



# Journal of ETA Maritime Science

journal homepage: [www.gemimo.org](http://www.gemimo.org)



## Gemilerde Verimi Arttırmak İçin Uygulanan Yöntemlerin CO<sub>2</sub> Emisyonlarını Azaltmaya Yönelik Etkilerinin Analizi

Ali Atıl TALAY<sup>1</sup>, Cengiz DENİZ<sup>1</sup>, Yalçın DURMUŞOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği

### ÖNEMLİ NOKTALAR

- Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) yeni inşa edilen gemiler için, enerji verimliliği tasarım indeksi (EEDI) tanımlamıştır.
- Gemi operasyonları, bakım-onarım ve gemi tahrik sistemlerinin işletilmesi esnasında optimum yakıt tüketimiyle birlikte CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının salınımının azaltılması amacıyla gemi enerji verimliliği yönetim planı (SEEMP) taslağı hazırlamıştır.
- Bu çalışmada gemilerde enerji verimliliği ve yakıt ekonomisi sağlanması amacıyla uygulanabilir yöntemler farklı gemi tiplerine göre incelenmiş ve CO<sub>2</sub> emisyonları azaltılmasına olan etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir.

### MAKALE BİLGİSİ

#### Makalenin Tarihiçesi

Alındı: 23 Eylül 2013

Düzeltilerek alındı: 10 Ekim 2013

Kabul edildi: 15 Ekim 2013

#### Anahtar Kelimeler

Enerji verimliliği, CO<sub>2</sub> emisyonları, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO).

### ÖZET

Son yıllarda, gemilerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarını azaltmak için alınması gereken tedbirler ve uygulanabilir yöntemler, Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (IMO) yüksek öncelikli konuları arasında yer almaktadır. Deniz taşımacılığı, ulaşım sektörünün en verimli yolu olmasına rağmen, dünya ticaret filosunun genişlemesi ve buna paralel olarak gemilerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının her geçen yıl artması ve dünyadaki toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının % 3-3,5 kısmını oluşturması, bu konuyla ilgili gemilerde gerekli düzenlemelerin yapılmasına, uygulamaların geliştirilmesine ve önlemlerin alınmasına neden olmaktadır. Özellikle gemilerde enerji verimliliğinin sağlanması ve alternatif yöntemlerin geliştirilmesine yönelik uygulamalar CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı etkiler sağlamaktadırlar. IMO nun CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasıyla ilgili koyduğu hedefler bulunmaktadır. Gemi tiplerine ve seyir bölgelerine göre uygun planlamaların yapılması ve yöntemlerin uygulanması bu hedeflerin tutturulabilmesi açısından olumlu sonuçlar çıkaracaktır.

Bu çalışmada, gemilerde enerji verimliliğini arttıran ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltan yöntemler incelenmiş olup, gemilerin tasarımlarında, operasyonlarında, seyir planları koordinasyonunda ve bakım-tutum işleri esnasında gemi tipine göre uygulanabilir yöntemler analiz edilmiştir.

© 2014 & GEMİMO. Her hakkı saklıdır.

İrtibat:

Ali Atıl TALAY

talaya@itu.edu.tr

Cengiz DENİZ

denizc@itu.edu.tr

Yalçın DURMUŞOĞLU

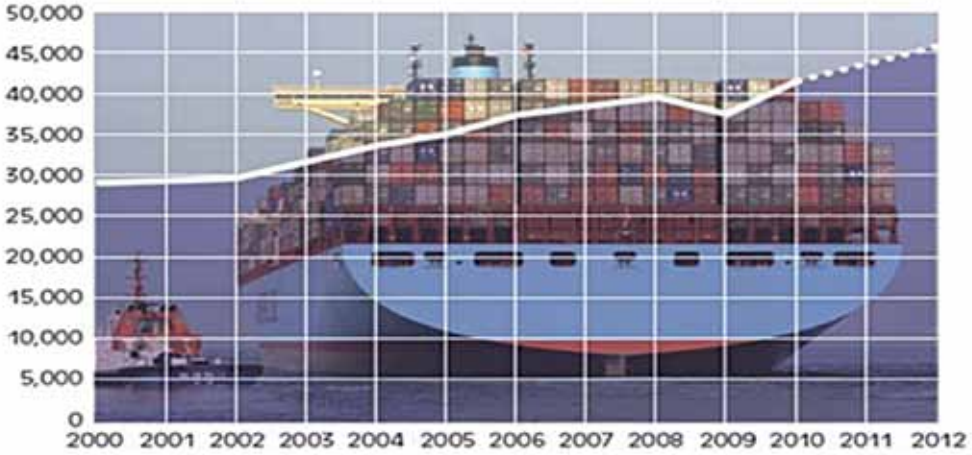
ydurmusoglu@itu.edu.tr

## 1. Giriş

Günümüzde, denizyolları uluslararası yüklerin % 90 gibi büyük bir kısmının taşımacılığında sorumlu hale gelerek küresel ekonominin işleyişi için çok önemli bir konumda bulunmaktadır. Özellikle kıtalararası ticarete hammadde, gıda ve diğer yüklerin büyük miktarlarda ithalat ve ihracatının ekonomik ve verimli bir şekilde gerçekleşmesinin, deniz taşımacılığı dışında mümkün olması düşünülememektedir. Deniz taşımacılığında ki düşük maliyet ve verimliliğin yüksek olması özellikle Uzakdoğu ülkelerinde sanayi ve ekonomi alanında gelişmelere neden

olmuş, düşük maliyetlerde üretilen malların kıtalararası pazarlarda tüketilmesini sağlayarak bu ülkelerin küresel yaşam standartlarını yakalamalarına olanak vermiştir <sup>(1)</sup>.

