|  |  |
| --- | --- |
| **Yayın Geliş Tarihi: 04.03.2019****Yayına Kabul Tarihi: 27.05.2019** | **Dokuz Eylül Üniversitesi** **Denizcilik Fakültesi Dergisi** |
| **Online Yayın Tarihi:**  | **Cilt:11 Sayı:1 Yıl:2019 Sayfa:** |
| **DOI:**  | **ISSN:1309-4246**  |
| ***Araştırma Makalesi (Research Article)*** | **E-ISSN: 2458-9942** |

**DEĞİŞİK YÜK SENARYOLARINDA GEMİ ÇEVRESEL, SOSYAL VE MALİYET ANALİZİ**

**Levent BİLGİLİ1**

***ÖZ***

*Tek seferde çok büyük yükler taşıma kapasitesine sahip nakliye araçları olan gemiler, dünya ticaretinin belkemiğidir. Gemiler, dünyadaki toplam ticaretin % 90 kadarını oluştursa da kullandıkları yakıt ve makineler nedeniyle büyük miktarda emisyon oluşumuna yol açarlar. Bu çalışmada İskenderun-Şangay arasında belli bir miktar yükün farklı taşıma kapasitelerine sahip beş adet gemiyle ayrı ayrı taşındığı varsayılmış ve bu yolculuklar sonucunda oluşan emisyon miktarları, bu emisyonların sosyal ve yakıt maliyetleri, gemilerin bu yolculuklardan elde ettikleri gelir ve net kazançlar ile sosyal kayıplar hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda yükün büyük tek bir gemi tarafından taşınmasının hem emisyon üretimi hem de maliyet açısından en mantıklı senaryo olduğu bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre yükün tek gemiyle taşınması sırasında toplam 8.418,32 t emisyon oluşmakta, bu emisyonlardan dolayı toplam $ 17.008.992,91 civarında sosyal maliyet oluşacağı hesaplanmıştır. Aynı yolculuktaki net kazanç yaklaşık olarak $ 3.772.487,68 şeklinde hesaplanmış olup sosyal maliyet de hesaba katıldığında yine en az sosyal kayıp tek gemiyle yapılan seferde $ 4.977.503,13 olarak bulunmuştur. Son olarak, en iyi senaryoyu üreten gemi için ile gemi ana makinesinin HFO kullandığı varsayılarak yakıt türünün MDO olarak değiştirilmesinin maliyeti ve sosyal kazancı hesaplanmıştır. Bu hesaba göre yakıt değişimi dolayısıyla üretilen emisyon miktarı 7.897,83 t, sosyal maliyet $ 15.480.435,82 düzeyine inmiştir. Net kazanç $ 2.883.636,66 olarak hesaplanırken sosyal kayıp ise $ 3.448.947,04 seviyesine kadar gerilemiştir.*

***Anahtar Kelimeler:*** *Gemi emisyonları, Gemi yük taşıma senaryoları, Emisyon sosyal maliyeti, Gemi maliyet analizi.*

**SHIP ENVIRONMENTAL, SOCIAL AND COST ANALYSIS FOR VARIOUS LOAD SCENARIOS**

***ABSTRACT***

*Although ships constitute up to 90 % of the total trade in the world, they cause a large amount of emissions due to the fuel and engine systems.* *In this study, it was assumed that a certain amount of cargo was transported separately by five ships with different carrying capacities between Iskenderun and Shanghai. Then, emission amounts, social and fuel costs of these emissions, net profit of the ships and social losses were calculated. As a result of the calculations, it was found that transporting the cargo by a single large ship is the most logical scenario in terms of both emission production and cost. The results also show that a total of 8.418,32 t emission is generated during the transportation of the cargo by the single vessel and it is estimated that the total social costs will be generated at around $ 17.008.992,91. The net profit for the same trip was calculated as $ 3.772.487,68, and when the social cost was taken into consideration, the minimum loss was found to be $ 4.977.503,13.* *Finally, the cost and social benefits of fuel switching from HFO to MDO were also calculated. According to this calculation, the amount of the emissions produced decreased to 7.897,83 t and to $ 15.480.435,82, respectively. The net profit was calculated as $ 2.883.636,66 and the social loss decreased to $ 3.448.947,04.*

***Keywords:*** *Ship emissions, Ship freight transportation scenarios, Emission social cost, Ship cost analysis.*

**1. GİRİŞ**

Endüstri Devrimi’nden önce gemilerde sevk sistemi olarak doğal güçler ve insan gücü kullanılmıştır. Buhar gücüyle çalışan makinelerin icadı ile ana enerji kaynağı olarak fosil yakıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Önceleri kömür, teknolojinin gelişmesiyle birlikte ise petrol türevi yakıtlar, gemilerin başlıca enerji kaynağı haline gelmiştir. Fosil yakıtların enerji kapasiteleri yüksektir ve her ne kadar mevcut teknolojilerin kısıtlı verimleri nedeniyle makineler tam kapasite çalışamasalar da yaklaşık 100 yıldır gemiler için vazgeçilmez bir yere sahiptirler. Sağladıkları bu faydaya rağmen, özellikle son yirmi-otuz yılda açıkça belirlenmiştir ki bu yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan atık gazlar (emisyonlar) çevreye ve insan sağlığına yönelik büyük tehditler oluşturmaktadır. Gemi operasyonu, çevresel etkilerinin yanı sıra büyük boyutlu bir ekonomik etkiye de sahiptir. Her şeyden önce ekonomik kazanç amacıyla inşa edilen gemiler, ömürleri boyunca çok büyük ekonomik varlıkların yer değiştirmesine vasıta olurlar. Bununla birlikte gemi operasyonlarının çevresel ve ekonomik etkileri uzun vadede birbirine bağlıdır. Bu çalışmada, gemi kökenli emisyonlar tanıtılmış, bir rotada farklı yük senaryolarındaki çevresel ve mali durumlar araştırılmış, çözüm önerisi olarak ise yakıt değişimi ve yıkayıcı kullanımı sunularak elde edilen kazanç hesaplanmıştır.

