A. Unnikrishnan, (2007). Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Bird, K. J., Charpentier, R. R., Gautier, D. L., Houseknecht, D. W., Klett, T. R., Pitman, J. K., Moore, T. E., Schenk, C. J., Tennyson, M. E., Wandrey, C. R. (2008). Circum-Arctic resource appraisal: Estimates of undiscovered oil and gas north of the Arctic Circle. US Geological Survey.

Blunden, M. (2012). Geopolitics and the Northern Sea Route, International Affairs, 88(1),115–129.

Bouchalis, N. (2017). A Study on the Northern Sea Route and its Economic Feasibility.

Brigham, L. W. (2014). Polar maps: Early eighteenth century vision of a northeast passage. Polar Geography, 37(2), 134–136

Britannica. (2022). The Editors of Encyclopaedia. "Sir Martin Frobisher". Encyclopedia Britannica. Accessed 3 August 2023.

Brossier, E. (2007) Circumpolaris: Vagabond dans l'Arctique (Hommes et océans). GLENAT. ISBN 2723449831.
BSIS-ICE. (2023). Baltic Sea Ice Service. Classification Society Ice Class.
Bucsky, P. (2020). The iron Silk Road: how important is it. Area Development and Policy. No. 2, 146-166.
Buis, A. (2020). Study Confirms Climate Models are Getting Future Warming Projections Right.
Burck, J., Marten, F., Bals, C., Uhlich, T., Höhne, N., Gonzales, S., Moisio, M. (2017). Climate Change Performance Index 2017. Germanwatch Nord-Süd Initiative eV.
Cansız, Ö. F., Ünsalan, K. (2020). Yapay Zekâ ve İstatistiksel Yöntemler ile Küresel Ticarette Rekabet Ölçütü Olan Lojistik Performans İndeksine (LPI) Etken Parametrelerin Ülke Bazlı İncelenmesi ve Tahmin Modellerinin Geliştirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32(2), 571-582.
Carroll, M. L., Carroll, J. (2009). 5 The Arctic seas. Biogeochemistry of marine systems, 127.
CAT. (2022). Climate Action Tracker Country Summary of Singapore. Overview.
Çetin, O., Büyüksağnak, Y. B. (2021). Turkey's Interest in the Arctic Region: the Evaluation of being a Party to the Svalbard Treaty. International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO), 8(3), 350–358.
CGC. (2023). United Nations Association in Canada. Canada Green Corps. (https://www.unac.org/cgc-stip).
Chen, L. (2021). Research on supply and demand of container port handling capacity—Taking Yangshan harbor area of Shanghai port as an example.
CHNL .(2022). Center for High North Logistic. Reports: NSR Shipping activities in 2022.
Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D. (2007). Maritime transportation. Handbooks in operations research and management science, 14, 189-284.
Chrzanowski, L. (1989). An Introduction to Shipping Economics, Fairplay Publication NIT.D. United Kingdom.
City of Yokohama. (2023). The port of Yokohama and Port Facts and Figures. (https://www.city.yokohama.lg.jp/lang/overseas/port/network/portal.html)
Clarksons. (2023). Clarksons Research. World Fleet Register.
Council, A. (2009). Arctic marine shipping assessment 2009 report.
Cowper, D. S.(1994). Northwest passage solo. Sheridan House. ISBN 1574093525.
Cullinane, K., Khanna, M. (1999). Economies of Scale in Large Container Ships. Journal of Transport Economics and Policy, 185-207.
Curtin, P. D. (1984). Cross-Cultural Trade in World History (E. Burke (ed.)). Cambridge University Press.
De Roos, W. (1989). Seul, dans le sillage des caravelles. ISSN 0224-5108.
Demir, A. (2009). Küresel iklim değişikliğinin biyolojik çeşitlilik ve ekosistem kaynakları üzerine etkisi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 1(2), 37-54.
Demirbolat, S. (2009). Buz klası kurallarının incelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi. Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
DeWeerdt, S. (2017). Sea change. Nature, 550(7675), S54-S58.
DNV (2022), Maritime Forecast to 2050.

DNV. (2023). Alternatıve Fuels for Containerships. (https://www.dnv.com/maritime/publications/alternative-fuels-for-containerships-download.html)

Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J. P., Chan, F., English, C. A., Galindo, H. M., Grebmeier, J. M., Hollowed A. B., Knowlton, N., Polovina J., Rabalais, N. N., Sydeman W. J., Talley, L. D. (2012). Climate change impacts on marine ecosystems. Annual Review of Marine Science, 4, 11-37.

Doudnikoff, M., Lacoste, R. (2014). Effect of a speed reduction of containerships in response to higher energy costs in sulphur emission control areas, Transportation Research Part D Vol 28, 51–61.

Dutton, A., Carlson, A. E., Long, A. J., Milne, G. A., Clark, P. U., DeConto, R., Horton B. P., Rahmstorf S., Raymo, M. E. (2015). Sea-level rise due to polar ice-sheet mass loss during past warm periods. Science, 349(6244).

Dvorak, R. E. (2009). Engineering and Economic Implications of Ice-classed Containerships. Massachusetts Institute of Technology.

EPA. (2022). Climate Change Indicators: Arctic Sea Ice. Figure 2.

Erat, E. (2014). Gemilerin Operasyonel Enerji Verimliliğinin Analizi İle Gemilerde Enerji Verimliliğine İlişkin Ulusal Mevzuat Uyarlamasi, Maritime Specialization Thesis, Ministry of Transport.

Froude, R. E. (1889). On the part played in propulsion by differences of fluid pressure. Trans. Inst. Naval Architects, 30, 390.

Fugazza, M., Hoffmann, J. (2017). Liner shipping connectivity as determinant of trade. Journal of Shipping and trade, 2(1), 1-18.

Furuichi, M., Otsuka, N. (2015). Proposing a common platform of shipping cost analysis of the Northern Sea Route and the Suez Canal Route. Maritime Economics & Logistics, 17, 9-31.

Garcia-Soto C, Cheng L, Caesar L, Schmidtko S, Jewett E.B., Cheripka A., Rigor I., Caballero A., Chiba S., Báez J.C., Zielinski T., Abraham J.P. (2021) An Overview of Ocean Climate Change Indicators: Sea Surface Temperature, Ocean Heat Content, Ocean pH, Dissolved Oxygen Concentration, Arctic Sea Ice Extent, Thickness and Volume, Sea Level and Strength of the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation). Frontiers in Marine Science 8:642372.

Gosh, S. (2021). Understanding Design of Ice Class Ships. Naval Architecture.

Government of Canada. (2023). The official website of the Government of Canada.

Greenhill, A. G. (1888). A theory of the screw propeller. Transactions of the Institution of Naval Architects, 29.

Guerrero, D., Niérat, P., Thill, J. C., Cohen, E. (2021). Visualizing maritime connectivity at national level: the case of LSBCI links of West European countries. Case Studies on Transport Policy, 9(4), 1818-1824.

Gunnarsson, B., Moe, A. (2021). Ten Years of International Shipping on the Northern Sea Route. Arctic Review on Law and Politics, 12, 4-30.

Gvyc, G. (1988). Geology and exploration of the National Petroleum Reserve in Alaska, 1974 to 1982.

Ha, K. O., Blas, J., Magdy, M., Koh, A. (2021). How a Desert Wind Blew $10 Billion of Global Trade Off Course. Bloomberg.

Haddara, M.R., Guedes Soares, C. (1999). Wind loads on marine structures. Marine Structers. 12 1999, 199-209

Handesten, L. (2020). Nordic polar heroes. In G. Hermansson & J. Jens Lohfert (Eds.), Exploring Nordic Cool in Literary History. John Benjamins Publishing Company

Hannah, L., Thornborough, K., Murray, C. C., Nelson, J., Locke, A., Mortimor, J., Thornborough, K. (2020). Pathways of effects conceptual models for marine commercial shipping in Canada: biological and ecological effects. Canadian Science Advisory Secretariat.

Harley C.D., Randall Hughes A., Hultgren K.M., Miner B.G., Sorte C.J., Thornber C.S., Rodriguez L.F., Tomanek L., Williams S.L. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. Ecology letters, 9(2), 228-241.

HKMPB. (2023). Hong Kong Maritime and Port Board. The Port of Hong Kong. (https://www.hkmpb.gov.hk/en/port.html).

Ho, J. (2011). The Opening of the Northern Sea Route. Maritime Affairs: Journal of the National Maritime Foundation of India, 7(1), 106-120.

Hoegh-Guldberg, O., R. Cai, E.S. Poloczanska, P.G. Brewer, S. Sundby, K. Hilmi, V.J. Fabry, S. Jung, (2014). The Ocean. In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Barros, V.R., C.B. Field, D.J. Dokken, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1655-1731.

Howell, S. E., Yackel, J. J. (2004). A vessel transit assessment of sea ice variability in the Western Arctic, 1969–2002: implications for ship navigation. Canadian Journal of Remote Sensing, 30(2), 205-215.

Humpert, M., Raspotnik, A. (2012). The future of Arctic shipping along the transpolar sea route. Arctic Yearbook, 2012(1), 281-307.

Hutchison Ports. (2023). Hutchison Ports Port of Felixstowe. (https://hutchisonports.com/en/ports/world/port-of-felixstowe-pfl/)

Ibold, S. (2018). Belt and Road Initiative. BRI Projects.

IMO. (2019).Initial IMO GHG Strategy.

IMO. (2023). International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code). International Maritime Organization.

IPCC, (2014) Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

IPCC, (2019) IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

IPCC, (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B.

Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.
IPCC. (2000). Scenarios IPCC special report. Cambridge University. Cambridge.
IPCC. (2001). Greenhouse Gas Emission Mitigation Scenarios and Implications. In Metz B. Climate Change 2001: Mitigation: Contribution of Working Group III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge Uni. Press.
Keeling, R. F., Körtzinger, A., Gruber, N. (2010). Ocean deoxygenation in a warming world. Annual Review of Marine Science, 2(1), 199-229.
Khon, V. C., Mokhov, I. I., Latif, M., Semenov, V. A., Park, W. (2010). Perspectives of Northern Sea Route and Northwest Passage in the twenty-first century. Climatic change, 100, 757-768.
Khor, Y.S., Dohlie, K. A., Konovessis, D., Xiao, Q. (2013). Optimum Speed Analysis for Large Containerships, Journal of Ship Production and Design, 29(3), 93-104.
Kim, H.J., Chang, Y.T., Kim, Y.T., Kim, H.J., (2012). An epsilon-optimal algorithm considering greenhouse gas emissions for the management of a ships bunker fuel, Transportation Research Part E, Vol 17 pp.97-103
Kitagawa, H. (2008). Arctic routing: Challenges and opportunities. WMU Journal of Maritime Affairs, 7(2), 485–503.
Kleypas, J. A., Feely, R. A., Fabry, V. J., Langdon, C., Sabine, C. L., Robbins, L. L. (2005). Impacts of ocean acidification on coral reefs and other marine calcifiers: a guide for future research. In Report of a workshop held. Vol. 18, No. 2005, p. 20.
Koetse, M. J., Rietveld, P., (2009). The Impact of Climate Change and Weather on Transport: An Overview of Empirical Findings, Transportation Research Part D. 14(3), 205-211.
Kroeker, K. J., Kordas, R. L., Crim, R. N., Singh, G. G. (2010). Meta-analysis reveals negative yet variable effects of ocean acidification on marine organisms. Ecology Letters, 13(11), 1419-1434.
Kubat, I., Gorman, R., Collins, A., Timco, G. W. (2007). Climate change impact on Canadian northern shipping regulations, Marine Technology, 44(4), 245-253.
Kujala, P., Goerlandt, F., Way, B., Smith, D., Yang, M., Khan, F., Veitch, B. (2019). Review of risk-based design for ice-class ships. Marine Structures, 63, 181-195.
Kwon, Y.J., (2008). Speed loss due to added resistance in wind and waves, The Naval Architect, RINA, London, 14–16.
Lasserre, F. (2014). Case studies of shipping along Arctic routes. Analysis and profitability perspectives for the container sector. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 66, 144–161.
Leppäranta, M. (2011). The drift of sea ice. Springer Science & Business Media.
Li, P., Qian, H., Howard, K. W. F., Wu, J. (2015). Building a new and sustainable Silk Road economic belt. Environmental Earth Sciences, 74(10), 7267–7270.
Lindborg, E., Andersson, P. (2020). The costs of icebreaking services: an estimation based on Swedish data. WMU Journal of Maritime Affairs, 19(1), 125-142.
Liu, M., Kronbak, J. (2010). The potential economic viability of using the Northern Sea Route (NSR) as an alternative route between Asia and Europe. Journal of Transport Geography, 18(3), 434–444.
Liu, Q., Babanin, A. V., Zieger, S., Young, I. R., Guan, C. (2016). Wind and wave climate in the Arctic Ocean as observed by altimeters. Journal of Climate, 29(22), 7957-7975.

