

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİMANLAR İÇİN BÜTÜNLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ GÜÇ
SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet MİRDALI

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Pelin BOLAT

ARALIK 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİMANLAR İÇİN BÜTÜNLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ GÜÇ
SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Mehmet MİRDALI
(512151027)**

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Anabilim Dalı

Deniz Ulaştırma Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Pelin BOLAT

ARALIK 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 512151027 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Mehmet MİRDALI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “LİMANLAR İÇİN BÜTÜNLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ GÜÇ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Pelin BOLAT**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Yalçın DURMUŞOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Dr. Öğr. Birsen KOLDEMİR
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 16 Kasım 2018
Savunma Tarihi : 11 Aralık 2018





***Tez çalışmam boyunca, beni daima destekleyen canım eşim N. Narin Mirdalı' ya
ve cesaretlendirici, ufuk açıcı yönlendirme ve destekleri ile hep yanımda olan sayın
danışman hocam Dr. Öğr. Pelin Bolat'a gönülden teşekkürlerimi sunarım,***



ÖNSÖZ

Limanların Yeşil Enerji yöntemleriyle donatılmalarının tüm yönleriyle ele alınması üzerine yapmış olduğum yüksek lisansın, ülkemizin enerji çeşitlenmesinin farklı sahalarda uygulamaya başlanmasıyla birlikte denizcilik alanında da hayat bulmasının ülke yararına bir çalışma olacağı motivasyon ve gayretimi arttırmıştır. Bu çalışmada Akdeniz Bölgesinde yer alan bir limana ait enerji maliyetleri hesaplanarak en verimli yenilenebilir enerjiye geçişle birlikte oluşacak kar-maliyet hesabı kıyaslanarak verilmiştir. Bu çalışmanın konu seçiminden, veri kaynaklarına ulaşılmasına, verilerin incelenmesi ve yorumlanmasında önemli desteklerlerinden ve kıymetli katkılarından dolayı danışman hocam sayın Dr. Öğr. Pelin BOLAT'a en içten saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca üzerimde kıymetli emekleri olan bütün hocalarıma, benim için dualarını eksik etmeyen ve çalışmam için bana en uygun koşulları sağlamış olan aileme ve eşime, çalışmamla ilgili yardımlarından dolayı Samsunport ve Limakport kadrosuna ve tez çalışmam boyunca beni destekleyen, stresimi ve yoğunluğumu hoş gören tüm sevdiklerime teşekkür ederim. Ayrıca, Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmanın, gerçek hayatta uygulanır olmasını ve akademik alanda kullanılıp geliştirilen bir çalışma olmasını temenni ederim.

Aralık 2018

Mehmet Mirdalı



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Giriş ve Konu Akışı.....	1
1.2 Literatür İncelemesi.....	3
1.2.1 Denizcilik, yenilenebilir enerji, ekonomi ve çevresel konular üzerine ilgili yayınlar	3
2. DÜNYA’DA YEŞİL ENERJİ VE YEŞİL LİMAN UYGULAMALARI	11
2.1 Kıyı Güç Kaynağı (Onshore Power Supply – OPS).....	11
2.2 Cold Ironing Yöntemi (Liman Güç Kaynağı)	12
2.2.1 Limanda bağlı gemilerin yardımcı makinelerinin yerine kıyı güç kaynağı kullanımı	12
2.2.2 Kıyı güç kaynağı üzerinde artan odaklanma	13
2.3. Dünya’daki Yeşil Liman Uygulamaları	14
2.3.1 Baltık Denizi’ndeki limanlar	14
2.3.2 Cenova Limanı – İtalya	14
2.2.1 Cenova Limanı’ndaki enerji alanındaki yenilikler	18
2.2.1.1 Liman çevre enerji planı (Port environmental energy plan - PEEP)	18
2.2.1.2 Jeotermal ve hidrotermal enerji	18
2.2.1.3 Gemi tamir rıhtım ve tersanelerindeki iskelelerin elektrifikasyonu	18
2.2.1.4 Led aydınlatma, elektrikli araç ve şarj istasyonları	19
2.4 Liman ve Denizcilik Alanındaki Çevresel Sorunlar.....	19
3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE LİMANLAR	23
3.1. İklim Değişikliği Arka Planı	23
3.2. Sera Gazı Emisyonları ve Emisyon Kapsamları	24
3.3. Yeşil Limanlar için Dünya Limanları Sürdürülebilirlik Programı (World Ports Sustainability Program - WPSP)	25
3.4. Çevre Gemi Endeksi (Environmental Ship Index - ESI) Temelleri	27
3.5. Limanlarda Temiz Hava ve Gemi Emisyonları.....	28
3.6. IMO Ek VI Yönetmelikleri Ve Ana Hatlar	29
3.6.1. Azot oksitler (Nitrogen oxides)	29
3.6.2. Sülfür oksitler (Sulphur oxides)	30
4. DÜNYA’ DA VE TÜRKİYE’ DE ENERJİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	31
4.1 Türkiye’ de Enerjide Dışa Bağımlılık	31
4.2 AB ve Türkiye’ De Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı.....	31

4.3 OECD Ülkeleri Ve Türkiye’ deki Ortalama Yıllık Enerji Tüketimi	33
4.4 Türkiye’nin Yıllık Brüt Elektrik Üretim Miktarı Ve Artış Oranları	34
4.5 AB ve Türkiye’de Elektrik Fiyatlarının Seyri	35
4.6 Türkiye ve AB Ülkeleri Sera Gazı Emisyon Miktarları	37
5. KULLANILAN YÖNTEM.....	39
5.1 HOMER Enerji Programı	39
5.1.1 Simülasyon.....	41
5.1.2 Optimizasyon	43
5.1.3 Hassas Analiz.....	46
5.2 Ekonomik Modelleme	47
5.3 Sistem Öğelerinin Modellenmesi	49
6. A LİMANINA AİT ENERJİ YÜKÜ KARAKTERİSTİKLERİ	57
6.1 Denizcilik ve Limanlar Açısından Sürdürülebilir Çevre ve Enerjinin Önemi	57
6.2 Optimizasyonu Yapılacak Liman	58
6.3 Akdeniz’de Yer Alan “A Limanı” Bölge Yük Karakteristiği	58
6.4 “A Limanı” Bölge Güneş Enerjisi Karakteristiği	61
6.5 “A Limanı” Bölge Rüzgar Enerjisi Karakteristiği.....	65
7. OPTİMUM HİBRİT SİSTEM TASARIMI.....	73
7.1 A Limanı Şebeke Bağlantılı Sistem Tasarımı	73
7.2 Akdeniz’ de Yer Alan A Limanı’nın Enerji Tüketim Verilerinin Ekonomik Analizi	77
7.3 Şebeke Bağlantılı Homer Simülasyon Sonuçları Ve Analiz	93
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	103
9. KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ	115

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
BM	: Başlangıç (Sermaye) Maliyeti
ELK	: Elektrolizör
EM	: Enerji Maliyeti
ETKB	: Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı
ESI	: Environmental Ship Index (Çevresel Gemi Endeksi)
GHG	: Greenhouse Gas (Sera gazı)
HT	: Hidrojen Tankı
IAPH	: International Association of Ports and Harbors (Uluslararası Limanlar ve Barınaklar Birliği)
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change (Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli)
IRR	: Internal Rate of Return (İç Getiri Oranı)
KON	: Konvertör (Doğrultucu, Dönüştürücü)
KYO	: Kapasite Yetersizlik Oranı
MPPT	: Maximum Power Point Tracking (Maksimum Güç Noktası İzleyicisi Noktası İzleyicisi)
NPC	: Net Present Cost (Net şimdiki Maliyet)
NREL	: National Renewable Energy Laboratory (Amerika Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı)
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik Güneş Paneli)
RT	: Rüzgar Türbini
SM	: Sistem Maliyeti (Net şimdiki Maliyet)
SO_x	: Sulphur Oxides (Kükürt Oksit)
şEB	: şebeke
OPS	: Onshore Power Supply (Sahil Güç Kaynağı)
PM	: Partikül Madde
ROI	: Return of Investment (Yatırımın Getirisi)
SECA	: Sulphur Emission Control Area (Kükürt Emisyon Kontrol Alanı)
TEÜ	: Toplam Elektrik Üretimi
UNIDO	: United Nations Industrial Development (Birleşmiş Milletler Milletler Endüstriyel Kalkınma Örgütü)
YES	: Yenilenebilir Enerji Sistemi
YP	: Yakıt Pili



SEMBOLLER

CFC	: Kloroflorokarbon
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
GW	: Gigawatt (Cigavat)
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kW	: Kilovat
kWh	: Kilovat saat
m	: Metre
MW	: Megavat
O₂	: Oksijen
°C	: Santigrat derece



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : IMO' nun yeşil ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma üzerine operasyonel çerçevesi.	22
Çizelge 3.1 : ESI, NOX puanının hesaplanması.	30
Çizelge 3.2 : Yakıtta MARPOL Ek VI Sülfür Sınırı (m / m).	30
Çizelge 6.1 : A Limanı aylık güneşlenme değerleri.	62
Çizelge 6.2 : Arazi türlerine göre yüzey pürüzlülük değerleri.	68
Çizelge 7.1 : A limanı 2016 yılına ait aylık toplam enerji tüketimi (kwh).	74
Çizelge 7.2 : A Limanı 2016 yılına ait saatlik enerji tüketimi (kWh).	84
Çizelge 7.3 : 2016 yılı toplam ve aylık ortalama enerji tüketim verileri (kWh).	85
Çizelge 7.4 : A limanı 2016 yılı T1, T2, T3 zamanları, vinçler ve aydınlatma enerji tüketimi.	88
Çizelge 7.5 : 2016 yılı 1 kWh enerji maliyeti.	88
Çizelge 7.6 : A limanı saatlik ve günlük maliyetler.	89
Çizelge 7.7 : A limanı 2016 yılına ait aylık toplam enerji maliyetleri (\$/kWh).	91
Çizelge 7.8 : Yıllık, aylık, günlük, saatlik ortalama enerji tüketim miktarları ve maliyetleri.	92



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Otomatik sahil güç kaynağı kablo konumlandırma makinesi [21].....	12
Şekil 2.2 : Yüksek Voltajlı Kıyı Güç Kaynağı Şeması [19].....	13
Şekil 2.3 : Cenova Limanı.	15
Şekil 2.4 : VTE Konteyner Terminali.....	15
Şekil 2.5 : SECH Konteyner Limanı.	16
Şekil 2.6 : Messina Limanı.	16
Şekil 2.7 : İtalya yolcu ve kruvaziyer limanı.	17
Şekil 2.8 : Cenova Limanı.	17
Şekil 2.9 : Gemi - sahil elektriği beslemesi temsili.	19
Şekil 3.1 : Liman Operasyonlarına İlişkin Kapsamlı Örnekler[26].....	24
Şekil 3.2 : Şirket, gemi ve liman çevre performansı ve sürdürülebilirlik.....	27
Şekil 3.3 : IMO Ek VI NOX Limit Değeri (g / kWh).....	29
Şekil 4.1 : Türkiye Net Enerji Tüketimi İçindeki İthalat Payı.....	31
Şekil 4.2 : AB ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı...	32
Şekil 4.3 : Bazı Avrupa Ülkelerinde 2015 Yılında Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı.	33
Şekil 4.4 : 2004-2014 Yıllarında OECD Ülkelerinde Yıllık Enerji Tüketimi (Ton Eşdeğer Petrol).	34
Şekil 4.5 : Yıllık Brüt Elektrik Üretim Miktarı ve Artış Oranı.	35
Şekil 4.6 : AB Ülkelerinde Elektrik Fiyatları (€/kWh).....	36
Şekil 4.7 : AB ve Türkiye’de Evsel Elektrik Fiyatının Satın Alma Gücü Standartlarına göre Yıllık Değişimi.	36
Şekil 4.8 : Sektörel Sera Gazı Dağılımı (Yüzde).....	37
Şekil 4.9 : AB ve Türkiye’de Kişibaşına Düşen Seragazı Salımı (Ton/Kişi).....	38
Şekil 4.10 : Toplam Sera Gazı Emisyonları (Milyon Ton CO2).	38
Şekil 5. 1 : Homer Energy Programı, Simülasyon, optimizasyon ve hassas analiz hesaplamaları arasındaki kavramsal ilişki.....	41
Şekil 5.2 : Rüzgar-dizel sistemi.	44
Şekil 5.3 : Arama alanı, 140 sistem konfigürasyonu (5 x 1 x 7 x 4 = 140).	44
Şekil 5.4 : Toplam sistem (ömür) maliyetine göre optimum konfigürasyonlar tablosu.	45
Şekil 5.5 : Kategorizelendirilmiş optimizasyon sonuçları tablosu.	46
Şekil 6.1 : A Limanı elektrik yük profili.	60
Şekil 6.2 : A Limanı aydınlatma ve vinçlere ait elektrik yük profili.	60
Şekil 6.3 : A Limanı için vinçler ve aydınlatmalara ait aylık yük profili.	61
Şekil 6.4 : Aylara göre günlük radyasyon ve berraklık (netlik) indeksi.	63
Şekil 6.5 : A Limanı aylık ortalama küresel yatay güneş radyasyonu Homer verileri.	63
Şekil 6.6 : A limanı yıllık elektrik yükü profili.	64
Şekil 6.7 : A Limanı aylık ortalama rüzgar hızları profili.	66
Şekil 6.8 : A Limanı aylık ortalama rüzgar hızı verileri.....	66
Şekil 6.9 : A Limanı için bölgeye ait bir yıllık rüzgar hızı değişimi.	67

Şekil 6.10 : Türbin yüksekliğine göre rüzgar hızı profili.	69
Şekil 6.11 : Türbin yüksekliğine göre rüzgar hızı profili.	71
Şekil 7.1 : A Limanı şebeke bağlantılı sistem yapısı.	73
Şekil 7.2 : Homer programı A limanı için elektrik yük verileri.	75
Şekil 7.3 : A limanı elektrik yükü verileri.	75
Şekil 7.4 : Ölçeklendirilmiş yıllık ortalama yük verileri.	75
Şekil 7.5 : Ekonomik parametreler.	76
Şekil 7.6 : Homer programı yük kapasitesi ve yenilenebilir enerji çıkışı ile ilgili kısıtlamalar.	76
Şekil 7.7 : Optimizasyon verileri.	77
Şekil 7.8 : A Limanı 2016 yılı ocak ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	77
Şekil 7.9 : A Limanı 2016 yılı şubat ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	78
Şekil 7.10 : A Limanı 2016 yılı mart ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	79
Şekil 7.11 : A Limanı 2016 yılı nisan ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	79
Şekil 7.12 : A Limanı 2016 yılı mayıs ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	80
Şekil 7.13 : A Limanı 2016 yılı haziran ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	80
Şekil 7.14 : A Limanı 2016 yılı temmuz ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	81
Şekil 7.15 : A Limanı 2016 yılı ağustos ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	81
Şekil 7.16 : A Limanı 2016 yılı eylül ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	82
Şekil 7.17 : A Limanı 2016 yılı ekim ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	82
Şekil 7.18 : A Limanı 2016 yılı kasım ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	83
Şekil 7.19 : A Limanı 2016 yılı aralık ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.	83
Şekil 7.20 : A limanı 2016 yılı saatlik enerji tüketim miktarları (kWh).	84
Şekil 7.21 : A limanı 2016 yılı aylık ortalama enerji tüketimi (kWh).	86
Şekil 7.22 : A limanı 2016 yılı bir yıllık tüketilen ortalama enerji miktarları (kWh).	86
Şekil 7.23 : A limanı günlük enerji maliyetleri.	90
Şekil 7.24 : T1, T2 ve T3 zamanlarına ait aylık ortalama enerji tüketim maliyetleri (\$/kWh).	91
Şekil 7.25 : Simülasyon sonuç raporu.	93
Şekil 7.26 : Homer programı optimum sistem bileşenleri.	94
Şekil 7.27 : A limanı için yenilenebilir enerji sistem bileşenleri.	94
Şekil 7.28 : Yenilenebilir enerji sistem maliyeti.	95
Şekil 7.29 : Yenilenebilir enerji sistemin her bir bileşenin ürettiği elektrik miktarı ve yüzdesi.	95
Şekil 7.30 : Harcanan enerji miktarı ve yüzdesi.	96
Şekil 7.31 : PV sistem güç çıkışı verileri.	96
Şekil 7.32 : 1,5 Megawtlık sistem güç çıkışı verileri.	97

Şekil 7.33 : 3 Megawtlık sistem güç çıkışı verileri.	97
Şekil 7.34 : Şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji verileri.	98
Şekil 7.35 : AC-DC dönüştürücü (convertor) çıkış güç verileri.	99
Şekil 7.36 : Emisyon miktarları.	99
Şekil 7.37 : Ekonomik parametreler.	100
Şekil 8.1 : Hibrit sistem ve şebeke elektriği sistemi.	104
Şekil 8.2 : Şebeke elektriği ve hibrit sisteme ait nakit akışı.	105
Şekil 8.3 : Hibrit sistem & şebeke elektrik sistemi indirgenmiş (discounted) nakit akışı.	105
Şekil 8.4 : Hibrit sistem & şebeke elektriği sisteminin proje ömrü boyunca nakit akışı	106
Şekil 8.5 : İngiltere'de bir liman yakınlarında yer alan yenilenebilir enerji sistemi.	106
Şekil 8.6 : İngiltere'deki bir limana yakın yenilenebilir enerji sistemleri.	107





LİMANLAR İÇİN BÜTÜNLEŞİK YENİLENEBİLİR ENERJİ GÜÇ SİSTEMLERİNİN TEKNO-EKONOMİK ANALİZİ

ÖZET

Ülke ekonomilerinin gelişmesi, refah seviyelerinin yükselmesi ve küresel kalkınmanın önemli bir unsuru olan ticaret % 90 oranla deniz taşımacılığı ve limanlarla gerçekleşmektedir. Enerjinin yoğun olarak kullanıldığı denizcilik sektörünün en önemli bileşenleri olan gemilerin ve limanların enerji tüketimindeki payı da yüksektir. Bunun doğal sonucu olarak yüksek enerji talebiyle birlikte denizcilik sektöründe artan fosil yakıt kullanımı karbon emisyonu, sera gazı ve küresel ısınma üzerinde olumsuz etkilerin artmasına neden olmaktadır. Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO – International Maritime Organization) sera gazı salınımlarının azaltılması amacıyla gemilerde düşük sülfürlü yakıt kullanımının sağlanması için yapmış olduğu çabalar mesafe kaydetmeye başlamış olmakla birlikte denizcilik sektörünün tüm bileşenlerinin küresel iklim değişikliğinin önlenmesi, limanlarda alternatif ve yenilenebilir enerji kullanımı ve denizcilik sektöründe enerji verimliliği konularında atması gereken daha çok adım vardır.

Dünya ticaretinde oldukça önemli bir paya sahip denizcilik sektöründeki özel ve kamusal teşebbüslerin, genellikle maliyetleri azaltmak amacıyla olsa da, hem sosyal sorumluluk, ticari prestij ve çevresel hassasiyet, hem de ulusal ve uluslararası zorunlulukları karşılamak amacıyla sera gazı salımı azaltma ve enerji arzı güvenliği maksadıyla alternatif enerji kaynaklarından enerji temini ve enerji verimliliği çalışmaları dikkat çekmeye başlamıştır. Enerji ihtiyacının karşılanmasının denizcilik endüstrisindeki önemi ve yüksek maliyeti ile çevresel kaygılar; sürdürülebilir, yeşil ve temiz enerji kaynaklarının tercih edilmesi ve enerjinin verimli kullanılması konusuna olan dikkatleri arttırmıştır.

Sanayi ve ticari faaliyetlerin, dolayısıyla enerji tüketiminin yoğun olduğu Türk ve dünya liman bölgelerindeki yüksek enerji kullanımının ana unsurları olan gemilerde, bazı yük elleçleme ekipmanlarında ve liman içi yük transfer araçlarında, aydınlatmalarda, soğutmalı depolarda, binalarda, ofislerde ve işletmelerde kullanılan enerji genellikle fosil yakıtlardan veya şebekeden gelen elektrikten sağlanmaktadır.

Türkiye’de ve dünyada denizcilik alanında yenilenebilir ve yeşil enerji kaynaklarının kullanımı oldukça düşük seviyede kalırken, gemilerle yapılan nakliyyede ve iskelelerdeki yük elleçleme operasyonlarında çoğunlukla fosil yakıt kullanılmaktadır. Ayrıca bir çok Türk ve dünya limanlarında yer alan ofis ve işletmelerde aydınlatmada, iklimlendirmede ve günlük kullanımda genellikle sahil şebeke elektriğinin kullanımı denizcilik kaynaklı hava ve çevre kirliliğinin önlenmesi, sürdürülebilir ve yeşil limanların oluşturulması için küresel önlemlerin alınmasını kaçınılmaz bir hale getirmiştir.

Denizcilik sektörünün hem deniz hem de kara kısmı birlikte değerlendirildiğinde ihtiyaç duyulan enerji miktarı ve maliyeti ile birlikte çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkileri yeşil limanların yaygınlaşmasını ve denizciliğin tüm unsurlarıyla birlikte yenilenebilir, çevreci ve temiz enerji kaynaklarına yönelmesini zorunlu kılmaktadır.

Günümüz ve geleceğe yön veren denizcilik faaliyetlerini ve liman hizmetlerini sunan küresel ölçekli denizcilik şirketleri ve liman yönetimleri; hava, çevre, deniz ve gürültü kirliliğinin azaltılmasının ve önlenmesinin yanı sıra sürdürülebilir ve temiz enerjinin kullanımını yasal zorunlulukların ötesinde sosyal sorumluluk bilinciyle gönüllü eylemlere dönüştürmüştür. Denizcilik alanında çevre hassasiyeti konularına ciddiyle yaklaşan ve denizcilik sektörüne öncülük eden örnek uygulamalara sahip gemi operatörleri ve liman işletmecileri için, çevre ile iş sağlığı ve güvenliği konularındaki duyarlılık artık kurumsallık, rekabet ve prestij unsuru olmuştur.

Limanlar için bütünleşik yenilenebilir enerji güç sistemlerinin yaygınlaşarak ve limanlarda yeşil strateji gözetilerek, temiz, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarını kapsayan tüm hedef ve programların temel amacı; tüm dünya limanlarda küresel ölçekte çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirliğin sağlanarak karbon ayak izinin azaltılması ve sera gazlarının önlenerek küresel ısınmanın olumsuz etkilerini azaltmaktır.

Bu projedeki amacımız limanlarımızın enerji ihtiyacının yeşil, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla karşılanarak hem emisyon değerlerinin hem de enerji maliyetlerinin düşürülmesidir. Limanlardaki enerji maliyetlerinin yapılan iş hacmiyle orantılı olarak yüksek oluşu buralarda kullanılan enerjinin maliyetlerinin düşürülmesinde yenilenebilir ve kesintisiz enerji kaynaklarını kullanmanın önemini arttırmaktadır.

Yakın zamanda yapılmış çalışmalar incelendiğinde görülmüştür ki, Dünyada bu maksatla deniz fenerleri, stadyumlar, fabrikalar, işletmeler, hava alanları ve daha farklı projelerde yenilenebilir enerji kaynakları tatbik edilmiş ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Ancak limanlarda temiz enerji kaynaklarının kullanımı ise çok yeni bir uygulama olup dünyada örneklerinin az oluşu ve Türkiye’de tatbik edilmeye yeni yeni başlaması ve yaygınlaşmamış olması bu tez çalışmasına olan ihtiyacı doğurmuştur. Bu alanda henüz yapılmış bir çalışma olmayışı nedeniyle limanların da kendi potansiyellerini ve enerji maliyetlerini nasıl düşürebileceklerini görmelerinin önünde bir engel oluşturmaktadır. Yapılacak olan bu tez çalışmasında elde edilecek veriler ışığında liman bölgeleri net olarak harcadıkları enerji miktarlarını, bunun yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanması halinde elde edecekleri tasarrufu, ihracatta ve ticari rekabette yatırım ve hedeflerini büyütme potansiyellerini görmelerine imkan yaratacaktır.

Bu amaçla öncelikle liman yükleme-tahliye operasyonlarında, liman alanındaki yük elleçleme ve depolama, aydınlatma ve diğer hizmetlerinde sarfedilen toplam enerji miktarının saatlik, günlük haftalık, aylık ve yıllık bazda tespit edilerek enerjiye harcanan toplam maliyetin bulunması hedeflenmiştir.

Akdeniz’deki liman bölgesinde bulunan rıhtım ve iskelelerde tüketilen elektrik miktarının kaç kilowatt/saat olduğu ve toplam maliyetinin tespit edilmesinin ardından bu miktarların yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ne kadar sürede amorti edilebileceği ve uzun vadede sağlayacağı karlılığı hesap etmek için söz konusu liman işletmecisinden bu bilgileri talep edilmiştir.

Akdeniz’de yer alan limanın koordinat bilgileri, tüketilen saatlik enerji miktarları ve elde edilen diğer veriler, Homer Programına girilerek farklı senaryolarla yenilenebilir hibrit enerji sistemleri uygulanmış, en uygun ve en ekonomik olan sistem, üzerinde çalışılan liman için tespit edilmiştir. Homer programı ihtiyaç duyduğu küresel solar radyasyonu verilerini, sıcaklık, açıklık indeksi ve rüzgar kuvvetini internetten indirerek algoritmik hesaplar yaparak en uygun sistem bileşenlerini tespit edip optimum sistem ve ekonomik maliyet hesabı yapmaktadır.

Program her bir sistem tasarımının tekno-ekonomik analizi için Homer (NREL, US) yazılımını kullanmıştır. Yazılım, tasarımcı tarafından girilen; proje ömrü, sistemin kurulacağı lokasyon bilgileri ve buraya ait sıcaklık, güneş, rüzgar vb. meteorolojik veriler, ihtiyaç duyulan enerji yükü (talebi), enflasyon oranı, reel faiz oranı, tasarlanacak yenilenebilir enerji bileşenlerinin miktar ve özellikleri, sistemin bakım onarım maliyetleri, emisyonlardan kaynaklı ceza ve kısıtlamalar vb. her bir parametreyi simüle ederek net sistem maliyetine göre uygulanabilir sistem kombinasyonlarını sıralamaktadır.

Yapılan çalışmada belirlenen tekno-ekonomik parametrelere göre farklı senaryolar, söz konusu liman için simüle edilerek şebeke bağlantılı optimum hibrit enerji sistemi tasarlanmıştır. Analizi yapılan pilot bölgenin farklı senaryolarla elde edilen veriler ışığında ortaya çıkan optimum sistemi, farklı varyasyonlar ve senaryolarla kıyas yapılarak en doğru yenilenebilir sistem tercihi kolaylıkla şekillenmiştir. Bu çalışmada tasarlanan hibrit enerji sistemi, bölgenin enerji ihtiyacı ve kaynak uygunluğuna göre minimum maliyet ve maksimum güvenilir enerji arzı hedeflenmiştir.

Bütünleşik yenilenebilir enerji güç sistemlerinin tekno ekonomik analizinin yapıldığı bu çalışmada seçilen pilot bölge Akdeniz’de bir liman olup, verileri alınan söz konusu limanın talebi üzerine ismi açıkça belirtilmemiştir.

Hibrit olmayan sistemler, uygulanabilir sistem kombinasyonları arasında yer almazken, şebeke bağlantılı hibrit sistem, şebeke bağlantısı olmayan sistemlere kıyasla sistem maliyeti ve enerji üretim maliyeti açısından daha avantajlı bulunmuştur. Sistem maliyeti, bileşen maliyetleri ve enerji üretim maliyetlerinin tekno ekonomik analizlerine göre en optimum ve uygulanabilir sistem tasarımı incelenmiştir.

Çalışmada, söz konusu limanın enerji yüküne ait maliyetler, Homer programı dışında excel programıyla da saatlik, günlük, aylık ve yıllık bazda hesaplanarak sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre şebekeden beslenen limana ait enerji maliyetlerinin her iki programda karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu maliyetler, uygun bir yenilenebilir hibrit enerji sisteminin kurulması durumunda, enerji maliyetleri açısından oldukça makul rakamlara düşerek limanın orta ve uzun vadede karlılığa geçmesini sağlayacaktır.

Bahse konu olan liman için hassasiyet ve optimizasyon ayarları yıl içerisindeki ortalama değerler için birbirinden bağımsız simülasyonlar yapılarak çıktılar incelenmiş ve en makul maliyete ulaşabilmek için sistem bileşenleri ve hassasiyet ayarları tek tek denenmiştir. Yenilenebilir enerji bileşenlerinin her bir maliyeti, bakım onarım masrafları, hurda değerleri ve diğer maliyetler bu bileşenlerin internetteki sayfaları ve ürün model ve özelliklerine göre piyasa değeri ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

Modellenen hibrit sistemin mevcut maliyeti düşünüldüğünde, yıldan yıla bileşen maliyetlerindeki düşüş, şebeke elektrik fiyatlarındaki ve enflasyondaki yükseliş ile birlikte değerlendirildiğinde, şebeke enerji fiyatlarıyla rekabet edebilir olmasının yanı sıra daha çok avantaj sağladığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak ortaya çıkan optimum ve uygun bir yenilenebilir enerji sisteminin, limanın enerji ihtiyaçlarını karşılaması açısından orta ve uzun vadede enerji maliyetleri üzerinde olumlu ve karlı bir etki sağlayacak sistemi belirlemeleri, tercih etmeleri ve karar verme süreçleri üzerinde netlik sağlaması açısından yararlı olacaktır.



TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF HYBRID POWER SYSTEMS FOR PORTS

SUMMARY

The development of the country's economies, the increase in welfare levels and the 90% of the trade, which is an important element of global development, are carried out by sea transportation and ports. The share of ships and ports, which are the most important components of the maritime sector where energy is used intensively, is high in energy consumption. As a consequence of this, the increasing use of fossil fuels in the maritime sector together with high energy demand causes negative effects on carbon emissions, greenhouse gas and global warming.

International Maritime Organization (IMO) efforts to reduce greenhouse gas emissions have begun to make progress in ensuring low sulphur fuel use on ships, but there are more steps that all components of the maritime sector need to take in the global climate change prevention, alternative and renewable energy use in ports and energy efficiency issues in the maritime sector.

Although private and Public Enterprises in the maritime sector, which have a significant share in World Trade, are generally intended to reduce costs, efforts to supply and improve energy efficiency from alternative energy sources have begun to attract attention to both social responsibility, commercial prestige and environmental sensitivity and to reduce greenhouse gas emissions and energy supply security to meet national and international

The importance of meeting the energy needs in the maritime industry and its high cost and environmental concerns have increased attention to the choice of sustainable, green and clean energy sources and the efficient use of energy.

The energy used in ships, some load handling equipment, and internal port transport vehicles, lighting, refrigerated warehouses, buildings, offices and enterprises, which are the main elements of high energy use in Turkish and World ports where energy consumption is intensive, is usually provided from fossil fuels or electricity from the network.

While the use of renewable and green energy sources in the maritime area remains very low in Turkey and the world, fossil fuel is mostly used in shipping and cargo handling operations on ships and in ports. In addition, the use of grid electricity in lighting, air conditioning and daily use in offices and enterprises in many Turkish and World ports has made it inevitable that global measures should be taken to prevent marine air and environmental pollution and to create sustainable and green ports.

In addition to the amount and cost of energy needed when both the sea and land part of the maritime sector are evaluated together, its impact on Environment and human health necessitates the expansion of the green ports and the diversion of renewable, green and clean energy resources along with all the elements of the maritime sector.

Global maritime companies and port administrations, which provide maritime activities and port services that lead to today and the future, have turned the use of sustainable and clean energy into voluntary actions with social responsibility beyond legal requirements as well as reducing and preventing pollution of air, environment, sea and noise. The sensitivity to environmental and occupational health and safety issues has become an element of institutionalization, competition and prestige for ship operators and port operators who have exemplary practices that approach environmental sensitivity issues seriously and lead the maritime sector.

The main objective of all targets and programs encompassing clean, sustainable and renewable energy sources by spreading integrated renewable energy power systems for ports and taking into account the green strategy in ports is to reduce the negative effects of global warming by reducing carbon footprint and preventing greenhouse gases by ensuring environmental, economic and social sustainability in ports all over the world.

Our aim in this project is to reduce both the emissions and energy costs by meeting the energy needs of our ports with green, clean and sustainable energy resources. The high cost of energy costs in the ports is proportional to the volume of work, increasing the importance of using renewable and uninterrupted energy sources in reducing the costs of energy used in these areas.

Recent studies have shown that, for this purpose, renewable energy sources have been applied to lighthouses, stadiums, factories, enterprises, airports and other projects in the world and successful results have been obtained. However, the use of clean energy resources, which has caused the need for the study of this thesis because there are few examples in the ports in turkey and in the world is a very new application and the new beginning. This is an obstacle for port authority to seeing their potential that how harbors can reduce energy costs because there is not any work done yet.

In this thesis study, it will be possible to see the potential amount of energy that the port areas spend clearly in the light of the data, if they are met with renewable energy sources, the potential to increase export and commercial investment and targets. For this purpose, it is aimed to determine the total amount of energy consumed in cargo handling and storage, lighting and other services in port area by determining hourly, daily, weekly, monthly and yearly basis and total cost of energy.

In order to calculate the amount of electricity consumed in the docks and wharfs in the Mediterranean port and the total cost of electricity consumed in the docks and wharfs, the amount of time they can be recycled by renewable energy sources and the profitability to be provided in the long term are requested from the port operator.

The coordinate data of the port in the Mediterranean, the amount of energy consumed per hour, and the other data obtained, have been applied to the Homer Program with renewable hybrid energy systems with different scenarios and the most suitable and most economical system has been determined for the port being worked on. Homer program is able to calculate global solar data, temperature, clearance index and wind force by downloading algorithmic calculations by determining the most suitable system components and making optimum system and economic cost calculations.

Obtained data Homer program in the Mediterranean port using the coordinate information, the amount of energy consumed per hour was entered. Renewable hybrid energy systems have been implemented with different scenarios and the most suitable and most economical system has been determined for the port. Homer program is able

to calculate global solar data, temperature, clearance index and wind force by downloading algorithmic calculations by determining the most suitable system components and making optimum system and economic cost calculations.

The program used Homer (NREL, US) software for techno-economic analysis of each system design. Software entered by the designer; project life, location where the system will be installed and meteorological data such as temperature, sun, wind etc., the required energy load (demand), infusion rate, real interest rate, the amount and characteristics of renewable energy components to be designed, maintenance costs of the system, fines and restrictions due to emission etc. list the system combinations that can be applied according to the net system cost by simulating each parameter.

According to the techno-economic parameters, different scenarios were simulated for the port and an optimal hybrid energy system with grid connection was designed. In the light of the data obtained from different scenarios of the pilot region analyzed, the optimum system is easily shaped by the most suitable renewable system by comparing it with different variations and scenarios. Hybrid energy system designed in this study is aimed at minimum cost and maximum reliable energy supply according to the energy requirement and resource appropriateness of the region.

The pilot region in which the techno-economic analysis of integrated renewable energy power systems is made is a port in the Mediterranean and the name of the port at which the data is received is not clearly stated at the request of the port.

While non-hybrid systems are not among the applicable system combinations, the grid-connected hybrid system has been found to be more advantageous in terms of system cost and power generation cost compared to non-grid connected systems. According to the techno-economic analysis of system costs, component costs and energy production costs, the most optimal and applicable system design is examined.

In this study, the costs of the energy load of the port were calculated on hourly, daily, monthly and yearly basis with the EXCEL program besides the homer program. According to the results obtained, the energy costs of the port from the network are quite high compared to both programs. In the event of the establishment of an appropriate renewable hybrid energy system, these costs will decrease considerably in terms of energy costs and enable the port to move to profitability in the medium and long term.

The sensitivity and optimization settings for the said port were analyzed separately for the average values during the year and the system components and sensitivity settings were individually tested in order to achieve the most reasonable cost.

Each cost of renewable energy components, maintenance and repair costs, scrap values and other costs are calculated based on market value averages based on the pages and product models and specifications of these components on the internet.

Considering the current cost of the modeled hybrid system, the decrease in component costs from year to year, combined with the rise in grid electricity prices and inflation, has been observed to be more advantageous as well as being competitive with grid energy prices.

The resulting system, which will provide a positive and profitable impact on the energy costs of the medium and long term in terms of meeting the energy needs of the ports with an optimum and appropriate renewable energy system, will be useful in terms of clarifying the preferences and decision making processes.

This work presents a study about supplying electrical energy from grid connected renewable sources with both solar and wind energy remove the GHG emissions and other pollutant gases for “Port A”.

The analysis presented in this study confirms the fact that the economic and financial viability of investment for renewable power system in “Port A” is highly profitable and also reducing negative effect of greenhouse gas emissions.

Implementation of supplying electricity from hybrid energy systems would then serve to motivate maritime industry and port authorities and it would ensure a sufficiently widespread availability of hybrid power systems infrastructures as it would turn enhance the economic and financial viability of investment.

This study presents and evaluates results of optimum hybrid renewable energy system for “Port A”, including their modeling and simulation, optimization, reliability, economical suitability and the optimal size design by using Homer energy program.



1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Konu Akışı

Deniz taşımacılığı ve limanlar, uluslararası ticaretin omurgası ve küreselleşmeyi yönlendiren en önemli lokomotiflerdir. Günümüzde yaşanabilir, temiz bir çevre için sera gazı emisyonları ve bundan kaynaklı çevresel zararları önlemek maksadıyla limanlarda, liman içerisindeki iş ve faaliyet alanlarında ve rıhtımlarda bağlı gemilere, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen alternatif enerji ve elektrik tedariki tüm dünyada yaygınlaşarak yeşil liman oluşturulması amaçlanmaktadır. Yeşil liman yada ekolojik liman, çevre hassasiyeti ve ekonomik çıkarlar arasında iyi bir dengeye sahip, yeşil enerji imkanı sunarak liman ve çevresinde gemi ve liman kaynaklı hiçbir kirliliğe taviz vermeyen, denizcilik endüstrisinde büyümeyi, yenilenmeyi ve gelişimi en üst düzeye çıkarmayı hedefleyen, sürdürülebilir bir kalkınma, uluslararası rekabet, iş güvenliği ve prestiji ön planda tutan limandır.

Son yıllarda dünya, deniz ve liman endüstrisinin hızla gelişmesiyle birlikte, artan enerji talebine bağlı olarak çevresel konularda yaşanan olumsuzlukların günden güne ciddi bir hal alması liman ve denizcilik alanlarında da bir takım küresel önlemlerin alınmasını zorunlu kılmıştır. Artık, liman alanlarının kirlilik oranının, sadece kirletici emisyonları açısından değil, aynı zamanda su kalitesi ve gürültü kirliliği kaynakları açısından diğer kentsel alanlardan daha yüksek olduğu alanlar olduğu bilinmektedir [1]. Büyük liman şehirlerinin ve limanların yanı başında yer alan şehirlerin; rıhtımdaki ve demirdeki gemiler ile deniz ve kara yollarıyla yapılan yük ve yolcu taşımacılığında çoğunlukla fosil yakıt kullanımına bağlı olarak emisyonlara maruz kalması, kentsel yaşam kalitesini ve iklim değişikliğini olumsuz etkilemektedir.

Ekolojik çevre bilincinin, limanlarda yönetim ve personel açısından yeterli seviyede olmaması, gemi üzerinde ve limanlarda günlük iş ve operasyonlarda fosil yakıt kullanımına bağlı olarak karbon salınımının hava kirliliği ve sera gazlarının artışına olan etkisi, çevre ve sosyal denetim eksikliği, hava ve çevrenin büyük ölçüde tahrip olmasına neden olmaktadır. Ayrıca liman yönetimleri ve işletmeleri; kamu denetimi ve teşvikleri olmadan, kısa vadeli ekonomik menfaatler için daha temiz sürdürülebilir

enerji, iş ve faaliyetleri göz ardı etmektedir. Bazı liman işletmeleri yaptıkları liman operasyonlarının çevre üzerindeki etkisini göz önüne almadan sadece yaptıkları lojistik büyümeyi ve operasyonel gelişmeyi önemsemektedirler. Sonuç olarak, limanların yeşil enerji sistemleriyle işletilmesi, sadece ekolojik liman/yeşil liman oluşturulması için büyük bir öneme sahip olmakla kalmayıp, aynı zamanda liman lojistiği operasyonlarındaki enerji giderlerinin azaltılması ve ekonomik ve sürdürülebilir enerji talebinin karşılanarak verimliliğin ve büyümenin artırılmasında ve operasyon sürecinde ekolojik çevre koruma performansının geliştirilmesinde de önemli bir rol oynamaktadır.

Küreselleşmeyle birlikte artan tüketime bağlı olarak hızla büyüyen ticaret, sanayileşme, çevreye rağmen sürdürülen ekonomik kazanç odaklı faaliyetler, doğal yaşam ve enerji kaynaklarının hızla azalarak yok olmasına, iklim değişikliğine, hava, deniz ve çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir. Ticareti kolay, ekonomik ve küresel ölçekte karlı kılan önemli etkenlerden deniz ve liman operasyonları, taşınan yük çeşitliliği, kapasite ve yük hacmi olarak dünya üzerinde tüm limanlar ve şehirler arasında sürdürülebilir bir ekonomi oluşturmada ve kalkınmada çok önemli bir aktördür. Tüm dünyada artan gemi trafiği ve liman operasyonlarının yoğunluğunun meydana getirdiği küresel ekolojik sorunlar ve çevre üzerindeki olumsuz etkisi yeşil çevre, ekolojik liman veya yeşil liman konularına olan ilgiyi arttırmaktadır.

Son yıllarda liman ve denizcilik endüstrisi, küresel olarak iklimin olumsuz yöndeki değişikliğinin önlenmesi, çevre ve doğal yaşamın korunması ile ilgili kanun ve mevzuatlara uygunluk açısından sıkı ve yakın incelemelere tabi tutularak ekonomik ve ticari kalkınmayı yeşil enerji tüketimine geçişle karşı karşıya bırakmaktadır. Özellikle iklim değişikliği, hava kirliliği ve çevresel konulardaki küresel duyarlılık, denizcilik sektöründe gemi ve yük elleçleme, liman ve rıhtımların kapasite hacim ve sayılarının artması, liman hinterlandının genişlemesi konularında günden güne artmaktadır. Denizcilik ve liman sektöründeki ekonomik, sürdürülebilir ticari büyüme ve gelişme için hedeflenen yeterli kapasite, kaliteli hizmet, taleplere cevap verebilme ve makul maliyetli çözümler yerine getirilirken ekonomik, sosyal ve çevresel değerler arasında doğru bir denge ile birlikte yeşil liman stratejisi de oluşturulmalıdır. Hem ekonomik hem de çevresel hedeflerin yerine getirildiği yeşil liman stratejisinin oluşturulması, limanların sürdürülebilir ekonomik büyüme ve rekabet edebilme koşullarında gelişimlerine katkı sağlayacaktır. Çevre yasalarının uygulamasının yanı sıra ticari

işletme ve kurumlar sürdürülebilir bir iş ve ticaret için yeşil ve çevreci bir işletme koşulları ve görüntüsü elde ederek daha yüksek kar ve kazanç elde etme fırsatını yakalarlar [2].

Sürdürülebilir ve ekonomik kalkınmada çevrenin korunması, ticaret ve iş hedeflerinin amaçları birbirinden ayrı ve çelişkili olmamalıdır [3]. Dünya ticaretinin yaklaşık yüzde 90'ına tekabül eden uluslararası deniz taşımacılığının etkin çalışması için, güvenli, emniyetli, verimli ve çevreye duyarlı bir şekilde teknik standartların uygulanmasını ve bu uygulamanın sağlanması için de küresel politikalar ve düzenlemeler gerektirmektedir. Uluslararası denizcilik endüstrisi dünya ticareti için vazgeçilmezdir. Bu nedenle, dünya ticaretinin (ve küresel GSYİH ve nüfusun) büyümesi ile çevreye etki etme potansiyeline sahip olan deniz taşımacılığı faaliyetinin yaygınlaşmasıyla ve bunun bir sonucu olarak, yeşil ekonomiye geçiş yeşil büyümeye katkıda bulunacak denizcilik için yarattığı fırsatlar arasında doğrudan bir korelasyon vardır [4].

Şu anda deniz taşımacılığının CO₂ emisyonlarını azaltmadaki rolünü yerine getirmesi için acil bir ihtiyaç üzerinde odaklanmakla birlikte, denizcilik gerçekten büyük bir endüstri olduğu da gözönüne alındığında, çevre üzerinde birçok yönden etki etme potansiyeline sahip olduğunu anlamak önemlidir.

1.2 Literatür İncelemesi

1.2.1 Denizcilik, yenilenebilir enerji, ekonomi ve çevresel konular üzerine ilgili yayınlar

Arz ve talep oranının küresel fosil kaynaklı rezervlerinin yoğun kullanımına bağlı olarak iklim değişikliği üzerindeki olumsuz etkilerinin artması, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygın kullanımını tercihten öte bir zorunluluk olarak benimsenmesini sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji teknolojilerinin ilerlemesinin aksine bunlardan elde edilen enerji maliyetlerinin düşmesi, alternatif ve seçeneklerin çoğalması, neredeyse tüm özel ve kamusal hizmet alanlarında sürdürülebilir kalkınma ve temiz enerji ihtiyacının zorunluluğu karar verme süreçlerini önemli ölçüde etkilemiştir. Anormal küresel ölçekli çevresel değişimin ortaya çıkması nedeniyle, sürdürülebilir kalkınma kavramı gittikçe daha önemli hale gelmektedir [5].