Dünya deniz ticareti filosunun büyümesi ve ticaret hacminin genişlemesi beraberinde gemilerden salınan CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarını arttırmaktadır. 1990 yılından itibaren gemi kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarında günümüze kadar %85 artış olduğu gözlemlenmektedir <sup>(2)</sup>. Denizyollarının küresel ekonomiye katkısı artarken, diğer yandan da dünyada sera gazı emisyonlarının %3-3,5 kısmının gemilerden salınan CO<sub>2</sub> gazları nedeniyle oluştuğu görül-



Şekil 1 Dünya deniz ticareti (milyar ton-mil) <sup>(6)</sup>

mektedir (3-5). IMO'nun yaptığı araştırmalar sonucunda 2007-2008 yılları arasında dünya genelinde gemilerden salınan CO<sub>2</sub> gazı emisyonları miktarı 1,050 milyon-ton seviyelerine ulaşmıştır. Böyle devam etmesi halinde 2050 yılında bu miktarın üç katına çıkması öngörülmektedir <sup>(3)</sup>. Yapılan çalışmalar neticesinde gemilerde uygulanabilir teknik ve operasyonel önlemlerle bu salınımların önemli bir oranda düşürülebileceği saptanmıştır. Bu önlemlerin birlikte uygulanmaları neticesinde CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının şimdiki seviyelerinden % 25-75 oranda azaltılabileceği ifade edilebilmektedir <sup>(3)</sup>. Özellikle yeni inşa edilen gemiler için Enerji Verimliliği Tasarım İndeksi (EEDI) oluşturulmuş ve bu indeksle gemilere tasarım aşamasındayken enerji verimliliğini artırıcı ve CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarını düşürücü bazı yöntemler geliştirilmiştir. Bunun yanında Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) oluşturularak gemi operasyonları, bakım-onarım ve gemi tahrik sistemlerinin işletilmesi esnasında optimum yakıt tüketimiyle birlikte minimum CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının salınımının azaltılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada, gemilerde enerji verimliliğini arttıracak ve yakıt tüketimini azaltacak yöntemler incelenmiştir. İncelenen yöntemlerin her gemi tipine uygulanmadığı görülmüştür. Genel olarak tanker, konteyner, ro-ro

ve feribot tipi gemilere uygun yöntemler incelenmiş ve bu yöntemlerin CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının azaltılmasına etkileri sayısal olarak analiz edilmiştir.

## 2. Gemilerde Enerji Verimliliğini Arttırmak İçin Uygulanabilir Yöntemler

Her geçen yıl dünya ticaret filosundaki gemi sayısı artmaktadır. Şekil 1 deki grafikte dünya deniz ticareti filosunun yıllara göre artışı gösterilmektedir. Dünyadaki gemi sayısının artışına bağlı olarak gemilerin tükettikleri yakıt miktarları ve dolayısıyla salınan CO<sub>2</sub> emisyonları miktarında da artış görülmektedir. Bu artış nedeniyle gemilerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının azaltılması için bazı tedbirlerin alınması zorunlu hale gelmiştir. Bu konuyla ilgili bazı yöntemler geliştirilmiştir.

Bu yöntemler aşağıda belirtildiği şekilde dört ana gruba ayrılmaktadır:

- 1-Gemi tasarımı uygulamaları,
- 2-Sevk ve pervane sistemleri,
- 3-Makine teknolojisi,
- 4-Operasyon ve bakım-tutum.

Bu uygulamaların birleştirilmesi ve birbirlerine entegre edilmesi ile CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının düşürülmesi ve gemilerin verimli işletilmeleri açısından olumlu sonuçlar doğu-

rabilmektedir.

### 2.1. Gemi Tasarımı Uygulamaları

Gemi tasarımı uygulamaları, inşa aşamasında olan gemilerin boyut, gövde, tonaj ve tahrik sistemi bölümlerinin gemi tipine göre yakıt tasarrufuna uygun olarak tasarlanması yöntemlerini içermektedir. Gemi direncinin azaltılması amacıyla yapılan bu uygulamalar gemilerden kaynaklanan CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarının azaltılmasında önemli etkiye sahiptir.

#### 2.1.1. Gemi Ana Boyutlarının

##### Optimizasyonu

Gemilerin inşasında optimum uzunluk ve blok katsayısının (Cb ) bulunmasının gemi direnci üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır. Bir geminin en-boy oranının (l/b) büyümesi demek düşük dalga oluşturacak şekilde direnç göstermesi demektir. Geminin hızının düşük olduğu durumlarda, bu oran baştan kıça doğru kaydırıldıkça direnç katsayısı büyümektedir. Diğer yandan uzunluk oranı arttırılırsa geminin toplam direncinin düşmesi ve kaygan yüzey etkisinin artması riski bulunmaktadır. Genel olarak gemilerin tam uzunluğunun %10-15 arttırılması, geminin güç ihtiyacını yaklaşık olarak %9-10 oranında düşürmektedir<sup>(5,8)</sup>.

#### 2.1.2. Hafif Yapılı Gemilerin İnşası

Gemilerin inşası aşamasında hafif yapı malzemelerin kullanılması toplam gemi ağırlıklarını düşürebilmektedir. Geminin yapısal mukavemeti bozulmadan alüminyum veya bazı hafif metallerle inşası enerji verimliliğini artırıcı başka bir çözüm olabilmektedir. Bu yöntemle beraber gemi yapısının ağırlaşmasına neden çelik yapılar azaltılmış olmaktadır. Genelde gemilerde, yüksek mukavemetli malzeme kullanımına bağlı olarak, çelik ağırlıkları %5-20 oranında azaltılabilmektedir. Gemi inşasında kullanılan çelik ağırlığının %20 oranında düşürülmesi, tahrik gücünde ortalama %9 oranında bir azalma meydana getirecektir<sup>(8)</sup>.

#### 2.1.3. Gemi Boyutunun Büyütülmesi

Yüksek tonajlı ve yapısal olarak büyük boyutlu gemilerin daha fazla yük kapasiteleri olduğu için enerji verimliliğine pozitif etkisi

olduğu görülmektedir. Gemilerin boyutları büyütüldüğünde taşıdığı yük başına aynı hızda daha az güçle daha fazla yük taşınabildiği görülmektedir. Fakat gemi boyutlarının büyük olması limanlarda bazı güçlüklerle de yol açabilmektedir. Örneğin, 8.000 TEU luk bir konteyner gemisinin kapasitesi 12.500 TEU ya çıkarılırsa, yakıt tüketiminin %10 oranında düştüğü görülmektedir. Bu oran gemiden gemiye farklılık göstermektedir. Genel olarak, yeni inşa edilen gemilerin boyutlarının %10 büyütülmesi ve bu oranın gemilere uygulanan regresyon analizi verilerine göre, büyük gemilerin enerji verimliliği açısından % 4-5 civarlarında olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir<sup>(7,8)</sup>.

#### 2.1.4. Balast Azaltmak

Balast kullanımının minimize edilmesi ile geminin boş halde daha hafif bir yapı oluşturup geminin denize karşı daha düşük direnç göstermesini sağlar. Ancak, pervanenin suya batması, geminin emniyetli bir stabiliteye sahip olması ve geminin denizde seyir güvenliği için yeterli balast sağlanmalıdır. Ayrıca balastın gemiye alınması ve denize basılması, balast pompaları ile sağlandığından balast nedeniyle pompaların çalışma süresinde artar. Daha fazla elektrik tüketimi olacağından dizel yakıt kullanan jeneratörlerin yakıt sarfiyatı artar. Ancak, balast koşullarının, dümen kabiliyeti ve otomatik pilot ayarları üzerinde önemli bir etkisi vardır ve daha az balast suyunun en yüksek verimlilik anlamına gelmediği unutulmamalıdır<sup>(9)</sup>. Aynı stabilitede yaklaşık 2750 ton balastın kalıcı bir şekilde azaltılması, her tip gemi için pervanenin üretmesi gereken gücü %7 oranında düşürmektedir<sup>(8)</sup>.

