



Cold Ironing Yöntemi; Marport Limanı Uygulaması

N. Hakan PEKŞEN¹, Duygu Yıldırım PEKŞEN², Aykut ÖLÇER¹

¹ World Maritime University, Shipping & Port Management

² Yalova Üniversitesi, Deniz ve Liman İşletmeciliği

ÖNEMLİ NOKTALAR

- IMO ve AB tarafından gerçekleştirilen gemi kaynaklı emisyon azaltımına yönelik çalışmalar, deniz ticaretindeki tarafları alternatif yakıt ve teknolojilerin kullanılmasına yönlendirmiştir.
- Gemilerin liman sürecinde ürettikleri emisyon azaltımı konusunda çözümlerden biri olan 'Cold Ironing Yöntemi' gemilerin liman sahasında karasal elektrik enerjisini kullanması yöntemidir.
- Yöntemin kullanılmasıyla hava kirlenmesi ve sera gazı emisyonlarında ciddi azalma olabileceği ve bunların neden olduğu harici maliyetlerin azalacağı ve bu yöntemi uygulayan liman işletmesinin kısa sürede yatırımı finanse edebileceği hesaplamalar sonucu ortaya konulmuştur.

MAKALE BİLGİSİ

Makalenin Tarihiçesi

Alındı: 23 Eylül 2013

Düzeltilerek alındı: 10 Ekim 2013

Kabul edildi: 15 Ekim 2013

Anahtar Kelimeler

Cold ironing, Marpol Ek VI, sera gazları ve hava kirlenmesi gazları, gemi emisyonları, yatırım analizi.

ÖZET

Deniz taşımacılığı, bilinen en çevre dostu taşımacılık türü olmasına rağmen, büyüyen deniz trafiği neticesinde gemi emisyonlarının sebep olduğu hava kirliliği ve bunların olumsuz etkileri kayda değer bir şekilde artmaktadır. Egzoz emisyonlarından kaynaklanan sera gazları ve hava kirlenmesi; küresel ısınmaya, asit yağmurlarına ve hava kalitesinin azalmasına neden olarak, insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkilere sahiptir.

Bu konuda, MARPOL 73/78 Sözleşmesinin EK-VI: Gemilerden Kaynaklanan Hava Kirliliğinin Önlenmesine İlişkin Kurallar isimli protokolüyle, gemilerin egzoz gazlarından çıkan başlıca azot-oksit (NO_x) ve kükürt-oksit (SO_x) gibi emisyonların küresel ve özel bölgeler ilanı ile bölgesel boyutta sınırlandırılmasına ilişkin düzenlemeler getirilmiş olup Türkiye 26.02.2013 tarihinde kabul edilen 6438 sayılı Kanun ile bu protokole taraf olmuştur.

"Gemilerden Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması IPA Eşleşme Projesi" ve diğer resmi çalışmalar ile Marmara Denizinin en kısa sürede Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak özel bölge ilan edilmesi gündemdedir. Marmara Denizi ve Türk Boğazlarının ECA bölgesi ilan edilmesinden sonra, bu rotayı kullanacak olan gemilerin, ya içeriğindeki kükürt oranı %1 m/m den fazla olmayan fuel oil kullanması ya da alternatif teknoloji ve yöntemler kullanarak ana makine ve yardımcı makinelerinden salınan egzoz gazındaki toplam kükürt oksit miktarını 4.0 g SO_x /kWh oranına düşürmesi gerekecektir. 2015 yılından sonra, bu rakamlar sırasıyla %0,1 m/m S ve 0,4 g SO_x /kWh seviyesine düşecektir. Ayrıca mevcut "Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik" hükümlerine göre, Türk Karasularındaki rıhtımlarda bulunan gemilerin, kükürt miktarı kütüğe %0,1'i aşan denizcilik yakıtlarını hali hazırda kullanmaları gerekmektedir.

Gemilerin ürettiği emisyon miktarı temel olarak üç ayrı safhada; seyir, manevra ve rıhtım sürecine göre hesaplanmaktadır. Bu çalışmada, gemilerin rıhtımda emisyona sebep olan yardımcı makinelerini çalıştırarak elektrik ihtiyacını gidermesi yöntemine alternatif çözüm olan, liman kaynaklı karasal elektrik enerjisini kullanımı, "cold ironing" metodu incelenmektedir.

Bu çalışma, Marmara Denizinde bulunan Marport Limanına "cold ironing" yönteminin uygulanması neticesinde, gemi emisyonlarındaki değişimin belirlenmesi, enerji üretim maliyetlerinin kıyaslanması ve limana kurulacak sistemin net bugünkü değer (NPV) yöntemiyle maliyet analizini kapsamaktadır.

Çalışmanın sonucunda, cold ironing yönteminin, rıhtım sürecinde gemilerde kullanılan deniz yakıtlarına alternatif en çevreci yöntem olduğu ve yatırım maliyetinin geri dönüşünün uzun zaman almadığı ortaya konulmuştur.

ARTICLE INFO

Article History

Received: 23 September 2013

Received in revised form: 10 October 2013

Accepted: 15 October 2013

Keywords

Cold ironing, Marport, MARPOL Annex VI, greenhouse gas and air pollutants, ship emission, investment analysis.

İrtibat:

N. Hakan PEKŞEN

s13089@wmu.se

Duygu Yıldırım PEKŞEN

duygu.yildirim@yalova.edu.tr

Aykut ÖLÇER

aio@wmu.se

ABSTRACT

Maritime transport is the most environmentally friendly type of transport mode. However, air pollution and greenhouse gases from international shipping are increasing because of the growing maritime traffic. These exhaust emissions cause global warming, acid rain and a reduction in air quality which has serious adverse effects on human health.

"The Regulations for the Prevention of Air Pollution from Ships" as Annex VI of MARPOL Convention 73/78 brought an arrangement about limitation of NO_x and SO_x from exhaust gas for global and emission control area (ECA). Turkey has also ratified Annex VI on 26th February 2013.

Turkey has conducted "the European Union IPA Twinning Project for the Control of Ship-Sourced Emissions" to control emissions. The project supports establishing an ECA in the Sea of Marmara and Turkish Straits, and it is intended to be completed in near future. After establishing ECA in Turkey, all ships have to use fuel oil which contains max 1% m/m sulphur or alternative technology that can reduce sulphur amount 4.0 g SO_x /kWh level from main and auxiliary engine. After 2015 this figures will be respectively 0,1 m/m and 0,4 g SO_x /kWh. On the other hand, according to the latest revision of the Turkish Regulation on Reduction of Sulphur Rate in Some Types of Fuel Oils, inland vessels and all the vessels at berth, regardless of their flag, are obliged to use marine fuels with sulphur content not more than 0.1% by mass.

During the last two decades, different technologies have been tested in ports in order to reduce ship emissions. One of them is known as the cold ironing system which provides ships to use shore-side electricity as onshore electric power supply instead of working auxiliary engines while ships are lifting at berth. In this system, emission from ships during berthing are completely eliminated by using electrical power from national grid as alternative energy source rather than fuel oils which are necessary for combustion process in auxiliary engines to generate electricity.

To sum up, this study discusses the cold ironing system as the most economically and environmentally friendly solution on the reduction of ship emissions from the aspect of Turkish port operators while ships are at berth based on a case study for Marport Container Terminal, which is the biggest private container port in the Sea of Marmara. In the case study, by using data of ships calling Marport within 2012, the total emission from ships, environment impact of the emissions on air quality and climate change, and externalities on health costs and others have been discussed. From the financial side, investment costs of cold ironing systems for container ports have been analysed with the investment return period by using the Net Present Value method.

In conclusion, the results from the case study present that cold ironing method is the most environmentally solution for ship emissions at the hotelling period and investment return period does not take a long time.

© 2014 GEMİMO. All rights reserved.

1. Giriş

Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) denizlerde emniyetli seyir, denizci eğitimi ve çevre kirliliğinin önlenmesi için çalışmalar yapan ve sektöre yol gösteren Birleşmiş Milletlerin bir alt organizasyonudur. IMO tarafından hazırlanan en önemli sözleşmelerden biri '1978 Protokolü ile değiştirilen 1973 Gemilerden Oluşan Kirilenmenin Önlenmesi Uluslararası Sözleşmesi' MARPOL 73/78 olmuştur ⁽¹⁾. MARPOL Konvansiyonuna, 1997 yılında gemilerden salınan emisyonların azaltılması ve etkili bir kontrol sistemi getirilmesi amacıyla Ek VI Protokolü kabul edilmiş ve bu Protokol 19 Mayıs 2005 tarihinde dün-

ya genelinde yürürlüğe girmiştir.

