

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**KOJENERASYON VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLDİĞİ HİBRİT
SİSTEMİN EKONOMİK VE EMİSYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meryem İPEK ÖZKOCA

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

EYLÜL 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ

**KOJENERASYON VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLDİĞİ HİBRİT
SİSTEMİN EKONOMİK VE EMİSYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Meryem İPEK ÖZKOCA
(301151016)**

Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı

Enerji Bilim ve Teknoloji Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Üner ÇOLAK

EYLÜL 2019

İTÜ, Enerji Enstitüsü'nün 301151016 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Meryem İPEK ÖZKOCA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KOJENERASYON VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLDİĞİ HİBRİT SİSTEMİN EKONOMİK VE EMİSYON ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Üner ÇOLAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Önder GÜLER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet Deniz YÜCEKAYA
Kadir Has Üniversitesi

Teslim Tarihi : 2 Eylül 2019
Savunma Tarihi : 12 Eylül 2019

ÖNSÖZ

Enerji talebinin tüm dünyada artmaya devam etmesi enerji arzının sürdürülebilir ve güvenilir olması gerekliliğini daha da önemli kılmaktadır. Nüfus artışı, ekonomik büyüme ve sanayinin gelişmesi gibi etkenlerin yanında kripto paralar gibi teknolojik gelişmeler de enerji ihtiyacını arttıran yeni gelişmeler arasında yer almaktadır. Dünya geliştikçe, teknoloji geliştikçe yeni ihtiyaçlar ortaya çıkmakta ve bu ihtiyaçları karşılayabilmek için gerekli enerjinin üretilmesi gerekmektedir.

Ülkelerin enerji stratejilerinin gelişmişlik seviyelerine olan katkısı da gün geçtikçe daha da önemli hale gelmiştir. Enerjide dışa bağımlılığı olabildiğince azaltabilmek, yerli ve yenilenebilir kaynakların kullanım oranını arttırabilmek cari açığın önemli nedenlerinden biri olan enerjiyi etkin bir şekilde yönetebilmek ülkelerin büyümesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Türkiye enerjide büyük oranda dışa bağımlı bir ülkedir. Enerji verimliliği, yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranlarını arttırmaya çalışarak dışa bağımlılığını azaltmak istemektedir. 2023 için açıklanan hedeflerde özellikle yenilenebilir enerjinin kullanım oranının arttırılmak istendiği görülebilmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının arttırılabilmesi için yapılan YEKA ihalelerinin yanında var olan santrallerin kapasitelerin arttırılması da gündeme gelebilmektedir. Yenilenebilir enerji yatırımlarını desteklemek amacıyla hazırlanan YEKDEM teşviki ile de yatırımcıların bu alana olan ilgisi arttırılmaya çalışılmaktadır.

Hibrit enerji üretim sistemleri iki veya daha fazla enerji kaynağının bir arada kullanılmasıyla oluşturulan üretim sistemleridir. Bu sistemlerdeki enerji kaynaklarının tamamı yenilenebilir enerji kaynağı olabileceği gibi, fosil kaynaklarla yenilenebilir enerji kaynakları da bir araya getirilebilmektedir.

Çalışmada Denizli’de bulunan toplamda 12 MW kurulu güce sahip kojenerasyon santralının güneş enerjisi ile hibrit bir enerji üretim sistemi ile çalışması analiz edilmiş. Sonuçlarda var olan sistemle ekonomik ve emisyon değerleri karşılaştırması yapılmıştır. Hibrit üretim sistemlerinin Türkiye’de yaygınlaşmasının ülkenin gelişimine katkısı olacağına inanmaktayım.

Öncelikle bu çalışmada emeği geçen değerli danışmanım Prof. Dr. Üner ÇOLAK’a, araştırmam için bana veri sağlayan santral çalışanlarına, çalışmam sırasında benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen eşim ve aileme çok teşekkür ederim.

Eylül 2019

Meryem İPEK ÖZKOCA

Endüstri Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	iii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Metodoloji	4
2. DÜNYA ENERJİ GÖRÜNÜMÜ	5
2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	10
2.3 Literatürde Hibrit Enerji Sistemleri.....	15
3. TÜRKİYE’DE ENERJİ	21
3.1 Enerji Üretimi.....	21
3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	25
3.3 Türkiye’de Güneş Enerjisinin Gelişimi.....	29
3.4 Türkiye’de Hibrit Enerji Sistemleri.....	30
4. HOMER	33
4.1 Tanım	33
4.2 Literatür	35
4.3 Simülasyonda Kullanılan Hesaplamalar	36
5. UYGULAMA	39
5.1 Simülasyon Girdileri	39
5.2. Simülasyon Çıktıları.....	45
5.2.1 Senaryo 1.....	45
5.2.2 Senaryo 2.....	48
5.2.3 Senaryo 3.....	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