Love, G., Soares, A., Püempel, H., (2010). Climate Change, Climate Variability and Transportation, Procedia Environmental Sciences, 1, 130-145.
MAN Energy Solutions. (2021). Ice classed Ships. Denmark.
Marceau, G. (2010). The WTO in the emerging energy governance debate. Global Trade and Customs Journal, 5(3).
MarineTraffic. (2022). Ship Density Map. (https://www.marinetraffic.com/)
McGraw, M., Walker, H. J. (2015). Closing the Gap: Exploration and Mapping of the Alaskan Arctic Coast. Focus on Geography, 58(4), 163–172. 2015
Meier, W. N., Perovich, D., Farrell, S., Haas, C., Hendricks, S., Petty, A. A., Webster, M., Divine, D., Gerland, S., Kaleschke, L., Ricker, R., Steer, A., Tian-Kunze, X., Tschudi, M., Wood, K. (2021). Sea ice. NOAA technical report OAR ARC; 21-05.
Melia, N., Haines, K., Hawkins, E. (2017) Implications from opening Arctic sea routes. Foresight: Future of the Sea. Report. Government Office for Science. Pp39.
Menon, A. (2021a). 15 Major Ports in Spain. Marine Insight.
Menon, A. (2021b). 10 Major Ports In The Philippines. Marine Insight.
Mersin, K. (2016). Deniz taşımacılığında optimum hız ve rotanın modellenmesi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı (Doktora Tezi).İstanbul.
Mersin, K. (2020). A new method for calculating fuel consumption by using speed loss function. International Journal of Environment and Geoinformatics, 7(1), 64-67.
Mersin, K., Alkan, G., Mısırlıoğlu, T. (2017). A new method for calculating fuel consumption and displacement of a ship in maritime transport. Cogent Engineering, 4(1), 1415107.
MGM. (2023). IPCC İklim Değişikliği Senaryoları ve Tarihsel Gelişimi.
Mimura, N. (2013). Sea-level rise caused by climate change and its implications for society. Proceedings of the Japan Academy, Series B, 89(7), 281-301.
Mohit, K. (2018). Port Of Hong Kong – The World's Largest Container Port. Marine Insight.
Mokhov, I. I., Khon, V. C., Prokof'eva, M. A. (2016). New model estimates of changes in the duration of the navigation period for the Northern Sea Route in the 21st century. In Doklady Earth Sciences. Vol. 468, No. 2, pp. 641-645. Pleiades Publishing.
Molland, A.F., Turnock, S.R., Hudson, D.A. (2011). Ship Resistance and Propulsion, Cambridge University Press, New York, ISBN: 978-0-521-76052-2
NASA ICESat-2. (2023). Ice Cloud and Land Elevation Satellite-2. Science. (https://icesat-2.gsfc.nasa.gov/science)
Ng, A. K.Y., Chen, S. L., Cahoon, S., Brooks, B., Yang, Z., (2013). Climate Change and the Adaptation Strategies of Ports: The Australian Experiences, Research in Transportation Business & Management. 8, 186-194.
Nicholls, R. J., Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. Science, 328(5985), 1517-1520.
Niérat, P., Guerrero, D. (2019). UNCTAD Maritime Connectivity Indicators: Review, Critique and Proposal. Article N 84. UNCTAD Transport and Trade Facilitation Newsletter N, 84.
Nilsson, A. E. (2018). The United States and the making of an Arctic nation. Polar Record, 54(2), 95–107. Northern Forum. History of Northern Forum.
Nordquist, M. H., Moore, J. N., Beckman, R., Long, R. (2014). Freedom of navigation and globalization. Leiden, Hollanda: Martinus Nijhoff Publishers.

Notteboom, T., Cariou, P. (2013). Slow steaming in container liner shipping: is there any impact on fuel surcharge practices. The International Journal of Logistics Management, 24(1), 73-86.
NSIDC, (2018). National Snow and Ice Data Center, Sea Ice News and Analysis. Son erişim tarihi: 15 Aralık 2020. http://nsidc.org/arcticseaicenews/2018/04/2018-winterarctic-sea-ice-bering-down.
NSIDC. (2023). National Snow and Ice Data Center. Arctic Weather and Climate. What is Arctic Climate.
NSIDC. (2023a). National Snow and Ice Data Center. Sea Ice. (https://nsidc.org/learn/parts-cryosphere/sea-ice).
NSIDC. (2023b). Arctic Sea Ice News and Analysis. Overview of conditions. (https://nsidc.org/arcticseaicenews/).
NSIDC. (2023c). Arctic Sea Ice News and Analysis. Sea Ice Analysis Tool. Sea Ice Extent. (https://nsidc.org/arcticseaicenews/sea-ice-analysis-tool/) (Erişim Tarihi: 27.06.2023).
NSRA. (2023). Northern Sea Route Administration. Icebreaking assistance and pilotage.
O'Neill, B. C., Carter, T. R., Ebi, K., Harrison, P. A., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Pichs-Madruga, R. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. Nature Climate Change, 10(12), 1074-1084.
Ocean Conservancy. (2017). Navigating the North: An Assessment of the Environmental Risks of Arctic Vessel Traffic. Anchorage, AK.
Oktay, A. (2017). Arctic Policy of the Russian Federation. Avrasya İncelemeleri Dergisi, 6(1), 57–95.
Omre, A. (2012). An economic transport system of the next generation integrating the northern and southern passages. Institutt for marin teknikk.
Ostreng, W., Eger, K. M., Fløistad, B., Jørgensen-Dahl, A., Lothe, L., Mejlænder-Larsen, M., Wergeland, T. (2013). Shipping in Arctic waters: a comparison of the Northeast, Northwest and trans polar passages. Springer Science & Business Media.
Oswald, M., (2009). Literature Review: Transportation Adaptation in Response to Climate Change. University Transportation Center of Delaware, 53-81.
Ouin, W. (1875). The Arctic Expedition. After Work, 2, 170–173.
Özsoy, B., Oktar, Ö., Yirmibeşoğlu, S. (2017). Arktik ve Antraktik Deniz Buz Tipleri. Kutup Arktik ve Antraktik Bilim Programı Çalıştayı. 20.
PAME. (2019). Protection of the Arctic Marine Environment. Alternative fuels in the Arctic.
PAME. (2021). Northern Sea Route Transits 2011-2015. Arctic Council, Protection of the Arctic Marine Environment. (https://pame.is/projects/arcticmarine-shipping/older-projects/northern-sea-routeshipping-statistics).
Pan, C., Wang, H., Guo, H., Pan, H. (2021). How do the population structure changes of China affect carbon emissions An empirical study based on ridge regression analysis. Sustainability, 13(6), 3319.
Peters, G. P., Nilssen, T. B., Lindholt, L., Eide, M. S., Glomsrød, S., Eide, L. I., Fuglestvedt, J. S. (2011). Future emissions from shipping and petroleum activities in the Arctic. Atmospheric Chemistry and Physics, 11(11), 5305–5320.
Pirotta, E., New, L. Marcoux, M. (2018). Modelling beluga habitat use and baseline exposure to shipping traffic to design effective protection against prospective industrialization in the Canadian Arctic, Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 28(3), 713-722.

PolarWiev. (2023). Arctic Region. (https://www.polarview.aq/arctic).
Polyak, L., Alley, R. B., Andrews, J. T., Brigham-Grette, J., Cronin, T. M., Darby, D. A., Dyke, A.S., Fitzpatrick, J.J., Funder, S., Holland, M., Jennings, A.E., Miller, G.H., O'Regan, M., Savelle, J., Serreze, M., John, K., White, J.W.C., Wolff, E. (2010). History of sea ice in the Arctic. Quaternary Science Reviews, 29(15-16), 1757-1778.
Port of Bilbao. (2022). The Port of Bilbao Authority Bilbao Port: Anual Report. (https://www.bilbaoport.eus/en/the-port-authority/reports-publications/)
Port of Felixstowe. (2023). Port of Felixstowe The Port of Britain. The Bigger Picture. (https://www.portoffelixstowe.co.uk/#/about)
Port of Hamburg. (2021). The History of Port of Hamburg.
Port of Hamburg. (2023). Port of Hamburg: Welcome to the official website of Germany's biggest seaport.
Port of Rotterdam. (2021). Facts and Figures Port of Rotterdam. (https://www.portofrotterdam.com/en/experience-online/facts-and-figures)
Port of Rotterdam. (2023). The Port That will Take You Ahead. (https://www.portofrotterdam.com/en/why-rotterdam/port-will-take-you-ahead)
Pruyn, J. F. J. (2016). Will the Northern Sea Route Ever Be a Viable Alternative. Maritime Policy & Management 43 (6): 661–675.
Przybylak, R. (2022). Arctic Winds. Climate Policy Watcher. (https://www.climate-policy-watcher.org/atmospheric-circulation/winds.html).
Rankine, W. J. M. (1865). On the mechanical principles of the action of propellers. Transactions of the Institution of Naval Architects, 6.
Raunek, K. (2022). Top 10 Busiest Ports In The World. Marine Insight.
Reeves, R. R., Ewins, P. J., Agbayani, S., Heide-Jørgensen, M. P., Kovacs, K. M., Lydersen, C., Blijleven, R. (2014). Distribution of endemic cetaceans in relation to hydrocarbon development and commercial shipping in a warming Arctic. Marine Policy, 44, 375-389.
Riska, K. (2009). Definition of the new ice class IA Super+. Finnish Maritime Administration: Technical Reportd. Winter Navigation Research Board. Res. Rpt, 60.
Ronen, D. (1982). The effect of oil price on the optimal speed of ships. Journal of Operational Research, 33, 1035–1040.
RS-Class. (2023). Russian Maritime Register of Shipping. Ice Class Rules. (https://rs-class.org/en/)
Sağlam, N. E., Düzgüneş, E., Balık, İ. (2008). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 25(1), 89-94.
Schislyaeva, E., Barykin, S., Kovalenko, E., Schislyaev, S. (2019). Development of logistics hubs in case of intensification of international cargo traffic via the northern sea route. In International Conference on Digital Technologies in Logistics and Infrastructure (ICDTLI 2019) (pp. 185-192). Atlantis Press.
Scott, D., Hall, C. M., Gössling, S. (2016). A review of the IPCC Fifth Assessment and implications for tourism sector climate resilience and decarbonization. Journal of Sustainable Tourism, 24(1), 8-30.
Scott, M., Hansen, K., Stevens, j., Simmon, R. (2016). Sea Ice. NASA Earth Observatory. (https://earthobservatory.nasa.gov/features/SeaIce).
Serreze, M. C., Barry, R. G. (2011). Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. Global and Planetary Change, 77(1–2), 85–96.