#### 2.1.5. Gemi Kıç Tarafı Tasarımı

Gemi kıç tarafı pervane diskine eşit akışın yönlendirilmesini sağlamak için tasarlanmıştır. Optimum tasarım, gemi kıç tarafına sert dalgaların etkisinin azaltılması, pervane içine akışı geliştirmek ve girdap etkilerini önlemek için yapılmalıdır. Kıç tarafın dalga karşılama özelliğinin geliştirilmesi ve geminin boyutlarına göre uygun akışı sağlayacak bir kıç per-



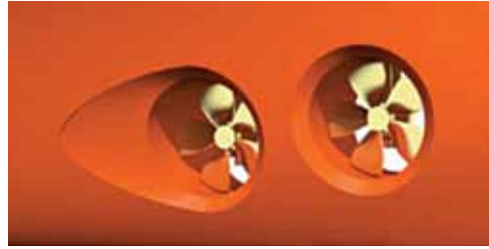
Şekil 2 Gemi kıç tarafı ve pervanenin tasarımı<sup>(7)</sup>

vane tasarımı iticinin verimini arttıracaktır<sup>(7)</sup>. İyi bir tasarımla, pervane gücünün % 1.5-2 civarında düşürülmesi mümkün olabilmektedir<sup>(8)</sup>.

Şekil 2 de enerji verimliliğine etki edebilecek bir pervane ve gemi kıç tarafı gösterilmektedir.

#### 2.1.6. Gemi Gövdesindeki Pervane Boşlukları Nedeniyle Oluşan Direncin Minimize Edilmesi

Baş itici pervane ve kinistin açıklıklarından akan suyun hızı çok yüksek olabilir. Bu yapılar için tasarlanmış her açıklığın tasarımının değiştirilmesinin bazı yönlerden faydaları bulunmaktadır. Alternatif olarak ise, yerel akış yönüne dik olan bir ızgara takılabilir. Tasarımın yapılabilmesi için açıklığın konumu çok önemlidir. İyi tasarlanan bir sistem ve pervanelerin yerinin doğru seçilmesi, zayıf tasarımlara oranla % 5 oranında enerji verimliliği sağlamaktadır<sup>(8)</sup>. Şekil 3 te gemi gövdesi

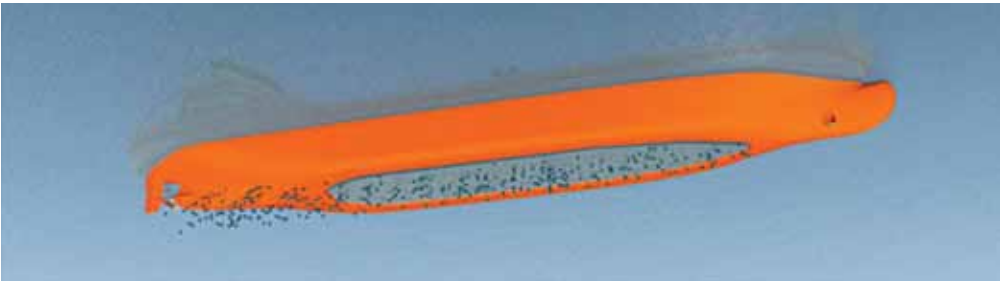


Şekil 3 Baş itici pervane tasarımı<sup>(8)</sup>

üzerinde direnci düşürmeye yönelik bir baş itici pervane tasarımı gösterilmektedir.

#### 2.1.7. Tekne Altını Hava Kabarcığı İle Yağlama Tekniği

Deniz suyunun viskoz direnci gemi teknesi üzerine etki eden direncin büyük kısmını oluşturmaktadır. Geminin hızı arttıkça bu direncin gemi gövdesi üzerindeki etkisi de artmaktadır. Sürtünme direncinin düşürülmesi için hava ile yağlama tekniği tüm gemilere uygulanabilir bir tekniktir. Bu yöntemde, basınçlı hava gemi gövdesinin alt tarafındaki gi-



Şekil 4 Gemilerde gövde altını hava ile yağlama<sup>(8)</sup>

rinti içine pompalanır. Hava, su ile gövde yüzeyi arasında sürtünme direncini azaltan bir yapı oluşturur. Bu sistem tahrik gücü ihtiyacını azaltır. Sistemdeki en önemli husus gemi teknesi altındaki havanın kaçmasını engellemektir. Şekil 4 te gemi gövdesi altına basınçlı hava uygulanması ile suya karşı dirençlerin düşürülmesine yönelik bir uygulama gösterilmektedir. Bazen kayıp havanın tekrar beslenmesi için pompa gücü gerekmektedir. Bu teknikte tankerlerde % 15, konteynerlerde %7.5 ve feribotlarda % 3.5 oranlarında enerji verimliliği sağlanmaktadır <sup>(8)</sup>.

## 2.2. Sevk Ve Pervane Sistemleri

Sevk ve pervane sistemleri gemiye etki eden dirençleri karşılayarak geminin istenen hızda hareketini sağlarlar. Ana makineye bağlı olan şafttan hareket alan pervanenin dönmesi sonucunda, suyun pervane üzerinde oluşturduğu kuvvetten dolayı, pervanenin bağlı olduğu gemi öteleme hareketi yaparak hareket eder <sup>(10)</sup>. Bu hareketin yakıt tasarrufu açısından verimli bir şekilde sağlanması için sevk sistemlerinde verimliliğin artırılması önemli bir etkidir.

### 2.2.1. Ters Dönüştürülen Pervanelerin İtici Tahrik Sistemi Olarak Kullanılması (Crp Sistemi)

Ters dönüştürülen pervane sistemleri, şaft üzerinde sıralı bulunan bir pervane çiftinin aynı anda ters yönde dönmesiyle oluşan pervane tasarımlarıdır. Arka pervane, öndeki pervaneden gelen akış enerjisinin bir kısmını kurtarmış olur. Bu pervane çifti, enerji verimliliği

açısından tek pervaneli sistemlere göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Ters dönüştürülen pervane çifti ikiz eş merkezli ters yönde dönen bir mil üzerine monte edilebildiği gibi kış tarafta geminin rotasyonunu sağlayan bir itici sistem olarak ana şaftta da bağlanabilir. Bu sistemler itici tahrik sistemi olarak kullanıldığı zaman enerji açısından yüksek verimlilik sağlayan tasarımlardır. Ters dönüştürülen pervane çiftinin kullanılmasıyla, gemiler için gerekli güç ihtiyacı % 10-15 civarında azalmaktadır <sup>(8)</sup>. Şekil 5 te ters dönüştürülen pervane çiftinin gemi tahrik sistemi olarak uygulaması gösterilmektedir.