**2. GEMİ EMİSYONLARI VE MALİYET ANALİZİ**

Gemi kökenli gaz emisyonlarının sayısının 450 olduğu tahmin edilmektedir (Andreoni vd. 2008). Bununla birlikte bu emisyonların ancak sayıca çok küçük bir kısmı miktar ve etki olarak insan sağlığına ve çevreye zarar verebilecek niteliktedir. Örneğin, gaz emisyonlar genellikle yakıt içeriğine bağlı olarak ağır metaller de içerebilir ancak bu metallerin miktarı çok az olduğundan etkileri üzerinde durulmayabilir. Bazı gaz türleri ise yüksek miktarda üretilse de olumsuz çevresel etkiler açısından tehdit arz etmez. Bu çalışmada, miktar ve etki açısından en büyük etkileri yapan karbondioksit (CO2), kükürt dioksit (SO2), karbon monoksit (CO), hidrokarbonlar (HC), azot oksitler (NOx) ve parçacıklı maddeler (PM) üzerinde durulmuştur. Bu gaz emisyonları, hem insan sağlığına hem çevreye hem de uzun vadede ekonomiye ciddi etkileri olduğu tahmin edilen emisyon türleridir.

**2.1. Gemi Emisyonları ve Sosyal Maliyet**

Gemi kökenli CO2, NOx ve kükürt oksitler (SOx) miktarları, dünyadaki toplam üretimlerin sırasıyla % 2,6, % 15 ve % 6,5’ini oluşturmaktadır (IMO, 2015; Eyring vd. 2005a; Corbett ve Köhler, 2003). Bu oranlar, genele bakıldığında görece küçük gözükebilir. Bununla birlikte bazı çalışmalar göstermiştir ki gemi emisyonlarının % 70’i kıyıya 400 km ve daha yakın mesafelerde gerçekleşmektedir (Eyring vd. 2010). Bir diğer çalışmada da Kuzey Denizi’ndeki gemi emisyonlarının % 90’ının kıyıya 90 km ve daha yakın mesafelerde gerçekleştiği gözlenmiştir (Wahlström vd. 2006). Bunlara ek olarak, uydu takip sistemlerinden edinilen bilgilere göre özellikle konteyner gemileri ve tankerler, dünyanın belli bölgelerinde ciddi bir trafik oluşturmaktadır ve bu bölgeler genellikle kıyılara ve yüksek nüfuslu yerleşim yerlerine yakın bölgelerdir (Johansson vd. 2017). Bu çalışmanın bir özeti, Şekil 1 olarak aşağıda sunulmaktadır.

**Şekil 1:** Gemi Tiplerine Göre CO2 Emisyon Dağılımları (a) Konteyner, (b) Tanker, (c) RoPax, (d) Kruvaziyer, (e) Balıkçı, (f) Diğer

Özellikle son yirmi yılda gemi emisyonlarının oluşumu, dispersiyonu ve çevresel etkileri üzerine çok kapsamlı ve çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Konuyla ilgili yapılan ilk önemli uluslararası çalışmalardan birisinde gemi kökenli küresel NOx ve SOx emisyonları üzerinde durulmuştur ve 1993 yılına ait veri tabanından elde edilen bilgilere göre gemi kökenli NOx ve SOx emisyonları sırasıyla 3,08 ve 4,24 milyon ton olarak tahmin edilmiştir (Corbett vd. 1999). Bu çalışmanın devamı niteliğindeki bir diğer çalışmada ise küresel gemi emisyonları gemi makine güçlerine bağlı olarak yeniden hesaplanmış ve toplam NOx miktarı 6,87 milyon ton olarak güncellenmiştir (Corbett ve Köhler, 2003). Sadece Asya sularının incelendiği iki ardışık çalışmaya göre gemi kökenli SO2 emisyonları Asya kıtasında oluşan toplam SO2 emisyonlarının % 0,7’sini oluşturmaktadır ve bu emisyonlar, 1988-1995 yılları arasında % 5,9 oranında artış göstermiştir (Streets vd. 1997; Streets vd. 2000). İstanbul ve Çanakkale Boğaz’larından geçen gemilerden kaynaklanan gaz emisyonların incelendiği bir çalışmaya göre bu suyollarında trafik, yıllık toplam 700.385 t emisyona yol açmaktadır (Kesgin ve Vardar, 2001). 2003 yılı verilerine göre yapılan bir çalışmada Marmara Denizi’ndeki gemi trafiğinin toplam 5.680.275 t emisyona yol açtığı tespit edilmiştir (Deniz ve Durmuşoğlu, 2008). Cebelitarık Boğazı’nda 2007 yılındaki gemi trafiğinin oluşturduğu toplam gemi emisyon miktarı ise 1.447.171,77 t olarak tahmin edilmektedir (Moreno-Gutiérrez vd. 2012). Bunlara ek olarak Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) tarafından yapılan üç çalışmada da farklı yıllara ait gemi kökenli emisyon miktarları hesaplanmış, gelecek öngörülerinde bulunulmuş ve emisyon faktörleri geliştirilmiştir (IMO, 2000; IMO, 2009; IMO, 2015).

Geleneksel tahmin yöntemlerinin dışında özellikle son on yılda emisyon hesaplamaları üzerine daha yenilikçi çalışmalar da geliştirilmiştir. Bu yenilikçi çalışmalarda dinamik olarak değişen koşullar göz önüne alındığından elde edilen sonuçların daha kesin olduğu söylenebilir. Bununla birlikte bu çalışmaların eksikliği, dinamik koşulların neredeyse saniyelik olarak değişmelerinden ötürü bütün bir gemi filosundan çok kısıtlı sayıda gemiye uygulanabilir olmalarıdır.

