

Gemi Teknolojisinde Alternatif Enerji Sistemlerinin Kullanım Potansiyelinin İncelenmesi

Kenan Yiğit

kyigit@yildiz.edu.tr

Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

ÖZET

Gemiler, küresel ticaretin yaklaşık %80'ini gerçekleştirmektedir. Bu oran, denizcilik sektörünün dünya ticaretinde önemli bir paya sahip olduğunun en önemli göstergesidir. Ticaret hacminin artması ile yeni gemiler sisteme dâhil edilecek, daha fazla yakıt tüketilecek ve daha fazla emisyon yayılacaktır. Bu nedenle, Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerden kaynaklı olumsuz etkileri azaltmak ve enerji tasarruf potansiyellerini ortaya çıkarmak amacıyla enerji verimliliği faaliyetlerine dikkat çekmekte ve sektörü bu konuda teşvik etmektedir.

Bu çalışmada, yakıt tüketimini azaltmak ve egzoz gazı emisyonlarını minimum seviyeye indirmek için gemilerde güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıydan enerji temini gibi alternatif enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Gemi teknolojisinde alternatif enerji sistemlerinin kullanımına yönelik güncel bilgiler verilmiştir. Ayrıca, yeni nesil gemi tasarımlarına ve projelere değinilerek denizcilik sektörü temsilcilerinin gelecek öngörülerine katkı sunulması amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gemi, elektrik enerjisi, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, kıydan enerji temini.

Makale geçmişi: Geliş 09/08/2018 – Kabul 14/12/2018

An Examination of the Potential Usage of Alternative Energy Systems in Ship Technology

Kenan Yiğit

kyigit@yildiz.edu.tr

Faculty of Naval Architecture and Maritime, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey

ABSTRACT

Around 90% of global trade is carried through the international shipping industry. This rate is the most important indication that the maritime sector has an important share in the world trade. With the increase in trade volume, new ships will be included in the system, more fuel will be consumed and more emissions will be released. For this reason, the International Maritime Organization (IMO) draws attention to the energy efficiency activities on the ships in order to reduce their adverse effects, identifying the energy saving potentials and encourages the sector in this regard.

In this study, the use of renewable energy sources such as solar and wind energy systems and the use of alternative energy sources such as shore-side power application on the ships have been examined to reduce marine fuel consumption and minimize exhaust gas emissions. Current informations about the use of alternative energy systems in the ship technology have been given. Moreover, it is aimed to contribute to the future predictions of the maritime sector representatives by mentioning the new generation ship designs and projects.

Keywords: Ship, electrical energy, solar energy, wind energy, shore-side power supply.

Article history: Received 09/08/2018 – Accepted 14/12/2018

1. Giriş

Gemi ve deniz teknolojisinin son 150 yıllık gelişimine bakıldığında, gemi güç sistemlerinde büyük değişimler yaşandığı görülmektedir. Rüzgâr enerjisinden faydalanılarak tasarlanan yelkenli gemi sistemleri sonrasında kömür yakıtının yanması sonucu elde edilen buhar gücü ile tahrik edilmiştir. Daha sonra ise Heavy Fuel Oil (HFO) ve Marine Diesel Oil (MDO) gibi petrol ürünleri kullanılarak gemilerin günümüzdeki faaliyetlerini gerçekleştirmesi sağlanmıştır (Mofor vd., 2015).

İstatiksel verilere bakıldığında, gemilerde petrol kaynaklı yakıtların kullanılması sebebi ile gemilerin küresel Karbon Dioksit (CO₂) salınımının %3'üne, Nitrojen Oksit (NO_x) salınımının %15'ine ve Sülfür Dioksit (SO₂) salınımının ise %6'sına neden olduğu ortaya çıkmıştır (Samosir vd., 2017). Bu sebeple,

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gemilerden kaynaklı çevresel etkilerin en aza indirilmesi için bir dizi tedbirler almıştır. Enerji Verimliliği Dizayn İndeksi (EEDI) ile yeni gemilerde CO₂ salınımının kontrol altına alınması hedeflenmiştir. Gemi Enerji Verimliliği Yönetim Planı (SEEMP) ile tüm gemilerde operasyonel verimliliğin sağlanması amaçlanmıştır. Denizlerin Gemilerden Kirlenmesini Önleme Uluslararası Sözleşmesi (MARPOL) Ek-VI'ncı Maddesi Kural 13 ve Kural 14 ile gemilerden kaynaklı NO_x, SO_x ve PM emisyonlarının sınırlandırılması planlanmıştır. MARPOL Ek-VI'ya göre geminin dizel makine kapasitesine ve inşa yılına bağlı olarak NO_x emisyonu yayma kriterleri belirlenmiştir. Ayrıca, gemi yakıtlarında izin verilen maksimum sülfür oranının 2020 yılına kadar %3,5'ten %0,5'e çekilmesi kararlaştırılmıştır (Yiğit ve Acarkan, 2018). Ayrıca, MARPOL Ek-VI kapsamında Baltık Denizi, Kuzey Denizi, Birleşmiş Devletler Karayip Denizi ve Kuzey Amerika alanlarını kapsayan bölgelerin belirli kısımları Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak tanımlanmıştır. Belirlenen alanlarda faaliyet gösteren gemilerin 2015 yılı itibarıyla sülfür oranı %0,1'i geçemeyen deniz yakıtı kullanması gerektiği belirtilmiştir (Chen vd., 2018).

