



DENİZ TAŞIMACILIĞINDA GEMİ AĞIRLIĞININ İHMAL EDİLDİĞİ MODELİN EKSİKLİKLERİ VE ETKİLERİ

Kadir MERSİN^{1,*}

¹Gelişim Üniversitesi Lojistik Yönetimi Bölümü, İstanbul, Türkiye
kmersin@gelisim.edu.tr ORCID: 0000-0003-3999-6960

ÖZET

Yakıt tüketimi, bir geminin toplam sefer maliyetinin %12'si ile %25'ini kapsamaktadır. Bir geminin yakıt tüketimi, yakıt tüketimi fonksiyonu ile hesaplanabilir. Bu fonksiyon, geminin hızına bağlı bir kübik fonksiyondur. Bununla birlikte, yolculuğun maliyeti yakıt tüketiminin maliyeti ile sınırlı değildir. İşletme maliyetleri ve navlun oranları diğer maliyetlerdir. Dolayısıyla optimize edilmesi gereken parametreler tek değildir.

Literatürde iki farklı yakıt tüketimi fonksiyonu vardır. Bu fonksiyonlardan birisi geminin toplam ağırlığını ihmal ederken diğer fonksiyon gemi ağırlığını ihmal etmez. Bu iki fonksiyonların sonuçlarında büyük bir fark olduğu görülmektedir. Bunun sebebi geminin seferi sırasında tükettiği yakıttan dolayı hafiflemesi ve başlangıçtaki ağırlığı ile limana vardığı zamanki ağırlığının farklı olmasıdır. Dolayısıyla gemi ağırlığının bir fonksiyon olarak kabul edilirse ortaya azalan bir fonksiyon çıkar. Bu çalışmada iki formül arasındaki farklar incelenmiş ve deplasman fonksiyonu adı verilen bir fonksiyon yardımı ile yakıt maliyeti tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: yakıt tüketimi, deplasman fonksiyonu, deniz taşımacılığı, sefer maliyeti, konteyner taşımacılığı.

ABSTRACT

Fuel consumption covers 12% to 25% of the total voyage cost of a ship. The fuel consumption of a ship can be calculated with the fuel consumption function. This function is a cubic function dependent on the ship's speed. However, the cost of the voyage is not

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

Atıf (Citation): Mersin, K., "Deniz Taşımacılığında Gemi Ağırlığının İhmal Edildiği Modelin Eksiklikleri ve Etkileri", UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 4(1): 65-73, 2022.

Geliş (Received): 17/07/2021

Kabul (Accepted): 20/01/2022

Yayın (Published): 30/03/2022

limited to the cost of fuel consumption. Operating costs and freight rates are other costs. Therefore, the parameters that need to be optimized are not the only ones.

There are two different fuel consumption functions in the literature. While one of these functions neglects the total weight of the ship, the other function does not neglect the weight of the ship. There appears to be a large difference in the results of these two functions. The reason for this is that the ship is lighter due to the fuel consumed during the voyage and its initial weight is different from the weight when it arrives at the port. Therefore, the weight of the ship is accepted as a function which is a decreasing function. In this study, the differences between the two formulas were examined and the fuel cost was estimated with the help of a function called the displacement function.

Keywords: fuel consumption, displacement function, marine transportation, sailing cost, container transport.

1. GİRİŞ

Deniz taşımacılığı, özellikle uluslararası taşımacılık söz konusu olduğunda en çok tercih edilen taşımacılık türlerinin başında gelmektedir. Bunun en büyük sebebi ise deniz taşımacılığının en ucuz taşımacılık türü olmasıdır. Ekonomik faktörler göz önüne alındığında, bu ulaşım türü çeşitli maliyetleri beraberinde getirmiştir. Bunların başında yakıt maliyeti gelmektedir. Yakıt maliyetini etkileyen faktörlerin başında ise geminin servis hızı gelmektedir.