Bu konudaki ilk çalışmalardan birisinde Otomatik Tanımlama Sistemi (AIS)’nden elde edilen hız, makine yükü, yakıt kükürt içeriği, emisyon azaltıcı teknolojiler ve dalga etkisi verilerine dayanarak Gemi Trafik Emisyon Değerlendirme Modeli (STEAM) geliştirilmiştir (Jalkanen vd. 2012). Başka bir yenilikçi yaklaşımda dokuz kuru yük gemisinin günlük raporlarına dayanılarak dedveyt ton (DWT) ve blok katsayısı (CB) değerlerine bağlı olarak emisyon tahmin formülleri geliştirilmiştir (Bilgili ve Çelebi, 2018). Yapay sinir ağlarının kullanıldığı bir diğer çalışmada gemi hızı, ana makine devri, ortalama draft, trim, kargo miktarı, rüzgar ve deniz etkileri girdi olarak kullanılmış, sonuçta çıktı olarak yakıt sarfiyatı bilgisine ulaşılacak bir sistem geliştirilmiştir (Bal Beşikçi vd. 2016). Bu çalışmanın daha kapsamlı bir halinde ise yapay sinir ağları yöntemi yardımıyla yolculuk süresi, ana makine devri, gemi hızı, deplasman, hava ve deniz koşulları ile ortalama draft bilgileri girdi, emisyon miktarı ise çıktı olarak kullanılarak bir rota optimizasyonu geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre yapay sinir ağları ile gerçekleştirilen sonuçlar ile geleneksel yöntemlerle yapılan tahminler arasındaki fark % 1,57 seviyesinde bulunmuştur. Çalışmada ayrıca hava ve deniz koşulları ile emisyon üretimi arasında güçlü bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Bilgili, 2018).

Gemi emisyonlarının geleneksel veya yenilikçi yöntemlerle tahmin edilmesi, bu emisyonların yayılımlarının incelenmesi ve zararlarının tespit edilmesi önemli konular olsa da emisyonlar nedeniyle oluşan mali zararların da ayrıca tespiti ve incelenmesi gerekmektedir.

Bu konuda yapılan bir çalışmada Yunanistan’ın bazı limanlarındaki gemi operasyonları nedeniyle oluşan emisyon miktarı toplam 2742,7 t olarak hesaplanmış ve bu emisyonların toplum sağlığına olan mali yükü 18 milyon € olarak tahmin edilmiştir (Maragkogianni ve Papaefthimiou, 2015). Atina’nın Pire Limanı için yapılan benzer bir çalışmada limanda gemi faaliyetlerinin toplam maliyetinin 51 milyon €; bir diğer çalışmada ise Yunan bayrağına bağlı gemilerin toplam maliyetinin ise 3,1 milyar Euro olduğu hesaplanmıştır. Bu değer, sırasıyla küresel ölçekte, Avrupa’da ve Akdeniz’de oluşan maliyetlerin % 1,7, %6,8 ve % 28,8’ini oluşturmaktadır (Tzannatos, 2010a; Tzannatos, 2010b). Benzer çalışmalarda Norveç’in Bergen Limanı’ndaki mali yük 16 milyon € (McArthur ve Osland, 2013); Çin’in Şangay Limanı’ndaki mali yük 286.748.496 milyon $ (Song, 2014); Karadağ’ın Kotor ve Hırvatistan’ın Dubrovnik Limanları’ndaki mali yük sırasıyla 7,9 ve 3,6 milyon $ (Dragović vd. 2015); 1993-2001 yılları arasında ABD’deki NOx ve SO2 emisyonlarının yıllık toplam maliyeti sırasıyla 256 ve 412 milyon $ (Gallagher, 2005); 2007-2015 yılları arasında Finlandiya Körfezi’ndeki gemi faaliyetlerinden kaynaklanan mali yük 52.143.709 milyon $ (Kalli ve Tapaninen, 2008) olarak hesaplanmıştır.

Bir çalışmaya göre gemi kökenli CO2 ve SO2 miktarları 2002 yılında 1925 yılına göre sırasıyla 2,8 ve 3,4 kat artmıştır (Endresen vd. 2007). Daha kapsamlı bir diğer çalışmada ise 2012 yılındaki emisyon miktarları 100 birim olarak kabul edildiği takdirde 2050 yılındaki emisyon miktarları CO2, NOx, SOx, PM ve CO için sırasıyla en iyi tahminlerde bile 173, 130, 19, 56 ve 206 olarak hesaplanmıştır. Bu tahminlerde SOx ve PM değerlerinin azalma eğiliminde gözükmesinin sebebi var olan Emisyon Kontrol Alanı (ECA) bölgelerinin arttırılacağı yönündeki tahminlerdir. ECA sayısının arttırılması CO2 haricindeki emisyonların miktarı üzerinde de negatif etki meydana getirmektedir. CO2 miktarındaki artış tahmininin daha fazla olmamasının nedeni ise gemilerde alternatif yakıt olarak Sıvılaştırılmış Doğalgaz (LNG) kullanımının yaygınlaşması yönündeki öngörülerdir (IMO, 2015). Başka bir çalışmada ise Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)’nin yayınladığı Emisyon Senaryoları Özel Raporu (SRES)’nda bahsedilen dünyanın 2050 yılındaki nüfus, ekonomi, teknoloji, enerji, toprak kullanımı ve tarım faaliyetlerine dayalı olarak bir gemi sayısı, gemi başına ortalama makine gücü, toplam makine gücü ve toplam yakıt tüketimi tahmini yapılmıştır. Buna göre en çevreci ve iyimser senaryolarda bile yakıt tüketimi ve toplam makine gücünün sırasıyla % 43,5 ve % 36,4 artacağı hesaplanmıştır ki bu değerlere bağlı olarak emisyon miktarlarının da benzer oranlarda artacağı tahmin edilebilir (Eyring vd. 2005b).