Ek VI Protokolünde yer alan Regülasyon 14- SO_x - (Kükürt Oksit) 'e göre Ek VI'ya taraf devletler, sahip oldukları deniz alanlarında çevre ve insan sağlığını korumak amacıyla gemi kaynaklı hava kirliliğini azaltmaya yönelik özel alanlar ilan etme konusunda yetkilendirilmişlerdir. Bu alanlar genel olarak emisyon türüne göre Kükürt Emisyon Kontrol Alanı (SECA) veya NO_x ve PM dahil olmak üzere Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak isimlendirilmektedirler. Gemi kaynaklı emisyonların azaltılması ve sınırlandırılmasını sağlamak için; gemilere temiz enerji kaynakları kullanmaları hususunda bazı ku-

Tablo 1 Gemilerde kullanılacak yakıtlardaki SO_x miktarı veya gemilerden çıkacak toplam SO_x limiti ⁽²⁾

Tarih	Global	Tarih	ECA
1 Ocak 2012 itibariyle	% 3,50 m/m S veya 14 g SO _x /kWh	1 Temmuz 2010 itibariyle	% 1,00 m/m S veya 4 g SO _x /kWh
1 Ocak 2020 ¹ itibariyle	% 0,50 m/m S veya 2 g SO _x /kWh	1 Ocak 2015 itibariyle	% 0,10 m/m S veya 0,4 g SO _x /kWh

⁽¹⁾ 2018 yılında ortaya çıkan görüşlere bağlı olarak 1 Ocak 2025 tarihine ertelenebilir

Tablo 2 Gemilerin inşa tarihine ve makine devir sayısına göre yayılan toplam NO_x emisyon ağırlığı limiti ⁽³⁾

Tier	Gemi İnşa tarihi veya sonrası	Yayılan toplam NO _x emisyon ağırlığı limiti (g / kWh)		
		n ¹ <130	n=130-1999	n≥2000
I	1 Ocak 2000	17,0	45. n ^{-0.2} Örnek; 720 rpm- 12,1	9,8
II	1 Ocak 2011	14,4	44. n ^{-0.23} Örnek; 720 rpm- 9,7	7,7
III	1 Ocak 2016	3,4	9. n ^{-0.2} Örnek; 720 rpm- 2,4	2,0

⁽¹⁾ n; makine devir sayısı

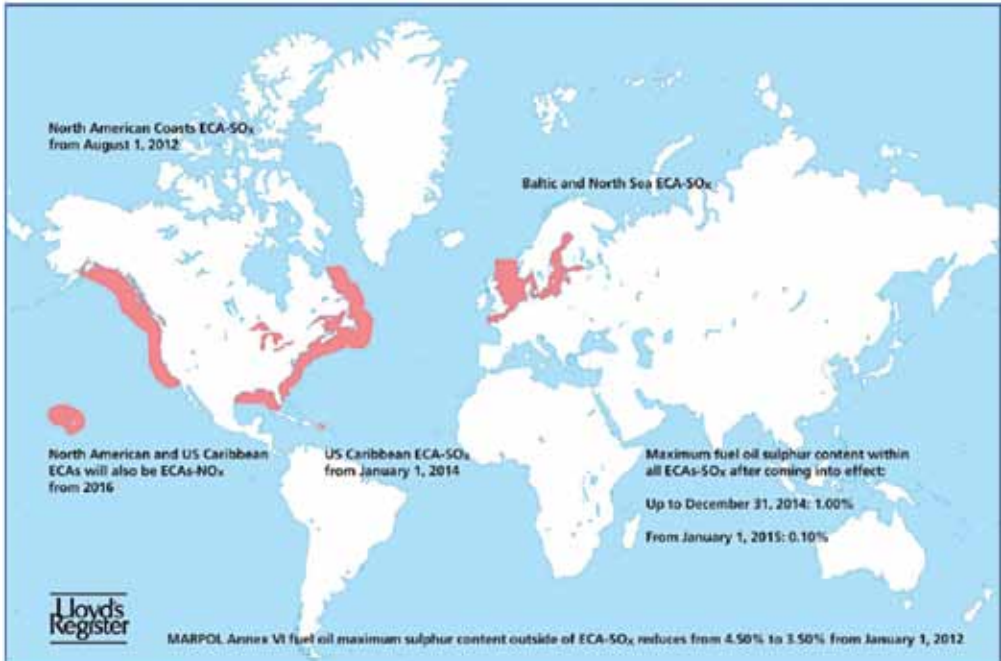
rallar ve yükümlülükler getirilmiştir. Bu kuralla göre SO_x salınımını için alınan tedbirler aşağıdaki Tablo 1’de gösterilmektedir.

Ek VI Protokolünde yer alan Regülasyon 13- NO_x – (Azot Oksit)’e göre dizel makinelerden NO_x çıkışı, Tablo 2’ de belirtilen sınırları aştığı takdirde bu makinelerin çalıştırıl-

ması yasaklanmıştır.

Günümüzde ECA ilan edilen özel alanlar Şekil 1’deki dünya haritasından da görüleceği üzere aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

1. Baltık Denizi Bölgesi – (SO_x);
2. Kuzey Denizi Bölgesi – (SO_x);
3. Kuzey Amerika Bölgesi – (SO_x, NO_x ve

**Şekil 1** ECA ilan edilen bölgeler (4)

PM);

4. Karayip Denizi Bölgesi – (SO_x, NO_x ve PM);⁽⁴⁾

Türkiye MARPOL Ek VI Protokolüne 6438 sayılı Kanun ile 26.02.2013 tarihinde taraf olmuştur. Böylelikle Türkiye emisyon kontrol alanı ilan etme hakkına sahip olmuştur. Ayrıca AB uyum süreci kapsamında 2005/33/EC sayılı AB Direktifine paralel olarak 2009/15667 sayılı karar ile “Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik” yayımlanmıştır.

Bu yönetmeliğe göre:

*Türkiye Cumhuriyeti ve Marpol Ek VI da tanımlanacak tüm SO_x kontrol alanlarında %1,5’ un üzerinde kükürt içeren deniz yakıtları kullanılamaz.

*İç su araçları ve rıhtımdaki gemiler tarafından kükürt miktarı kütlece %0,1’i aşan denizcilik yakıtları 01.01.2012 tarihinden itibaren kullanılamaz⁽⁵⁾.

Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığınca yürütülen “Gemilerden Kaynaklanan Emisyonların Azaltılması” isimli IPA Eşleşme Projesi ve diğer resmi çalışmalar ile Marmara Denizinin en kısa sürede Emisyon Kontrol Alanı (ECA) olarak özel bölge ilan edilmesi gündemdedir. Coğrafi açıdan Marmara Denizi; Akdeniz ve Karadeniz arasında bulunmakta olup Çanakkale ve İstanbul Boğazları ile bu iki denizi birbirine bağlamaktadır. Ayrıca Marmara Denizine kıyısı olan iller yaklaşık 20 milyonluk toplam nüfusları ile Türkiye’nin en kalabalık yerleşim bölgesini oluşturmaktadır. Marmara Denizine uğrayan ve Türk Boğazlarını kullanarak Akdeniz’den Karadeniz’e veya tam tersi yönde seyreden gemiler, yaydıkları emisyonlarla bu bölgedeki yaşayan insanların sağlığına ve çevreye zarar vermektedirler.

Bu çalışmada, muhtemel ECA ilan edilecek Marmara Denizinde, rıhtımda bulunan gemilerden kaynaklı emisyonun azaltılması için alternatif yöntem olan Cold Ironing sistemi incelenecektir. Çalışma sahası olarak, Marmara Denizinde bulunan ve Ambarlı Liman Kompleksi içerisinde yer alan Marport

Konteyner Terminali belirlenmiştir.

Bu çalışmada sırasıyla uygulama sahası, daha sonra baz alınan 2012 yılına ait gemi hareketleri, bu gemilerin özellikleri, ekonomik değişkenler, deniz yakıtı ve bu yakıtı alternatif olarak kullanılacak karasal elektrik enerjisinin maliyeti, yakıt kullanımına bağlı olarak ortaya çıkan emisyon miktarı ve bunun İstanbul halkına vereceği sağlık ve çevresel zararın maliyeti, Marport Limanı için Cold Ironing sistem yatırımı ve bu yatırımın Net Bugünkü Değer yöntemi ile maliyet analizi incelenecektir.

2. Uygulama Sahası ve Veri Analizi

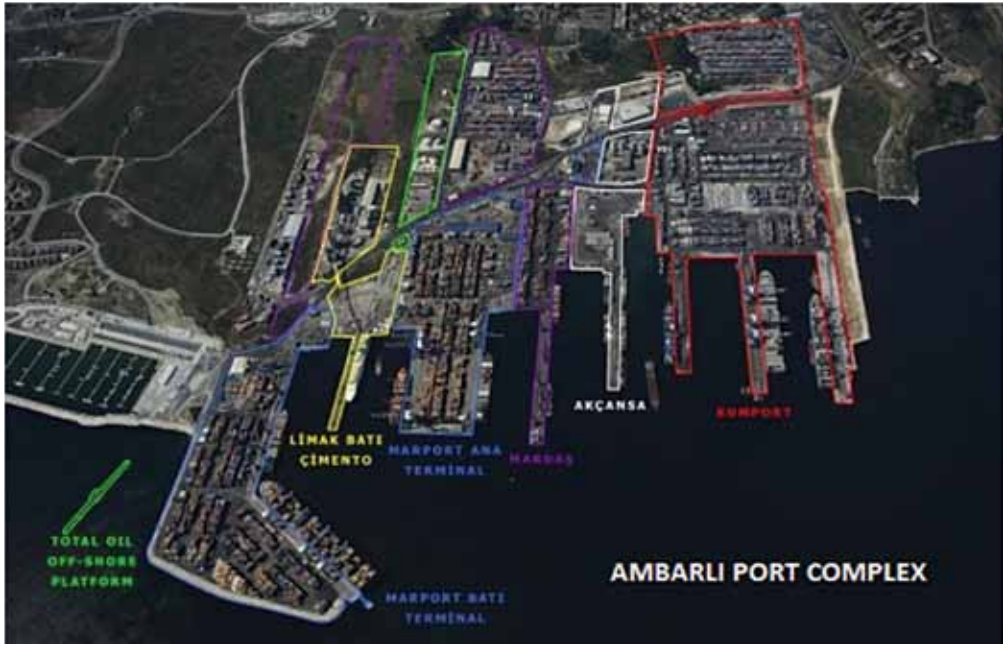
2.1. Ambarlı Liman Kompleksi ve Marport Konteyner Terminali

Resmi istatistiklere göre Marmara Denzinden her yıl 50.000 den fazla gemi geçmektedir⁽⁶⁾. Feribotlar, balıkçı tekneleri, yatlar, gezi tekneleri ve deniz taksileri de dikkate alındığında, Marmara Denizinin trafik yoğunluğu daha yüksek noktalara ulaşmaktadır. Şekil 2’de uygulama sahasının konumu yeralmaktadır.



Şekil 2 Marmara Denizi ve Ambarlı Liman Tesisinin konumu

Ambarlı Liman Kompleksi Marmara Denizindeki başlıca liman tesisidir. Bu tesis 7 farklı özel terminalin birleşmesinden oluşmuştur. Ayrıca Ambarlı Limanı İstanbul’un dünyaya açılan en önemli kapısı konumun-



Şekil 3 Ambarlı Liman Kompleksi ve Terminalleri ⁽⁹⁾

dadır. Ambarlı Liman Kompleksindeki konteyner hareketi bir önceki yıla kıyasla 2012 yılında %14,8 artarak 3,1 milyon TEU' ya ulaşmıştır. Son üç yıldır her yıl konteyner elleçleme sayısı bazında liman kendi rekorunu kırmış ve kırmaya devam etmektedir. 2012 yılı boyunca Ambarlı Liman Kompleksi Türkiye'deki konteyner hareketinin yaklaşık %43 ünü gerçekleştirmiştir. Kompleks 2012 yılında toplamda 5193 gemiye elleçleme hizmeti sunmuştur ⁽⁷⁾.