Sürdürülebilir kalkınma kavramı ilk kez, 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nca hazırlanan Brundtland Raporu'nda "Bugünün gereksinimlerini,

gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma" olarak tanımlanmıştır. 2015 yılında kabul edilen, 2030 yılı BM Sürdürülebilir Kalkınma Hedefleri ile yeni bir küresel kalkınma çerçevesi çizerek sürdürülebilir şehirler, iklim değişikliği, kuraklıkla mücadele, biyoçeşitliliğin korunması gibi çevre konuları sürdürülebilir kalkınma gündemine alınmıştır [6].

Gelecek kuşakların ihtiyaçlarını karşılayabilme olanağından ödün vermeksizin günümüz kuşaklarının ihtiyaçlarını karşılayabilecek bir kalkınma modeli olan “sürdürülebilir kalkınma”, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişme hedeflerinde ortak paydayı “sürdürülebilirlik” olarak belirlemektedir. Geleceği de sahiplenen bu ortak hedef, herkesin temel ihtiyaçları ile daha iyi bir hayata ilişkin beklentilerinin karşılanmasına imkân vermeye yöneliktir. Ekonomik ve sosyal yapı ile çevre etkileşiminin bütüncül bir şekilde değerlendirilerek bugünkü ve gelecekteki nesillerin kalkınmanın getirdiği fırsatlardan hakkaniyetli bir şekilde yararlanmasının sağlanması, sürdürülebilir kalkınmanın temel felsefesini oluşturmaktadır [7].

Yaşam döngüsü yaklaşımı (yaşam döngüsü düşüncesi) bir ürünün yaşam döngüsünün her aşamasındaki etkilerini hesaba katma cesaretini teşvik etmektedir. Yaşam döngüsü yaklaşımı ve üçlü alt çizgi yöntemi entegrasyonu, yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirmesini (Life Cycle Sustainability Assessment-LCSA) oluşturur; Bu yöntem sadece sürdürülebilirliğin tüm yönlerinin birbiriyle uyumlu olmasını ve kontrol edilmesini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda belirli bir ürünün kullanım ömrü boyunca etkisini de göz önünde bulundurur [8].

Sürdürülebilirlik kavramı ekonomik refah, çevre kalitesi ve sosyal adalet olarak 3 kavram ile tanımlanabilir [9]. İş dünyasında sürdürülebilir olmak ve ekonomik performansın artırılmasında yeşil önlemlerin alınması ticari açıdan katkı sağlamaktadır [10]. İşletmelerin ana faaliyetini, büyümesini, kârlılığını ve hatta hayatta kalmasını etkilediği için yeşil önlemlerin alınması stratejiktir [11].

Özcan (2009), yaptığı çalışmada belirli bir bölgede bulunan belirli bir yükü ekonomik açıdan optimum şekilde besleyebilecek bir sistem tasarımını belirleyebilmek için şebeke bağlantılı rüzgar ve güneş enerji sistemlerinden oluşan bir hibrid enerji sistemini HOMER ile modellenmiş, optimizasyon ve hassaslık analizi işlemleri gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada şebekeye elektrik satabilecek ve şebekeye elektrik

satamayacak rüzgar ve şebeke bağlantılı sistemin optimum olabileceği rüzgar hızı ile güneş enerji sistemi konfigürasyonu üzerine simülasyonlar çalışılmıştır [12].

Zamagni (2012) ele aldığı makalede, yaşam döngüsü kavramına dayanan Avrupa düzeyinde çok sayıda çevresel politikanın, sürdürülebilirlik değerlendirmelerinde değerli destek sağlayabilen yaşam döngüsü yaklaşımının özünde bir sistem perspektifi bulunduğu bahsetmektedir. Sürdürülebilir Tüketim ve Üretim Eylem Planı (CEC 2008), Atık Çerçeve Direktifi (anonim 2006), Doğal Kaynakların Sürdürülebilir Kullanımı Konusunda Tematik Strateji (CEC 2005) ve Çevre Teknolojileri Eylem Planı (CEC 2004), vb. çevre politikaları sadece birkaçını içermektedir. Bu çalışma, elektrik üretim teknolojilerinin sürdürülebilirlik performansını değerlendirmek için kullanılacak bütünsel ve sistematik bir bölgesel yaşam döngüsü sürdürülebilirlik değerlendirme modelini ortaya koymaktadır. Yazarın bilgisine göre, türünün ilk modeli olan bu sistemin pratikliği, İngiltere'nin Kuzey Doğu bölgesinde güneş (fotovoltaik - PV) teknolojisinin kullanıldığı bir vaka çalışması ile gösterilmektedir. Bu yazıda ayrıca, enerji teknolojilerinin daireselliğinin yeni bir göstergesi sunulmaktadır. [13].

Yılmaz ve diğerleri (2007), yaptıkları çalışmada Gebze'de bulunan eğitim kampüsünün elektrik ihtiyacının bütünleşik yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanması üzerine bir fizibilite çalışması yapmışlardır. Bütünleşik yenilenebilir enerji kaynakları farklı senaryolar denenerek uygulandığında, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı sayesinde düşük maliyetli bir enerji üretimi sağlanabileceği sonucuna varılmıştır. Şebekeden beslenen eğitim kampüsünün 1 yıl boyunca saatlik elektrik ihtiyacı ve elektriğe ödemiş olduğu toplam maliyet verileri, bölgenin rüzgar, güneşlenme, bulutluluk vb. meteorolojik verileri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının yaklaşık maliyetleri, bölge için en uygun dizaynı seçecek algoritma aracı kullanılarak kampüsün elektrik ihtiyacına cevap verecek en uygun bütünleşik yenilenebilir enerji sistemi ve maliyeti bulunmuştur. Bulunan sonuca göre kampüs için en uygun yenilenebilir enerji sisteminin rüzgar jeneratörü olduğu ve bu sistemin kurulması halinde enerji maliyetini düşüreceği sonucuna varılmıştır [14].

Ata ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada, Celal Bayar Üniversitesi Muradiye yerleşkesinde bulunan Muradiye Kredi ve Yurtlar Kurumu (KYK) kız yurdunun elektrik ihtiyacının karşılanmasına yönelik güneş ve rüzgâr hibrit sistem kurulması amacıyla kız yurdunun yıllık ve aylık elektrik tüketim değerleri tespit edilerek

kurulabilecek hibrit sistemle ilgili gerekli fizibilite çalışmaları, hesaplamalar ve değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan mali ve teknik değerlendirilmeler sonucunda projenin uygulanabilir olduğu, kurulması düşünülen hibrit sistemle elektrik ihtiyacının karşılandığı ve sistemin, maliyetini 5 yıl içerisinde karşılayabileceği hesaplanmıştır [15].

Salin ve diğ. (2016) yaptıkları çalışmada, elektrik sağlayan güç sistemlerine odaklanan yenilenebilir enerji sistemlerinin değerlendirilmesi için HOMER ve RETScreen'i kullanan bir modelleme sistemi önermişlerdir. HOMER, sistem için enerji sistemi bileşenlerinin, maliyetinin ve elektrik paylaşımının optimizasyonunu sağlamak için kullanılmıştır. HOMER'in sonuçları daha sonra sistemlere yönelik enerji senaryosu ile ayrıntılı proje analizi için diğer uygun girdilerle birlikte RETScreen'de girdi olarak kullanılmıştır. Bir vaka çalışması olarak, bu çerçevede Bangladeş'in Kutubdia Adası'ndaki Solar PV-Diesel enerji sistemini ve Wind-Diesel enerji sistemini değerlendirmek için kullanılmıştır [16].

Okundamiya ve diğ. (2015) yaptıkları çalışmada gelişen dünyadaki evsel elektrik üretimi için şebeke güç kaynağı, rüzgar enerjisi dönüşümü, güç elektroniği ve depolama ünitelerinden oluşan şebeke bağlantılı hibrid enerji sisteminin (HES) uygulanabilirliğini incelemektedir. Bir rüzgar enerjisi dönüşüm sisteminin işletilmesinin tekno ekonomik faydalarını belirlemeyi amaçlayan bu çalışmada, Nijerya'ya yayılan altı tipik yerleşim bölgesinin meteorolojik verileri kullanılmıştır. Buna göre makalede bir elektrik şebekesi ağının bulunmamasının etkisini incelemiş ve şebekeye bağlı HES'in optimum kapasite tahsisi için bir model geliştirmiştir. Şebeke besleme ünitesi olasılık bazlı bir tahmin tekniğini içermektedir. Rüzgar enerjisi sistemi modellemesi, üretici tarafından sağlanan rüzgar türbini güç profili kullanılarak parçalı üçüncü dereceden polinomlara dayanmaktadır. Formüle edilmiş optimizasyon problemi, bir hibrid Genetik Algoritma ve Patern Arama (hybrid Genetic Algorithm and Pattern Search, h-GAPS) tekniği kullanılarak çözülmüştür. H-GAPS tabanlı yaklaşım, verimli çalışmayı sağlamak için güç üretimini ve dağıtımını sınırlandırmaktadır. Kullanılan h-GAPS optimizasyon yöntemi, sistemin güvenli çalışmasını sağlarken enerji talebini güvenilir bir şekilde sağlamak için üretim ve dağıtım gücünü sınırlandırmaktadır. Geliştirilen modeli kullanarak, on haneden oluşan R2 alt grup tüketicilerine güvenilir güç sağlamayı amaçlayan bir şebeke / rüzgar / akü sistemi simüle edilmiştir. Değişen iklim koşullarında altı test durumu incelendi.

Elektriğin en büyük kısmı, ortalama % 94,2 ile rüzgardan elde edilmiştir. Çalışmaya göre 10 kW / 5.40 kWh kurulu güce sahip bir rüzgar / akü sistemi toplam elektrik talebinin % 95,4'ünü karşılayabilmekte, elektrik ödemelerinin % 77'sinden fazlasını tasarruf etmekte ve güvenilirliği yaklaşık % 140 oranında arttırmaktadır. Bu, ABD Doları başına 30.69 kWh'lik bir enerji üretim miktarına tekabül etmektedir. Makalede elde edilen sonuçlar, önerilen güç sisteminin maliyet tasarrufundan faydalanabileceğini ve güç güvenilirliğini artırabildiğini, ancak finansal faydaların kapsamının coğrafi koordinatlara bağlı olduğunu göstermiştir [17].

Bateman (1996) yaptığı çalışmada, Avustralya' nın çevre ile ilgili düzenlemelerini ve bunun liman ve denizcilik endüstrisi üzerindeki etkilerini ele almıştır. Çevresel koruma maliyeti konusunda duyulan endişenin endüstrinin sorumluluğu olduğundan ziyade toplumsal bir sorumluluk olduğu aşamasına ulaştığını dile getirmektedir [18].

Wooldridge ve diğ. (1999) İngiltere liman sektörünün çevre mevzuatına nasıl tepki verdiğini incelemiştir. Makale, çevresel sürdürülebilirliğin korunmasında liman ve limanların izlenmesi mekanizmasının önemine odaklanmaktadır.

Lam ve Van De Voorde (2012) yaptıkları çalışmada yeşil liman stratejisi için için yeşil ve sürdürülebilir bir liman çerçevesi oluşturmuştur. Bu çerçeve, Antwerp, Hong Kong ve Los Angeles/Long Beach limanlarının yeşil liman politikalarını ve uygulamalarını örnek olay incelemeleri yöntemiyle karşılaştırmalı olarak, paydaş katılımının temel yapıları, yeşil pazar geliştirme, uygun maliyetli yeşil politika ve sürdürülebilir liman operasyonları ve gelişimi üzerine kurulmuştur [2].

Pekşen ve diğ. (2013) yaptıkları 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 (Net Present Value - NPV) yöntemiyle maliyet analizini kapsamaktadır. [19]. Cold Ironing methodu rıhtımda bağlı bulunan gemilerin bağlı kaldıkları süre içerisinde ihtiyaç duydukları elektrik enerjisini yardımcı dizel jenaratörlerinden karşılamak yerine sahilden karşılamalarıdır. Yapılan çalışmada gemilerin ürettiği emisyon miktarı temel olarak üç ayrı safhada; seyir, manevra ve rıhtım sürecine göre hesaplanarak, gemilerin rıhtımda emisyonu sebep olan yardımcı makinelerini çalıştırarak elektrik ihtiyacını gidermesi yerine, limana kurulacak alternatif sahil elektriği enerji sisteminin maliyet analizi senaryolarla incelenmiş ancak

yenilenebilir enerji sistemlerinin limana entegrasyonu konusunda herhangi bir düşünce ele alınmamıştır.

Theodoros (2012) küresel çapta gelişen modern limanlar için “cold ironing” methodu uygulamasının fayda maliyet analizi üzerinde yapmış olduğu çalışmada, bu yöntemin kullanılmasının avantajlarının teknik ve finansal zorluklara rağmen önemli ölçüde ağır bastığını tespit etmiştir. Ayrıca çeşitli finansal, teknik ve çevresel olumlu etkilerinin yanı sıra, sistemin kullanılması durumunda kablo, güç kaynakları, güç iletim kabloları, panolar, dönüştürücüler, gemi bağlantı noktasındaki yapısal elemanlardan oluşan yüksek altyapı maliyetinin, mali fizibilite araştırmasının yapılması oldukça önemlidir. Çalışmada vurgulanan bir başka taraf da uluslararası taşımacılık yapan gemilerde birbirinden farklı elektriksel sistemlerin farklı voltajlar ve frekansların (50-60 Hz) kullanılması, standardizasyondaki boşluklar, alternatif karasal elektrik enerjisi kullanımında “güç kalitesi”nin gemilerin elektronik donanım ve sistemlerinin korunması üzerindeki etkisi, uluslararası denizcilik endüstrisi tarafından ele alınması gereken önemli bir konu olarak yer almıştır. Çalışmada ayrıca “cold ironing” sistemleri ve standartları, tüm uluslararası anlaşmaların yanı sıra SOLAS normları ile de uyumlu olması gerektiğinden bahsedilmiştir. Bununla birlikte çalışmada, limanlarda ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılanmasının maliyet analizi yer alamamaktadır [20].

Rehmatulla ve Smith (2015) ulaşım ve nakliye kaynaklı emisyonlarının azaltılmasında 4 yöntemi ele almaktadır. Bunlar, enerji verimliliğini arttırmak için aynı miktarda enerji kullanarak üretkenliği artırma, güneş ve rüzgar enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanma, sıvı doğal gaz ve biyoyakıtlar gibi düşük karbon içeriğine sahip yakıtları kullanma, kimyasal dönüşüm, yakalama ve depolama yoluyla emisyon azaltma teknolojilerini kullanma şeklinde özetlenmektedir. Bu çalışma düşük karbon taşımacılık stratejisine yönelik nakliye kaynağı tarafına ve enerji verimliliğinin arttırılması üzerine odaklanmıştır [21].

Çakmak ve Altaş (2016) yaptıkları çalışmada, çatıya kurulu-şebeke bağlantılı FV sistemlerin Erzincan’da uygulanabilirliğini Erzincan’ın güneş enerjisi potansiyeli bakımından, Erzincan’daki binaların fiziki özellikleri bakımından ve çatıya kurulacak olan FV sistemin ekonomik maliyeti bakımından olmak üzere üç farklı başlıkta incelemiştir. Çatıya Kurulu fotovoltaiik sistemlerin, Erzincan’da uygulanabilirliği değerlendirildiğinde güneş enerjisi potansiyeli bakımından Erzincan’ın Almanya’ya

göre %50 daha fazla potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Ekonomik maliyet bakımından yapılan benzetimlerdeki geri ödeme süreleri dikkate alındığında, en iyi geri ödeme süresini %100 tüketimi karşılayacak şekilde yerli panel kullanılarak kurulan sistemlerin sağladığı (8 yıl 4 ay) görülmüştür [22].

Gültepe Mataracı (2016), yapmış olduğu çalışmada 2015 yılına ait Limaş Liman İşletmeciliği A.Ş. kaynaklı sera gazı emisyonlarının “ISO 14064-1: 2006 Sera Gazı Emisyonlarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanması ve Raporlanmasına İlişkin Klavuz” çerçevesinde hesaplamıştır. Örnek olarak seçilen liman tesisinden alınan ve sera gazı emisyonu kaynağı olabilecek makineler, ekipmanlar ve kullanılan yakıt tüketimlerine ait gerçek veriler kullanılarak, karbon ayak izi değerlendirmesi ve limanın karbon ayak izinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Liman işletmesinin karbon ayak izi 861,121 ton CO² olarak hesaplanırken, liman genelindeki elektrik kullanımının % 41,78, kara yolu harici araçların % 39,22, lastik tekerlekli mobil liman vinçlerinde elektrik kullanımının % 15,17, kalorifer kazanının % 1,76, kara yolu araçlarının % 1,44, mutfak ocaklarının % 0,34, jeneratörün % 0,19, makine-ekipmanların % 0,06, kaynak işlemlerinin ise % 0,04 paya sahip olduğu görülmüştür.

Kuleyin ve Tezcan (2017) yaptıkları çalışmada, denizcilik sektörünün önemli unsuru olan limanların enerji verimliliği uygulamalarını, doküman analizi ile incelemiştir. Bu çalışmada, dokuz Avrupa limanında uygulamaya geçirilmiş ya da uygulanması planlanan enerji verimliliği çalışmalarının neler olduğu limanların web sayfaları incelenerek ortaya koyulmuştur. Çalışmada elde edilen bulgulara göre incelenen limanlarda enerji verimliliği çalışmalarının özellikle son on yılda artarak belirli bir seviyeye geldiği ancak uygulamaların ve konu ile ilgili farkındalığın beklenen seviyede olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Sürdürülebilir ve temiz enerjinin denizcilik endüstrisinde yaygınlaşması ve bu konudaki çalışmaların hızlanması ve limanlarda ve gemilerdeki enerji verimliliği ile ilgili farkındalığın artması için konunun akademik çalışmalarla desteklenmesi gerektiği saptanmıştır [23].

Taner ve Sivrioğlu (2017) bir şeker fabrikasından elde ettikleri verilere göre genel bir model geliştirerek ekserji analizi yaptılar. Bu çalışmada, enerji ekonomisini ve gelişimini iyileştirmek için termoekonomik analiz yapılmıştır. Türbin tesisi için ekserji biriminin maliyeti 3.142 (\$/kW) olarak bulunmuştur. Diğer bir deyişle, elektrik fiyatı 0,87 (\$/kWh) olarak bulunurken, türbin santralinin basit geri ödeme süresi 4.32 yıl olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada, kütle ve enerjinin ekonomik maliyet sonuçlarını

önemli ölçüde değiştirdiği gözlenmiştir. Termodinamik analiz, türbin santralının enerji verimliliğinin% 2,3 (türbin gücü 8 MW ila 14 MW) arttığını göstermiştir. [24].

Balbua ve El-amary (2017) Damietta Limanı için yaptıkları çalışmada, biyokütle ve fotovoltaik (PV) enerji olan iki karşılıklı ardışık yenilenebilir enerjinin kullanılmasıyla sürdürülebilir bir yeşil liman oluşturmak için bir model sunmaktadır. Bu çalışma, biyokütle ve PV enerjisini kullanarak on yıl sonra deniz limanı modelinin tüm elektrik enerjisi üretimini ve Mısır Birleşik Elektrik Güç Şebekesine ve yakındaki enerji talebi olan işletmelere ekstra elektrik enerjisinin satılmasını kapsamaktadır. Çalışmaya göre, 2021 yılına kadar Damietta limanı elektrik enerjisinin% 50'sinden fazlasının hem biyokütleden üretilen elektrik enerjisi hem de PV güç üretimi tarafından sağlanacağı varsayılmaktadır. 2026 yılına kadar, yeşil enerji üretimi elektrik enerjisi için tüm liman gereksinimlerini karşılayacak ve ekstra güç Mısır Birleşik Elektrik Şebekesine yönlendirilecektir [25].

2. DÜNYA'DA YEŞİL ENERJİ VE YEŞİL LİMAN UYGULAMALARI

2.1 Kıyı Güç Kaynağı (Onshore Power Supply – OPS)

Dünyadaki bir çok liman büyük şehirlerde bulunuyor gibi görünse de aslında büyük şehirler büyük ve gelişen limanların çevresinde oluşmaktadır. Gemiler, dünyanın ticari mal taşımacılığının % 90'ını, küresel CO₂ emisyonlarının % 2'sini, küresel azot oksit (NO_x) emisyonlarının % 15'ini, küresel kükürt oksit (SO_x) emisyonlarının % 6'sını oluşturmaktadır [26].

Gemilerde yüksek kükürt içeriğine sahip deniz yakıtlarının yanması nedeniyle deniz taşımacılığı kaynaklı emisyonlar, kükürt dioksit ve partikül madde formunda hava kirliliğine, asitleştirmeye (acidification) sebep olurken aynı zamanda insan sağlığına, çevreye, kültürel mirasa, kamuya ve özel mülkiyete zarar verir.

Deniz taşımacılığı, çevreci bir taşıma yöntemi olsa da deniz trafiğinin yoğunlaştığı deniz alanlarında, kıyı bölgelerinde ve limanlarda; doğal ortamlar ve doğal çevre özellikle yüksek kükürtlü yakıt kullanan gemiler nedeniyle olumsuz etkilenmektedir. Bu bağlamda özel önlemler gereklidir.

Modern dünya limanlarında birçok farklı strateji uygulansa da, gemilere rıhtımda güç verme kavramı, hem finansal hem de bilimsel kaynakların sessiz güç teknolojisinin adaptasyon ve uygulanmasına yönelik olması açısından çok önemlidir.

Kıyı (Liman) Güç Kaynağı (Onshore Power Supply - OPS), Dünya Liman İklimi Girişimi (World Port Climate Initiative) tarafından açık deniz gemilerinin limanlardaki çevresel etkisini azaltmak için önerilen stratejilerden biridir.

Aşağıdaki Şekil 2.1'de limanda bağlı bir geminin enerji ihtiyacını karşılamak üzere otomatik sahil güç kaynağı kablo konumlandırma ünitesi ile bağlantısı yer almaktadır.



Şekil 2.1 : Otomatik sahil güç kaynağı kablo konumlandırma makinesi [21].

Liman kaynaklı karasal elektrik enerjisinin kullanımı anlamına gelen “Cold Ironing” yöntemi, sessiz, temiz ve liman güç kaynağı olarak, küresel denizcilik sektöründen kaynaklanan hava emisyonunu azaltmak için son zamanlarda dikkat çekmekte ve öncelikli bir strateji olarak desteklenmektedir.

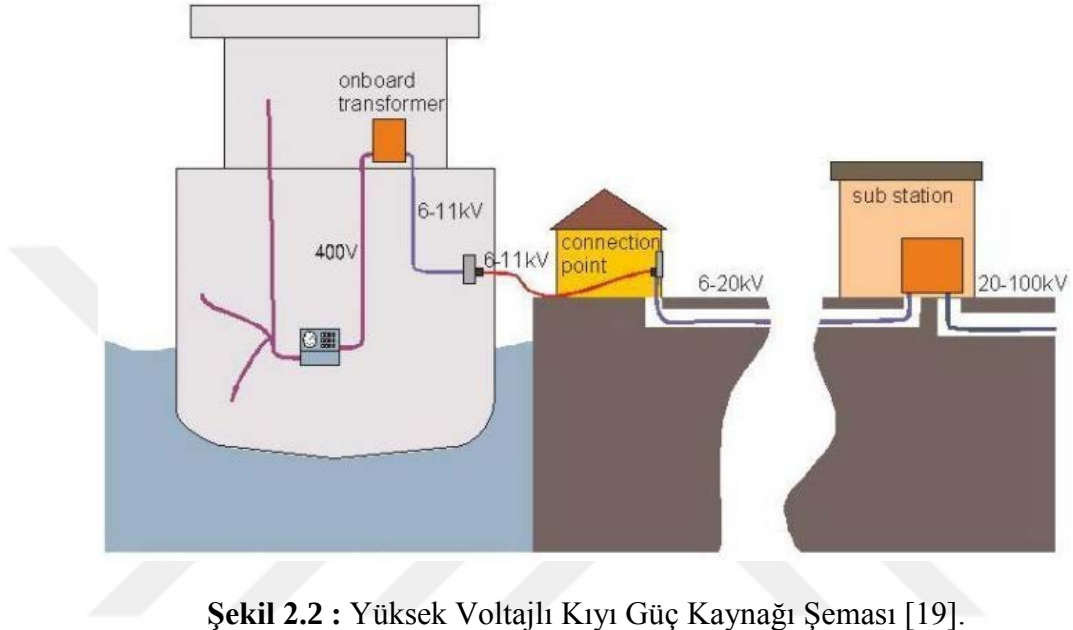
2.2 Cold Ironing Yöntemi (Liman Güç Kaynağı)

Cold Ironing yöntemi açık deniz gemilerine bağlı kaldıkları liman süresi içerisinde üretecekleri emisyonu yok etmek amacıyla rıhtımda kıyı elektrik gücünün sağlandığı ve böylelikle yardımcı dizel jeneratörlerini kapatmalarına izin veren bir yöntemdir. Gemilerin rıhtımdaki faaliyetlerine devam etmesi için gereken güç, limanın kendi elektrik şebekesi, liman içi enerji santralleri ve hatta çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları aracılığıyla sağlanmaktadır. Temiz ve alternatif bir enerji kaynağı olan Cold Ironing tekniklerinin uygulanması, hava kirliliği ve sera gazı emisyonları ve bunların insan sağlığı ve yaşam kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerini pratik olarak ortadan kaldırmak için en çevresel yollardan biridir [20].

2.2.1 Limanda bağlı gemilerin yardımcı makinelerinin yerine kıyı güç kaynağı kullanımı

Limanlarda bağlı olan gemilerin yükleme, boşaltma, ısıtma, aydınlatma, güverte operasyonları ve gemi içi diğer faaliyetleri desteklemek için ihtiyaç duydukları güç elektrik enerjisi ile karşılanmaktadır. Bugün, bu güç genel olarak, karbondioksit (CO_2) ve hava kirleticileri yayan, yerel hava kalitesini ve sonunda hem liman işçilerinin hem

de liman yakınlarında ikamet eden sakinlerin sağığını olumsuz olarak etkileyen gemi yardımcı makineleri tarafından sağlanmaktadır. Aynı sıkıntı gürültü için de geçerlidir. Aşağıda verilen şekilde ana trafoya (Sub-station) gelen 20-100 kV'lık enerji limanda önce 6-20 kV' a düşürülmüş, gemiye bağlantı noktasında (connection point) ise 6-11 kV' a düşürülerek gemiye verilmiştir. Gemi üzerindeki trafoda 400 voltluk enerjiye dönüştürülmüştür. Şekil 2.2' de yüksek voltajlı kıyı güç kaynağı şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Yüksek Voltajlı Kıyı Güç Kaynağı Şeması [19].

Gemideki güç kaynağı üretmine alternatif olarak, gemiler yerel elektrik şebekesiyle beslenen liman güç kaynağına bağlanabilirler. Bu sayede gemilerin operasyonları kesintisiz olarak devam ederken, olumsuz yan etkiler de ortadan kaldırabilir.

2.2.2 Kıyı güç kaynağı üzerinde artan odaklanma

Günümüzde genellikle ne limanlar gemileri, liman elektriğıyle beslemek için donatılmakta ne de bu şekilde güç almak için donanımlı gemiler bulunmaktadır. Bununla birlikte, dünyanın dört bir yanında, bu doğrultuda birçok faaliyet yürütölmekte ve teknolojiye olan ilgi hızla artmakta, daha katı çevre mevzuatı nedeniyle limanlarındaki emisyonlara daha fazla odaklanılmakta ve artan yakıt fiyatları nedeniyle denizcilik endüstrisinde kıyı güç kaynağı kullanımı teşvik edilmektedir. Teknolojinin uygun maliyetli bir şekilde uygulanması, örneğın, yeni rıhtımların planlanması ve yeni gemilerin sipariş edilmesi sırasında, çok çeşitli paydaşlar arasında işbirliğinin erken bir aşamada yapılmasını gerektirir. Limanlarda güç/enerji şarj portlarıyla gemilerin yardımcı jeneratörlerini kapatmasına izin veren

sessiz güç teknolojilerinin kullanımı; küresel enerji yönetimi açısından yeniden bir düzenlemeyle demirli ve bağlı gemilerin ihtiyaç duydukları enerji kaynağının fosil yakıtlar yerine alternatif, yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarıyla karşılanması durumunda, gürültü sıfırlanırken CO₂ emisyonlarının % 30'undan fazlasını ve sızıntı suyu ve nitrojen oksitler emisyonlarının % 95'inden fazlasının azaltılmasına imkan tanır [27].

2.3. Dünya'daki Yeşil Liman Uygulamaları

2.3.1 Baltık Denizi'ndeki limanlar

Dünya' daki en aktif ve işlek deniz yollarından biri olan Baltık Denizi' nde gemiyle taşınan yük miktarları ve limanların kullanım hacmi hızla artmaktadır. Tallinn Limanı 2011 yılının ilk yarısını geçtiğinde limanın tutmuş olduğu istatistiğe göre en yüksek yük elleçleme kapasitesine sahip olduğunu, bunu sırasıyla Litvanya' daki Klaipeda Limanı ve Riga Limanı' nın izlediğini yayınlamıştır [28].

Enerji, sanayi, ticaret, lojistik ve ulaşım faaliyetlerinin gerçekleştirilmesinde olmazsa olmaz bir etkidir. Yenilenebilir enerji, daha az karbon ve daha sürdürülebilir bir enerji sistemine geçişin merkezindedir. Son yıllarda yenilenebilir enerji kaynakları hızla artmış ve özellikle solar fotovoltaik ve rüzgar enerjisi için keskin maliyet düşüşleri sağlanmıştır. Uluslararası Enerji Ajansına göre, yenilenebilir elektrik üretimi 2022 yılına kadar üçte bir oranında artması beklenmektedir [29].

Teknolojiyle birlikte günlük hayttaki enerji talebi kullanıcı sayısı ve kullanım miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Öncelikle ulaşım, nakliye, lojistik, ticaret, aydınlatma, üretim, haberleşme gibi kullanım alanlarında enerji gereksinimi vazgeçilemez unsurlardandır. Kültür ve medeniyetlerin ilerlemesinde de enerjinin rolü önemlidir. Yaşamı kolay ve konforlu kılmasının yanı sıra teknolojik ilerleme, toplumsal refah, ürün çeşitliliği gibi konularda da enerjinin katkısı tartışılmaz.

2.3.2 Cenova Limanı – İtalya

Cenova Limanı 'Cenova Akıllı Şehir' projesinde yer almaktadır; ve böylece İtalya'da hava kirliliğini önleme planını benimsemeyen ilk liman olmuştur. Plan, İtalya'da liman alanlarında yenilenebilir enerjiyi ve enerji verimliliğini teşvik eden benzersiz bir araçtır. Bunun yanında, yeşil enerji sistemleriyle güneş, fotovoltaik ve rüzgar enerjisi

üretimi için Cenova Limanı'nı modern bir 'yeşil limana' dönüştürmeyi ve 2020 yılına kadar yaklaşık 20.000 ton potansiyel CO2 emisyonunun azaltılması ile liman alanlarına ve iskelelerine kurulacak elektrifikasyonu sağlamayı amaçlamaktadır [30]. Aşağıdaki Cenova Limanı'na ait bir görüntü Şekil 2.3' te yer almaktadır.



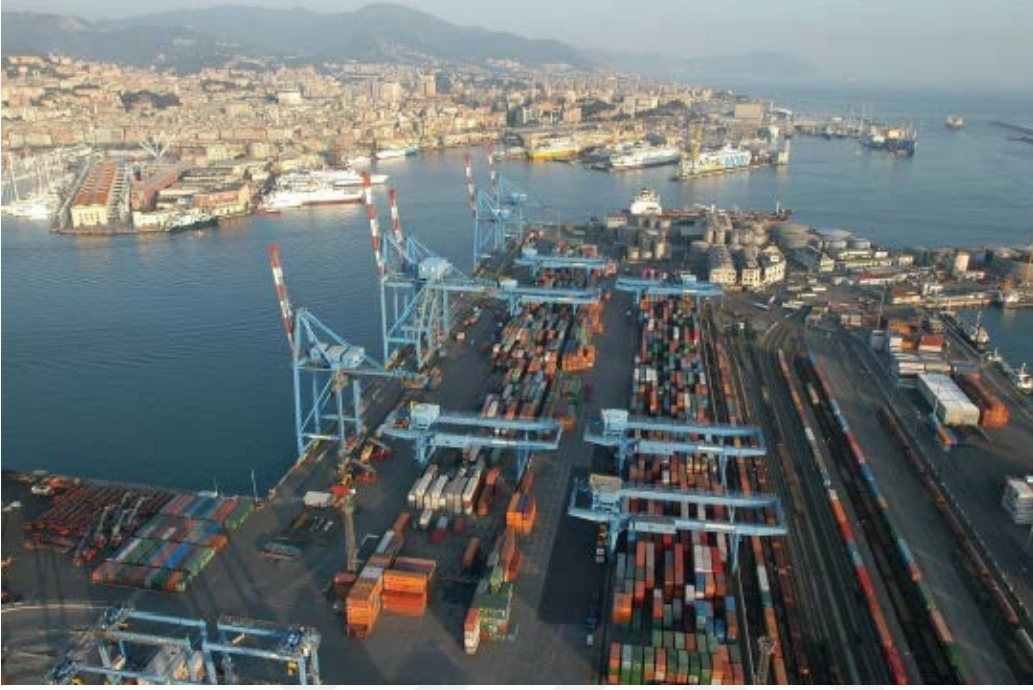
Şekil 2.3 : Cenova Limanı.

İtalya'da VTE Konteyner Terminali yıllık enerji tüketimi 19 milyon kWh olup, % 50'si refer konteynerların tahliye ve istif için kullanılmaktadır. Aşağıda VTE Konteyner Terminaline ait bir görüntü Şekil 2.4' te yer almaktadır.



Şekil 2.4 : VTE Konteyner Terminali.

SECH Konteyner Terminali yıllık enerji tüketimi 4,5 milyon kWh olup aşağıda SECH Konteyner Limanına ait bir görüntü Şekil 2.5’ te yer almaktadır.



Şekil 2.5 : SECH Konteyner Limanı.

Messina Limanı yıllık enerji tüketim 5 milyon kWh olup aşağıda Messina Limanına ait bir görüntü Şekil 2.6’ da yer almaktadır.



Şekil 2.6 : Messina Limanı.

İtalya’ da yolcu ve kruvaziyer limanına ait yıllık enerji tüketimi 6,3 milyon kWh’ dır. Aşağıda yer alan Şekil 2.7, İtalya’ daki bir yolcu ve kruvaziyer limanına ait bir görüntüdür.



Şekil 2.7 : İtalya yolcu ve kruvaziyer limanı.

Enerji verimliliğini optimize etmeyi amaçlayan bir referans kılavuz olarak kullanılmak üzere doğru bir veri tabanı oluşturulması için tüketimin doğru bir şekilde izlenmesi öngörülmektedir. Ayrıca liman bölgelerindeki CO2 emisyonlarını azaltmak ve hava kalitesini iyileştirmek için fosil yakıtların alternatif yenilenebilir kaynaklar (biyokütle yakıtları, LNG) ile aşamalı olarak değiştirilmesi öngörülmektedir. Bu açıdan, Cenova Liman Başkanlığı dairesi, özel şirketler (ARPAL Bilişim ve Enerji) ile işbirliği içinde gemilerin emisyonlarını izlemektedir.

Aşağıda Cenova Limanı’ na ait bir görüntü Şekil 2.8’de yer almaktadır.



Şekil 2.8 : Cenova Limanı.

2.2.1 Cenova Limanı'ndaki enerji alanındaki yenilikler

Cenova Limanı'ndaki enerji alanındaki yenilikler aşağıdaki başlıklarda özetlenebilir.

2.2.1.1 Liman çevre enerji planı (Port environmental energy plan - PEEP)

Liman Çevre Enerji Planı (Port Environmental Energy Plan - PEEP) aracılığıyla Cenova Limanı İdaresi, enerji tüketimlerini rasyonel hale getirerek ve yenilenebilir kaynaklardan enerji üreterek, enerji tasarrufu konusunda somut adımlar atmıştır.

2010 yılına dayanan Liman Çevre Enerji Planı (The Port Environmental Energy Plan - PEEP), tüketimlerin azaltılması için olası müdahaleleri önermek/öngörmek için limanda görev alanların ısı ve elektrik enerjisi tüketimlerini kaydetmeyi amaçlamaktadır. Örneğin, halihazırda uygulanmakta olan eylemler, gemi onarım tesislerinde barındırılan ve yenilenebilir kaynakları benimseyerek enerji tasarrufu tedbirlerini planlarken gemilere kıyı gücü sağlamaktan oluşur.

PEEP ayrıca dıştaki dalgakıranlarda yer alan 39 adet rüzgar enerji santrali, 5.600 kilowatt enerji üreten 29 fotovoltaik sistem ve liman alanında binaların çatılarında bulunan üç termal toplayıcıdan enerji sağlamaktadır. Güneş radyasyonundan enerji üretmek için, binaların ve depoların çatısına montajlanan fotovoltaik paneller aktif olarak kullanılmaktadır.

2.2.1.2 Jeotermal ve hidrotermal enerji

Jeotermal ve hidrotermal enerjinin kullanılması için yeni projeler şu anda değerlendirilmekte ve liman altyapısı üzerinde daha az etki yaratan projelere tercih edilmektedir. Bu projeler arasında, yer ve hava arasındaki sıcaklık farkını kullanarak binalarda hem ısıtma hem de soğutma sağlayabilen tesislerin kurulması yer almaktadır.

2.2.1.3 Gemi tamir rıhtım ve tersanelerindeki iskelelerin elektrifikasyonu

Cenova Limanı'nın gemi onarım (tersane) alanındaki iskelelerin elektrifikasyonu, şehrin kalbinde (12 adet gemi bağlama noktası - rıhtımı bulunmaktadır) gemi yardımcı makinelerini uzun süre çalıştırmaları sebebiyle oluşan sera gazı emisyonunu ve gürültüyü önemli ölçüde önlemesi bakımından ilk adım olacaktır.

Cenova Liman İdaresi, halihazırda Liguria Bölgesi, Çevre Bakanlığı ve Cenova Liman İdaresi tarafından, çevre politikası programında yaklaşık 15 milyon € değerindeki projenin 2013 yılı sonuna kadar tamamlanmasını öngören projeyi de içermektedir.

Cennova rıhtım elektrifikasyonu ile toplam 10.000 ton CO₂ emisyonunun her yıl yaklaşık 6.000 ton CO₂' yi rüzgar santralleri, 3.600 ton CO₂' yi fotovoltaik sistemleri ve 100 ton CO₂' yi ise güneş panelleri azaltmaktadır.

2.2.1.4 Led aydınlatma, elektrikli araç ve şarj istasyonları

Kamusal alanda, geleneksel lambaların yerini düşük enerji tüketen led aydınlatmalar ile değiştirilerek enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Yeşil Liman ekonomisine yönelik çıtaı arttırmak için benimsenen politikayla birlikte, fosil yakıt kullanan araç filosu, elektrikli araçlar ile değiştirilerek aynı zamanda liman bölgesinde stratejik sahalara hızlı şarj istasyonları yerleştirilecektir [1].

Aşağıda verilen Şekil 2.9, gemi - sahil elektriğı beslemesini kısaca özetlemektedir.



Şekil 2.9 : Gemi - sahil elektriğı beslemesi temsili.

İcra edilecek planlanın yatırım maliyeti, rıhtımların elektrifikasyonu için 15 milyon euro, rüzgar santralleri için 20.1 milyon euro, fotovoltaik sistemler için 24,4 milyon euro, güneş panelleri için ise 0.4 milyon euro, toplam 59 milyon euro tutarındadır.

2.4 Liman ve Denizcilik Alanındaki Çevresel Sorunlar

Yeşil fırsatlar yaratan deniz taşımacılığının çevre, deniz, ve atmosfer üzerinde potansiyel etkileri vardır.

Bu bağlamda, denizcilik kaynaklı kirlilik birçok şekil alabilir ve aşağıdakiler dahil birçok farklı kaynaktan ortaya çıkabilir:

- Toplu olarak petrol, kimyasal ve sıvılaştırılmış gazlar;
- Antifouling (zehirli boya) sistemleri;

- Tehlikeli dökme ve ambalajlı mallar;
- Pis su atığı;
- Çöp;
- Mikroorganizma türlerinin balast suyu ve biyolojik kirlenmeyle aktarılması;
- Makine egzozu (sülfür, azot oksitler ve karbon dioksit dahil);
- Sıvı yük buharı emisyonları;
- Kloroflorokarbonlar (CFC'ler);
- Halonlar; ve
- Gürültü, ses.

Birçok ölçüm, tek bir geminin yılda 50 milyon araç kadar hava kirliliğine sebep olduğunu göstermektedir. Bu durum, dünya genelinde gemi kaynaklı hava emisyonlarını azaltmayı amaçlayan yeni düzenlemelere ve yetkilere yol açmıştır [20].

İnsan kaynaklı faaliyetler nedeniyle 2007 yılında tüm dünyada fosil kaynaklı yakıtların yanmasına bağlı olarak toplam 30,113,910,000 metrik ton karbondioksit meydana gelmiştir. Bu veriler Birleşmiş Milletler için CDIAC tarafından elde edilmiştir.

Eldeki verilere göre en yüksek emisyon değerinden, Amerika Birleşik Devletleri 1990-2007 yılları arasında % 20,2' lik bir oran ve 6,094.39 milyon ton karbondioksit emisyonundan sorumlu olmuştur.

Uluslararası Enerji Ajansının son verilerine göre dünyadaki en büyük sera gazı ve karbondioksit emisyonuna % 21,5 bir oranla dünyadaki büyük nüfus miktarına sahip Çin sebep olmaktadır [31].

BP'nin haziran 2018' de yayınladığı Dünya Enerji İstatistiksel Görünümü'ne bakıldığında 2016 yılına göre % 1,6' lık artış kaydeden Çin, 2017 yılında 9232,6 milyon ton ve dünyada % 27,6 oranla en yüksek karbondioksit üreten ülke olmuştur.

İkinci sırada yer alan Amerika Birleşik Devletleri 2017 yılında 5087,8 milyon ton karbondioksit emisyonuyla dünya ortalamasında %15,2' lik bir paya sahiptir. Bununla birlikte Amerika Birleşik Devletleri' nde karbondioksit üretiminde 2016 yılına göre 2017 yılında % -0,5 bir gerileme yaşanmıştır.

Rapora göre Hindistan 2017 yılında bir önceki yıla göre % 4,4 artışla, 2344,2 milyon ton ve dünyada % 7 oranla karbondioksit salınımında küresel ölçekte üçüncü sırada yer almaktadır.

Yine aynı raporda dikkat çeken bir başka oran ise Türkiye' nin 2017 yılında bir önceki yıla göre 410,9 milyon ton karbondioksit salınımı ve % 12,7' lik bir artışla küresel ölçekte oran olarak en yüksek artışı kaydetmesidir. Ayrıca Asya Pasifik ülkelerinin toplam ürettiği karbondioksit miktarı 16330,4 milyon ton ile küresel ölçekte % 48,8' lik bir oranla en yüksek miktara sahiptir.

İkinci sırada karbondioksit üretiminde toplamda 6121,1 milyon ton ve % 18,3' lük bir oranla Kuzey Amerika yer alırken, Avrupa ülkelerindeki toplam karbondioksit salınımı 4152,2 milyon ton ve tüm dünyadaki salınımın % 12,4' dür [32].

Yüksek kükürt içeriğine sahip deniz yakıtlarının yanması nedeniyle denizcilik kaynaklı emisyonlar, kükürt dioksit ve partikül madde formunda hava kirliliğine, insan sağlığına, çevreye, kamuya, özel mülkiyete, kültürel mirasa zarar verir ve asitleşmeye neden olur.

Kıyı bölgelerinde ve limanların çevresinde doğal ortam ve varlıklar, özellikle yüksek kükürtlü yakıtların bulunduğu gemilerden kaynaklanan kirlilikten etkilenmektedir. Bu nedenle, bu konuda özel önlemler alınması gerekmektedir [33].

Amerika Birleşik Devletleri Senatörü Barbara Boxer duman, kurum ve hava kirliliğine önemli katkıda bulunan liman faaliyetlerinin, 5.400 erken ölüme, 140.000 astım vakası ve solunum problemine ve her yıl yaklaşık bir milyon iş günü kaybına sebep olduğu tespitinde bulunmuştur [34].

Çevre sorunlarıyla başedebilmek için, yoğun deniz trafiği olan limanlarda cold ironing yöntemini uygulamak, bu tercihi zorunlu kılan başlıca nedenlerinden birini oluşturmaktadır.