HOMER	: Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
OECD	: The Organisation for Economic Co-operation and Development
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
YEKA	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynak Destekleme Mekanizması

SEMBOLLER

CRF	: Anapara geri kazanım faktörü
i	: Yıllık reel faiz oranı
N	: Yıl sayısı
NPC(\$)	: Net şimdiki maliyet
TAC	: Toplam yıllık maliyet
Y_{PV}	: standart test koşullarında* fotovoltaiik nominal güç
f_{PV}	: Akım taşıma indirgeme faktörü
G_T	: fotovoltaiik yüzeydeki anlık ışıma
$G_{T,STC}$	: standart test koşullarında anlık ışıma
α_p	: gücün sıcaklık katsayısı
T_c	: geçerli zamandaki fotovoltaiik hücre sıcaklığı
$T_{c,STC}$	: standart test koşullarında fotovoltaiik hücre sıcaklığı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1: Kaynak türüne göre Türkiye kurulu güç tablosu.....	24
Çizelge 3.2: Türkiye’de bölgelere göre kurulu güçte üst sınırlar- GW.	27
Çizelge 3.3: YEKDEM teşvik fiyatları.....	28
Çizelge 5.1: Modellenen hibrit üretim sisteminin bileşenlerinin maliyeti	44
Çizelge 5.2: Ekonomik detaylar	44
Çizelge 5.3: Bileşenlerin kapasiteleri	44
Çizelge 5.4: Senaryo 1 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması	46
Çizelge 5.5: Senaryo 1 kaynaklara göre elektrik üretimi	46
Çizelge 5.6: Senaryo 1 güneş+kojen hibrit üretim sistemi emisyon değerleri	47
Çizelge 5.7: Senaryo 1 kojenerasyon üretim sistemi emisyon değerleri	47
Çizelge 5.8: Senaryo 2 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması	48
Çizelge 5.8: Senaryo 2 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması	49
Çizelge 5.9: Senaryo 2 kaynaklara göre elektrik üretimi	49
Çizelge 5.10: Senaryo 2 güneş+kojen hibrit üretim sistemi emisyon değerleri	49
Çizelge 5.11: Senaryo 2 kojenerasyon üretim sistemi emisyon değerleri	50
Çizelge 5.12: Senaryo 3 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması.....	51
Çizelge 5.13: Senaryo 3 kaynaklara göre elektrik üretimi	52
Çizelge 5.14: Senaryo 3 güneş+kojen hibrit üretim sistemi emisyon değerleri	52
Çizelge 5.15: Senaryo 3 kojenerasyon üretim sistemi emisyon değerleri	53
Çizelge 5.16: Senaryoların simülasyon sonucunun karşılaştırılması	54

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Bölgelere göre dünya nüfusunun elektriğe ulaşım yüzdesi-2014.	5
Şekil 2.2: Kişi başına elektrik tüketimi-2014.	6
Şekil 2.3: Kaynaklara göre dünya enerji tüketimi (1992-2017).	7
Şekil 2.4: Bölgelere göre dünya doğal gaz rezerv miktarı.....	8
Şekil 2.5: Sektörlere göre Amerika doğal gaz tüketim tahmini.....	9
Şekil 2.6: Sektörlere göre dünyada doğal gaz tüketimi gelişimi.	9
Şekil 2.7: Amerika yenilenebilir enerji kaynaklarıyla gerçekleşecek elektrik üretim	10
Şekil 2.8: 2018 yılı Avrupa'nın en büyük güneş pazarına sahip ülkeler	11
Şekil 2.9: 2040 enerji yatırımlarının sektör ve kaynaklara göre dağılımı.	13
Şekil 2.10: 2018-2040 yenilenebilir enerjinin kurulu güç içerisindeki payı.	14
Şekil 2.11: Konvansiyonel sistem üretim şeması	17
Şekil 2.12: Hibrit sistem üretim şeması.....	18
Şekil 3.1: 2018 yılında Türkiye'de kaynaklara göre elektrik üretimi.....	22
Şekil 3.2: İthal edilen doğal gaz miktarları.....	23
Şekil 3.3: Türkiye'deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum.	26
Şekil 3.4: Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası.	29
Şekil 3.5: Var olan rüzgar çiftlikleri ve potansiyel rüzgar-güneş hibrit santral bölgeleri.	31
Şekil 4.1: HOMER simülasyon girdileri.	34
Şekil 4.2: HOMER programı optimizasyon süreci.....	35
Şekil 5.1: Denizli ili güneş enerjisi potansiyel atlası.....	39
Şekil 5.2: Denizli ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² -gün).	40
Şekil 5.3: Denizli ili güneşlenme süreleri (saat).	41
Şekil 5.4: Denizli global radyasyon değerlerinin Türkiye ortalaması ile karşılaştırılması.....	41
Şekil 5.5: Denizli güneşlenme sürelerinin Türkiye ortalaması ile karşılaştırılması. .	42
Şekil 5.6: Aylık elektrik ihtiyacı profili.....	42
Şekil 5.7: Aylık ısı ihtiyacı profili	43
Şekil 5.8: Güneş+kojen hibrit tasarımı	45
Şekil 5.9: Aylara göre hibrit üretim sistemi ortalama elektrik üretimi.....	48
Şekil 5.10: Aylara göre kojenerasyon sistemi ortalama elektrik üretimi.....	48
Şekil 5.11: Aylara göre hibrit üretim sistemi ortalama elektrik üretimi.....	50
Şekil 5.12: Aylara göre kojenerasyon sistemi ortalama elektrik üretimi.....	51
Şekil 5.13: Aylara göre hibrit üretim sistemi ortalama elektrik üretimi.....	53
Şekil 5.14: Aylara göre kojenerasyon sistemi ortalama elektrik üretimi.....	53