Şekil 3'de gösterilen Ambarlı Liman Kompleksinde yer alan Marport Konteyner Terminali ise, Türkiye'de hizmet veren ilk özel konteyner terminali olup halen özel limanlar arasında lider pozisyonunu korumaktadır. Limanların başarısını değerlendirmedeki en önemli performans göstergesi bilindiği üzere Rıhtım Doluluk Oranı (BOR)'dır . Bu oran, rıhtımın toplam yıllık kargo elleçleme kapasitesiyle, bir yılda elleçlediği toplam kargonun birbirine oranlanmasıyla bulunmaktadır ⁽⁸⁾.

Tablo 3'de, Marport Konteyner Terminalinin yıllara göre toplam konteyner elleçleme miktarı görülmektedir.

Tablo 3 Marport Konteyner Terminalinin Yıllara göre Konteyner Elleçleme Rakamları (TEU) ⁽¹⁰⁾

2007	798.059
2008	1.252.939
2009	1.159.249
2010	1.663.551
2011	1.548.480
2012	1.583.887

Toplam rıhtım elleçleme kapasitesi 1.900.000 TEU olarak verilen Marport Terminalinin 2012 yılına ait rıhtım doluluk oranı, tablodaki veriler ışığında %83 olarak hesaplanmıştır. Bu performans göstergesi, Marport rıhtımlarının yüksek doluluk oranı ile çalıştığını göstermekte olup, ileriye dönük gemi trafiğinin artması halinde limanda kuyruk problemi yaşanacağı tahmin edilmektedir.

Marport Limanından alınan bilgilere göre, 2012 yılı boyunca limana 170 farklı konteyner gemisinin toplamda 1860 uğrak yaptığı görülmektedir. Bu gemilerin özelliklerini aşağıdaki Tablo 4'de görebiliriz.

Tablo 4 2012 yılında Marport Limanına uğrayan gemilerin detayları ve sayısı

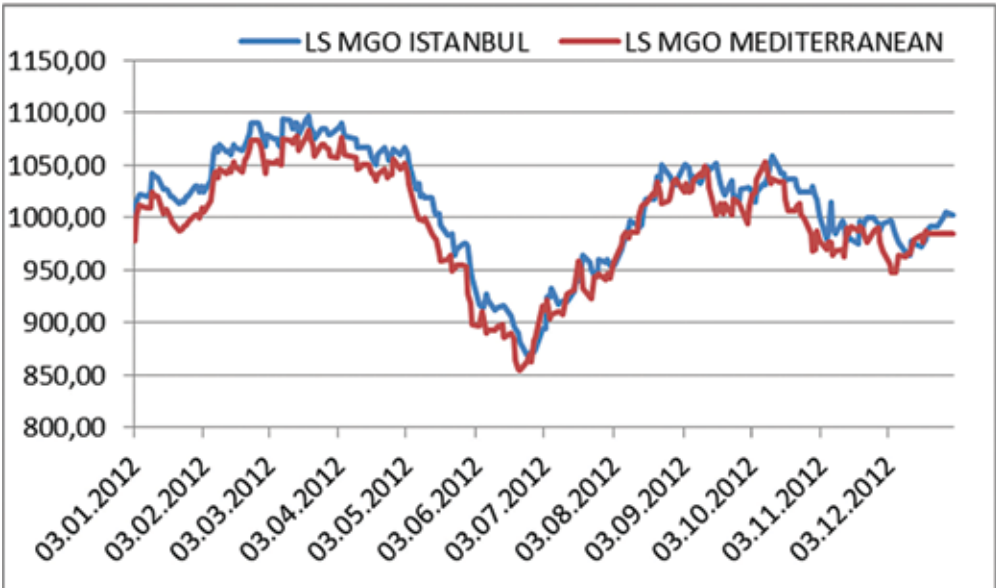
GEMİ ZİYARETLERİNE İLİKİN SAYISAL BİLGİLER			
Gemilerin Limana Uğrama Sayısı	1860		
Gemi Sayısı	170		
GEMİ BOYUTLARI			
	MAX	MIN	ORTALAMA
GRT	153.115	1.720	37.273,72
LOA (m)	366,37	81,10	204,22
TEU KAPASİTESİ	14,036	112	3.286
MCR ANA MAKİNE GÜCÜ (kW)	72.240	737	23.335,74
GEMİ TİPLERİ			
OCEAN-GOING (≥140m)			152
FEEDER (<140m)			18

2.2. Gemilerin Rıhtım Zamanına İlişkin Veriler

Tablo 5 gemilerin 2012 yılı boyunca Marport Konteyner Terminali'nin 3 rıhtımında geçirdikleri toplam ve ortalama süreleri özetlemektedir.

Tablo 5 2012 yılında Marport Terminaline gelen gemilerin rıhtım süreleri

ZAMAN BİLGİSİ	
Toplam Rıhtım Süresi (saat/yıl)	28.255,66
Ortalama Rıhtım Süresi (saat/yıl*gemi)	166,21
Bir Geminin Max. Rıhtım Süresi (saat/yıl)	1.579,80
Bir Geminin Min. Rıhtım Süresi (saat/yıl)	3,80

**Şekil 4** Akdeniz ve İstanbul Limanları için LS MGO Fiyatları (2012) (11).

2.3. Low Sulphur MGO ve Elektrik Enerjisi Fiyatlarının Karşılaştırılması

2.3.1. Düşük Kükürt İçerikli (%0,1) MGO Fiyatları

İstanbul için 9 farklı tedarikçiden alınan bilgiler doğrultusunda Low Sulphur (%0,1) Marine Gas Oil (LS MGO) fiyatı 2012 yılı için ortalama 1010,47 USD olarak hesaplanmıştır. Diğer yandan Akdeniz Bölgesinde yer alan 10 ana limandaki yakıt tedarik fiyatları baz alındığında bu rakam ortalama olarak 995,46 USD'dir. Sonuç olarak Marport Limanını kullanan gemiler için ortalama fiyat 1002,97 USD olarak hesaplanmıştır⁽¹¹⁾.

Şekil 4 Akdeniz ve İstanbul Limanları için 2012 yılı LS MGO fiyat dalgalanmalarını göstermektedir.

2.3.2. Elektrik Enerjisi Fiyatları

Türkiye'de elektrik fiyatları ve tarifeleri, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından her yıl periyodik olarak 4 dönem için belirlenmektedir. Prensipte elektrik fiyatları kullanıcı tipine göre çeşitlilik göstermektedir. Örneğin; sanayi, kamu, ve özel kullanıcı tipi ile orta gerilim, düşük gerilim kullanıcı tipi gibi.

Bu bağlamda Marport Limanı, kuruluş ün-

Tablo 6 2012 yılı için EPDK tarafından belirlenen sanayi tipi orta gerilim elektrik tarifesi (12)

2012 Periyotları	Tüketici Tarifesi (kr/kWh)					
	Perakende Tek Zamanlı	Dağıtım	PSH ¹	Kayıp / Kaçak	İletim	Toplam
Ocak- Şubat- Mart	15,377	1,538	1,977	0,388	0,836	20,116
Nisan- Mayıs- Haziran	17,015	1,691	1,882	0,401	0,866	21,855
Temmuz- Ağustos- Eylül	17,015	1,691	1,882	0,401	0,866	21,855
Ekim- Kasım- Aralık	17,770	1,843	1,873	0,394	0,851	22,731
(Ortalama)	16,794	1,691	1,904	0,396	0,855	21,639

(¹PSH (Parakende Satış Hizmet Bedeli))

vanı itibariyle sanayi ve enerji talebi bakımından orta gerilim kullanıcısı olarak dikkate alınmıştır. Çalışmada baz alınan 2012 yılı için EPDK'nın belirlemiş olduğu elektrik tarifeleri aşağıda yer alan Tablo 6' da gösterilmektedir.

Sonuç olarak EPDK'nın yayınladığı tarife göre elektrik enerjisinin maliyeti 0,2164 TL / kWh olarak hesaplanmıştır. Ancak bu fiyat elektrik enerjisini kullanım fiyatını hesaplamak için yeterli değildir. Çünkü bazı vergi ve ek maliyetler henüz bu fiyata yansıtılmamıştır. Nihai tarifeler, elektrik üretim ve dağıtım şirketleri tarafından abonelerin elektrik kullanım miktarına göre yapılan faturalama sisteminden çıkartılabilir. Türkiye'deki en büyük elektrik dağıtım şirketi olan TEDAŞ tarafından belirlenen örnek fatura hesabına göre Marport limanında Cold Ironing sistemi için muhtemelen aylık gereken minimum

Tablo 7 Marport Terminali için hesaplanmış elektrik birim fiyatı (kWh, 2012) ⁽¹³⁾

TEDAŞ Tarifesi (2012)	
Tüketici Tipi	Sanayi
Tahmini Tüketim (kWh)	1.000.000
	BİRİM FİYAT TOPLAM
Aktif Enerji Maliyeti	0,167943 167.943
PSH Maliyeti	0,019035 19.035
PSH Savaş Okuma Maliyeti	4,500000 4,5
İletim Sistemi Kullanım Ücreti	0,008548 8.548
Dağıtım Sistemi Kullanım Ücreti	0,016908 16.908
Kayıp / Kaçak Maliyeti	0,003960 3.960
Enerji Fonu (%1)	
TRT Payı (%2)	
Belediye Tüketim Vergisi (%1)	
KDV Öncesi Bakiye (TL)	225.054,5
KDV (%18)	40.509,81
Toplam (TL)	265.564,31
Elektrik Birim Fiyatı (kWh) (TL)	0,27
Elektrik Birim Fiyatı (kWh) (USD) ¹	0,15

(¹ T.C. Merkez Bankası verilerine göre 2012 yılı için ortalama 1 USD = 1,8 TL)

1.000 MWh elektrik enerjisinden yola çıkarak bulunan birim elektrik enerjisi fiyatı, aşağıda yer alan tablo 7'de gösterildiği şekilde hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, sanayi tipi ve orta gerilim elektrik enerjisi birim fiyatı 0,15 USD olarak bulunmuştur.