Denizcilik sektörü temsilcileri ve araştırmacılar, uluslararası sözleşmelerin getirdiği yükümlülükleri yerine getirmek, artan çevresel duyarlılığa karşı daha temiz enerji kaynaklarına yönelmek ve yükselen enerji maliyetlerinden dolayı daha ucuz enerji kaynaklarını kullanmak için gemilerde alternatif enerji sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar yapmaya başlamışlardır. Araştırmacılar, elektrik enerjisinin kullanımında verimliliği artırmak için özellikle güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve kıydan enerji temini gibi alternatif enerji sistemlerinin gemilerde kullanımına odaklanmışlardır. Literatürdeki bazı çalışmalar incelendiğinde, gemilerde alternatif enerji sistemlerinin uygulanmasına yönelik çalışmaların teknik, çevresel ve ekonomik açıdan ele alındığı görülmektedir. Zhangtang (2009) gemilerde rüzgâr türbini uygulamasına yönelik gereksinimler üzerine incelemeler yapmıştır. Bøckmann ve Steen (2011) 150 m uzunluğundaki bir tanker gemisinin tahriki için optimum rüzgâr türbini tasarımı üzerine çalışmışlardır. Çalışmalarında, optimize edilmiş bıçak tasarımının, gemide aynı rotor çapına sahip ticari bir rüzgâr türbini ile elde edilene göre, 10 knotta belirli bir rotayı seyrederken, geminin daha yüksek bir yakıt tasarrufu sağladığı sonucuna ulaşmışlardır. Lee ve diğerleri (2013) Güney Kore'nin Geoje Adası'nda tasarlanan yeşil gemi prototipini deneysel olarak incelemişlerdir. Güneş enerjisi, dizel ve batarya hibrit sistemi ile çalışan gemide çevresel ve ekonomik analiz gerçekleştirerek, önemli tasarruf oranlarının ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Nuttall ve diğerleri (2014) özellikle petrol krizlerinden sonraki süreçlerde gemilerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik girişimlerin daha çok ön plana çıktığını vurgulamışlardır. Araştırmalarında, çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının gemilerde kullanılabileceğini ve büyük faydalar sağlayacağını belirtmişlerdir. Diab ve diğerleri (2016) Çin'de gerçekleştirilen tanker gemilerinde güneş enerjisi uygulaması projesini temel alarak güneş enerjisi, dizel ve batarya hibrit güç sistemi üzerine incelemeler yapmışlardır. Proje kapsamında gemideki hibrit sistemin 300 kW kapasiteli fotovoltaik (FV) panel, 2000 kW gücündeki dizel jeneratör ve 10 adet bataryadan oluşacağı belirtilmiştir. 25 yıl sonunda toplamda sera gazı emisyonun 9.735.632,5 kg azaltılacağı ve 2.010.475 litre yakıt tasarrufu sağlanacağını hesaplamışlardır. Wen ve diğerleri (2017) güneş enerjisi, enerji depolama sistemi ve jeneratör gurubundan oluşan hibrit enerjili bir gemi modelinin kötü hava koşullarında güneş enerjisinden ve depolama ünitelerinden maksimum şekilde faydalanacağı matematiksel bir modeli Fourier analizi ile gerçekleştirilmişlerdir. Liu ve diğerleri (2017) güneş enerjisi, enerji depolama sistemi ve jeneratör gurubundan oluşan hibrit enerjili bir gemi için deniz koşulları dikkate alınarak güneş enerji sisteminden elektrik üretimi için matematiksel bir model oluşturmuşlardır. Bu model ile farklı senaryolar belirleyerek güneş enerjisinden elde edilecek elektrik enerjisi parametrelerini incelemişlerdir. Çıkış gücü kalitesini artırmak için ise enerji depolama sistemi tasarımı önermişlerdir. Yu ve diğerleri (2017) konteyner ve cruise gemilerinin elektrik enerjisi ihtiyacının ulusal şebekeden karşılanması için ulusal şebekeye entegre edilmiş ve yenilenebilir enerji

kaynaklarından oluşan bir mikro şebeke tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Önerilen mikro şebeke sistemi ile güneş ve rüzgâr enerji sistemlerinin yeterli kapasitede kullanımı ile kendi kendine yeten bir liman tasarımı amaçlamışlardır. Innes ve Monios (2018) İskoçya'nın Aberdeen şehrindeki küçük ve orta ölçekli limanlarda kıydan enerji temini uygulaması için fizibilite çalışması yapmışlardır. Bu bölgede bulunan gemilerin kıydan enerji temini ile elektrik enerjisi ihtiyacını karşılaması durumunda yıllık 4767 ton CO₂, 108 ton NO_x ve 2,7 ton PM emisyonu salımında azalma olacağı hesaplanmıştır. Kumar ve diğerleri (2019) kıydan enerji temini uygulamasında liman tarafı elektrik sisteminin tasarlanması, mevcut standartlar ve temel gereksinimler üzerine incelemeler yapmışlardır.

Bu çalışmada ise gemilerde güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi ve kıydan enerji temini gibi alternatif enerji sistemlerinin kullanımına yönelik çalışmalar incelenmiştir. Özellikle, ticari faaliyetlerini sürdüren ve alternatif enerji sistemlerine sahip gemiler ile ilgili örnek uygulamalar sunulmuştur. Ayrıca, yeni nesil gemi tasarımlarına yönelik projeler hakkında bilgi vererek denizcilik sektöründeki gelişmelere dikkat çekilmiştir.

2. Gemilerde Alternatif Enerji Uygulamaları

2.1 Yenilenebilir enerji sistemleri uygulaması

Güneş enerjisinden elektrik üretimi FV panel ile rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi ise rüzgâr türbini ile gerçekleştirilmektedir. Günümüzde, düşük güç ihtiyacına sahip gemilerde bu tür yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına rastlanmakla beraber, artık ticari faaliyette bulunan gemilerde de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı görülmektedir.

OCIUS isimli Avustralya firması tarafından ticari amaçlı yapılan "SolarSailor" isimli feribot tipi gemi bu kapsamda yapılmış ilk uygulamalardan biridir.



Şekil 1. "SolarSailor" gemisi güneş ve rüzgâr enerjisi uygulaması.

Gemi güneş, rüzgâr, batarya ve LPG ile çalışabilen hibrit bir yapıya sahiptir. Geminin enerji ihtiyacı öncelikli olarak güneş, rüzgâr ve batarya sistemi ile karşılanmaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının yeterli olmaması durumunda ise gemide LPG yakıt sistemi devreye girmektedir. 21 m uzunluğundaki gemi, Sidney Limanı için 100 kişilik turizm eğlence feribotu olarak 2000 yılında bir yıl gibi kısa bir sürede inşa edilmiştir. Geminin %35 oranında yakıt ve %50 oranında emisyon salımı azaltma potansiyeli bulunmaktadır. Mevcut tasarımı sayesinde 2001 yılında "Yılın Avustralya Tasarım Ödülü"nü kazanmıştır. Ticari olarak işletilen gemi ile 10 yıldan fazla sürede on binlerce yolcu taşınmıştır (IntMath, 2018; OCIUS, 2018; Sustainablefreight, 2018; Windvinder, 2018). Gemi, kısa mesafeli yolcu

taşımacılığının yoğun olduğu bölgelerde hibrit enerjili deniz taşıtlarının etkin bir şekilde kullanılabileceğini gösteren güzel bir örnektir. Bu konseptte sahip deniz taşıtlarının denizyolu taşımacılığına dâhil edilmesi ile beraber, gemilerden kaynaklı yakıt tüketimi ve emisyon salınımı oranlarında önemli bir azalma sağlanacak ve kıyı bölgelerinde çevresel kirlilik azalacaktır.