KOJENERASYON VE GÜNEŞ ENERJİSİNİN BÜTÜNLEŞTİRİLDİĞİ HİBRİT SİSTEMİN EKONOMİK VE EMİSYON ANALİZİ

ÖZET

Nüfus artışı ve ekonomik büyümeyle birlikte gelen enerji talebinin karşılanması önemi gündemi daha fazla meşgul etmeye başlamıştır. Bunun yanında Paris Anlaşması gibi toplantıların ana konusu olan iklim değişikliği de enerji stratejilerinin gözden geçirilip geliştirilmesi zorunluluğunu ortaya çıkarmaktadır. Enerjinin güvenli ve sürdürülebilir olmasını sağlarken temiz enerji teknolojileri alanında ilerlemek de dünya ülkelerinin dikkate alması gereken konular arasında yer almaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli dezavantajlarından biri hava koşullarından doğrudan etkilenmeleridir. Enerjinin depolanması ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Şu an için var olan durumda üretilen enerjinin etkin bir şekilde depolanamıyor olduğunu düşünerek, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin o kaynağın varlığına doğrudan bağımlı olduğunu söylemek mümkündür.

Enerji üretim sistemlerinin verimli bir şekilde tasarlanması ve hayata geçirilmesi, kaynağın en doğru şekilde kullanılmasını sağlarken enerji üretim maliyetlerini de azaltmaktadır. Akıllı şebekeler gibi konuların da konuşulmaya başlandığı bu günlerde enerji üretim sistemlerinin verimliliğine verilen önem de değer kazanmaya devam etmektedir. Hibrit enerji üretim sistemleri iki ya da daha fazla enerji kaynağının bir araya getirilerek kurulan sistemlerdir. Bu sistemlerle enerji üretiminin verimli bir şekilde gerçekleşmesi sağlanabilir. Fosil yakıtla birlikte yenilenebilir enerji kaynağının bir araya getirilmesiyle kurulan hibrit sistemlerle, hava koşullarına doğrudan bağımlı olan yenilenebilir enerji kaynağının eksikliğini fosil yakıt tamamlayabilmektedir.

Hibrit enerji üretim sistemleriyle dengeli bir enerji arzı sağlanırken, aynı zamanda fosil yakıt kullanımı azaltılarak enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına katkı sağlanabilmektedir. Türkiye'nin cari açığının en büyük sebeplerinden biri enerjidir ve Türkiye enerjide büyük oranda dışa bağımlı bir ülkedir. Enerji üretiminde yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının artırılması ile fosil yakıtlara olan bağımlılık azaltılabilecektir. Hibrit enerji üretim sistemleri de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını arttıran sistemlerdendir.

Çalışmada Türkiye'de çok az uygulaması olan fosil+yenilenebilir enerji hibrit üretim sistemlerinin uygulanabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için Denizli'de 12 MW kurulu güce sahip olan bir kojenerasyon santralinden alınan verilerle birlikte HOMER simülasyon programı kullanılarak bir örnek durum incelenmiştir. Hibrit sistemde kullanılacak olan yenilenebilir enerji kaynağı, Denizli'de verimliliği yüksek olan güneş olarak seçilmiştir. Güneş+kojenerasyon hibrit üretim sistemi, var olan kojenerasyon sistemi ile ekonomik açıdan ve sera gazı emisyonlarına göre karşılaştırılmıştır.