2.3.3. Cold Ironing Sistemi İçin İhtiyaç Duyulacak Elektrik Enerjisinin Hesaplanması ve Maliyeti

Gemilerin yardımcı makinelerinin güç kullanım hesabı, birim yakıt sarfiyatı ve bu yakıt sarfiyatı sonucunda üretilen elektrik enerjisi değerlerini hesaplamak için gerekli olan yöntem, IMO Second GHG 2009 çalışmaları sırasında ortaya konmuş ve genel kabul görmüş olup aşağıdaki tablolarda özetlenmektedir;

Tablo 8 Yardımcı makine gücü (PAE) ⁽¹⁴⁾

MCR_{ME}	> 10.000 kW	< 10.000 kW
P_{AE}	= (0,025 * MCR_{ME}) + 250	= 0,05 * MCR_{ME}

Tablo 9 Yardımcı makinenin yakıt tüketimi (SFCAE) ⁽¹⁴⁾

Makine Yaşı	$MCR_{AE} > 800$ kW	$MCR_{AE} < 800$ kW
Hepsi	220 g/kWh	230 g/kWh

*ME ve AE, Ana Makina ve Yardımcı Makina;

*P, Makine Gücü (kW);

*MCR, (Maximum Continuous Revolution) Makinanın Maksimum Sürekli Devri

Yukarıdaki belirtilen formüller uygulanarak Marport Terminaline yanan toplam

170 geminin 28.255 saatlik rıhtım süresi boyunca tükettiği yakıt ve buna karşılık gelen elektrik enerjisi ile bunların maliyeti aşağıda yer alan Tablo 10'da özetlenmiştir.

Tablo 10 Toplam yakıt tüketimi ve eşdeğer elektrik enerjisi

TÜKETİM BİLGİSİ		
Enerji	Miktar	Maliyet (USD)
Toplam LS MGO (ton)	4.882,63	4.897.131,41
Toplam Elektrik Gücü (mW/h)	21.728,79	3.351.999,98
MALİYET FARKI	-	1.545.131,43

3. Gemi Kaynaklı Emisyonların Sebep Olduğu Harici Maliyetler

3.1. Gemi Kaynaklı Emisyon Miktarı

Gemilerden yayılan hava kirletici gazlar ile sera gazları, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahiptirler. Bu gazlar kısaca astım, bronşit, akciğer kanseri gibi hastalıklara neden olarak ölümlere yol açabildikleri gibi yine bu gazların neden olduğu asit yağmurları hem tarım ürünlerini hem de doğayı tahrip edip insan sağlığına zarar vermektedirler.

Tablo 11 Gemilerde yakıt olarak % 0,1 kükürt içerikli MGO kullanıma ilişkin emisyon faktörleri

Yıl	Referans Çalışma	Faktör	Sera Gazı			Hava Kirleticiler				
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	NO _x	PM	CO	VOC
1995	LLOYD'S REGISTER [15]	g/kg fuel	-	-	-	2,00	-	-	7,4	-
2001	Cooper [16]	g/kg fuel	3662	0,0620	0,2150	2,01	54,3	1,71	11,04	1,71
2002	ENTEC [17-a]	g/kg fuel	3180	-	-	5,07	64,0	1,38	-	1,84
2003	Oonk et al [18]	g/kg fuel	3173	-	-	2,00	68,1	2,10	12,20	-
2003	Cooper [19]	g/kg fuel	3050	-	-	1,53	77,0	1,49	3,48	0,72
2003	Endresen et al [20]	g/kg fuel	3170	0,3000	0,0800	2,00	57,0	1,20	7,40	2,40
2004	Cooper et al [21]	g/kg fuel	3179	0,0184	0,1430	2,00	62,4	0,92	4,12	0,91
2005	ENTEC [17-b]	g/kg fuel	3318	0,0460	0,1430	2,12	54,3	1,38	6,00	1,84
2006	EUROMAX [22]	g/kg fuel	3140	-	-	5,00	68,0	2,10	12,15	2,61
2006	EPA [23]	g/kg fuel	-	-	-	1,89	64,0	1,93	5,07	1,84
2007	ENTEC [17-c]	g/kg fuel	3180	-	-	4,15	60,0	1,38	-	1,85
2007	STARCREST [24]	g/kg fuel	3180	0,4140	-	1,84	64,0	1,15	5,07	2,40
2008	Fridell et al [25]	g/kg fuel	3210	-	-	-	66,6	1,30	10,50	3,00
2009	TexAQSH (Williams J) [26]	g/kg fuel	-	-	-	6,30	61,5	-	11,00	-
2009	EPA (ICF) [27]	g/kg fuel	3183	0,0184	0,1420	1,94	64,0	1,70	5,07	1,84
2009	IMO GHG [14]	g/kg fuel	3190	0,3000	0,0800	2,00	56,0	1,10	7,40	2,40
2010	Trozzi [28]	g/kg fuel	-	-	-	-	62,0	1,40	-	1,80
2010	Hulskotte and Denier [29]	g/kg fuel	3173	-	-	2,00	68,1	2,10	12,20	2,60

Dünya genelinde yapılan gemi kaynaklı emisyon araştırmalarında temel ilke, öncelikle her bir gaz salınımı için ilgili emisyon faktörünü bulmaktır. Bu çalışmada, literatür taraması yapılarak 1995'ten günümüze çeşitli akademisyenler ve kurumlar tarafından yapılan ve özellikle konteyner gemilerinin rıhtım sürecinde yakıt olarak MGO kullanımını baz alan araştırmaları neticesinde buldukları emisyon faktörleri incelenmiştir. Tablo 11'de rıhtım sürecinde konteyner gemilerinin yardımcı makinelerinin neden olduğu emisyon faktörlerinin hesaplanmasıyla ilgili çalışmaların bir özeti yapılmıştır.

Yıllara göre yapılan çalışmaların incelenmesi neticesinde, bu çalışmada kullanılacak ortalama değerler Tablo 12'de belirtildiği şekilde alınmıştır.

Tablo 12 Referans emisyon faktörleri

Faktör	%0,1 LS MGO Emisyon Faktörleri							
	Sera Gazı			Hava Kirleticiler				
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	SO ₂	NO _x	PM	CO	VOC
g/kg fuel	3213,429	0,166	0,134	2,741	63,019	1,521	8,007	1,984

ENTEC çalışmasında, rıhtımda gemilerden kaynaklanan emisyonun hesaplanması şu şekilde formüle edilmiştir⁽¹⁷⁾;

Rıhtımda meydana gelen emisyon = (Ortalama Rıhtım Süresi, h) * (Ortalama Makine Gücü, kW) *(Yakıt Tüketimi g/kW) * (Emisyon Faktörü, g/kg fuel)

Bu formüle göre, 2012 yılı içerisinde Marport limanına uğrayan 170 farklı konteyner gemisinden üretilen emisyon miktarı, gazların sınıf ve türüne göre hesaplanmış olup bulgular aşağıdaki tablolarda gösterilmektedir.

Tablo 13 Türüne göre toplam emisyon miktarları

Emisyon Türleri (ton)							
SO ₂	NO _x	PM	CO	VOC	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
13,38	307,77	7,43	39,10	9,69	15.693,71	0,65	0,81

Tablo 14 Sınıfına göre toplam emisyon miktarları

Emisyon Sınıfları (ton)		
Hava Kirleticiler	Sera Gazı	Toplam
377,38	15.695,17	16.072,55

Alper KILIÇ ve Cengiz DENİZ'in yapmış oldukları çalışmalarda, 2009 yılında Ambarlı Limanı ve Marmara Denizini kullanan gemilerden kaynaklanan emisyon miktarları şu şekilde hesaplanmıştır^{(30) (31)};

Tablo 15 Gemi kaynaklı emisyonların tahmini miktarı (ton/yıl)

Bölge	NO _x	SO ₂	PM
Marmara Denizi	605,206	494,681	53,290
Ambarlı Limanı	845	242	36

Tablo 15'deki bilgiler ile bu çalışmada bulunan NO_x, SO₂ ve PM emisyon miktarları kıyaslandığında, Marport Limanına uğrayan gemilerin sadece rıhtım süresi boyunca neden oldukları emisyon miktarları, Ambarlı Limanının tamamında ve gemilerin sadece

Tablo 18 Marport Terminaline 2012 yılında gelen gemi kaynaklı emisyonların türlerine göre oluşan harici maliyetler (USD2012)

TÜRLERİNE GÖRE EMİSYON MALİYETLERİ (USD)							
SO ₂	NO _x	PM	CO	VOC	CO ₂	N ₂ O	CH ₄
106.867,50	2.533.038,20	3.194.193,54	2.978,08	10.355,08	404.837,32	4.977,93	477,21

rıhtım süreci değil manevra süreçleri dahil meydana getirdikleri toplam emisyonun yaklaşık 3'de 1'ine tekabül etmektedir.

Aynı şekilde bu veriler ile Marmara Denizinde oluşan gemi kaynaklı emisyonlar kıyaslandığında, Marport Terminalinin NO_x, SO₂ ve PM hava kirleticisi gazlar bazında çok küçük bir katkı sağladığı görülmektedir.

3.2. Gemi Kaynaklı Emisyonların Sağlık ve Çevre Üzerindeki Harici Maliyeti

6. çerçeve programı kapsamında Avrupa Birliği, EXIOPOL (A New Environmental Accounting Framework Using Externality Data And Input-Output Tools For Policy Analysis) adlı 2007 yılında başlayan ve 4 yıl süren bir proje gerçekleştirmiştir. Bu proje 27 AB üyesi devlet ile Türkiye dahil olmak üzere 16 AB'ye dahil olmayan ülkeyi kapsamaktadır. EXIOPOL Projesinde bahse konu 43 devletin ekonomik aktivitelere, sağlık ve çevresel harcamalarına bağlı olarak emisyonların verdiği zararlar hesaplanmıştır. Buna göre emisyonlara ilişkin harici maliyetler Tablo 16, 17, vs 18'de özetlenmektedir⁽³²⁾.