Bütün bu çalışmalar ışığında açıkça söylenebilir ki yeterli önlem alınmadığı takdirde gemi kökenli gaz emisyonları günümüzde olduğu gibi gelecekte de önemli bir sorun teşkil etmeye devam edecektir. Bu nedenle gemi dizaynı, sevk sistemleri, makine modifikasyonları ve yakıt teknolojileri üzerine yapılan yenilikçi çalışmaların yanı sıra operasyon koşullarının da iyileştirilmesi ve optimize edilmesi emisyonların azaltılması yolunda önemli bir adım olacaktır.

**2.2. Navlun ve Optimizasyon Senaryoları**

Yakıt harcamı, gemilerin en büyük gider kalemlerinden birisidir. Bu yüzden özellikle rota optimizasyonu yoluyla yakıt harcamının azaltılması konusunda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yakıt harcamının azalması hem ekonomik hem de çevresel anlamda iyileşmeler sağlar. Daha az yakıt harcamı daha büyük ekonomik kazanç ve daha az emisyon demektir. Bu bölümde özellikle rota optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir.

Yapılan güncel ve kapsamlı bir çalışmada özellikle son yıllarda gündemde olan Operasyonel Araştırma konusu üzerinde durularak bu konunun temel prensipleri ve navlun senaryolarını nasıl çevreci hale getirebileceği hususunda incelemeler yapılmıştır (Bektaş vd. 2019). Bir diğer çalışmada çevresel etkilere (rüzgar hızı ve yönü, akıntı hızı ve su derinliği) bağlı olarak değişen yakıt harcamının kontrol edilebilmesi ve daha verimli yolculuklar gerçekleştirilebilmesi için dinamik bir optimizasyon modeli geliştirilmiştir (Wang vd. 2018). Benzer bir çalışmada iç sularda çalışan gemiler için yine rüzgar hızı ve yönü, akıntı hızı ve su derinliği verilerine bağlı olarak bir optimizasyon yöntemi geliştirilmiş ve sonuç olarak ana makine devri, hız, yakıt harcamı ve CO2 miktarı değerleri hesaplanmıştır. Uygulanan yöntemle yakıt harcamı ve CO2 salımında azalma gözlenmiştir (Yan vd. 2018). Başka bir çalışma, baş ve kıç draftlarını, kalkış ve varış limanlarının koordinatlarını, tahmini varış zamanını, coğrafi bilgileri ve hava koşullarını girdi olarak kullanarak rota optimizasyonu yapan ve sonuç olarak toplam yakıt harcamına ulaşmayı hedefleyen bir sistem üzerine odaklanmıştır (Lee vd. 2018). Hava koşullarına göre yapılan bir rota optimizasyonunda ise rüzgar hızı ve yönü ile dalga yüksekliği ve yönü bilgileri etken girdi olarak kullanılmıştır. Buna göre bazı durumlarda daha uzun yol gitmenin daha verimli sonuçlar getireceği üzerinde durulmuştur (Kosmas ve Vlachos, 2012). Bunlara ek olarak İspanya’nın Barselona-Palme de Mallorca Limanları arasındaki feribot seferlerinin optimizasyonu için rüzgar, dalga ve akıntı verilerine dayalı bir sistem (Grifoll vd. 2018); rüzgar gücüyle ek sevk içeren ya da içermeyen durumlara göre rüzgar ve dalganın yakıt harcamı üzerindeki etkilerinin incelendiği ve bir rota optimizasyonu gerçekleştirmek üzere tasarlanan bir sistem (Bentin vd. 2016); karmaşık deniz ve hava koşullarının hesaba katılarak hidrodinamik açısından optimum rotanın belirlendiği bir sistem (Vettor ve Soares, 2016) ve yine değişken çevre koşullarına bağlı olarak, ekonomik fizibilite, enerji verimliliği ve emisyon regülasyonları kapsamında rota optimizasyonu gerçekleştirmeyi amaçlayan bir sistem (Walther vd. 2016) üzerine çalışmalar yürütülmüştür. Konuyla ilgili kapsamlı olarak yürütülen bir çalışmada ise rota ve hız optimizasyonu Akdeniz’de faaliyet gösteren boyutları farklı üç farklı geminin çeşitli limanlar arasındaki nakliye işleri için incelenmiştir. Farklı senaryolardaki yük taşıma durumlarının incelendiği bu çalışmada zaman, maliyet ve çevresel etki, temel esas olarak alınmıştır (Wen vd. 2017).

**3. MALZEME VE METOT**

Bu çalışmada beş farklı kuru yük gemisinin dört farklı jenerik senaryoda İskenderun-Şangay Limanları arasında dökme demir cevheri taşıdığı varsayılarak her senaryo için çevresel, ekonomik ve sosyal analizler yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gemi A, 170.000 t; Gemi B 30.000 t; Gemi C ve Gemi D 85.000 t ve Gemi E 55.000 t yük taşıma kapasitesine sahiptir. Çalışmada bahsi geçen gemilerin taşıma kapasiteleri DWT ile eşdeğer olarak alınmış, DWT içindeki diğer unsurlar göz ardı edilmiştir. Toplam taşınacak olan yük 170.000 t olarak belirlenmiştir. Oluşturulan jenerik senaryolar aşağıdaki gibidir:

Senaryo-1: Gemi A, yükü tek başına taşır.

Senaryo-2a: Gemi C, yükün yarısını taşır, boş döner ve diğer yarısını taşır.

Senaryo-2b: Gemi C ve Gemi D yükü aynı anda taşır.

Senaryo-3: Gemi B, Gemi C ve Gemi E yükü aynı anda taşır.