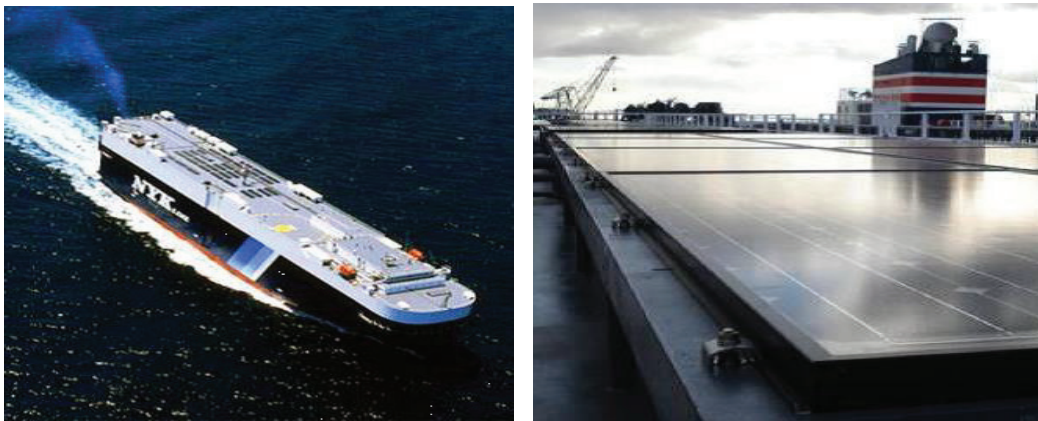
2008 yılında petrol fiyatındaki artış nedeniyle yenilenebilir enerji sistemlerine sahip gemi konseptlerine ilgi daha da artmıştır. Bu durumun bir sonucu olarak, Hong Kong Jokey Kulübü OCIUS firmasına ticari faaliyetlerinde kullanmak üzere 4 adet güneş enerji sistemine sahip feribot siparişi vermiştir.



Şekil 2. “Solar Golf” (Sol) ve “Solar Albatross” (Sağ) gemisi güneş enerjisi uygulaması.

Hong Kong Jokey Kulübü için yapılan Solar Golf, Solar Birdie, Solar Eagle ve Solar Albatross isimli teknelerin, mevcut feribotlara göre yakıt tüketiminde %50'ye yakın bir tasarruf sağlayacağı ve yıllık işletme maliyetlerini yaklaşık 2,5 milyon Hong Kong Doları düşüreceği belirtilmiştir (RINA, 2018; HKJC, 2018; Shipspotting, 2018).

“M/V Auriga Leader” isimli kargo gemisi ise güneş enerjisi uygulaması ile dikkatleri üzerine çekmeyi başarmıştır.

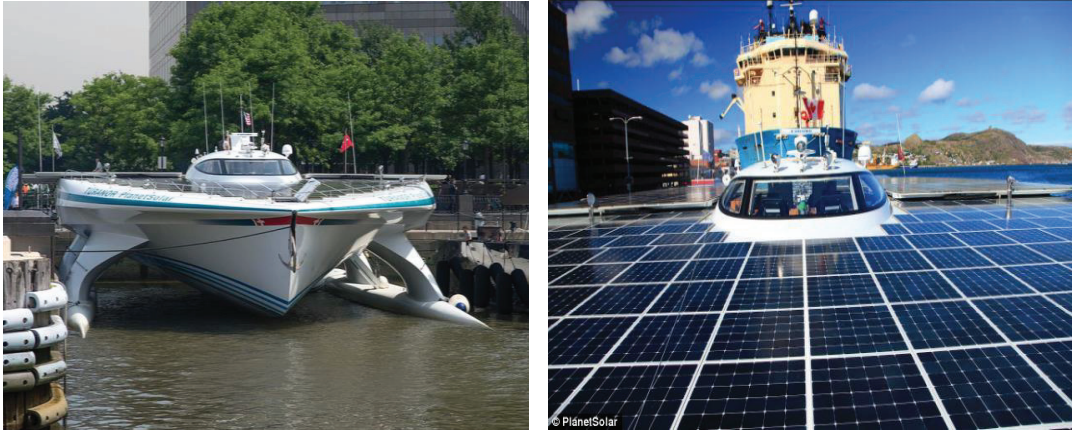


Şekil 3. “M/V Auriga Leader” gemisi güneş enerjisi uygulaması.

2008 yılında inşa edilen, yaklaşık 200 m uzunluğa, 32 m genişliğe ve 60213 groston hacme sahip gemi kısmen güneş enerjisi ile tahrik edilen ilk kargo gemisi unvanını almıştır. Gemiye monte edilen 328 adet FV panel ile yaklaşık 40 kW'lık kurulu güç kapasitesi sağlanmıştır. FV sistemin toplam maliyeti ise 1,68 Milyon Dolar olarak gerçekleşmiştir. Güneş enerjisi sistemi ile gemideki elektrik enerjisi ihtiyacının yaklaşık %10'unu karşılanabilmektedir. Ayrıca, FV panel uygulaması ile jeneratörler için harcanan yakıttan %0,5 ile 2 arasında bir tasarruf sağlandığı tahmin edilmektedir. Yıllık olarak yakıt tüketiminden

yaklaşık 13 ton ve CO₂ emisyonundan 40 ton'luk bir azalma sağlandığı bildirilmiştir. 6400 adet otomobil taşıma kapasitesine sahip gemi ticari faaliyetlerine devam etmektedir (Businessgreen, 2018; gCaptain, 2018; GloMEEP, 2018; NYK, 2018). "M/V Auriga Leader" gemisi kargo taşımacılığı yapan deniz taşıtlarının da geleneksel gemi güç sistemlerine ek olarak alternatif enerji kaynaklarını kullanabileceğini ve ticari faaliyetlerini devam ettirebileceğini göstermesi bakımından önemli bir örnektir

"M/S Tûranor PlanetSolar" isimli tekne ise sadece FV panel uygulaması ile çalışan ve dünyayı turlayan ilk deniz taşıtı olma özelliğine sahiptir.