IMO'nun denizcilik endüstrisinde, sürdürülebilir kalkınma ve yeşil ekonomiye katkı ve destek için oluşturduğu operasyonel çerçeve aşağıdaki Çizelge 2.1'deki özetlenebilir.

Çizelge 2.1 : IMO’ nun yeşil ekonomi ve sürdürülebilir kalkınma üzerine operasyonel çerçevesi.

IMO eylemi ve	sürdürülebilir kalkınma üzerinde etkisi
Denizcilik faaliyetlerinin güvenliğini ve verimliliğini artırmak	<u>Ekonomik</u> * İyi işleyen ticaret ve balıkçılık filosu * Verimi arttırılmış gemiler ve limanlar * Artan küresel ticaret * Gelişmiş ödeme dengesi
Yoksulluğun ortadan kaldırılması ve sürdürülebilir geçim kaynaklarının teşvik edilmesi	Toplumsal (Sosyal) * Küresel denizcilik, liman ve balıkçılık endüstrilerinde denizciler ve diğerleri için istihdam * Denizcilik sektöründe kadınların ilerlemesi Artan döviz kazancı * Özellikle kıyı / balıkçı topluluklarında yerel düzeyde nihai fayda etkisi
Çevrenin korunması	Çevre * Temiz sular ve kıyılar * Zararlı mikroorganizma türlerinin azalması * Azaltılmış hava kirliliği ve sera gazı emisyonları * Artan turizm * Geliştirilmiş balıkçılık yoluyla proteine daha fazla erişim imkanı * Entegre kıyı bölgesi yönetimi

3. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ VE LİMANLAR

3.1. İklim Değişikliği Arka Planı

İklim değişikliği küresel bir sorundur. 20. yüzyılda, küresel ortalama sıcaklıklar yaklaşık bir santigrat derece arttı. Önümüzdeki 100 yıl içinde, sıcaklıklar üç ila yedi Santigrat artabilir. Bu fenomen, Dünya atmosferinde bir sera gazı (Greenhouse gases - GHG) birikimi ile bağlantılıdır. Sera gazı, atmosfere yoğunlaştıkça iklimi etkiler ve normalde uzaya yayılan uzun dalga enerjisinin bir kısmını engelleyerek ısıyı yakalar.

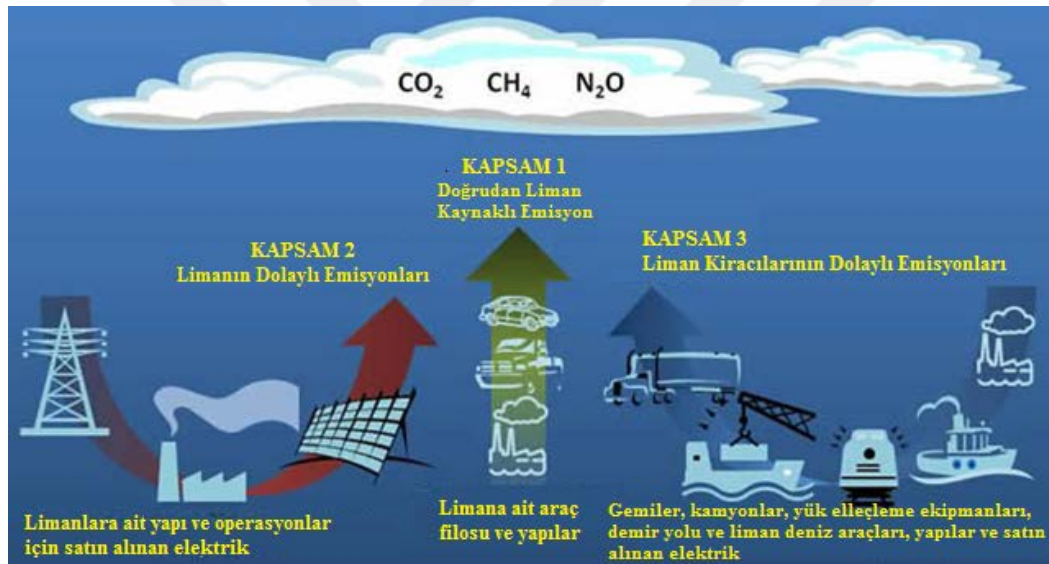
Sera gazı, atmosferde yoğunlaştıkça zamanla iklimi etkiler ve normalde uzaya yayılan uzun dalga enerjisinin bir kısmını engelleyerek ısının atmosferde hapsolmesine neden olur. Gün geçtikçe artan egzoz emisyonlarının neden olduğu hava kirliliği ve sera gazları, hava kalitesinin bozulmasıyla birlikte küresel ısınma ve asit yağmurlarına yol açarak su, toprak örtüsü, gıda ve insan sağlığı üzerinde tehdit oluşturmaktadır. Bazı sera gazları doğal olarak meydana gelirken, iklim bilimciler arasındaki ortak görüş, uluslararası düzeyde insan faaliyetinin dünya atmosferindeki sera gazlarını önemli ölçüde artırdığı ve küresel ısınmayı hızlandırdığı yönündedir. Bu ısınmaya neden olan faaliyetler arasında, ulaşım, ısıtma, elektrik, limanın içinde ve çevresinde yapılan operasyonlar için fosil yakıtların kullanılması bulunmaktadır. Küresel ısınmanın olası sonuçları, daha uzun ve daha sıcak yazlar, kısa periyotlu daha yoğun sağnak yağışlarla birlikte daha uzun kuraklıklar, daha yıkıcı hava felaketleri ve su sıkıntısı olarak sıralanabilir. Bunların hepsi de halk sağlığını ve dünya çapında ekonomik canlılığı tehdit etmektedir.

İklim değişikliği, acil eylem gerektiren olağanüstü bir zorluk teşkil etmektedir. Ulusal ve uluslararası düzenleyici kurumlar, sektörler arasındaki emisyonları azaltacak mekanizmalar inşa ederken, bireysel organizasyonlar kendi sera gazı emisyonlarını inceleyerek ve bunları azaltma fırsatları bularak tehdidin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunabilirler. Mevzuatın bu emisyonları ele almak için düzenleyici erken eylem çabaları, ana hedef olan ve varlığı faaliyetlere dayanan liman gibi kuruluşların, karbon salımlarını azaltmak amacıyla piyasaya dayalı kuvvetlerin kullanılması

nedeniyle artan maliyetlerin gelecekteki etkilerini iyileştirecektir. Dünya çapındaki lojistik zincirinin bir parçası olan bir liman, aynı zamanda sektördeki hızlı değişim için bir katalizör görevi görebilir.

3.2. Sera Gazı Emisyonları ve Emisyon Kapsamları

Deniz taşımacılığı sektörünün küresel sera gazı emisyonlarına katkısının yüzde 1,4 ile yüzde 4,5 arasında olacağı tahmin edilmektedir. Bu emisyonların bir kısmı liman operasyonları ile ilişkilidir. Bir liman otoritesi tarafından doğrudan kontrol edilen emisyon kaynakları, liman kiracılarının (yani gemiler, liman araçları, kamyonlar, demiryolu ve yük elleçleme araç ve ekipmanları) kontrolü altındaki emisyon kaynaklarından daha küçük bir kısımdır. Aşağıda verilen Şekil 3.1, liman ile ilgili tüm operasyonların iklim değişikliği üzerindeki etkilerini ele almaktadır.



Şekil 3.1 : Liman Operasyonları Kaynaklı Sera Gazı Emisyonları [26].

Bu tanım kapsamında, Kapsam 1 (Scope 1), bir limanın doğrudan kontrol edilen sabit ve mobil kaynaklarından gelen tüm doğrudan sera gazı emisyonlarını içerir. Kapsam 1 kaynaklarının örnekleri arasında, liman ait filo araçları ve liman çalışanları taşıtları, sabit jeneratörler ve binalar (doğal gaz yakan yapılar) bulunmaktadır.

Kapsam 2, bir limanın doğrudan kontrol edilen kaynakları için satın aldığı elektrik ve tüketimi ile ilişkili dolaylı sera gazı emisyonlarını içermektedir (limana ait binalar ve operasyonlar için kullanılan elektrik).

Kapsam 3, liman kiracılarının ve limanda faaliyet gösteren araç ve yapıların işleyişi ile ilgili emisyonları açıklar. Bir limanın sera gaz envanter listesine Kapsam 3 emisyonlarının dahil edilmesi, diğer kuruluşların içerebileceği şeylerin ötesine geçse de, bunlar liman çapında sera gazı emisyonlarının yönetimi için bir plan geliştirmenin önemli bir parçasıdır. Kapsam 3 emisyonları bir liman kiracısının doğrudan emisyonlarını, sabit kaynaklardan (binalarda doğal gaz kullanımı), mobil kaynaklardan (gemiler, kamyonlar, demiryolu, yük elleçleme ekipmanları ve liman içi tekneler) ve satın alınan elektrikle ilişkili dolaylı kaynak emisyonlarını (binalar, elektrikli rıhtım vinçleri ve gemiler için sahil güç kaynağı) içerir.

Kapsam 1 ve 2 emisyon kategorisi, limanın genel emisyonlarının çok küçük bir bölümünü temsil ederken, liman kiracılarıyla ilişkili Kapsam 3 emisyonu, liman çapında emisyonların büyük çoğunluğunu büyük olasılıkla hesaba katacaktır. Bununla birlikte, limanla ilgili tüm faaliyetlerden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması, limanla ilgili faaliyetlerin iklim değişikliği üzerindeki genel etkisini en aza indirmek için gereklidir.

Kapsam 1 ve 2 emisyonları daha düşük olabilirken, bir limanın kontrolü daha kolaydır ve bu nedenle iyi bir başlangıç noktası olabilir. Tüm liman ile ilgili emisyon kaynakları için stratejilerin uygulanması, küresel iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olmakla birlikte önemli ölçüde sera gazı salınımının azalmasını sağlayacaktır. Tek tek limanlardaki gerçek emisyon kapsamı, çok çeşitli yönetim ve operasyonel modellere bağlı olarak önemli ölçüde farklılık gösterecektir [35].

Liman ve denizcilik endüstrisinde çevre hassasiyeti olmayan makine ve motorların yerine yenilerinin üretilmesi, verimlilik ve emisyon kontrolü için etkin teknolojilerin uygulanması, deniz operasyonlarında alternatif ve daha temiz yakıtların kullanılması gibi stratejiler hava kirliliğini ve sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltacaktır. Bu cesur stratejilerin üstlenilmesi yerel hava kalitesini artıracak, halk sağlığını koruyacaktır [36].

3.3. Yeşil Limanlar için Dünya Limanları Sürdürülebilirlik Programı (World Ports Sustainability Program - WPSP)

Atmosferdeki artan sera gazı konsantrasyonları nedeniyle iklim değişikliği potansiyeli oldukça yüksektir ve limanlar arası yoğun gemi trafiği ve liman operasyonları sera

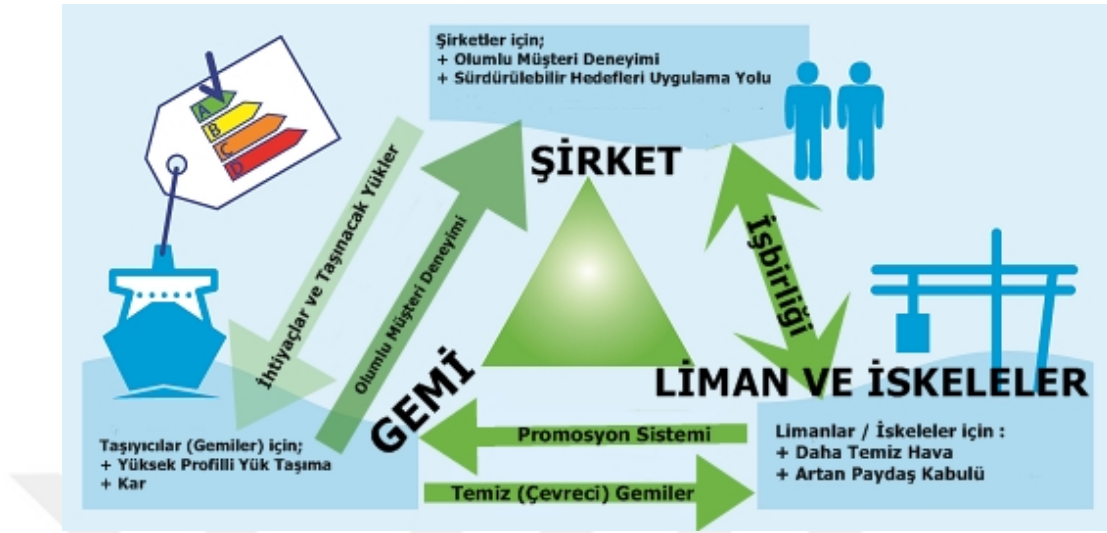
gazlarının artışına katkıda bulunmaktadır. Buna ek olarak, daha sıkı hava kalitesi standartları, liman yakınlarında ikamet eden sakinlerin kirli atmosferin sağlığı tehdit etmesinden endişe duyması, liman yetkililerinin limanlarındaki hava kalitesini iyileştirmek için daha sıkı önlemler almalarını mecbur kılmaktadır.

Dünyanın en önemli limanları, ulaşım ve ekonomik merkezler olarak rollerini sürdürürken, sera gazı emisyonlarını azaltmayı taahhüt etmişlerdir. Bu taahhüt Dünya Limanları Sürdürülebilirlik Programı (World Ports Sustainability Program - WPSP) olarak adlandırılmaktadır. Limanlar bunu, yerel koşulları ve değişen liman yönetim yapılarını dikkate alarak, tedarik zincirlerinin sürdürülebilirliğini etkileyerek gerçekleştirir. Limanlar, gemilerden gelen hava emisyonlarını azaltmak için önlemleri destekleyen gemilerin işbirliğini aktif olarak aramaktadır. WPSP içerisindeki projelerden biri Çevresel Gemi Endeksi'dir (Environmental Ship Index - ESI). Çevresel Gemi Endeksi (ESI), Uluslararası Denizcilik Örgütü'nün (International Maritime Organization – IMO) mevcut emisyon standartlarına göre hava emisyonlarını azaltmada daha iyi performans gösteren gemileri tanımlamaktadır.

Çevresel Gemi Endeksi (Environmental Ship Index - ESI), bir geminin yaydığı nitrojen oksit (NOx) ve kükürt oksit (SOx) miktarını değerlendirir; geminin sera gazı emisyonu hakkında bir raporlama şeması içerir. Çevresel Gemi Endeksi (Environmental Ship Index - ESI), uzakyol gemilerinin çevresel performansının mükemmel bir göstergesidir ve genel anlamda temiz ve çevreye duyarlı gemilerin tanımlanmasına yardımcı olacaktır. Endeks, ESI'ye katıldıklarında gemileri ödüllendirmek için limanlar tarafından kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve temiz gemileri teşvik edecek, aynı zamanda şirket ve gemi sahiplerince promosyon aracı olarak da kullanılabilir. ESI veri tabanı toplam puan sunarken, ödüllerin bu toplama veya bileşenlerinin her birine ayrı ayrı dayandığına dikkat edilmelidir; bu amaçla bu kısımlar gemi detaylarında gözükmektedir.

Çevresel Gemi Endeksi'ne (Environmental Ship Index - ESI) katılmak tamamen gönüllülük esasına bağlıdır ve Dünya Limanları Sürdürülebilirlik Programı (World Ports Sustainability Program - WPSP), küresel liman topluluğunun; deniz ve liman ortamını iyileştirmedeki rolünü üstlenmesini ummaktadır. Son olarak, deniz taşımacılığındaki tüm paydaşlar ESI'yi çevresel performanslarını ilerletmek ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak için bir araç olarak kullanabilirler. Aşağıda

verilen Şekil 3.2, şirket, gemi ve liman açısından çevresel performans ve sürdürülebilirlik programını özetlemektedir.



Şekil 3.2 : Şirket, gemi ve liman çevre performansı ve sürdürülebilirlik.

Çevresel Gemi Endeksi' nin daha da geliştirilmesi ile ilgili olarak, aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir. ESI, IMO'nun deniz çevresinin korunması için düzenleyici çerçeve yaklaşımının temelini oluşturan prensipleri ve limanların çevresel performansı ile ilgili önceliklerini de dikkate alarak uyarlanabilen esnek bir araçtır. Bu, formülün farklı bileşenleri arasındaki puanların ağırlığı limandan limana değişebileceği ve performansın değerlendirilmesinin kazanılan deneyimler ve teknolojik gelişmeler ile daha uyumlu olacak şekilde ayarlanabileceği anlamına gelebilir. Ayrıca yeni bileşenler eklenebilir ve mevcut olanlar silinebilir; ESI'ye ilgi duyan paydaşlarla yapılan tartışmalar, bu sürecin bir parçasını oluşturmaktadır. Bir önlemin etkili olduğu kanıtlanırsa ve davranış değişikliği yaygınlaşırsa, silme işlemleri yapılacaktır. Bununla birlikte, ESI skorunun ve program istikrarının öngörülebilirliğini korumak için, değişiklikler az olacaktır ve yılda bir kereden fazla gerçekleşmeyecektir.

3.4. Çevre Gemi Endeksi (Environmental Ship Index - ESI) Temelleri

Çevre Gemi Endeksi' nin (Environmental Ship Index - ESI) ana özellikleri :

Açık deniz gemilerinin çevresel performansını geliştirmek için tasarlanmış gönüllü bir sistemdir. Gemilerin hava kirliliği ve CO₂ ile ilgili çevresel performansının sayısal bir temsilini verir. Azot ve kükürt emisyonlarının doğrudan ve oranlı miktarlarını ve enerji verimliliğinin belgelenmesi ve yönetimi için bir sabit oran verir. Sadece mevcut

uluslararası mevzuatın (IMO) üstünde yer alan gemileri içerir. ESI, limanlar ve diğer ilgili tarafların; gemilerin çevresel performanslarını iyileştirmesini teşvik etmesini sağlar. ESI, yaklaşım ve sunumda basit ve açıktır. Tüm açık deniz gemi tiplerine uygulanabilir. ESI, otomatik olarak hesaplanıp saklanmakta ve gemi sahipleri için ücretsiz bir sistemdir [37].

3.5. Limanlarda Temiz Hava ve Gemi Emisyonları

Limanlar, ekonomik faaliyetler, istihdam ve iş fırsatları sunan, dünya ticaretinin kesintisiz akışını sağlayan, küresel tedarik zincirinde merkezi ve vazgeçilmez bir anahtar görevi üstlenmektedirler. Limanlarda arazi tabanlı temiz ve verimli iş ve faaliyetlerin yürütülmesi limanların sorumluluğunun bir kısmını oluştururken limanlar; liman bölgelerini ziyaret eden gemilerin hava emisyonlarını mümkün olduğunca azaltmalarını teşvik ederek gemilerin performansını iyileştirmeye çalışmaktadırlar.

2011 yılında kurulan Çevre Gemi Endeksi (Environmental Ship Index - ESI), Uluslararası Limanlar ve Barınaklar Birliği (IAPH), Dünya Limanları İklim Girişimi (World Ports Climate Initiative - WPCI) aracılığıyla geliştirilen uluslararası bir programdır. IAPH / WPCI, hava kirliliğini ve sera gazları emisyonlarını daha da azaltmak ve sürdürülebilirliği teşvik etmek için limanlar ve denizcilik hatları arasında uluslararası işbirliği aramaktadır.

ESI aracılığıyla limanlar ve diğer ilgili taraflar, gemileri daha temiz makineler ve yakıtlar kullanmaya, liman aidatlarında indirim, temizlik seviyelerine uygun teşvikler ve diğer kolaylıklar sağlayarak tercihli muamelede bulunmaktadır.

ESI Programında dört ana emisyon grubu aşağıdaki gibi ayrılır:

NO_x emisyonları esas olarak motor özelliklerine bağlıdır;

SO_x emisyonları esas olarak yakıtın kükürt içeriğine bağlıdır;

SO_x emisyonları ile ilgili PM (partikül madde) emisyonları ve

CO₂ emisyonları esas olarak kullanılan yakıt miktarına bağlıdır.

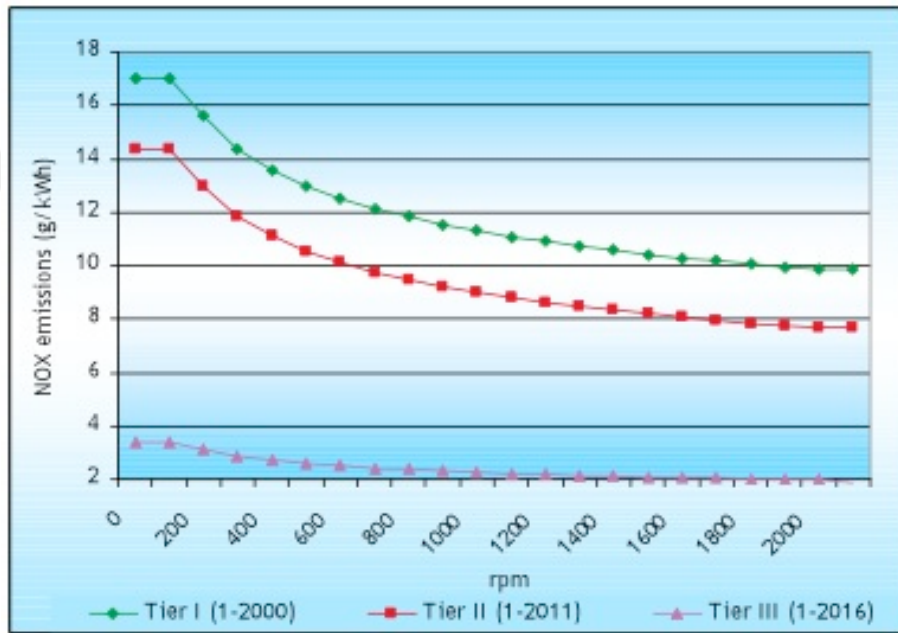
NO_x, SO_x ve PM (partikül madde), bir liman alanındaki hava kalitesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. CO₂ emisyonunun azaltılması - artan yakıt verimliliğinin bir sonucu olarak - küresel hava kalitesinde (iklim sorunlarında) olumlu değişimlere

neden olur; etkileri bir liman alanındaki koşullara hemen yansımaz. Gemi sahiplerinin, gemilerdeki yakıt verimliliğini arttırmaya yönelik önlemler alma konusundaki isteklilikleri, genel olarak çevreye yönelik tedbirlerin alınmasına yönelik olumlu tutumlarının doğrudan bir işareti olarak değerlendirilmektedir ve bu durum, bu açıdan ESI Puanında dikkate alınmaktadır. CO₂ emisyonu azaltımı, gemi yakıt verimliliğinin artırılmasına ve tüketimin azalmasına ve genel olarak mil başına daha az kirliliğe neden olacaktır [38].

3.6. IMO Ek VI Yönetmelikleri Ve Ana Hatlar

3.6.1. Azot oksitler (Nitrogen oxides)

MARPOL Ek VI, deniz makinelerinin NO_x emisyonlarını sınırlandırmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3.3, ilgili Katmanların emisyon sınırlarını göstermektedir. Limit değer, nominal devir sayısı 130 rpm'nin üzerine bağlıdır.



Şekil 3.3 : IMO Ek VI NO_x Limit Değeri (g / kWh).

Çevre Gemi Endeksi' nin (Environmental Ship Index - ESI) 2011 yılında yürürlüğe girmesinden bu yana, yeni gemilerin sırasıyla Tier II ve Tier III makinelerini kullanmaları için şartlar yürürlüğe girmiştir. Bununla birlikte, ESI Çalışma Grubu, ESI NO_x puanının hesaplanması amacıyla bir kaç yıl için “Seviye I” seviyelerini korumaya karar vermiştir. NO_x puanının hesaplanması aşağıda verilen Çizelge 3.1’e göre yapılmaktadır [39].

Çizelge 3.1 : ESI, NO_x puanının hesaplanması.

n	<130	$130 \leq n < 2000$		000 2 000	RPM
Sınır Değeri	17	$45 * n^{-0.2}$		9.8	g / kWh

3.6.2. Sülfür oksitler (Sulphur oxides)

Revize edilmiş Ek VI'dan MARPOL Sözleşmesi'ne göre yakıt kükürt içeriği için daha düşük sınırlar, aşağıdaki Çizelge 3.2' de gösterildiği gibi yürürlüğe girmiştir.

Çizelge 3.2 : Yakıtta MARPOL Ek VI Sülfür Sınırı (m / m).

Tarih	Açık Deniz (HFO)	SO _x ECA (MDO/Gasoil)	
2012	3.50	1.00	% S (m/m)
2015	3.50	0,10	% S (m/m)
2020	0.50	0,10	% S (m/m)

IMO tarafından kabul edilen temel SO_x sınır değerleri ve ESI çalışma grubu tarafından belirlenen SO_x taban sınır değerleri uyumludur. IMO sınır değerleri, normalde Açık Denizlerde ve (S)ECA'larda (Sulphur Emission Control Area - Kükürt Emisyon Kontrol Alanı) kullanılacak olan yakıtlar için geçerlidir ve bunlar IMO yönetmeliklerine uygundur. Buna ek olarak, ESI Çalışma Grubu tarafından belirlenen % 0,50 kükürtteki MDO / Gasoil için gelecek birkaç yıl için sürdürülecek başka bir referans ölçü vardır. Açık Denizlerde (HFO - yüksek) kullanılan yakıtın kükürt içeriğinin sınır değeri 1 Ocak 2012'de % 3,50 (m / m) olarak değiştirilmiştir. SO_x-ECA (MDO / Gasoil - low)' da kullanılan yakıtın sınır değeri 1 Ocak 2015 tarihinde % 0.10 (m / m) olarak değiştirilmiştir.

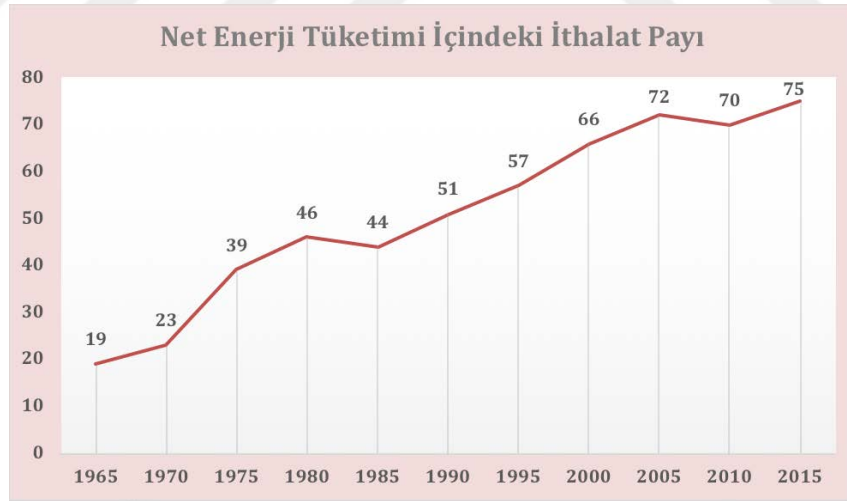
Sonuç olarak, 1 Ocak 2015'ten itibaren yüzde 3.50, 0.50 ve 0.10 sırasıyla YÜKSEK, ORTA ve DÜŞÜK kategorilerindeki yakıtların temel referans hatlarıdır [40].

4. DÜNYA’ DA VE TÜRKİYE’ DE ENERJİ VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

4.1 Türkiye’ de Enerjide Dışa Bağımlılık

Türkiye uzun yıllardır enerjisinin büyük bir kısmını ithal ediyor. Enerjide dışa bağımlılık 1960'ların sonlarında hız kazandı. 1967'de %16 olan bağımlılık seviyesi on yıl içinde %47 seviyesine ulaşırken, Türkiye 2000'lerin başına gelindiğinde ise artık enerjisinin üçte birini ithal eder bir duruma geldi. Son yıllarda gerek yerli kömür yatırımları, gerekse de yenilenebilir enerji alanında verilen teşvikler enerji ithalatını çok etkilememiş gibi görünüyor. Dünya Bankası'nın 2015 tarihli verileri ise Türkiye'de tüketilen net enerjinin %75'inin ithal edildiğini ortaya koymaktadır [41].

Aşağıdaki Şekil 4.1’ de verilen grafik, Türkiye’ nin net enerji tüketimi içindeki ithalat payını göstermektedir.



Şekil 4.1 : Türkiye net enerji tüketimi içindeki ithalat payı.

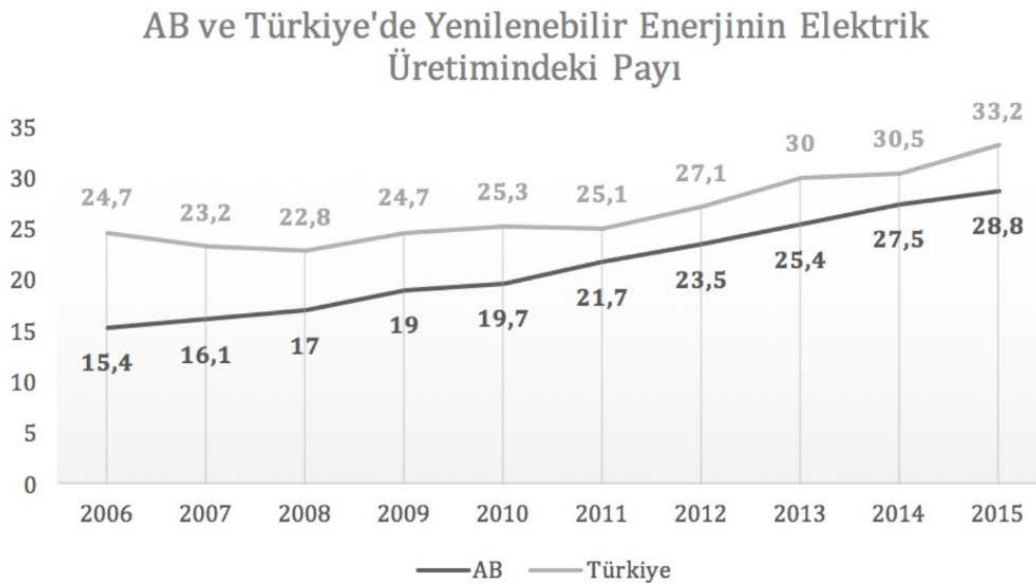
4.2 AB ve Türkiye’ De Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı

Dünyada elektrik ihtiyacının tamamına yakını başta hidroelektrik santraller olmak üzere yenilenebilir kaynaklardan karşılayan birkaç ülke var. Bu ülkelerin birçoğu gelişmiş bir ekonomiye sahip olmayan Etiyopya, Kongo, Nepal, Arnavutluk gibi

lkeler olsa da aralarında Norveç ve İzlanda gibi Avrupa lkeleri de yer alıyor. AB genelinde ise 2015 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin payı ortalama %28,8'dir.

AB'de elektrik tüketiminde yenilenebilir kaynakların payı 2006'dan bu yana iki katın üzerinde artmıştır. Eurostat verilerine göre 2015 yılında Türkiye'de ise yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı %33,2 seviyesinde gerçekleşmiştir.

Aşağıda verilen şekil 4.2 AB ve türkiye'de yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payını göstermektedir.



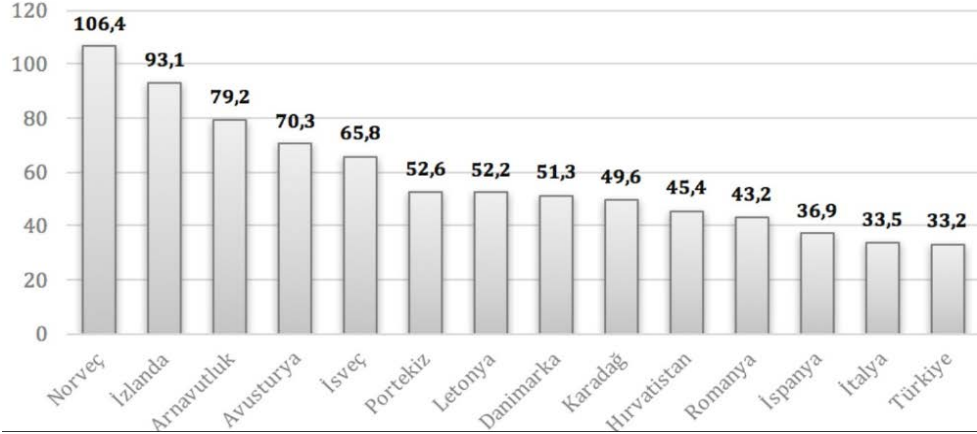
şekil 4.2 : AB ve Türkiye'de yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı.

Türkiye bu oranla Avrupa lkeleri arasında 14'nc sırada yer alabiliyorken, Avrupa lkeleri arasında yenilenebilir enerjiden en çok faydalanan beş lke Norveç, İzlanda, Arnavutluk, İsveç ve Portekiz'dir. Öyle ki Norveç yenilenebilir enerjiden tüm elektrik ihtiyaçlarını karşıladıktan sonra, fazla elektriği komşu ülkelere ihraç edebilir konumdadır. Bu alanda potansiyeli en zayıf olan Avrupa lkeleri Malta, Lüksemburg, Macaristan, Kıbrıs ve Hollanda olmuştur.

Küçük bir ada ülkesi olan Malta elektriğinin sadece %4,2'sini yenilenebilir kaynaklardan elde edebilmektedir.

Aşağıdaki şekil 4.3' teki grafiğe göre Türkiye'de yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payı AB ortalamasının biraz üzerindeyken, 13 Avrupa ülkesinin ise gerisinde kaldığı görülmektedir [42].

Seçili Avrupa Ülkelerinde 2015 Yılında Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı



Şekil 4.3 : Bazı Avrupa Ülkelerinde 2015 Yılında Yenilenebilir Enerjinin Elektrik Üretimindeki Payı.

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2017 yılında bir önceki yıla göre %5,6 artarak 294,9 milyar kWh, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre %7,7 oranında artarak 295,5 milyar kWh olarak gerçekleşirken,

2018 yılı ilk yarısı itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 87.139 MW'a ulaşmıştır. 2018 yılı ilk yarısı sonunda kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı; yüzde 32,0'ı hidrolik enerji, yüzde 26,4'ü doğal gaz, yüzde 21,4'ü kömür, yüzde 7,7'si rüzgâr, yüzde 5,4'ü güneş, yüzde 1,3'ü jeotermal ve yüzde 5,8'i ise diğer kaynaklar şeklinde olmuştur [43].

4.3 OECD Ülkeleri Ve Türkiye' deki Ortalama Yıllık Enerji Tüketimi

OECD ülkelerinin enerji taleplerinde yaşanan artışı, tüm üye ülkeler için erişilebilir verilerin olduğu 2004-2014 aralığında incelendiğinde bu dönemde OECD ülkelerinin yıllık enerji tüketiminde ortalama %0,26'lık bir düşüş olduğu göze çarpmaktadır.

Portekiz, İspanya ve Yunanistan'ın enerji tüketiminde 2004-2014 yılları arasında yıllık %3 dolaylarında bir düşüş yaşanırken en çok artış gerçekleşen ülkeler ise İzlanda (%3,78), Türkiye (%3,19) ve Güney Kore (%2,1) olurken, aynı dönemde OECD üyesi olmayan Çin'in enerji tüketimi yıllık %6 oranında arttığı görülmektedir [44].

Aşağıda verilen Şekil 4.4, 2004-2014 yıllarında OECD ülkelerindeki yıllık enerji tüketimi (ton eşdeğer petrol) göstermektedir.

2004-2014 YILLARINDA OECD ÜLKELERİNDE YILLIK ENERJİ TÜKETİMİ (TON EŞDEĞER PETROL)											
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
AVUSTRALYA	72,55	72,23	72,86	74,99	76,13	75,33	77,01	78,55	79,02	81,13	81,12
AVUSTURYA	26,93	27,29	27,45	27,01	27,22	26,27	27,66	26,58	26,7	27,48	26,64
BELÇİKA	42,36	41,85	41,11	40,09	42,98	40,17	43,47	39,76	40,01	41,74	40,06
KANADA	201,44	198,67	195,76	202,45	196	184,68	187,42	195,11	196,89	199,09	200,4
ŞİLİ	21,66	21,84	22,9	22,88	22,58	22,52	23,86	25,07	24,97	26,64	24,85
ÇEK CUMHURİYETİ	27,96	27,78	28,02	27,19	27,28	25,94	26,42	25,5	25,27	25,32	24,93
DANİMARKA	14,84	14,92	15,08	15,13	14,89	14,26	14,96	14,25	13,66	13,51	12,87
ESTONYA	2,99	3,05	3,06	3,26	3,23	2,84	2,96	2,87	2,93	3,01	2,9
FİNLANDİYA	25,91	25,31	26,52	26,6	25,72	24,04	26,44	25	25,17	24,79	24,55
FRANSA	169,8	168,59	166,42	163,95	164,12	156,68	161,39	150,18	154,39	157,46	147,65
ALMANYA	233,19	230,67	234,72	220,38	226,86	215,09	228,89	218,5	220,07	225,33	216,32
YUNANİSTAN	20,39	20,79	21,38	21,8	21,18	20,58	19,43	19,01	17,07	15,26	15,45
MACARİSTAN	18,67	19,97	19,71	18,75	18,62	17,87	18,15	17,72	16,36	16,54	16,8
İZLANDA	1,91	1,92	2,05	2,22	2,56	2,58	2,53	2,53	2,61	2,72	2,74
İRLANDA	11,4	12,18	12,69	12,29	12,54	11,47	11,45	10,42	10,22	10,29	10,14
İSRAİL	12,66	11,95	12,47	13,09	13,86	13,92	14,83	14,08	14,73	13,93	14,47
İTALYA	137,94	141,28	139,84	138,67	138,51	130,79	133,74	127,82	125,41	120,99	116,57
JAPONYA	329,67	329,17	329,48	326,07	303,18	299,38	308,88	302,17	301,43	302,78	295,54
KORE	138,46	140,45	142,11	147,1	146,9	147,84	157,69	161,53	165,72	167,84	170,29
LETONYA	3,94	4,06	4,23	4,39	4,17	4,01	4,07	3,85	4	3,84	3,87
LÜKSEMBURG	4,03	4,09	4,05	3,95	3,98	3,7	3,94	3,94	3,86	3,8	3,64
MEKSİKA	102,16	105,99	111,19	113,51	116,91	110,93	117,25	120,32	119,24	119,57	118,26
HOLLANDA	65,31	64,73	64,32	63,37	62,94	61,34	66,17	60,85	61,23	61,31	56,74
YENİ ZELANDA	13,21	12,53	12,68	12,72	12,69	12,53	12,92	12,72	12,93	13,33	14,3
NORVEÇ	20,49	20,45	20,41	20,87	20,96	20,03	21,35	20,42	20,48	20,69	20,11
POLONYA	61,01	61,89	64,87	65,1	66,1	65,09	70,02	68,44	67,94	66,88	65,27
PORTEKİZ	20,41	20,46	19,7	20,4	19,51	18,92	18,95	18,15	16,39	16,23	16,19
SLOVAKYA	11,29	11,71	11,39	11,53	11,82	10,85	11,44	10,97	10,24	10,57	9,81
SLOVENYA	5,08	5,16	5,24	5,18	5,52	5,03	5,23	5,12	5	4,89	4,73
İSPANYA	99,38	102,06	99,35	101,75	98	90,94	92,24	88,84	84,66	81,09	78,64
İSVEÇ	34,76	34,54	34,23	34,4	33,25	32,01	34,86	33,02	32,95	32,39	31,89
İSVİÇRE	20,17	20,44	20,32	19,67	20,35	19,94	20,79	19,22	19,87	20,35	18,66
TÜRKİYE	63,16	65,43	72,47	76,49	74,4	73,3	77,75	81,67	87,33	85,22	85,75
İNGİLTERE	150,09	148,57	145,87	142,1	141,1	131,56	138,12	126,14	129,11	130,31	122,92
ABD	1.057	1056	1056	1058	1053	1045	1051	1050	1047	1051	1054

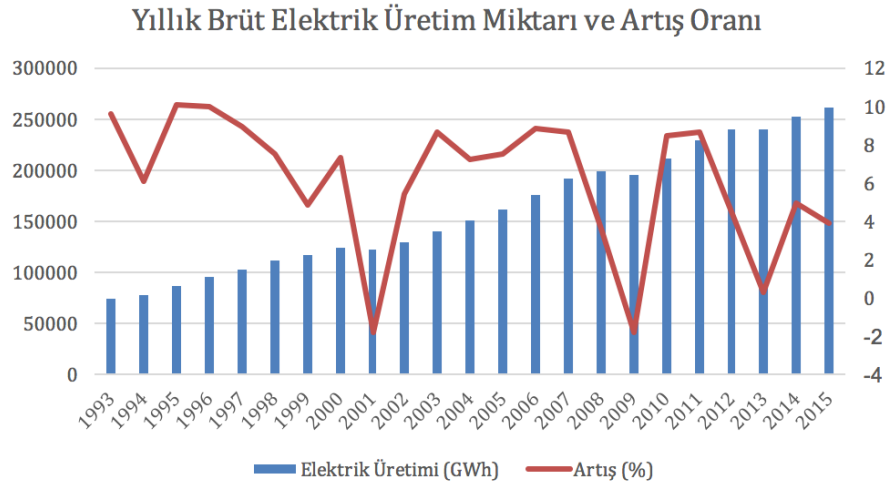
Şekil 4.4 : 2004-2014 Yıllarında OECD ülkelerinde yıllık enerji tüketimi (ton eşdeğer petrol).

Yukarıda verilen Şekil 4.4' e göre Türkiye 2004-2014 yılları arasında OECD'de, İzlanda'nın ardından, enerji tüketimini en hızlı arttıran ikinci ülke konumunda olduğu görülmektedir.

4.4 Türkiye'nin Yıllık Brüt Elektrik Üretim Miktarı Ve Artış Oranları

Türkiye' de, 2002 yılında yıllık brüt elektrik üretim miktarı 129.399 GWh (129 milyon 399 bin MWh) iken, 2015 yılında bu miktar 261.783 GWh (261 milyon 283 bin MWh) seviyesine yükselmiştir [45].

Aşağıda verilen Şekil 4.5'te yıllık brüt elektrik üretim miktarı ve artış oranı verilmektedir.



Şekil 4.5 : Yıllık Brüt Elektrik Üretim Miktarı ve Artış Oranı.

Yukarda verilen grafiğe göre 1993-2002 yılları arasında brüt elektrik üretimindeki yıllık artış oranı %6,8 olurken, 2003-2015 döneminde ise bu oran %5,6 seviyesindedir [46].

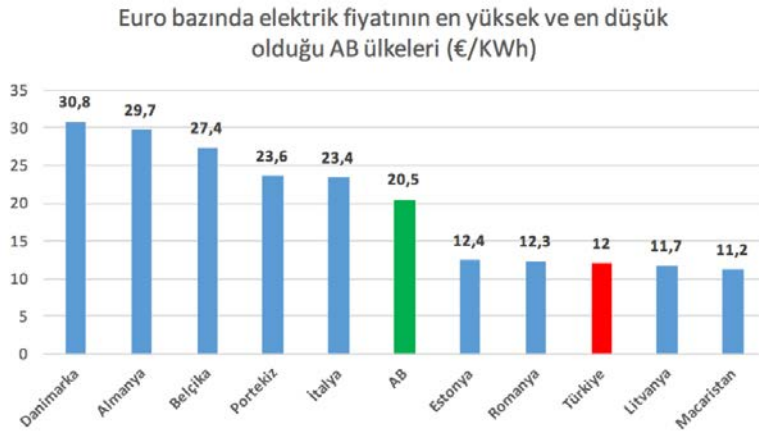
4.5 AB ve Türkiye’de Elektrik Fiyatlarının Seyri

2016 yılının ikinci yarısında AB ülkelerinde elektrik fiyatları geçtiğimiz yıla kıyasla ortalama %2,3 oranında azaldı ve 100 KW/H’lık birim elektriğin fiyatı 20,5€’ye düştü. Aynı dönemde doğalgaz fiyatları da ortalama %10,5 azalarak 100 KW/h için 6,4€’ya geriledi. AB’de meskenlerde tüketilen elektrik için ödenen fatura bedellerinin ortalama %36’sı, doğalgaz faturalarının ise %26’sı vergilerden oluşuyor [47].

2016 yılında evlerde kullanılan elektrik birim fiyatının en çok düştüğü AB ülkesi Hollanda olurken (-%13,8), Hollanda’yı takip eden ülkeler Kıbrıs (-%11,8) ve Litvanya’ydı (-%5,8). Belçika (+%16,7), İsveç (+%7,7) ve Portekiz (+%3,5) ise elektriğe en fazla zam yapan ülkeler oldu. [48].

Euro bazında ele alındığında AB’nin doğusu ile batısı arasında elektrik fiyatı yaklaşık üç kat fark ediyor. Elektriğin en ucuz fiyatla satıldığı ülkeler kıtanın doğusunda yer alan ve AB’nin görece yeni üyeleri olan Bulgaristan (9,4€/100 KWh), Macaristan (11,3€/100 KWh) ve Litvanya (11,7€/100 KWh) olurken, Danimarka (30,8€/100KWh), Almanya (29,8€/100KWh) ve Belçika (27,5€/100KWh) elektriğin en pahalı olduğu üç AB ülkesi. Euro bazında fiyat sıralamasına Türkiye dahil edildiğinde, Macaristan ve Litvanya’nın ardından elektriğin en ucuz olduğu üçüncü ülke Türkiye olmaktadır [49].