Ship and Bunker. (2023). Bunker Prices. World Bunker Prices.
Shiphub. (2023). The Port of Shanghai. (https://www.shiphub.co/port-of-shanghai/)
Shi-Yi, Chen., Kern, S., Xin-Qing, L. I., Feng-Ming, H. U. I., Yu-Fang, Y. E., Cheng, X. (2022). Navigability of the Northern Sea Route for Arc7 ice-class vessels during winter and spring sea-ice conditions. Advances in Climate Change Research, 13(5), 676-687.
Smith, L. C., S. R. Stephenson. (2013). New Trans-Arctic Shipping Routes Navigable by Midcentury. Proceedings of the National Academy of Sciences 110 (13): E1191–E1195.
SOF. (2000). Ship and Ocean Foundation. The Northern Sea Route -The Shortest sea route linking East Asia and Europe.
Solakivi, T., T. Kiiski, L. Ojala. (2017). On the Cost of Ice: Estimating the Premium of Ice Class Container Vessels. Maritime Economics & Logistics
Song, M. G. (2018). Analysis of China's Arctic Route Development associated with the Belt and Road initiative. Journal of Digital Convergence, 16(2), 103-115.
Stamos, I. Evangelos, M., (2014). A Review on Climate Change Adaptation Policies for the Transportation Sector, Munich Personal RePEc Archive, 61535.
Stein, G. M. (2015). Discovering the North-West Passage: The four-year Arctic odyssey of HMS Investigator and the McClure expedition. McFarland.
Stephenson, S. R., Brigham, L. W., Smith, L. C. (2014). Marine accessibility along Russia's Northern Sea route. Polar Geography, 37(2), 111–133.
Stocker, T. (2014). Climate change 2013: the physical science basis: Working Group I contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge university press.
Stopford, M. (1997). The global pattern of maritime trade. Maritime Economics, 253.
Stopford, M. (2008). Maritime Economics (3rd ed.). Routledge.
Stopford, M. (2016). Denizcilik ekonomisi. Nobel Akademik Yayıncılık.
Suez Canal Authority. (2019). About Suez Canal.
Tadini, M. (2019). A Geographical Overview of the Suez Canal Freight Flows: an Impact on the Mediterranean Sea and the Genoa port. Bollettino della Società Geografica Italiana serie 14, 2(1)
Talay, A., A., Deniz, C., Durmuşoğlu, Y. (2014). Gemilerde verimi arttırmak için uygulanan yöntemlerin CO2 emisyonlarını azaltmaya yönelik etkilerinin analizi, Journal ETA Maritime Science, 1(3), 47-58.
The Northern Forum. (2020). The History of Northern Forum 1974-1989.
Thoman, R. L., Richter-Menge, J., Druckenmiller, M. L. (2020). Arctic Report Card 2020. NOAA: Washington, DC, USA.
Tilling, R. L., Ridout, A., Shepherd, A. (2018). Estimating Arctic sea ice thickness and volume using CryoSat-2 radar altimeter data. Advances in Space Research, 62(6), 1203-1225.
Tran, N. K., Haasis, H. D. (2015). Literature survey of network optimization in container liner shipping. Flexible Services and Manufacturing Journal, 27, 139-179.
Trozzi, C., Vaccaro, R. (2006). Methodologies for estimating air pollutant emissions from ships: a 2006 update. Environment & Transport 2th International Scientific Symposium including 15th conference Transport and Air Pollution, Proceedings 108, 425, 12-14 June 2006, Reims, France
Turley C., Eby M., Ridgwell A.J., Schmidt D.N., Findlay H.S., Brownlee C., Riebesell U., Fabry V.J., Feely R.A., Gattuso J.P. (2010). The societal challenge of ocean acidification. Marine Pollution Bulletin, 60(6), 787-792.

U.S. Committee on the Marine Transportation System (2019). A Ten-Year Projection of Maritime Activity in the U.S. Arctic Region, 2020–2030. Washington, D.C., 118 p.
UNECE. (2013). United Nations Economic Commission for Europe ECE/TRANS/238, Climate Change Impacts and Adaptation for International Transport Networks, Expert Group Report.
VanderBerg J.D. (2018). Optimal Arctic Port locations: a quantitative composite multiplier analysis of potential sites, Polar Geography, 41(1), 55-74.
Verny, J., Grigentin, C., 2009. Container shipping on the Northern Sea Route. Int. J. Prod. Econ. 122 (1), 107–117
Vinje, T., Kvambekk, A. S. (1991). Barents Sea drift ice characteristics. Polar Research, 10(1), 59-68.
Wang, M., Overland, J. (2009). A sea ice free summer Arctic within 30 years? American Geophysical Union.
Wang, N., Yan, B, Nuan, W., Zhao, W.J. (2016). Comments on Case Studies of Shipping along Arctic Routes Analysis and Profitability Perspectives for the Container sector, Transportation Research Part A: Policy and Practice 94, 699–702.
Wang, S., Meng, Q. (2012). Sailing speed optimization for container ships in a liner shipping network. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48(3), 701-714.
Wang, Z., Silberman, J. A., Corbett, J. J. (2021). Container vessels diversion pattern to trans-Arctic shipping routes and GHG emission abatement potential. Maritime Policy & Management, 48(4), 543-562.
World Bank. (2019). The World Bank Group Action Plan on Climate Change Adaptation and Resilience. Washington, DC: World Bank.
WPS. (2023a). World Port Source. Port of Le Havre France. (http://www.worldportsource.com/ports/commerce/FRA_Port_of_Le_Havre_604.php)
WPS. (2023b). World Port Source. Port of Copenhagen Denmark. (http://www.worldportsource.com/ports/commerce/DNK_Port_of_Copenhagen_541.php)
Xu, H., Yang, D., Weng, J. (2018). Economic feasibility of an NSR/SCR-combined container service on the Asia-Europe lane: a new approach dynamically considering sea ice extent. Maritime Policy & Management, 45(4), 514–529.
Xu, H., Z. Yin, D. Jia, F. Jin, H. Ouyang. (2011). The Potential Seasonal Alternative of Asia–Europe Container Service via Northern Sea Route under the Arctic Sea Ice Retreat. Maritime Policy & Management 38 (5): 541–560.
Yang, D., K. Pan, S. Wang. (2017). On Service Network Improvement for Shipping Lines under the One Belt One Road Initiative of China. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review.
Yıldız, M. (2008). Layner Ulaştırma Sistemlerinde Optimum Filo Planlaması Model Doktora, Istanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
Yu, M., Lu, P., Li, Z., Li, Z., Wang, Q., Cao, X., Chen, X. (2021). Sea ice conditions and navigability through the Northeast Passage in the past 40 years based on remote-sensing data. International Journal of Digital Earth, 14(5), 555-574.
Zhang, W., Zou, Z., Goerlandt, F., Qi, Y., Kujala, P. (2019). A multi-ship following model for icebreaker convoy operations in ice-covered waters. Ocean Engineering, 180, 238-253.

Zhang, Y., Q. Meng, S. H. Ng. (2016). Shipping Efficiency Comparison between Northern Sea Route and the Conventional Asia-Europe Shipping Route via Suez Canal. Journal of Transport Geography 57: 241–249.
Zheng, J., D. Yang. (2016). Hub-And-Spoke Network Design for Container Shipping along the Yangtze River. Journal of Transport Geography 55: 51–57.