Çalışmada Senaryo 1 piyasada var olan elektrik ve doğal gaz fiyatlarıyla gerçekleştirilmiş olan simülasyondur. Duyarlılık analizi kapsamında Senaryo 2 ve Senaryo 3 olacak şekilde 2 farklı simülasyon daha incelenmiştir. Tüm senaryoların sonuçları birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, tüm senaryolarda hibrit sistemin net şimdiki maliyetinin kojenerasyon sisteminden daha az olduğu görülmüştür. Hibrit sistemler arasında en yüksek net şimdiki maliyet, 393.430.800 \$ ile, var olan şebeke elektrik fiyatı ve doğal gaz fiyatının alındığı Senaryo 1 sonucunda çıkmıştır. İskontolu geri dönüş sürelerine bakıldığında, net şimdiki maliyeti 390.567.300 \$ ile Senaryo 1'e yakın olmasına rağmen, hibrit sistemler arasında en düşük süre 7,77 yıl ile Senaryo 2 sonucunda çıkmıştır.

Konvansiyonel sistem ile hibrit üretim sistemin sera gazı emisyonları açısından çevreye olan etkilerinin de incelendiği simülasyon sonuçlarına göre, yıllık toplam sera gazı emisyonlarında hibrit sistem kullanımıyla konvansiyonel sisteme göre azalma olduğu görülmüştür. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı sırasıyla %38,30 ve %17,40 olan Senaryo 1 ve Senaryo 3'ün sonuçlarına göre toplam emisyon miktarında yıllık sırasıyla %20 ve 23'lük bir azalma sağlanmıştır. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynağı kullanım oranı %12,20 olan Senaryo 2 için ise toplam emisyon miktarında azalma oranı yıllık %14 'tür.

Hibrit enerji üretim sistemlerinin Türkiye'de yaygınlaşması ile birlikte 2023 hedeflerine ulaşmaya katkı sağlanacağı, ülkenin büyümesine olumlu etkileri olacağı söylenebilir. Hibrit sistemler ile ilgili yapılan çalışmaların artırılması ve ülkede uygulanabilirliğinin fazlalaştırılması için gerekli potansiyeli bulunmaktadır.

ECONOMIC AND EMISSION ANALYSIS OF HYBRID COGENERATION SYSTEM INTEGRATED WITH SOLAR ENERGY

SUMMARY

Historical and current energy production systems are dominated by fossil fuels such as coal, oil and gas. It is a wellknown fact that using fossil fuels in energy production system causes production of greenhouse gas emissions which are the main reason of climate change. Due to these environmental facts, it is going to be much more significant to balance development and environment in energy production systems. Also, alternative and clean energy sources continue to increase their importance in energy strategies.

The importance of providing energy demand, which comes from population growth and booming economy, is being on the front more than ever. Also climate change, which is the main subject of congregations like Paris Agreement, is causing the review and development of energy strategies too. Like ensuring reliable and sustainable energy, progressment in clean energy technologies is also one of the issues that the governments must pay attention.

Renewable energy sources can be said that they are alternative, clean and sustainable energy sources. In addition to that, using renewable energy sources means evaluating domestic sources and reducing the dependency on external energy. As in other energy production systems, renewable energy generation systems should be designed effectively and the resources should be used efficiently because of their disadvantages.

One of the most important disadvantages of renewable energy resources is that they are affected directly from weather conditions. Considering the current situation, that produced amount of energy is not able to be stored effectively - the research and development studies are in progress - it is possible to claim that produced amount of renewable energy is dependent on its resource's existence directly. This creates challenges for power system operators when it comes to meeting and optimizing energy demand.

Designing and building efficient power generation systems are helping the usage of resource correctly while it reduces the cost of power generation. Like smart grids, efficiency of power generation systems' precedency as subjects are being discussed nowadays. Hybrid energy systems are made of combination of two or more energy resources. Power generation could be more efficient by using hybrid energy systems. By the usage of hybrid energy systems, fossil fuels can make up the renewable energy systems' dependence on weather conditions.

The use of renewable energy sources, primarily wind and solar, is expected to grow significantly within Turkey's power system. With this expectation, it is needed to understand better how the increasing share of renewable energies, especially wind and solar will affect Turkey's power system. One way of increasing the installed capacity is building power plants on the areas with high measurement values. The

other way is combining solar plants with existing fossil fuel power plants which are located on the areas with high solar radiation measurement values.