### 2.2.2. Pervane-Tekne Etkileşimi Optimizasyonu

Sabit bir hızda hareket eden bir geminin arkasında akım şartları geminin geometrik özelliklerine göre değişimler gösterir. Geminin kıçındaki akışkanın herhangi bir noktasındaki hızı gerek doğrultusu ve gerekse miktarı bakımından, gemi kıçından farklıdır. Geminin özelliklerine göre pervanenin uygun bir şekilde tasarımının yapılması enerji verimliliği açısından çok önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Pervanenin itiş kuvveti neticesinde suyun kazandığı ivme, geminin direncini negatif yönde etkileyebilir. Günümüz teknolojisinde bu etki daha gelişmiş hesaplama teknikleri sayesinde tahmin edilip incelenebilir hale gelmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda gemilerde pervanenin ve teknenin tekrar tasarlanması enerji verimliliği açısından performansı % 4 etkilemektedir <sup>(8)</sup>.



Şekil 5 Ters dönüştürülen pervane çifti sistemi <sup>(8)</sup>



### 2.2.3. Geliştirilmiş Pervane Kanatları

Geliştirilmiş pervane kanadı uygulamalarının, pervane üzerinde kaviteasyon etkisini azalttığı ve sürtünmeye karşı direnci artırmaktadır. Geliştirilmiş pervane uygulamalarının enerji verimliliği üzerine etkileri %2 olarak hesaplanmaktadır<sup>(8)</sup>.

### 2.2.4. Pervane Verimlilik Ölçümü

Bu yöntemle yakıt tasarrufu için gemilerde pervanenin performans verileri ölçümü yapılmaktadır. Veriler pervanenin suya karşı itme gücünü, pervane torkunu ve pervanenin su içindeki hızını ölçmektedir. Pervane verilerinin doğru bir şekilde ölçümü operasyonda yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Tecrübeler bu yöntemin ortalama % 2 yakıt tasarrufu sağladığını göstermektedir<sup>(7)</sup>.

### 2.3. Makine Teknolojisi

Geminin yakıt giderlerini etkileyen en önemli etken gemi ana ve yardımcı makinelerinin tükettiği yakıt miktarıdır. Bu konuyla ilgili yapılacak enerji verimliliği uygulamaları diğer bölümlere göre daha kapsamlı olmakla beraber daha büyük getiriler sağlamaktadır. Gemilerde enerji verimliliğini arttırmak amacıyla uygulanabilir yöntemler aşağıdaki gibidir;

#### 2.3.1. Hibrit Yardımcı Güç Üretimi

Hibrit yardımcı güç sistemi; bir yakıt hücresi, dizel jeneratör ve pilden oluşur. Akıllı kontrol sistemi maksimum sistem verimliliği için her bir bileşenin yüklenme değerlerini dengeler. Sistemin aynı zamanda, rüzgâr ve güneş enerjisi gibi diğer enerji kaynakları uygulamaları bulunmaktadır. Bu yöntemin enerji verimliliği açısından % 2 pozitif etkisi



Şekil 6 Hibrit yardımcı güç üretimi<sup>(8)</sup>

olduğu gibi NO<sub>x</sub> gazı salınımını %78 ve CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarını % 30 oranında düşürdüğü görülmektedir<sup>(8)</sup>. Şekil 6 da gemilerde kullanılan hibrit yardımcı güç sistemi elemanları gösterilmektedir.

#### 2.3.2. Yakıt Tipi (Lng)

Son zamanlarda gemilerde LNG yakıtının kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Bunu nedeni aşağıda belirtildiği gibi iki ana faktörden kaynaklanmaktadır:

-LNG nin yakıt olarak kullanımı, yüksek sülfür ihtiva eden yakıtların kullanımına oranla atmosfere yayılan SO<sub>x</sub> emisyonlarının miktarını %90-95 oranında azalttığı görülmüştür. Aynı koşullarda, LNG nin yakıt olarak kullanımı gaz türbinleri ve dört zamanlı dizel motorlarla kıyaslandığı zaman NO<sub>x</sub> miktarında düşürmektedir.<sup>(11)</sup>

-Genel olarak gemilerde kullanılan yakıtlara oranla daha az karbon ihtiva eden bir yakıt olan LNG nin kullanılmasıyla atmosfere salınan CO<sub>2</sub> oranları gemi tipine, ana makine özelliklerine ve geminin yaşına göre yaklaşık olarak % 4- 20 oranına kadar düşürülebilmektedir (8,11).

LNG nin yakıt olarak kullanılmasıyla emisyon oranlarındaki azalma miktarları, IMO'nun 2015 ten itibaren zorunlu olarak uygulamaya sokacağı Emisyon Kontrol Alanlarına (ECA) uygun hale gelebilecektir.

#### 2.3.3. Atık Isıdan Enerji Geri Kazanımı

Atık ısıdan enerji geri kazanım tekniği, dizel motorlarından atılan egzoz gazlarının enerjisinden elektrik enerjisi elde etme yöntemidir. Atık ısıdan elde edilen enerjiyi aynı zamanda motorlara ilave güç olarak vermekte mümkündür. Sistem bir kazan, bir güç türbini ve alternatörlü bir buhar türbininden oluşmaktadır. Gemilerde bu sistemlerin uygulamaları enerji verimliliği açısından özellikle kazanlarda depolanan atık ısıdan geri kazanım açısından önemli sonuçlar vermektedir. Egzozdan atık ısı kazanımı gemi ana makine gücünde % 15 enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır. Yeni tasarlanan sistemlerde bu oran % 20 lere kadar çıkabilmektedir. Genel enerji verimliliği açısından incelenecek olur-

sa bu yöntemle, gemilerde % 10 kadar enerji verimliliği sağlanmaktadır (8,13).

#### 2.3.4. Common Rail ( Ortak Hat)

##### Uygulaması

Bu sistem düşük CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> emisyonları elde etmek için uygulanan bir yöntemdir. Sistem silindir içindeki yanmayı kontrol ederek operasyon boyunca her yükte mümkün olan en düşük yakıt tüketimini sağlama amacına yönelik uygulanır. Bu uygulama ayrıca manevra ve bütün yüklerde verimli operasyon şartlarını sağlamaktadır. Bu uygulamanın gemilerde enerji verimliliğine etkisi %1 oranında gerçekleşmektedir<sup>(8)</sup>.