Genel olarak, yüksek servis hızının hem avantajları hem de dezavantajları vardır. İlk avantaj, yıllık taşınan kargo miktarıdır. Örneğin Algeciras Barcelona-Valencia-Marsilya-Cenova-Gioia Tauro İstanbul olarak 7 aylık bir rotaya sahip olan bir gemi 4.994 mil yol kat etmek zorundadır. 10.000 TEU kapasiteli bir gemi için bu mesafeyi 15 knot hızla gitmek yaklaşık 13 gün sürecektir. Limanlarda yükleme ve boşaltma işlemlerinin 1 gün sürdüğünü kabul edersek geminin hareket süresi toplam 24 gün olacaktır. Bu, yılda yaklaşık 152.083 adet konteyner anlamına gelir. Söz konusu yük 20 knot hızla taşınmış olsaydı, hizmet süresi 21 gün olurdu ve bu da yılda yaklaşık 173.809,52 ton kargo anlamına gelir. İkinci avantaj, envanter maliyetidir. Konteynerlerle taşınan yüklerin envanter maliyetleri yüksektir.

Bununla birlikte yüksek servis hızı beraberinde yüksek yakıt tüketimini de getirecektir. Bir geminin günlük yakıt tüketimindeki değişim, üzerindeki yükün ağırlığının ihmal edilmesi durumunda servis hızının kübü ile orantılıdır [13]. Dolayısıyla servis hızının

15 knottan 20 knota çıkarıldığı durumda günlük yakıt tüketimi yaklaşık olarak 2,37 kat artacaktır. Bu da toplam maliyette minimum %12 oranında bir artış demektir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Alderton [1] 1981 senesinde yayımladığı makalede bir geminin yakıt tüketimi ile hız arasındaki bağıntıyı gösteren bir formül tanımladı. Bu formülde, geminin ağırlığı ihmal edilmişti. Bu çalışmadan kısa bir süre sonra Ronen [12] ve Chrzanowski [4] bu formülü çalışmalarında kullanarak yakıt tüketiminin hızın bir kuvveti olduğu göstermiştir. Barras [2] ise geminin ağırlığını ihmal etmeyen yakıt tüketimi için bir formül yayımlayarak bu çalışmada kullanılan yönteme bir ışık tutmuştur. Kim ve diğ. [7] belirli bir gemi rotası için yakıt miktarını ve optimum gemi hızını belirlemiştir. Notteboom ve Carlou [9] yakıt tüketiminde düşük hızlı uygulamaların etkilerini araştırmışlardır.. Khor, Dohlie, Konovessis ve Xiao [6] ultra konteyner gemilerinin hızını optimize etmek için bir model kurarak en uygun 19,5 knot hız bulmuşlardır. Doudnikoff ve Lacoste [5], SECA içindeki ve dışındaki toplam geçiş süresi ve CO2 emisyonları arasında hız ve maliyet etkinliği bakımından farklılıklar ortaya koymuştur. Son olarak 2021 senesinde Ulker ve diğ.[14] özel olarak Marmara denizindeki gemi kaynaklı emisyon ile karayolu emisyonlarını karşılaştırmıştır.

3. ANALİZ VE BULGULAR

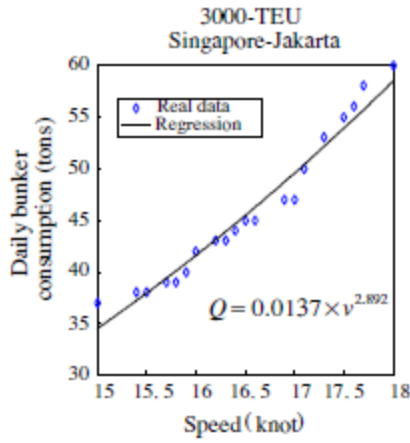
Yakıt tüketimi ile hız arasındaki ilişkiyi daha iyi görmek için Tablo 1'deki Singapur- Jakarta seferini yapan 3000 TEU kapasiteli bir konteyner gemisinin hızı ile yakıt tüketimi arasındaki ilişki incelenebilir. Bu ilişkiye göre hız arttıkça yakıt tüketiminin arttığı aşikardır. Bununla birlikte veriler grafiğe döküldüğünde Şekil 1'deki grafik elde edilmektedir. Bu grafiğe göre bir regresyon hesabı yapılırsa hız ile yakıt tüketimi arasındaki bağıntı

$$F(v) = 0,0137 \times v^{2,892}$$

şeklindedir [13].