Usage of hybrid energy production systems provides a balanced energy supply while it reduces the demand of fossil fuel and as a result, contributes to a lesser dependence on foreign energy. One of the greatest reasons of Turkey's current account deficit is energy and Turkey is foreign dependent on the subject of energy. Increase in local and renewable energy resources' usage would reduce the dependence on fossil fuel. Hybrid power generation systems are also increasing the ratio of renewable resources' usage.

During the literature review, hybrid energy systems applications in the world were encountered. Hybrid energy production systems with renewable energy sources combined with fossil fuels have also been seen with only renewable energy hybrid systems.

The study is aimed to show feasibility of fossil & renewable hybrid energy systems, which are used narrowly in Turkey. For this purpose, a model has been simulated using HOMER simulation program and the data gathered from a cogeneration power plant which has a 12 MW installed power in Denizli. Renewable energy resource is chosen as solar energy because it has a high capacity in Denizli. Solar & Cogeneration hybrid power system has been compared with the existing cogeneration system in terms of economy and environment. After entering seasonal electricity and thermal demand profiles in the simulation program, solar radiation and irradiance for Denizli are also entered. Hybrid cogeneration system which includes PV, gas turbine, grid, converter and boiler as a component is designed and the simulation results are gathered. Results are analyzed by its economic and emission results.

Scenario 1 in the study is the simulation designed with the current electricity and natural gas prices. As sensitivity analysis, two more simulations -Scenario 2 and Scenario 3- were studied. Outputs of all three scenarios were compared with each other. According to the results of these simulations, it has been seen that net present cost of hybrid system is lower than cogeneration system in all scenarios. The highest net present cost among hybrid systems is Scenario 1 as \$393,430,800 where grid electric price and natural gas price are current prices. Considering discounted payback periods of these studies, minimum payback period belongs to Scenario 2 with 7.77 years despite its \$ 390,567,300 net present cost which is close to the highest cost of Scenario 1.

In all three scenarios, conventional system and hybrid system have also been analyzed in terms of greenhouse gas emissions. Accordingly, greenhouse gas emissions by hybrid system are less than emissions of conventional system. Based on the data of Scenario 1 and Scenario 3, where renewable energy resources' rates are 38.30% and 17.40% respectively, a decrease in annual greenhouse gas emissions have been calculated as 20% and 23%. Decreasing of greenhouse gas emissions in scenario 3 is 14% where renewable energy resource rate in electricity production is 12.20%.

Due to the affordable technology costs, it is expected that the investment appetite for solar energy will be higher. Turkey has its own potential to increase its solar installed power. Besides the fact that, using renewable energy is better for the environment, assessing the potential of solar energy will contribute to Turkey's economy too.

It could be claimed that expanding of hybrid energy systems in Turkey could help the achievement of 2023 goals and growth of economy. Turkey has the necessary potential of increasing the number of researches about hybrid systems and feasibility augmentations within country. It can be noted that, in addition to economic gains, reducing the environmental pollution can be a reason to increase researches about renewable and fossil fuels hybrid energy production systems and develop these systems in Turkey.

1. GİRİŞ

Dünya çapında artan enerji talebi ile birlikte enerji arzının sürdürülebilir olması konusu daha da önem kazanmaktadır. 2013 yılında yayınlanan bir rapora göre, 2013-2030 arasında enerji talebinde %45 artış, yüzyıl sonuna kadar da %300 artış beklenmektedir [1]. Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, artan enerji talebinin karşılanmasını devam ettirebilmek için alternatif enerji kaynakları ve ileri teknoloji arayışlarına hız kazandırmaktadır. Buna ek olarak, enerji üretimi sırasındaki karbondioksit ve diğer sera gazları emisyonunun iklim değişikliğine olumsuz etkilerinin bulunması, enerji sektörünü temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına ve fosil yakıt kullanan santraller için daha yüksek teknoloji gelişimi araştırmalarına yöneltmektedir.