Tablo 16 EXIOPOL Projesi, Ulaştırma modunda emisyon tonu başına harici maliyet faktörleri (USD2012)

Kirleticisi	İnsan Sağlığı	Ekosistem Kalitesi	İklim Değişikliği	Toplam
SO ₂	7.738,84	245,68	0	7.984,52
NO _x	7.001,81	1.228,39	0	8.230,20
PM	429.935,80	0	0	429.935,80
CO	35,62	0	40,54	76,16
VOC	1.154,68	85,99	0	1.068,70
CO ₂	0	0	25,80	25,80
N ₂ O	0	0	7.616,01	7.616,01
CH ₄	0,63	0	589,63	590,25

Tablo 17 Marport Terminaline 2012 yılında gelen gemi kaynaklı emisyonların sınıflarına göre oluşan harici maliyetler (USD2012)

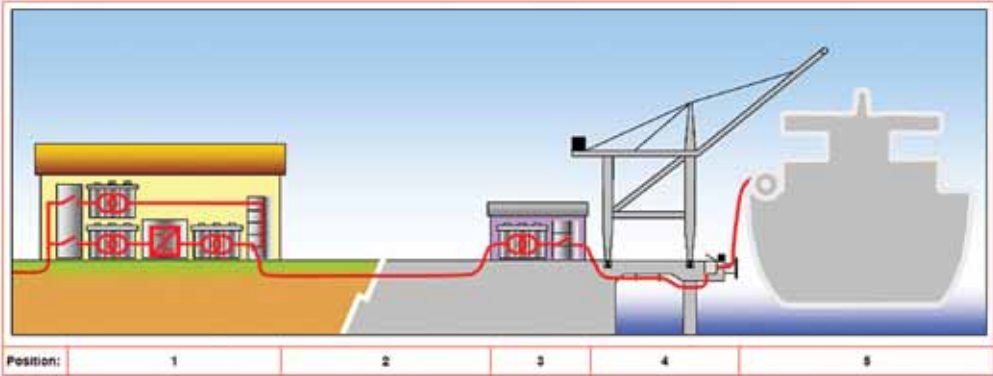
SINIFLARINA GÖRE EMİSYON MALİYETLERİ (USD)		
Hava Kirleticiler	Sera Gazı	Toplam
5.847.432,41	410.292,45	6.257.724,85

Cold Ironing sistemi devreye girdiğinde, 2012 yılı için yapılan hesaplama göre sadece Marport Konteyner Terminalini kullanan gemilerin fosil yakıtları kullanması sebebiyle oluşan 6.257.724,85 USD tutarındaki sağlık giderleri ile çevresel zararlara ilişkin maliyetler ve buna benzer diğer harici maliyetler artık Türk halkı tarafından daha fazla ödenecektir.

4. Marport Terminaline Yönelik Cold Ironing Sistem Yatırımı ve Bu Yatırımın Maliyet Analizi

4.1. Marport Limanı İçin Örnek Dizayn Modeli

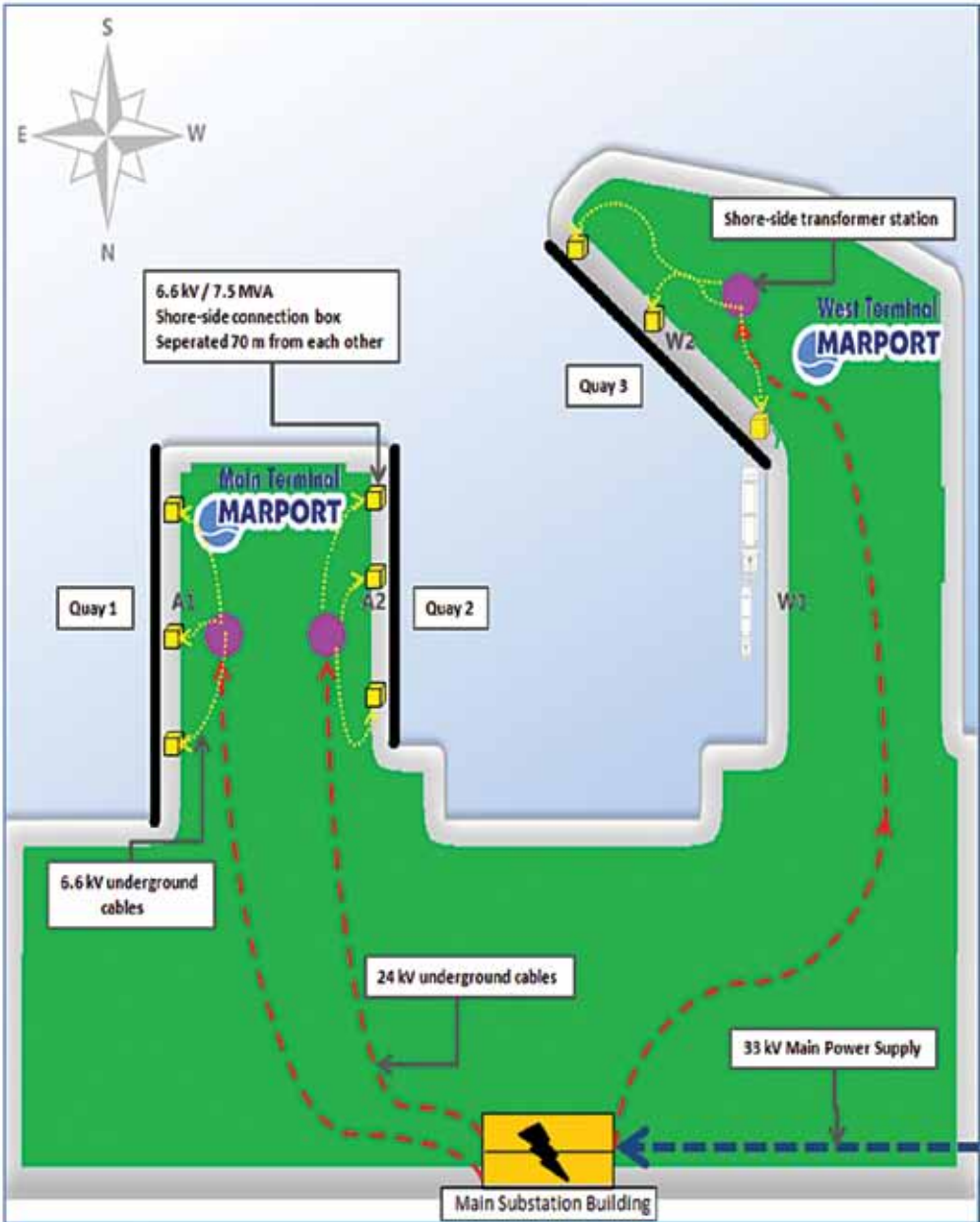
Sektörde lider bir firma olan ABB Co. işbirliğinde Chalmers Üniversitesinde yüksek lisans tezi olarak bir Cold Ironing Sistemi uygulama çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada baz alınan limanın, Marport Konteyner Terminali ile kıyaslandığında benzer bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu modele göre 300'er metre uzunluğunda 5 rıhtıma sahip bir konteyner terminaline 6,6 kV-7,5 MVA elektrik enerjisi sunacak kıyı kaynaklı güç desteği içeren ve her bir rıhtım için 3 adet kablo bağlantısı bulunduracak bir Cold Ironing yatırım sistemi ele alınmıştır. Bu modelde kablo ve kablo toplama sisteminin gemiler tarafından sağlanacağı kabul edilmiştir. Bu modele göre



Şekil 5 Cold Ironing sistemi dizayn örneği⁽³³⁾

Tablo 19 Örnek model dizaynı için pozisyona uygun gerekli ekipmanlar.⁽³³⁾

Pozisyon	Tanımlama	Boyut / No	Kapsam	Marka	Tanımlama
1	Ana Trafo Merkezi	28 x 15 m = 420 m ²	Frekans çevirici	ABB PCS 6000	6-11 MVA, 3.7kV
			Çift bara şalteri	UniGear ZS1	50-60 Hz dağıtıcı 24 kV a kadar uygun
		Her limana bir istasyon	Akım kesici	ABB HD4 SF6	-
2	Kablo ekipmanları	5 km	Yeraltı kabloları	-	Tercihen 24 kV
3	Rıhtım tarafındaki dönüştürücü istasyonu	5 x 2,6 m = 13 m ² (yaklaşık)	Dönüştürücü	Resibloc dry-type	Galvanik ayırıcı
					50 Hz & 60 Hz
		Her rıhtıma bir istasyon	Şartel	Uniswitch	7.5 MVA, 6.6 kV
4	Rıhtım tarafındaki bağlantı ekipmanları	Her rıhtım için 3 set	Bağlantı kutusu	Cavotec	Daha küçük şartel 12 kV
			Bağlantı kablosu	Cavotec	Deniz tarafı kreyn rayları ile rıhtım tarafı arasında boşluk 1m den az ise uygundur. Fiber optik haberleşme kablosu
5	Gemi bağlantı gereksinimleri				
(6)	Rıhtım tarafında güç tedarik kontrolü		SCADA kontrol sistemi		



Şekil 6 Marport Terminali dizayn şeması

tavsiye edilen dizayn konfigurasyonu aşağıdaki Şekil 5'de gösterilmektedir⁽³³⁾.

Şekil 5'de verilen Cold Ironing system dizayn örneğinde belirtilen pozisyonların açıklamaları, pozisyon sırasına uygun olarak her bir pozisyon için gereken ekipmanların

özellikleri ve kapsamı aşağıda yer alan Tablo 19'da gösterilmektedir.