EKLER

EK 1. Felixstowe ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi

Eylül			710 mil min. buz alanı NSR							3184 mil literatür NSR							2100 yılı hiç buzun olmadığı durum NSR							Düşük maliyetli yakıta geçildiği varsayılan durum NSR							TSR (2150 ve daha sonra 1000 nm daha kısa)								SCR						
			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila
		Felixstowe Toplam Rota	9597	7640	8313	7186	6817	8531		9597	7640	8313	7186	6817	8531		9597	7640	8313	7186	6817	8531	Yakıt 1/20000	9597	7640	8313	7186	6817	8531		8597	6640	7313	6186	5817	7531		**120 mil**	8219	10456	9679	10722	11111	9560
		Felixstowe Open Sea	8887	6930	7603	6476	6107	7821		6413	4456	5129	4002	3633	5347								70 mt																8099	10336	9559	10602	10991	9440
		Gün (20knot)	18	14	15	13	12	16		13	9	10	8	7	11		19	15	17	14	14	17		19	15	17	14	14	17		17	13	15	12	12	15			16	21	19	22	22	19
5000 TEU	**Buzul Alan**	**Yakıt Tüketimi (20knot) 117 mt günlük**	2106	1638	1755	1521	1404	1872		1521	1053	1170	936	819	1287		2223	1755	1989	1638	1638	1989		1330	1050	1190	980	980	1198,5		1989	1521	1755	1404	1404	1755			1872	2457	2223	2574	2574	2223
		Yakıt Tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük 3,7 gün	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	16,6 gün	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 1,8 mt günlük 6 gün	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	26,5 gün	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7																															
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,4 mt günlük 10 gün	4	4	4	4	4	4	44,2 gün	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7																															
		Gün (25knot)	14	11	12	10	10	13		10	7	8	6	6	8		15	12	13	11	11	14	137 mt	15	12	13	11	11	14		14	11	12	10	9	12			13	17	15	17	18	15
		Yakıt Tüketimi (25knot) 229 mt günlük	3206	2519	2748	2290	2290	2977		2290	1603	1832	1374	1374	1832		3435	2748	2977	2519	2519	3206		2055	1644	1781	1507	1507	1918		3206	2519	2748	2290	2061	2748			2977	3893	3435	3893	4122	3435
																							90 mt																						
8000TEU	**Buzul Alan**	**Yakıt Tüketimi (20knot) 150 mt günlük**	2700	2100	2250	1950	1800	2400		1950	1350	1500	1200	1050	1650		2850	2250	2550	2100	2100	2550		1710	1350	1530	1260	1260	1530		2550	1950	2250	1800	1800	2250			2400	3150	2850	3300	3300	2850
		Yakıt Tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52		159,36	159,36	159,36	159,36	159,36	159,36																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,3 mt günlük	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8		60,95	60,95	60,95	60,95	60,95	60,95																															
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,5 mt günlük	5	5	5	5	5	5		22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1																															
		Gün (25knot)																					176 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 293 mt günlük	4102	3223	3516	2930	2930	3809		2930	2051	2344	1758	1758	2344		4395	3516	3809	3223	3223	4102		2640	2112	2288	1936	1936	2464		4102	3223	3516	2930	2637	3516			3809	4981	4395	4981	5274	4395
10000TEU	**Buzul Alan**	**Yakıt Tüketimi (20knot) 186 mt günlük**	3348	2604	2790	2418	2232	2976		2418	1674	1860	1488	1302	2046		3534	2790	3162	2604	2604	3162	111 mt	2109	1665	1887	1554	1554	1887		3162	2418	2790	2232	2232	2790			2976	3906	3534	4092	4092	3534
		Yakıt Tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03		197,54	197,54	197,54	197,54	197,54	197,54																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,9 mt günlük	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		76,85	76,85	76,85	76,85	76,85	76,85																															
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,6 mt günlük	6	6	6	6	6	6		26,52	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52																															
		Gün (25knot)																					218 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 363 mt günlük	5082	3993	4356	3630	3630	4719		3630	2541	2904	2178	2178	2904		5445	4356	4719	3993	3993	5082		3270	2616	2834	2398	2398	3052		5082	3993	4356	3630	3267	4356			4719	6171	5445	6171	6534	5445
																							127 mt																						
		Yakıt Tüketimi (20knot) 212 mt günlük	3816	2968	3180	2756	2544	3392		2756	1908	2120	1696	1484	2332		4028	3180	3604	2968	2968	3604		2413	1905	2159	1778	1778	2159		3604	2756	3180	2544	2544	3180			3392	4452	4028	4664	4664	4028
		Yakıt Tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95		222,75	222,75	222,75	222,75	222,75	222,75																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,3 mt günlük	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8		87,45	87,45	87,45	87,45	87,45	87,45																															
12000TEU	**Buzul Alan**	**Yakıt Tüketimi (3knot) 0,7 mt günlük**	7	7	7	7	7	7		30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94																															
		Gün (25knot)																					248 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 414 mt günlük	5796	4554	4968	4140	4140	5382		4140	2898	3312	2484	2484	3312		6210	4968	5382	4554	4554	5796		3720	2976	3224	2728	2728	3472		5796	4554	4968	4140	3726	4968			5382	7038	6210	7038	7452	6210
		Yakıt Tüketimi (20knot) 235 mt günlük	4230	3290	3525	3055	2820	3760		3055	2115	2350	1880	1645	2585		4465	3525	3995	3290	3290	3995	141 mt								3995	3055	3525	2820	2820	3525			3760	4935	4465	5170	5170	4465
		Yakıt Tüketimi (8knot) 15 mt günlük	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5		249	249	249	249	249	249										2679	2115	2397	1974	1974	2397														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,6 mt günlük	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6		95,4	95,4	95,4	95,4	95,4	95,4																															
14000TEU	**Buzul Alan**	**Yakıt Tüketimi (3knot) 0,8 mt günlük**	8	8	8	8	8	8		35,36	35,36	35,36	35,36	35,36	35,36																															
		Gün (25knot)																					276 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 460 mt günlük	6440	5060	5520	4600	4600	5980		4600	3220	3680	2760	2760	3680		6900	5520	5980	5060	5060	6440		4140	3312	3588	3036	3036	3864		6440	5060	5520	4600	4140	5520			5980	7820	6900	7820	8280	6900
																							152 mt																						
		Yakıt Tüketimi (20knot) 254 mt günlük	4572	3556	3810	3302	3048	4064		3302	2286	2540	2032	1778	2794		4826	3810	4318	3556	3556	4318		2888	2280	2584	2128	2128	2584		4318	3302	3810	3048	3048	3810			4064	5334	4826	5588	5588	4826
		Yakıt Tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük	60	60	60	60	60	60		268,92	268,92	268,92	268,92	268,92	268,92																															
16000TEU	**Buzul Alan**	**Yakıt Tüketimi (5knot) 3,9 mt günlük**	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4		103,35	103,35	103,35	103,35	103,35	103,35																															
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,85 mt günlük	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5		37,57	37,57	37,57	37,57	37,57	37,57																															
		Gün (25knot)																					297 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 496 mt günlük	6944	5456	5952	4960	4960	6448		4960	3472	3968	2976	2976	3968		7440	5952	6448	5456	5456	6944		4455	3564	3861	3267	3267	4158		6944	5456	5952	4960	4464	5952			6448	8432	7440	8432	8928	7440

PC6 5000 TEU		**Gün (19knot)**	21	16	18	15	14	18
		Yakıt Tüketimi (19knot) 123 mt günlük	2583	1968	2214	1845	1722	2214
		Gün (14 knot optimum)	28	22	24	21	20	25
		Yakıt Tüketimi (14knot) 50 mt günlük	1400	1100	1200	1050	1000	1250
PC6 8000 TEU		**Yakıt Tüketimi (19knot) 140 mt günlük**	2940	2240	2520	2100	1960	2520
		Yakıt Tüketimi (14knot) 55 mt günlük	1540	1210	1320	1155	1100	1375
PC3 8000 TEU		**Yakıt Tüketimi (14knot) 58 mt günlük**	1624	1276	1392	1218	1160	1450

EK 2. Rotterdam ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi

Eylül				710 mil min. buz alanı NSR							3184 mil literatür NSR							2100 yılı hiç buzun olmadığı durum NSR							Düşük maliyetli yakıta geçildiği varsayılan durum NSR							TSR (2150 ve daha sonra 1000 nm daha kısa)								SCR						
				Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila
		Rotterdam Toplam Rota		9586	7630	8303	7175	6806	8520		9586	7630	8303	7175	6806	8520		9586	7630	8303	7175	6806	8520	Yakıt 1/20000		9586	7630	8303	7175	6806	8520			8586	6630	7303	6175	5806	7520		120 mil	8288	10525	9748	10791	11180	9629
		Rotterdam Open Sea		8876	6920	7593	6465	6096	7810		6402	4446	5119	3991	3622	5336								70 mt																		8168	10405	9628	10671	11060	9509
		Gün (20knot)		18	14	15	13	12	16		13	9	10	8	7	11		19	15	17	14	14	17			19	15	17	14	14	17			17	13	15	12	12	15			17	21	20	22	23	19
		Yakıt Tüketimi (20knot) 117 mt günlük		2106	1638	1755	1521	1404	1872		1521	1053	1170	936	819	1287		2223	1755	1989	1638	1638	1989			1330	1050	1190	980	980	1198,5			1989	1521	1755	1404	1404	1755			1989	2457	2340	2574	2691	2223
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük	3,7 gün	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	16,6 gün	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 1,8 mt günlük	6 gün	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	26,5 gün	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7																														
5000 TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,4 mt günlük	10 gün	4	4	4	4	4	4	44,2 gün	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7																														
		Gün (25knot)		14	11	12	10	10	13		10	7	8	6	6	8		15	12	13	11	11	14	137 mt		15	12	13	11	11	14			14	11	12	10	9	12			13	17	16	17	18	15
		Yakıt Tüketimi (25knot) 229 mt günlük		3206	2519	2748	2290	2290	2977		2290	1603	1832	1374	1374	1832		3435	2748	2977	2519	2519	3206			2055	1644	1781	1507	1507	1918			3206	2519	2748	2290	2061	2748			2977	3893	3664	3893	4122	3435
																								90 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 150 mt günlük		2700	2100	2250	1950	1800	2400		1950	1350	1500	1200	1050	1650		2850	2250	2550	2100	2100	2550			1710	1350	1530	1260	1260	1530			2550	1950	2250	1800	1800	2250			2550	3150	3000	3300	3450	2850
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük		35,52	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52		159,36	159,36	159,36	159,36	159,36	159,36																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,3 mt günlük		13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8		60,95	60,95	60,95	60,95	60,95	60,95																														
8000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,5 mt günlük		5	5	5	5	5	5		22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1																														
		Gün (25knot)																						176 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 293 mt günlük		4102	3223	3516	2930	2930	3809		2930	2051	2344	1758	1758	2344		4395	3516	3809	3223	3223	4102			2640	2112	2288	1936	1936	2464			4102	3223	3516	2930	2637	3516			3809	4981	4688	4981	5274	4395
		Yakıt Tüketimi (20knot) 186 mt günlük		3348	2604	2790	2418	2232	2976		2418	1674	1860	1488	1302	2046		3534	2790	3162	2604	2604	3162	111 mt		2109	1665	1887	1554	1554	1887			3162	2418	2790	2232	2232	2790			3162	3906	3720	4092	4278	3534
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük		44,03	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03		197,54	197,54	197,54	197,54	197,54	197,54																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,9 mt günlük		17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		76,85	76,85	76,85	76,85	76,85	76,85																														
10000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,6 mt günlük		6	6	6	6	6	6		26,52	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52																														
		Gün (25knot)																						218 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 363 mt günlük		5082	3993	4356	3630	3630	4719		3630	2541	2904	2178	2178	2904		5445	4356	4719	3993	3993	5082			3270	2616	2834	2398	2398	3052			5082	3993	4356	3630	3267	4356			4719	6171	5808	6171	6534	5445
																								127 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 212 mt günlük		3816	2968	3180	2756	2544	3392		2756	1908	2120	1696	1484	2332		4028	3180	3604	2968	2968	3604			2413	1905	2159	1778	1778	2159			3604	2756	3180	2544	2544	3180			3604	4452	4240	4664	4876	4028
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük		49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95		222,75	222,75	222,75	222,75	222,75	222,75																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,3 mt günlük		19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8		87,45	87,45	87,45	87,45	87,45	87,45																														
12000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,7 mt günlük		7	7	7	7	7	7		30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94																														
		Gün (25knot)																						248 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 414 mt günlük		5796	4554	4968	4140	4140	5382		4140	2898	3312	2484	2484	3312		6210	4968	5382	4554	4554	5796			3720	2976	3224	2728	2728	3472			5796	4554	4968	4140	3726	4968			5382	7038	6624	7038	7452	6210
		Yakıt Tüketimi (20knot) 235 mt günlük		4230	3290	3525	3055	2820	3760		3055	2115	2350	1880	1645	2585		4465	3525	3995	3290	3290	3995	141 mt											3995	3055	3525	2820	2820	3525			3995	4935	4700	5170	5405	4465
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 15 mt günlük		55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5		249	249	249	249	249	249										2679	2115	2397	1974	1974	2397																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,6 mt günlük		21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6		95,4	95,4	95,4	95,4	95,4	95,4																														
14000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,8 mt günlük		8	8	8	8	8	8		35,36	35,36	35,36	35,36	35,36	35,36																														
		Gün (25knot)																						276 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 460 mt günlük		6440	5060	5520	4600	4600	5980		4600	3220	3680	2760	2760	3680		6900	5520	5980	5060	5060	6440			4140	3312	3588	3036	3036	3864			6440	5060	5520	4600	4140	5520			5980	7820	7360	7820	8280	6900
																								152 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 254 mt günlük		4572	3556	3810	3302	3048	4064		3302	2286	2540	2032	1778	2794		4826	3810	4318	3556	3556	4318			2888	2280	2584	2128	2128	2584			4318	3302	3810	3048	3048	3810			4318	5334	5080	5588	5842	4826
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük		60	60	60	60	60	60		268,92	268,92	268,92	268,92	268,92	268,92																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,9 mt günlük		23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4		103,35	103,35	103,35	103,35	103,35	103,35																														
16000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,85 mt günlük		8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5		37,57	37,57	37,57	37,57	37,57	37,57																														
		Gün (25knot)																						297 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 496 mt günlük		6944	5456	5952	4960	4960	6448		4960	3472	3968	2976	2976	3968		7440	5952	6448	5456	5456	6944			4455	3564	3861	3267	3267	4158			6944	5456	5952	4960	4464	5952			6448	8432	7936	8432	8928	7440
PC6 5000 TEU		Gün (19knot)		21	16	18	15	14	18																																						
		Yakıt Tüketimi (19knot) 123 mt günlük		2583	1968	2214	1845	1722	2214																																						
		Gün (14 knot optimum)		28	22	24	21	20	25																																						
		Yakıt Tüketimi (14knot) 50 mt günlük		1400	1100	1200	1050	1000	1250																																						
PC6 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (19knot) 140 mt günlük		2940	2240	2520	2100	1960	2520																																						
		Yakıt Tüketimi (14knot) 55 mt günlük		1540	1210	1320	1155	1100	1375																																						
PC3 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (14knot) 58 mt günlük		1624	1276	1392	1218	1160	1450																																						