Artan enerji talebi ile birlikte, bu talebin karşılanması için kullanılacak enerji üretim sistemleri de teknolojik ilerlemeler ile birlikte gelişmektedir. Dünyadaki elektrik ihtiyacı enerji ihtiyacından iki kat fazla artış sergilemektedir ve bunda dijitalleşme eğilimindeki artış önemli bir etkiye sahiptir [2]. Fosil yakıt kullanan üretim sistemlerinin teknolojilerinin geliştirilerek verimliliğinin artırılması gibi çalışmaların yanında, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım kapasitesinin artırılması gibi çalışmalar da yapılmaktadır. Bu durumun sebeplerinden bir tanesi fosil yakıtların sınırlı olması ve fosil yakıt arzının önümüzdeki dönemlerde azalmaya başlayacağı öngörüsüdür. Arzın azalmasıyla birlikte fosil yakıt fiyatlarının yükselme riski de bulunmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency, IEA) bir raporunda, hızlı ve en düşük maliyetli enerji dönüşümleri için daha temiz, akıllı ve verimli enerji teknolojilerine yatırımın hızlandırılması gerektiğini belirtirken, enerjinin uzun vadeli geleceğini devlet politikalarının şekillendireceğini vurgulamaktadır [2]. Türkiye de enerji politikalarını uzun vadeli geleceğe göre oluşturabilmek adına son yıllarda yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini yoğunlaştırmıştır.

Türkiye birincil enerji kaynaklarında dışarıya bağımlı bir ülkedir ve enerjideki dışa bağımlılık yüksek miktarda dış ticaret açığı ve cari açık vermesinin önemli nedenlerinden biridir [2]. Türkiye'nin enerji de dışa bağımlı olması küresel enerji fiyatlarındaki değişimlerden doğrudan etkilenmesine sebep olmaktadır. Dışa bağımlılığı yüksek olan enerji kaynaklarından en önemlisi doğal gazdır. Bunun yanında ithal kömür ile çalışan santraller de bulunmaktadır. Dolayısıyla, doğal gaz gibi dışa bağımlı olunan fosil yakıt kaynaklarının kullanımını azaltacak enerji yatırımları ve stratejileriyle Türkiye ekonomisine doğrudan olumlu katkı sağlanabilecektir yorumu yapılabilir.

Hibrit enerji üretim sistemleri, birbirlerinin eksik yönlerini tamamlayan enerji kaynaklarının bütünleştirilmesi olarak değerlendirilebilir. İki ya da daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı ile tasarlanan sistemlerde bir kaynağın olmaması durumunda diğer kaynaktan enerji üretimi gerçekleştirilebilir. Fosil yakıtlarla yenilenebilir bir enerji kaynağının bütünleştirilmesi ile ortaya çıkan sistemde ise yenilenebilir enerji kaynağının olması durumunda enerji üretimi bu kaynaktan sağlanabileceğinden enerji maliyet kalemlerinden biri olan fosil yakıt kullanımı azaltılabilecektir.

Literatürde, hibrit sistemleri, elektrik ve/veya ısı enerjisinin ne kadarının yenilebilir kaynaktan ne kadarının geleneksel üretim sisteminden üretildiğini hesaplayan geliştirilmiş metotlar da bulunmaktadır [3]. Bu hesaplamalarla, hibrit sistemleri, enerji tasarrufuna ve sera gazı salımına etkisi açısından değerlendirmek de mümkün olmaktadır. Bir diğer çalışmada, kojenerasyon sistemlere yenilenebilir enerjinin entegre edilmesi durumu r-eğrisi yöntemiyle incelenmiş, 13 MW'lık bir güneş enerjisinin, kojenerasyon sistemin çalışma durumuna göre 4 MW ile 53 MW arasında enerji tasarrufu sağlayabileceği senaryosunun yanında elektrik ve ısı üretimin verimini etkilemeyeceği senaryosunun da görüldüğü belirtilmiştir [4].

Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olmasının yanında, iklim değişikliği gibi çevresel etkiler, sera gazı emisyonları vb. çevresel etkilerin insan sağlığını etkilemesi, enerjinin ülkelerin cari açığını doğrudan etkilemesi gibi sebepler de enerji arzında alternatif enerji üretim kaynakları arayışını tetiklenmektedir denebilir. Temiz, alternatif enerji üretim kaynakları olan yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretiminin olumsuz çevresel etkileri azaltılırken, aynı zamanda ülkelerin enerjide dışa bağımlılığının azaltılarak ekonomik katkı sağlanabilmektedir.

Enerji üretim sistemlerinin ihtiyaca uygun bir şekilde tasarlanması hem ekonomik hem de teknolojik açıdan önemlidir. Bir yandan doğru ve titiz bir şekilde yapılmayan fizibiliteler sonrasında atıl kalan kapasitelerle, uzayan amortisman süreleri ile ekonomik kayıplar yaşanırken, diğer yandan eksik kapasite sebebiyle ortaya çıkan yetersiz arz, ihtiyacın karşılanamamasına neden olmaktadır. Bu durum da eksik kalan ihtiyacın tamamlanması için ek maliyet anlamına gelmektedir. Bu ve benzeri sorunların önüne geçebilmek amacıyla olası tüm senaryoların değerlendirilip, doğru analiz teknikleri ile fizibilite çalışmalarının gerçekleşmesi gerekmektedir. HOMER bilgisayar simülasyonu, bu analiz yöntemlerinden biridir.