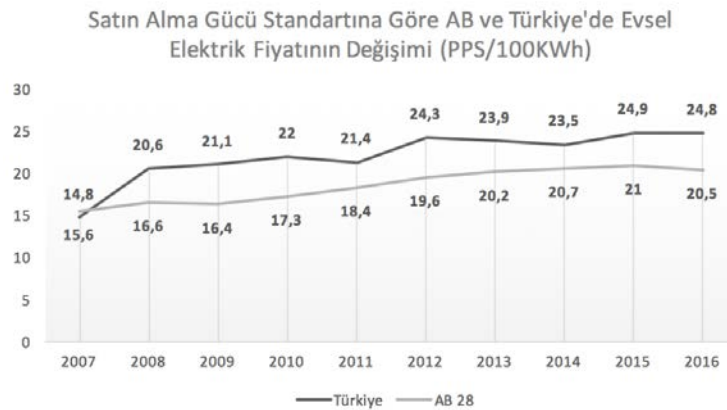
Aşağıda Şekil 4.6’da bazı AB ülkelerindeki elektrik fiyatları (€/kWh) verilmiştir.



Şekil 4.6 : AB Ülkelerinde Elektrik Fiyatları (€/kWh).

Ülkedeki diğer ürün ve hizmet fiyatlarını dikkate alarak, satın alma gücü standartları (PPS-Purchasing Power Standartları) üzerinden bir değerlendirme yapıldığı zaman ise durum değişmektedir. Satın alma gücünün yüksek olduğu Finlandiya (12,8 PPS/100KWh) ve Lüksemburg (14,4 PPS/100KWh)’ta tüketiciler aylık gelirlerinin daha küçük bir kısmını elektrik faturasına harcamaktadırlar. Aşağıda verilen grafiğe göre Euro bazında AB düzeyinde en ucuz elektriğin satıldığı üçüncü ülke olan Türkiye, satın alma gücüne bakıldığında Portekiz, Almanya, Belçika, İspanya, Romanya ve Polonya’nın ardından elektriğin en pahalı olduğu yedinci ülke olduğu görülmektedir. (24,8 PPS/100KWh). [48]

Aşağıda yer alan Şekil 4.7 AB ve Türkiye’de evsel elektrik fiyatının satın alma gücü standartlarına göre yıllık değişimini göstermektedir.

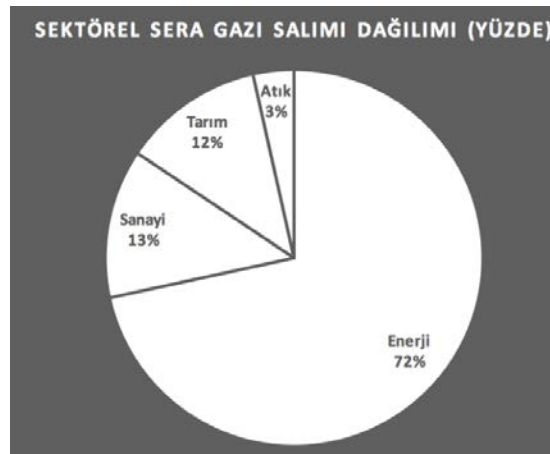


Şekil 4.7 : AB ve Türkiye’de Evsel Elektrik Fiyatının Satın Alma Gücü Standartlarına göre Yıllık Değişimi.

4.6 Türkiye ve AB Ülkeleri Sera Gazı Emisyon Miktarları

İklim değişikliğinin en önemli etkenlerinden birisi de sera gazı emisyonudur. Atmosferdeki gazların yeryüzündeki ısı kaybını azaltma işlevi “sera etkisi” kavramıyla açıklanabilir. Karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O) gibi bazı gazlar, ısı ışınlarını tutmak konusunda diğer gazlara göre daha etkilidirler. Dolayısıyla sera gazı olarak tabir edilen bu gazların atmosferde kapladıkları alanın çoğalması, sera etkisinin artmasına ve iklimsel anormalliklerin ortaya çıkmasına neden olur. Sanayi, tarım ve diğer birçok insani faaliyet neticesinde atmosfere salınan seragazları, iklim değişikliği üzerindeki insan etkisini ortaya koyar.

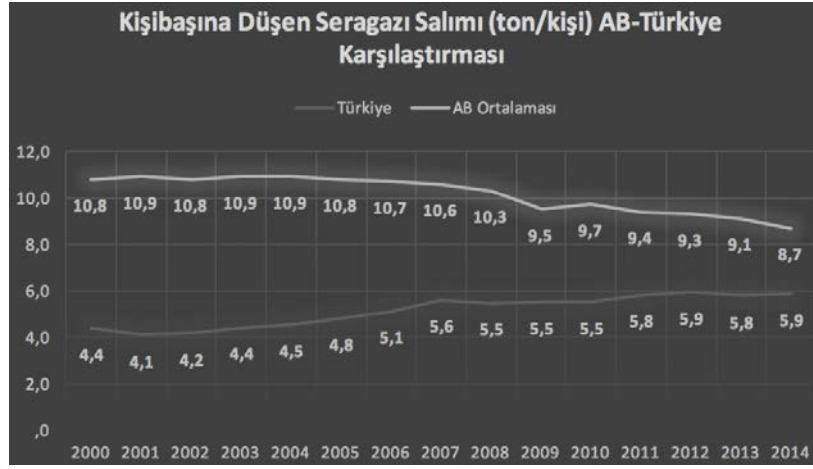
TÜİK’in yayınladığı istatistik bülteni 1990-2015 yıllarında gerçekleşen sera gazı salınımlarına odaklanmaktadır. Rapora göre Türkiye, 2015 yılında toplam 475,1 milyon ton CO₂'ye eşdeğer seragazı salımı gerçekleştirmiş. Kişi başı CO₂ eşdeğer emisyonu 1990 yılından bu yana %122 artış göstererek 3,88 ton/kişi'den 6,07 ton/kişiye yükselmiştir. Raporda Türkiye’de sera gazı salımı konusunda en büyük sorumluluğa sahip olan sektörlere baktığımız zaman kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların güdümünde olan enerji sektörünün başı çektiği göze çarpmaktadır [50]. Aşağıda verilen Şekil 4.8 sektörel sera gazı dağılımını yüzdelik oran olarak göstermektedir.



Şekil 4.8 : Sektörel Sera Gazı Dağılımı (Yüzde).

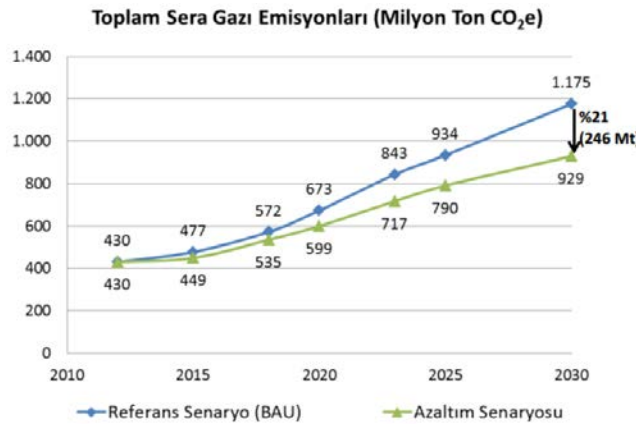
2014 verilerine göre AB’de kişi başına salınan ortalama seragazı miktarı 8,72 ton/kişi olarak meydana gelmiştir. 2000-2014 yılları için bir mukayese yapıldığı zaman AB’de kişi başı sera gazı salımı ortalamasında yaklaşık 2 tonluk bir azalış gerçekleşirken, Türkiye’de aksine 1,5 tonluk bir artış olduğu göze çarpmaktadır [51].

Aşağıda verilen Şekil 4.9'a göre Türkiye, kişi başına düşen seragazı salımı miktarı ile AB ortalamasının altında kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.9 : AB ve Türkiye’de Kişibaşına Düşen Seragazı Salımı (Ton/Kişi).

2020 sonrası iklim değışikliği rejiminin çerçevesini oluşturmak amacıyla, 2015 yılında Paris’te düzenlenen BM İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi 21. Taraflar Konferansı’nda kabul edilen Paris Anlaşması’na taraf olan ülkeler küresel sıcaklık artışını 2 santigrat derecenin altında tutmak için yapacakları katkıları niyet beyanları ile ortaya koydular. Türkiye beyanında, Referans Senaryoya (BAU) göre sera gazı emisyonlarını 2030 yılında %21 oranına kadar azaltacağını belirtti. Bu ifade, aşağıda verilen Şekil 4.10’da da görüldüğü üzere mevcut politikalarda hiçbir değışiklik yapılmadığı takdirde 2030 yılında Türkiye’nin toplam sera gazı salım miktarının 1.175 milyon ton CO₂’ye eşdeğer olacağı varsayımından hareket ederek, alınacak önlemler sayesinde artışı hızını yıllık 246 milyon ton düşürerek 929 milyon tonla sınırlı tutulması anlamına gelmektedir [52].



Şekil 4.10 : Toplam Sera Gazı Emisyonları (Milyon Ton CO₂).

5. KULLANILAN YÖNTEM

5.1 HOMER Enerji Programı

Homer Enerji (Hybrid Optimization Model for Multiple Energy Resources) programı dünyada yenilenebilir enerji üretim sistemleri için en iyi saatlik değerlendirme aracı olarak kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Çoklu Enerji Kaynaklarının Hibrid Optimizasyonu (HOMER) yazılımı, bağımsız ve şebekeye bağlı güç sistemlerini tasarlamak, modellemek ve optimize etmek için bir araçtır.

Farklı geleneksel ve yenilenebilir enerji teknolojilerini simüle edebildiği ve teknik ve ekonomik fizibilitelerini değerlendirebildiği için, mikrogridlerin (mikro şebeke otomasyonu) tekno-ekonomik analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır. HOMER modeline ait girdiler, iklim verileri, elektrik yükü, üretim ve depolama için kullanılan ekipmanın teknik ve ekonomik parametreleri, duyarlılık değişkenleri, gönderim stratejisi ve bazı kısıtlamalardır.

Model, sistemin 8760 saatinin her biri için enerji dengesi hesaplamalarını yaparak sistemin en düşük net maliyetine (NPC) dayanan optimal sistem boyutu ve kontrol stratejisi ile çalışmasını simüle etmektedir. [53].

Orijinal olarak Amerikan Enerji Bakanlığı'nın Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'nda (National Renewable Energy Laboratory-NREL) geliştirilen mühendislik ve ekonominin yan yana çalışmasına imkân sunan HOMER Energy, (Çoklu Enerji Kaynakları için Hibrit Optimizasyon Modeli), yazılım ürününde üç güçlü araç bulunmaktadır. Homer Enerji programı simülasyon, hassas analiz ve optimizasyon olmak üzere üç önemli işlemi gerçekleştirmektedir.

HOMER optimizasyon yazılımı, hibrit güç sisteminin optimal mimarisini, yapısını, boyutunu ve kontrol stratejisini belirlemek için tasarım, model ve analiz için kullanılmaktadır.

Maliyet, performans, boyut ve yapı açısından en iyi çözümü elde etmek için, dağıtılmış bir üretim güç sistemi üzerinde karşılaştırmalı ekonomik ve modelleme analizi

yapabilmektedir. Yenilenebilir enerjinin önceden belirlenen bir lokasyonda, fotovoltaiik (PV) paneller, rüzgar türbinleri ve batarya ile güneş radyasyonu seçeneklerinden biri veya birkaçının uygulanması yoluyla gerçekleştirilmektedir.

Tek bir yenilenebilir enerji kaynağına dayalı sistemler, talebi karşılamak için büyük boyutlu olma eğilimindedir, iki veya daha fazla yenilenebilir enerji kaynağın kombinasyonları, yenilenebilir hibrid güç sistemleri birbirini tamamlayabildiği için, yük faktörlerini iyileştirerek, yatırım, bakım ve yenileme maliyetlerini azaltmaktadır. Bununla birlikte, doğru tipte yenilenebilir enerji sisteminin değerlendirilmesi, sistemin modelleme, analiz ve optimizasyon için tasarlanan yazılım paketleri aracılığıyla optimize edilmesi için doğru yapılması gerekmektedir.

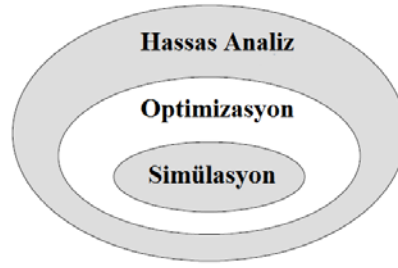
HOMER yazılım paketi, diğer girdiler arasında üretim, kojenerasyon, güneş (PV sistemleri), piller, rüzgar türbinleri, mikro türbinler, hidroelektrik ve yakıt hücrelerini içeren yenilenebilir enerji veya hibrid güç sistemlerini simüle ve analiz edebilmekte ve modelleyebilmektedir [54].

Bir güç sistemi tasarlamak için yapılması gereken ilk şey güç talebine, sistemin temin etmesi gereken tüketim miktarına ve sağladığı potansiyel ekstra hizmetlere karar vermek gerekmektedir. Bir sonraki adım, bu yükleri karşılayabilecek sistemi tasarlamaktır; HOMER yazılımında gerçekleştirilen bir süreç, tekno-ekonomik olarak optimize edilmiş bir yapılandırmayı sağlamaktadır. Bu, bölgede işlem gören yerel maliyetler ve ekipmanlarla ilgili verileri bulmak için kapsamlı bir araştırmanın ön koşuludur, böylece gerçek koşullara yakın sonuçlar almak mümkün olmaktadır [53].

Homer programı en uygun maliyetli tasarımı elde edebilmek için sistem parametrelerinin simülasyonunu optimizasyon aşamasında gerçekleştirmektedir. Tasarımda belirsizlik ve değişkenlik arz eden bilgilerin sisteme yansması hassas analiz işleminde çoklu optimizasyon yöntemiyle elde edilmektedir.

Optimizasyon aşamasında girilen verilerin miktarı, sistemin varyasyonları tasarım esnasında kontrol edilebilmektedir. Bölgesel rüzgâr hızı, olası yakıt maliyetleri ve tasarımda belirlenemeyen ve etki edilemeyen değişkenler hassas analizde işlem yapılarak elde edilebilmektedir.

Aşağıdaki şekil 5.1 incelendiğinde simülasyon, optimizasyon ve hassas analizin işlem kapsamı daha iyi anlaşılmaktadır.



Şekil 5.1 : Homer Energy Programı, Simülasyon, optimizasyon ve hassas analiz hesaplamaları arasındaki kavramsal ilişki.

Şekil 5.1’ de yuvarlak daireler içerisinde gösterildiği üzere, Homer programında tasarlanan sistemler için tek bir optimizasyon birden fazla simülasyonu, tek bir hassas analiz ise çok sayıda optimizasyonu içermektedir.

Giriş karmaşıklığını sınırlamak ve optimizasyon ve duyarlılık analizini yeterince pratik ve hızlı hesaplayabilmek için, Homer’ın simülasyon mantığı Hybrid2, PV-DesignPro ve PV*SOL gibi mikro güç sistemleri için diğer zaman serisi simülasyon modellerinden daha az detaylıdır. Ayrıca HOMER programı simüle edebileceği sistemlerin çeşitliliği açısından en esnek olan ve zaman serisi simülasyonları yapmayan RETScreen [4] gibi istatistiksel modellerden daha ayrıntılıdır [55].

5.1.1 Simülasyon

Homer Programı uzun yılları kapsayan benzetim (simülasyon) yapabilme imkanı sunması bakımından önemlidir. Daha duyarlı (hassas) analiz ve optimizasyon seçenekleri sunabilmesi simülasyondaki başarısına dayanmaktadır. Simülasyon süreci, kullanıcı tarafından yapılandırılmış belirli bir sistemin ve bileşenlerinin uzun bir zaman sürecinde hep birlikte nasıl çalışacağını belirlemektedir. Simülasyon sürecinde öncelikle benzetimi (simülasyonu) yapılacak tasarımın uygulanabilirliği denetlenmektedir. Ardından, Homer yazılımı enerji talebinin karşılanabileceği sistemleri ve sistemin ömür maliyetini belirlemektedir.

Bir alanda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin aylık ortalama çıkış güçlerinin hatta günlük ortalama çıkış güçlerinin bilinmesi yeterli olmamaktadır. Bu çıkış gücünün ortalamasıyla birlikte zamanlaması ve değişkenliği de sistemin, en uygun tasarımı bize sunması açısından önemlidir. Bu nedenle sistemin simülasyon sonucunda sunduğu verilerin hassasiyeti, başta girilen verilerin detayına ve hassasiyetine bağlıdır. Bir saatlik zaman aralığında bir yıllık verilerin Homer programına girilmesiyle, yazılımda tüm sistem için bir yıllık elektrik yükü ve

yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek elektrik miktarlarının benzetimi yapılarak elde edilen sonucu sistemin bütün ömrü (örneğin 25 yıl) boyunca nasıl gelişeceğini hesaplayarak olabildiğince hassas sonuçlar vermektedir. Homer programında kesinti, bakım tutum maliyeti, eskimeye bağlı verim kaybı vb. değişimler istenirse simülasyonda kullanılabilir.

HOMER programı, bir PV dizisini, bir veya daha fazla rüzgar türbinini, bir baraj türbinini ve üç adede kadar jeneratörü, bir akü grubunu, bir elektrolizör ve bir hidrojen depolama tankını, bir AC-DC dönüştürücüden oluşan herhangi bir kombinasyonu içeren çok çeşitli mikro enerji sistem konfigürasyonlarını simüle edebilmektedir.

Simülasyonu yapılacak sistem, şebekeye bağlı veya otonom olabilir ve AC ve DC elektrik yükleriyle ve bir termal yükle çalışabilmektedir [55].

Homer programı, tasarlanan herhangi bir sistem için bir yıllık saatlik zaman serileri benzetimiyle modelleme yapmaktadır.

Homer programında tasarlanan sistemin simülasyonundan doğru verileri elde edebilmek için saatlik verilerin girilmesi makul bir süre içerisinde optimum ve hassas sonuçlara ulaşmak açısından önemlidir.

Benzetim işleminde üretilen yenilenebilir enerji hesaplanarak talep edilen elektrik yüküyle karşılaştırıldıktan sonra talep fazlası var ise şebekeye satılmasıyla elde edilecek karı, talebi karşılayamaması durumunda ise yenilenebilir enerji kaynakları ve şebeke elektriği maliyetini kıyaslayarak en ekonomik olanı kullanıcı tercihinine sunmaktadır. Bu prosesler bir yıllık hesaplandıktan sonra sistemin yaşam (ömür) döngüsü maliyetini bir rapor halinde; yenilenebilir enerji ve şebekeden alınan yıllık elektrik enerji miktarı (kWh) ve maliyeti, yakıt kullanan sistem elemanlarının yıllık yakıt tüketimleri, çalışma süreleri, maliyetleri ve ömürleri, yenilenebilir enerjinin sistem içerisindeki oranı, sistemde kullanılan ekipmanların çalışma süresi ve ömürleri, tasarlanan sistemin tahmini üreteceği emisyon miktarı ve varsa bundan ötürü ödenecek ekstra cezalar, kullanıcının emisyon sınırlamalarının karşılanıp karşılanmadığı, sistemin başlangıç maliyeti ve ömürlük maliyeti, amortisman süresi vb. elde edilmektedir.

Toplam Şimdiki Maliyet yani Sistem Maliyeti (Total Net Present Cost-NPC), Homer programında ömür maliyeti (life-cycle cost of the system) olarak ifade edilmektedir. Ömür maliyetinde, örneğin tasarlanan sistemin ömrü 25 yıl olarak belirlenmişse, bu

zaman süresi boyunca meydana gelebilecek maliyetler ve karlar, başlangıç sermaye maliyeti, eskime ve arızaya bağlı muhtemel değişen parçaların maliyeti ve sistemin bakım onarım maliyeti, tasarlanan sisteme bağlı olarak kullanılacak yakıt maliyeti, ihtiyaç halinde şebekeden karşılanan enerji maliyeti yer almaktadır.

5.1.2 Optimizasyon

Simülasyon işleminde belli bir tasarım yapılandırılması modellenirken, optimizasyon sürecinde ise en iyi muhtemel sistem yapılandırması belirlenmektedir. Homer programında en iyi olası sistem yapısı, kullanıcının belirlediği kısıtlamaları en düşük toplam mevcut net maliyette (total net present cost) karşılayan sistemdir.

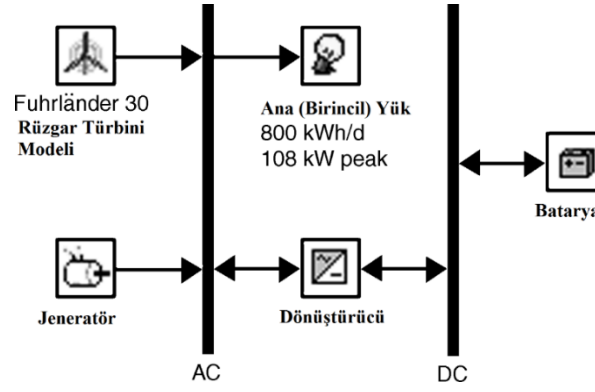
En uygun sistem konfigürasyonunun bulunması, sistemin içermesi gereken bileşenlerin karışımına, her bileşenin büyüklüğüne veya miktarına ve sistemin kullanması gereken sevk stratejisine karar vermeyi içerebilir.

Optimizasyon sürecinde, Homer programı birçok farklı sistem konfigürasyonunu simüle edip, uygun olmayanları (kullanıcı tarafından belirlenen kısıtlamalara uymayanlar) eleyerek, uygun olanları toplam mevcut net maliyete (total net present cost) göre sıralamaktadır. En uygun sistem yapılandırması olarak en düşük toplam mevcut net maliyetli sistem yapılandırmasını sunmaktadır.

Optimizasyon sürecinde amaç, modelleyici ilgilendiren ve sistem tasarımcısının kontrol edebildiği; çoklu olası değerleri göz önünde bulundurabileceği, her bir karar değişkeninin optimal değerini belirlemektir.

HOMER programında PV panel boyutu, AC-DC doğrultucu/dönüştürücü elemanların boyutu, rüzgâr türbini sayısı, jeneratör boyutu ve sayısı vb. olası karar değişkenlerinden birkaçıdır.

Örneğin şekil 5.2’ deki gibi bir dizel enerji sisteminin rüzgar türbinleri ve bataryalarla desteklenmesi işleminde; sistemi yeniden tasarlama seçeneklerinin analizinde kullanıcı, kaç adet ve ne çeşit rüzgar türbininin, kaç adet batarya ve ne boyutta bir dönüştürücünün, sistemin ömür maliyetini (Life-cycle Cost) en aza indireceğini en başta bilmeyebilir. Bu nedenle, bu üç değişken bu analizde karar değişkenleri olacaktır. Bu üç değişken bu nedenle bu analizde karar değişkenleri olacaktır.



Şekil 5.2 : Rüzgar-dizel sistemi.

Bu üç değişken bu analizde karar değişkenleridir. HOMER, modelleyicinin her bir karar değişkeni için birden fazla değer girmesine izin vermektedir. Şekil 5.3'de gösterilen tablo gibi bir tablo kullanarak, kullanıcı her bir karar değişkeni için istediği sayıda ve değerler arasındaki aralıkların düzensiz de alınabileceği rakamlar girebilmektedir.

	FL30	Jeneratör	Batarya	Dönüştürücü
	(Adet)	[kW]	(Adet)	[kW]
1	0	135.00	0	0.00
2	1		16	30.00
3	2		32	60.00
4	3		48	120.00
5	4		64	
6			96	
7			128	
8				

Şekil 5.3 : Arama alanı, 140 sistem konfigürasyonu ($5 \times 1 \times 7 \times 4 = 140$).

Bu örnekte, modelleyici sıfırdan dörde değişen toplamda beş adet ve markası FL 30 olan rüzgar türbini, jeneratör gücü 135kW, sıfırdan 128'e kadar yedi adet batarya ve sıfırdan 120 kW'a kadar değişen dört adet dönüştürücü için simülasyon yapmıştır. Bu tabloda, Homer'ın tüm olası sistem konfigürasyonları içerisinde en uygun sistem konfigürasyonunu arayabileceği arama alanı (search space) gösterilmektedir. Bu arama alanında beş adet rüzgar türbini, bir adet jeneratör (135 kW'lık), yedi adet batarya ve dört adet dönüştürücü çarpılarak 140 farklı sistem konfigürasyonunu ($5 \times 1 \times 7 \times 4 = 140$) dolayısıyla karar değişkenlerinin olası değerleri 140 farklı kombinasyon içermektedir.

Optimizasyon sürecinde, Homer arama alanındaki (search space) her bir sistem yapılandırmasının benzetimi yapılarak (simüle edilerek) her satırın uygun bir sistem

yapılandırmasını temsil ettiği şekil 5.4’ teki gibi bir tabloda ve toplam mevcut net maliyete (total net present cost) göre en üstte en uygun (optimum) sistem yapılandırması olmak üzere, uygulanabilir olanlar sıralanmaktadır.

	FL30 Rüzgar Türbini Modeli	Jeneratör [kW]	Batarya	Dönüştürücü [kW]	Başlangıç Sermayesi (Initial Capital)	Ömür Maliyeti (Sistem Maliyeti-SM) (Total Net Present Cost - NPC)	Kilowattsaat Başına Enerji Maliyeti (Cost of Energy- COE) (\$/kWh)	Dizel (Litre)	Jeneratör Toplam Çalışma Saatleri
	1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
	2	135	64	30	\$ 346,500	\$ 854,660	0.274	54,434	3,350
	1	135	48	30	\$ 200,500	\$ 855,733	0.275	78,061	4,910
	2	135	48	30	\$ 330,500	\$ 856,335	0.275	57,654	3,685
	2	135	32	30	\$ 314,500	\$ 873,322	0.280	62,394	4,139
	2	135	96	60	\$ 401,000	\$ 878,370	0.282	48,139	2,603
	2	135	64	60	\$ 369,000	\$ 880,421	0.282	52,999	3,195
		135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
	1	135	96	30	\$ 248,500	\$ 887,379	0.285	74,193	4,346
		135	48	30	\$ 70,500	\$ 888,528	0.285	104,009	6,067
	1	135	32	30	\$ 184,500	\$ 889,688	0.285	85,310	5,615
	2	135	96	30	\$ 378,500	\$ 890,504	0.286	52,442	3,136
	2	135	48	60	\$ 353,000	\$ 891,896	0.286	57,316	3,615
	2	135	32	60	\$ 337,000	\$ 905,959	0.291	62,312	4,080
	2	135	128	60	\$ 433,000	\$ 907,508	0.291	45,596	2,226
	1	135	64	60	\$ 239,000	\$ 911,667	0.292	77,753	4,613
		135	96	30	\$ 118,500	\$ 912,410	0.293	101,003	5,330

Şekil 5.4 : Toplam sistem (ömür) maliyetine göre optimum konfigürasyonlar tablosu.

Birçok farklı konfigürasyon için simülasyonun bir özeti olan şekil 5.4’ teki tabloda ilk dört sütun, konfigürasyonda yer alan farklı bileşenleri belirten simgeleri, sonraki dört sütun her bileşenin sayısını veya boyutunu gösterir.

Şekil 5.4’te yer alan tablodaki diğer beş sütun sırasıyla Başlangıç Sermayesini (Initial Capital), Ömür-Sistem Maliyetini (Toplam Mevcut Net Maliyet-Total Net Present Cost-NPC), kilowatt saat başına enerji maliyetini (Cost of Energy-COE), yıllık dizel yakıt tüketimini (litre) ve son sütunda jeneratörün yıl başına çalıştığı toplam saatleri göstermektedir.

Şekil 5.4’ te verilen tabloya göre ilk sırada yer alan ve en düşük sistem (ömür) maliyetine sahip olan sistem konfigürasyonu bir adet rüzgar türbini, 135 kW’ lık jeneratör, 64 adet batarya ve 30 kW’ lık bir dönüştürücüden oluşmaktadır. İkinci sırada yer alan konfigürasyonda tek farkın 2 adet rüzgar türbini olduğu, üçüncü sıradaki konfigürasyondaki tek farkın 48 adet batarya içermesi, sekizinci ve onuncu konfigürasyonlarda ise rüzgar türbinlerinin olmaması dikkat çekmektedir.

Homer ayrıca, bu genel optimizasyon sonuçlarının dışında her bir sistem kategorisinde veya türünde yalnızca en düşük maliyetli yapılandırmayı da gösterebilmektedir. Şekil 5.4’te gösterilen genel tabloda, üst sıradaki sistem, rüzgar türbini-dizel-batarya sistemi

kategorisindeki en düşük maliyetli konfigürasyondur. Yine, sekizinci sırada yer alan konfigürasyon, dizel-batarya kategorisinde en düşük maliyetli konfigürasyondur.

Şekil 5.5'te verilen kategorizelendirilmiş optimizasyon sonuçları tablosu, şekil 5.4' teki genel tablodaki en düşük maliyetli konfigürasyonu aramak yerine, kullanıcıya her bir kategorideki en düşük maliyetli konfigürasyonu göstermektedir.

				FL30 Rüzgar Türbini	Jen. (kW)	Batt. (kW)	Çevirici (kW)	Başlangıç Sermayesi	Ömür (Sistem) Maliyeti	Enerji Maliyeti (\$/kWh)	Dizel (Litre)	Jen. (saat)
				1	135	64	30	\$ 216,500	\$ 849,905	0.273	75,107	4,528
					135	64	30	\$ 86,500	\$ 885,175	0.284	101,290	5,528
					135			\$ 0	\$ 996,273	0.320	132,357	8,760
				1	135			\$ 130,000	\$ 1,130,637	0.363	127,679	8,740

Şekil 5.5 : Kategorizelendirilmiş optimizasyon sonuçları tablosu.

Şekil 5.5' teki tabloda listelenen simülasyon sonuçlarına göre en üstte yer alan en optimum sistem ile üçüncü sırada yer alan sistemi incelediğimizde, rüzgar türbini ve bataryalarla desteklenen ilk sistemin ömür maliyeti \$849,905 dolar iken, üçüncü sıradaki sistemin (ömür) maliyeti arasında \$146,368 dolarlık bir fark vardır.

Optimizasyon sonuçları tabloları en uygun sistem konfigürasyonun yanısıra kullanıcıya nihai kararını vermesinde diğer sistem yapılandırmalarını göstererek kıyaslama imkanı sunmaktadır.

Örneğin mevcut dizel jeneratörün sermaye yatırımı gerektirmemesi nedeniyle dizel sistemin sıfır sermaye (başlangıç) maliyeti olmasına rağmen sistem (ömür) maliyetinin \$996,273 dolar ve enerji birim maliyetinin de \$0,32 (\$/kWh) olduğu dikkat çekmektedir.

5.1.3 Hassas Analiz

Homer kullanıcısı, bir duyarlılık analizinde, tek bir giriş değişkeni için bir dizi değer girebilmektedir. Bir değişken için kullanıcının birden fazla değer girmesi bir “duyarlılık (hassasiyet) değişkeni” olarak adlandırılmaktadır.

Homer'de bir karar değişkeni olmayan hemen hemen her sayısal girdi değişkeni, bir duyarlılık değişkeni olabilir. Duyarlılık değişkenine saatlik enerji talebi verileri ve sürdürülebilir enerji kaynakları, solar (fotovoltaik) panellerin ömrü, şebekenin enerji fiyatı, yakıt maliyeti, faiz oranı vb. örnek olarak verilebilir.

Kullanıcının istediği miktarda girdiği duyarlılık değişkeni değeri, duyarlılık kombinasyonu miktarını belirlemektedir.

Örneğin, Hassas Analizde, faiz oranı için 2 değer, şebeke elektrik fiyatı için 4 değer girilmesi durumunda sekiz farklı duyarlılık (hassasiyet) durumu ve her bir duyarlılık (hassasiyet) durumu için ayrı ayrı bir optimizasyon işlemi gerçekleştirilerek kullanıcıya grafik ve tablolar halinde verilmektedir.

Homer programında duyarlılık (Hassas) analizin başlıca amaçlarından bir tanesi de sistem tasarımı esnasında kesin yada doğru bilginin olmayışı yada yapılandırılacak tasarımda sisteme girilecek değişken değerlerin belli bir değer aralığında olması tercih edildiğinde en uygun olası sonuçların nasıl değiştiğini görebilme fırsatı sunmasıdır. Bu daha çevreci ve yeşil ekonomi sunan yenilenebilir enerji kaynağına yönelecek olan kullanıcı, tedarikçi, yönetici, politikacı vb. birden fazla gruba farklı koşullarda nasıl doğru tercih ve alternatife ulaşmalarında kolaylık sunmaktadır.

5.2 Ekonomik Modelleme

Ekonomik modelleme Homer'da hem simülasyon sürecinde hem de optimizasyon sürecinde sistem (ömür) maliyetini en aza indiren entegre bir görev üstlenmektedir. Yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları farklı maliyet özelliklerine sahiptir. Yenilenebilir kaynaklar, yüksek sermaye (başlangıç) maliyetlerine ve düşük işletme maliyetlerine sahipken geleneksel (yenilenemeyen) enerji kaynakları düşük sermaye ve yüksek işletme maliyetlerine sahiptir.

Homer programı, optimizasyon işleminde, farklı sayıda yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynaklarını kapsayan çok çeşitli sistem tasarımlarının maliyetini karşılaştırmaktadır. Sistem (ömür) maliyet analizi, sistemin ömrü boyunca meydana gelen tüm maliyetleri dahil ederek bu işlemi gerçekleştirmektedir.

Toplam sistem (ömür) maliyeti, projenin veya sistemin ömrü boyunca ortaya çıkan tüm maliyet ve gelirleri, bugünkü dolar oranından hesaplayarak ve gelecekteki nakit akışlarının iskonto oranını kullanarak bugüne indirgemektedir.

Tasarımcı indirim oranını, proje (tasarım) ömrünü belirtir ve buna göre sistem (ömür) maliyeti yenilenebilir enerji kaynağının inşa başlangıç maliyetini, parça değişimi, bakım-onarım, yakıt maliyetlerini, şebekeden elektrik satın alma ve sebep olunan

emisyonlardan kaynaklanan ceza gibi maliyetleri kapsamaktadır. Gelirler, şebekeye güç satma gelirini ve proje ömrünün sonunda ortaya çıkan hurda değerini kapsamaktadır.

Tasarımcı Homer programında sistem ömrü boyunca, sistemin ilk kurulumundaki her bir ekipmanın başlangıç (ilk kurulum) maliyetini, sistemin ve ekipmanlarının belirlenmiş olan ömürlerini doldurduklarındaki değişim maliyetini, bakım ve onarım maliyetini belirleyebilmektedir. Her bir sistem bileşenin ömür maliyetinin ayrı ayrı belirlenebilmesi, tüm sistemin kendi içerisinde farklı uzunlukta ömre sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla sistemin ömrünü doldurduğunda tüm sistemi yenisi ile tamamen değiştirmek yerine ömrü dolan ekipman ve parçaların değişimi sistem (ömür) maliyetini azaltacaktır. Örnek vermek gerekirse, bir rüzgar türbini modelinin motor ömrünün 10 yıl olduğu varsayılırsa, 10 yılın sonunda sadece türbin motoru değişirken, rüzgar türbin kulesi ve üzerine tesis edildiği temel yapı, proje ömrü boyunca bir değişim maliyeti gerektirmediğinden toplam net sistem maliyetini arttırmadığı gibi değişim maliyeti doğal olarak başlangıç (ilk kurulum) maliyetinden önemli miktarda daha az olacaktır. Tersini düşünmek gerektiğinde ise hibe, proje yada satın alma programlarıyla başlangıç sermaye maliyeti düşük bir yenilebilir enerji kaynağının kurulumundan sonra değiştirme maliyeti ilk kurulum maliyetinden yüksek olabilmektedir.

Homer programında, proje ömrünün sonunda her bir donanım ve aracın hurda değerinin hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$S = C_{değ.} \frac{R_{kalan}}{R_{toplam}} \quad (5.1)$$

Yukarıda verilen denklemde S hurda değerini, $C_{değ.}$ her bir donanım ve aracın değişim maliyetini, R_{kalan} her bir donanım ve aracın kalan ömrünü, R_{toplam} donanım ve aracın normal (toplam) ömrünü göstermektedir. Örneğin fotovoltaik (solar) panellerin 15 yıllık ömrü olduğu varsayılırsa, 15. yılında bu panellerin ömrünü doldurması nedeniyle hurda maliyeti sıfır (0) olurken, 10. yılında aynı panellerin hurda değeri yenileme (değiştirme) maliyetinin üçte ikisi (2/3) olacaktır.

Her bir ekipmanın yıllık maliyetinin bulunmasında başlangıç (ilk kurulum) maliyeti, ekipman değişim maliyeti, yakıt maliyeti, hurda değeri ve diğer maliyet ve gelirlerin birleştirilmesiyle yıllık varsayımsal maliyet elde edilmektedir. Bu da, tüm proje ömrü boyunca her yıl her bir ekipmana ait maliyet ve gelirlerin maliyetine denk bir şimdiki net maliyet demektir. Sistemin toplam yıllık maliyeti, kirletici madde emisyonlarından

kaynaklı ödenen cezaların yanı sıra, her bir ekipmanın toplam yıllık maliyetlerini de kapsaması sayesinde sistem için iki temel ekonomik verinin (şimdiki net toplam maliyet ve enerjinin birim maliyeti) hesaplanmasında bu değerler kullanılmaktadır.

Sistem maliyetinin hesaplanmasında Homer programında aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$C_{\text{öM}} = \frac{C_{\text{yıl,top}}}{CRF(i, R_{\text{proj}})} \quad (5.2)$$

Yukarıda verilen denklemde $C_{\text{öM}}$ ömür (sistem) maliyeti, $C_{\text{yıl,top}}$ toplam yıllık maliyeti, i yıllık reel faiz oranı (iskonto oranı), R_{proj} projenin ömrünü ifade etmektedir.

CRF sermaye geri dönüşüm faktörü olup aşağıdaki denklemle elde edilmektedir.

$$CRF(i, N) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (5.3)$$

i yıllık reel faiz oranını ve N de yıl değeridir.

Homer enerji birim maliyetinin hesaplanmasında aşağıdaki denklemi kullanmaktadır.

$$EM = \frac{C_{\text{yıl,top}}}{E_{\text{temel}} + E_{\text{ikincil}} + E_{\text{şeb., satış}}} \quad (5.4)$$

Yukarıda verilen denklemde EM enerji birim maliyetini, $C_{\text{yıl, top}}$ toplam yıllık maliyeti, E_{temel} ve E_{ikincil} sistemin desteklediği birincil ve ikincil yükleri, $E_{\text{şeb., satış}}$ şebekeye satılan yıllık enerji miktarını ifade etmektedir. Sistemin yılda ürettiği kullanılabilir enerji miktarı denklemde payda kısmında verilmektedir. Özetle sistemin ürettiği bir kWh' lik ortalama enerji maliyetine birim enerji maliyeti denilmektedir.

Her ne kadar enerji birim maliyeti genellikle farklı sistemlerin maliyetlerini karşılaştırmak için uygun bir ölçüm olsa da, Homer bunun yerine temel ekonomik figür olan toplam sistem (ömür) maliyetini (Net Present Cost-NPC) kullanmakta ve sistem konfigürasyonlarını birim enerji maliyeti yerine sistem (ömür) maliyetine göre sıralamaktadır.

5.3 Sistem Öğelerinin Modellenmesi

Kaynak, güneş, rüzgar, hidro, biyo kütle gibi yenilenebilir enerji kaynakları yada sistemin ihtiyaç duyduğu herhangi bir yakıtı kullanmak yoluyla sistem dışından gelerek elektrik veya termal güç üretmek için kullanılan bir terimdir. Yenilenebilir kaynaklar, bölgeye göre değişiklik gösterebilir. Güneş kaynağı; enlem ve iklimle,

rüzgar kaynağı; büyük ölçekli atmosferik dolaşım modelleri ve coğrafi etkilere, hidro kaynaklar; yerel yağış miktarlarına, topografyaya ve biyokütle kaynağı ise bölgesel biyolojik üretkenliğe büyük ölçüde bağlıdır. Herhangi bir yerdeki yenilenebilir kaynaklar mevsimsel ve saatlik olarak değişkenlik gösterebilmektedir.

Sistem tasarımında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilecek güç üretimi tasarlanırken, mevcut yenilenebilir kaynakların doğası, yenilenebilir enerji üretiminin miktarını ve zamanlamasını belirlediği için, yenilenebilir enerji sistemlerinin davranışını ve ekonomisini etkilemektedir.

Bir PV (fotovoltaik) dizisi içeren bir güneş (solar) kaynağı sistemini modellemek için HOMER kullanıcısı, belirlediği konum için güneş kaynağına ait solar verileri sağlamalıdır.

Güneş kaynağı verileri, tipik bir yılda Dünya'nın yüzeyine çarpan Küresel Güneş ışıınının (Global Solar Radiation) miktarını (doğrudan güneşten gelen ışıın radyasyonu-beam radiation ve gökyüzünün tüm bölgelerinden gelen yaygın radyasyon-diffuse radiation toplamını) göstermektedir. Veriler üç formdan birinde olabilir: yatay yüzeyde saatlik ortalama küresel güneş radyasyonu (kW / m^2), yatay yüzeyde aylık ortalama küresel güneş radyasyonu ($\text{kWh} / \text{m}^2 \text{ gün}$) veya aylık ortalama açıklık indeksi (Average Cleareness Index). Açıklık (Cleareness Index) endeksi, Dünya yüzeyine çarpan güneş ışıınının, atmosferin tepesine çarpan güneş ışıınınına oranıdır. Açıklık endeksi atmosferin açıklığının bir ölçüsü olup, sıfır (0) ve bir (1) arasında bir sayıdır.

Rüzgar kaynağı bir veya daha fazla rüzgar türbini içeren bir sistemi modellemek için, Homer kullanıcısı, tipik bir yılda türbinleri harekete geçirecek rüzgar hızlarını gösteren rüzgar kaynağı verilerini sağlamalıdır. Mümkün olduğunca rüzgar kaynağı verileri saatlik olmalıdır. Aksi halde, Homer, 12 aylık ortalama rüzgar hızlarından ve Weibull şekil faktörü (the Weibull shape factor), otokorelasyon faktörü (autocorrelation factor), günlük model güç (the diurnal pattern strength) ve pik rüzgar hızının saati (the hour of peak wind speed) gibi dört ilave istatistiksel parametreden sentetik (yapay) saatlik veri üretebilmektedir.

Weibull şekil faktörü (the Weibull shape factor) rüzgar hızının bir yıla dağılımının ölçüsüdür. Otokorelasyon faktörü, bir saatteki rüzgar hızının, bir önceki saatteki rüzgar hızına bağlı olma eğiliminin bir ölçüsüdür. günlük model güç (the diurnal pattern

strength) ve pik rüzgar hızının saati (the hour of peak wind speed) rüzgar hızındaki ortalama günlük model büyüklüğünü ve fazını gösterir.

10 tip bileşenin modellenenebildiği, ancak sadece yenilenebilir kaynaklar olan fotovoltaiik modüller, rüzgar türbinleri ve hidro türbinlerden elektrik enerjisinin üretilebildiği Homer'da, bir bileşen (öge); enerjiyi üreten, ileten, dönüştüren veya depolayan bir mikro güç sisteminin herhangi bir parçasını ifade etmektedir. Homer programı, PV modülleri güneş ışınımını DC elektriğe, rüzgar türbinleri, rüzgar enerjisini AC veya DC elektriğe, hidro türbinler akan suyun enerjisini AC veya DC elektriğe dönüştürmektedir.

Diğer üç bileşenler; jeneratörler, şebeke elektriği ve buhar kazanları, çıkarılabilir (sevk edilebilir) enerji kaynaklarıdır, yani sistem bunları gerektiği gibi kontrol edebilir.

Jeneratörler, AC veya DC elektrik üretmek için yakıt tüketirken ayrıca atık ısı geri kazanımı yoluyla termal güç üretebilmektedir. Şebeke bağlantılı sistemler gerektiğinde sisteme AC elektrik verebilirken, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla üretilen fazla elektriğin şebekeye satılmasını da sağlamaktadırlar. Kazanlar, termik güç üretmek için yakıt tüketirler.

İki tür bileşen, dönüştürücü (converters) ve elektrolizör (electrolyzers), elektrik enerjisini AC'dan DC'ye veya DC'den AC'a dönüştürmektedir. Elektrolizörler, sudaki elektroliz ile fazla AC veya DC elektriği hidrojene dönüştürür. Sistem hidrojeni depolayabilir ve bir veya daha fazla jeneratör için yakıt olarak kullanabilmektedir. Piller ve hidrojen depolama tankları enerji depolarken, aküler DC elektrik depolamaktadırlar. Hidrojen depoları, bir veya daha fazla jeneratörü desteklemek için elektrolizörden hidrojen depolar.