EK 3. Hamburg ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi

Eylül				710 mil min. buz alanı NSR							3184 mil literatür NSR							2100 yılı hiç buzun olmadığı durum NSR							Düşük maliyetli yakıta geçildiği varsayılan durum NSR							TSR (2150 ve daha sonra 1000 nm daha kısa)								SCR						
				Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila
		Hamburg Toplam Rota		9548	7592	8265	7137	6768	8483		9548	7592	8265	7137	6768	8483		9548	7592	8265	7137	6768	8483	Yakıt 1/20000		9548	7592	8265	7137	6768	8483			8548	6592	7265	6137	5768	7483		120 mil	8541	10778	10001	11044	11433	9882
		Hamburg Open Sea		8838	6882	7555	6427	6058	7773		6364	4408	5081	3953	3584	5299								70 mt																		8421	10658	9881	10924	11313	9762
		Gün (20knot)		18	14	15	13	12	16		13	9	10	8	7	11		19	15	17	14	14	17			19	15	17	14	14	17			17	13	15	12	12	15			17	22	20	22	23	20
		Yakıt Tüketimi (20knot) 117 mt günlük		2106	1638	1755	1521	1404	1872		1521	1053	1170	936	819	1287		2223	1755	1989	1638	1638	1989			1330	1050	1190	980	980	1198,5			1989	1521	1755	1404	1404	1755			1989	2574	2340	2574	2691	2340
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük	3,7 gün	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	16,6 gün	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5																						840 düşük												
5000 TEU		Yakıt Tüketimi (5knot) 1,8 mt günlük	6 gün	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	26,5 gün	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük						
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,4 mt günlük	10 gün	4	4	4	4	4	4	44,2 gün	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7																						630 düşük												
		Gün (25knot)		14	11	12	10	10	12		10	7	8	6	5	8		15	12	13	11	11	14	137 mt		15	12	13	11	11	14			14	10	12	10	9	12			14	17	16	18	18	16
		Yakıt Tüketimi (25knot) 229 mt günlük		3206	2519	2748	2290	2290	2748		2290	1603	1832	1374	1145	1832		3435	2748	2977	2519	2519	3206			2055	1644	1781	1507	1507	1918			3206	2290	2748	2290	2061	2748			3206	3893	3664	4122	4122	3664
																								90 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 150 mt günlük		2700	2100	2250	1950	1800	2400		1950	1350	1500	1200	1050	1650		2850	2250	2550	2100	2100	2550			1710	1350	1530	1260	1260	1530			2550	1950	2250	1800	1800	2250			2550	3300	3000	3300	3450	3000
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük		35,52	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52		159,36	159,36	159,36	159,36	159,36	159,36																																
8000TEU		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,3 mt günlük		13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8		60,95	60,95	60,95	60,95	60,95	60,95																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük						
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,5 mt günlük		5	5	5	5	5	5		22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1																																
		Gün (25knot)																						176 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 293 mt günlük		4102	3223	3516	2930	2930	3516		2930	2051	2344	1758	1465	2344		4395	3516	3809	3223	3223	4102			2640	2112	2288	1936	1936	2464			4102	2930	3516	2930	2637	3516			4102	4981	4688	5274	5274	4688
		Yakıt Tüketimi (20knot) 186 mt günlük		3348	2604	2790	2418	2232	2976		2418	1674	1860	1488	1302	2046		3534	2790	3162	2604	2604	3162	111 mt		2109	1665	1887	1554	1554	1887			3162	2418	2790	2232	2232	2790			3162	4092	3720	4092	4278	3720
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük		44,03	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03		197,54	197,54	197,54	197,54	197,54	197,54																																
10000TEU		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,9 mt günlük		17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		76,85	76,85	76,85	76,85	76,85	76,85																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük						
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,6 mt günlük		6	6	6	6	6	6		26,52	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52																																
		Gün (25knot)																						218 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 363 mt günlük		5082	3993	4356	3630	3630	4356		3630	2541	2904	2178	1815	2904		5445	4356	4719	3993	3993	5082			3270	2616	2834	2398	2398	3052			5082	3630	4356	3630	3267	4356			5082	6171	5808	6534	6534	5808
																								127 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 212 mt günlük		3816	2968	3180	2756	2544	3392		2756	1908	2120	1696	1484	2332		4028	3180	3604	2968	2968	3604			2413	1905	2159	1778	1778	2159			3604	2756	3180	2544	2544	3180			3604	4664	4240	4664	4876	4240
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük		49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95		222,75	222,75	222,75	222,75	222,75	222,75																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,3 mt günlük		19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8		87,45	87,45	87,45	87,45	87,45	87,45																																
12000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,7 mt günlük		7	7	7	7	7	7		30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük						
		Gün (25knot)																						248 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 414 mt günlük		5796	4554	4968	4140	4140	4968		4140	2898	3312	2484	2070	3312		6210	4968	5382	4554	4554	5796			3720	2976	3224	2728	2728	3472			5796	4140	4968	4140	3726	4968			5796	7038	6624	7452	7452	6624
		Yakıt Tüketimi (20knot) 235 mt günlük		4230	3290	3525	3055	2820	3760		3055	2115	2350	1880	1645	2585		4465	3525	3995	3290	3290	3995	141 mt											3995	3055	3525	2820	2820	3525			3995	5170	4700	5170	5405	4700
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 15 mt günlük		55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5		249	249	249	249	249	249											2679	2115	2397	1974	1974	2397																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,6 mt günlük		21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6		95,4	95,4	95,4	95,4	95,4	95,4																																
14000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,8 mt günlük		8	8	8	8	8	8		35,36	35,36	35,36	35,36	35,36	35,36																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 15 mt günlük						
		Gün (25knot)																						276 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 460 mt günlük		6440	5060	5520	4600	4600	5520		4600	3220	3680	2760	2300	3680		6900	5520	5980	5060	5060	6440			4140	3312	3588	3036	3036	3864			6440	4600	5520	4600	4140	5520			6440	7820	7360	8280	8280	7360
																								152 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 254 mt günlük		4572	3556	3810	3302	3048	4064		3302	2286	2540	2032	1778	2794		4826	3810	4318	3556	3556	4318			2888	2280	2584	2128	2128	2584			4318	3302	3810	3048	3048	3810			4318	5588	5080	5588	5842	5080
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük		60	60	60	60	60	60		268,92	268,92	268,92	268,92	268,92	268,92																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,9 mt günlük		23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4		103,35	103,35	103,35	103,35	103,35	103,35																																
16000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,85 mt günlük		8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5		37,57	37,57	37,57	37,57	37,57	37,57																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük						
		Gün (25knot)																						297 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 496 mt günlük		6944	5456	5952	4960	4960	5952		4960	3472	3968	2976	2480	3968		7440	5952	6448	5456	5456	6944			4455	3564	3861	3267	3267	4158			6944	4960	5952	4960	4464	5952			6944	8432	7936	8928	8928	7936
		Gün (19knot)		20	16	18	15	14	18																																								
		Yakıt Tüketimi (19knot) 123 mt günlük		2460	1968	2214	1845	1722	2214																																								
PC6 5000 TEU																																																	
		Gün (14 knot optimum)		28	22	24	21	20	25																																							
		Yakıt Tüketimi (14knot) 50 mt günlük		1400	1100	1200	1050	1000	1250																																							
PC6 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (19knot) 140 mt günlük		2800	2240	2520	2100	1960	2520																																							
		Yakıt Tüketimi (14knot) 55 mt günlük		1540	1210	1320	1155	1100	1375																																							
PC3 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (14knot) 58 mt günlük		1624	1276	1392	1218	1160	1450																																							