Şekil 4. "M/S Tûranor PlanetSolar" gemisi güneş enerjisi uygulaması.

30 m uzunluğunda ve 16 m genişliğindeki teknenin 512 m²lik alanı 809 adet FV panel ile kaplanmıştır. FV paneller toplamda 93 kW kurulu güce sahiptir. Üretilen fazla enerji tekne gövdesine yerleştirilen lityum-iyon bataryalarda depolanmaktadır. Bu proje, gemilerde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına yönelik sektörü heyecandıran önemli adımlardan biri olmuştur. 2010 yılında Almanya'daki Knierim tersanesinde yapımı tamamlanan teknenin yaklaşık maliyeti 12,5 Milyon Euro'dur. Tekne maksimum 14 knot hıza ulaşabilmekte ve 50 yolcu taşıyabilmektedir (Dailymail, 2018; The Verge, 2018; WEB, 2018). Bu konsept, deniz taşıtlarının gelecekte sıfır yakıt ve sıfır emisyon ile işletilebileceğini gösteren dikkate değer bir çalışmadır. Geminin ilk yatırım maliyetinin azaltılması, kullanım alanının genişletilmesi ve taşıma kapasitesinin artırılması yönünde yapılacak akademik ve sektörel çalışmalar ile gemi ve deniz teknolojisinde önemli ilerlemeler sağlanacaktır.

"Revelation II" isimli katamaran tipi tekne ise sıra dışı bir tasarıma sahiptir.

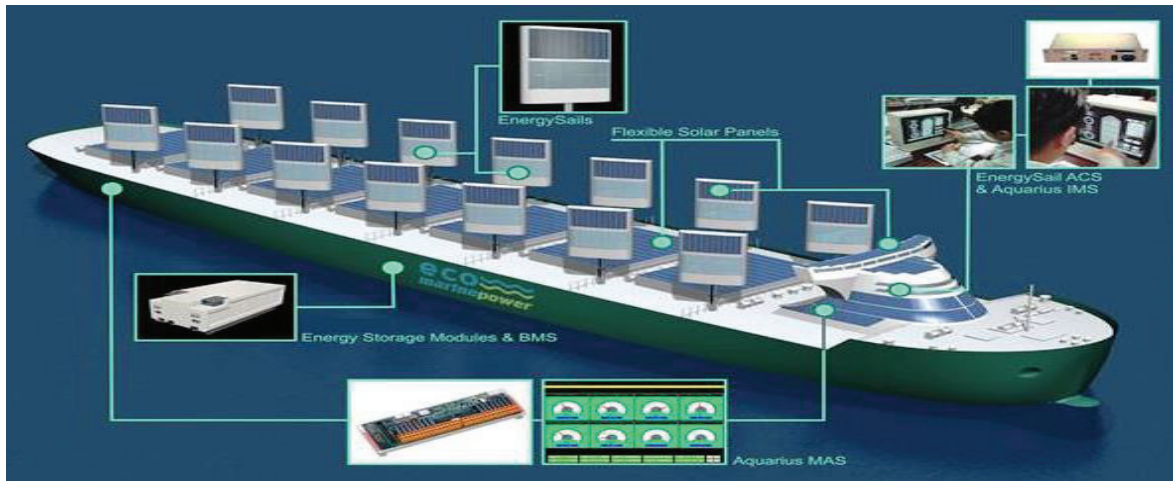


Şekil 5. "Revelation II" gemisi rüzgâr enerjisi uygulaması.

İngiltere’de üretilen 10,97 m uzunluğundaki teknenin maliyeti 300.000 Sterlidir. Tekneye alışılmışın dışında yatay eksenli bir rüzgâr türbini monte edilmiştir. Rüzgâr türbini ile 110 kW’a kadar güç üretebilmekte ve bu güç tahrik sistemine aktarılabilir. Deneysel ve yenilikçi bir anlayışla yola çıkan yetkililer, tasarımın insanlar tarafından çok farklı bulunmasına rağmen olumlu dönüşler aldıklarını belirtmişlerdir (BBC, 2018; Bluebird, 2018; Shipspotting, 2018a). Gemilerde rüzgâr türbini kullanımına bakıldığında dikey eksenli rüzgâr türbini tiplerinin daha çok tercih edildiği görülmektedir. Fakat bu tekne de kullanılan yatay eksenli rüzgâr türbini ile deniz taşıtlarında farklı tipteki rüzgâr türbini sistemlerinin de kullanılabilceği gösterilmiştir.

Günümüzde, mevcut alternatif enerji sistemlerine sahip gemi uygulamalarının yanı sıra proje aşamasında olup tamamlandığında gemi ve deniz teknolojisinin gelişmesine katkı sunacak çalışmalar da bulunmaktadır.

Eco Marine Power şirketi tarafından yürütülen “Aquarius Eco Ship” isimli gemi projesi yenilenebilir enerji kaynakları ile donatılmış çevre dostu gemi projesidir.



Şekil 6. “Aquarius Eco Ship” gemisi alternatif enerji uygulama projesi.

2011 yılında başlanan proje kapsamında elde edilecek bilgi ve birikim ile tüm ticari gemilere alternatif enerji sistemlerinin uygulanması hedeflenmektedir. Yük taşımacılığı için tasarlanan 240 m uzunluğunda 45 m genişliğindeki geminin güç sistemi hibrit bir yapıya sahiptir. Rüzgâr enerjisi sistemi ile gemi hareketine katkı sağlanırken, güneş enerjisi sistemi ile de gemideki güç ihtiyacının karşılanması ve jeneratörlerin limanda iken hiç kullanılmaması hedeflenmektedir. Gemide kullanılacak FV panel gücü 1 MW kapasitesine sahip olacak ve üretilen fazla enerji depolanacaktır. Gemide uygulanacak teknoloji ile %40 oranında yakıt tasarrufunun sağlanması ve dolaylı olarak CO₂, NO_x ve SO₂ emisyonlarında önemli bir azalmanın meydana gelmesi hedeflenmektedir. Geminin maksimum 16 knot hıza çıkacağı öngörülmektedir (Ecomarinepower, 2018). Bu projenin tamamlanması ve faaliyetlerini başarılı bir şekilde gerçekleştirmesi durumunda yük taşımacılığında kullanılan deniz taşıtlarının alternatif enerji kaynaklarını kullanarak ticari faaliyetlerini sürdürebileceği kanıtlanmış olacak ve gemi inşa sektörüne önemli katkılar sunulacaktır.