Kendi sıcaklığı ve maruz kaldığı voltajdan ayrı olarak PV paneller, Homer tarafından küresel güneş ışıması (Global Solar Radiation) ile doğru orantılı DC elektrik üreten bir cihaz olarak modellenmektedirler.

Homer programı PV panel güç çıkışını aşağıdaki denklem ile göstermektedir.

$$P_{PV} = f_{PV} Y_{PV} \frac{I_T}{I_S} \quad (5.5)$$

Yukarıda verilen denklemde f_{PV} , PV indirgeme faktörü yada bir başka ifadeyle yada değer kaybı faktörü (derating factor), Y_{PV} panel dizisinin nominal kapasitesi, I_T PV dizisinin yüzeyindeki küresel ışıınım (ışın + yayılma) (kW/m²) ve I_S , PV dizisinin

kapasitesini derecelendirmek için kullanılan standart radyasyon miktarı olan 1 kW/m²'dir.

Pik kapasitesi olarak da bilinen bir fotovoltaiik solar panel dizisinin nominal kapasitesi, bir panelin standart test koşullarında 1kW/m²' lik ışıınım ve 25° C' lik bir sıcaklıkta üreteceği güç miktarıdır. Homer programında bu değeri PV modülünün hem alanı hem de verimliliği için hesaplanırken, PV panel dizisinin boyutu her zaman nominal kapasite cinsinden ifade edilmektedir.

Duffie ve Beckmann'ın HDKR modelini kullanarak PV dizisi üzerindeki küresel güneş ışımasını (global solar radiation) yılın her saati için hesaplayan Homer programı, güneş kaynağının mevcut değeri (yatay bir yüzeydeki küresel güneş ışıması olayı), PV dizisinin yönünü, dünya yüzeyindeki konumu, yılın zamanını ve günün saatini dikkate alır. Dizinin yönü (oryantasyonu) sabit olabilir veya çeşitli izleme (tracking) şemalarından birine göre değışebilir.

PV indirgeme faktörü yada bir başka ifadeyle yada değeri kaybı faktörü (derating factor), paneldeki tozun, tel kayıplarının, yüksek sıcaklığın veya PV dizisinin çıkışının ideal koşullar altında beklenenden sapmasına neden olacak başka etkenleri hesaba katan bir ölçekleme faktörüdür.

Homer, bir PV dizisinin güç çıkışının panel sıcaklığının artmasıyla azaldığı gerçeğini hesaba katmaz, ancak Homer kullanıcısı, sıcak iklimler için sistemlerin modellenmesi sırasında, bu etki için indirgeme (değeri kaybı) faktörünü kabaca doğru değeriğe indirebilir.

Güneş ışıını ve sıcaklık, maksimum güç noktasını (güç çıkışının maksimize edildiği voltaj) doğrudan etkilemektedir. Eğer fotovoltaiik paneller bir akü grubu veya bir DC yüke doğrudan bağılysa maksimum güç voltajından farklı bir gerileme maruz kaldıklarından performansı düşecektir.

Maksimum Güç Voltaj İzleyici (Maximum Power Point Tracker-MPPT), PV dizisi ile sistemin geri kalan DC cihazları arasına yerleştirilerek panel voltajını sistemin geri kalanından ayıran ve panel voltajının her zaman maksimum güç voltajına eşit olmasını sağılayan yarı iletken bir cihazdır. PV dizisinin maruz kaldığı voltajın etkisini göz ardı ederek, Homer, sistemde maksimum güç voltaj izleyicisinin (MPPT) etkin olduğunu varsaymaktadır.

Rüzgarın kinetik enerjisini belirli bir güç eğrisine göre AC veya DC elektriğe dönüştüren rüzgar türbini Homer programıyla kullanıcı tarafından tasarlanmaktadır. Homer güç eğrisini standart sıcaklık ve basınç koşullarına karşılık gelen 1.225 kg/m^3 lük standart bir hava yoğunluğunda uygulandığını varsayarak hesap yapmaktadır.

Homer, rüzgar türbininin güç çıkışını dört adımlı bir süreçte her saat için hesaplamaktadır.

İlk adımda, rüzgar hızı kaynağı verileri ve anemometre yüksekliğine göre o saatteki ortalama rüzgar hızını hesaplamaktadır.

İkinci adımda, logaritmik yasa ya da güç yasası kullanılarak türbin merkezine denk gelen rüzgar hızını belirlemektedir.

Üçüncü adımda, standart hava yoğunluğunu referans alarak rüzgar hızındaki güç çıkışını hesaplamak için türbinin güç eğrisini kullanmaktadır.

Dördüncü adımda, bu güç çıkış değeri, hava yoğunluğu oranı ile çarpılarak, gerçek hava yoğunluğunun standart hava yoğunluğuna oranı elde edilmektedir. Hava yoğunluğu oranının yıl boyunca sabit olduğunu varsayan Homer programı, ABD Standart Atmosfer cetvelini (U.S. Standard Atmosphere) kullanarak saha rakımındaki hava yoğunluğu oranını hesaplamaktadır. HOMER, Dördüncü olarak, bu güç çıkış değeri, gerçek hava yoğunluğunun standart hava yoğunluğuna oranı olan hava yoğunluğu oranı ile çarpar.

Türbinin güç eğrisine ve göbek yüksekliğine ek olarak, kullanıcı, türbinin tahmini ömrünü yıl cinsinden, başlangıç sermaye maliyetini (initial capital cost), değiştirme maliyetini (replacement cost), yıllık bakım ve onarım maliyetini dolar cinsinden belirleyebilmektedir.

Şebeke (grid), Homer programının mikro güç sisteminin AC elektrik satın alabileceği ve sistemin ürettiği fazla elektriği satabileceği şekilde modellediği bir bileşendir. Şebekeden elektrik enerjisi almanın maliyeti bir fatura döneminde satın alınan elektrik miktarına ve ihtiyaç duyulan yoğun talebe bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Homer, “şebeke güç fiyatı (grid power price)” terimini şebekeden alınan enerji ücreti için ve “talep oranı (demand rate)” terimini de şebeke pik talep ücreti için kullanmaktadır. “Geri satım oranı (sellback rate)” terimi hizmet sağlayıcının elektrik şebekesine satılan elektrik enerjisi karşılığında aldığı fiyatı ifade etmektedir.

Homer kullanıcısı, her biri farklı şebeke gücü fiyatı, talep oranı ve geri alım oranı olan 16 farklı oranı tanımlayabilir ve programlayabilir. Fiyatların takvimi ay, günün saati ve hafta içi/haftasonuna göre değişebilir.

Örneğin, Homer, haziran ve temmuz aylarında hafta içi öğleden sonraları için pahalı bir oranı, ağustos ve eylül aylarında hafta içi öğleden sonraları için bir ara ücreti ve diğer tüm zamanlarda ucuz bir ücretin geçerli olduğu bir durumu modelleyebilmektedir.

HOMER aynı zamanda “net ölçüm (net metering)” faturalandırmasını, müşteri tarafından faturalama dönemi boyunca net şebeke alımlarına (alınan elektrik maliyetinden satılan elektrik maliyeti düşülerek) dayalı olarak ücretlendiren bir fatura düzenlemesini modelleyebilmektedir. Net ölçüme (net metering) göre, fatura dönemi boyunca elektrik satın alım maliyeti, elektrik satış maliyetini aşarsa, tüketici, şebeke gücü fiyatına eşit olan şebeke net alım fiyatında bir maliyet öder.

Satışlar, fatura dönemi boyunca satın alımları aşarsa, bu kez elektrik şirketi tüketiciye, genellikle şebeke gücü fiyatından daha az ve sıfıra yakın bir geri alım oranına denk gelen net şebeke satışı (elektrik satışlarından, elektrik alımlarını çıkarıldığında) miktarını öder.

Simülasyonda fatura dönemi bir ay veya bir yıl olarak modellenenilirken net ölçümün (net metering) birden fazla ücrete uygulandığı olağandışı durumlarda, Homer net şebeke alımını (net grid purchase) her bir oran için ayrı ayrı izlemektedir.

Homer programında kullanıcı şebekeden elektrik alış ve şebekeye elektrik satış fiyatlarını dikkate alarak, şebekeden alınacak elektrik miktarını ve şebekeye satılacak elektrik miktarını sıfır ile istediği bir miktar aralığında ayarlayabilmektedir.

Kullanıcı ayrıca, Homer'in şebekeden güç satın almasıyla bağlantılı altı adet kirletici emisyonu ve şebekeye satılan elektrikten kaynaklanan ve istenmeyen emisyonları hesaplamak için programın kullandığı şebeke emisyon katsayılarını girebilmektedir. Her emisyon katsayısı, tüketilen bir kilowatt saatlik elektrik nedeniyle yayılan kirletici maddenin gramını belirtmektedir.

Çıkarılabilir (sevk edilebilir) bir güç kaynağı olduğu için, Homer şebekenin sabit ve marjinal (değişken) enerji maliyetini hesaplar; sabit maliyeti sıfır ve değişken (marjinal) maliyeti ise, emisyon cezaları ile birlikte mevcut şebeke elektrik fiyatı toplamına eşittir.

Şebeke gücü fiyatı, geçerli ücret değıştikçe saatten saate değışebileceğinden, şebekenin marjinal enerji maliyeti de aynı şekilde saatlik değışiklik gösterebilmektedir. Bu da, Homer simülasyonun sistem davranış ı üzerinde önemli etkilere neden olmaktadır. Örneğ in, Homer, şebeke gücü maliyetinin çok yüksek olduğu ve jeneratör çalıştırma maliyetlerini aşt ığı zamanlarda, jeneratör gücünün maliyetininin daha uygun olması nedeniyle jeneratör çalıştırmayı seçebilmektedir.

Bir dönüştürücü (converter) , elektrik gücünü evirme (inversion) adı verilen bir işlemle DC'den AC'ye ve/veya doğrultma (rectification) adı verilen başka bir işlemle AC'den DC'ye dönüştüren bir cihazdır. Homer, iki yaygın konvertör tipi olan yarı iletken ve rotary (rotary invertör) dönüştürücüleri (converter) modelleyebilmektedir.

Bir karar değışkeni olan ve invertör kapasitesini ifade eden dönüştürücü (converter) kapasitesi, cihazın DC gücü evirerek (inversion) üretebileceğ i maksimum AC gücü anlamına gelmektedir. Kullanıcı, cihazın AC gücünü dönüştürerek üretebileceğ i maksimum DC gücü olan redresör kapasitesini, dönüştürücü (invertör) kapasitesinin yüzdesi ile belirleyebilmektedir. Bu nedenle redresör kapasitesi (rectifier capacity) ayrı bir karar değışkeni değ ildir.

Homer, dönüştürücü (invertor) ve redresör (rectifier) kapasitelerin, cihazın sadece kısa süreler boyunca dayanabileceğ i yüksek dalgalanma kapasitelerinden daha ziyade, cihazın gerektiğ i sürece dayanabileceğ i sürekli kapasitelerde olduğunu varsaymaktadır.

Homer kullanıcısı, dönüştürücünün yada başka bir ifadeyle invertörün bir jeneratör veya şebeke gibi başka bir AC güç kaynağıyla paralel olarak çalışıp çalışmayacağını belirleyebilmektedir. Bu, dönüştürücünün (invertor) bazı frekans çeviricilerin sahip olmadığı bir frekansa senkronize olmasını gerektirmektedir.



6. A LİMANINA AİT ENERJİ YÜKÜ KARAKTERİSTİKLERİ

6.1 Denizcilik ve Limanlar Açısından Sürdürülebilir Çevre ve Enerjinin Önemi

Küresel ölçekte üretilen sanayi ürünlerinin taşınması, her türlü ürünlerin nakliyesi ve dünya ticaretinin vazgeçilemez unsuru enerjidir.

OECD içerisinde yer alan ve Türkiye' nin de kurucu üyesi olduğu Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA) 2016 Türkiye raporuna göre 2004 – 2014 yılları arasında elektrik tüketimi iki kat artarak yıllık 207 TWh' ye yükselirken, doğalgaza olan talep iki katından fazla artmış yıllık 22 milyar m³'ten 49 milyar m³' e yükselmiş, ancak kişi başına düşen enerji üretimi ise IEA ortalamasının çok altında kalmıştır. 2015 yılı için Türkiye' nin toplam enerji üretimi (Total Primary Energy Supply) 129,7 milyon ton petrole eşdeğer (TPE) seviyede ve kişi başına düşen enerji üretimi ise 1,7 TPE ediyorken, IEA üyesi diğer ülkelerde bu değer ortalama 4,5 TPE olarak gerçekleşmiştir. [56]

Sürdürülebilir bir çevre ve sürdürülebilir bir ekonomi açısından enerji yönetimi, verimliliği ve enerji güvenliği önemlidir. Kaynakların verimli, etkili kullanımı, karbon emisyonunun ve sera gazlarının salınımının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı her sektörde olduğu gibi denizcilik sektöründe de üzerinde durulan bir haline gelerek küresel ölçekte uluslararası standartlar, kanunlar ve zorunluluklar oluşturulmaya başlanmıştır. Dünya ticaretinin ve ekonomisinin en büyük ve vazgeçilmez parçası olan denizcilik sektöründe enerji tüketiminin fazla olduğu limanlarda; rıhtımlarda bağlı olan gemiler, limanda kullanılan binalar, aydınlatma, ısıtma-soğutma sistemleri, depolar, soğutucular, yük elleçleme araçları, sabit ve mobil vinçler, kreynerler, liman içi nakliye ve transfer araçları enerji talebini arttıran en önemli unsurlardır. Tüm bu enerji ihtiyacının karşılanması enerji maliyetlerini arttırmaktadır. Bu da limanlarda enerji ihtiyacının karşılanması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasını gerekli ve zorunlu kılmaktadır. Bu maksatla bu çalışmada bütünleşik yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenen limanın tekno-ekonomik analizi yapılmıştır. Tekno-ekonomik analizi yapılan liman,

Türkiye’ de Akdeniz’ de yer almakta olup, şebeke bağlantılı güneş ve rüzgar enerjili hybrid sistemlerle enerji ihtiyacının karşılanması maliyetleri, amortisman süreleri, başlangıç maliyetleri vb. en uygun sistemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç kapsamında Homer Pro programına limanın 2016 yılına ait enerji talepleri girilerek her iki liman için en uygun bütünsel enerji güç sistemleri, miktarları, kapasiteleri, maliyetleri vb. net verilerek elde edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgulara göre tekno-analizi yapılan limanda yenilenebilir enerji sistemlerinin uygulanması durumunda hem karbon salınımı hem de limanın enerji maliyetleri önemli oranda düşerek liman operasyon ve işletme giderlerinde olumlu katkı sağlayacaktır. Bu alandaki yapılan çalışmaların ve farkındalığın yeterli olmayışı nedeniyle limanlarda yeşil enerji uygulamalarının başka akademik çalışmalarla da desteklenmesi oldukça önem arz etmektedir.

6.2 Optimizasyonu Yapılacak Liman

Yenilenebilir enerji sistemleri (GES, RES) ile ekonomik optimizasyonu yapılacak liman Akdeniz’de yer alan bir liman olup ticari rekabetlerini olumsuz etkilememek amacıyla söz konusu liman için “A Limanı” kısaltması kullanılmıştır. Liman ismi kullanmama ön koşulu ile limandan alınan aylık enerji tüketim verileri kullanılarak limanın aylık enerji talebi ve enerji maliyetleri tablo ve grafiklere dökülmüştür. Enerji tüketim verileri limandan yazılı ve resmi müracaatlar yapılarak, e-mail ve yazılı olarak alınmıştır.

6.3 Akdeniz’de Yer Alan “A Limanı” Bölge Yük Karakteristiği

Bu çalışmada bir limanın elektrik enerjisinin farklı yenilenebilir enerji kaynakları tarafından karşılanması için Homer pro programı üzerinde çeşitli senaryolar uygulanmış, elde edilen sayısal ve ekonomik veriler değerlendirilmiştir. Her senaryo için ortaya çıkan sayısal veriler, ekonomik sonuçlar ücret ve maliyetler irdelenmiştir.

Senaryodaki hesaplamalarda para birimi Amerikan doları (\$) tercih edilmiş olup, 2016 yılının Dolar-Türk lirası ortalaması 1 Amerikan doları karşılığı 3,02 Türk lirası olarak alınmıştır. Yine 2016 yılı enflasyon oranı 2016 ortalama değeri %8,53 olarak alınmıştır.

Senaryolarda PV modülleri (DC) ve rüzgar türbinleri (AC) tercih edilmiş olup, sadece güneş enerji sistemleri ve rüzgar enerji sistemlerinin uygulaması üzerinde çalışılmıştır. Hesaplamalarda personel giderleri, ulaşım maliyeti, arsa kirası (bedeli), vergi ve diğer maliyetler dikkate alınmamıştır.

PV modülleri için yıllık bakım ve onarım maliyetleri 10 \$ olarak alınmıştır. Rüzgar türbinin sermaye masrafı ortalama 2000 \$/kW alınmıştır. Her bir kW'lık PV modülü için sermaye masrafı ortalama 1900 \$/kW olarak kabul edilmiştir. Dönüştürücü (AC-DC inverter) için sermaye masrafı ortalama 300\$/kW alınmıştır.

Bu senaryoda, limanın tüm enerji yükü güneş ve rüzgar yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanacak şekilde Homer programında simülasyonu yapılmıştır.

Homer programına göre 2016 yılı ortalama yük değeri 30.855,62 kWh/gün olarak hesaplanmıştır. Ortalama yük (average load) 1.285,6 kW, puant (peak) yük 1.878,4 kW olarak ve yük faktörü 0,68 değerleri A limanı için Homer programı tarafından hesaplanan değerlerdir. Ayrıca vinçler ve aydınlatma için girilen yük profiline göre, Homer programı ortalama yük (average load) değerini 13.695,6 kW/gün, ortalama yükü 570,65 kW, puant (peak) yükü 1.170,3 kW, ve yük faktörünü 0,49 olarak hesaplamıştır. Yük faktörü ortalama yükün (average load) puant yüke bölünmesiyle elde edilmektedir.

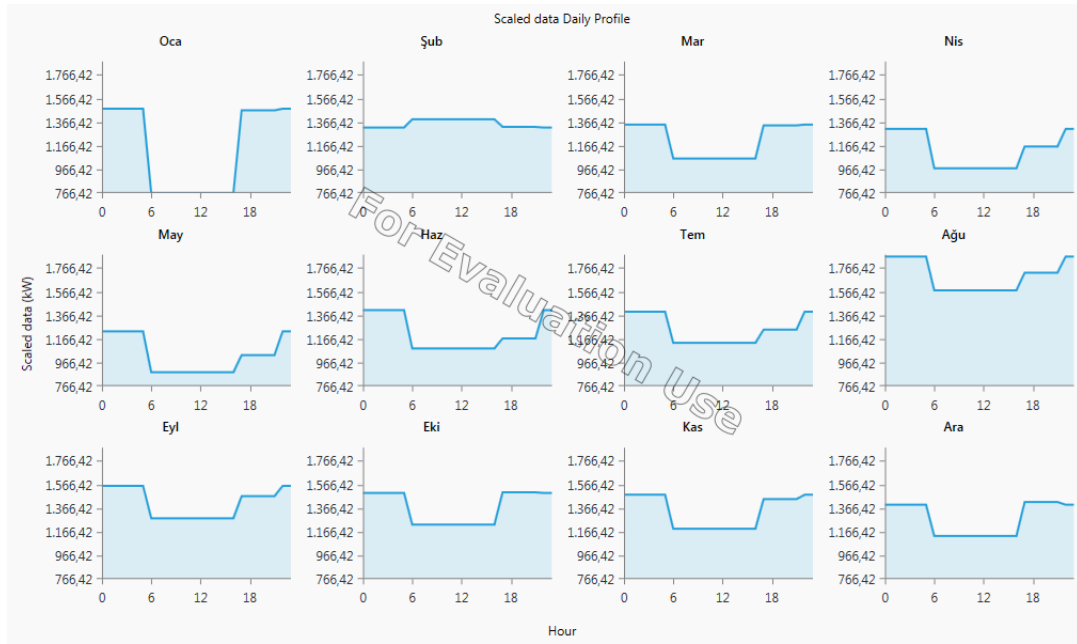
Buradaki örnek için $1.285,6/1.878,4=0,68$

HOMER programında saatlik periyotta %20 oranında bir saatlik sapma değeri (rastgelelik) kullanılmıştır.

2016 yılında A Limanına ait her bir ay için saatlik elektrik yük profili verilmiştir.

Şekil 6.1'de de görüldüğü üzere yazın özellikle ağustos ayında enerji tüketiminde belirgin bir artış vardır. A Limanı için tercih edilecek olan PV ve rüzgar türbinlerinden oluşan hibrit sistemden elde edilecek elektrik enerjisi limanın elektrik talebine cevap verecek ve maliyetleri aşağı yönde çekecektir.

Ocak ayına baktığımızda özellikle 06:00-17:00 arasındaki enerji tüketiminin önemli oranda az olduğu dikkati çekmektedir. Bu durumda enerji talebinin azaldığı zamanlarda kurulacak şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemi ihtiyaç fazlası elektriği şebekeye satarak orta ve uzun vadede karlılık elde edecektir.



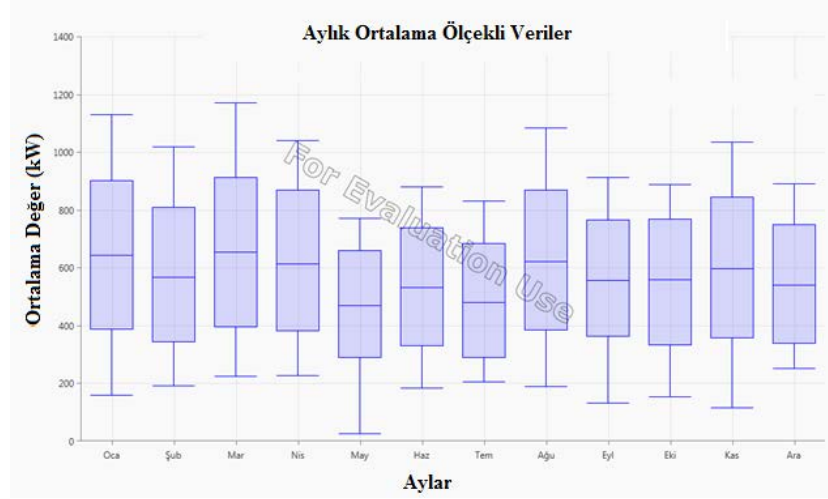
Şekil 6.1 : A Limanı elektrik yük profili.

A Limanının aydınlatma ve vinçlerin elektrik tüketimine ait her bir ay saatlik elektrik yük profili Şekil 6.2’de verilmiştir.



Şekil 6.2: A Limanı aydınlatma ve vinçlere ait elektrik yük profili.

A Limanında vinç ve aydınlatmaların aylık ortalama yük değerleri aşağıda verilen Şekil 6.3’deki gibidir.



Şekil 6.3 : A Limanı için vinçler ve aydınlatmalara ait aylık yük profili.

6.4 “A Limanı” Bölge Güneş Enerjisi Karakteristiği

Türkiye’nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresinin 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl’dır. (günlük toplam 3,6 kWh/m²) EİEİ tarafından yapılan çalışmalarda, teknik kapasitesi 405 milyar kWh, ekonomik potansiyeli de 380 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir.

Programda kullanılan güneş datası yatay bir zemin üzerine düşen ortalama solar radyasyonudur ve yılın her bir saati için kWh/m² olarak ifade edilen 8760 adet değer kümesidir.

Bölge güneşlenme değerleri NASA verilerine göre HOMER tarafından hesaplanmıştır. Homer programına A Limanı koordinatlarını kabaca 36° 35’ 27.18" kuzey ve 36° 11’ 29.03" doğu girdiğimizde buraya ait koordinat değerleri için 8760 adet solar radyasyon değerini (yılın her bir saati için bir güneşlenme değeri) Graham algoritmasını kullanarak oluşturmaktadır.

Bir önceki gün veya saatin bulutlu veya açık olmasını dikkate alarak gerçeğe uygun şekilde değişkenlik ve oto korelasyon içeren bir değerler dizisi oluşturmaktadır.

Algoritma, küresel ortalama değerleri içeren yıllar içerisinde oluşmuş istatistiki verileri kullanarak ortalama radyasyon değerleri vermektedir. El ile girilen gerçek değerler ile Homer programının ulaştığı hesabi verilerin kıyaslanması durumunda gerçeği önemli ölçüde yansıtmaması nedeniyle sonuçlara güven duyulabilir.

Enerji optimizasyonu yapılacak A Limanının aylık ortalama berraklık indeksi ve günlük radyasyon oranı (kWh/m²/g) çizelge’ de verilmiştir ve çizelge 6.1’de özetlenmiştir.

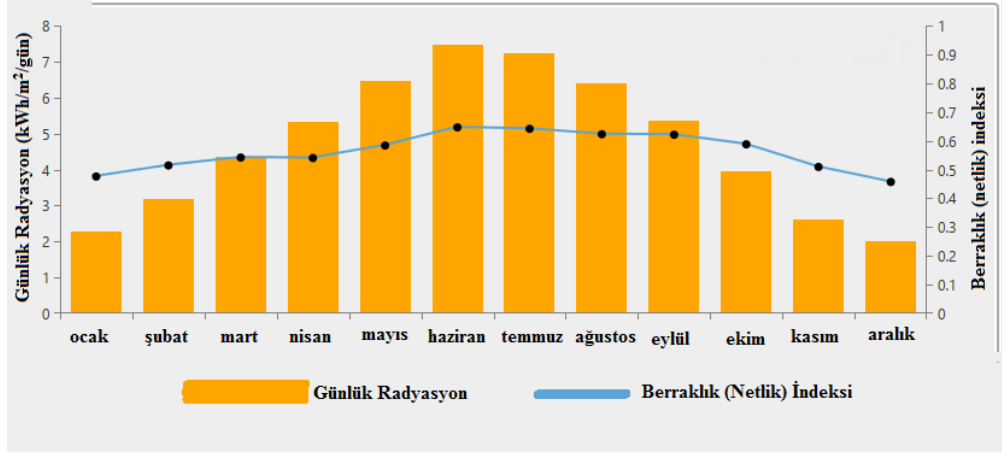
Çizelge 6.1 : A Limanı aylık güneşlenme değerleri.

Aylar	Berraklık İndeksi	Günlük Radyasyon kWh/m ² /gün
Ocak	0,475	2,29
Şubat	0,514	3,17
Mart	0,541	4,35
Nisan	0,54	5,32
Mayıs	0,583	6,46
Haziran	0,646	7,47
Temmuz	0,641	7,24
Ağustos	0,622	6,4
Eylül	0,62	5,36
Ekim	0,587	3,94
Kasım	0,509	2,6
Aralık	0,457	2,01

Berraklık yada netlik indeksi, atmosfer açıklığının bir ölçüsü olup atmosferden geçerek dünya yüzeyine ulaşan güneş radyasyonu miktarını etkileyen önemli bir etkindir. Yüzey radyasyonunun (surface radiation), dünyanın dışındaki (uzaydaki) radyasyona (extraterrestrial radiation) bölünmesiyle bulunan ve 0 ile 1 arasında ifade edilen boyutsuz bir sayıdır. Bu sayı güneşli ve açık havalar için 1 değerine yakın olurken, kapalı veya bulutlu havalarda 0 değerine yakın olmaktadır.

Netlik indeksi anlık, saatlik veya aylık olarak tanımlanabilir. HOMER programında güneş ile ilgili kaynak veriler (Solar Resource Inputs) penceresindeki açıklık (netlik) indeksi değerleri aylık ortalama değerler olup sembolü Kt'dir [57].

Aşağıda verilen Şekil 6.4 aylara göre günlük radyasyon ve berraklık (netlik) indeksini göstermektedir.



Şekil 6.4 : Aylara göre günlük radyasyon ve berraklık (netlik) indeksi.

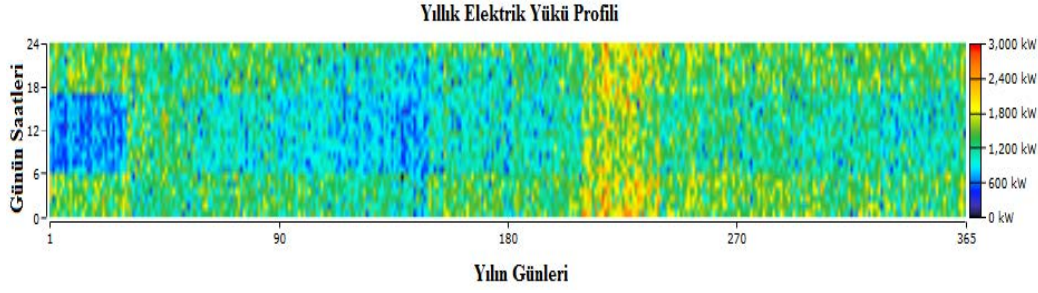
Güneş ile ilgili kaynak sayfasında (Solar Resource), yılın her ayı için, aylık ortalama radyasyon girilebilmektedir. Aşağıdaki Şekil 6.5'te A limanı aylık ortalama küresel yatay güneş radyasyon verileri yer almaktadır.

Aylık Ortalama Küresel Yatay Güneş Radyasyon Verileri		
Aylar	Netlik İndeksi	Günlük Radyasyon (kWh/m²/gün)
Ocak	0.475	2.290
Şubat	0.514	3.170
Mart	0.541	4.350
Nisan	0.540	5.320
Mayıs	0.583	6.460
Haziran	0.646	7.470
Temmuz	0.641	7.240
Ağustos	0.622	6.400
Eylül	0.620	5.360
Ekim	0.587	3.940
Kasım	0.509	2.600
Aralık	0.457	2.010
Yıllık Ortalam (kWh/m²/gün : 4.72)		

Şekil 6.5 : A Limanı aylık ortalama küresel yatay güneş radyasyonu Homer verileri.

Ortalama radyasyon değerine, yıl içerisindeki ay ve seçilen enleme bilgisine göre Homer programı netlik (açıklık) indeksini hesaplamaktadır.

Aşağıdaki verilen Şekil 6.6, Homer programında A limanının bir yıl boyunca 24 saatlik yıllık elektrik yükü profilini göstermektedir.



Şekil 6.6 : A limanı yıllık elektrik yükü profili.

Aşağıda verilen denklem aylık ortalama açıklık endeksini ifade etmektedir.

$$K_t = \frac{H_{ave}}{H_{0,ave}} \quad (6.1)$$

Denklemde H_{ave} dünyanın yatay olarak yüzeyindeki aylık ortalama radyasyon değerini göstermektedir ve birimi $\text{kWh/m}^2/\text{day}$ 'dir. $H_{0,ave}$ ise dünya dışındaki (uzaydaki) yatay radyasyon olup, dünya atmosferinin üzerinde yatay düzlemdeki radyasyonu ifade etmektedir ve $\text{kWh/m}^2/\text{day}$ ile ifade edilmektedir.

Yılın herhangi bir ayı belirli bir enlem için $H_{0,ave}$ hesaplanabilmektedir. H_{ave} yada K_t den birinin bilinmesi durumunda, Homer programı, Güneş Enerji Kaynağı Girişlerinde (Solar Resource Inputs) yer alan aylık veri tablosuna her değer girildiğinde yukardaki denklemi kullanarak diğerini hesaplayabilmektedir. Eğer ortalama radyasyon değeri girilirse, Homer ilgili açıklık (netlik) endeksini hesaplayabilmektedir.

Aşağıda yer alan denklem Homer'ın $H_{0,ave}$ ile ifade edilen aylık ortalama dünya dışı (uzay) radyasyonun (the monthly average extraterrestrial radiation) nasıl hesaplandığını göstermektedir.

HOMER, uzay normal radyasyonu da denilen ve dünya atmosferinin üzerinde güneş ışınımının (radyasyonunun) yoğunluğunu hesaplamak için aşağıdaki denklemi kullanmaktadır.

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0,033 * \cos \frac{360n}{365} \right) \quad (6.2)$$

Denklemde " G_{sc} " solar sabit değeri $1,367 \text{ kW/m}^2$, " n " bir yılın 1 ile 365 aralığındaki günleri ifade etmektedir. Güneş ışınlarına normal olan bir yüzeyin dünya dışı (uzay) radyasyonu yukarıdaki denklemle hesaplanabilmektedir. Homer programı yatay yüzeydeki dünya dışı (uzay) radyasyonu (extraterrestrial radiation) aşağıdaki denklemle hesaplamaktadır.

$$G_o = G_{on} \cos \Theta_z \quad (6.3)$$

Θ_z tepe (zenith) açısıdır. Homer, aşağıdaki denklemi kullanarak zenit açısını hesaplamaktadır.

$$\cos \Theta_x = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad (6.4)$$

Yukarıdaki denklemde ϕ enlemi (latitude), δ güneşin açısal sapmasını (solar declination), ω saat açısını (hour angle) ifade etmektedir.

Güneşin açısal sapması (solar declination) aşağıdaki denklemle hesaplanmaktadır.

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284+n}{365} \right) \quad (6.5)$$

Homer programında bir yıla ait 1 ile 365 arasındaki günleri göstermektedir. Örneğin, 1 ocak ayının birinci gününü ifade etmektedir.

Homer programı, güneşin doğumundan gün batımına kadar G_o denklemini entegre ederek, metrekaşe başına toplam günlük dünya dışı (uzay) radyasyonu aşağıdaki denklemle hesaplamaktadır.

$$H_o = \frac{24}{\pi} G_{on} [\cos \phi \cos \delta \cos \omega_s + \pi \omega_s / 180^\circ \sin \phi \sin \delta] \quad (6.6)$$

Denklemde H_o belirli bir gün için ortalama dünya dışı (uzay) radyasyonu [$\text{kWh/m}^2/\text{gün}$], ω_s gün batımı saat açısını (sunset hour angle) ifade etmektedir.

Homer, gün batımı saat açısını (sunset hour angle) aşağıdaki denklemi kullanarak hesaplamaktadır.

$$\cos \omega_s = -\tan \phi \tan \delta \quad (6.7)$$

Aşağıdaki denklemde H_o , bir ayın her günü için hesaplanarak, aylık ortalama bulunmaktadır.

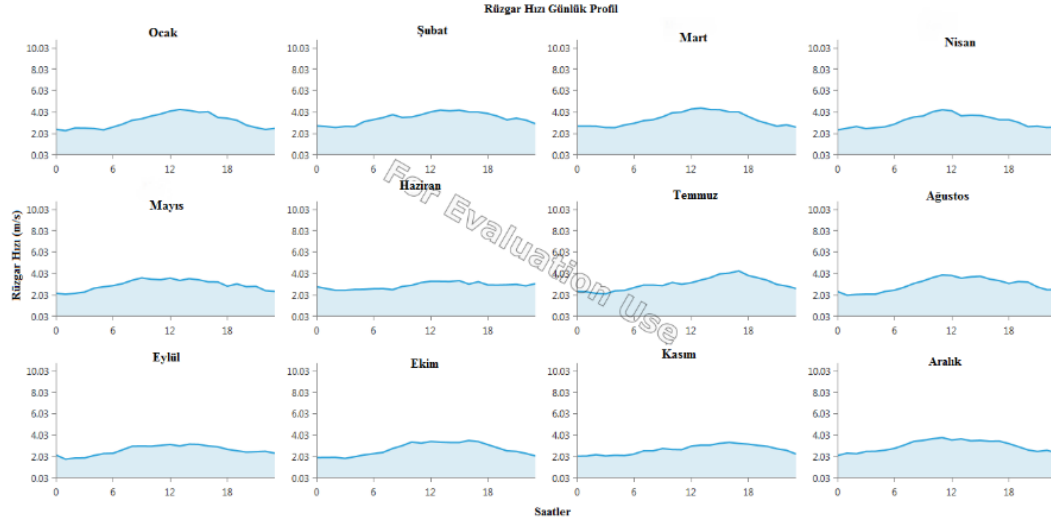
$$H_{o,ave} = \frac{\sum_{n=1}^N H_o}{N} \quad (6.8)$$

Yukardaki denklemde N bir aydaki günlerin sayısını ifade etmektedir [58].

6.5 “A Limanı” Bölge Rüzgar Enerjisi Karakteristiği

Jeopolitik konumundan ötürü Türkiye hem rüzgar hem de güneş enerjisinden önemli ölçüde faydalanabilecek ülkelerden birisidir. Homer programında saatlik veya aylık ortalama rüzgar hızı değerleri kullanıcı tarafından da girilebilmektedir.

Bölgeye ait rüzgar verileri meteoroloji genel müdürlüğü ve Homer programının verileri arasındaki benzerliğin yüksek olması nedeniyle programa ait rüzgar verileri kullanılmıştır. A limanı için bölgeye ait ortalama aylık rüzgar hızları şekil 6.7 ve şekil 6.8’ de verilmiştir.

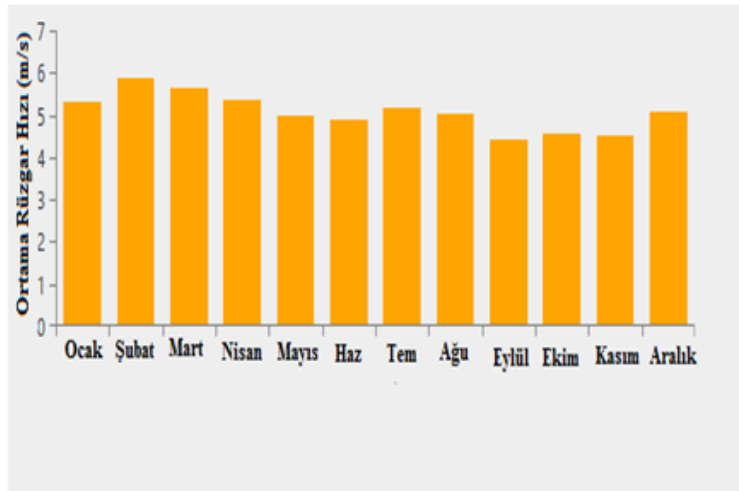


Şekil 6.7 : A Limanı aylık ortalama rüzgar hızları profili.

Aylık Ortalama Rüzgar Hızı Verisi

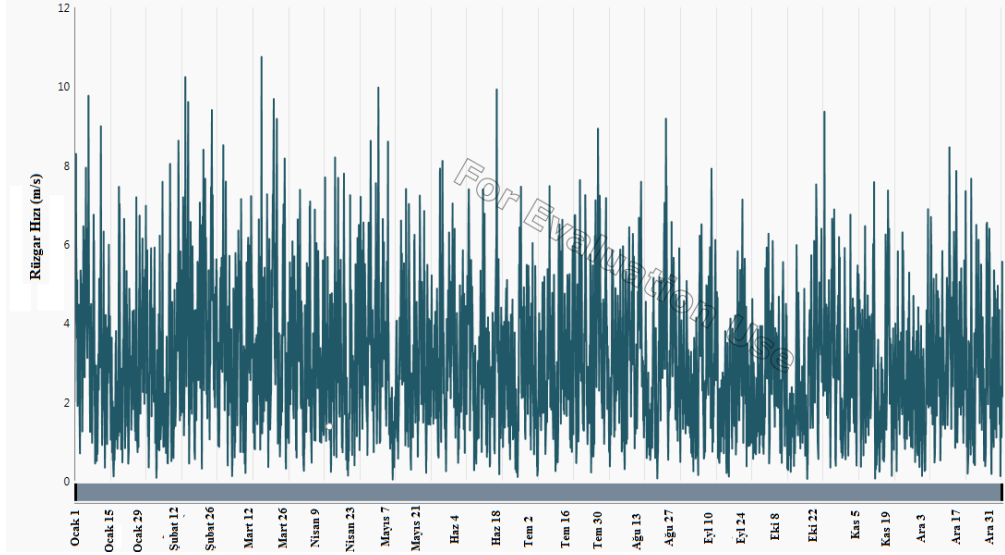
Ay	Ortalama (m/s)
Ocak	5.310
Şubat	5.850
Mart	5.660
Nisan	5.350
Mayıs	5.000
Haziran	4.900
Temmuz	5.180
Ağustos	5.030
Eylül	4.410
Ekim	4.570
Kasım	4.510
Aralık	5.080

Yıllık Ortalama (m/s) : 5.07



Şekil 6.8 : A Limanı aylık ortalama rüzgar hızı verileri.

Bir yıla ait rüzgâr hızı değişimi şekil 6.9’ da verilmiştir.



Şekil 6.9 : A Limanı için bölgeye ait bir yıllık rüzgar hızı değişimi.

Homer programında “Rüzgar Kaynağı” bölümünde yükseklikle varyasyon sekmesi altında, rüzgar hızının yerden yükseklikle artması kullanıcı tarafından tanımlanabilmektedir.

HOMER, rüzgar türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgar hızını hesaplamak için bu bilgiyi kullanmaktadır. Rüzgâr hızı, bitki örtüsü, binalar ve topoğrafik özellikler gibi yer seviyesindeki engeller nedeniyle zemine yakın yerlerde yavaşlarken, yerden yükseldikçe de tam tersine rüzgar hızı artmaktadır. Yükseklikle rüzgar hızındaki bu değişime wind shear (rüzgarın ani değişimi) denilmektedir.

Rüzgar enerjisi mühendisleri tipik olarak iki matematiksel modelden birini, logaritmik profili veya güç kanunu profilini kullanarak rüzgar kesme modelini kullanırlar.

İki matematiksel model olan logaritmik profil veya güç kanunu profilinden birisi kullanılarak wind shear modellenenilmektedir.

Logaritmik Profil: Logaritmik profil yada logaritma yasası rüzgar hızının yerden yükseklikle orantılı olduğunu kabul etmektedir. Aşağıdaki denklem, rüzgar türbini yüksekliğindeki rüzgar hızının, anemometre yüksekliğindeki rüzgar hızına oranını vermektedir.

$$\frac{V_{turb}}{V_{anem}} = \frac{\ln(Z_{turb}/Z_0)}{\ln(Z_{anem}/Z_0)} \quad (6.9)$$

Yukarıdaki denklemde yer alan ifadeler aşağıda verilen anlamlara karşılık gelmektedir.

V_{turb} : Rüzgar türbininin göbek yüksekliğindeki rüzgar hızı [m/s]

V_{anem} : Anemometre yüksekliğindeki rüzgar hızı [m/s]

Z_{turb} : Rüzgar türbin yüksekliği [m]

Z_{anem} : Anemometre yüksekliği [m]

Z_0 : Yüzey pürüzlülük (engebelilik) uzunluğu [m]

$\ln (..)$: Doğal logaritma

Yüzey pürüzlülük uzunluğu, çevredeki arazinin pürüzlülüğünü belirten önemli bir göstergedir. Bitki örtüsü farklılıkları, yapıların yükseklikleri ve sıklığı rüzgar akışı üzerinde farklı etkiler gösteriyor. Bu farkların sınıflandırılması için de pürüzlülük uzunluğu (roughness length) birimi kullanılıyor.

Pürüzlülük uzunluğu olarak hesaplanan değer Logaritmik Rüzgar Profilinde (Log Wind Profile) rüzgar hızının sıfır kabul edildiği yerden yüksekliktir [59].

Aşağıda tablo olarak verilen Çizelge 6.2’de , Manwell, McGowan ve Rogers’dan alınan temsili yüzey pürüzlülük uzunlukları yer almaktadır.

Çizelge 6.2 : Arazi türlerine göre yüzey pürüzlülük değerleri.

Arazi Türleri	Pürüzlülük Uzunluğu (m) Z_0	Pürüzlülük Sınıfı
Çok düz, buz veya çamur	0.00001 m	0
Sakin, açık deniz	0.0002 m	
Dalgalı deniz	0.0005 m	
Karlı zemin	0.003 m	1
Çimenlik alan	0.008 m	
Kaba mera	0.010 m	
Nadaslık alanı	0.03 m	
Ekinlik alan	0.05 m	2
Seyrek ağaçlık alan	0.10 m	
Sık ağaçlık alan, seyrek bina yoğunluğu	0.25 m	3
Orman ve ormanlık alan	0.5 m	
Kenar mahalleler	1.5 m	
Şehir merkezi, yüksek binalar	3,0 m	4

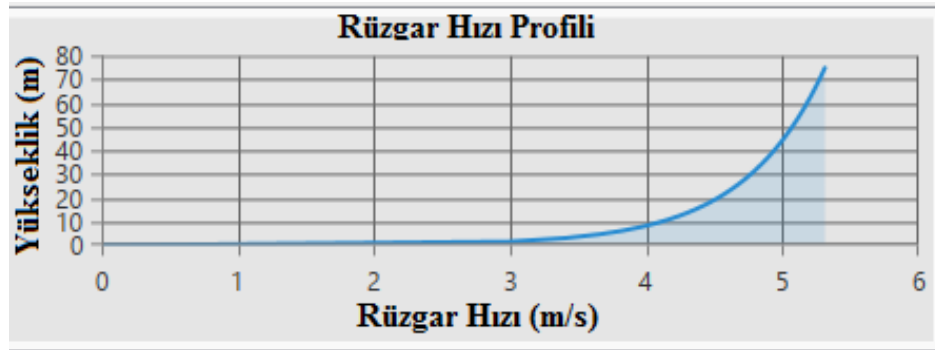
Güç Yasası Profili : Farklı yüksekliklerdeki rüzgar hızlarının oranı güç yasası profiline göre aşağıdaki denklemle elde edilmektedir.

$$\frac{V_{turb}}{V_{anem}} = \left(\frac{Z_{turb}}{Z_{Anem}} \right)^a \quad (6.10)$$

Yukarıda verilen güç yasası denkleminde, güç profili kat sayısını ifade eden a boyutsuz bir parametredir. Akışkanlar mekaniğinde yapılan temel araştırmalar, bu değer için düz bir levha üzerindeki türbülanslı bir akış için 1/7 değerine eşit olduğunu göstermektedir.