#### 2.3.5. Gemilerde Güç Yönetimi

##### Uygulaması

Gemi operasyonlarında gemi makine ve ekipmanları enerji verimliliğine uygun olarak işletilmelidir. Mekanik ve elektrik sistemlerinin optimize bir şekilde işletilmesi yakıt tüketimini azaltabilmektedir. Gemi üzerindeki güç talebini düşürücü önlemlerin alınması, yakıt tüketimini izleme ekipmanları ve bunun alakalı prosedürlerin izlenmesi enerji verimliliğinin artmasını sağlayacaktır. Gemilerdeki elektrik sistemlerinin incelenmesi enerji verimliliği için kayıp potansiyeli ortaya çıkarabilmektedir. Özellikle gemilerde kullanılan dizel elektrikli ve yardımcı güç üreten sistemlerin uyumlu operasyonları da yakıt tüketimi için çok önemlidir. Verimli bir güç yönetimi sistem performansını arttırmak için en iyi yoldur. Bu sistemleri düşük yüklerde çalıştırmak motor verimini kolayca % 10-15 oranında arttırabilir. Ayrıca düşük yükte çalışma türbinlerde kirlenme riskini arttırabileceği gibi ileriki dönemlerde yakıt tüketimi de artacaktır. Bunların dışında ısı yalıtımlarının sağlanması enerji verimliliği açısından önemli kazançları sağlayacaktır. Bu yöntemlerin uygulanmasıyla verimli bir güç yönetimi sistemi gemilerde yaklaşık % 5 oranında yakıt tasarrufu sağlamaktadır<sup>(8)</sup>.

#### 2.3.6. Soğutma Suyu Pompaları Ve Hız Kontrolü Uygulaması

Gemilerde kullanılan pompalar, operasyon esnasında büyük oranda enerji tüketirler.

Özellikle, ana makine soğutma suyu devrelerinde çok sayıda pompa bulunmaktadır. Soğutma sırasında, yakıtın elde edilen işe dönüştürülemez olarak dışarıya atılan bir ısı enerjisi söz konusudur. Bu kayıp enerji ile termal verim azalır. Pompaların değişken hızlarda çalıştırılması, operasyon için gerekli ihtiyaca göre optimize edilebilir. Pompalardan elde edilecek enerji tasarrufu sayesinde değişik gemi tiplerine göre genel enerji verimliliğinin ortalama %1 oranında arttığı görülmektedir<sup>(7,8)</sup>.

#### 2.3.7. Otomasyon Sistemler

Gemilere otomasyon kontrollü sistemlerin uygulanması yakıt tüketiminin ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltmak amacıyla bir platform üzerinde gemi üzerindeki tüm verileri entegre eden bir sistemdir<sup>(12)</sup>. Bu sistem içindeki verilere dayanılarak gemi sistemlerindeki verim ve performans açısından ileri düzeyde izleme ve kontrol imkanı sağlanmaktadır. Otomasyon sistemlerin uygulanması gemi sistemleri üzerinde optimum çalışma performansının yanı sıra yakıtın daha verimli yakılmasını da sağlayan sistemlerdir. Bir platform üzerinde otomatik olarak kontrol edilen sevk ve shaft sistemleri, ana makine sistemleri ve alarm sistemleri vasıtasıyla optimum bakım-tutum ve müdahale zamanları bir karar verme programına dayalı olarak ayarlanmakta bu sayede makine ve ekipmanlarının çalışma ömürleri arttırılabilmektedir. Bu yöntemin uygulanmasıyla, güç üreten sistemler herhangi bir operasyonel durumda pervane üzerinde oluşacak itme kuvveti için gerekli optimum güç dağılımını düzenlemektedir. Ana makinenin optimizasyonla kontrolü, enerji üretimi ve dağıtımının optimizasyonu, itici sistem kontrolü ve balast suyu optimizasyonlarının otomasyon sistemlerle kontrolü yaklaşık %10 oranında yakıt tasarrufu sağlayabilmektedir<sup>(8)</sup>.

#### 2.4. Operasyon ve Bakım-Tutum

Operasyonel ve bakım-tutum uygulamaları genel olarak; yakıt ve katkı maddelerinin neden olduğu kurumların temizlenmesi, hava koşullarına göre geliştirilmiş seyir planları oluşturma, optimize gemi trimi, gövde



ve pervane temizliği, seyir performans ölçütleri ve raporlama, operasyon süreleri, gemi hızının düşürülmesi, tekne yüzeyi kaplama gibi konuları içermektedir. Operasyonel uygulamalar genelde düşük yatırım maliyeti ve orta düzey işletme maliyeti gerektiren ve enerji verimliliğine büyük katkısı olan yöntemlerdir. Bu yöntemlerin uygulanması için, yönetim ve eğitim sistemi programlarının uygulanması gerekmektedir. Operasyonel ve bakım-tutum yöntemleri bütün gemiler için uygulanabilir ve kısa zamanda fark edilebilir sonuçlar vermektedir <sup>(14)</sup>.

#### 2.4.1. Yakıt ve Katkı Maddeleri

Turboşarjler ve egzoz kazanlarının temiz tutulması ana makine sistemlerinin verimliliğinin düşmesini engelleyen faktörlerdir. Bu sistemlerin temiz tutulması egzoz devrelerinde kurum oluşmasını minimize edebilmekte ve daha az yakıt tüketimi gerçekleştirmektedir. Bu etkileri oluşturan organik demir bazlı bir madde olan Ferrosen, senelerdir otomotive ve deniz sektöründe test edilmekte ve kullanılmaktadır. Bu bakım-tutum uygulaması gemilerde %2 oranında yakıt tasarrufu sağlamaktadır <sup>(8)</sup>.

#### 2.4.2. Limanlarda Operasyon Sürelerinin Düşürülmesi

Limanlar bölgelerinde gemilerin hızlı bir şekilde yanaşma ve ayrılma operasyonlarını gerçekleştirmesi, zaman açısından açık denizde seyirlerinde hızlarını düşürme olanağı sağlayabilir. Bu genellikle, tarifeli çalışan feribot ve konteyner tipi gemiler için yakıt tüketimi açısından avantaj sağlayabilir. Yanaşma ve ayrılma operasyonları zamanı, ancak gemilerin manevra kabiliyetlerinin artırılması veya yükleme/boşaltma operasyonlarındaki kargo akışının geliştirilmesinin sağlanması için gemi tasarımı, rampa sistemleri ve elleçleme ekipmanlarının geliştirilmeleri ile düşürülebilmektedir. Tipik bir feribotun limandaki operasyon zamanı 2 saat sürerse ve bu zamanı 10 dakika düşürmek %3, 20 dakika düşürmek %7 ve 30 dakika düşürmek %10 yakıt tasarrufu sağlamaktadır. Genel olarak gemilerin limanlardaki operasyon zamanla-

rının 30 dakika düşürülmesi % 10 oranında enerji verimliliğine katkı sağlamaktadır <sup>(8)</sup>.