Gemi emisyonlarının geleneksel yöntemlerle tahmin edilmesi üzerine çeşitli formüller geliştirilmiştir. Bu çalışmada makine gücüne dayalı bir hesaplama yapılmıştır ve bu yönteme ait formül aşağıda sunulmuştur (Trozzi, 2010):

$E\_{Trip,i,j,m}=\sum\_{p}^{}[T\_{p}\sum\_{e}^{}(P\_{e}×LF\_{e}×EF\_{e,i,j,m,p})]$ (1)

Burada;

ETrip: Bütün yolculuk boyunca oluşan toplam emisyon (t)

T: Süre (h)

P: Makine gücü (kW)

LF: Makine yükü (%)

EF: Emisyon faktörü (g/kWh)

e: Makine kategorisi

i: Kirletici tipi

j: Makine tipi

m: Yakıt tipi

p: Yolculuk aşamaları

Bu formülün özeti ise aşağıdaki denklemle verilebilir:

$Emisyon=Makine Gücü×Makine Yükü×Çalışma Saati×Emisyon Faktörü$ (2)

Çeşitli değişkenlere bağlı emisyon faktörleri Tablo 1’de ayrıntılı olarak sunulmuştur (Moldanová vd. 2010).

**Tablo 1:** Çeşitli Değişkenler İçin Emisyon Faktörleri (g/kWh)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | CO2 | SO2 | CO | HC | NOx | PM |
| SEYİR | Ana Makine-HFO | 620 | 10,5 | 0,5 | 0,3 | 14,4 | 1,3 |
| Ana Makine-MDO | 588 | 1,85 | - | - | - | 0,2 |
| Yardımcı Makine-MDO | 683 | 2,05 | 1,1 | 0,2 | 8,98 | 0,2 |
| MANEVRA | Ana Makine-HFO | 620 | 10,5 | 1 | 0,6 | 14,4 | 2,6 |
| Ana Makine-MDO | 588 | 1,85 | - | - | - | 0,4 |
| Yardımcı Makine-MDO | 683 | 2,05 | 2,2 | 0,4 | 8,98 | 0,4 |
| LİMAN | Ana Makine-HFO | 620 | 10,5 | 1 | 0,6 | 14,4 | 2,6 |
| Ana Makine-MDO | 588 | 1,85 | - | - | - | 0,4 |
| Yardımcı Makine-MDO | 683 | 2,05 | 2,2 | 0,4 | 8,98 | 0,4 |

Eşitlik 2’deki verilere göre gemilere ait bilgiler Tablo 2’de sunulmuştur:

**Tablo 2:** Emisyon Hesabı İçin Gemi Bilgileri

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Gemi/Özellik | Ana Makine Gücü (kW) | Yardımcı Makine Gücü (kW) | Ortalama Hız (knots) | Seyir Süresi (h) | Ana Makine Yükü (%) |
| Gemi A | 16.860 | 2.700 | 11,7 | 730,94 | 0,62 |
| Gemi B | 7.860 | 1.800 | 11,9 | 2.155,97 | 0,59 |
| Gemi C/D | 11.060 | 2.160 | 12 | 712,67 | 0,62 |
| Gemi E | 9.480 | 1.800 | 12,5 | 684,16 | 0,74 |

Gemi hızları ve ana makine yükleri gerçek günlük raporlardan ortalama olarak alınmıştır. Ana makine yükü, seyir, manevra ve liman operasyonları için sabit olarak alınmıştır. Buna ek olarak, yardımcı makine yükleri ise seyir, manevra ve liman için sırasıyla 0,17, 0,45 ve 0,22 olarak alınmıştır (Moreno-Gutiérrez vd. 2012).

Bir geminin limana yanaşma sürecinde manevra esnasında geçirdiği süre, 1,44 saat olarak tahmin edilmektedir (Lonati vd. 2010). Gemiler, gerçek verilere göre İskenderun Limanı’nda 14 gün (336 saat), Şangay Limanı’nda 5 gün (120 saat) geçirmektedir. İskenderun-Şangay Limanları arası toplam mesafe 8.552 deniz milidir. Bu çalışmada İskenderun-Şangay rotasının seçilmesinin ilk nedeni bu rotanın olabildiğince uzun ve kanal ile boğazlardan geçmesi muhtemel bir rota olmasıdır. İkinci neden ise hesaba konu olan gemilerin hem İskenderun hem de Şangay limanlarında ne kadar süre kaldığının kesin olarak bilinmesidir.

Yakıt maliyetini bulabilmek için öncelikle gemilerin yolculuk boyunca harcadıkları toplam yakıt oranları hesaplanmıştır. Bunun için özgül yakıt tüketimi (SFOC) adı verilen değerler kullanılmıştır. Bu değerler ana ve yardımcı makineler için sırasıyla 195 ve 210 g/kWh olarak alınmıştır (Moldanová vd. 2010). Buna göre harcanan toplam yakıt miktarları gemiler için Tablo 3’te verilmiştir:

**Tablo 3:** Yolculuk Boyunca Harcanan Yakıt Miktarları(t)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Gemi/Yakıt Miktarı | Ana Makine-HFO | Yardımcı Makine-MDO |
| Gemi A | 3.907,04 | 9.818,17 |
| Gemi B | 4.005,57 | 3.143,99 |
| Gemi C/D | 2.523,57 | 5.224,31 |
| Gemi E | 2.110,36 | 3.756,35 |

Yakıtların ton başına fiyatları ise Heavy Fuel Oil (HFO) ve Marine Diesel Oil (MDO) için sırasıyla 439 ve 666,5 $/ton olarak alınmıştır (Ship and Bunker, 2019). Dökme demir cevherinin emtia fiyatı ise 76,16 $/ton olarak kabul edilmiştir (Indexmundi, 2019). Son olarak, sosyal maliyetin hesaplanabilmesi için kirletici türüne göre mali yükü belirten değerler de Tablo 4’te sunulmuştur (Song, 2014).

**Tablo 4:** Kirletici Türlerine Göre Sosyal Maliyet Değerleri ($/ton)

|  |  |
| --- | --- |
| Kirletici Türü | Sosyal Maliyet |
| CO2 | 29 |
| SO2 | 12.239 |
| CO | 1.146 |
| HC | 2.985 |
| PM | 81.319 |
| NOx | 10.687 |

**4. BULGULAR VE TARTIŞMA**

Tablo 1’deki emisyon faktörlerine ve Tablo 2’deki gemi ve seyir özelliklerine göre yapılan emisyon tahmin hesaplamalarına ait bulgular Tablo 5’te aşağıdaki şekilde verilmiştir.