Rüzgar hızı araştırmacıları, pratikte, güç kanunu katsayısının arazi pürüzlülüğüne, atmosferik kararlılığa ve diğer birkaç faktöre bağlı olduğunu bulmuşlardır. Homer programında bir bölgenin rüzgar enerjisi karakteristiği Weibull k sabiti, bir saatlik oto korelasyon sabiti, günlük optimum güç ve rüzgar pik hızı saati olmak üzere 4 parametre ile ifade edilmektedir.

Çalışmada türbin yüksekliğine göre rüzgar hızının uygun olması nedeniyle logaritmik profil kabul edilirken, limanın olduğu bölgede arazinin yüzey pürüzlülüğü olan Z_0 değeri 0,1 olarak alınmıştır. Homer programına göre türbin yüksekliğindeki rüzgar hızı değişimi şekil 6.10' daki gibi bulunmuştur.



Şekil 6.10 : Türbin yüksekliğine göre rüzgar hızı profili.

Homer programında Weibull k değeri veya Weibull şekil faktörü, rüzgar hızlarının dağılımının genişliğini belirten bir parametredir. İki parametrelili Weibull dağılımı ölçülen rüzgar verileri ile iyi bir uyum sağladığından genellikle rüzgar rejimlerini tanımlamak için kullanılır.

HOMER, Weibull dağılımına rüzgar hızı verisine uyar ve k değeri bu dağılımın şeklini ifade etmektedir. Düşük k değerleri rüzgar hızının daha geniş dağılımlarına karşılık gelirken, bu da rüzgarların geniş bir hız aralığında değişme eğiliminde olduğunu ifade

etmektedir. Daha yüksek k değerleri, daha dar rüzgar hızı dağılımlarına karşılık gelir, bu da rüzgar hızlarının dar bir aralıkta kalma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Daha düşük k değerleri daha geniş rüzgar hızı dağılımlarına karşılık gelir. Bu nedenle çok rüzgarlı bir konum, 1.5 gibi düşük bir Weibull k değerine sahip olabilirken, sabit rüzgarlarla (tropikal ticaret rüzgarların olduğu yerler gibi) karakterize edilen bir konum, 3 veya 4 gibi yüksek bir k değerine sahip olabilir.

A limanının olduğu bölge için program, bir çok rüzgar senaryosunda varsayılan bir değer olarak kullanılan Weibull k değerini 2 olarak hesaplamıştır .

Günlük optimum güç, rüzgar hızının günün saatine bağlı olarak ne kadar güçlü olduğunu gösteren, 0 ile 1 arasında bir sayıdır. Bu değer yerden yükseklikle önemli ölçüde değişme eğilimindedir.

Günlük optimum gücü ölçmek için, bütün bir yılın 24 saatindeki ortalama rüzgar hızı hesaplanır ve Homer programı bu günlük profile bir kosinüs fonksiyonu uygular. Günlük optimum güç, kosinüs dalgasının genliğinin ortalama rüzgar hızına olan oranına eşittir[60]. Bu çalışmada, günlük optimum güç Homer programı tarafından 0,25 olarak hesaplanmıştır.

Otokorelasyon faktörü, bir zaman adımında rüzgar hızının önceki zaman adımlarındaki rüzgar hızlarına ne kadar güçlü bağlı olduğunu yansıtır. Otokorelasyon faktörü Weibull k değerinden bağımsızdır ve Weibull k değeri, rüzgar hızlarının yıllık dağılımının genişliğini yansıtırken, otokorelasyon faktörü rüzgar hızlarının rasgele olarak saatten saate değiştiğini yansıtmaktadır.

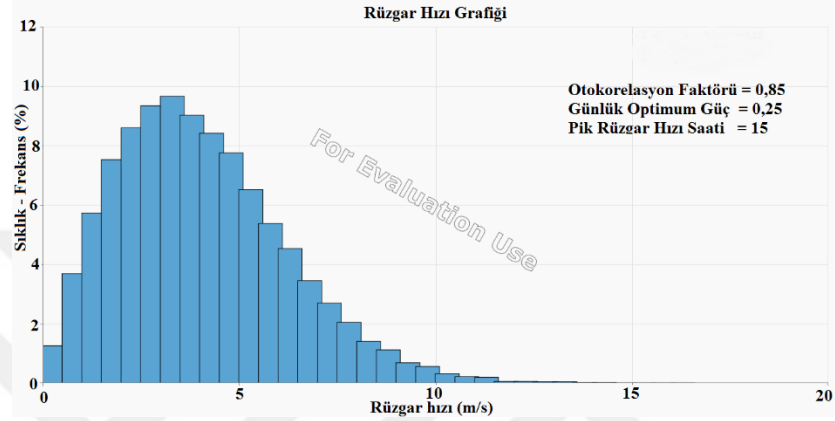
Yüksek bir otokorelasyon faktörü, rüzgar hızının önceki bir zaman diliminde meydana gelen rüzgar hızına kuvvetli bir şekilde bağlı olduğunu gösterirken, düşük otokorelasyon değerleri ise rüzgar hızının bir zaman adımından diğerine daha rasgele bir dalgalanma eğilimini göstermektedir.

Yerel topoğrafyanın otokorelasyon faktörü üzerindeki etkisi, kompleks (karmaşık) topografya alanlarında daha düşük (0.70 - 0.80) ve daha homojen topografya alanlarında daha yüksek (0.90 - 0.97) olma eğilimi göstermektedir.

Otokorelasyon faktörü, ölçülen rüzgar hızı verilerinin tipik otokorelasyon özelliklerini içerir. Rüzgar verisindeki günlük modeller otokorelasyon fonksiyonunu karmaşıktırır.

Örneğin yerel topografya dağ, tepe, düzlük ve açık denizi kapsayan bir yapıya sahipse, böyle bir durum rüzgar yönünde kaymalara ve rüzgarın çok farklı bir karaktere sahip olmasına neden olabilir. Dolayısıyla rüzgar hızlarının daha az kalıcılığı da, daha düşük otokorelasyon değerine sebep olmaktadır.

Pik rüzgar hızı saati, ortalama olarak günün en rüzgarlı saatidir. A limanı bölgesine ait rüzgar hızı sıklığı ve Weibull dağılımı Şekil 6.11 de gösterilmiştir.



Şekil 6.11 : Türbin yüksekliğine göre rüzgar hızı profili.



7. OPTİMUM HİBRİT SİSTEM TASARIMI

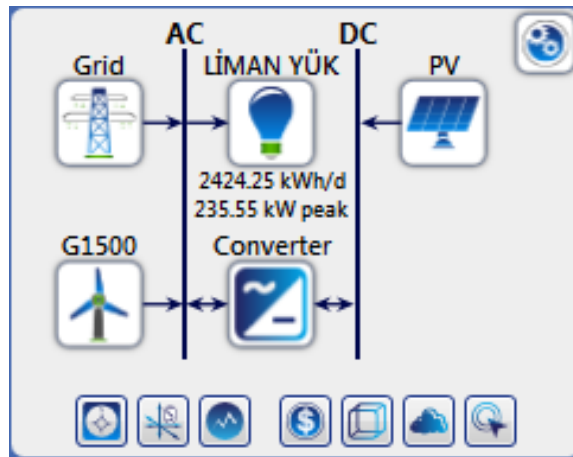
7.1 A Limanı Şebeke Bağlantılı Sistem Tasarımı

Yapılan çalışmada, limanın elektrik ihtiyacının karşılanmasında, şebeke bağlantılı rüzgar ve güneş enerjisi kullanılarak liman enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve ihtiyaç fazlasının şebekeye satılarak kazanç sağlanması amaçlanmıştır.

Türkiye’de bu maksatla limanların enerji ihtiyacının yenilenebilir enerjiyle desteklenerek temiz enerjiye geçilmesi konusunda malesef yeterli sayıda uygulama olmadığı gibi diğer denizcilik alanlarında da yaygınlaşmamıştır. Bu çalışmanın da motive edici noktası, Türkiye’de denizcilik endüstrisinde yeşil ve temiz enerji kaynaklarının kullanımının artırılarak enerji maliyetlerinin düşürülmesi ve bu doğrultuda liman ve denizcilik alanının işletme ve faaliyetlerinde karbon ayak izlerinin küçülmesi hedeflenmiştir.

Türkiye’nin güneyinde ve kuzeyinde belirlenen birer adet liman için Homer programı ile yapılan simülasyondan elde edilen verilerle en optimum sistem tasarımı ve maliyeti belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak Türkiye’nin güneyinde yer alan A limanı için bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

A limanına ait şebeke bağlantılı sistemin bileşenleri Şekil 7.1 de özetlenmiştir.



Şekil 7.1 : A Limanı şebeke bağlantılı sistem yapısı.

Aşağıda yer alan Çizelge 7.1’ de Türkiye’ nin güneyinde yer alan A limanının 2016 yılına ait aylık enerji tüketimini (kWh) ile ilgili verileri kapsamaktadır. Bu veriler içerisinde aydınlatma ve vinçler ayrıca gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 : A limanı 2016 yılına ait aylık toplam enerji tüketimi (kwh).

A Limanı 2016 yılına ait aylık toplam enerji tüketimi (Kwh)							
kWh	T1 (06:00-17:00)	T2 (17:00-22:00)	T3 (22:00-06:00)	T0 (toplam)	Vinçler	Aydınlatma	Genel toplam
Ocak	261.349,00	227.165,00	366.949,00	855.463,00	361.971,00	120.971,00	1.338.405,00
Şubat	443.444,00	192.187,00	306.318,00	941.949,00	302.540,00	105.565,00	1.350.054,00
Mart	357.033,00	207.572,00	333.824,00	898.429,00	372.078,00	103.110,00	1.373.617,00
Nisan	320.896,00	173.061,00	313.916,00	807.873,00	349.121,00	90.268,00	1.247.262,00
Mayıs	300.182,00	158.785,00	304.302,00	763.269,00	273.039,00	84.526,00	1.120.834,00
Haziran	360.221,00	176.223,00	339.570,00	876.014,00	299.855,00	79.355,00	1.255.224,00
Temmuz	386.416,00	193.158,00	346.059,00	925.633,00	278.632,00	83.444,00	1.287.709,00
Ağustos	542.467,00	269.942,00	465.847,00	1.278.256,00	356.666,00	91.653,00	1.726.575,00
Eylül	419.366,00	218.887,00	370.729,00	1.008.982,00	298.332,00	97.950,00	1.405.264,00
Ekim	418.118,00	232.873,00	370.641,00	1.021.632,00	309.817,00	110.958,00	1.442.407,00
Kasım	393.145,00	216.354,00	355.357,00	964.856,00	324.576,00	116.109,00	1.405.541,00
Aralık	385.169,00	219.907,00	345.542,00	950.618,00	279.846,00	122.595,00	1.353.059,00

Yukardaki A Limanı enerji tüketim verileri çok zamanlı tarife uygulamasına göre aylık olarak 3 farklı zaman aralığında (T1, T2 ve T3 olarak) verilmiş olup T0 zamanı bu üç zaman aralığında verilen değerlerin toplamına karşılık gelmektedir.

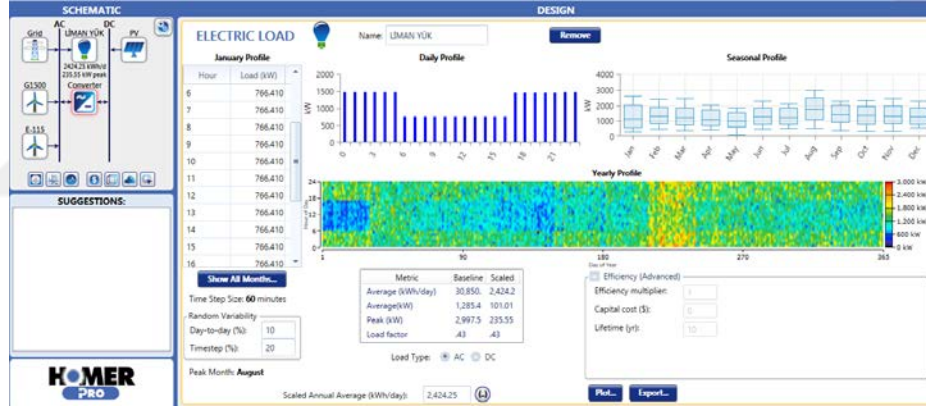
Vinç ve aydınlatma enerji tüketimleri tabloda ayrıca belirtilmiş olup hesaba bunlar genel toplam kısmında dahil edildiğinde A Limanının aylık bazda toplam enerji tüketim verileri ortaya çıkmaktadır.

Yukarıda verilen Çizelge 7.1’deki değerler saatlik ortalamaları alınarak aşağıda verilen Şekil 7.2’de görüldüğü üzere Homer programında enerji yükü olarak girilmiştir.

Yearly Load Data												
	Weekdays					Weekends						
Hour	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
0	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
1	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
2	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
3	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
4	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
5	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
6	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
7	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
8	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
9	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
10	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
11	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
12	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
13	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
14	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
15	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
16	766,410	1,390,110	1,047,020	972,410	880,300	1,091,580	1,133,180	1,990,810	1,270,810	1,226,150	1,191,350	1,129,530
17	1,465,580	1,325,430	1,339,170	1,153,740	1,024,420	1,174,820	1,246,180	1,741,560	1,459,250	1,502,410	1,442,360	1,418,750
18	1,465,580	1,325,430	1,339,170	1,153,740	1,024,420	1,174,820	1,246,180	1,741,560	1,459,250	1,502,410	1,442,360	1,418,750
19	1,465,580	1,325,430	1,339,170	1,153,740	1,024,420	1,174,820	1,246,180	1,741,560	1,459,250	1,502,410	1,442,360	1,418,750
20	1,465,580	1,325,430	1,339,170	1,153,740	1,024,420	1,174,820	1,246,180	1,741,560	1,459,250	1,502,410	1,442,360	1,418,750
21	1,465,580	1,325,430	1,339,170	1,153,740	1,024,420	1,174,820	1,246,180	1,741,560	1,459,250	1,502,410	1,442,360	1,418,750
22	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310
23	1,479,000	1,320,340	1,346,060	1,307,980	1,227,020	1,414,880	1,395,400	1,878,420	1,544,700	1,494,520	1,480,650	1,393,310

Şekil 7.2 : Homer programı A limanı için elektrik yük verileri.

Programa enerji yükü girildikten sonra aşağıda verilen Şekil 7.3'teki gibi günlük yük profili (daily profil), aylık yük profili (seasonal profil) ve yıllık yük profili (yearly profil) verileri elde edilmektedir.



Şekil 7.3 : A limanı elektrik yükü verileri.

Program girilen elektrik yüküne göre enerji talebinin en yüksek olduğu ay agustos ve ölçeklendirilmiş yıllık ortalama enerji miktarını da 2424.25 kWh/gün olarak Şekil 7.4'te verildiği gibi hesaplamıştır.

Metric	Baseline	Scaled
Average (kWh/day)	30,850	2,424.2
Average(kW)	1,285.4	101.01
Peak (kW)	2,997.5	235.55
Load factor	.43	.43

Load Type: ☒ AC ☐ DC

Scaled Annual Average (kWh/day): 2,424.25

Şekil 7.4 : Ölçeklendirilmiş yıllık ortalama yük verileri.

Homer programında 2016 yılı için girilen ortalama ekonomik parametreler aşağıdaki Şekil 7.5’ te verildiği üzere; nominal faiz oranı 10.4, enflasyon oranı 8.53, proje ömrü 25 yıl, para birimi Amerikan doları (\$) ve reel faiz oranı ise %1.72’dir.



DESIGN

ECONOMICS ⓘ \$

Nominal discount rate (%): 10.40 ⓘ

Expected inflation rate (%): 8.53 ⓘ

Project lifetime (years): 25.00 ⓘ

System fixed capital cost (\$): 0.00 ⓘ

System fixed O&M cost (\$/yr): 0.00 ⓘ

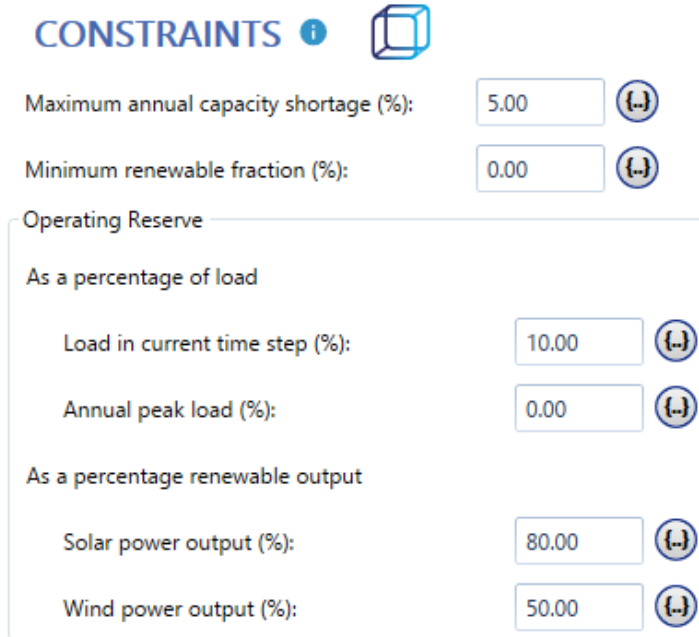
Capacity shortage penalty (\$/kWh): 0.00 ⓘ

Real discount rate (%): 1.72

Currency: US Dollar (\$)

Şekil 7.5 : Ekonomik parametreler.

Programda kısıtlamalar bölümünde varsayılan ayarlar olarak yıllık maksimum kapasite açığı % 5, işletim rezerv yük oranı % 10, güneş enerjisi sistemi güç çıkışı % 80 ve rüzgar enerjisi sistemi güç çıkışı 50 olarak verilmiştir. Yıllık kapasite kısıtlamaları, rüzgar ve güneş enerjisi çıkış güç çıkışlarına ait veriler aşağıda verilen Şekil 7.6’ daki gibidir.



CONSTRAINTS ⓘ

Maximum annual capacity shortage (%): 5.00 ⓘ

Minimum renewable fraction (%): 0.00 ⓘ

Operating Reserve

As a percentage of load

Load in current time step (%): 10.00 ⓘ

Annual peak load (%): 0.00 ⓘ

As a percentage renewable output

Solar power output (%): 80.00 ⓘ

Wind power output (%): 50.00 ⓘ

Şekil 7.6 : Homer programı yük kapasitesi ve yenilenebilir enerji çıkışı ile ilgili kısıtlamalar.

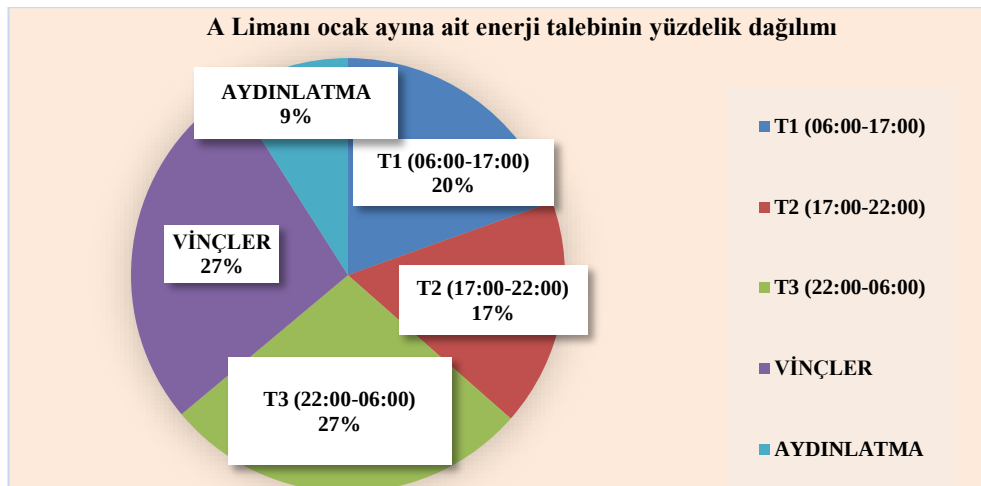
Optimizasyon kısmında Şekil 7.7’ de görüldüğü üzere; bir yıl için 8760 saatlik işlem adımı, her optimizasyon için en fazla 10,000 simülasyon, sistem tasarım hassasiyet değeri 0.01, net şimdiki maliyet (NPC) hassasiyeti 0.01 ve odak faktörü 90 girilmiştir.

Şekil 7.7 : Optimizasyon verileri.

7.2 Akdeniz’ de Yer Alan A Limanı’nın Enerji Tüketim Verilerinin Ekonomik Analizi

Akdeniz’de yer alan A Limanı için 2016 yılına ait elektrik tüketim değerleri T1 (06:00-17:00), T2 (17:00-22:00) ve T3 (22:00-06:00) olarak 3 zamanlı ve aylık olarak alınmıştır.

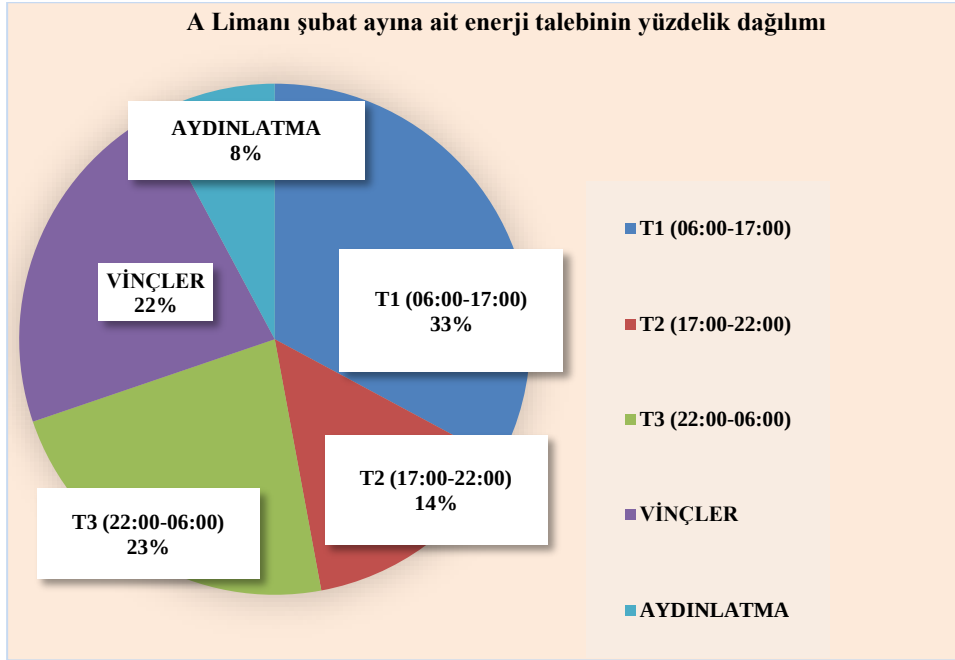
Aşağıda verilen Şekil 7.8’de A Limanı’na ait ocak ayı enerji yük talebinin T1, T2 ve T3 zamanları ile aydınlatma ve vinçler için ihtiyaç duyulan enerji miktarları (kWh olarak) yüzdelik dilimlerle özetlenmiştir.



Şekil 7.8 : A Limanı 2016 yılı ocak ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

Ocak ayında, T3 (17:00-22:00) zaman aralığındaki enerji talebi %27'lik oranla, T1 ve T2 zaman aralığından daha yüksektir. Ayrıca vinçler için ihtiyaç duyulan enerji miktarı T3 (gece) zaman aralığındaki değer ile çok yakın olduğundan yüzdeler oranlarının aynı olduğu görülmektedir.

Şubat ayına ait enerji talebinin yüzdeler dağılımı Şekil 7.9' da verilmiştir.

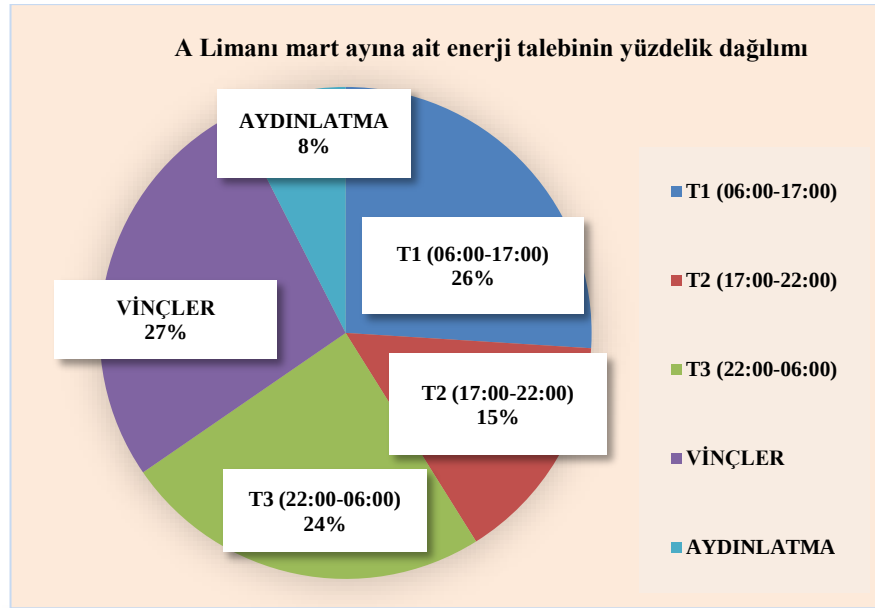


Şekil 7.9 : A Limanı 2016 yılı şubat ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

Şubat ayında % 33'lik oranla T1 (06:00-17:00) zaman aralığında enerji yükü en yüksek orana sahip olurken, T3 (22:00-06:00) zamanı %23 oranla ikinci ve T2 (17:00-22:00) zamanı da % 14' lük enerji yükü oranına sahip olmuştur. Vinçler için bu oran bir önceki aya göre % 22'ye düşerken aydınlatmadaki enerji yükü çok fazla değişmeyerek % 8 olmuştur.

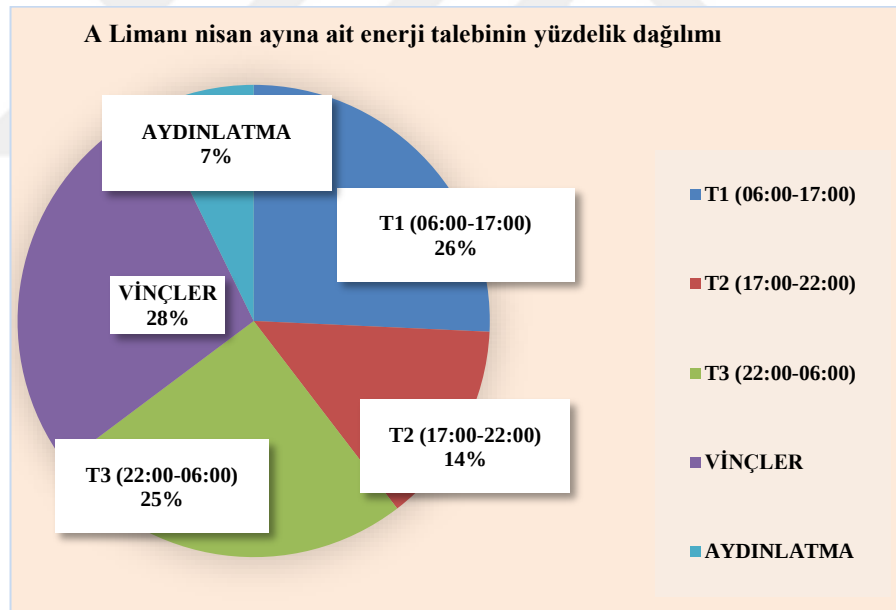
Mart ayına baktığımızda T1 ve T3 zaman aralıklarının tüketilen enerji oranlarının sırasıyla % 26 ve % 24 olduğu ve T2 zaman aralığında gerçekleşen %15'lik enerji tüketim oranından önemli bir oranda yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Vinçlerdeki enerji tüketim oranı ise %27'lik bir oranla hepsinden daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır.

Mart ayına ait enerji talebinin yüzdeler dağılımı Şekil 7.10' da verilmiştir.



Şekil 7.10 : A Limanı 2016 yılı mart ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

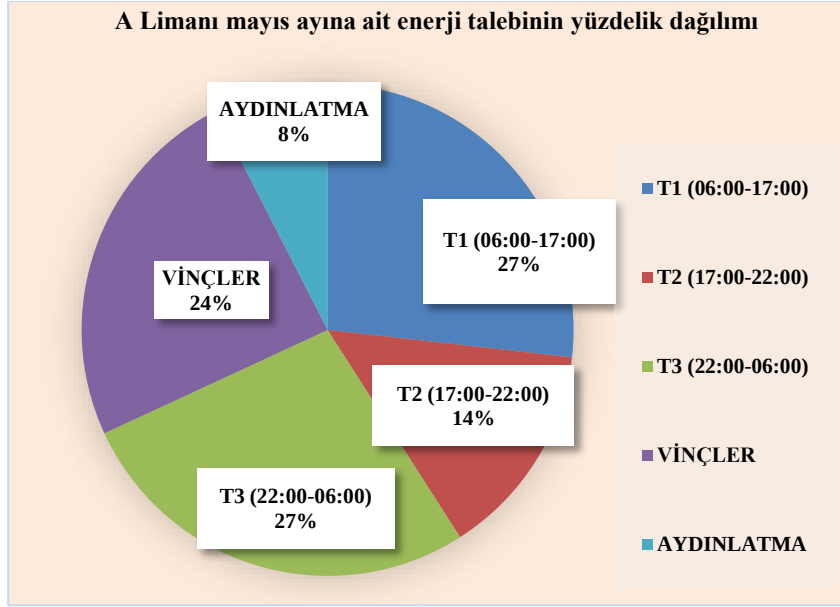
Nisan ayına enerji talebinin yüzdelik dağılımı Şekil 7.11’ da verilmiştir.



Şekil 7.11 : A Limanı 2016 yılı nisan ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

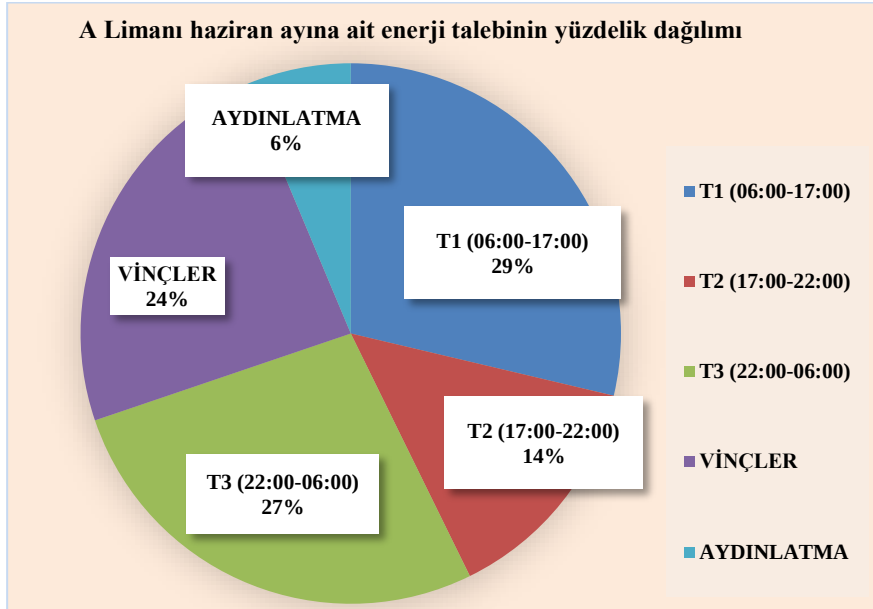
Nisan ayındaki enerji oranları T1, T3 ve Vinçler için sırasıyla % 26, %25 ve % 28 olurken, T2 zamanındaki enerji talebi % 14 ve aydınlatma için bu oran fazla değişmeyerek % 7 olmuştur.

Şekil 7. 12’de verilen mayıs ayı enerji talebi oranları T1 ve T3 zamanları için % 27, T2 için % 14, vinçler için % 24 ve aydınlatma için % 8 olmuştur.



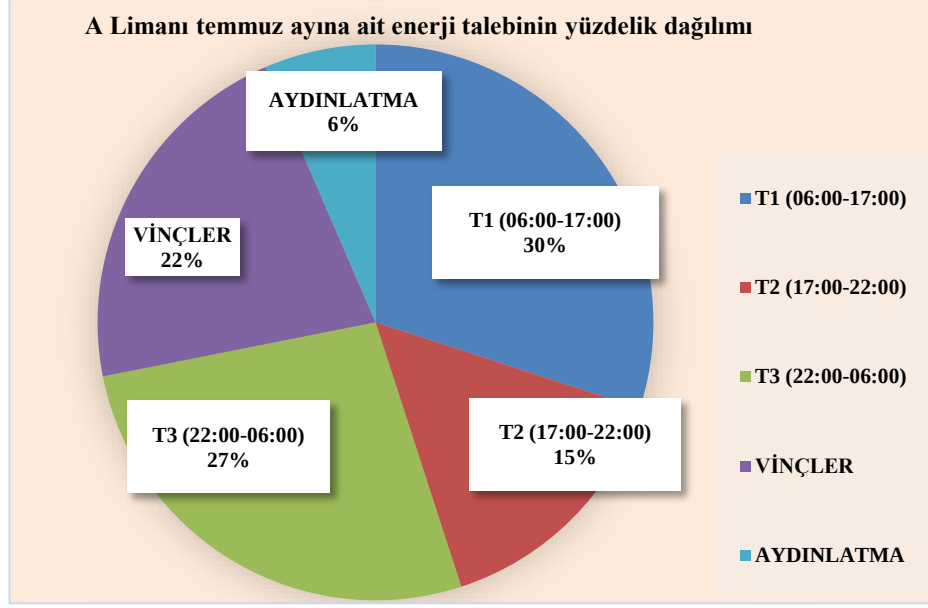
Şekil 7.12 : A Limanı 2016 yılı mayıs ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

Haziran ayına ait şekil 7.13’ de verilen oranlara bakıldığında ise en yüksek enerji talebinin T1 ve T3’ te gerçekleştiği görülmektedir. Buna göre T1 zaman aralığında % 29, T3’ te % 27 oranında bir enerji ihtiyacı olmuştur. T2 zaman aralığında % 14 olurken vinçler için bu oran % 24’ tür. Aydınlatmada ise yaza girilmesi ile beraber enerji talebi % 6’ ya gerilemiştir.



Şekil 7.13 : A Limanı 2016 yılı haziran ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

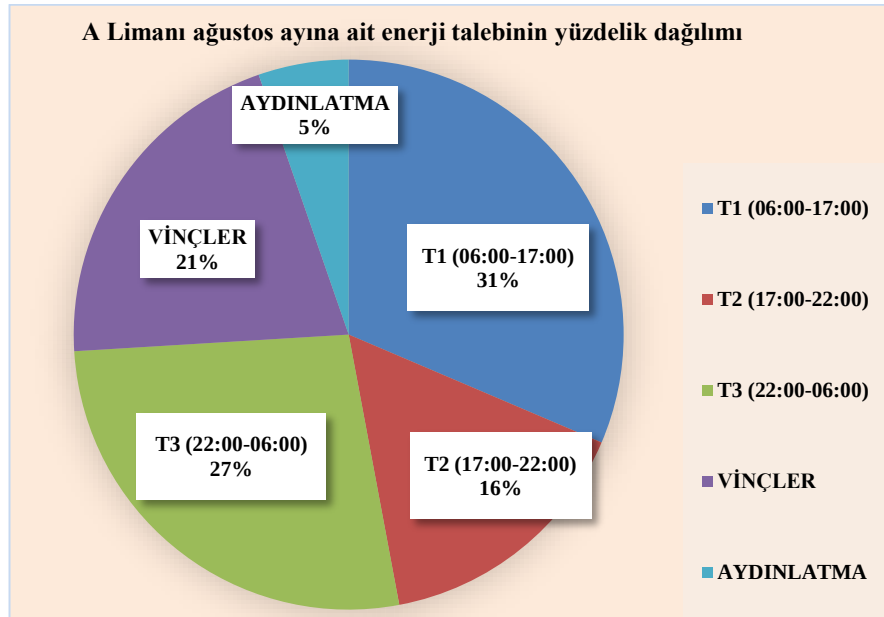
Temmuz ayına ait enerji tüketim oranı Şekil 7.14’ te verilmiştir.



Şekil 7.14 : A Limanı 2016 yılı temmuz ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

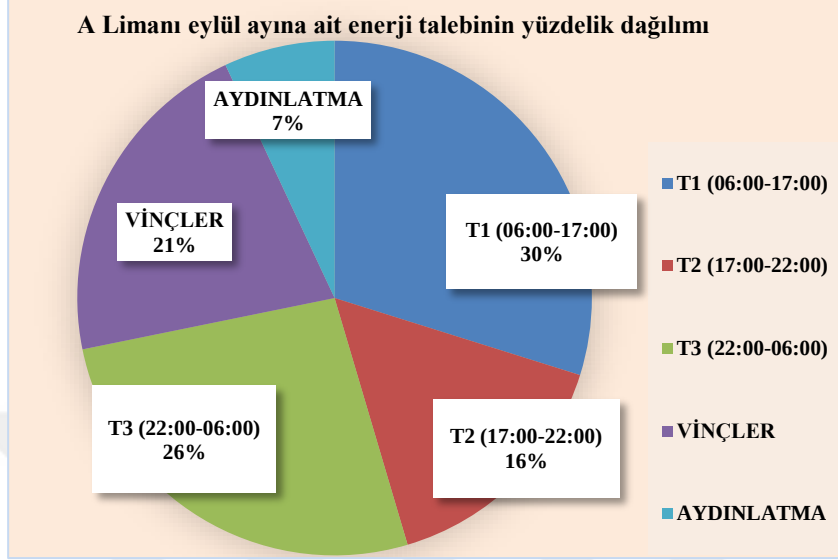
Temmuz ayı enerji tüketim oranlarının dağılımı T1 % 30, T3 % 27, T2 % 15, vinçler % 22 ve aydınlatma % 6 olmuştur.

Şekil 7.15' e göre ağustos ayı oranları bir önceki aya oldukça benzemektedir. Buna göre T1 zamanındaki enerji tüketimi % 31 ile en yüksek orana sahip olurken, T3 zamanında % 27, T2 zamanında ise % 16 olmuştur. Vinçler için bu oran % 21 olurken, aydınlatma için enerji tüketimi düşmeye devam ederek % 5 olmuştur.



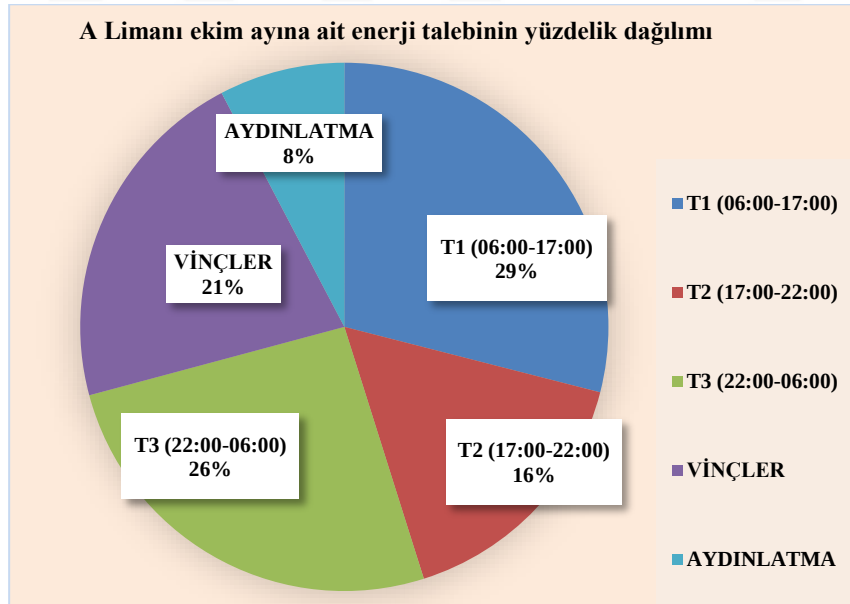
Şekil 7.15 : A Limanı 2016 yılı ağustos ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

Eylül ayı için Şekil 7.16' ya bakıldığında enerji tüketim oranları sırasıyla T1 zaman aralığında %30, T3'te %26, T2'de % 16, vinçler için %21 ve aydınlatma için de % 7 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7.16 : A Limanı 2016 yılı eylül ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

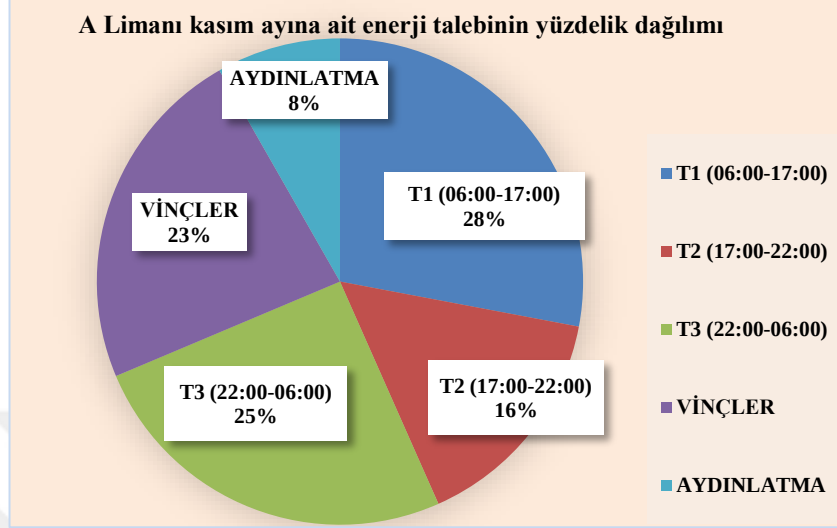
Şekil 7.17' de ekim ayına ait yüzdelik enerji talep oranları yer almaktadır.



Şekil 7.17 : A Limanı 2016 yılı ekim ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

Ekim ayında en yüksek enerji tüketimi T1 zaman aralığında gerçekleşirken, T3 ve T2 zaman aralıklarında ise sırasıyla bu oranlar % 26 ve % 16 olmuştur.

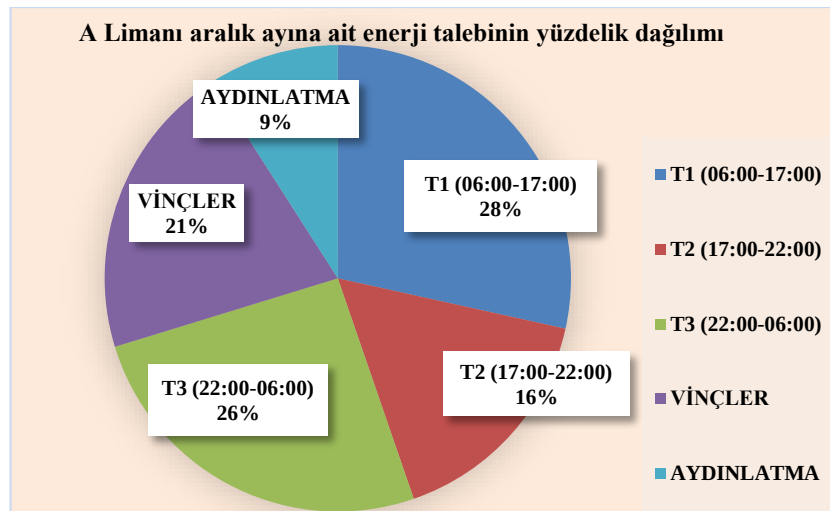
Şekil 7.18’ de kasım ayına ait yüzdelik enerji talep oranları yer almaktadır. Bu dağılımda ise en yüksek enerji talebi % 28 oranla T1 zaman aralığında olurken, T3 zamanında bu oran % 25 ve T2 zamanında ise % 16 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 7.18 : A Limanı 2016 yılı kasım ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

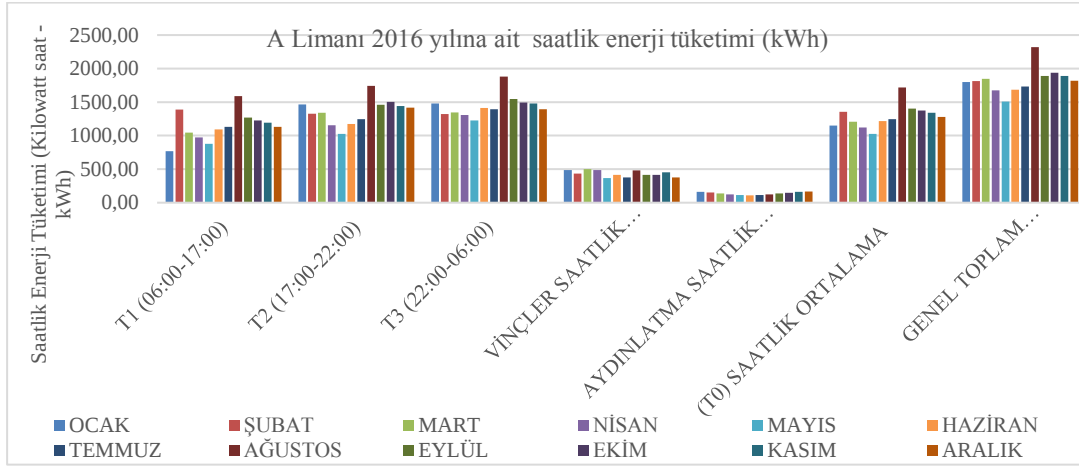
Kasım ayında aydınlatma için enerji tüketim oranı % 8’ e çıkarken, vinçler için tüketim oranı % 23’ tür.