Tablo 1. Yakıt Tüketimi-Gemi Hızı arasındaki ilişki [13]

Gemi Tipi ve Sefer Yönü	Ortalama Hız (knot)	Tüketim (ton/gün)	Ortalama Hız (knot)	Bunker (ton/gün)
3000-TEU	15,0	37	16,5	45
Singapore –Jakarta (SG-JKT)	15,4	38	16,9	47
	15,7	39	17,1	50
	15,9	40	17,3	53
	16,0	42	17,5	55



Şekil 1. Hıza Göre Yapılan Regresyon Hesabı [13]

Görüldüğü üzere yakıt tüketimi hızın kuvveti ile orantılıdır. Dolayısıyla yakıt tüketimi

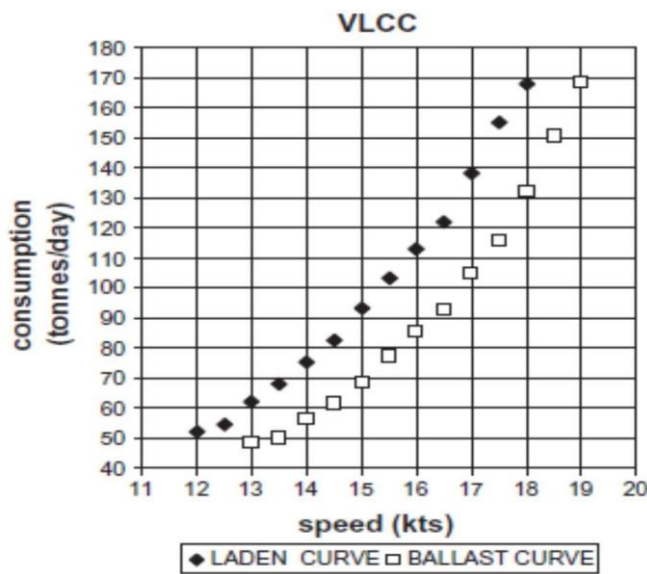
$$F(V) = \lambda \cdot V^n, \lambda > 0; \Omega > 1$$

fonksiyonu ile hesaplanabilir. Burada λ ve Ω sabitleri gerçek verilerden uyarlanmıştır. Daha önceki literatür taramaları göstermiştir ki genelliği bozmadan hızın kuvveti yaklaşık olarak 3 alınabilir [7].

Bununla birlikte bu fonksiyon geminin ağırlığını ihmal etmektedir. Bir geminin deniz altındaki kısmı, geminin hareketine direnç gösterir. Bu direnç, geminin hızına bağlı olarak ana makinenin yakıt tüketimini etkiler. Bunun anlamı geminin ağırlığı arttıkça su altında kalan kısmın karşılaşacağı direnç de artacaktır. Dolayısıyla geminin ağırlığını ihmal etmek hesaplamalarda hatalara sebebiyet verecektir. Bu hataları azaltmak için bu çalışmada deplasman fonksiyonu diye adlandırılacak başka bir fonksiyon kullanılacaktır.

3.1. Deplasman Fonksiyonu (Mersin,2020:34)

Wang ve Meng'in oluşturduğu fonksiyonda geminin üzerinde bulunan yük ağırlığı ve sahip olduğu yakıt ağırlığı ihmal edilmiştir. Özellikle konteyner gemilerinde her limanda ve hatta sefer sırasında yakıtın yanması sonucu gemi ağırlığı değiştiğinden dolayı geminin ağırlığını ihmal etmek doğru olmayacaktır. Geminin suya batışı ile oluşan direnç doğrultusunda hızın değişeceği ve bununla birlikte yakıt tüketimi hız ile orantılı olarak değişimi de artacaktır. Şekil 2'de bir VLCC tipi konteyner gemisinin balasttaki ve üzerinde yük varken yakıt tüketimi görülmektedir (Psaraftis ve Kontovas, 2013).



Şekil 2. Balasttaki ve Yüklü Geminin Yakıt Tüketimleri

∇ , geminin ağırlığını göstermek üzere, pozitif reel sayılar ile reel sayılar arasında aşağıdaki fonksiyon kurulabilir

$$\nabla: [0, \infty) \rightarrow (-\infty, \infty)$$
$$\nabla(t) = \left[\sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda v^3 t}{3} \right]^3 \quad (1)$$