EK 4. Le Havre ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi

Eylül			710 mil min. buz alanı NSR							3184 mil literatür NSR							2100 yılı hiç buzun olmadığı durum NSR							Düşük maliyetli yakıta geçildiği varsayılan durum NSR							TSR (2150 ve daha sonra 1000 nm daha kısa)							SCR						
			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila
		Le Havre Toplam Rota		9739	7782	8455	7327	6958	8673		9739	7782	8455	7327	6958	8673		9739	7782	8455	7327	6958	8673	Yakıt 1/20000		9739	7782	8455	7327	6958	8673		8739	6782	7455	6327	5958	7673		120 mil	8083	10320	9543	10586	10975	9424
		Le Havre Open Sea		9029	7072	7745	6617	6248	7963		6555	4598	5271	4143	3774	5489								70 mt																	7963	10200	9423	10466	10855	9304
		Gün (20knot)		18	14	16	13	13	16		13	9	10	8	7	11		20	16	17	15	14	18			20	16	17	15	14	18		18	14	15	13	12	15			16	21	19	21	22	19
		Yakıt Tüketimi (20knot) 117 mt günlük		2106	1638	1872	1521	1521	1872		1521	1053	1170	936	819	1287		2340	1872	1989	1755	1638	2106			1400	1120	1190	1050	980	1269		2106	1638	1755	1521	1404	1755			1872	2457	2223	2457	2574	2223
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük	3,7 gün	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	16,6 gün	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 1,8 mt günlük	6 gün	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	26,5 gün	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7																															
5000 TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,4 mt günlük	10 gün	4	4	4	4	4	4	44,2 gün	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük						
		Gün (25knot)		15	11	12	11	10	13		10	7	8	6	6	9		16	12	14	12	11	14	137 mt		16	12	14	12	11	14		14	11	12	10	9	12			13	17	15	17	18	15
		Yakıt Tüketimi (25knot) 229 mt günlük		3435	2519	2748	2519	2290	2977		2290	1603	1832	1374	1374	2061		3664	2748	3206	2748	2519	3206			2192	1644	1918	1644	1507	1918		3206	2519	2748	2290	2061	2748			2977	3893	3435	3893	4122	3435
																								90 mt																					
		Yakıt Tüketimi (20knot) 150 mt günlük		2700	2100	2400	1950	1950	2400		1950	1350	1500	1200	1050	1650		3000	2400	2550	2250	2100	2700			1800	1440	1530	1350	1260	1620		2700	2100	2250	1950	1800	2250			2400	3150	2850	3150	3300	2850
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük		35,52	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52		159,36	159,36	159,36	159,36	159,36	159,36																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,3 mt günlük		13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8		60,95	60,95	60,95	60,95	60,95	60,95																															
8000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,5 mt günlük		5	5	5	5	5	5		22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1																									Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük						
		Gün (25knot)																						176 mt																					
		Yakıt Tüketimi (25knot) 293 mt günlük		4395	3223	3516	3223	2930	3809		2930	2051	2344	1758	1758	2637		4688	3516	4102	3516	3223	4102			2816	2112	2464	2112	1936	2464		4102	3223	3516	2930	2637	3516			3809	4981	4395	4981	5274	4395
		Yakıt Tüketimi (20knot) 186 mt günlük		3348	2604	2976	2418	2418	2976		2418	1674	1860	1488	1302	2046		3720	2976	3162	2790	2604	3348	111 mt		2220	1776	1887	1665	1554	1998		3348	2604	2790	2418	2232	2790			2976	3906	3534	3906	4092	3534
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük		44,03	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03		197,54	197,54	197,54	197,54	197,54	197,54																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,9 mt günlük		17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		76,85	76,85	76,85	76,85	76,85	76,85																															
10000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,6 mt günlük		6	6	6	6	6	6		26,52	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52																									Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük						
		Gün (25knot)																						218 mt																					
		Yakıt Tüketimi (25knot) 363 mt günlük		5445	3993	4356	3993	3630	4719		3630	2541	2904	2178	2178	3267		5808	4356	5082	4356	3993	5082			3488	2616	3052	2616	2398	3052		5082	3993	4356	3630	3267	4356			4719	6171	5445	6171	6534	5445
																								127 mt																					
		Yakıt Tüketimi (20knot) 212 mt günlük		3816	2968	3392	2756	2756	3392		2756	1908	2120	1696	1484	2332		4240	3392	3604	3180	2968	3816			2540	2032	2159	1905	1778	2286		3816	2968	3180	2756	2544	3180			3392	4452	4028	4452	4664	4028
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük		49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95		222,75	222,75	222,75	222,75	222,75	222,75																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,3 mt günlük		19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8		87,45	87,45	87,45	87,45	87,45	87,45																															
12000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,7 mt günlük		7	7	7	7	7	7		30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94																									Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük						
		Gün (25knot)																						248 mt																					
		Yakıt Tüketimi (25knot) 414 mt günlük		6210	4554	4968	4554	4140	5382		4140	2898	3312	2484	2484	3726		6624	4968	5796	4968	4554	5796			3968	2976	3472	2976	2728	3472		5796	4554	4968	4140	3726	4968			5382	7038	6210	7038	7452	6210
		Yakıt Tüketimi (20knot) 235 mt günlük		4230	3290	3760	3055	3055	3760		3055	2115	2350	1880	1645	2585		4700	3760	3995	3525	3290	4230	141 mt									4230	3290	3525	3055	2820	3525			3760	4935	4465	4935	5170	4465
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 15 mt günlük		55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5		249	249	249	249	249	249											2820	2256	2397	2115	1974	2538														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,6 mt günlük		21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6		95,4	95,4	95,4	95,4	95,4	95,4																															
14000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,8 mt günlük		8	8	8	8	8	8		35,36	35,36	35,36	35,36	35,36	35,36																									Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 15 mt günlük						
		Gün (25knot)																						276 mt																					
		Yakıt Tüketimi (25knot) 460 mt günlük		6900	5060	5520	5060	4600	5980		4600	3220	3680	2760	2760	4140		7360	5520	6440	5520	5060	6440			4416	3312	3864	3312	3036	3864		6440	5060	5520	4600	4140	5520			5980	7820	6900	7820	8280	6900
																								152 mt																					
		Yakıt Tüketimi (20knot) 254 mt günlük		4572	3556	4064	3302	3302	4064		3302	2286	2540	2032	1778	2794		5080	4064	4318	3810	3556	4572			3040	2432	2584	2280	2128	2736		4572	3556	3810	3302	3048	3810			4064	5334	4826	5334	5588	4826
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük		60	60	60	60	60	60		268,92	268,92	268,92	268,92	268,92	268,92																															
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,9 mt günlük		23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4		103,35	103,35	103,35	103,35	103,35	103,35																															
16000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,85 mt günlük		8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5		37,57	37,57	37,57	37,57	37,57	37,57																									Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük						
		Gün (25knot)																						297 mt																					
		Yakıt Tüketimi (25knot) 496 mt günlük		7440	5456	5952	5456	4960	6448		4960	3472	3968	2976	2976	4464		7936	5952	6944	5952	5456	6944			4752	3564	4158	3564	3267	4158		6944	5456	5952	4960	4464	5952			6448	8432	7440	8432	8928	7440

		Gün (19knot)	21	17	18	16	15	19
PC6 5000 TEU		Yakıt Tüketimi (19knot) 123 mt günlük	2583	2091	2214	1968	1845	2337
		Gün (14 knot optimum)	28	23	25	21	20	25
		Yakıt Tüketimi (14knot) 50 mt günlük	1400	1150	1250	1050	1000	1250
PC6 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (19knot) 140 mt günlük	2940	2380	2520	2240	2100	2660
		Yakıt Tüketimi (14knot) 55 mt günlük	1540	1265	1375	1155	1100	1375
PC3 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (14knot) 58 mt günlük	1624	1334	1450	1218	1160	1450

EK 5. Bilbao ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi

Eylül				710 mil min. buz alanı NSR							3184 mil literatür NSR							2100 yılı hiç buzun olmadığı durum NSR							Düşük maliyetli yakıta geçildiği varsayılan durum NSR							TSR (2150 ve daha sonra 1000 nm daha kısa)								SCR						
				Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kon	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila
		Bilbao Toplam Rota		10819	8862	9535	8408	8038	9753		10819	8862	9535	8408	8038	9753		10819	8862	9535	8408	8038	9753	Yakıt 1/20000		10819	8862	9535	8408	8038	9753			9819	7862	8535	7408	7038	8753		120 mil	7788	10025	9248	10291	10680	9129
		Bilbao Open Sea		10109	8152	8825	7698	7328	9043		7635	5678	6351	5224	4854	6569								70 mt																		7668	9905	9128	10171	10560	9009
		Gün (20knot)		21	16	18	16	15	18		15	11	13	10	10	13		22	18	19	17	16	20			22	18	19	17	16	20			20	16	17	15	14	18			15	20	19	21	22	18
		Yakıt Tüketimi (20knot) 117 mt günlük		2457	1872	2106	1872	1755	2106		1755	1287	1521	1170	1170	1521		2574	2106	2223	1989	1872	2340			1540	1260	1330	1190	1120	1410			2340	1872	1989	1755	1638	2106			1755	2340	2223	2457	2574	2106
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük	3,7 gün	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	16,6 gün	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 1,8 mt günlük	6 gün	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	26,5 gün	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük						
5000 TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,4 mt günlük	10 gün	4	4	4	4	4	4	44,2 gün	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7																														
		Gün (25knot)		16	13	14	12	12	15		12	9	10	8	8	10		18	14	15	14	13	16	137 mt		18	14	15	14	13	16			16	13	14	12	11	14			12	16	15	16	17	15
		Yakıt Tüketimi (25knot) 229 mt günlük		3664	2977	3206	2748	2748	3435		2748	2061	2290	1832	1832	2290		4122	3206	3435	3206	2977	3664			2466	1918	2055	1918	1781	2192			3664	2977	3206	2748	2519	3206			2748	3664	3435	3664	3893	3435
																								90 mt																						
		Yakıt Tüketimi (20knot) 150 mt günlük		3150	2400	2700	2400	2250	2700		2250	1650	1950	1500	1500	1950		3300	2700	2850	2550	2400	3000			1980	1620	1710	1530	1440	1800			3000	2400	2550	2250	2100	2700			2250	3000	2850	3150	3300	2700
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük		35,52	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52		159,36	159,36	159,36	159,36	159,36	159,36																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,3 mt günlük		13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8		60,95	60,95	60,95	60,95	60,95	60,95																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük						
8000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,5 mt günlük		5	5	5	5	5	5		22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1																														
		Gün (25knot)																						176 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 293 mt günlük		4688	3809	4102	3516	3516	4395		3516	2637	2930	2344	2344	2930		5274	4102	4395	4102	3809	4688			3168	2464	2640	2464	2288	2816			4688	3809	4102	3516	3223	4102			3516	4688	4395	4688	4981	4395
		Yakıt Tüketimi (20knot) 186 mt günlük		3906	2976	3348	2976	2790	3348		2790	2046	2418	1860	1860	2418		4092	3348	3534	3162	2976	3720	111 mt		2442	1998	2109	1887	1776	2220			3720	2976	3162	2790	2604	3348			2790	3720	3534	3906	4092	3348
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük		44,03	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03		197,54	197,54	197,54	197,54	197,54	197,54																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,9 mt günlük		17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		76,85	76,85	76,85	76,85	76,85	76,85																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük						
10000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,6 mt günlük		6	6	6	6	6	6		26,52	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52																														
		Gün (25knot)																						218 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 363 mt günlük		5808	4719	5082	4356	4356	5445		4356	3267	3630	2904	2904	3630		6534	5082	5445	5082	4719	5808			3924	3052	3270	3052	2834	3488			5808	4719	5082	4356	3993	5082			4356	5808	5445	5808	6171	5445
		Yakıt Tüketimi (20knot) 212 mt günlük		4452	3392	3816	3392	3180	3816		3180	2332	2756	2120	2120	2756		4664	3816	4028	3604	3392	4240	127 mt		2794	2286	2413	2159	2032	2540			4240	3392	3604	3180	2968	3816			3180	4240	4028	4452	4664	3816
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük		49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95		222,75	222,75	222,75	222,75	222,75	222,75																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,3 mt günlük		19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8		87,45	87,45	87,45	87,45	87,45	87,45																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük						
12000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,7 mt günlük		7	7	7	7	7	7		30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94																														
		Gün (25knot)																						248 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 414 mt günlük		6624	5382	5796	4968	4968	6210		4968	3726	4140	3312	3312	4140		7452	5796	6210	5796	5382	6624			4464	3472	3720	3472	3224	3968			6624	5382	5796	4968	4554	5796			4968	6624	6210	6624	7038	6210
		Yakıt Tüketimi (20knot) 235 mt günlük		4935	3760	4230	3760	3525	4230		3525	2585	3055	2350	2350	3055		5170	4230	4465	3995	3760	4700	141 mt										4700	3760	3995	3525	3290	4230			3525	4700	4465	4935	5170	4230
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 15 mt günlük		55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5		249	249	249	249	249	249										3102	2538	2679	2397	2256	2820																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,6 mt günlük		21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6		95,4	95,4	95,4	95,4	95,4	95,4																														
		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,8 mt günlük		8	8	8	8	8	8		35,36	35,36	35,36	35,36	35,36	35,36																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 15 mt günlük						
14000TEU		Gün (25knot)																						276 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 460 mt günlük		7360	5980	6440	5520	5520	6900		5520	4140	4600	3680	3680	4600		8280	6440	6900	6440	5980	7360			4968	3864	4140	3864	3588	4416			7360	5980	6440	5520	5060	6440			5520	7360	6900	7360	7820	6900
																								152 mt																						
		Yakıt Tüketimi (20knot) 254 mt günlük		5334	4064	4572	4064	3810	4572		3810	2794	3302	2540	2540	3302		5588	4572	4826	4318	4064	5080			3344	2736	2888	2584	2432	3040			5080	4064	4318	3810	3556	4572			3810	5080	4826	5334	5588	4572
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük		60	60	60	60	60	60		268,92	268,92	268,92	268,92	268,92	268,92																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,9 mt günlük		23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4		103,35	103,35	103,35	103,35	103,35	103,35																														
16000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,85 mt günlük		8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5		37,57	37,57	37,57	37,57	37,57	37,57																										Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük						
		Gün (25knot)																						297 mt																						
		Yakıt Tüketimi (25knot) 496 mt günlük		7936	6448	6944	5952	5952	7440		5952	4464	4960	3968	3968	4960		8928	6944	7440	6944	6448	7936			5346	4158	4455	4158	3861	4752			7936	6448	6944	5952	5456	6944			5952	7936	7440	7936	8432	7440
		Gün (19knot)		23	19	20	18	17	21																																							
PC6 5000 TEU		Yakıt Tüketimi (19knot) 123 mt günlük		2829	2337	2460	2214	2091	2583																																							
		Gün (14 knot optimum)		32	26	28	25	23	29																																						
		Yakıt Tüketimi (14knot) 50 mt günlük		1600	1300	1400	1250	1150	1450																																						
PC6 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (19knot) 140 mt günlük		3220	2660	2800	2520	2380	2940																																						
		Yakıt Tüketimi (14knot) 55 mt günlük		1760	1430	1540	1375	1265	1595																																						
PC3 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (14knot) 58 mt günlük		1856	1508	1624	1450	1334	1682																																						