Şekil 7.19’ de A limanı için 2016 yılı aralık ayına ait enerji talep oranları, dairesel grafikte gösterildiği üzere T1 % 28, T3 % 26, T2 % 16, vinçler % 21 ve aydınlatma % 9 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 7.19 : A Limanı 2016 yılı aralık ayı T1, T2, T3 zaman aralığı enerji tüketim oranları.

Şekil 7.20’de A limanı 2016 yılı T1, T2, T3, vinçler, aydınlatma ve saatlik ortalama toplam enerji tüketim verileri yer almaktadır.



Şekil 7.20 : A limanı 2016 yılı saatlik enerji tüketim miktarları (kWh).

2016 yılına ait A Limanı için verilen aylık bazda gerçekleşen enerji tüketimlerini yukarıdaki grafik üzerinde incelediğimizde T1, T2 ve T3 zaman aralığındaki en fazla enerji tüketimi ağustos ayında, vinçler için en fazla enerji tüketimi mart ayında, aydınlatma için en fazla enerji tüketiminin aralık ayında ve genel toplamda da en çok enerji tüketiminin ağustos ayında gerçekleştiğini görmekteyiz. A limanı için 2016 yılı saatlik enerji tüketimlerine ait veriler Çizelge 7.2’de verilmiştir.

Çizelge 7.2 : A Limanı 2016 yılına ait saatlik enerji tüketimi (kWh).

A Limanı 2016 yılına ait saatlik enerji tüketimi (kWh)							
kWh	T1 (06:00- 17:00)	T2 (17:00- 22:00)	T3 (22:00- 06:00)	VİNÇLER SAATLİK ORTALAMA	AYDINLATMA SAATLİK ORTALAMA	(T0) SAATLİK ORTALAMA	GENEL TOPLAM SAATLİK ORTALAMASI
OCAK	766,42	1465,58	1479,63	486,52	162,60	1149,82	1798,93
ŞUBAT	1390,11	1325,43	1320,34	434,68	151,67	1353,38	1814,59
MART	1047,02	1339,17	1346,06	500,10	138,59	1207,57	1846,26
NİSAN	972,41	1153,74	1307,98	484,89	125,37	1122,05	1676,43
MAYIS	880,30	1024,42	1227,02	366,99	113,61	1025,90	1506,50
HAZİRAN	1091,58	1174,82	1414,88	416,47	110,22	1216,69	1687,13
TEMMUZ	1133,18	1246,18	1395,40	374,51	112,16	1244,13	1730,79
AĞUSTOS	1590,81	1741,56	1878,42	479,39	123,19	1718,09	2320,67
EYLÜL	1270,81	1459,25	1544,70	414,35	136,04	1401,36	1888,80
EKİM	1226,15	1502,41	1494,52	416,42	149,14	1373,16	1938,72
KASIM	1191,35	1442,36	1480,65	450,80	161,26	1340,08	1889,17
ARALIK	1129,53	1418,75	1393,31	376,14	164,78	1277,71	1818,63

Yukarıda A Limanının 2016 yılına ait saatlik enerji tüketim verileri T1, T2, T3 zaman aralıklarında 1 saatte tüketilen ortalama enerji miktarı kilowatt saat (kWh) olarak aylık bazda verilmiştir. Vinçler ve aydınlatma için verilmiş değerler her bir ay için 24 saatlik ortalama değerlerdir. T0 saatlik ortalama değeri T1, T2, T3 zaman aralıklarında tüketilen 1 günlük enerji toplamının 24 saate bölünmesiyle elde edilmiştir.

Genel toplam saatlik ortalaması ise T0, aydınlatma ve vinçler için tüketilen toplam enerji miktarının saatlik ortalaması olup, A limanında 1 saatte harcanan toplam enerji miktarıdır.

A Limanında 2016 yılı saatlik ortalama enerji tüketimlerine ait çizelge incelendiğinde diğer aylardan farklı olarak ekim ayı ve aralık ayı için T2 (17:00-22:00) zaman aralığında sırasıyla 1.502,41 kilowatt saat ve 1.418,75 kilowatt saat ile en yüksek enerji tüketimi gerçekleşirken, şubat ayında T1 (06:00-17:00) zaman aralığında 1.390,11 kilowatt saat ile en yüksek tüketim miktarı kaydedilmiştir. Geri kalan diğer aylarda en yüksek saatlik enerji tüketimi T3 (22:00-06:00) zaman aralığında gerçekleşmiştir. 2016 yılı saatlik enerji tüketiminin en yüksek değeri 1.590,81 kilowatt saat ile ağustos ayında T1 zamanında kaydedilmiştir.

A limanı 2016 yılı vinçlere ait saatlik en yüksek enerji tüketimi 486,52 kilowatt saat ile ocak ayında gerçekleşirken, aydınlatma için bu değer 164,78 kilowatt saat ile aralık ayında meydana gelmiştir.

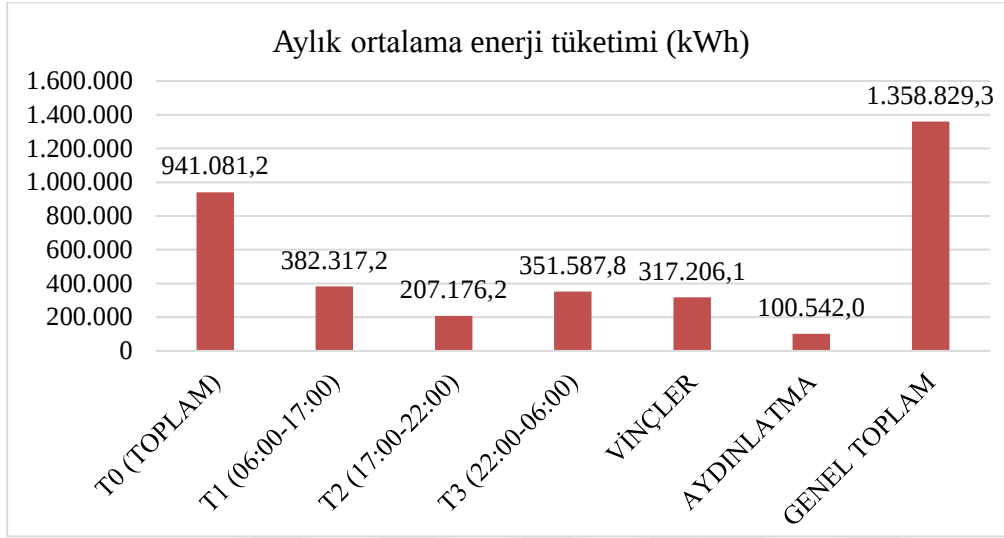
A limanının 2016 yılı toplam ve aylık ortalama enerji tüketim verileri aşağıdaki Çizelge 7.3 'de verilmiştir.

Çizelge 7.3 : 2016 yılı toplam ve aylık ortalama enerji tüketim verileri (kWh).

2016 yılı toplam ve aylık ortalama enerji tüketim verileri		
	1 yıllık toplam tüketilen enerji (kWh)	Aylık ortalama tüketim (kWh)
T0 (TOPLAM)	11.292.974,0	941.081,2
T1 (06:00-17:00)	4.587.806,00	382.317,2
T2 (17:00-22:00)	2.486.114,00	207.176,2
T3 (22:00-06:00)	4.219.054,00	351.587,8
VİNÇLER	3.806.473,0	317.206,1
AYDINLATMA	1.206.504,0	100.542,0
GENEL TOPLAM	16.305.951,0	1.358.829,3

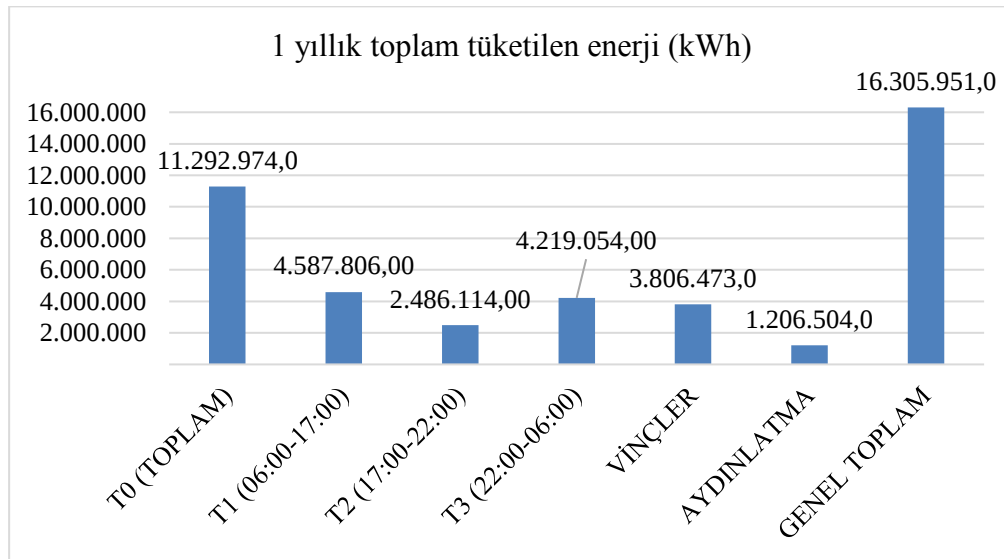
Yukarda verilen A Limanı 2016 yılı toplam ve aylık ortalama enerji tüketim verilerine göre 1 yıllık toplam tüketilen enerji miktarı T0 toplamı; T1, T2, T3 zamanlarındaki tüketim miktarlarının toplamıdır.

Aşağıdaki Şekil 7.21’de A limanına ait aylık ortalama enerji tüketim verileri T0, T1, T2, T3, vinçler, aydınlatma ve genel toplam için ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 7.21 : A limanı 2016 yılı aylık ortalama enerji tüketimi (kWh).

Vinçler, aydınlatma ve genel toplam enerji tüketim miktarları kilowatt saat (kWh) olarak verilmiştir. Ayrıca her birine ait 12 aylık ortalama tüketim miktarları kilowatt saat (kWh) olarak Şekil 7.22’de gösterilmiştir.



Şekil 7.22 : A limanı 2016 yılı bir yıllık tüketilen ortalama enerji miktarları (kWh).

Yukarıdaki Şekil 7.22'ye göre 1 yıllık toplam tüketilen en yüksek enerji tüketim miktarının 4.587.806 kilowatt saat ile T1 (06:00-17:00) zaman aralığında gerçekleştiği görülmektedir.

2016 yılı ortalama toplam enerji tüketimleri, sırasıyla T2 (17:00-22:00) zaman aralığında 2.486.114 kilowatt saat, T3 zaman aralığında (22:00-06:00) 4.219.054 kilowatt saat olmuştur. Buna vinçler için 3.806.473 kilowatt saat, aydınlatma için 1.206.504 kilowatt saat eklendiğinde 2016 yılı enerji tüketimi genel toplamı 16.305.951 kilowatt saate ulaşmıştır.

Aynı çizelgede 2016 yılı aylık ortalama tüketimler T1 zaman aralığında 382.317,2 kilowatt saat, T2 zaman aralığında 207.176,2 kilowatt saat, T3 zaman aralığında 351.587,8 kilowatt saat, vinçler için 317.206,1 kilowatt saat, aydınlatma için 100.542 kilowatt saat ve genel toplamda aylık ortalama 1.358.829,3 kilowatt saat olarak kaydedilmektedir.

Aylık ortalama enerji tüketiminde de T1 (06:00-17:00) zaman aralığında en yüksek tüketim gerçekleşmektedir.

A Limanının 2016 yılı günlük enerji tüketim tablosu aşağıda verilmiştir. Bu tabloyu T1, T2 ve T3 zaman aralıklarındaki enerji tüketim miktarları açısından incelediğimizde ocak ve mayıs aylarında aylık ortalama tüketim miktarlarının diğer aylardan farklı olarak, en yüksek değer T3 (22:00-06:00) zaman aralığında gerçekleştiğini görmekteyiz.

Ocak ve mayıs aylarında T3 zamanında gerçekleşen enerji tüketim miktarları sırasıyla 11.837,06 kilowatt saat, 9.816,19 kilowatt saattir. Diğer aylarda ise en yüksek tüketim T1 (06:00-17:00) zaman aralığında gerçekleşmiştir.

Vinçler için en çok enerji tüketimi 12.002,52 kilowatt saat ile mart ayında, aydınlatma için en çok enerji tüketimi 3.954,68 kilowatt saat ile aralık ayında gerçekleşmiştir.

Aşağıda yer alan Çizelge 7.4' te günlük olarak vinçler, aydınlatma ve her bir zaman aralığındaki toplam enerji tüketimi (kWh) olarak verilmiştir.

Çizelge 7.4 : A limanı 2016 yılı T1, T2, T3 zamanları, vinçler ve aydınlatma enerji tüketimi.

A Limanı 2016 yılına ait günlük toplam enerji tüketimi (kWh)							
kWh	T1 (06:00-17:00)	T2 (17:00-22:00)	T3 (22:00-06:00)	VİNÇLER SAATLİK ORTALAMA	AYDINLATMA SAATLİK ORTALAMA	(T0) SAATLİK ORTALAMA	GENEL TOPLAM SAATLİK ORTALAMASI
OCAK	8.430,61	7.327,90	11.837,06	11.676,48	3.902,29	27.595,58	43.174,35
ŞUBAT	15.291,17	6.627,14	10.562,69	10.432,41	3.640,17	32.481,00	43.550,13
MART	11.517,19	6.695,87	10.768,52	12.002,52	3.326,13	28.981,58	44.310,23
NİSAN	10.696,53	5.768,70	10.463,87	11.637,37	3.008,93	26.929,10	40.234,26
MAYIS	9.683,29	5.122,10	9.816,19	8.807,71	2.726,65	24.621,58	36.155,94
HAZİRAN	12.007,37	5.874,10	11.319,00	9.995,17	2.645,17	29.200,47	40.491,10
TEMMUZ	12.465,03	6.230,90	11.163,19	8.988,13	2.691,74	29.859,13	41.539,00
AĞUSTOS	17.498,94	8.707,81	15.027,32	11.505,35	2.956,55	41.234,06	55.695,97
EYLÜL	13.978,87	7.296,23	12.357,63	9.944,40	3.265,00	33.632,73	45.331,10
EKİM	13.487,68	7.512,03	11.956,16	9.994,10	3.579,29	32.955,87	46.529,26
KASIM	13.104,83	7.211,80	11.845,23	10.819,20	3.870,30	32.161,87	45.340,03
ARALIK	12.424,81	7.093,77	11.146,52	9.027,29	3.954,68	30.665,10	43.647,06

Yukarda verilen enerji tüketim değerlerinin maliyetlerini hesaplamak için Enerji Piyasası Düzenleme Kurumundan alınan 2016 yılına ait “Görevli Tedarik Şirketinden Enerji Alan İletim Sistemi Kullanıcısı Tüketiciler” adlı fiyat tablosuna göre enerji maliyetleri hesaplanmıştır. Çizelge 7.5’te yer alan tarifelerde kullanılan değer ve birimler limanların ticari kurumlar olduğu düşünülerek tüketici olarak ticarethane tercih edilmiş, ayrıca alçak gerilim ve tek terimli dağıtım bileşenleri seçilmiştir. Tabloda 1 kilowatt saat (kWh) elektrik ücreti kuruş olarak verildiğinden ötürü sırasıyla Türk lirası ve dolara dönüştürülmüş ve 2016 yılı dolar kuru yıl ortalaması 3,02 Türk lirası olarak alınmıştır.

Çizelge 7.5 : 2016 yılı 1 kWh enerji maliyeti.

2016 yılı 1 kWh enerji maliyeti (Dolar kuru 2016 yılı ortalaması 3,02 olarak alınmıştır)								
Ticarethane	Tek zamanlı		Gündüz (T1 - 06:00-17:00)		Puant (T2 - 17:00-22:00)		Gece (T3 - 22:00-06:00)	
	değeri	birimi	değeri	birimi	değeri	birimi	birimi	değeri
	33,4760	kuruş (kr/kWh)	33,3374	kuruş (kr/kWh)	50,2713	kuruş (kr/kWh)	21,1035	kuruş (kr/kWh)
	0,3348	Türk lirası	0,3334	Türk lirası	0,5027	Türk lirası	0,2110	Türk lirası
	\$0,1108	Dolar	\$0,1104	Dolar	\$0,1665	Dolar	\$0,0699	Dolar
Çok zamanlı tarife uygulamasında Gündüz 06-17, Puant 17-22, Gece 22-06 saatleri arasındır.								

A Limanına ait 2016 yılı için saatlik, günlük, aylık ve yıllık maliyetler dolar olarak hesaplanarak tablolara döküldüğünde enerji için ayrılan maliyet net olarak ortaya

koyulmuştur. Yapılan hesaplamalar ve tablolar Excel ve Homer programıyla ayrı ayrı hesaplanarak bulunmuş ve özetlenmiştir. Aşağıda verilen Çizelge 7.6’ da A limanına ait saatlik ve günlük enerji tüketim maliyeti yer almaktadır.

Çizelge 7.6 : A limanı saatlik ve günlük maliyetler.

A LİMANI 2016 YILINA AİT SAATLİK VE GÜNLÜK MALİYET (\$)							
	T1 (06:00- 17:00)	T2 (17:00- 22:00)	T3 (22:00- 06:00)	VİNÇLER	AYDINLATMA	1 GÜNLÜK (T0)	1 GÜNLÜK GENEL TOPLAM
OCAK	\$84,60	\$243,96	\$103,40	\$53,93	\$18,02	\$2.977,62	\$4.704,49
ŞUBAT	\$153,45	\$220,63	\$92,26	\$48,18	\$16,81	\$3.529,25	\$5.089,16
MART	\$115,58	\$222,92	\$94,06	\$55,44	\$15,36	\$3.138,47	\$4.837,61
NİSAN	\$107,34	\$192,05	\$91,40	\$53,75	\$13,90	\$2.872,25	\$4.495,76
MAYIS	\$97,18	\$170,53	\$85,74	\$40,68	\$12,59	\$2.607,50	\$3.886,06
HAZİRAN	\$120,50	\$195,56	\$98,87	\$46,16	\$12,22	\$3.094,25	\$4.495,40
TEMMUZ	\$125,09	\$207,44	\$97,51	\$41,51	\$12,43	\$3.193,28	\$4.487,96
AĞUSTOS	\$175,61	\$289,90	\$131,26	\$53,14	\$13,66	\$4.431,29	\$6.034,36
EYLÜL	\$140,28	\$242,91	\$107,94	\$45,93	\$15,08	\$3.621,19	\$5.085,42
EKİM	\$135,35	\$250,09	\$104,44	\$46,16	\$16,53	\$3.574,84	\$5.079,41
KASIM	\$131,51	\$240,10	\$103,47	\$49,97	\$17,88	\$3.474,85	\$5.103,14
ARALIK	\$124,69	\$236,17	\$97,36	\$41,69	\$18,27	\$3.331,31	\$4.770,33

Yukarıda verilen enerji maliyetlerine bakıldığında T2 (17:00-22:00) zaman aralığındaki enerji maliyetleri günün diğer zaman aralıklarına göre daha yüksektir. Bunun nedeni çok zamanlı tarife uygulamasında puant saatlerindeki (17:00-22:00) 1 kilowatt saatlik enerji tarifesinin \$0,1665 dolar olmasıdır. T1 (06:00-17:00) zaman aralığında 1 kilowatt saatlik enerji ücreti \$0,1104 dolar iken, T3 (22:00-06:00) zaman aralığında enerjinin 1 kilowatt saatlik değeri \$0,0699 dolara düşmektedir. T3 zaman aralığındaki 8 saatlik süre tüketici açısından en ekonomik zaman aralığıdır.

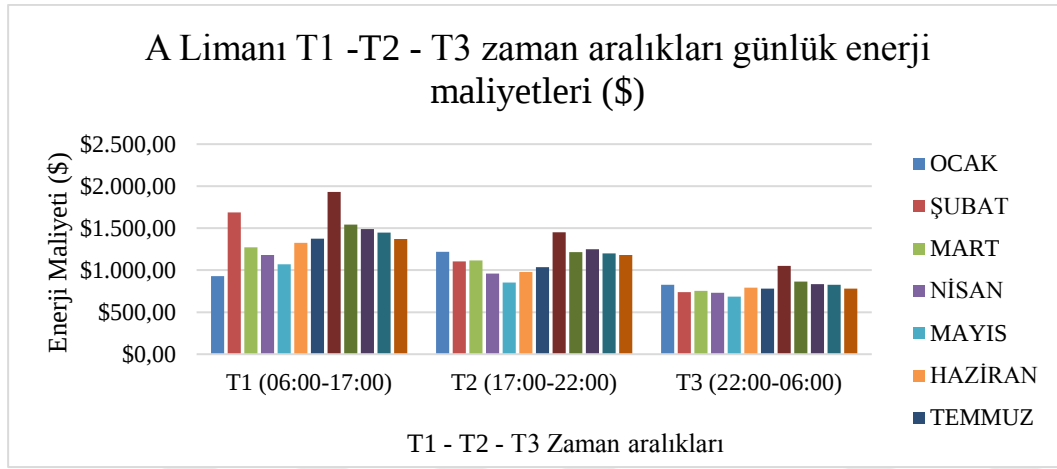
Çizelge 7.6’ ya göre saatlik en yüksek enerji maliyeti \$289,90 dolar ile ağustos ayında T2 (17:00-22:00) zaman aralığında gerçekleşmiştir. Bir günlük ortalama olan T0 (T1, T2 ve T3’ ün ortalaması) \$184,64 dolar ile ağustos ayında en yüksek enerji maliyeti olarak görülmektedir.

Vinçler ve aydınlatma için tek zamanlı tarife değeri \$0,1108 dolar alınmıştır. Buna göre saatlik en yüksek enerji maliyeti vinçler için \$55,44 dolar olarak mart ayında gerçekleşirken, aydınlatmalar için saatlik en yüksek enerji maliyeti \$18,27 dolar olarak mart ayında kaydedilmiştir.

A Limanında 2016 yılı için ortalama 1 günlük en yüksek enerji maliyeti \$4.431,29 dolar olarak ağustos ayında meydana gelirken yine 1 günlük genel toplamda da en yüksek enerji maliyeti \$6.034,36 dolar olarak yine ağustos ayında gerçekleşmiştir

A Limanı 2016 yılı günlük enerji tüketim maliyetlerine ilişkin çizelge incelendiğinde T0 (T1, T2, T3 zamanlarının tamamı) zaman aralığı için 1 günlük en yüksek enerji maliyeti ağustos ayında \$4.431,29 dolar olarak kaydedilmiştir.

Aşağıda Şekil 7.23’ de A limanına ait T1, T2 ve T3 zaman aralıklarındaki günlük enerji maliyetleri verilmiştir.



Şekil 7.23 : A limanı günlük enerji maliyetleri.

A Limanın 2016 yılına ait aylık bazda tüketilen enerji maliyet dağılımına bakıldığında, 1 aylık en yüksek enerji maliyeti \$37.814,17 dolar olarak ocak ayı T2 zaman aralığında gerçekleşmiş, diğer aylarda aylık en yüksek enerji maliyeti T1 (06:00-17:00) zaman aralığında olmuştur.

T0 (T1, T2, T3 toplamı) zamanı için 1 yıl içerisinde en yüksek aylık enerji maliyeti \$137.370,12 dolar olarak ağustos ayında meydana gelmiştir.

Vinçler için 1 aylık en yüksek enerji tüketim maliyeti \$41.243,98 dolar ile mart ayında gerçekleşirken, aydınlatma için harcanan aylık en yüksek enerji maliyeti \$13.589,37 dolar ile yine aralık ayında meydana gelmiştir.

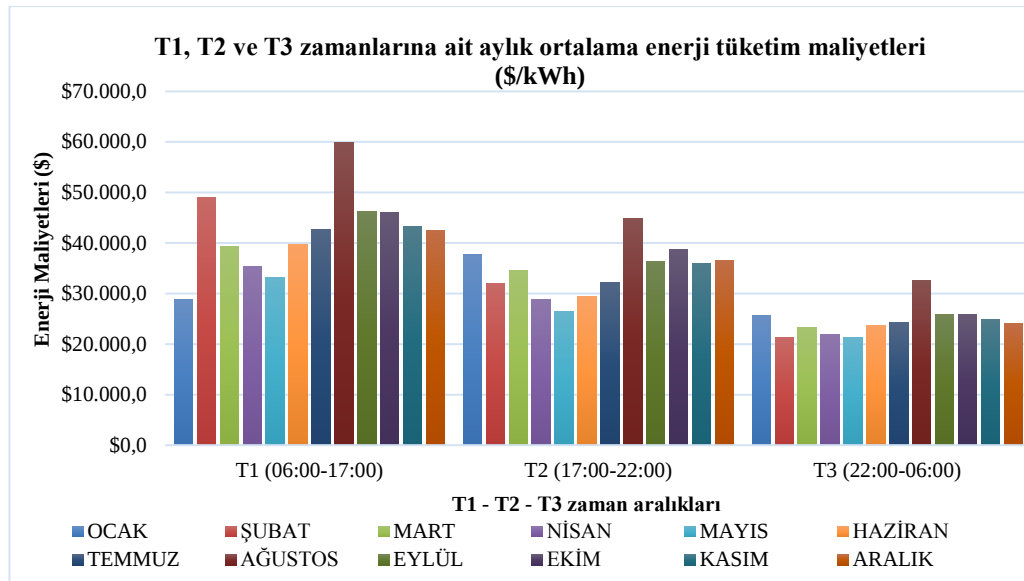
Aşağıda verilen Çizelge 7.7’ de A limanına ait aylık ortalama toplam enerji maliyetleri yer almaktadır.

Çizelge 7.7 : A limanı 2016 yılına ait aylık toplam enerji maliyetleri (\$/kWh).

A limanı 2016 yılına ait aylık toplam enerji maliyetleri (\$/kWh)							
	T0 (TOPLAM)	T1 (06:00- 17:00)	T2 (17:00- 22:00)	T3 (22:00- 06:00)	VİNÇLER	AYDINLATMA	GENEL TOPLAM
OCAK	\$92.306,24	\$28.849,99	\$37.814,17	\$25.642,08	\$40.123,65	\$13.409,35	\$145.839,24
ŞUBAT	\$102.348,15	\$48.951,23	\$31.991,69	\$21.405,24	\$33.535,86	\$11.701,64	\$147.585,65
MART	\$97.292,45	\$39.412,42	\$34.552,70	\$23.327,33	\$41.243,98	\$11.429,50	\$149.965,94
NİSAN	\$86.167,44	\$35.423,31	\$28.807,95	\$21.936,18	\$38.699,25	\$10.006,00	\$134.872,69
MAYIS	\$80.832,63	\$33.136,71	\$26.431,55	\$21.264,36	\$30.265,74	\$9.369,51	\$120.467,88
HAZİRAN	\$92.827,50	\$39.764,34	\$29.334,30	\$23.728,86	\$33.238,23	\$8.796,32	\$134.862,05
TEMMUZ	\$98.991,60	\$42.655,98	\$32.153,32	\$24.182,30	\$30.885,71	\$9.249,57	\$139.126,89
AĞUSTOS	\$137.370,12	\$59.882,25	\$44.934,88	\$32.552,99	\$39.535,60	\$10.159,52	\$187.065,24
EYLÜL	\$108.635,71	\$46.293,29	\$36.436,21	\$25.906,22	\$33.069,41	\$10.857,53	\$152.562,66
EKİM	\$110.819,93	\$46.155,52	\$38.764,33	\$25.900,07	\$34.342,50	\$12.299,44	\$157.461,86
KASIM	\$104.245,38	\$43.398,78	\$36.014,56	\$24.832,04	\$35.978,50	\$12.870,41	\$153.094,29
ARALIK	\$103.270,49	\$42.518,32	\$36.606,00	\$24.146,18	\$31.020,28	\$13.589,37	\$147.880,15

Çizelge 7.7' ye göre vinçler için en yüksek günlük enerji maliyeti \$1.330,45 dolar ile mart ayında meydana gelirken, aydınlatma için 1 günlük en yüksek enerji maliyeti \$438,37 dolar olarak aralık ayında kaydedilmiştir. Genel toplamda A Limanı için 1 günlük harcanan en yüksek enerji maliyeti \$6.034,36 dolar olarak ağustos ayında olmuştur.

Aşağıda verilen Şekil 7.24' te T1, T2 ve T3 zaman aralıklarındaki aylık ortalama enerji tüketim maliyetleri grafikte gösterilmiştir.



Şekil 7. 24 : T1, T2 ve T3 zamanlarına ait aylık ortalama enerji tüketim maliyetleri (\$/kWh).

Yine genel toplamda A Limanında enerjiye ödenen aylık en yüksek enerji tüketim maliyeti \$187.065,24 dolar olarak ağustos ayında gerçekleşmiştir. Aşağıda verilen Çizelge 7.8’ de yıllık, aylık, günlük, saatlik ortalama enerji tüketim miktarları ve maliyetleri yer almaktadır.

Çizelge 7.8 : Yıllık, aylık, günlük, saatlik ortalama enerji tüketim miktarları ve maliyetleri.

	1 yıllık toplam tüketilen enerji (kWh)	1 yıllık toplam enerji tüketim maliyeti (\$/kWh)	Aylık ortalama enerji tüketimi (kWh)	Aylık ortalama enerji tüketim maliyeti (\$/kWh)	2016 yılı günlük ortalama enerji tüketimi (kWh)	2016 yılı günlük ortalama enerji tüketim maliyeti (\$/kWh)	2016 yılı saatlik ortalama enerji tüketimi (kWh)	2016 yılı saatlik ortalama enerji tüketim maliyeti (\$/kWh)
T0 (TOPLAM)	11.292.974	\$1.215.107,7	941.081,2	\$101.259,0	30.859,8	\$3.320,5	1.285,8	\$452,6
T1(06:00-17:00)	4.587.806	\$506.442,1	382.317,2	\$42.203,5	12.548,9	\$1.385,3	1.140,8	\$125,9
T2(17:00-22:00)	2.486.114	\$413.841,7	207.176,2	\$34.486,8	6.789,0	\$1.130,1	1.357,8	\$226,0
T3(22:00-06:00)	4.219.054	\$294.823,9	351.587,8	\$24.568,7	11.521,9	\$805,1	1.440,2	\$100,6
Vinçler	3.806.473	\$421.938,7	317.206,1	\$35.161,6	10.402,5	\$1.153,1	433,4	\$48,0
Aydınlatma	1.206.504	\$133.738,2	100.542,0	\$11.144,8	3.297,2	\$365,5	137,4	\$15,2
Ortalama genel toplam	16.305.951	\$1.770.784,5	1.358.829,3	\$147.565,4	44.559,6	\$4.839,1	4.509,7	\$515,9

A limanı 2016 yılına ait yıllık, aylık, günlük ve saatlik ortalama enerji tüketim dağılımına baktığımızda 1 yıllık, 1 aylık, 1 günlük ve 1 saatlik ortalama enerji tüketim miktarları olarak aşağıdaki tabloda özetlenerek verilmiştir. A Limanı 2016 yılında 1 yıllık en yüksek enerji tüketimini T1 zamanında 4.587.806,0 kilowatt saat olarak gerçekleştirmiş, toplam enerji maliyeti \$506.442,1 olmuştur. Yine 2016 yılında en yüksek aylık ve günlük ortalama enerji tüketimi T1 zamanında sırasıyla 382.317,2 kilowatt saat ve 12.548,9 kilowatt saat olarak gerçekleşmiş, toplam enerji miktarı aylık ortalama \$42.203,5 dolar ve günlük ortalama \$1.385,3 dolar olmuştur. 2016 yılı saatlik ortalama en yüksek enerji tüketimi 1.440,2 kilowatt saat olarak T3 (22:00-06:00) zaman aralığında olmuş ve enerji maliyeti \$100,6 dolar olarak gerçekleşmiştir. Ancak 2016 yılı en yüksek saatlik ortalama enerji tüketim maliyeti T2 (17:00-22:00) zaman aralığında \$226,0 dolar olarak gerçekleşmiştir.

T0 (T1, T2, T3 zamanları toplamı) 1 yıllık toplam tüketilen enerji 11.292.974 kilowatt saat, enerji maliyeti \$1.215.107,7 olurken, T0 zamanında aylık ortalama enerji tüketimi 941.081,2 kilowatt saat, aylık ortalama enerji maliyeti \$101.259,0 dolar olmuştur. 2016 yılı T0 toplam günlük ve saatlik ortalama enerji tüketimi sırasıyla

30.859,8 kilowatt saat ve 1.285,8 kilowatt saat olurken, enerji maliyetleri de sırasıyla \$3.320,5 dolar ve \$452,6 dolar olmuştur.

Vinçlerin yıllık ve aylık ortalama toplam enerji tüketimi sırasıyla 3.806.473 kilowatt saat ve 317.206,1 kilowatt saat olurken, maliyetleri \$421.938,7 dolar ve \$35.161,6 dolar olmuştur. Vinçlerin 2016 yılı günlük ve saatlik ortalama enerji tüketimi sırasıyla 10.402,5 kilowatt saat ve 433,4 kilowatt saat olurken, enerji tüketim maliyetleri \$1.153,1 dolar ve \$48 dolar olmuştur.

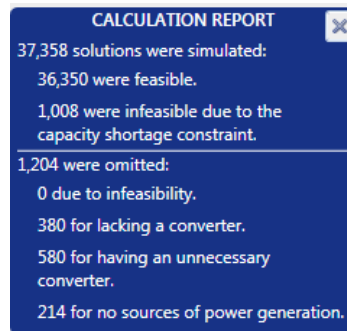
Aydınlatma için yıllık ve aylık ortalama enerji tüketimi sırasıyla 1.206.504 kilowatt saat ve 100.542 kilowatt saat olurken, maliyetleri \$133.738,2 dolar ve \$11.144,8 dolar olmuştur. Aydınlatmaların 2016 yılı günlük ve saatlik ortalama enerji tüketimi sırasıyla 3.297,2 kilowatt saat ve 137,4 kilowatt saat olurken, enerji tüketim maliyetleri \$365,5 dolar ve \$15,2 dolar olmuştur.

A Limanı için ortalama genel toplam miktarları, 1 yıllık toplam tüketilen ve aylık ortalama tüketilen enerji miktarları ve maliyetleri sırasıyla, 16.305.951 kilowatt saat için \$1.770.784,5 dolar ve 1.358.829,3 kilowatt saat için \$147.565,4 dolar olmuştur. Günlük ve saatlik ortalama tüketim miktarları ve maliyeti ise 44.559,6 kilowatt saat için \$4.839,1 dolar ve saatlik 4.509,7 kilowatt saat için \$515,9 dolar olmuştur.

7.3 Şebeke Bağlantılı Homer Simülasyon Sonuçları Ve Analiz

Homer programında A limanının en optimum sistem tasarımı için program tarafından 37,358 durum simüle edilmiş 36,350 tanesi uygulanabilir bulunurken, 1008 tanesi kapasite yetersizliği kısıtlaması nedeniyle uygulanması mümkün bulunmamıştır. 1204 durum ihmal edilmiş yada atlanmıştır.

Programın hesaplama durumuna ait rapor Şekil 7.25' te verilmiştir.



Şekil 7.25 :Simülasyon sonuç raporu.

Enerji verimliliğinin temelini belirlemek için en düşük net mevcut maliyeti sağlayacak en verimli sistem konfigürasyonunu elde etmek amacıyla, güç sisteminin çeşitli konfigürasyon sistem tipleri için Homer yazılımında yapılan simülasyonlar sonucunda elde edilen en optimum sistem bileşenleri Şekil 7.26’ te verildiği gibidir.

System Architecture: Enercon E-115 [3MW] (1.00) HOMER Load Following
 Generic flat plate PV (2,425 kW) System Converter (1,062 kW)
 Generic 1.5 MW (1.00) Grid (999,999 kW)

Şekil 7.26 : Homer programı optimum sistem bileşenleri.

HOMER, sistemi en uygun maliyetli sistemden en düşük maliyetli konfigürasyona kadar olan sonuçları, çeşitli koşullar kullanarak sistemin enerji verimliliğini optimize ederek göstermiştir. Şebeke bağlantılı hibrid enerji sisteminin tasarımında en optimum sistem olarak, birer adet 3 megawattlık ve 1,5 megawattlık iki farklı rüzgar türbini, 2425 kW’ lık PV sistem, 1062 kW’lık AC-DC dönüştürücü ve elektrik şebeke sistemi yer almaktadır.

Aşağıda verilen Şekil 7.27’da tüm sistem bileşenlerinin sistem maliyetleri, değiştirme maliyetleri, bakım ve işletme maliyetleri, hurda değerleri ve toplam maliyetleri yer almaktadır.

Component	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$)	Fuel (\$)	Salvage (\$)	Total (\$)
Enercon E-115 [3MW]	\$4,000,000.00	\$0.00	\$1,210,406.27	\$0.00	\$0.00	\$5,210,406.27
Generic 1.5 MW	\$2,800,000.00	\$0.00	\$847,284.39	\$0.00	\$0.00	\$3,647,284.39
Generic flat plate PV	\$402,549.99	\$0.00	\$782,729.38	\$0.00	\$0.00	\$1,185,279.37
Grid	\$0.00	\$0.00	-\$31,580,063.68	\$0.00	\$0.00	-\$31,580,063.68
System Converter	\$116,820.00	\$90,412.43	\$214,241.91	\$0.00	-\$25,404.71	\$396,069.63
System	\$7,319,369.99	\$90,412.43	-\$28,525,401.72	\$0.00	-\$25,404.71	-\$21,141,024.00

Şekil 7.27 : A limanı için yenilenebilir enerji sistem bileşenleri.

Optimum sistem tasarımında sermaye maliyeti şekil 7.26’da görüldüğü üzere 3 megawattlık rüzgar türbini 4 milyon dolar, 1,5 megawattlık rüzgar türbini 2,8 milyon dolar, PV sistem 402,549.99 dolar, AC-DC dönüştürücü 116,820 dolar ve toplam sermaye maliyeti 7,319,369.99 dolar olarak hesaplanmıştır.

AC-DC dönüştürücü değiştirme maliyeti 90,412.43 dolar tutmaktadır.

İşletme ve bakım giderlerine bakıldığında 3 megawattlık sistemin 1,210,406.27 dolar, 1,5 megawattlık rüzgar türbinin 847,284.39 dolar, PV sistemin 782,729.38 dolar ve AC-DC dönüştürücünün 214,241.91 dolar tuttuğu görülmektedir. Şebeke (grid) için işletme ve bakım giderleri -31,580,063.68 tutmuştur. Burada – (eksi) işaret gelir yada

kazanç anlamına gelmektedir. Sistemin şebekeye sattığı elektrik aldığından fazla olduğu için bu kısma şebekeye satılan elektrikten elde edilen miktar yazılmıştır.

Program hurda gelirini AC-DC dönüştürücü için -25,404.71 dolar olarak hesaplamıştır. Buradaki eksi işaret yine hurda satışından elde edilecek gelir olarak varsayılacaktır.

Program tarafından sistemin toplam maliyeti hesaplandığında ve gelirlerden giderler düşüldüğünde elde edilen sonuç -21,141,024 dolar olarak bulunmuştur. Bu sonuç geliri ifade etmektedir.

Aşağıda verilen Şekil 7.28’ de sistemin toplam net şimdiki maliyeti (total NPC), sistem tarafından üretilen faydalı elektrik enerjisinin kWh’lık ortalama maliyeti (dengelenmiş enerji maliyetini - levelized COE) ve işletme maliyeti yer almaktadır.

Total NPC:	-\$21,141,020.00
Levelized COE:	-\$0.08217
Operating Cost:	-\$1,410,786.00

Şekil 7.28 : Yenilenebilir enerji sistem maliyeti.

Aşağıda verilen Şekil 7.29 de sistemin yıllık ürettiği elektrik miktarı ve yüzdelik oranı yer almaktadır.

Production	kWh/yr	%
Generic flat plate PV	3,710,914	27.2
Generic 1.5 MW	2,290,456	16.8
Enercon E-115 [3MW]	7,514,934	55.1
Grid Purchases	134,260	0.984
Total	13,650,564	100

Şekil 7.29 :Yenilenebilir enerji sistemin her bir bileşenin ürettiği elektrik miktarı ve yüzdesi.

Yukarıda verilen şekilde PV sistem yılda 3,710,914 kWh enerji ile toplam üretilen enerjisinin % 27’ sini, 1,5 megawattlık rüzgar türbini 2,290,456 kWh’lık enerji ile % 16,8’ini, 3 megawattlık rüzgar türbini 7,514,934 kWh’lık enerji ile % 55.1’ ni üretirken şebekeden sadece 134,260 kWh’lık enerji ile % 0,984’ lük bir enerji alınmıştır.

Aşağıda verilen şekil 7.30’ de harcanan enerji miktarları ve yüzdeleri yer almaktadır.

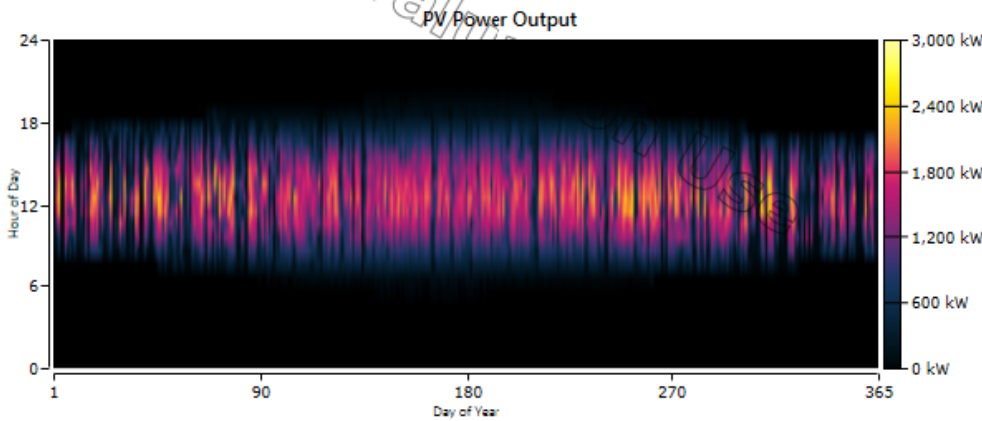
Consumption	kWh/yr	%
AC Primary Load	884,169	6.93
DC Primary Load	0	0
Deferrable Load	0	0
Grid Sales	11,869,554	93.1
Total	12,753,723	100

Şekil 7.30 : Harcanan enerji miktarı ve yüzdesi.

Programa göre 12,753,723 kWh’ lık AC elektriğin yıllık 884,169 kWh’ ı (% 6,93) harcanırken 11,869,554 kWh’ ı (%93,1) şebekeye satılmaktadır.

Aşağıda yer alan şekil 7.31’ da PV sistemine ait çıkış gücü, kapasite faktörü, yıllık elektrik üretim miktarı (kWh/yıl), enerji maliyeti vb. veriler yer almaktadır.

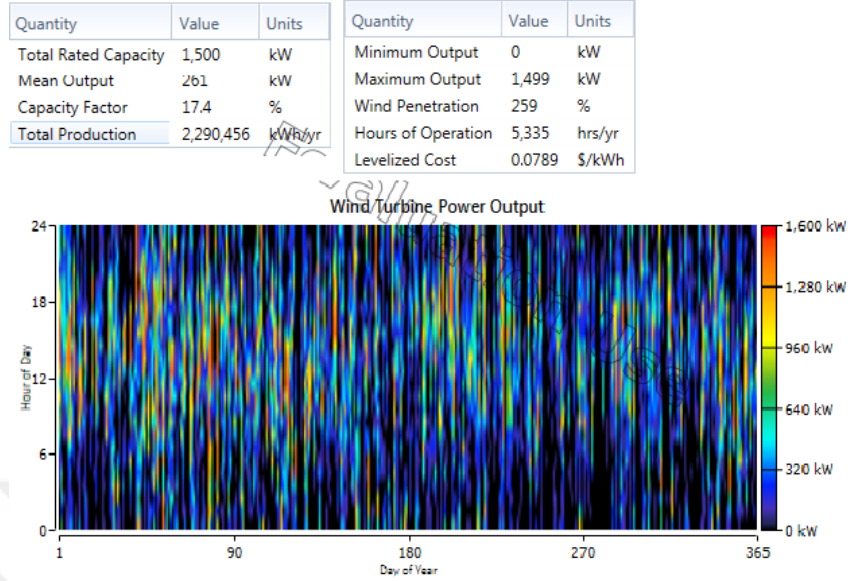
Quantity	Value	Units	Quantity	Value	Units
Rated Capacity	2,425	kW	Minimum Output	0	kW
Mean Output	424	kW	Maximum Output	2,518	kW
Mean Output	10,167	kWh/d	PV Penetration	419	%
Capacity Factor	17.5	%	Hours of Operation	4,378	hrs/yr
Total Production	3,710,914	kWh/yr	Levelized Cost	0.0158	\$/kWh



Şekil 7.31 : PV sistem güç çıkışı verileri.