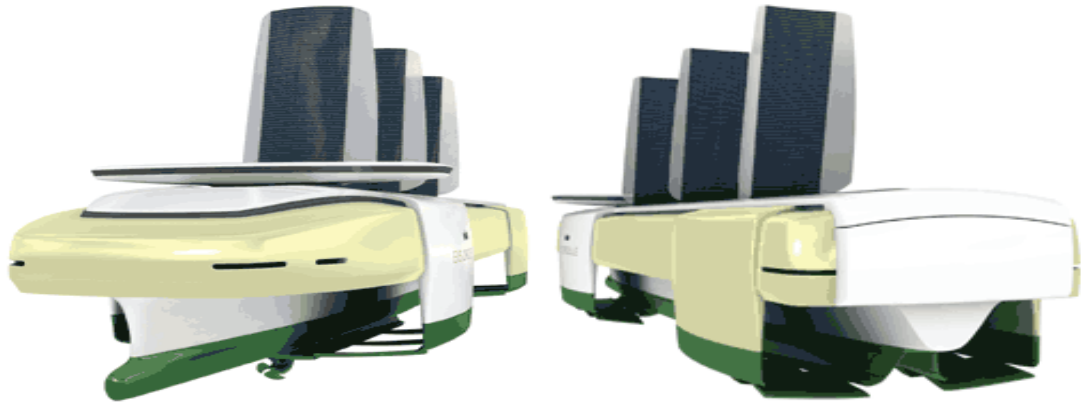
Kâr amacı gütmeyen Japon kuruluşu Peace Boat tarafından geliştirilen “Ecoship” projesinde ise cruise tipi yolcu gemisi konseptine yenilikçi bir bakış açısı getirilmiştir.



Şekil 7. "Ecoship" gemisi alternatif enerji uygulama projesi.

Peace Boat kuruluşu 2014 yılında Almanya'nın Hamburg kentinde yenilenebilir enerji, gemi ve deniz teknolojisi alanında uzman kişilerle disiplinler arası bir çalışma gurubu oluşturarak projeye başlamıştır. 224 m uzunluğa, 31 m genişliğe ve 55000 groston hacme sahip olacak gemi 17 knot hıza ulaşabilecektir. Gemide 10 adet rüzgâr türbini ve 6000 m²'lik alanı kaplayan FV panel uygulaması gerçekleştirilecektir. LNG kullanılması planlanan gemide, mutfak atıklarının geri dönüşümü ile elektrik üretilecektir. "Ecoship" gemisi hem NO_x ve SO_x emisyonlarını ortadan kaldıracak hem de karbon salınımını standart bir yolcu gemisine göre %40 oranında azaltacaktır. Gemide kullanılacak alternatif enerji sistemleri ile gemi tahrik sisteminin elektrik enerjisi ihtiyacının %20'si, gemideki toplam elektrik enerjisi ihtiyacının ise yaklaşık %50'si karşılanacaktır. 2020 yılında tamamlanması planlanan 2000 yolcu kapasiteli cruise tipi yolcu gemisi dünyanın en çevre dostu gemisi olmayı hedeflemektedir. Geminin faaliyete geçmesi ile beraber yolcu başına talep edilecek ücretler şimdiden belirlenmiştir. Cruise yolculuğuna katılacak kişilerin ödemesi gereken tutar ise 15.000 ile 18.000 Dolar arasında olacaktır (CNNTech, 2018; Cruisemapper, 2018; Ecoship, 2018). Bu proje ile cruise tipi deniz taşıtlarında alternatif enerji kaynaklarının kullanılabilmesi ve daha etkin bir biçimde işletilebileceği kanıtlanmış olacak ve özellikle turizm alanlarında yolcu gemilerinden kaynaklı çevresel zararlar önemli ölçüde azaltılacaktır.

Wallenius Wilhelmsen firması tarafından yürütülen tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışan sıfır emisyonlu ticari gemi projesi de dikkatleri üzerine çekmeyi başaran önemli bir çalışmadır.



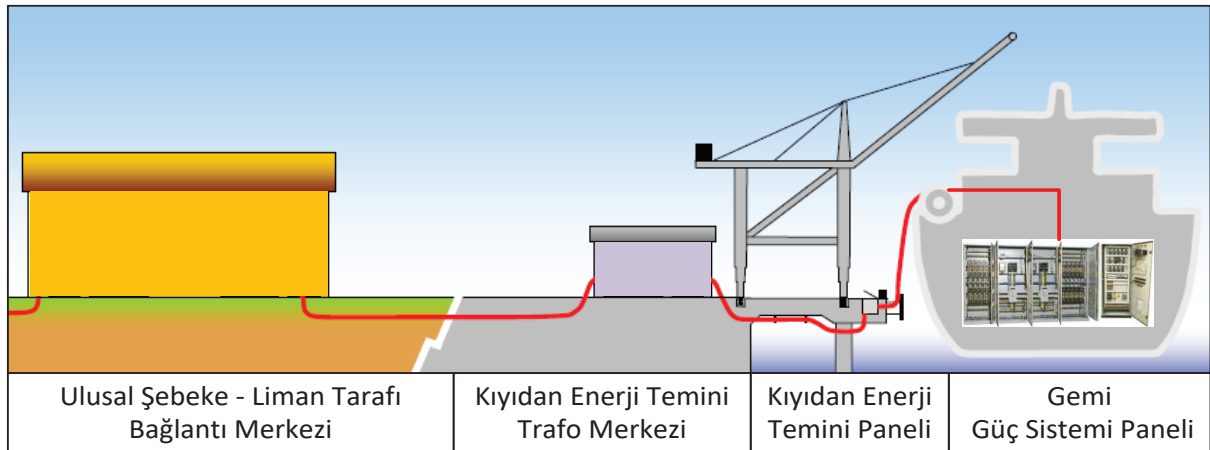
Şekil 8. "E/S Orcelle" gemisi alternatif enerji uygulama projesi.