#### 2.4.3. Pervane Yüzeyi Temizleme/Parlatma

Pervane yüzeyine düzenli olarak uygulanacak parlatma, organizmalar tarafından kirlenmeyi ve yüzey pürüzlülüğünü gidermek için gerekli olan çok önemli bir işlemdir. Pervane yüzeyi parlatma işlemi gemideki operasyon düzenini bozmadan dalğışlar tarafından yapılabilir. Kirlenmiş veya pürüzlü bir yüzeyle karşılaştırıldığında, parlatılmış bir pervane yüzeyi yaklaşık %10 enerji verimliliği sağlamakta ve yakıt tüketimini düşürmektedir <sup>(13)</sup>.

#### 2.4.4. Tekne Yüzeyi Kaplama

Gemilere uygulanan modern tekne kaplamalarla suya karşı olan sürtünme azaltılabilmektedir. Genellikle suya karşı dirençlerin % 50-80 lik bir kısmını sürtünme oluşturmaktadır. İyi tekne kaplama uygulamaları bu dirençlerin düşmesini sağlayabilir. Modern kaplama yöntemleriyle gemi teknesinde oluşabilecek kirlenmeler azaltılabilmiş, kuru havuzlama periyodu sonunda yüzeyin sertliği ayarlanarak eski tip kaplama boyalara oranla büyük kazanımlar elde edilmiştir. Böyle bir uygulama sonunda 48 aylık periyotta eski tip gövde kaplama yöntemleriyle karşılaştırıldığında; tankerlerde %9, konteynerlerde % 9, ro-ro larda % 5 ve feribotlarda % 3 oranında yakıt tasarrufu sağlanmaktadır <sup>(2)</sup>. Genel ifadeyle gemilerde modern gövde kaplama yöntemleri ortalama % 5 oranında bir enerji verimliliği sağlayabilmektedir <sup>(13)</sup>.

#### 2.4.5. Makine Operasyonlarında Yük Optimizasyonu

Gerçek çevrimlerde çoğu makine değişik yüklerde çalıştırılmaktadır. Genelde makinelerin ekonomik olarak çalıştırılmaları için maksimum yükün % 80-90 nında çalıştırıldıklarında yüksek verim elde edilir ve özgül giderleri düşer <sup>(10)</sup>. Örneğin gemilerde gerekli olan elektrik ihtiyacını karşılamak için bir dizel jeneratör tek başına, bazen de iki dizel jeneratör paralel olarak çalıştırılır. Böyle bir durumda tek bir jeneratör bütün yükü tek başına karşılayabiliyorsa, diğeri mutlaka dev-

reden çıkarılmalıdır. % 80 yüklü jeneratörün karşılayabileceği bir yük için iki dizel jeneratör yükü % 40'ar paylaşacak şekilde çalıştırılırsa yaklaşık % 30 daha fazla yakıt tüketimi meydana gelmektedir<sup>(10)</sup>. Ayrıca, makine sistemlerine uygulanabilir uyumlu çalışma düzenini sağlayacak ayarlamaların yapılması da ( tork ayarları, yakıt enjeksiyon zamanlaması, kam profilleri ), gemideki bütün operasyonel verimliliği arttırmaktadır. Bu uygulamaların %4 oranında yakıt tasarrufu sağladığı ve enerji verimliliğine katkısı olduğu görülmüştür<sup>(8)</sup>.

#### 2.4.6. Gemi Hızının Düşürülmesi

Sevir esnasında gemi hızının düşürülmesi enerji tüketimini azaltmak için etkili bir yoldur. Tahrik gücündeki düşme, suya karşı sürtünmenin azalması gibi faktörlerden dolayı yakıt tüketiminde önemli düşmeler görülebilmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki, düşük sevir hızlarında gemilerin kargo taşıma zamanları da düşecektir. Kargo taşıma zamanıyla, gemi hızının uygun optimizasyonu hem yakıt tasarrufu açısından hem de operasyonun verimi açısından iyi sonuçlar verebilmektedir. Genel olarak gemilerin hızları;

-0.5 knot düşürüldüğü zaman %7

-1.0 knot düşürüldüğü zaman %11

-2.0 knot düşürüldüğü zaman %17

-3.0 knot düşürüldüğü zaman %23 oranlarında enerji verimliliği açısından kazanım gerçekleşmektedir<sup>(8,11)</sup>.

#### 2.4.7. Seyir Planlama- Hava Koşulları

Gemilerde sevir planlaması yapılırken amaç en hızlı bir şekilde limana ulaşmanın yanısıra uzun mesafe yolculuklarda en kısa yoldan varılacak limana ulaşmak olmalıdır. Seyir planları yapılırken en uygun yöntem güncellenmiş hava raporlarını takip etmek, sevir yapılacak bölgede ki rüzgar, akıntı ve dalga koşullarına göre bir optimizasyon yapmak en uygunudur. Bu bilgiler güncellenmiş raporlar ışığında sevir verimliliğini arttıracaktır. Uygun sevir planlarıyla yaklaşık % 10 enerji verimliliği sağlanabilmektedir<sup>(13)</sup>.

#### 2.4.8. Gemi Trimi

Optimum trim genellikle aynı draft ve hız

koşullarında kötü trimden en fazla %15- 20 oranında düşük olabilir. Optimum trimde gövde formu genellikle hız ve drafta bağlıdır. Ancak uzun zaman diliminde değişik koşullar altında uygun güç uygulamaları her draft ve hız durumunda optimum trimi bulmayı mümkün kılabilir. Mümkünse uygun trim koşulları yük ve tank konumlarının tekrar düzenlenmesi ile sağlanmalıdır. Optimum trim geminin ihtiyacı olan gücü düşürebilmektedir. Genel olarak gemilere uygulana bu yöntemle % 5 oranında enerji verimliliği sağlanabilmektedir<sup>(8)</sup>.