Bu modelden yola çıkarak Marport Terminali için düşünülen Cold Ironing sistem şeması aşağıdaki Şekil 6'da gösterilmektedir. Bu şemanın amacı örnek bir plan göstermek-

tir. Marport terminalinde yapılan gerçek bir fiziksel çalışmaya dayanmamaktadır.

4.2. Marport Limanı için Örnek Model Maliyeti

4.2.1. Birim Fiyat Maliyetleri

Referans model, ABB firmasının sağlamış olduğu veriler ile sistemin kurulması için gerekli tüm ekipmanlar için çok gerçekçi bir tahmini maliyet sunmaktadır. Referans modele göre birim fiyatlar aşağıda yer alan Tablo 20'de görülmektedir.

Tablo 20 Sistem Bileşenlerinin Birim Fiyatları⁽³³⁾

Bileşenler	Birim Detayı	Fiyat(€)
Ana Trafo Merkezi		
Frekans çevirici	5 MVA	975,000
Şalter ve akım kesici	-	220,000
Dönüştürücü	5 MVA	100,000
Kontrol ve Koruma Ekipmanları	-	450,000
Rıhtıma kurulacak dönüştürücü istasyonu ile bağlantı sistemi		
Şalter ve akım kesici	-	85,000
Dönüştürücü	7.5 MVA	220,000
Bağlantı kutusu	-	25,333
Kablolar		
Yeraltı Kablo	24 kV (1 km)	19,571
Yeraltı Kablo	6.6 kV (1 km)	19,500

4.2.2. İyimsen Senaryo

En önemli ekipmanları içeren ana trafo merkezi, sistem içerisindeki en büyük maliyet kalemini oluşturmaktadır. Ana trafo merkezi maliyetini minimize edebilmek için bu maliyetin Ambarlı Liman Kompleksi yönetimi tarafından kompleks içerisinde yer alan tüm konteyner terminal işletmecileri arasında paylaştırılarak ödenmesi iyimsen senaryo olarak kabul edilmiştir. Buna göre ilgili paydaşlar aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır;

*KUMPORT Limanı: konteyner gemileri için 5 rıhtıma sahip olup toplam rıhtım uzunluğu 2034 m.

*MARPORT Limanı: konteyner gemileri için 3 rıhtıma sahip olup toplam rıhtım uzunluğu 1080 m.

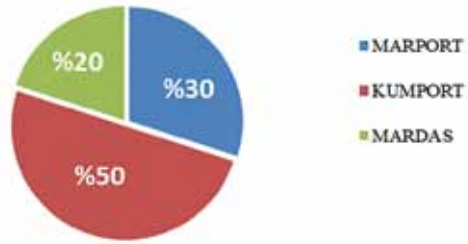
*MARDAS Limanı: konteyner gemileri için 2 rıhtıma sahip olup toplam rıhtım uzunluğu 910 m.

Bu durumda Ambarlı Liman Kompleksi konteyner gemileri için toplamda 4024 m

uzunluğunda 10 rıhtıma sahiptir.

Sonuç olarak; Marport Terminali bu durumda Cold Ironing sisteminin kurulumunda en büyük maliyet kalemi olan ana trafo merkezi maliyetinin Şekil 7'de gösterildiği üzere sadece %30'nu karşılayacaktır. Sistemin diğer bileşenleri Marport Terminalinin liman sahasına ve rıhtımlarına kurulacağından dolayı, bu sistemlere ilişkin maliyetler Marport yönetimi tarafından tek taraflı olarak karşılanacaktır.

Paylaşım Oranları



Şekil 7 Ana trafo merkezi binasının kurulum maliyetinin paylaşımı

İyimsen senaryo göre ana trafo merkezi kurulumu için gerekli olan elektrik sistemi aşağıdaki şekilde listelenmiştir.

*Maksimum elektrik gücü talebi: 4000 kW

*Sisteme bağlanacak gemiler için güç faktörü: 0,8-0,85

*Her gemi için elde edilen görünen güç: $4.000/0,8 = 5.000$ kVA

*10 rıhtım için toplam güç talebi:

10×5.000 kVA = 50 MVA

Çalışmada dikkate alınan gemilerin;

*50 Hz frekans ile çalışan elektrik sistemine sahip olan gemiler: % 15

*60 Hz frekans ile çalışan elektrik sistemine sahip olan gemiler: % 85

*60 Hz frekans ihtiyacı olacak rıhtım sayısı: 8

*Ulusal şebeke 50 Hz olduğu için frekans çeviriciye ihtiyaç duyulmayan rıhtım sayısı: 2

*Ana trafo merkezi donanımı: 8 frekans çevirici

*8 frekans çeviricinin ihtiyaç duyacağı güç: 8×5 MVA dönüştürücü

Tablo 21 İyimsen senaryo yatırım maliyeti hesabı (€)

PROJE MALİYET HESABI-1 (€)						
Ana Maddeler	Alt Maddeler	Sayı	Birim Maliyet	Marport Payı	Toplam	
Ana Trafo Merkezi	Frekans Çevirici (5 MVA)	8	975.000	%30	2.340.000	
	Şalter ve akım kesici	-	220.000	%30	66.000	
	Dönüştürücü (5 MVA)	13	100.000	%30	390.000	
	Kontrol ve Koruma Ekipmanları	-	450.000	%30	135.000	
	Toplam					2.931.000
Rihtımlara kurulacak dönüştürücü istasyonu ve bağlantı ekipmanları	Şalter ve akım kesici	1	85.000	%100	85.000	
	Dönüştürücü (7.5 MVA)	1	220.000	%100	220.000	
	Bağlantı kutuları	3	25.333	%100	75.000	
	Toplam (1 rihtım)					380.000
	3 rihtım için (x3)					1.140.000
Kablolar	Yeraltı kabloları (24 kV)	4,5	19.571 €/km	%100	88.070	
	Yeraltı kabloları (6.6 kV)	3,5	19.500 €/km	%100	68.250	
	Toplam					156.320
Toplam Maliyet					4.227.320	

2 rihtım 50 Hz frekanslı gemilere yeterli olsada yine de rihtımların yarısının 50 Hz'lik gemilerle işgal edilebileceği düşünülmelidir.

*Bu durumda 50 Hz gemilerin talep edileceği enerji miktarı: 5 x 5MVA dönüştürücü

*Toplam gerekli dönüştürücü gücü:

13 x 5MVA = 65 MVA

*Rihtıma kurulacak dönüştürücü istasyonu içerikleri: Şalter ve akım kesici

Dönüştürücü (7,5 MVA)

3 rihtım için 3 bağlantı kutusu

*Bağlantı ekipmanları:

4,5 km x 24 kV yeraltı kablosu

3,5 km x 6,6 kV yeraltı kablosu

Ana trafo merkezinin maliyetinin 3 terminal operatörü tarafından karşılanması halinde; Cold Ironing sisteminin Marport Konteyner Terminaline yatırım maliyeti Tablo 21'de gösterilmektedir.

4.2.3. Kötümser Senaryo

Marport Terminalinin Cold Ironing sistemi için ana trafo merkezi maliyetine tek başına katlanması durumunda ortaya çıkan yatırım maliyeti kötümser senaryo olarak tanımlanmıştır.

Kötümser senaryoya göre ana trafo merkezi kurulumu için gerekli olan elektrik sistemi aşağıdaki şekilde listelenmiştir.

*Gemilerin %95 i için maksimum elektrik gücü talebi: 4.000 kW

*Sisteme bağlanacak gemiler için güç faktörü: 0,8-0,85

*Her gemi için elde edilen görünen güç:

4.000/0,8 = 5.000 kVA

*3 rihtım için toplam güç talebi:

3 x 5.000 kVA = 15 MVA

Çalışmada dikkate alınan gemilerin ;

*50 Hz frekans ile çalışan elektrik sistemine sahip olan gemiler: % 15

*60 Hz frekans ile çalışan elektrik sistemi-

Tablo 22 Kötümser senaryo yatırım maliyeti hesabı (€)

PROJE MALİYET HESABI-2 (€)						
Ana Maddeler	Alt Maddeler	Sayı	Birim Maliyet	Marport Payı	Toplam	
Ana Trafo Merkezi	Frekans Çevirici (5 MVA)	3	975.000	%100	2.925.000	
	Şalter ve akım kesici	-	220.000	%100	220.000	
	Dönüştürücü (5 MVA)	5	100.000	%100	500.000	
	Kontrol ve Koruma Ekipmanları	-	450.000	%100	450.000	
	Toplam					4.095.000
Rıhtımlara kurulacak dönüştürücü istasyonu ve bağlantı ekipmanları	Şalter ve akım kesici	1	85.000	%100	85.000	
	Dönüştürücü (7.5 MVA)	1	220.000	%100	220.000	
	Bağlantı kutuları	3	25.333	%100	75.000	
	Toplam (1 rıhtım)					380.000
	3 rıhtım için (x3)					1.140.000
Kablolar	Yeraltı kabloları (24 kV)	4,5	19.571 €/km	%100	88.070	
	Yeraltı kabloları (6.6 kV)	3,5	19.500 €/km	%100	68.250	
	Toplam					156.320
Toplam Maliyet					5.391.320	

ne sahip olan gemiler: % 85

*60 Hz frekans ile çalışan gemilerin aynı anda rıhtıma gelebilmesi: 3 x frekans çevirici

*3 frekans çeviricinin ihtiyaç duyacağı güç: 3 x 5MVA dönüştürücü

2 rıhtım 50 Hz frekanslı gemilere yeterli olsada yine de rıhtımların yarısının 50 Hz lik gemilerle işgal edilceği düşünülmelidir.

*Bu durumda 50 Hz gemilerin talep edileceği enerji miktarı: 2 x 5MVA dönüştürücü

*Toplam gerekli dönüştürücü gücü:

5 x 5MVA = 25 MVA

*Rıhtım a kurulacak dönüştürü istasyonu içerikleri: Şalter ve akım kesici

Dönüştürücü (7,5 MVA)

3 rıhtım için 3 bağlantı kutusu

*Bağlantı ekipmanları: 4,5 km x 24 kV yeraltı kablosu, 3,5 km x 6,6 kV yeraltı kablosu

Ana trafo merkezinin maliyetinin sadece

Marport Terminali tarafından karşılanması halinde; Cold Ironing sisteminin Marport Terminaline yatırım maliyeti Tablo 22' de gösterilmektedir.