"E/S Orcelle" isimli gemi güneş, rüzgâr ve dalga enerjisini kullanacak şekilde tasarlanmaktadır. Geminin 800 m²'lik alanına yerleştirilecek FV paneller ile güneş enerjisinden 2500 kW'lık güç elde edilecektir. Gemideki 3 adet yelken ile en iyi pozisyon yakalanarak gemi tahrik sisteminde enerji tasarrufu

sağlanacaktır. Aynı zamanda gemiye yerleştirilecek 12 adet yüzgeç sistemi ile dalga enerjisi hidrojen, elektrik veya mekanik enerjiye dönüştürülecek ve gemideki enerji ihtiyacının karşılanmasına katkı sağlanacaktır. 85000 m²'lik güverte alanına sahip 250 m uzunluğundaki gemi maksimum 24 knot hıza ulaşabilecektir. Gemi 10000'den fazla araç taşıyabilecek kapasiteye sahip olacaktır. Günümüzde Ro-Ro tipi gemilerin ortalama 6500 araç taşıma kapasitesine sahip olduğu düşünüldüğünde projenin değeri daha iyi anlaşılmaktadır. 2004 yılında tasarımına başlanan projenin 2025 yılında tamamlanması ve hizmete girmesi beklenmektedir (Dieselduck, 2018; Marinelog, 2018). Bu proje ile Ro-Ro tipi deniz taşıtlarında alternatif enerji kaynaklarının kullanılabilmesi ve ticari faaliyetlerini gerçekleştirebileceği ispatlanmış olacak ve gemi teknolojisindeki yenilikçi gelişmelere katkı sağlanacaktır.

2.2 Kıydan enerji temini sistemi uygulaması

Gemilerde güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının yanı sıra alternatif enerji sistemlerinden biri olan kıydan enerji temini uygulaması da denizcilik sektöründe ilgi duyulan bir konu haline gelmiştir. Kıydan enerji temini sistemi gemilerin limanda iken elektrik enerjisi ihtiyacını kendi jeneratörleri yerine ulusal şebekeden karşılaması olarak ifade edilmektedir. Şekil 9'da kıydan enerji temini uygulaması sisteminin genel konsepti verilmiştir.



Şekil 9. Kıydan enerji temini sistemi görseli.

Ulusal şebekeden alınan elektrik enerjisi liman tarafında bulunan kıydan enerji temini paneline aktarılır. Burada, elektrik enerjisi bağlantı kurulacak gemi için uygun gerilim ve frekans değerlerine ayarlanır ve geminin ana elektrik panosuna bağlantı gerçekleştirilmiş olur. Bu aşamadan sonra, gemideki jeneratör sistemi devreden çıkarılarak, gerekli elektrik enerjisi ihtiyacı ulusal şebekeden karşılanmış olur. Yapılan bir araştırmaya göre, Avrupa limanlarındaki tüm gemilerin 2020 yılına kadar kıydan enerji temini sistemini kullanmaları durumunda yıllık elektrik enerjisi tüketimlerinin 3543 GWh olacağı tahmin edilmiştir. Bu değer, Avrupa bölgesindeki ülkelerin 2012 yılı elektrik enerjisi tüketiminin %0,1'ine karşılık gelmektedir. Ayrıca, çalışmada kıydan enerji temini uygulamasının Avrupa limanlarında gemilerden kaynaklı CO₂ salınımını 800.000 ton azaltma potansiyeline sahip olduğu bildirilmiştir (Winkel vd. 2015).

Dünya genelinde bazı limanlarda, özellikle ticari faaliyetlerini sürdüren gemiler için gerekli altyapı çalışmaları tamamlanmış ve kıydan enerji temini sistemi uygulanmaya başlanmıştır. Hâlihazırda Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Belçika, Finlandiya, Hollanda, İsveç, Kanada ve Norveç'te bulunan 22 limanda bu uygulama mevcuttur. Bu limanlarda Ro-Ro, ROPAX, cruise ve konteyner tipi ticari gemilerin elektrik enerjisi ihtiyacı karşılanabilmektedir (OPS, 2018).

Mevcut uygulamalara bakıldığında, İsveç'in Göteborg Limanı 1989 yılından beri Ro-Ro ve ROPAX tipi gemiler için kıydan enerji temini sisteminin kullanıldığı ilk liman olma özelliğine sahiptir. Liman 2010 yılına kadar altyapı çalışmalarını genişleterek farklı gemi tipleri için de kıydan enerji temini sunmaya hazır hale gelmiştir (Pospiech, P., 2018; WPCI, 2018).



Şekil 10. "Göteborg Limanı" kıydan enerji temini uygulaması.

Amerika Birleşik Devletleri'nin Los Angeles Limanı ise 2004 yılında faaliyete geçen ve konteyner gemileri için yapılmış dünyanın ilk kıydan enerji temini sistemine sahip limanı olarak literatürde yerini almıştır. Sonrasında cruise tipi yolcu gemilerinin de kıydan enerji temini sistemine bağlantısı için gerekli altyapı oluşturulmuştur. Aynı anda iki cruise gemisinin sisteme bağlanabildiği ilk liman olma özelliğine sahiptir. Liman 40 MW güç kapasitesine kadar gemilerin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir (Greenport, 2018; Port of Los Angeles, 2018).



Şekil 11. "Los Angeles Limanı" kıydan enerji temini uygulaması.

Kanada'nın en büyük limanlarından olan Vancouver limanı ise 2009 yılında altyapı çalışmaları tamamlanan ve cruise tipi yolcu gemileri için yapılmış Kanada'nın birinci dünyanın ise üçüncü kıydan enerji temini uygulaması özelliğine sahiptir. Kıydan enerji temini uygulamasını kullanan her bir yolcu gemisinden ortalama 16 ton yakıt ve 50,6 ton CO₂ emisyonu tasarrufu sağlanmaktadır. Liman ayrıca konteyner gemileri için de kıydan elektrik enerjisi temin etmektedir. Kıydan enerji temini uygulamasını kullanan her bir konteyner gemisinden ortalama 30,7 ton yakıt ve 94,6 ton CO₂ emisyonu tasarrufu sağlanmaktadır (Portvancouver, 2018).



Şekil 12. “Vancouver Limanı” kıydan enerji temini uygulaması.