#### 2.4.9. Otopilot Ayarları

Enerji verimliliğinin sağlanabilmesi, seyir edilecek yolun en kısa zamanda kat edilebilmesi yolun en dik şekilde veya rotayı tam izlemek ile mümkündür. Serdümen kullanılarak yapılan seyirde serdümenin tecrübesi, gece ve gündüz farklılığı, hava şartları, yorgunluk ve benzeri etkiler dümen kullanmayı da birbirinden farklı hale getirir. Otopilotun geminin rota tutma yeteneği üzerinde büyük etkisi vardır. Bugün en iyi otopilot sistemleri kendini ayarlayabilen sistemlerdir. Hava şartları ve geminin durumuna göre ayarları iyi yapılmış oto pilot daha düzgün dümen tutarak rotanın en doğru şekilde takip edilmesini sağlar. Uygun rota için doğru oto pilot parametrelerini bulmak dümen kullanımını azaltacağı gibi geminin sürüklenme riskini de düşürmektedir. Dümen kullanımının azaltılması ve doğru parametrelerin bulunması gemilerde enerji verimini % 4 oranında arttırmaktadır<sup>(10,13)</sup>.

#### 2.4.11. Planlı Bakım Tutum

Planlı bakım, gemi makine ve sistemlerinin üretici firmalar tarafından belirlenmiş periyotlarda yapılan kontrollerdir. Herhangi bir arızanın oluşmasına bakılmaksızın, makine ve sistemler kontrol edilerek ölçümler yapılır. Makinede yapılan bakımlarda toleransları aşan parçalar yenileriyle değiştirilir. Sökülen bölüme ait ölçümlerde bulunan değerlere göre yeni ayarlamalar yapılır. Böylelikle makine sistemlerde meydana gelebilecek arızaların önüne geçilirken, bu sistemlerin enerji verimliliği de artırılmış olur<sup>(10)</sup>. Bu

yöntemin temel faydaları; daha düşük yakıt tüketimi, daha düşük emisyon, periyodik bakımlar arası sürelerin uzaması ve yüksek güvenilirlik olarak sıralanmaktadır. Planlı bakım-tutum operasyonları, optimum makine performansı sağlayarak yakıt tüketimini ortalama % 5 oranında düşürmektedir<sup>(8)</sup>.

#### 2.4.12. Gemi Tekne Temizliği

Tekne yüzeyinin sakal tutması, geminin direncini artırmaktadır. Sık sık yapılan tekne temizliği ile birlikte sürtünme azaltılabilir ve toplam yakıt tüketimi minimize edilebilir. Tekne temizliğinin gemi tiplerine göre yakıt tüketimine etkisi;

- Tankerlerde %3
- Konteynerlarda %2
- Ro-ro da %2
- Feribotlarda %2 olduğu görülmektedir.

Ortalama olarak tekne temizliğinin enerji verimliliğine katkısı % 3 oranı olarak ifade edilebilir<sup>(13)</sup>. Şekil 7 de gemi gövdesinin sakal tutmuş bir fotoğrafı gösterilmektedir.



Şekil 7 Sakal yapmış bir gövde resmi<sup>(8)</sup>

### 3. Gemi Tiplerine Göre Uygulanabilir CO<sub>2</sub> Gazı Emisyonlarını Düşürme Yöntemleri ve Emisyon Düşürme Oranlarının Karşılaştırılması

Yukarıda açıklanan yöntemler genel olarak tüm gemilere uygulanabilir yöntemleri içermektedir. Bu yöntemler dışında gemi tipine göre farklı enerji verimliliğini artırıcı ve bununla beraber CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı farklı uygulamalarda mevcuttur. Tablo 1’ de gemilerde enerji verimliliğini arttıran bütün uygulamaların ve bu uygulamaların CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltma oranları karşılaştırıl-

mıştır<sup>(7,8,13)</sup>.

### 4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada gemilerde enerji verimliliğini arttırmak için IMO’nun da belirlediği uygulanabilir yöntemler ve bu yöntemlerin CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarını azaltıcı etkileri analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda uygulanabilir her yöntemin her gemi tipine göre uygun olmadığı tespit edilmiştir. Bu yöntemlerden bazıları gemilere ilave donanımlar olarak uygulanmaktadır. Bazı gemilerde enerji verimliliğini sağlamak için bazı yapısal değişikliklere gidilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda bu tip gemilere uygulanacak yöntemler için bazı yatırım maliyetleri ortaya çıkmaktadır. Ayrıca, her gemi tipine uygulanabilir bir yöntem yakıt tüketimi ve CO<sub>2</sub> gazı emisyonları açısından aynı oranda etkiyi göstermediği belirlenmiştir. Uygulama için seçilecek yöntemler belirlenirken geminin tipinin yanı sıra gemi yaşı da göz önünde bulundurulmak zorundadır. Tablo 1’de verilen CO<sub>2</sub> azaltma değerleri gemi tipine göre belli aralık değerleri olarak düzenlenmiştir. Örneğin; gemilerde enerji verimliliğini arttırmak için uygulanan operasyon ve bakım-tutum yöntemlerinden gemilerde yapılan tekne yüzeyi temizliğinin tankerlerde %3 oranında yakıt tasarrufu sağladığı ve buna bağlı olarak CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarını %3 oranında azalttığı görülmektedir. Oysa bu oran konteyner tipi gemilerde %2, Ro-Ro’larda %2 ve feribotlarda %2 oranında gerçekleşmektedir. Tablo 1’de karşılaştırılan yöntemler incelendiğinde; rüzgar kuvvetinin gemilerde bir rotor aracılığıyla tahrik gücüne etkilerinin diğer yöntemlere göre enerji verimliliği ve CO<sub>2</sub> salınımları açısından en faydalı yöntem olduğu görülmektedir. Fakat bu yöntemin sadece tanker ve Ro-ro tipi gemilere uygulanabilir olduğu görülmektedir. Yine rüzgar enerjisinin gemilerde yelken ve paraşüt uygulamaları her gemi tipine uygulanabilir olmaktadır ve bu yöntemin % 20 oranında enerji verimliliğine etkisi olduğu görülmektedir. Gemi hızını düşürmek en uygulanabilir yöntem olarak gö-