4.3. Yatırım Analizi – Net Bugünkü Değer Yöntemi

Net Bugünkü Değer (Net Present Value) yöntemi NPV;

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{A_i}{(1+r)^i} - C$$

formülü ile ifade edilmektedir.

n proje ömrü,

A_i i. Yılın sonundaki net nakit akışı,

r indirim oranı,

C ilk yatırım maliyeti

Burada, indirim oranı (r) bir yatırım projesinin değerlendirilmesinde kabul edilebilir

Tablo 23 Net Bugünkü Değer Yöntemi için varsayımların özeti

NPV için Varsayımların Özeti		
Yatırımın Periyodu		
Başlangıç yılı	2013	
Amortisman yılı	10	
Finansal Tahminler		
Yakıt Fiyatı Artış Oranı (USD) [35]	% 2,9	
Elektrik Fiyatı Artış Oranı (USD) [36]	%2,0	
İndirim Oranı (USD Enflasyon oranı) [37]	% 4,0	
EURO/USD kuru ¹	1,35	
Limana uğrayan gemi sayısı	Sabit	
Nakit akışının hesaplanması (sistem kullanım oranı %100)		
LS MGO maliyeti (2012 yılı değerleri baz alınarak)	\$ 4.898.295	
Elektrik maliyeti (2012)	\$ 3.204.435	
2012 yılı baz alınarak elektrik enerjisinin MGO ile aynı fiyattan satılması sonucunda oluşacak gelir (2012)	\$ 1.693.860	
İyimser Senaryoya göre yatırımın başlangıç maliyeti		
EUR->USD	€ 4.227.320	\$ 5.706.882
Kötümser Senaryoya göre yatırımın başlangıç maliyeti		
EUR->USD	€ 5.391.320	\$ 7.278.282

(¹ T.C. Merkez Bankası verilerine dayanarak 2013 yılı için EUR/USD çapraz kur ortalaması)

en düşük getiri oranı veya gerekli getiri oranını ifade eder (³⁴).

Marport Terminali'ne yönelik net bugünkü değer yöntemine yönelik varsayımlar Tablo 23' de gösterilmiştir.

4.3.1. Net Bugünkü Değer (NPV) Yönteminin Sonucu

Bu çalışmanın amacına uygun olarak sonuçlar, iyimser senaryo ve kötümser senaryo olmak üzere iki ayrı kısımda incelenmiştir.

a) İyimser Senaryoya Göre NPV Sonucu
İyimser senaryoya göre NPV analizi, aşı-

ğadaki Tablo 24'de belirtildiği şekilde öncelikle tüm konteyner gemileri tarafından rıhtım süresi boyunca MGO yerine Cold Ironing sisteminin kullanıldığı (%100 sistem kullanımı) varsayılarak hesaplanmıştır.

Bu tablo iyimser senaryo açısından en iyi durum olarak kabul edilebilir. Ancak tüm konteyner gemilerinin gerekli elektrik modifikasyonuna sahip olmaması nedeniyle ortaya çıkan bu sonucun ilk aşamada elde edilme ihtimalinin çok düşük olduğu değerlendirilmektedir. Bu yüzden modelde gemilerin Cold

Tablo 24 İyimser Senaryoya göre hesaplanmış NPV sonuçları (USD)

Yıl	2013	2014	2015	2016	2017
MGO Maliyeti	5.040.346	5.186.516	5.336.925	5.491.695	5.650.955
Elektrik Maliyeti	3.268.524	3.333.894	3.400.572	3.468.583	3.537.955
Gelir	1.771.822	1.852.621	1.936.352	2.023.112	2.112.999
Amortisman	0. yıl	1. yıl	2. yıl	3. yıl	4. yıl
Bugünkü Değer Oranı	%100	%96	%92	%89	%85
		1.697.862	1.778.487	1.862.078	1.948.733
Nakit akışı		1.781.367	1.790.267	1.798.539	1.806.201
Yatırım Maliyeti	(5.706.882)	(3.925.515)	(2.135.249)	(336.710)	1.469.491

Ironing sistemi kullanım yüzdeleri değiştirilerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bakış açısıyla Cold Ironing sistemi kullanım oranlarının farklı yüzdelerde olması durumunda sonuçların nasıl değiştiği aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

*Yatırım başlangıcı itibariyle tüm gemilerin (%100) sistemi kullandığı varsayıldığında; yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere sistem, yatırım maliyetini 3 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %10'u tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %10 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 7 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %15'i tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %15 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 6 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta ge-

milerin %20'si tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %20 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 5 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %25'i tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %25 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 4 yıl sonra tazmin edecektir.

b) Kötümser Senaryo Sonucu

Kötümser senaryoya göre NPV analizi, aşağıdaki Tablo 25'de belirtildiği şekilde öncelikle tüm konteyner gemileri tarafından rıhtım süresi boyunca MGO yerine Cold Ironing sisteminin kullanıldığı (%100 sistem kullanımı) varsayılarak hesaplanmıştır.

Bu tablo, kötümser senaryo açısından en iyi durum olarak kabul edilebilir. Ancak tüm konteyner gemilerinin gerekli elektrik modifikasyonuna sahip olmaması nedeniyle bu sonuçlar şu aşamada imkansız gözükmektedir. Bu yüzden modelde gemilerin Cold

Tablo 25 Kötümser senaryoya göre hesaplanmış NPV sonuçları (USD)

Yıl	2013	2014	2015	2016	2017	2018
MGO Maliyeti	5.040.346	5.186.516	5.336.925	5.491.695	5.650.955	5.814.832
Elektrik Maliyeti	3.268.524	3.333.894	3.400.572	3.468.583	3.537.955	3.608.714
Gelir	1.771.822	1.852.621	1.936.352	2.023.112	2.112.999	2.206.118
Amortisman	0. yıl	1. yıl	2. yıl	3. yıl	4. yıl	5. yıl
Bugünkü Değer Oranı	%100	%96	%92	%89	%85	%82
		1.697.862	1.778.487	1.862.078	1.948.733	2.038.554
Nakit akışı		1.781.367	1.790.267	1.798.539	1.806.201	1.813.268
Yatırım Maliyeti	(7.278.282)	(5.496.915)	(3.706.649)	(1.908.110)	(101.909)	1.711.359



Ironing sistemi kullanım yüzdeleri değiştirilerek daha gerçekçi sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Bu bakış açısıyla eğer Cold Ironing sistemi kullanım oranları farklı yüzdelerde olsaydı ne olurdu düşüncesi ile aşağıdaki sonuçlar hesaplanmıştır.

*Yatırım başlangıcı itibariyle tüm gemilerin (%100) sistemi kullandığı varsayıldığında; yukarıdaki tabloda görüldüğü üzere sistem, yatırım maliyetini 4 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %10'u tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %10 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 8 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %15'i tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %15 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini

6 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %20'si tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %20 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 6 yıl sonra tazmin edecektir.

*Cold Ironing sisteminin, başlangıçta gemilerin %25'i tarafından kullanıldığı ve her yıl bu kullanım oranının %25 oranında arttığı varsayıldığında; sistem, yatırım maliyetini 5 yıl sonra tazmin edecektir.

Bu çalışmanın kaynağı World Maritime Univeristy'de N.Hakan PEKŞEN tarafından yürütülen master tezi olup, çalışmada yer alan konulara ilişkin teknik bilgi ve detaylı analizlerin, ilgililerce kaynak tezden doğrudan incelenmesi tavsiye olunur.

5. Sonuçlar

İnsan sağlığına, doğaya, tarıma ve ekosis-

teme zarar veren hava kirletici gazlar ile iklim değişikliğine neden olan sera gazlarıyla ilgili IMO ve AB tarafından alınan tedbir ve yasaklar deniz ticareti paydaşlarının alternatif çözümlere yönelmesini zorunlu kılmaktadır. Armatörlerin gemilerini dünya denizlerinde çevreye zarar vermeden ve alan kısıtlamalarına maruz kalmadan kullanabilmeleri ve diğer yandan Liman işletmelerinin gerek çevreye daha duyarlı olmak gerekse daha çok tercih edilen işletme olabilmek için gerekli altyapı çalışması yapması kaçınılmaz olmuştur. Hiç kuşkusuz bu altyapı çalışması yapılırken en etkin ve en ekonomik alternatifler tercih edilecektir. Bu çalışma neticesinde liman işletmelerine yönelik alternatif bir çözüm yöntemi olan Cold Ironing yönteminin başarısı ortaya konmuştur.

Bu çalışma ile, örnek alınan Marport Terminalini 2012 yılında toplamda 1860 kez ziyaret eden 170 konteyner gemisinden sadece rıhtım sürecinde;

*377,38 ton hava kirletici gaz (SO_x , NO_x , PM, CO ve VOC) ile 15.695,17 ton sera gazının (CO_2 , N_2O ve CH_4) havaya salındığı ve toplamda 16.072,55 ton zararlı gazın sırasıyla, Ambarlı Bölgesi, İstanbul İli ve Marmara Denizine yayıldığı ortaya konmuştur.

*EXIOPOL projesi hesaplama verilerine dayanılarak bu gazlardan hava kirletici olarak adlandırılan gazların Marmara bölgesi ve ülkesinde genelinde sebep olduğu özellikle bronşit, astım ve kanser gibi ölümler ile neticelenebilecek hastalıklar neticesinde ortaya çıkacak sağlık giderleri ile diğer çevresel zararlarının, 5.847.432,41 USD harici maliyet tuttuğu ortaya konmuştur. Ayrıca yine bu gazlardan sera gazlarının özellikle doğaya ve iklim kalitesine vereceği zararlar ile diğer harici maliyetinin 410.292,45 USD tuttuğu, toplam ülke ekonomisine 6.257.724,85 USD ek yük getirdiği ortaya konmuştur.