Kıydan enerji temini sisteminin gemideki egzoz gazı emisyonlarını, gürültü ve titreşimi azaltma potansiyelinin yüksek olmasının yanı sıra bu uygulamadan elde edilecek çevresel tasarruf oranları değişiklik gösterebilmekte ve bazen daha fazla emisyon salımına sebep olabilmektedir. Bunun en önemli sebebi, ulusal şebeke için üretilen elektrik enerjisi için kullanılan hammaddedir. Bu nedenle, gemi jeneratörlerinde ve ulusal şebekede birim elektrik enerjisi için salınan emisyon değerlerinin analizinin yapılması önem arz etmektedir. Limanların kendi elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynakları ile elde etmesi durumunda bu tür çevresel problemler çözülmüş olacak ve kıydan enerji temini sistemi tam anlamıyla çevreci bir çözüm sunmuş olacaktır.

Bu tip uygulamalar dikkate alındığında, denizcilik sektörünün gemilerde alternatif enerji kaynaklarının kullanımına yönelik önemli bir yönelimi ve isteği olduğu görülmektedir. Özellikle, ticari faaliyetlerini sürdüren gemi tiplerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, gemilerden kaynaklı olumsuz çevresel etkileri önemli ölçüde azaltacak ve denizcilik sektörünün sürdürülebilirliğine önemli katkı sağlayacaktır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada, düşük güç kapasiteli deniz taşıtlarında yaygın kullanım alanına sahip alternatif enerji sistemlerinin, ticari gemilerde de uygulanma potansiyelinin olduğu örneklerle izah edilmiştir. Uluslararası sözleşmeler kapsamında gemilere getirilen çevresel kısıtlamalardan dolayı bu tip uygulamaların ve projelerin gelecekte artması öngörülmektedir. Gerek gemilerden kaynaklı çevresel zararları en aza indirmek, gerekse finansal açıdan fayda sağlamak amacı ile alternatif enerji sistemlerine sahip yeşil gemi ve yeşil liman uygulamalarına gelecekte daha sık rastlanılacaktır. Teknolojideki hızlı gelişmelerle birlikte enerji verimliliği sağlayan ürünlerin birim maliyetlerinde de azalma sağlanacak ve daha çevreci gemi ve liman konseptleri daha uygun maliyetli olarak hayata geçirilecektir. Günümüzde elektrik enerjisinin bir kısmının karşılanabildiği hibrit enerjili gemi sistemleri üzerine çalışmalar yapılsa da bahsedilen projelerden de anlaşılacağı üzere sıfır emisyonlu tamamen yenilenebilir enerji kaynakları ile çalışacak ticari gemi konseptleri gelecekte taşımacılık sektöründe yerini alacaktır. Denizcilik sektöründe sürdürülebilirlik faaliyetlerinin sadece gemiler ile kısıtlanmadığı ve liman tarafında da yeşil liman konseptlerinin geliştirilmeye çalışıldığı görülmektedir. Kıydan enerji temini uygulaması da yeşil liman konseptinin en önemli parçasıdır. Şu anki durumda, gemiler kıydan enerji temini uygulaması ile ulusal şebekeden elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmektedir. Bu konsepti bir adım daha ileri taşıyarak, limanların ulusal şebekeden bağımsız olarak kendi elektrik enerjisini yenilenebilir enerji kaynakları ile temin etmesi durumunda yeşil gemi ve yeşil liman konseptleri birbirini tamamlayacak ve denizcilik sektöründeki çevresel ve ekonomik dezavantajlar minimize edilmiş olacaktır. Bu nedenle, Türk Denizcilik Sektörünün mevcut gemi modellerinin yanı sıra yeni nesil gemi ve liman konseptlerine

yönelik çalışmalarda bulunması önem arz etmektedir. Bu tür girişimler ve projeler Türk Denizcilik Sektörünü diğer ülkelere nazaran bir adım öne çıkaracaktır.

Tamamen alternatif enerji kaynakları ile işletilen gemi konseptleri ve kendi elektrik enerjisini üreten liman konseptleri önümüzdeki süreçte güncel ve ilgi duyulan bir konu olacaktır. Gelecek çalışmalarda, bu tür sistemlerin uygulanabilirliği teknik, çevresel ve ekonomik açıdan ayrıca değerlendirilecektir.

4. Kaynaklar

BBC, Design Puts Boat in a Spin, http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/1507825.stm [Online] [Erişim 01.11.2018]

Bøckmann, E. and Steen, S. (2011). Wind Turbine Propulsion of Ships. Paper presented at the Second International Symposium on Marine Propulsors, Hamburg, Germany.

Bluebird, Wind Power - Renewable Energy Research, http://www.bluebird-electric.net/wind_powered_ships_marine_renewable_energy_research.htm [Online] [Erişim 01.08.2018]

Businessgreen, First Solar Powered Container Ship Sets Sail, <https://www.businessgreen.com/bg/news/1802121/first-solar-powered-container-ship-sets-sail> [Online] [Erişim 01.08.2018]

Chen, L., Yip, T.L. and Mou, J., (2018). Provision of emission control area and the impact on shipping route choice and ship emissions. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 58, 280-291.

CNNTech, The World's Greenest Cruise Ship Will Have Sails, <https://money.cnn.com/2017/12/11/technology/green-cruise-ship-ecoship/> [Online] [Erişim 01.08.2018]

Cruisemapper, Ecoship Review and Specifications, <https://www.cruisemapper.com/ships/Ecoship-1855> [Online] [Erişim 03.11.2018]

Dailymail, The World's Largest SOLAR Boat. <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2405853/The-worlds-largest-SOLAR-boat-powered-809-panels-Eco-friendly-vessel-breaks-world-record-crossing-Atlantic-just-22-days--completely-silent.html> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Diab, F., Lan, H. and Ali, S. (2016). Novel comparison study between the hybrid renewable energy systems on land and on ship. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 452-463.