**Tablo 1** Gemi tiplerine göre CO<sub>2</sub> emisyonlarını azaltıcı uygulamaların karşılaştırılması

Uygulanabilir Yöntem	Tanker	Konteyner	Ro-ro	Feribot	CO <sub>2</sub> azaltma oranı (%)
Gemi boyutunun büyütülmesi	✓	✓	✓	✓	4-10
Balast azaltmak	✓	✓	✓	✓	7-10
Hafif yapıli gemilerin insası	✓	✓	✓	✓	5-9
Gemi ana boyutlarının optimizasyonu	✓	✓	✓	✓	9-10
Trim önleme kanatları	-	-	✓	✓	4
Gemi kıçkapağı uzatılması	-	✓	✓	✓	3-7
Şaft hattı ayarlama	-	✓	✓	✓	2
Skeg şekli ve gemi kıç tarafı	✓	✓	✓	✓	2
Pervane boşluklarından oluşan direncin	✓	✓	✓	✓	5
Gövde altının hava kabarcıkları ile	✓	✓	✓	✓	3.5-15
Kıç itici tasarımı	-	-	✓	✓	8-10
CRP sistemi	✓	✓	✓	✓	10-15
Pervane-gövde etkileşimi	✓	✓	✓	✓	4
Pervane-dümen kombinasyonları	✓	✓	✓	-	4
Geliştirilmiş pervane kanatları	✓	✓	✓	✓	2
Pervane ucu kanatçıkları	✓	✓	-	-	4
Pervane nozulu	✓	-	-	✓	5
Sabit ve değişken hızlı operasyon	-	✓	✓	✓	5
Rüzgar enerjisi	✓	✓	✓	✓	8.5-21
Rüzgar gücü ve fletner	✓	-	✓	-	30
Pervane verimlilik	✓	✓	✓	✓	2-4
Hibrit sistemler	✓	✓	✓	✓	30
Elektrikli dizel motor	-	-	✓	✓	20-30
CODED makine	-	-	-	✓	4
Elektrik devreleri kavıp	-	-	✓	✓	2
Değişken hızda elektrik	-	-	-	✓	5-10
Yakıt tipi (LNG)	✓	✓	✓	✓	4-20
Atık ısıdan geri	✓	✓	✓	✓	10-20
Common rail (ortak hat)	✓	✓	✓	✓	1
Enerji tasarruflu aydınlatma	-	-	-	✓	1
Güç yönetimi	-	-	-	✓	5-10

Güneş Enerjisi	✓	-	✓	✓	4
Soğutma suyu pompaları ve hız	✓	✓	✓	✓	1
Otomasyon sistemler	✓	✓	✓	✓	5-10
İleri güç yönetimi	-	-	-	✓	5
Yakıt ve katkı maddeleri	✓	✓	✓	✓	2
Limanlarda operasyon sürelerinin düşürülmesi	✓	✓	✓	✓	10
Pervane yüzeyi temizleme-parlatma	✓	✓	✓	✓	10
Tekne yüzey kaplama	✓	✓	✓	✓	3-9
Makine operasyonlarında yük	✓	✓	✓	✓	4
Hız azaltma (3.0 knot)	✓	✓	✓	✓	23
Seyir planlama	✓	✓	✓	✓	,10
Gemi trimi	✓	✓	✓	✓	5
Oto pilot ayarları	✓	✓	✓	✓	4
Enerji verimliliği sağlama farkındalığı	✓	✓	✓	✓	10
Koşul bazlı bakım-tutum	✓	✓	✓	✓	5
Tekne altı temizliği	✓	✓	✓	✓	2-3

rülmektedir ve herhangi bir yatırım maliyeti gerektirmemektedir. Yaklaşık günlük seyir hızının 3.0 knot/saat düşürülmesi % 23 oranında CO<sub>2</sub> gazı emisyonlarını azaltabilmektedir. Fakat gemi hızının düşürülmesi yüklerin taşınmasında seyir sürelerini arttıracak ve bu durumda enerji verimliliği sağlanırken seyir maliyetleri artacaktır. Dolayısıyla uygun seyir planları ve güç yönetim sistemleri uygulamalarının geliştirilmesinin bir miktar maliyetleri düşürdüğü görülmektedir. Operasyonel uygulamaların dışında denizcilik şirketlerinde insan kaynakları departmanı ile şirketin gemilerinde yakıt tasarrufuna dayalı bir ödül ve prim sistemi geliştirilmesi, enerji verimliliği kültürü oluşturacaktır. Bu basit sistemin geliştirilmesiyle şirketin sahip olduğu filo içerisinde birimler arasında bir rekabet meydana gelecektir. Mürettebat için iyi bir eğitim ve değerlendirme yönetim sisteminin oluşturulmasıyla enerji verimliliği artacak ve yakıt tasarrufu sağlanacaktır.

İleride yapılacak çalışmalarda, IMO'nun belirlediği 2015, 2020, 2025 ve 2030 CO<sub>2</sub> gazı

emisyon salınım miktarı hedeflerine paralel olarak enerji verimliliği sağlayacak uygulamalar için fayda-maliyet açısından matematiksel modeller geliştirilmesi planlanmaktadır. İster gemi inşa aşamasında yapılması gereken tasarımlar olsun ister operasyon ve bakım-tutum esnasında takip edilmesi gereken yöntemlerin olsun, bu faaliyetlerin şirket üzerine bazı mali yükler getireceği aşikardır. Bu hususta, IMO'nun belirlediği hedefler dahilinde gemi tipine göre uygulanabilir minimum maliyet getirecek yöntemlerin belirlenmesi konusunda analizlerin yapılması planlanmaktadır.

## 5. Kaynakça

- (1) Papers in Australian Maritime Affairs, "The Strategic Importance of Seaborne Trade and Shipping", Australia, 2002.
- (2) Wartsila, "Energy and environmental efficient sea transport", Aug 2009.
- (3) Buhaug, Q., J.J., Endresen, Q., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D. S., Linstad, H., Markowska, Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Palsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W. Q. And Yoshida, K., "Second



- IMO GHG study”, International Maritime Organization (IMO), 2009.
- (4) Endresen, Q., Dalrosen, S., Eide, M., Isaksen, I.S. and Sorgard, E., “The environmental impacts of increased international maritime shipping, past trends and future perspectives”, OECD/ITF Global Forum on Transport and Environment in a Globalising World, 2010.
- (5) Dalrosen, S., Eide, M., Endresen, Q., Mjelde, A., Gravir, G. And Isaksen, I.S.A., “Update on emissions and environmental impacts from the international fleet: The contribution from major ship types and ports”, Atmospheric Chemistry and Physics, 9, 2171-2194.
- (6) www.shippingandco2org
- (7) ABS, “Ship Efficiency Measures” 2012.
- (8) Wartsila, “Boosting energy efficiency”, Sep 2008.
- (9) Türk Loydu, “Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planının (SEEMP) Geliştirilmesine Yönelik 2012 Kılavuzları” Mart, 2012.
- (10) Deniz, C. “Gemi makinelerinde Enerji Ekonomisi” İstanbul Üniversitesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Şubat, 2000.
- (11) Why LNG as a Ship Fuel ?, www.gl-group.com
- (12) Wartsila, Automation, 2012.
- (13) Balland, O., Erikstad, S.O., Fagerholt, K., “Optimised selection of air emission controls for vessels” Maritime Policy and Management: The flagship journal of international shipping and port research, 2012.
- (14) Eide, M.S., Longva, T., Hoffmann, P., Endresen, O., Dalsoren, S.T., “Future Cost Scenarios for reduction of Ship CO<sub>2</sub> Emissions”, Maritime Policy and Management: Routledge Taylor and Francis Group, January, 2011.