Marport Konteyner Terminalinin Cold Ironing yönteminin hayata geçirmesi ile rıhtımdaki gemilerin karasal kaynaklı elektrik enerjisi kullanmasından dolayı gemilerden kaynaklanacak emisyonun sıfırlanacağı, özel-

likle Ambarlı Bölgesi ve İstanbul İlinde hava kalitesinin artacağı ve sağlık giderlerinin düşeceği kanıtlanmıştır. Üstelik hesaplamalarda ortaya çıkan bu gazların kaynağı, yasal olarak izin verilen en düşük kükürt içeriğine sahip ve piyasada en kaliteli ve en pahalı deniz yakıtı olarak kabul edilen kütlece %0,1 kükürt içeren MGO'ya dayanmaktadır. Şüphesiz, gemilerin farklı fosil yakıtlar kullanması durumunda ortaya çıkan bu emisyon miktarlarının daha da artacağı açıktır.

2012 yılında Marport terminaline gelen gemilerin rıhtım süresince yakıt olarak LS MGO kullanma maliyeti 4.897.131,41 USD tutmaktadır. Fakat bu gemiler, LS MGO yerine yardımcıları makinelerini çalıştırmayıp doğrudan karasal elektrik enerjisi kullanmış olsalardı bu rakam 3.351.999,98 USD olacaktı. Türkiye'de elektrik üretim maliyetinin LS MGO satın alma maliyetinden düşük olması, liman işletmelerini Cold Ironing yöntemini uygulamak için yatırım yapmaya teşvik edecektir. Sonuçta elektrik birim fiyatı ile buna karşılık gelen MGO kullanım fiyatı arasındaki fark, liman işletmeleri tarafından yatırım maliyetini karşılamak üzere kar olarak alınabilecektir. Marport Konteyner Terminali için Cold Ironing sisteminin yatırım maliyeti ise, Net Bugünkü değer yöntemi kullanılarak iyimser ve kötümser olmak üzere iki ayrı senaryoda incelenmiştir. İyimser senaryoya göre, yatırım maliyeti için gerekli olan 5.706.882 USD'nin terminali ziyaret edecek gemilerin bu sistemi kullanma yüzdelerine göre en iyi halde 3 yıl sonra, en kötü halde 7 yıl sonra liman işletici kuruluş tarafından tazmin edilebileceği hesaplanmıştır. Buna karşılık kötümser senaryo baz alındığında 7.278.282 USD başlangıç yatırım maliyetinin, terminali ziyaret edecek gemilerin bu sistemi tercih etmesi yüzdelerine göre en iyi halde ile 4 yıl sonra, en kötü halde ise 8 yıl sonra Cold Ironing sisteminin kendini finanse edebileceği hesaplanmıştır.

Sonuç olarak Cold Ironing yönteminin, bilinen en kaliteli ve çevresel zararı en düşük fosil kaynaklı deniz yakıtı olarak kabul edilen

LS MGO'dan bile daha çevresel ve zararsız bir alternatif enerji kaynağı olduğu ortaya konmuş olup, Türkiye'de elektrik enerjisi üretim maliyetinin MGO maliyetinden düşük olması sebebiyle yatırım maliyetinin geri dönüşünün çok uzun zaman almayacağı ve Türk limanları için Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen "green port" projesi kapsamında en uygulanabilir yöntemlerin başında geldiği kanaatine varılmıştır.

Kaynakça

- (1) İlkışık M.F. "MARPOL 73/78 birleştirilmiş çeviri" Deniz Ticaret Odası, yayın no 68, 2. Baskı, 2005
- (2) IMO (2012), Regulation 14 (SOX) of Annex IV to MARPOL 73/78.
- (3) IMO (2012), Regulation 13 (NOX) of Annex IV to MARPOL 73/78.
- (4) Lloyd's Register, "ECA Map", Ağustos 2011. Erişim adresi: <http://www.lr.org/sectors/marine/documents/227034-eca-map-august-2011.aspx>
- (5) Türk Loydu, "Bazı Akaryakıt Türlerindeki Kükürt Oranının Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik" Newsletter-07-2011.
- (6) Deniz Ticareti Genel Müdürlüğü, "Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri" 2013, erişim adresi: https://atlantis.denizcilik.gov.tr/istatistik/gemi_gecis.aspx
- (7) Karadeniz, G., "Ambarlı Port Breaks Records Constantly. An interview with the General Manager, Altas Ambarlı Liman Tes. Ticaret A.S. Port", Marine&Commerce, Temmuz 2013. Syf: 40-42.
- (8) Moon, D. "Performance Indicators (PPI) and Analysis - Part I. Berth KPIs" World Maritime University Ders Notu, 2013
- (9) Altaş Limanı, "Liman Genel Görünüm Resmi", 2013. erişim adresi: www.altasliman.com
- (10) Marport, "Yıllara Göre Konteyner Elleçleme Rakamları" 2013. erişim adresi: www.marport.com.tr
- (11) BUNKERINDEX, "Akdeniz Limanları düşük kükürt içerikli MGO fiyatları" 2013, erişim adresi: www.bunkerindex.com
- (12) EPDK, "2012 yılı için belirlenen elektrik enerjisi tarifeleri", 2013. erişim adresi: www.epdk.gov.tr
- (13) TEDAŞ, "Elektrik faturası hesaplama", 2013. erişim adresi: www.tedas.gov.tr
- (14) Buhaug, Ø. ve diğerleri, "Second GHG Study", International Maritime Organization (IMO) London, UK, Nisan 2009.
- (15) Lloyd's Register Engineering Services, "1995. Marine exhaust emissions research programme". London, England.
- (16) Cooper, D.A., (2001), "Exhaust emissions from high speed passenger ferries." Atmospheric Environment 35, (2001), Syf: 4189-4200, Table-7: AE measurement results during periods with steady-state engine load operation (all gas parameters refer to dry exhaust gas except for THC, NMVOC and PM).
- (17) European Commission Directorate General Environment Service Contract on Ship Emissions, "Shore-Side Electricity Final Report", Entec UK Limited, (a) 2003, (b) 2005, (c) 2007.
- (18) Oonk, H. ve diğerleri, "Emission factors of seagoing ships on the purpose of yearly emission calculation (in Dutch)", TNO-report R2003/438 version 2, 2003.
- (19) Cooper D.A. "Exhaust emissions from ships at berth" Atmospheric Environment 37 (2003) Table-5: AE measurement results at steady-state engine load operation, Table-9: Estimates of total AE emissions (kg), fuel consumption (kg) and total power requirement (kWh) for the six measurement ships during actual harbour stops. Syf: 3817-3830
- (20) Endresen, Ø. ve diğerleri, "Emission from international sea transportation and environmental impact" Journal Of Geophysical Research, Vol. 108, NO. D17, 4560, doi:10.1029/2002JD002898, 2003
- (21) Cooper, D. ve Gustafsson, T. "Methodology for Calculating Emissions from Ships: 1. Update of Emission Factors." Swedish Environmental Protection Agency, Swedish Methodology for Environmental Data. Norrköping, Sweden. 2004.
- (22) Doves S., "Alternative Maritime Power in the Port of Rotterdam / A feasibility study into the use of shore-side electricity for containership moored at the Euramax Terminal in Rotterdam" Port of Rotterdam Report, September 2006.
- (23) United States Environmental Protection Agency, "Current Methodologies and Best Practices in Preparing Port Emissions Inventories", ICF Consulting, Haziran 2006,
- (24) Starcrest Consulting Group, LLC, "Port of Long Beach Air Emissions Inventory", 2005.
- (25) Fridell E. ve diğerleri, "Primary particles in ship emissions", Atmospheric Environment 42 (2008) Table 3 Summary of the data from the measurements. Syf: 1160-1168.
- (26) Williams, E.J. ve diğerleri, "Emissions of NOX, SO2, CO, H2CO and C2H4 from commercial marine shipping during TexAQs 2006." J. Geophysical Review, 2009.
- (27) Browning L. ve Bailey K., "Current Methodologies and Best Practices for Preparing Port Emission Inventories", ICF Consulting, EPA 2009, Table 10. Auxiliary engine emission factors.
- (28) Trozzi C., "Update of Emission Estimate Methodology for Maritime Navigation", Techne Consulting report ETC.EF.10 DD, May 2010.
- (29) Hulskotte, J.H.J., H.A.C. Denier van der Gon, "Fuel consumption and associated emissions from seagoing ships at berth derived from an on-board survey." Atmospheric Environment, 44, syf: 1229-1236, 2010
- (30) Kılıç, A. (2009), "Marmara Denizi'nde Gemilerden

- Kaynaklanan Egzoz Emisyonları”, BAÜ FBE Dergisi Cilt:11, Sayı:2, 124-134 Aralık 2009, pg 131.
- (31) Deniz, C. and Kılıç A, “Estimation and Assessment of Shipping Emissions in the Region of Ambarlı Port, Turkey”, Environmental Progress & Sustainable Energy, Volume 29, Issue 1, 2009, pages 107-115.
- (32) EXIOPOL, “A New Environmental Accounting Framework Using Externality Data And Input-Output Tools For Policy Analysis, Final report providing external cost values to be applied in an EE SUT framework”, Mart 2010, PROJECT N. 037033, syf: 57, Table-A8: External cost values (in Euro2000) per tonne for the EU-27, transport/traffic.
- (33) Ericsson, P. ve Fazlagic, I., “Shore-Side Power Supply, A feasibility study and a technical solution for an on-shore electrical infrastructure to supply vessels with electric power while in port”. Master of Science Thesis, Chalmers University of Technology. Goteborg, Sweden.2008
- (34) Myles, D. (2003), “Investment Analysis” Mayıs 2003. Syf: 6
- (35) EIA “Annual Energy Outlook 2013, U.S. Energy Information Administration”, Nisan 2013. Erişim adresi: [http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383\(2013\).pdf](http://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/0383(2013).pdf)
- (36) Korkmaz, O. (2013), “Long Term Electricity Price Predictions for Turkey Between 2013 And 2030”, APLUS Energy Investment Technology Consultancy, 19th International Energy and Environmental fair and Conference (ICCI) 2013.
- (37) Bureau of Labor Statistics, “CPI Inflation Calculator”, 2013. Erişim adresi: http://www.bls.gov/data/inflation_calculator.htm