Burada $\nabla(0)$ ile $t = 0$ anındaki geminin ağırlığı gösterilmektedir. Fonksiyonun görüntü kümesine bakarsak, görüntü kümesinde negatif reel sayıların da olduğu görülür. Geminin ağırlığı negatif olamayacağı için bunun anlamı belli bir $t = t_0$ anından itibaren gemide yakıt kalmadığıdır. Dolayısıyla görüntü kümesini kısıtlayarak fonksiyonu bire bir hale getirildiğinde aşağıdaki hale gelecektir,

$$\nabla: [0, \frac{3^3 \sqrt{\nabla(0)}}{\lambda v^3}] \rightarrow [0, \nabla(0)]$$
$$\nabla(t) = [\sqrt[3]{\nabla(0)} - \frac{\lambda v^3 t}{3}]^3$$

Açıktır ki fonksiyonun değişkeni zamandır. Yani deplasman fonksiyonu zamana bağlı bir fonksiyondur. Bununla birlikte dizel makineler için $\lambda = 1/120,000$ alınabilir [2].

3.2. Deniz Taşımacılığında Maliyetler

Çalışmanın bu bölümünde, Psaraftis [11] tarafından oluşturulan bir senaryodaki veriler kullanılarak alternatif bir senaryo oluşturuldu. Bu senaryoya göre; geminin ağırlığı (W), geminin hızı (v), yelken süresi (t), yakıt fiyatı (p) konteynır başına fiyat maliyeti (R) ve işletme maliyetleri (c) parametre olarak alınmıştır. Bu parametrelerin birimleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Parametreler ve Birimleri.

Geminin ağırlığı (W),	Ton
Geminin hızı (v),	Knot
Sefer süresi (t),	Gün
Yakıt fiyatı (p)	USD/ton
Operasyon maliyeti (X)	USD/gün
Navlun (R)	USD/TEU

Bu tabloya göre, çeşitli kabuller yapılarak bir konteyner gemisi için iki senaryo oluşturulabilir. Yeni konteyner gemileri 10.000 TEU’dan fazla konteyner taşıyabilmektedir ancak bu çalışmada konteyner kapasitesi 10.000 TEU ile sınırlandırılmıştır. Bununla birlikte doluluk oranı %60 kabul edilecek, geminin ağırlığı 202.036 DWT, ve hızı 22 kt olacaktır. Son olarak limanlar arası mesafe 20.000 nm, yakıt fiyatı 500 USD/ton navlun 1.500 USD/TEU ve operasyon maliyeti 15.000 USD alınacaktır.

1. Senaryo [11]

Bu senaryoda, gidiş-dönüş yolculuğunun çeşitli özellikleri hesaplanacaktır.

$$\text{Sefer süresi } t = 2L/v = 75,76 \text{ gün} \quad (3)$$

$$\text{Toplam konteyner hareketi } H = 2uQ = 12.000 \text{ TEU} \quad (4)$$

$$\text{Sefer maliyeti } C = t. (p\lambda v^3 + X) = 6.590.909 \text{ USD} \quad (5)$$

$$\text{Sefer geliri } I = 2uRQ = 18.000.000 \text{ USD} \quad (6)$$

$$\text{Toplam Kar } P = I - C = 11.409.091 \text{ USD} \quad (7).$$

Burada L , limanlar arası mesafe, Q gemi kapasitesi ve u doluluk oranıdır. Buradaki senaryoda λ değeri $9,7827 \times 10^{-7}$ olarak alınmış ve 24 çarpanından kurtulmak için gemi hızı nm/gün alınmıştır [11].

2. Senaryo

Bu senaryoda maliyet ve gelir farklı bir şekilde hesaplanacaktır. Senaryo 1'de geminin ağırlığı ihmal edilmişti ancak geminin ağırlığı yakıt tüketimini etkileyen bir faktördür. Bu yüzden yakıt tüketimini hesaplamak için deplasman fonksiyonunu kullanmak daha net bir sonuç verecektir.

Sefer süresinin 75,76 gün (3) ve doluluk oranının % 60 olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla geminin ağırlığı seferin sonunda

$$\nabla(75,76) = \left[\sqrt[3]{202,036 \times 0,6} - \frac{75,76 \times 22^3 t}{3 \times 120.000} \right]^3 \cong 105,490 \text{ ton}$$

olacaktır. Bu ağırlık ile başlangıç ağırlığı arasındaki fark yakıt tüketimini vereceğinden

$$\nabla(0) - \nabla(75,76) \cong 15.731,4 \text{ ton yakıt tüketimi olmuştur. Buna göre,}$$

$$\text{Sefer maliyeti } C = 75,76 \times 15.000 + 500 \times 15.731,4 = 9.002.100 \text{ USD}$$

$$\text{Sefer geliri } I = 2uRQ = 18.000.000$$

$$\text{USD Toplam kar } P = I - C$$

$$= 8.997.900 \text{ USD}$$

olacaktır. Tablo 3'te her iki senaryodan elde edilen değerler karşılaştırılmıştır.