**Tablo 5:** Senaryolara Göre Emisyon Miktarları (t)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Senaryo/Emisyon | CO2 | SO2 | CO | HC | NOx | PM | TOPLAM |
| Senaryo-1 | 8.067,09 | 130,83 | 9,51 | 5,30 | 183,18 | 22,40 | 8.418,32 |
| Senaryo-2a | 15.975,63 | 256,86 | 19,12 | 10,51 | 361,14 | 44,14 | 16.667,40 |
| Senaryo-2b | 10.650,42 | 171,24 | 12,75 | 7,01 | 240,76 | 29,43 | 11.111,60 |
| Senaryo-3 | 18.553,68 | 298,26 | 20,71 | 11,40 | 419,38 | 47,94 | 19.351,37 |

Tablo 5’te Senaryo-1’in en iyi çevresel performansı üreten senaryo olduğu açıkça görülmektedir. Buna ek olarak en yüksek oranda üretilen gaz emisyonu CO2 olup toplamda üretilen gaz miktarının % 95,82’sini oluşturmaktadır.

Benzer şekilde Tablo 5’teki emisyon miktarlarının Tablo 4’te verilen sosyal maliyet değerleriyle çarpılması durumunda elde edilen sonuçlar ise Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 6:** Senaryolara Göre Sosyal Maliyet (milyon $)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Senaryo/Sosyal Maliyet | CO2 | SO2 | CO | HC | NOx | PM | TOPLAM |
| Senaryo-1 | 0,234 | 1,613 | 0,011 | 0,016 | 14,896 | 0,239 | 17,009 |
| Senaryo-2a | 0,463 | 3,167 | 0,022 | 0,031 | 29,367 | 0,472 | 33,523 |
| Senaryo-2b | 0,309 | 2,111 | 0,015 | 0,021 | 19,578 | 0,315 | 22,348 |
| Senaryo-3 | 0,538 | 3,677 | 0,024 | 0,034 | 34,104 | 0,512 | 38,889 |

Senaryo-1, emisyon oranlarında olduğu gibi sosyal maliyetler konusunda da en iyi performansı sergiyelen senaryodur. Burada dikkat çekici olan nokta, en çok üretilen gaz kirleticinin CO2 olmasına rağmen en büyük sosyal maliyete yol açan kirleticinin NOx olarak çıkmasıdır. NOx toplam sosyal maliyetin % 87,57’sini oluştururken toplam emisyonlardaki NOx payı sadece % 2,17’dir.

Her bir senaryo için yakıt maliyeti, gelir, net kazanç ve sosyal kayıp miktarları ise Tablo 7’de sunulmuştur.

**Tablo 7:** Senaryolara Göre Yakıt Maliyeti, Gelir, Net Kazanç ve Sosyal Kayıp (milyon $)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Senaryo/Maliyet | Yakıt Maliyeti | Gelir | Net Kazanç | Sosyal Kayıp |
| Senaryo-1 | 8,259 | 12,031 | 3,772 | -4,978 |
| Senaryo-2a | 13,770 | 12,031 | -1,738 | -21,491 |
| Senaryo-2b | 9,180 | 12,031 | 2,852 | -10,317 |
| Senaryo-3 | 11,874 | 12,031 | 0,158 | -26,858 |

Tablo 7’de görülen sonuçlara göre gemilerin elde ettikleri gelir miktarları aynıdır. Bununla beraber yakıt maliyetleri açısından bakıldığında Senaryo-1 yine en iyi performansı göstermektedir. Senaryo-2b ise Senaryo-1’e yakın bir yakıt maliyetine sahiptir. Net kazançlar ve sosyal kayıplar konusunda da en iyi sonuç Senaryo-1’e aittir. Senaryo-1’de gemi sahibi 3,772 milyon $ net kazanç elde etmiştir. Sosyal maliyetler konusundaki kayıp ise 4,978 milyon $ olmuştur.

Elde edilen bu değerlerin ardından ikinci aşamada, ana makinenin kullandığı HFO tipi yakıtın MDO ile değiştirilmesi durumundaki emisyon ve maliyet tahminleri gerçekleştirilmiştir. Hesaplar, sadece en iyi sonucu veren Senaryo-1 için tekrar yapılmıştır. Tablo 8, Senaryo-1’de yakıt değişimi sonucundaki emisyon ve sosyal maliyet hesaplamalarını göstermektedir.

**Tablo 8:** Senaryolara Göre Emisyon Miktarları (t/milyon $)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Emisyon/Maliyet | CO2 | SO2 | CO | HC | NOx | PM | TOPLAM |
| Emisyon | 7.672,16 | 24,08 | 9,51 | 5,30 | 183,18 | 3,59 | 7.897,83 |
| Maliyet | 0,222 | 0,297 | 0,011 | 0,016 | 14,896 | 0,038 | 15,480 |

Tablo 8 ile Tablo 5 ve Tablo 6 kıyaslandığında görülmektedir ki yakıt değişimi toplam emisyonlarda % 6,18’lik bir azalma gerçekleşmesini sağlamaktadır. Sosyal maliyetlerdeki azalma oranı ise % 8,98’dir. Emisyonlardaki ve sosyal maliyetteki azalmanın temel nedeni SO2 ve PM emisyonlarıdır. Bunun nedeni ise MDO tipi yakıtların HFO tipi yakıtlara göre en temel farkının yakıt içeriğindeki kütlesel kükürt oranının azlığıdır.

Yakıt değişimi sonucundaki yakıt maliyeti 9.147.852,12 $ seviyesinde bulunmuştur. Buna göre yakıt maliyeti % 10,76 oranında artış göstermiştir. Gelir, 12,031 milyon dolar olarak sabit kalmıştır. Buna göre net kazanç, 2.883.636,66 $ seviyesinde hesaplanmıştır. Bu da net kazançta % 23,56 oranında bir azalma demektir. Buna rağmen sosyal kayıp, yakıt değişimi durumunda 3.448.947,04 $ olarak bulunmuştur. Yakıt değişimi sonucunda sağlanan sosyal kayıp kazancı % 30,70 oranındadır.