EK 6. Kopenhag ve Asya 6'lı liman seti arasındaki mesafe-yakıt tüketimi

Eylül			710 mil min. buz alanı NSR							3184 mil literatür NSR							2100 yılı hiç buzun olmadığı durum NSR							Düşük maliyetli yakıta geçildiği varsayılan durum NSR							TSR (2150 ve daha sonra 1000 nm daha kısa)							SCR						
				Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila		Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila				Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila			Singapore	Shanghai	Hong Kong	Pusan	Yokohama	Manila
		Kopenhag Toplam Rota		9513	7556	8230	7102	6733	8447		9513	7556	8230	7102	6733	8447		9513	7556	8230	7102	6733	8447	Yakıt 1/20000		9513	7556	8230	7102	6733	8447				8513	6556	7230	6102	5733	7447		120 mil	8839	11076	10299	11342	11731	10180
		Kopenhag Open Sea		8803	6846	7520	6392	6023	7737		6329	4372	5046	3918	3549	5263								70 mt																				8719	10956	10179	11222	11611	10060
		Gün (20knot)		18	14	15	13	12	16		13	9	10	8	7	10		19	15	17	14	14	17			19	15	17	14	14	17				17	13	15	12	11	15			18	22	21	23	24	20
		Yakıt Tüketimi (20knot) 117 mt günlük		2106	1638	1755	1521	1404	1872		1521	1053	1170	936	819	1170		2223	1755	1989	1638	1638	1989			1330	1050	1190	980	980	1198,5				1989	1521	1755	1404	1287	1755			2106	2574	2457	2691	2808	2340
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük	3,7 gün	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	27,75	16,6 gün	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5	124,5																																
		Yakıt Tüketimi (5knot) 1,8 mt günlük	6 gün	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	26,5 gün	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7	47,7																														
5000 TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,4 mt günlük	10 gün	4	4	4	4	4	4	44,2 gün	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7	17,7																														Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 7,5 mt günlük
		Gün (25knot)		14	11	12	10	10	12		10	7	8	6	5	8		15	12	13	11	11	14	137 mt		15	12	13	11	11	14				14	10	12	10	9	12			14	18	16	18	19	16
		Yakıt Tüketimi (25knot) 229 mt günlük		3206	2519	2748	2290	2290	2748		2290	1603	1832	1374	1145	1832		3435	2748	2977	2519	2519	3206			2055	1644	1781	1507	1507	1918				3206	2290	2748	2290	2061	2748			3206	4122	3664	4122	4351	3664
																								90 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 150 mt günlük		2700	2100	2250	1950	1800	2400		1950	1350	1500	1200	1050	1500		2850	2250	2550	2100	2100	2550			1710	1350	1530	1260	1260	1530				2550	1950	2250	1800	1650	2250			2700	3300	3150	3450	3600	3000
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük		35,52	35,52	35,52	35,52	35,52	35,52		159,36	159,36	159,36	159,36	159,36	159,36																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,3 mt günlük		13,8	13,8	13,8	13,8	13,8	13,8		60,95	60,95	60,95	60,95	60,95	60,95																														
8000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,5 mt günlük		5	5	5	5	5	5		22,1	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1																													Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 9,6 mt günlük	
		Gün (25knot)																						176 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 293 mt günlük		4102	3223	3516	2930	2930	3516		2930	2051	2344	1758	1465	2344		4395	3516	3809	3223	3223	4102			2640	2112	2288	1936	1936	2464				4102	2930	3516	2930	2637	3516			4102	5274	4688	5274	5567	4688
		Yakıt Tüketimi (20knot) 186 mt günlük		3348	2604	2790	2418	2232	2976		2418	1674	1860	1488	1302	1860		3534	2790	3162	2604	2604	3162	111 mt		2109	1665	1887	1554	1554	1887				3162	2418	2790	2232	2046	2790			3348	4092	3906	4278	4464	3720
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük		44,03	44,03	44,03	44,03	44,03	44,03		197,54	197,54	197,54	197,54	197,54	197,54																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 2,9 mt günlük		17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		76,85	76,85	76,85	76,85	76,85	76,85																														
10000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,6 mt günlük		6	6	6	6	6	6		26,52	26,52	26,52	26,52	26,52	26,52																													Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 11,9 mt günlük	
		Gün (25knot)																						218 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 363 mt günlük		5082	3993	4356	3630	3630	4356		3630	2541	2904	2178	1815	2904		5445	4356	4719	3993	3993	5082			3270	2616	2834	2398	2398	3052				5082	3630	4356	3630	3267	4356			5082	6534	5808	6534	6897	5808
																								127 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 212 mt günlük		3816	2968	3180	2756	2544	3392		2756	1908	2120	1696	1484	2120		4028	3180	3604	2968	2968	3604			2413	1905	2159	1778	1778	2159				3604	2756	3180	2544	2332	3180			3816	4664	4452	4876	5088	4240
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük		49,95	49,95	49,95	49,95	49,95	49,95		222,75	222,75	222,75	222,75	222,75	222,75																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,3 mt günlük		19,8	19,8	19,8	19,8	19,8	19,8		87,45	87,45	87,45	87,45	87,45	87,45																														
12000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,7 mt günlük		7	7	7	7	7	7		30,94	30,94	30,94	30,94	30,94	30,94																													Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 13,5 mt günlük	
		Gün (25knot)																						248 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 414 mt günlük		5796	4554	4968	4140	4140	4968		4140	2898	3312	2484	2070	3312		6210	4968	5382	4554	4554	5796			3720	2976	3224	2728	2728	3472				5796	4140	4968	4140	3726	4968			5796	7452	6624	7452	7866	6624
		Yakıt Tüketimi (20knot) 235 mt günlük		4230	3290	3525	3055	2820	3760		3055	2115	2350	1880	1645	2350		4465	3525	3995	3290	3290	3995	141 mt																				4230	5170	4935	5405	5640	4700
		Yakıt Tüketimi (8knot) 15 mt günlük		55,5	55,5	55,5	55,5	55,5	55,5		249	249	249	249	249	249										2679	2115	2397	1974	1974	2397				3995	3055	3525	2820	2585	3525								
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (5knot) 3,6 mt günlük		21,6	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6		95,4	95,4	95,4	95,4	95,4	95,4																														
14000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,8 mt günlük		8	8	8	8	8	8		35,36	35,36	35,36	35,36	35,36	35,36																													Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 15 mt günlük	
		Gün (25knot)																						276 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 460 mt günlük		6440	5060	5520	4600	4600	5520		4600	3220	3680	2760	2300	3680		6900	5520	5980	5060	5060	6440			4140	3312	3588	3036	3036	3864				6440	4600	5520	4600	4140	5520			6440	8280	7360	8280	8740	7360
																								152 mt																							
		Yakıt Tüketimi (20knot) 254 mt günlük		4572	3556	3810	3302	3048	4064		3302	2286	2540	2032	1778	2540		4826	3810	4318	3556	3556	4318			2888	2280	2584	2128	2128	2584				4318	3302	3810	3048	2794	3810			4572	5588	5334	5842	6096	5080
	Buzul Alan	Yakıt Tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük		60	60	60	60	60	60		268,92	268,92	268,92	268,92	268,92	268,92																														
		Yakıt Tüketimi (5knot) 3,9 mt günlük		23,4	23,4	23,4	23,4	23,4	23,4		103,35	103,35	103,35	103,35	103,35	103,35																														
16000TEU		Yakıt Tüketimi (3knot) 0,85 mt günlük		8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5		37,57	37,57	37,57	37,57	37,57	37,57																													Kanal içi yakıt tüketimi (8knot) 16,2 mt günlük	
		Gün (25knot)																						297 mt																							
		Yakıt Tüketimi (25knot) 496 mt günlük		6944	5456	5952	4960	4960	5952		4960	3472	3968	2976	2480	3968		7440	5952	6448	5456	5456	6944			4455	3564	3861	3267	3267	4158				6944	4960	5952	4960	4464	5952			6944	8928	7936	8928	9424	7936
		Gün (19knot)		20	16	18	15	14	18																																								
		Yakıt Tüketimi (19knot) 123 mt günlük		2460	1968	2214	1845	1722	2214																																								
PC6 5000 TEU																																																
		Gün (14 knot optimum)		28	22	24	21	20	25																																							
		Yakıt Tüketimi (14knot) 50 mt günlük		1400	1100	1200	1050	1000	1250																																							
		Yakıt Tüketimi (19knot) 140 mt günlük		2800	2240	2520	2100	1960	2520																																							
PC6 8000 TEU																																																
		Yakıt Tüketimi (14knot) 55 mt günlük		1540	1210	1320	1155	1100	1375																																							
PC3 8000 TEU		Yakıt Tüketimi (14knot) 58 mt günlük		1624	1276	1392	1218	1160	1450																																							

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi

Doğum yeri :

Lise : Osman Ötken Anadolu Lisesi

Lisans : (2017-2012) Bülent Ecevit Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Deniz İşletmeciliği ve Yönetimi Bölümü

Yüksek Lisans : (2012-2015) Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Programı

Doktora : (2018-) İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Denizel Çevre Ana Bilim Dalı, Kıyı Bölgeleri Yönetimi Programı

Çalıştığı kurum(lar) : (2019 - devam ediyor), Araştırma Görevlisi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Bölümü

(2016-2019), Öğretim Görevlisi, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul Gelişim Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, Deniz ve Liman işletmeciliği Programı

Bilimsel etkinlikleri

Tezler

Yüksek Lisans, " İç Suyolu Taşımacılığı: Aliağa Organize Sanayi Bölgesi için Güzelhisar Deresi'nin İç Suyolu Kanalı Olarak Planlaması ve Tasarımı", Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Ana Bilim Dalı. Denizcilikte Emniyet, Güvenlik ve Çevre Yönetimi Programı, 2015.

SCI, SSCI, AHCI Indexlerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler

Ülker, D., Bayırhan, İ., Mersin, K., Gazioğlu, C., (2021). A comparative CO2 emissions analysis and mitigation strategies of short-sea shipping and road transport in the Marmara Region. Carbon Management, vol.12, no.1, 1-12.

Tokuşlu, A., Bayırhan, İ., Gazioğlu, C., (2020). Investigation the Effect of SOx Emission Reduction on Transit Ships Emissions as of January 1, 2020. Thermal Science, vol.24, no.1, 149-155.