Dieselduck, E/S Orcelle - A Concept, <http://www.dieselduck.info/library/11%20interesting/2005%20ES%20Orcelle.pdf> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Ecomarinepower, Aquarius Eco Ship, <http://www.ecomarinepower.com/en/aquarius-eco-ship> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Ecoship, Ecoship Technology & Design, <http://ecoship-pb.com/technology/> [Online] [Erişim 03.08.2018]

gCaptain, Auriga Leader – Toyota's Solar Powered Cargo Ship, <http://gcaptain.com/solar-powered-cargo-ship-auriga-leader/> [Online] [Erişim 03.08.2018]

GloMEEP, Solar Panels, <http://glomeep.imo.org/technology/solar-panels/> [Online] [Erişim 05.08.2018]

Greenport, Alternative Maritime Power for Cruise Lines in Los Angeles, <http://www.greenport.com/news101/americas/alternative-maritime-power-for-three-different-cruise-lines-in-the-port-of-los-angeles> [Online] [Erişim 10.08.2018]

HKJC, Solar Ferry and Solar Golf Carts Go into Operation at Kau Sai Chau Public Golf Course Demonstration Components of HKJC's Environment Project, http://www.hkjc.com/english/corporate/racing_news_item.asp?in_file=/english/news/news_2010062525631.htm [Online] [Erişim 09.08.2018]

Innes, A. and Monios, J. (2018). Identifying the unique challenges of installing cold ironing at small and medium ports—the case of Aberdeen. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 62, 298-313.

IntMath, SolarSailor - The Green Australian Solar Ferry, <https://www.intmath.com/blog/environment/solarsailor-the-green-australian-solar-ferry-463> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Kumar, J., Kumpulainen, L. and Kauhaniemi, K. (2018). Technical design aspects of harbour area grid for shore to ship power: state of the art and future solutions. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 104, 840-852.

Lee, K.J., Shin, D., Yoo, D.W., Choi, H.K. and Kim, H.J. (2013). Hybrid photovoltaic/diesel green ship operating in standalone and grid-connected mode—experimental investigation. *Energy*, 49, 475-483.

Liu, H., Zhang, Q., Qi, X., Han, Y. and Lu, F. (2017). Estimation of PV output power in moving and rocking hybrid energy marine ships. *Applied Energy*, 204, 362-372.

Marinelog, Concept Car Carrier with Zero Emissions, <https://www.marinelog.com/docs/NEWSMMV/MMVmar10d.html> [Online] [Erişim 03.08.2018]

Mofor, L., Nuttall, P. and Newell, A. (2015). Renewable energy options for shipping: technology brief. IRENA.

Nuttall, P., Newell, A., Prasad, B., Veitayaki, J. and Holland, E. (2014). A review of sustainable sea-transport for oceania: providing context for renewable energy shipping for the pacific. *Marine Policy*, 43, 283-287.

NYK, NYK and Nippon Oil Corporation Joint Project Auriga Leader Completes Seven Months of Voyages Using Solar Power, https://www.nyk.com/english/release/31/NE_090908.html [Online] [Erişim 09.08.2018]

OCIUS, (2018), Solar Sailor, <https://ocius.com.au/2012/01/100-pax-tourist-cruiser/> [Online] [Erişim 03.08.2018]

OPS, Ports Using OPS, <http://www.ops.wpci.nl/ops-installed/ports-using-ops/> [Online] [Erişim 09.08.2018]

Port of Los Angeles, First in the World Electric Plug-in of Container Ship at the Port of Los Angeles, <https://www.portoflosangeles.org/environment/progress/news/first-world-container-ship-electric-plug-port-la/> [Online] [Erişim 12.08.2018]

Portvancouver, Shore Power, <https://www.portvancouver.com/environment/air-energy-climate-action/marine/shore-power/> [Online] [Erişim 09.08.2018]

Pospiech, P., Shore Power Supply for Stena-Ferries in Gothenburg and Rotterdam, Maritime Propulsion, <http://articles.maritimepropulsion.com/article/Shore-Power-Supply-for-Stena-Ferries-in-Gothenburg-and-Rotterdam51595.aspx> [Online] [Erişim 05.11.2018]

RINA, Technical Meeting, <https://www.rina.org.uk/res/Tech%20Meeting%201%20August%202018.pdf> [Online] [Erişim 07.08.2018]

Samosir, D.H., Markert, M. and Busse, W. (2017). The technical and business analysis of using shore power connection in the port of Hamburg. *Jurnal Teknik ITS*, 5 (2).

Shipspotting, Solar Albatross Ship Information, <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=2481701> [Online] [Erişim 04.08.2018]

Shipspotting (a), Revelation II Ship Information, <http://www.shipspotting.com/gallery/photo.php?lid=1881690> [Online] [Erişim 04.08.2018]

Sustainablefreight, OCIUS - SolarSailor Technology, <http://www.sustainablefreight.com.au/case-studies/ocius--solarsailor-technology> [Online] [Erişim 06.11.2018]

The Verge, An Inside Look at the World's Largest Solar-Powered Boat, <https://www.theverge.com/2013/6/22/4454980/ms-turanor-planetsolar-solar-powered-boat-photo-essay> [Online] [Erişim 06.08.2018]

WEB, Facts and Figures TÛRANOR PlanetSolar, <https://web.archive.org/web/20100705115607/http://www.das-solarboot.de/technical-data-sheet.html> [Online] [Erişim 06.08.2018]

Windvinder, Solar Sailor – Ocius. <http://www.windvinder.com/index.php?id=94&L=1> [Online] [Erişim 06.11.2018]

Wen, S., Lan, H., Yu, D. C., Fu, Q., Hong, Y. Y., Yu, L. and Yang, R. (2017). Optimal sizing of hybrid energy storage sub-systems in PV/Diesel ship power system using frequency analysis. *Energy*, 140, 198-208.

Winkel, R., Weddige, U., Johnsen, D., Hoen, V. and Papaefthymiou, G. (2015). Potential for shore side electricity in Europe. *ECOFYS*.

WPCI, World Ports Climate Initiative. Port of Gothenburg, <http://wpci.iaphworldports.org/onshore-power-supply/ops-installed/gothenburg.html> [Online] [Erişim 11.11.2018]

Yiğit, K., Acarkan, B. (2018). "The Importance of Ships in the Next-Generation Electric Power Systems" Book Chapter in *Exergetic, Energetic and Environmental Dimensions*, 167-178. London: Academic Press.

Yu, M., Huang, W., Tai, N., Zheng, X., Ma, Z. and Wang, Y. (2017). Advanced microgrid and its multi-objective regulation strategy for shore supply. *The Journal of Engineering*, 2017(13), 1590-1594.

Zhangtang, Z.T.W. (2009). Development of new ship type—maritime wind turbine installation vessel. *Ship & Boat*, 5, 011.