Tablo 3. Senaryo 1 ve Senaryo 2 arasındaki farklar.

	Senaryo 1	Senaryo 2
Sefer Maliyeti	\$6.590.909	\$9.002.100
Sefer Geliri	\$18.000.000	\$18.000.000
Toplam Kar	\$11,409,091	\$8.997.900

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma göstermiştir ki gemilerin ağırlığının ihmal edilmesi bazı kusurları ortaya çıkarmıştır. Her şeyden önce, günlük ortalama yakıt tüketimi net değildir. Balastta giden bir gemi ve yarı yüklü geminin yakıt tüketimlerinin farklı değerlere sahip olduğu şekil 2’de gösterilmiştir. Yani, bu gemilerin maliyetleri farklı olacaktır. Ayrıca, günlük yakıt tüketimi, yakıt ağırlığının azalması nedeniyle günden güne değişir. Bu değişiklik geminin ağırlığını da etkiler. Bu nedenle, toplam yakıt tüketimi, gün sayısının ve günlük yakıt tüketiminin çarpımına eşit değildir. Dahası, yakıt maliyetleri incelenirse gerçek maliyetin yükün ihmal edildiği modelden çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla hesaplama kolaylığı ve veri eksikliği yaşanması durumunda yükün ihmal edildiği formül daha kullanışlıyken sonuçlar yanıltıcı olmaktadır. Sefer tamamlandıktan sonra tüketilen yakıtın tahminden fazla olduğunu görmek maliyet kalemlerinin hesaplanması için faydalı olacaktır.

Bu çalışmada verilen örnek incelendiğinde iki senaryo arasındaki maliyet farkının yaklaşık olarak %36 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla böyle bir maliyet farkının oluştuğu bir durumda geminin üzerindeki yükün ihmal edilmesi, yakıt tüketiminden kaynaklı masrafların beklenenden büyük olmasında önemli bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- [1]. Alderton, P. M. (1981). The optimum speed of ship. *The Journal of Navigation*, 34(3), 341– 355.
- [2]. Barras, B. (2004). *Ship design and performance for masters and mates*. Oxford: Elsevier. ISBN0-7506-6000-7.
- [3]. Christiansen, M., Fagerholt, K., Nygreen, B., Ronen, D., (2013). Ship routing and scheduling in the new millennium, *European Journal of Operational Research*, 228(3), 467–483.
- [4]. Chrzanowski, I. (1989). *An introduction to shipping economics*. United Kingdom: Fairplay Publication N L.T.D.
- [5]. 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*, pp.51–61.

- [6]. 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), pp.93-104.
- [7]. 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.
- [8]. Mersin, K. (2020). Deplasman Fonksiyonunun Özellikleri ve Yakıt Tüketim Fonksiyonuna Uygulaması *TURAN :Stratejik Arastirmalar Merkezi; Kars* Vol. 12, Iss. 45,
- [9]. 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), pp.73-86.
- [10]. Psaraftis, H.N., Kontovas, C.A., (2013), Speed models for energy-efficient maritime transportation: A taxonomy and survey, *Transportation Research Part C*, Vol 26, 331–351
- [11]. Psaraftis, N. (2019). Speed Optimization vs Speed Reduction: Choice the between Speed Limits and a Bunker Levy, *Sustainability* 11(8), 2249
- [12]. Ronen, D. (1982). The effect of oil price on the optimal speed of ships. *Journal of Operational Research*, Vol.33 pp. 1035–1040.
- [13]. Wang,S., Meng, Q., (2012). Sailing speed optimization for container ships in a liner shipping network, *Transportation Research Part E*, Vol 48 pp.701-714.
- [14]. Ülker, D., Bayırhan, İ., Mersin, K., Gazioğlu, C. (2020). A comparative CO2 emissions analysis and mitigation strategies of short-sea shipping and road transport in the Marmara Region, *Carbon Management*, Vol : 12 (1) pp.1-12