Mersin, K., Bayırhan, İ., Gazioğlu, C., (2020). Analysis of the Effects of CO2 Emissions Sourced by Commercial Marine Fleet by using Energy Efficiency Design Index. Thermal Science, vol.24, no.1, 187-197.

Mersin, K., Bayirhan, İ., Gazioglu, C., (2019). Review Of Co2 Emission and Reducing Methods In Maritime Transportation. Thermal Science, vol.23.

Bayirhan, I., Nas, S., (2018). The Design of Guzelhisar River as Inland Waterway for Aliaga Organized Industrial Zone. Teknık Dergi, vol.29, 8199-8223.

Hakemli Kongre/Sempozyum Bildiri Kitaplarında Yer Alan Yayınlar

Bayırhan, İ., Gazioğlu, C., (2020). Marine Transport and New Shipping Routes in the Arctic Region. 4. Ulusal Kutup Bilimleri Çalıştayı (pp.68-69). Kocaeli, Turkey

Bayırhan, İ., (2020). A Safe Navigation Proposal for Kanal Istanbul: Integrated Tug-Barge System. 2. International Icontech Symposium on Innovative Surveys in Positive Sciences (pp.158-159). Budapest, Hungary

Bayırhan, İ., Gazioğlu, C., (2019). Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Marine Environment Simulator in Oil Pollution Investigations. International Symposium on Applied Geoinformatics (ISAG-2019) (pp.375-380). İstanbul, Turkey

Bayırhan, İ., Nas, S., (2013). Düzensiz Hatlarda Hizmet Veren Gemi İşletmelerinin Gemi Acentesi Seçim Kriterleri Merkezleri İzmir de Bulunan Kuru ve Dökme Yük Gemi İşletmelerinde Bir Araştırma. II. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi (pp.372-380). Aksaray, Turkey

Diğer Yayınlar/Ansiklopedide Yazılan Konular

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, vol.10, no.2, 180-186.

Korkmaz, N., Aksu, A., Karacık, B., Bayırhan, İ., Çağlar, N., Gazioğlu, C., ... Özsoy, B. (2022). Presence of some commonly used pharmaceutical residues in seawater and net plankton: A case

study of Spitsbergen, Svalbard Archipelago. International Journal of Environment and Geoinformatics, vol.9, no.4, 1-10.

Burak, Z. S., Zeki, S., Ülker, D., Bayırhan, İ., (2022). The Legal Framework of Water Quality Management in Turkey. Turkish Journal of Water Science and Management, vol.6, no.1, 121-144.

Arlı, E., Topçu, P., Bayırhan, İ., Saygılı, M. S., (2021). The effect of marine tourism activities and the integrated structure of rural tourism on destination attractivity: The case of Turkey-Edremit. Journal of Tourism, Economics and Business Studies, vol.3, no.2, 125-135.

Arlı, E., Bayırhan, İ., (2021). The impact of the COVID-19 pandemic process on yacht operators: Application on a marina in Antalya. Journal of Multidisciplinary Academic Tourism, vol.6, no.2, 81-88.

Mersin, K., Bayırhan, İ., Eroğlu Pektaş, G. Ö., (2021). Evaluation of the Types of Transportation in Istanbul and More Effective Using of Maritime Transportation. Turansam Uluslararası Bilimsel Hakemli Dergi, vol.13, no.51, 272-281.

Bayırhan, İ., Gazioğlu, C., (2021). New Maritime Trade Routes in the Arctic Region: one of the Strongest Alternative to the Suez Canal. International Journal of Environment and Geoinformatics, vol.8, no.3, 397-401.

Arlı, E., Bayırhan, İ., Saygılı, M. S., (2021). New Alternative in Polar Tourism: Cruise Travel to Antarctic Destination and Importance for Turkey. Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi, vol.3, no.1, 63-79.

Bayırhan, İ., (2020). A Safe Navigation Proposal for Kanal Istanbul: Integrated Tug-Barge System. Icontech International Journal of Surveys, Engineering, Technology, vol.4, no.3, 50-64.

Bayırhan, İ., Gazioğlu, C., (2020). Use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) and Marine Environment Simulator in Oil Pollution Investigations. Baltic J. Modern Computing, vol.8, no.2, 327-336.

Ülker, D., Bayırhan, İ., Burak, Z. S., (2020). Assessment and Comparison of Commonly Used EutrophicationIndexes. Turkish Journal of Water Science & Management, vol.4, no.1, 4-30.

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 (IJEGEO), vol.6, no.3, 238-243.

Bayırhan, İ., Nas, S., (2014). Düzensiz Hatlarda Hizmet Veren Gemi İşletmelerinin Gemi Acentesi Seçim Kriterleri Merkezleri İzmir de Bulunan Kuru ve Dökme Yük Gemi İşletmelerinde Bir Araştırma. Beykoz Akademi Dergisi, vol.2, no.2, 1-19.

Bayırhan, İ., (2018). The International Convention on Salvage (SALVAGE) 1989 Related with Oil Spill in Turkey. Oil Spill Along the Turkish Straits Sea Area Accidents, Environmental Pollution, Socio-Economic Impacts and Protection (pp.408-414), İstanbul: Tüdav.

Bayırhan, İ. (2022). Gemi Acentesi, Tüm Yat İşletmecileri, Yatırımcıları, Broker ve Acenteleri Derneği (TYBA), Gemi Turu Şirketi, Türkiye Marinaları Deniz Turizm Birliği Derneği (DTB), Yat Donatımcısı, Yat Limanı İşletmeciliği. Ship Agency et al. , pp.1-6422.

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
DENİZ BİLİMLERİ VE İŞLETMECİLİĞİ ENSTİTÜSÜ

TEZ BENZERLİK RAPORU UYGUNLUK FORMU

ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI	**:** İRŞAD BAYIRHAN
ÖĞRENCİ TC	**:**
ÖĞRENCİ NO	**:** 3002170005
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	**:** KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİLERİ

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 115 sayfalık kısmına ilişkin, 04/08/2023 tarihinde 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 **% 6**'dır.

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.

İrşad BAYIRHAN

Tarih: 04/08/2023

EK: TURNİTİN Benzerlik Nihai Raporu ilk sayfa çıktısı

DANIŞMAN ONAYI
UYGUNDUR / ~~UYGUN DEĞİLDİR~~

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.

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİSİ

Yazar İrşad Bayirhan

Gönderim Tarihi: 04-Ağu-2023 01:02PM (UTC+0300)
Gönderim Numarası: 2141233570
Dosya adı: K_resel_klim_De_i_ikli_inin_Deniz_Ticaretine_Etkisi.docx (18.12M)
Kelime sayısı: 31658
Karakter sayısı: 201561

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN DENİZ TİCARETİNE ETKİSİ

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%6	%1	%1
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	kare.mam.tubitak.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
3	www.searates.com İnternet Kaynağı	%1
4	mgm.gov.tr İnternet Kaynağı	<%1
5	gavsispanel.gelisim.edu.tr İnternet Kaynağı	<%1
6	docplayer.net İnternet Kaynağı	<%1
7	www.derindusunce.org İnternet Kaynağı	<%1
8	dergipark.org.tr İnternet Kaynağı	<%1
9	commons.wmu.se İnternet Kaynağı	<%1

International Journal of Environment and Geoinformatics 8(3):397-401 (2021)

Short Communication

New Maritime Trade Routes in the Arctic Region: one of the Strongest Alternative to the Suez Canal

İrşad Bayırhan[1,*], Cem Gazioğlu[1,2]

[1] Istanbul University, Institute of Marine Sciences and Management, Department of Marine Environment, 34134 Vefa Fatih İstanbul, TR
[2] Istanbul University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 34126 Istanbul TR

* Corresponding author: İ. Bayırhan
E-mail: ibayirhan@istanbul.edu.tr

Received 06 Apr. 2021
Accepted 22 Sept. 2021

How to cite: Bayırhan and Gazioğlu (2021). New Maritime Trade Routes in the Arctic Region: one of the Strongest Alternative to the Suez Canal. *International Journal of Environment and Geoinformatics (IJEGEO)*, 8(3): 397-401. doi. 10.30897/ijegeo.911179

Abstract

There have been some alternative consequences of global climate change in terms of sea routes. The loss of sea ice in the Arctic has opened up new possibilities for more economical and energy efficient transport. This region has the potential to significantly reduce the distance between the three industrialized areas in the, North America, Europe and East Asia. The fact that the Arctic routes, which are currently facing some obstacles due to environmental and political reasons, will allow regular passage in the future, may be accelerated not only by climate change but also due to heavy traffic on the current Suez Canal Route (SCR). The Suez Canal is one of the most important waterways in the world, providing sea transportation between Asia-Europe-America without the need to travel through Africa. However, over time, the credibility of the Canal in terms of meeting the global supply chain has started to be questioned and alternative solutions have started to be sought. In this study, the importance of Arctic routes, which is a new and alternative route in maritime trade, is emphasized and the preference it will create against SCR is emphasized.

Keywords: Arctic Routes, Maritime Trade, NSR, SCR

Introduction

Oceans, where global climate change impacts can be easily observed, form the basis of almost all commercial and social activities on Earth, while also serving as a means of transporting energy and resources. While global warming affects many aspects of the ocean system, the impact on navigation and transport is of particular importance in predicting the measurable effects of global warming as one of the indirect effects. Since climate change affects the sea, shipping, needs, products and trade, it also deeply affects maritime trade within this whole combination. According to the United Nations Economic Commission for Europe (UNECE, 2013) report, the sector that will be most affected by climate change is maritime transport.

The effects of global climate change are felt in various ways all over the world and have some alternative results. One of these is the new alternative routes emerging in the Arctic region in terms of seaway lines. The surface area of the world's smallest ocean, which now defines its region, is 14,090,000 km². The Arctic Region has warmed up more than twice as fast as the rest of the Earth, a phenomenon accepted as *Arctic amplification* (Çetin and Büyüksağnak, 2021; Serreze and Barry, 2011). In the report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001), it is predicted that the Arctic Ocean, which has been warming by an average of 2.5 ° C since 2000, will leave the Arctic Ocean completely ice-free by 2035, especially in the summer months. The loss of sea ice in the Arctic has opened up new opportunities for more economical and energy efficient transport and has increased the feasibility of Arctic shipping. This region has the potential to significantly reduce the distance between the three industrialized areas in the, North America, Europe and East Asia. The minimum sea ice layer of the North Pole, which has been decreasing by an average of 1.2% each year since 1979 (NSIDC, 2021), enabled the first international transportation in the region on 2009. Today, the total cargo transported from the region exceeds 30 million tons per year (AEC, 2019). The most important shipping lines are oil and LNG from Northwest Russia and Northern Norway to East Asia, iron ore from Russia to China and oil products transported from South Korea to Northern Europe (Çetin, and Köseoğlu, 2020). It can be seen that the tonnage transported over the North Sea is generally liquid and bulk cargoes and the variety of loads is limited. One reason for this is that container shipping, which belongs to liner transport, will be exposed to a wide variety of sea and ice conditions in the Arctic waters. In addition, the high destruction of the ice sheets causes increases the risk of sea ice in maritime trade lines and high ship operating costs if icebreakers are used. However, in the long term, with the further reduction of the Arctic sea ice, container transportation in the region will become more economically viable (Xu et al., 2018). The fact that the Arctic routes, which are currently facing some obstacles due to environmental and political reasons, will allow regular passage in the