**5. SONUÇ**

Gemilerin hem çevresel hem de ekonomik anlamda daha verimli kullanımı özellikle son yıllarda çok önem kazanmış olan bir konudur. Çalışmalar göstermiştir ki bazen daha uzun rotalar makine ve çevre şartları nedeniyle daha verimli olabilmektedir. Ekonomik verimlilik, çoğunlukla yakıt tasarrufu konusuna yoğunlaştığı için dolaylı olarak emisyon miktarlarının da azalmasını sağlamaktadır. Bu nedenle rota optimizasyonu çok önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Ekonomik verimliliğin ve çevresel performansın artması, ikincil etki olarak emisyonlar dolayısıyla meydana gelen uzun vadeli sosyal maliyetleri de azaltmaktadır. Küresel çaptaki gemi faaliyetlerinin ve gerçekleştirilen rota optimizasyonu operasyonlarının çevresel performansları ve ekonomik verimlilikleri son yirmi yılda çok sayıda çalışma tarafından hesaplanmış olsa da sosyal maliyet hesapları çoğunlukla limanlarda bekleyen gemiler üzerinden yapılmıştır. Dünya genelinde limanların genellikle büyük şehirlerde konuşlandığı düşünüldüğünde sosyal maliyet hesaplamalarının limanlar için yapılması çok mantıklı bir tercih olmasına rağmen gemilerin en büyük emisyon üretimlerini operasyon sırasında gerçekleştirdikleri ve gemi rotalarının belli başlı bazı bölgelerde yoğunlaştıkları bilinmektedir. Bu nedenle gemi emisyonlarından kaynaklanan sosyal maliyetlerin bu rotalar üzerinde de mutlaka hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada farklı yük taşıma kapasitelerine sahip beş adet kuru yük gemisinin İskenderun-Şangay arasındaki seferlerinde gerçekleşen çevresel, sosyal ve maliyet analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yükün büyük kapasiteli tek bir gemi tarafından taşınması her üç konuda da daha iyi sonuç vermektedir. Yakıt değişimi ile yapılan ikinci aşama hesaplarında ise HFO yerine MDO kullanımının yakıt maliyetlerini arttırdığı, buna karşın sosyal kayıpları azalttığı gözlenmiştir. Hesaplamalar, farklı seferlerde farklı yük türleri için yapılırsa net kazancın da arttığı gözlemlenebilir.

Çalışmanın amacı, gemi rota optimizasyonu konusunun sadece ekonomik değil, çevresel ve sosyal boyutlarının da olduğunu göstermek ve sosyal maliyetlerin gemi yaşam döngüsü boyunca sadece limanda bekleme sürecinde değil operasyon sürecinde de hesaplanmasının önemine dikkat çekmek olup bu yayın, ileride yapılacak daha kapsamlı çalışmalara bir giriş niteliği taşımaktadır. İleri çalışmalarda Kuzey Buz Denizi’nin erimesiyle ortaya çıkması beklenen yeni rotaların kullanılmasının ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarının hesaplanması ve bu hesaplamalarda navlun değerlerinin de kullanılması düşünülebilir.

**KAYNAKÇA**

Andreoni, V., Miola, A.ve Peujo, A. (2008). *Cost effectiveness analysis of the emission abatement in the shipping sector emissions*. Italy: *European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.*

Bal Beşikçi, E., Arslan, O., Turan, O. ve Ölçer, A.İ. (2016). An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations. *Computers & Operations Research*, 66, 393-401.

Bektaş, T., Ehmke, J.F., Psaraftis, H.N. ve Puchinger, J. (2019). The role of operational research in green freight transportation. *European Journal of Operational Research*, 3(1), 807-823.

Bentin, M., Zastrau, D., Schlaak, M., Freye, D., Elsner, R. ve Kotzur, S. (2016). A new routing optimization tool-influence of wind and waves on fuel consumption of ships with and without wind assisted ship propulsion systems. *Transportation Research Procedia*, 14, 153-162.

Bilgili, L. (2018). *Gemi yaşam döngüsünde operasyonel gaz emisyonlarının makine öğrenmesi yöntemiyle tahmini*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bilgili, L. ve Çelebi, U.B. (2018). Developing a new green ship approach for flue gas emission estimation of bulk carriers. *Measurement*, 120, 121-127.

Corbett, J.J. ve Köhler, H.W. (2003). Updated emissions from ocean shipping. *Journal of Geophysical Research*, 108, D20.

Corbett, J.J., Fischbeck, P.S.ve Pandis, S.N. (1999). Global nitrogen and sulfur inventories for oceangoing ships. *Journal of Geophysical Research*, 104, D3:3457-3470.

Deniz, C. ve Durmuşoğlu, Y. (2008). Estimating shipping emissions in the region of the Sea of Marmara. *Science of the Total Environment*, 390, 255-261.

Dragović, B., Tzannatos, E., Tselentis, V., Meštrović, R. ve Škurić, M. (2015). Ship emissions and their externalities in cruise ports. *Transportation Research Part D*, 61(B), 289-300.

Endresen, Ø., Sørgård, E., Behrens, H.L., Brett, P.O. ve Isaksen, I.S.A. (2007). A historical reconstruction of ships’ fuel consumption and emissions. *Journal of Geophysical Research*, 112, D12301.

Eyring, V., Isaksen, I.S.A., Berntsen, T., Collins, W.J., Corbett, J.J., Endresen, O., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., Stevenson, D.S. (2010). Transport impacts on atmosphere and climate: Shipping, *Atmospheric Environment*, 44, 4735-4771.

Eyring, V., Köhler, H.W., Lauer, A. ve Lemper, B. (2005b). Emissions from international shipping: 2. Impact of future technologies on scenarios until 2050. *Journal of Geophysical Research*, 110, D17306.