Standart koşullar altında PV dizisinin kW cinsinden nominal kapasitesi 2425 kW, ortalama çıkış gücü 424 kW, kapasite faktörü % 17,5 ve yıllık toplam elektrik üretimi 3,710,914 kWh/yıl’ dır. PV sistemin en yüksek çıkış gücü 2,518 kW, PV dizisinin ortalama güç çıkışı % 419, yıllık çalışma saati 4,378 saat/yıl’dır. PV dizisinin, \$/kWh cinsinden dengelenmiş enerji maliyeti (levelized cost) 0.0158 \$/kWh’ tir.

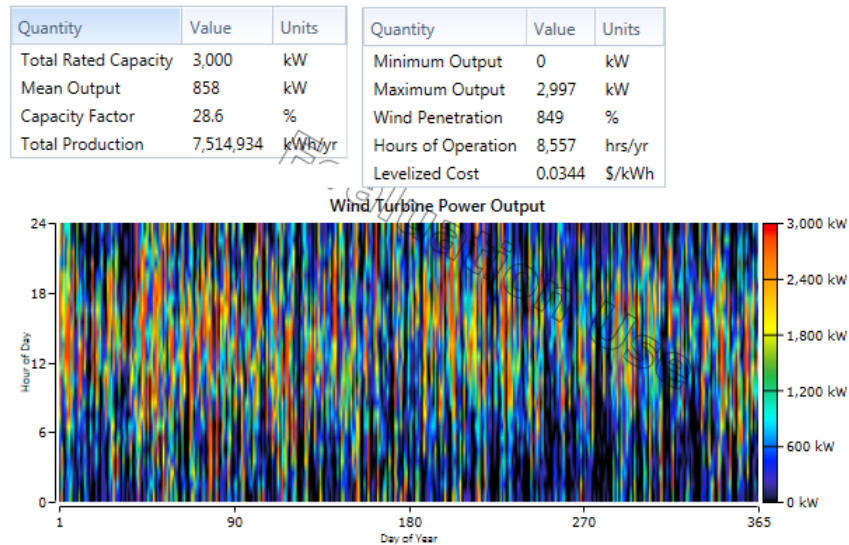
Aşağıda verilen Şekil 7.32’ da 1,5 megawattlık rüzgar türbin sistemine ait güç çıkış verileri yer almaktadır.



Şekil 7.32 : 1,5 Megawattlık sistem güç çıkışı verileri.

Standart koşullar altında rüzgar türbininin kW cinsinden nominal kapasitesi 1500 kW, ortalama çıkış gücü 261 kW, kapasite faktörü % 17,4 ve yıllık toplam elektrik üretimi 2,290,456 kWh/yıl’ dır. Rüzgar türbin sisteminin en yüksek çıkış gücü 2,518 kW, Rüzgar türbininin ortalama güç çıkışı % 259, yıllık çalışma saati 5,335 saat/yıl’dır. Rüzgar türbininin, \$/kWh cinsinden dengelenmiş enerji maliyeti (levelized cost) 0.0789 \$/kWh’ tir.

3 megawattlık rüzgar türbinine ait güç çıkışı verileri Şekil 7.33’ de verilmiştir.

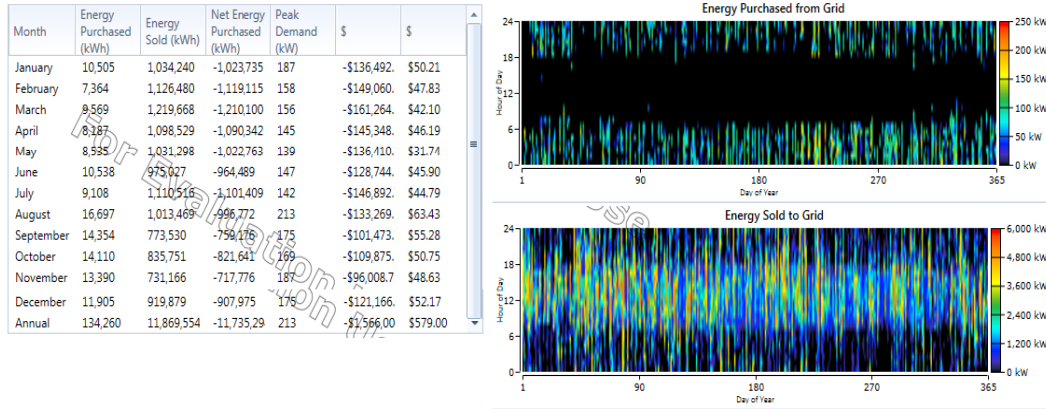


Şekil 7.33 : 3 Megawattlık sistem güç çıkışı verileri.

Standart koşullar altında rüzgar türbininin kW cinsinden nominal kapasitesi 3000 kW, ortalama çıkış gücü 858 kW, kapasite faktörü % 28,6 ve yıllık toplam elektrik üretimi 7,514,934 kWh/yıl'dır.

Rüzgar türbini sisteminin en yüksek çıkış gücü 2,997 kW, Rüzgar türbininin ortalama güç çıkışı % 849, yıllık çalışma saati 8,557 saat/yıl'dır. 3 megawattlık rüzgar türbininin, \$/kWh cinsinden dengelenmiş enerji maliyeti (levelized cost) 0.0344 \$/kWh' tir.

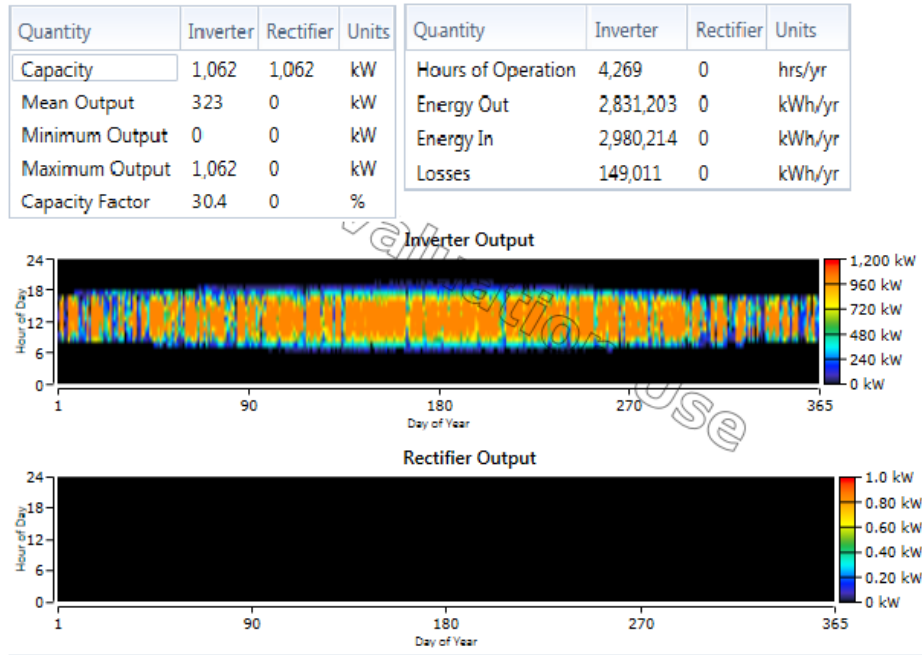
Aşağıda verilen Şekil 7.34'de şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji miktarları yer almaktadır.



Şekil 7.34 : Şebekeden alınan ve şebekeye satılan enerji verileri.

Homer programının hesaplarına göre şebekeden yıllık 134,260 kWh elektrik alınırken, 11,869,554 kWh elektrik satılmıştır. Elektrik satış ve alış arasındaki fark düştüğünde net satış miktarı 11,735,294 kWh' tir. Pik talep ağustos ayında 213 kW olarak hesaplanmış olup, alış maliyeti 579 dolarken, satıştan elde edilen yıllık kar 1,566,006 dolar olarak gerçekleşmiştir.

Aşağıda yer alan Şekil 7.35' te AC-DC dönüştürücü (convertor) çıkış güç verileri yer almaktadır.



Şekil 7.35 : AC-DC dönüştürücü (convertor) çıkış güç verileri.

Sistem dönüştürücüsünün (system converter) kapasitesi 1062 kW, ortalama çıkış gücü 323 kW, kapasite faktörü % 30,4 ve yıllık toplam elektrik üretimi 7,514,934 kWh/yıl'dır. Dönüştürücünün en yüksek çıkış gücü 1,062 kW, yıllık çalışma saati 4,269 saat/yıl'dır. Enerji girişi 2,980,214 kWh/yıl, enerji çıkışı 2,831,203 kWh/yıl'dır. Enerji kaybı miktarı 149,011 kWh/yıl'dır.

Homer programının hesaplarına göre sistemin neden olacağı emisyon miktarları aşağıda verilen Şekil 7.36' teki gibi elde edilmiştir.

Quantity	Value	Units
Carbon Dioxide	84,852	kg/yr
Carbon Monoxide	0	kg/yr
Unburned Hydrocarbons	0	kg/yr
Particulate Matter	0	kg/yr
Sulfur Dioxide	368	kg/yr
Nitrogen Oxides	180	kg/yr

Şekil 7.36 : Emisyon miktarları.

Programın hesaplarına göre sistemin neden olacağı emisyon değerleri; karbondioksit oranı 84,852 kg/yıl, sülfürdioksit 368 kg/yıl, nitrojenoksit 180 kg/yıl şeklindedir.

Aşağıda verilen Şekil 7.37’te sisteme ait ekonomik parametreler yer almaktadır.

Metric	Value
Present worth (\$)	\$23,093,460
Annual worth (\$/yr)	\$1,144,746
Return on investment (%)	16.6
Internal rate of return (%)	20.4
Simple payback (yr)	4.84
Discounted payback (yr)	5.10

Şekil 7.37 : Ekonomik parametreler.

Homer programının hesaplarına göre şimdiki değer (present worth-\$) için yani şebekeden alınan elektriğe ödenen net şimdiki maliyetle yenilenebilir enerji sistemine ait net şimdiki maliyet arasındaki farktır.

Mevcut değer in işareti, mevcut sistemin sadece şebeke elektriğinin kullanıldığı sistem ile bir yatırım seçeneği olarak olumlu bir şekilde karşılaştırılıp karşılaştırılamayacağını göstermektedir. Pozitif bir değer, hibrit sistemin yalnızca şebeke elektriğinin kullanıldığı sistemine kıyasla proje ömrü boyunca para tasarrufu sağladığını gösterir. Bu durumda tasarlanan optimum hibrit sistem proje ömrü boyunca \$23,093,460 tasarruf sağlamaktadır.

Homer programına göre yıllık değer (annual worth) yani sermaye geri kazanım faktörü (capital recovery factor) ile mevcut değer in (present worth) çarpılması sonucu \$1,144,746 dolar olarak hesaplanmıştır.

Yatırım getirisi (return of investment) %16,6 olarak hesaplanmıştır.

İç getiri oranı (internal rate of return-IRR), sistemin yalnızca şebeke elektriğiyle beslenen durumu ile sistemin hibrit enerjiyle beslenmesi durumunun aynı net maliyete sahip olduğu oranıdır (discount rate). Homer, iki nakit akış dizisinin farkının sıfır olana eşit olmasını sağlayan indirim oranını (discount rate) belirleyerek IRR'yi hesaplamaktadır. Program iç getiri oranını %20,4 olarak hesaplamıştır.

Homer, bir sistemi diğeriyle karşılaştırarak geri ödeme süresini hesaplamaktadır. Genel olarak geri ödeme, bir yatırımın geri kazanılması için gereken süreyi gösterir. Geri ödeme, birikimli gelirin ilk yatırımın değerine eşit olması için gereken yıl

sayısıdır. Program basit geri ödeme süresini (simple payback) yani sistemin başlangıç yatırım maliyetini 4,84 yılda karşıladığını hesaplamıştır.

İndirgenmiş (iskontolu) geri ödeme (discounted payback), bir projenin kümülatif net bugünkü değerinin (cumulative net present value) sıfıra eşit olduğu süre yani, bir projenin başlangıç maliyetinin beklenen nakit akışlarının (girişlerinin) indirgenmiş (iskonto edilmiş) değerine eşit olması için geçen süredir. Homer programı indirgenmiş geri ödeme süresini 5,1 yıl olarak hesaplamıştır.





8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bütünleşik yenilenebilir enerji güç kaynaklarından elektrik üretimi için Homer programında şebeke bağlantılı hibrid optimizasyon modelinin kullanımında en optimum sistem tasarımına ait çıktılar bu bölümde sunulmuştur.

Homer Hibrit Optimizasyon Modelleme Yazılımı, rüzgar türbini, solar fotovoltaik paneller, konvertörler ve şebeke elektriğinden oluşan bütünleşik yenilenebilir güç kaynaklarını ve diğer gerekli bileşenleri içeren girdilerin kullanılarak hibrid güç sistem tasarımı ve analizinde kullanıcıya en optimum tasarımı sağlamaktadır.

Ayrıca Homer yazılımı kullanıcıya, optimize edilen çeşitli çözümlerin en düşük net maliyetinin yanında, AC-DC dönüştürücü ve PV sistemlerine ait en iyi verim, rüzgar türbini sayısı, başlangıç maliyeti, işletme maliyeti, toplam net şimdiki maliyeti, kWh'lik enerji maliyeti, yenilenebilir enerjinin sistem içerisindeki seviyesi vb. önemli parametrelere ait analizleri sunmaktadır.

Çeşitli faktörlere dayanarak maliyetlerin en aza indirilmesini ve senaryoların optimizasyonunu sağlayan Homer yazılımı, bu bölümde farklı enerji proje senaryolarının maliyetini belirlemede yararlı olan optimizasyon sonuçlarının değerlendirmesini içermektedir. Farklı miktarlarda PV sistemi, rüzgar türbini, dönüştürücü gibi yenilenebilir enerji sistemlerinden oluşan değişik senaryolar, liman için aynı yük profili ile denenerek elde edilen en uygun sistem maliyeti ve enerji maliyeti incelenerek analiz edilmiştir. Yenilenebilir enerji sisteminin her bir bileşeninin sayısı arttırıldığında tüm maliyetlerde artış olduğu görülmüş, buna göre en uygulanabilir ve optimum maliyet ve sistem tasarımı seçilerek değerlendirilmiştir.

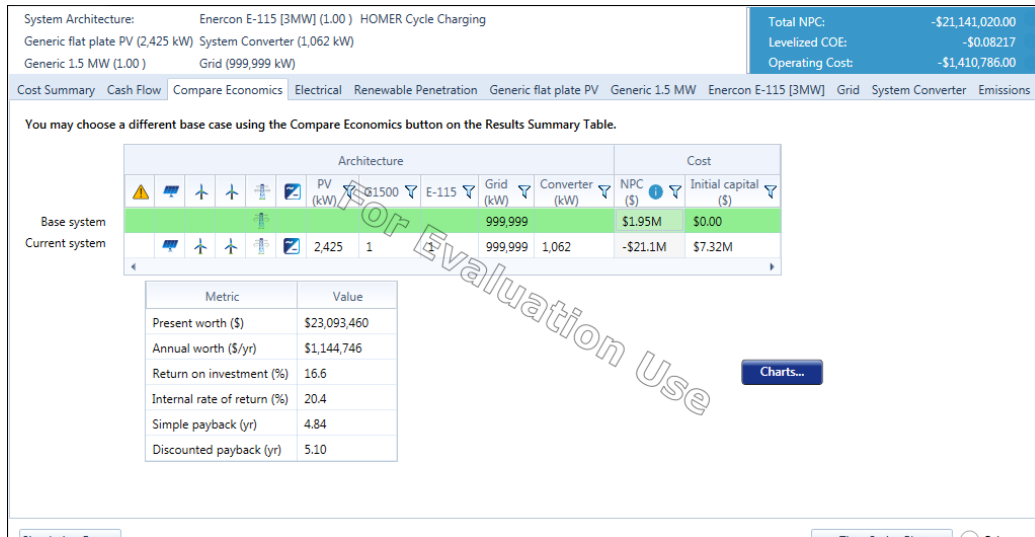
Bu çalışmada limanların enerji ihtiyacının bütünleşik hibrit yenilenebilir enerji sistemleri ile karşılanması için optimum sisteme tasarımları incelenerek en uygun maliyetli olan sistem seçilerek incelenmiştir. Tasarımın gerçekçi olması amacıyla yerel meteorolojik veriler ve ile homer programının verileri kıyaslanmıştır. Arada önemli bir fark olmaması nedeniyle Homer programının verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada girilen veriler bir yıllık süre için saatlik olarak simülasyonla modellenmiştir.

Her tasarım için gerçekçi değerler girilerek elde edilen saatlik veriler detaylı incelenerek değerlendirilmiştir.

Çalışmada Homer programı hesaplamaları ve excel programındaki veriler yenilenebilir enerji sisteminin şebeke elektrik maliyetine göre açık ara ekonomik ve uygulanabilir olduğunu ortaya koymuştur. Enerji talebinin karşılanmasında şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulması üretilen elektriğin şebekeye satılması ve uygun bulunduğu yada gerekli olduğunda şebekeden enerji almanın avantajlı olduğu koşulları mümkün kılacağından ötürü en mantıklı yoldur. Çalışma yapılan liman için Homer programı mevcut güneş ve rüzgar enerji kaynakları hem solar hem de rüzgar enerji sisteminin kurulmasını fizibilite bakımından en optimum sistem olarak hesaplamıştır. Yenilenebilir hibrit enerji sisteminin maliyeti Homer programı tarafından yaklaşık 7,32 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Bununla birlikte, tasarlanan yenilenebilir enerji sisteminin enerji üretim miktarı, geri dönüşümü, amortisman süresi oldukça makuldur.

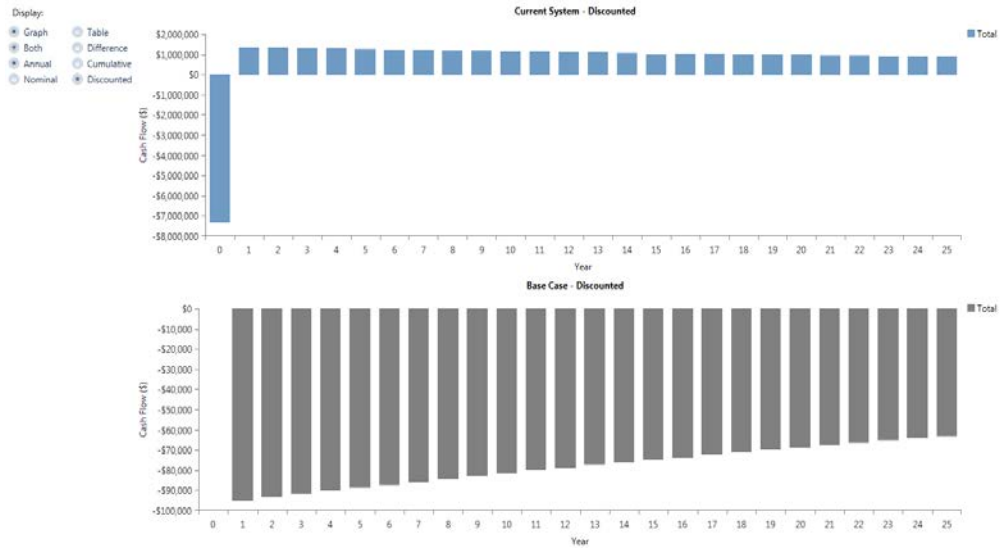
Excel programıyla A limanının T1, T2 ve T3 zamanlarına ait yıllık enerji maliyeti \$1,215,107.66 dolar, vinçler için \$421,938.71 dolar, aydınlatma için \$133,738.17 dolar ve genel toplamda \$1,770,784.54 dolar olarak hesaplanmıştır.

Aşağıda verilen 8.1’ de şebeke bağlantılı sistemle, mevcut bütünleşik hibrit enerji sistemini kıyaslandığını göstermektedir.



Şekil 8.1: Hibrit sistem ve şebeke elektriği sistemi.

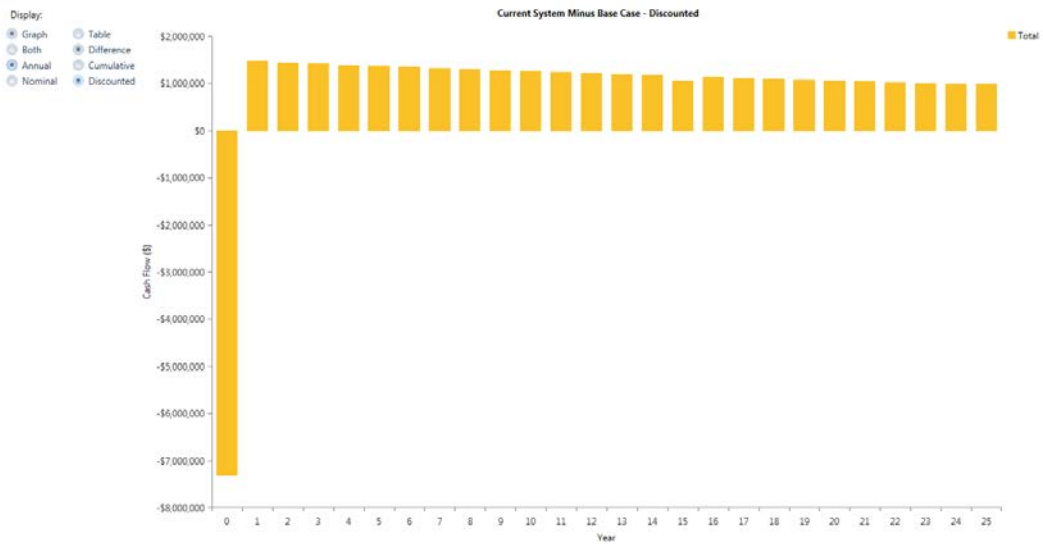
Sadece şebeke elektriğinin kullanıldığı sistemle seçilen optimum hibrit sisteme ait nakit akışı aşağıdaki Şekil 8.2’ de verilmiştir.



Şekil 8.2 : Şebeke elektriği ve hibrit sisteme ait nakit akışı.

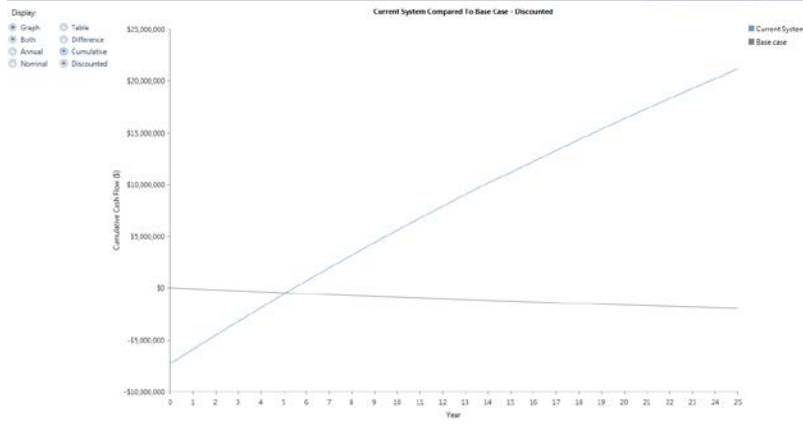
Yukarıda verilen Şekil 8.2’ den de anlaşılacağı üzere yenilenebilir hibrit sistemin başlangıç maliyeti ve proje ömrü boyunca sağlayacağı getiri ile yalnızca şebeke elektriği kullanılması durumunda oluşacak maliyet kıyaslanmıştır.

Aşağıda verilen Şekil 8.3’te proje ömrü boyunca indirgenmiş (hibrit sistem – şebeke elektrik sistem) maliyete ait nakit akışı yer almaktadır.



Şekil 8.3 : Hibrit sistem & şebeke elektrik sistemi indirgenmiş (discounted) nakit akışı.

Homer programının hesaplaması neticesinde yıllık yaklaşık \$1,510,790 dolarlık bir nakit girişi olmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 8.4’ te Homer programının hesapladığı şebeke elektriği kullanım maliyeti ile hibrit sistemin maliyet ve nakit girişi grafik üzerinde kıyaslanarak yer almaktadır.



Şekil 8.4 : Hibrit sistem & şebeke elektriği sisteminin proje ömrü boyunca nakit akışı

Yukarıda verilen nakit akışı yenilenebilir hibrit enerji sisteminin, yalnızca şebeke elektriğini kullanmaya göre daha avantajlı olduğunu açıkça göstermektedir. Yenilenebilir enerji sistemine ait yatırım maliyetini 5,1 yıl gibi kısa bir süre içerisinde amorti etmesi de bunu desteklemeye yetmektedir.

Yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulum maliyetleri yıllar içerisinde önemli ölçüde düşüş gösterdiğinden daha uygun bir maliyetle amortisman süreleri düşerken elde edilen kar oranları artmaktadır. Tüm dünyada temiz enerji ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan talebin günden güne artması bu alandaki yatırımların da artarak gelişmesine imkan tanımaktadır. Çevre hassasiyeti ve yeşil enerji politikaları tüm dünyada temiz enerji kaynaklarına olan teşviklerin ve desteğin artması eğilimini göstermektedir. Aşağıdaki Şekil 8.5 İngiltere’ de bir limanın yakınlarında yer alan yenilenebilir enerji kaynağını temsilen yer almaktadır.



Şekil 8.5 : İngiltere'de bir liman yakınlarında yer alan yenilenebilir enerji sistemi.

Doğal kaynaklarının miktarı değiştirilemez, ancak gelişmişlik düzeyine bağlı olarak ve enerji talebinin karşılanmasına yardımcı olması maksadıyla, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar artırılabilir. Tüm dünyada yeni enerji talebinin yanı sıra

1990'lı yıllardan bu yana yenilenemeyen enerji kullanımının aksine yenilenebilir enerji kaynakları çevre dostu oluşu ve gittikçe artan çevre bilinci de yenilenebilir enerji kullanımına yönelik talebi artırmıştır [61]. Aşağıda Şekil 8.6'da İngiltere'deki bir limanın yakınlarında bulunan rüzgar türbinleri ve solar panellere ait görsel yer almaktadır.



Şekil 8.6 : İngiltere'deki bir limana yakın yenilenebilir enerji sistemleri.

Aralık 2015'te 195 ülkenin kabul ettiği, 169 ülkenin onama sürecini tamamladığı ve 4 kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren, dünyanın hukuki bağlayıcılığı olan ilk evrensel iklim anlaşması olan Paris İklim Değişikliği Anlaşması; küresel ısınmayı, sanayileşme öncesi dönemdeki seviyenin 2 °C'nin altında sınırlayarak ve sıcaklık artışını da 1.5 °C'nin altında tutmaya yönelik çaba sarf ederek, tehlikeli boyuttaki iklim değişikliğini önlemek üzere dünyayı tekrar doğru gidişata sokacak küresel bir eylem planı belirlemektedir [62].

Deniz taşımacılığından kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak için, MARPOL Ek 6 kuralları model parametreleri, yakıtların kükürt içeriği ve tahrik (hareket) sistemlerinde uygulanmasıyla birlikte gemilerin seyirde, rıhtımda ve demirdeyken atmosfere saldıkları zararlı gazların azaltılması amaçlanmaktadır.

Son 10 yılda, deniz taşımacılığı ve liman teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte, çevrenin korunması konusunda kurallara uyma zorunluluğu kaçınılmaz bir hale gelmiş ve böylelikle yenilenebilir enerjiye olan ihtiyaç artmıştır.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki mücadele bilincini artırmak için, iklim değişikliğinden olumsuz etkilenen ancak fonları yetersiz ülkeler için “Yeşil İklim Fonu” adı altında fonlar oluşturulacaktır. Mevcut limanların yenilenebilir enerji ile donatılması, limanların mali fonlarla teşvik edildiği politikaları gerektirmektedir.

Paris iklim zirvesinden sonra karbon vergisi veya karbon fiyatlandırması gibi kavramlar tartışılmaya başlanmasıyla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi için Ar-Ge faaliyetleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimin tüm dünyada her alada artacağı görülmektedir [63].

Türkiye’de de gittikçe önemi artan sürdürülebilir enerji konusu, enerji çeşitliliği ve enerji güvenliği açısından hayati bir meseledir. Çünkü enerji kaynakları olmadığı halde enerji ithalatı yapan bir Türkiye’ nin dışa bağımlılığı azaltması ve enerji arzını sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla yapması gerekmektedir. Türkiye bulunduğu coğrafik konum hem güneş enerjisinden hem de rüzgar enerjisinden istifade edebilmesini mümkün kılmaktadır. Sahip olduğu potansiyeli alternatif enerji kaynaklarıyla değerlendiren bir Türkiye kalkınma ve ilerleme yolunda da önemli mesafeler kaydedecektir.

Limanların enerji ihtiyacının sürdürülebilir enerji kaynaklarıyla desteklenmesi, limanlardaki enerji altyapısının alternatif enerji kaynaklarıyla beslenmesi hem hava kirliliğini azaltacak hem de enerji maliyetlerini önemli ölçüde düşürerek orta ve uzun vadede karlılık sağlayacaktır. Limanlardaki yüksek enerji ihtiyacının temiz enerji kaynaklarıyla sağlanması için devlet ve özel sektör işbirliği içerisinde hareket etmesi uygulanabilir adımların atılmasını hızlandıracak ve benzer uygulamalar için cesaret verici olacaktır. Bu konuda Amerika’da, Avrupa’da hali hazırda uygulamaya konulmuş projeler ve örnek çalışmalar değerlendirilerek, benzer uygulamalar Türkiye’de de hayata geçirilebilir.

Denizciliğin ve deniz taşımacılığının, dünya’da gelişmiş ve modern liman tesisleri ve denizcilik faaliyetleriyle uyum içerisinde yürütülebilmesi amacıyla enerji konusunda da gerekli tedbirler alınarak limanlar için sürdürülebilir enerji sistemleri tesis edilmeli ve denizcilik endüstrisinde temiz çevre ve temiz enerji üzerinde yapılan akademik çalışma ve araştırmalar arttırılmalıdır.

9. KAYNAKLAR

- [1] M. Acciaro, H. Ghiara, ve M. I. Cusano, “Energy management in seaports: A new role for port authorities”, *Energy Policy*, c. 71, ss. 4–12, 2014.
- [2] J. Lam ve E. Van De Voorde, “Green port strategy for sustainable growth and development”, *Transp. Logist. Sustain. Growth a New Level, Proc. Int. Forum Shipp. Ports Airports*, ss. 417–427, 2012.
- [3] E. B. Barbier, “The Concept of Sustainable Economic Development”, *Environ. Conserv.*, c. 14, sayı 2, ss. 101–110, 1987.
- [4] Y. C. Beaudoin, *The Green Economy in a Blue World*, sayı September 2012. 2014.
- [5] R. H. Chiu, L. H. Lin, ve S. C. Ting, “Evaluation of green port factors and performance: A fuzzy AHP analysis”, *Math. Probl. Eng.*, c. 2014, 2014.
- [6] “T.C. Dışişleri Bakanlığı / Sürdürülebilir Kalkınma”. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.mfa.gov.tr/surdurulebilir-kalkinma.tr.mfa>. [Erişim: 21-Ara-2018].
- [7] [kalkinma.gov.tr](http://www3.kalkinma.gov.tr/PortalDesign/PortalControls/WebContentGosteri.aspx?Enc=51C9D1B02086EAFB312E30D608A11D07), “Sürdürülebilir Kalkınma”. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www3.kalkinma.gov.tr/PortalDesign/PortalControls/WebContentGosteri.aspx?Enc=51C9D1B02086EAFB312E30D608A11D07>. [Erişim: 25-Ara-2018].
- [8] T. Li, A. P. Roskilly, ve Y. Wang, “Life cycle sustainability assessment of grid-connected photovoltaic power generation: A case study of Northeast England”, *Appl. Energy*, sayı August, 2017.
- [9] J. Elkington, “Cannibals with forks: The triple bottom line of sustainability”, *New Soc. Publ.*, ss. 37–51, 1998.
- [10] P. Rao ve D. Holt, *Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance?*, c. 25, sayı 9. 2005, ss. 898–916.
- [11] C. J. Corbett ve R. D. Klassen, “Extending the Horizons: Environmental Excellence as Key to Improving Operations”, *Manuf. Serv. Oper. Manag.*, c. 8, sayı 1, ss. 5–22, 2006.
- [12] H. Özcan, “Bir Hibrit Enerji Sisteminin Modellenmesi ve Analizi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009.
- [13] A. Zamagni, “Life cycle sustainability assessment”, *Int. J. Life Cycle Assess.*, c. 17, sayı 4, ss. 373–376, 2012.
- [14] P. Yilmaz, M. Hakan Hocaoglu, ve A. E. S. Konukman, “A pre-feasibility case study on integrated resource planning including renewables”, *Energy Policy*, c. 36, sayı 3, ss. 1223–1232, 2008.
- [15] C. C. Rasit Ata, Ezgi Dolaşır, “Celal Bayar Üniversitesi Muradiye KYK Kız Yurdu İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilite Çalışması”, 2016, sayı October

2015, ss. 2–8.

- [16] S. Salehin, M. T. Ferdaous, R. M. Chowdhury, S. S. Shithi, M. S. R. B. Rofi, ve M. A. Mohammed, “Assessment of renewable energy systems combining techno-economic optimization with energy scenario analysis”, *Energy*, c. 112, ss. 729–741, 2016.
- [17] M. S. Okundamiya, J. O. Emagbetere, ve E. A. Ogujor, “Techno-Economic Analysis of a Grid-Connected Hybrid Energy System for Developing Regions”, *Iran. J. Energy Environ.*, sayı April 2016, 2015.
- [18] S. Bateman, “Environmental issues with Australian ports”, içinde *Ocean and Coastal Management*, 1996, c. 33, sayı 1–3, ss. 229–247.
- [19] N. Hakan Pekşen, D. Y. Pekşen, ve A. Ölçer, “Cold Ironing Yöntemi; Marport Limanı Uygulaması Shipping & Port Management 2”, *J. ETA Marit. Sci. Cold Ironing Yöntemi J. ETA Marit. Sci.*, c. 2, sayı 1, ss. 11–30, 2014.
- [20] P. G. Theodoros, “A Cold Ironing Study on Modern Ports, Implementation and Benefits Thriving for Worldwide Ports”, *Martrans.Org*, ss. 1–139, 2012.
- [21] N. Rehmatulla ve T. Smith, “Barriers to energy efficient and low carbon shipping”, *Ocean Eng.*, c. 110, ss. 102–112, 2015.
- [22] R. Cakmak, “Çatıya Kurulu Fotovoltaik Sistemlerin Erzincan Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi / Roof-Mounted Photovoltaic Systems : an Assessment of Their Feasibility in Erzincan Province”, sayı December, 2016.
- [23] C. Paper, “Avrupa Limanlarında Enerji Verimliliği Uygulamaları : Bir Doküman Analizi”, sayı December, 2017.
- [24] T. Taner ve M. Sivrioglu, “A techno-economic & cost analysis of a turbine power plant: A case study for sugar plant”, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, c. 78, sayı March, ss. 722–730, 2017.
- [25] A. BALBAA ve N. H. EL-AMARY, “Green Energy Seaport Suggestion for Sustainable Development in Damietta Port, Egypt”, sayı July, ss. 67–77, 2017.
- [26] S. E. Industries, *Plug in to green power*. 2015, s. 4,5.
- [27] F. D. Moccia, “Green port with micro systems : a proposal for the city of Pozzuoli”, sayı March, 2017.
- [28] J. N. Ece, “Denizcilik ve Liman Sektörleri 2011 Tahminleri”, <http://www.denizhaber.com/>, ss. 1–5, 2011.
- [29] “Yenilenebilir Enerji Devrimine Liderlik Eden Üç Ülke”. [Çevrimiçi]. Available at: <https://medium.com/@iscep/yenilenebilir-enerji-devrimine-liderlik-eden-uc-ulke-a06a11d2a83d>. [Erişim: 25-Ara-2018].
- [30] Greenport, “Genoa Port Environmental Energy Plan”, 2012. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.greenport.com/news101/Projects-and-Initiatives/genoa-port-environmental-energy-plan>. [Erişim: 04-Oca-2018].
- [31] “United Nations Statistics Division - Environment Statistics”, *UNSD*, 1997. [Çevrimiçi]. Available at: <https://unstats.un.org/unsd/environmentgl/>. [Erişim: 01-Oca-2018].
- [32] BP Energy Outlook 2018, “BP Statistical Review of World Energy”, *BP Stat.*

- Rev. World Energy* 2018, c. 67, sayı Carbon dioxide emissions, ss. 1–2, 2018.
- [33] E. P. and the Council, *Sulphur Content of Marine Fuels European Council Directives 21 November 2012*, sayı 4. THE EUROPEAN PARLIAMENT AND THE COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION, 2012, ss. 1–13.
- [34] R. Propagation, D. Antennas, A. Hollister, ve T. Problem, “clean shore side power for ships at berth”, 2009.
- [35] “Greenhouse Gases (GHG’s) and Ports: An Overview”, <http://wpci.iaphworldports.org>, 2008. [Çevrimiçi]. Available at: http://wpci.iaphworldports.org/iaphtoolbox/GreenG_strategies.html. [Erişim: 07-Haz-2018].
- [36] I. A. of P. and Harbors, “IAPH Toolbox”, 2008, 2008. [Çevrimiçi]. Available at: <http://wpci.iaphworldports.org/iaphtoolbox/>. [Erişim: 06-Haz-2018].
- [37] I. A. of P. and Harbours, “THE MAIN CHARACTERISTICS OF ENVIRONMENTAL SHIP INDEX (ESI)”, *IAPH*. [Çevrimiçi]. Available at: http://www.wpci.nl/docs/Environmental_Ship_Index_Brochure.pdf. [Erişim: 01-Haz-2018].
- [38] WPSP, “Environmental Ship Index (ESI) Fundamentals 2017”, *IAPH*, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.environmentalshipindex.org/Content/Documents/ESI-Fundamentals.pdf>. [Erişim: 01-Haz-2018].
- [39] W. P. S. P. (WPSP), “IMO Annex VI Regulations and Baselines”, *WPSP*, 2011. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.environmentalshipindex.org/Public/Home/IMORegulationsAndBaselines>. [Erişim: 02-Haz-2018].
- [40] W. P. S. P. (WPSP), “Environmental Ship Index ESI”, *Fundamentals*, 2011. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.environmentalshipindex.org/Public/Home>. [Erişim: 03-Haz-2018].
- [41] B. Gazetesi, “Enerjide Dışa Bağımlılık”, *Birgün Gazetesi*, 2018. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/iddia-kontrolu/tahsin-tarhan/turkiye-deki-enerjinin-yaklasik-yuzde-70-i-disa-bagimli-durumda>. [Erişim: 01-May-2018].
- [42] Dogrulukpayi, “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimi”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/iddia-kontrolu/recep-tayyip-erdogan/yenilenebilir-enerji-kaynaklarindan-elektrik-uretiminde-yuzde-31-lik-artisla-avrupa-364>. [Erişim: 01-May-2018].
- [43] “T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı - Elektrik”. [Çevrimiçi]. Available at: <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>. [Erişim: 11-Ara-2018].
- [44] Dogrulukpayi, “Türkiye Ortalama Enerji Tüketimi”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/iddia-kontrolu/recep-tayyip-erdogan/enerji-talep-artistinda-oecd-ulkeleri-arasinda-dunyada-cin-in-ardindan>. [Erişim: 02-May-2018].
- [45] Dogrulukpayi, “Elektrik Üretimi Artışı”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/iddia-kontrolu/recep-tayyip-erdogan/elektrik-uretimimizi-10-bin-500-megavattan-25-bin-megavata-yukselttik>. [Erişim: 03-May-2018].

- [46] TETAŞ, “TETAŞ 2015 Yılı Sektör Raporu”, 2015.
- [47] Strateji Geliştirme Başkanlığı, “Dünya ve Türkiye’nin Enerji ve Doğal Kaynaklar Görünümü”, 2016.
- [48] “Elektrik ve Doğalgaz Fiyatlarının Seyri”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/elektrik-ve-dogalgaz-fiyatlarinin-seyri>. [Erişim: 25-Ara-2018].
- [49] “Dünyada ve Türkiye’de Elektrik Fiyatları”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.iha.com.tr/haber-dunyada-en-ucuz-elektrik-hangi-ulkelerde-hangi-ulke-elektrige-ne-kadar-para-oduyor-turkiye-elektrik-fiyatinda-kacinci-681058/>. [Erişim: 25-Ara-2018].
- [50] Arif Cem Gündoğan, “Türkiye’nin Toplam Sera Gazı Emisyonu ve Kişi Başına Düşen Emisyonlar 2016’da da Artış Kaydetti - İklim Haber”. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.iklimhaber.org/turkiyenin-toplam-sera-gazi-emisyonu-ve-kisi-basina-dusen-emisyonlar-2016da-da-artis-kaydetti/>. [Erişim: 25-Ara-2018].
- [51] “Seragazi Emisyonları Artışı”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/seragazi-emisyonlari-ne-kadar-artti>. [Erişim: 25-Ara-2018].
- [52] Dogrulukpayi, “Seragazi Emisyonları”, 2017. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/seragazi-emisyonlari-ne-kadar-artti>. [Erişim: 04-Oca-2018].
- [53] S. G. Fikari, S. G. Sigarchian, ve H. R. Chamorro, “Modeling and simulation of an autonomous hybrid power system”, *2017 52nd Int. Univ. Power Eng. Conf. UPEC 2017*, c. 2017–Janua, sayı November, ss. 1–6, 2017.
- [54] R. G. Belu, R. Chiou, ve T.-L. Bill Tseng, “Teaching Renewable Energy System Design and Analysis with HOMER”, sayı September, 2014.
- [55] T. Lambert, P. Gilman, ve P. Lilienthal, “Micropower System Modeling with Homer”, *Integr. Altern. Sources Energy*, ss. 379–418, 2006.
- [56] dogrulukpayi, “Uluslararası Enerji Ajansı 2016 Türkiye Raporu”, 2016. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.dogrulukpayi.com/bulten/uluslararasi-enerji-ajansi-2016-turkiye-raporu>. [Erişim: 15-Kas-2017].
- [57] “Clearness Index”. [Çevrimiçi]. Available at: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.10/clearness_index.html. [Erişim: 06-Kas-2018].
- [58] “How HOMER Calculates Clearness Index”. [Çevrimiçi]. Available at: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/3.11/how_homer_calculates_clearness_index.html. [Erişim: 07-Kas-2018].
- [59] “Rüzgar Analizlerinde Yüzey Pürüzlülüğü”. [Çevrimiçi]. Available at: <https://www.elektrikport.com/makale-detay/ruzgar-analizlerinde-yuzey-puruzlulugu/16678#ad-image-0>. [Erişim: 11-Kas-2018].
- [60] S. Podder, R. S. Khan, ve S. M. A. Alam Mohon, “The Technical and Economic Study of Solar-Wind Hybrid Energy System in Coastal Area of Chittagong, Bangladesh”, *J. Renew. Energy*, c. 2015, ss. 1–10, 2015.
- [61] P. KUŞKAYA, Sevda, GENÇOĞLU, “YENİLENEBİLİR ENERJİ

TÜKETİMİ SEÇİLMİŞ AVRUPA ÜLKELERİNİN ÇOK BOYUTLU
ÖLÇEKLEME ANALİZİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI”, *YENİLENEBİLİR
Enerj. TÜKETİMİ SEÇİLMİŞ AVRUPA ÜLKELERİNİN ÇOK BOYUTLU
ÖLÇEKLEME Anal. İLE KARŞILAŞTIRILMASI*, c. 5, sayı 44, ss. 552–566,
2017.

- [62] “BM iklim değişikliği konferansı, Bonn – Sorular ve Cevaplar | AB Türkiye”.
[Çevrimiçi]. Available at: [https://www.avrupa.info.tr/tr/pr/bm-iklim-
degisikligi-konferansi-bonn-sorular-ve-cevaplar-7177](https://www.avrupa.info.tr/tr/pr/bm-iklim-degisikligi-konferansi-bonn-sorular-ve-cevaplar-7177). [Erişim: 09-Ara-2018].
- [63] B. Koldemir ve M. Yapıcı, “A Study On The Impact Of Renewable Energy
Use In The Port Of Paris Climate Summit”, 2016, sayı October, ss. 674–679.





ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Mehmet Mirdal
Doğum Tarihi ve Yeri : 02.02.1984 - Siverek
E-posta : mehmetmirdal@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, 9 Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Güverte Bölümü