Eyring, V., Köhler, H.W., van Aardenne, J. ve Lauer, A. (2005a). Emission from international shipping: 1. The last 50 years. *Journal of Geophysical Research*, 110, D20.

Gallagher, K.P. (2005). International trade and air pollution: Estimating the economic costs of air emissions from waterborne commerce vessels in the United States. *Journal of Environment Management*, 77, 99-103.

Grifoll, M., Martorell, L., la Castells, M. ve de Osés, F.X.M. (2018). Ship weather routing using pathfinding algorithms: the case of Barcelona-Palma de Mallorca, *Transportation Research Procedia*, 33, 299-306.

IMO (2000). *Study of Greenhouse Gas Emissions from Ships*, Final Report to the International Maritime Organization, Norwegian Marine Technology Research Institute-MARINTEK, Trondheim, Norveç.

IMO (2009). *Second IMO GHG Study*, Londra, Birleşik Krallık.

IMO (2015). *Third IMO Greenhouse Gas Study, Executive Summary and Final Report*, Londra, Birleşik Krallık.

Jalkanen, J.P., Johansson, L., Kukkonen, J., Brink, A., Kalli, J. ve Stipa, T. (2012). Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12, 2641-2659.

Johansson, L., Jalkanen, J.P. ve Kukkonen, J. (2017). Global Assessment of Shipping Emissions in 2015 on a High Spatial and Temporal Resolution. *Atmospheric Environment*, 167:403-415.

Kalli, J. ve Tapaninen, U. (2008). *Externalities of Shipping in the Gulf of Finland until 2015*, University of Turku, ISBN: 978-951-29-3779-0, ISSN: 1456-1816.

Kesgin, U. ve Vardar, N. (2001). A study on exhaust gas emissions from ships in Turkish Straits. *Atmospheric Environment*, 35, 1863-1870.

Kosmas, O.T. ve Vlachos, D.S. (2012). Simulated annealing for optimal ship routing. Computers & Operations Research, 39(3), 576-581.

Lee, S.M., Roh, M.I., Kim, K.S., Jung, H. ve Park, J.J. (2018). Method for a simultaneous determination of the path and the speed for ship route planning problems. *Ocean Engineering*, 157, 301-312.

Lonati, G., Cernuschi, S. ve Sidi, S. (2010). Air quality impact assessment of at-berth ship emissions: Case-study for the project of a new freight port. *Science of the Total Environment*, 409 (1), 192-200.

Maragkogianni, A. ve Papaefthimiou, S. (2015). Evaluating the social cost of cruise ships air emissions in major ports of Greece. *Transportation Research Part D*, 36, 10-17.

McArthur, D.P. ve Osland, L. (2013). Ships in a city harbour: An economic valuation of atmospheric emissions. *Transportation Research Part D*, 21, 47-52.

Moldanová, J., Fridell, E., Petzold, A., Jalkanen, J.P. ve Samaras, Z. (2010). Emission factors for shipping-final data for use in TRANSPHORM emission inventories, transport related air pollution and health impacts-integrated methodologies for assessing particulate matter.

Moreno-Gutiérrez, J., Durán-Grados, V., Uriondo, Z. ve Ángel-Llamas, J. (2012). Emission-factor uncertainties in maritime transport in the Strait of Gibraltar, Spain. *Atmospheric Measurement Techniques*, 5, 5953-5991.

Song, S. (2014). Ship emissions inventory, social cost and eco-efficiency in Shangai Yangshan Port. *Atmospheric Environment*, 82, 288-297.

Streets, D.G., Carmichael, G.R. ve Arndt, R.L. (1997). Sulfur dioxide emissions and sulfur deposition from international shipping in Asian Waters. *Atmospheric Environment*, 31 (10), 1573-1582.

Streets, D.G., Guttikunda, S.K. ve Carmichael, G.R. (2000). The growing contribution of sulfur emissions from ships in Asian Waters, 1988-1995. *Atmospheric Environment*, 34, 4425-4439.

Trozzi, C. (2010). Emission estimate methodology for maritime navigation. In *Proceedings of 19. International Emission Inventory Conference*. 27-30 Eylül, San Antonio, ABD.

Tzannatos, E. (2010a). Ship emissions and their externalities for Greece. *Atmospheric Environment*, 44, 2194-2202.

Tzannatos, E. (2010b). Ship emissions and their externalities for the Port of Piraeus-Greece. *Atmospheric Environment*, 44, 400-407.

Vettor, R. ve Soares, C.G. (2016). Development of a ship weather routing system. *Ocean Engineering*, 123, 1-14.

Wahlström, J., Karvesenoja, N. ve Porvari, P. (2006). *Ship emissions and technical emission reduction potential in the Northern Baltic Sea*, Reports of Finnish Environment Institute, Helsinki, Finlandiya.

Walther, L., Rizvanolli, A., Wendebourg, M. Ve Jahn, C. (2016). Modeling and optimization algorithms in ship weather routing. *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 4, 31-45.

Wang, K., Yan, X., Yuan, Y., Jiang, X., Lin, X. ve Negenborn, R.R. (2018). Dynamic optimization of ship energy efficiency considering time-varying environmental factors. *Transportation Research Part D*, 62, 685-698.

Wen, M., Pacino, D., Kontovas, C.A. ve Psaraftis, H.N. (2017). A multiple ship routing and speed optimization problem under time, cost and environmental objectives. Transportation Research Part D, 52 (A), 303-321.

Yan, X., Wang, K., Yuan, Y., Jiang, X. ve Negenborn, R.R. (2018). Energy-efficient shipping: An application of big data analysis for optimizing engine speed of inland ships considering multiple environmental factors. *Ocean Engineering*, 169, 457-468.

**İnternet Kaynakları**

Indexmundi (2019).

https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore, Erişim Tarihi: 22.02.2019

Ship and Bunker (2019).

https://shipandbunker.com/prices#IFO380

https://shipandbunker.com/prices#MGO, Erişim Tarihi: 22.02.2019