1.1 Tezin Amacı

Enerji ihtiyacının, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak tasarlanan hibrit sistemler ile karşılanmasında, yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanım oranının artırılması sağlanırken, aynı zamanda sera gazı emisyonları azaltılmakta, üretimde yerli ve yenilenebilir kaynaklar kullanılarak enerji bağımlılığı ve cari açık azaltılmakta, ülke ekonomisine katkı sağlanmaktadır. Ayrıca bu sistemlerde yakıt kullanımının ve dolayısıyla maliyetin azaltılmasıyla geri dönüş sürelerinin de kısaldığı söylenebilir.

Hibrit enerji üretim sistemleriyle iki veya daha fazla enerji kaynağı bir araya getirilerek etkin üretim sistemleri kurmak mümkündür. Fosil yakıt kaynakları ile yenilenebilir kaynaklar bir araya getirildiğinde hem yenilenebilir enerji kaynak kullanım oranı arttırılmakta hem de fosil kaynağa olan bağımlılık azaltılabilmektedir.

Tez kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş ile kojenerasyon teknolojisi hibrit bir sistem içinde değerlendirilmiştir. Türkiye’de Denizli ilinde var olan bir kojenerasyon santralinin verileri ile birlikte değerlendirilen bu hibrit sistem geleneksel üretim yöntemiyle karşılaştırılmış ve sonuçlar ekonomik, teknik ve çevresel açıdan incelenmiştir.

Bu çalışmayla, yenilenebilir enerji kaynakları ile bütünleştirilen kojenerasyon sistemlerinin avantajları ve Türkiye’de uygulanabilirliği gösterilerek, uygulama örneklerinin arttırılması amaçlanmıştır.

1.2 Metodoloji

Tez çalışmasında, geleneksel kojenerasyon sistemi olarak çalışan Denizli’de bulunan bir endüstriyel tesisin enerji verileri ile seçilmiş çatı tipi güneş enerjisi verileri birleştirilmiş HOMER programında simüle edilerek, sonuçlar önceki durum ile karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın uygulama kısmında kullanılan endüstriyel tesis, fosil yakıtlardan biri olan doğal gaz ile üretim yapmaktadır. İncelenen hibrit üretim sistemi de fosil yakıt ve yenilenebilir enerji kaynaklarının bütünleştirilmesiyle oluşturulan bir sistemdir. Dünya ve Türkiye enerji görünümü incelenirken fosil yakıt olarak uygulamadaki tesiste kullanılan doğal gaz durumu ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi incelenmiştir.

Var olan santralin elektrik ve ısı tüketim değerleri ile birlikte, kullanılan gaz motorlarının özellikleri simülasyon programına girilmiştir. Bunlara ek olarak şebekeden alış ve satışı destekleyecek şekilde bir şebeke bileşeni de tasarımın içine eklenmiştir. Var olan sistem üzerine güneş paneli ve konvertör gibi bileşenler de eklenmiş ve bir hibrit üretim sistemi tasarlanmıştır.

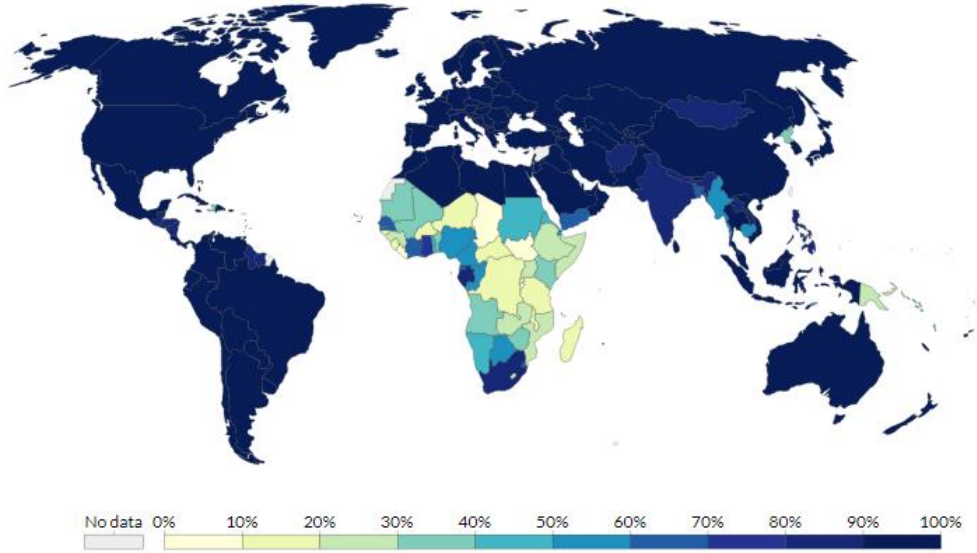
Türkiye’de var olan elektrik piyasası şebeke elektriği satış ve alış fiyatı, doğal gaz fiyatı, nominal iskonto değeri gibi ekonomik veriler de HOMER simülasyon programına girilmiştir.

Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş için Denizli’ye ait radyasyon ve ışıma verileri girildikten ve tüm veriler tamamlandıktan sonra simülasyon çalıştırılmış, çıkan sonuçlar ekonomik açıdan net şimdiki değerlerine göre, çevresel açıdan sera gazı emisyon oranlarına göre, teknik açıdan da yakıt tasarrufuna göre karşılaştırılmıştır.

Simülasyon programından çıkan sonuçlar karşılaştırıldıktan sonra, sonuç ve öneriler kısmında hibrit enerji üretim tesislerinin Türkiye’de uygulanabilirliği üzerindeki görüş ve öneriler dile getirilmiştir.

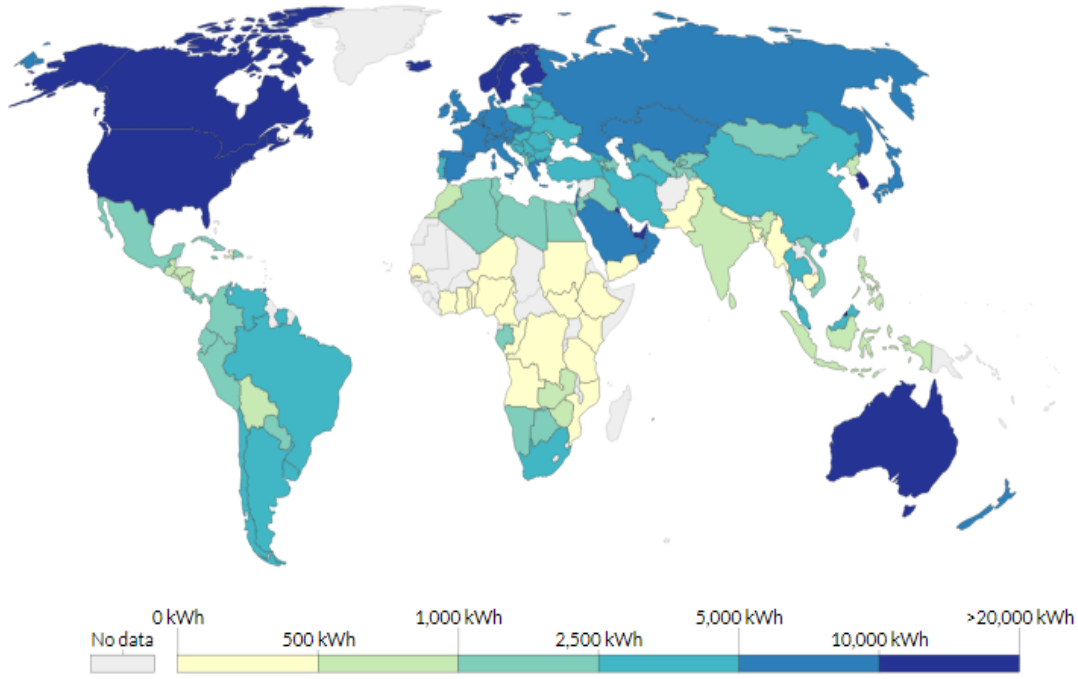
2. DÜNYA ENERJİ GÖRÜNÜMÜ

1990 yılında dünya nüfusunun %73'ünün elektriğe ulaşımı varken, 2014 yılında bu oran %85'e kadar çıkmıştır [5]. Dünya nüfusunun elektriğe ulaşım yüzdesi ile birlikte, elektrik talebi de artmaya devam etmektedir. Dünya bankası ve uluslararası enerji ajansından alınan verilerle hazırlanan bir rapora göre 2014 yılında dünya nüfusunun bölgelere göre elektriğe ulaşımının yüzdesel olarak görülebildiği grafik Şekil 2.1'de görülmekte, aynı yıl için kişi başına elektrik tüketim grafik de Şekil 2.2'de görülmektedir [5].



Şekil 2.1: Bölgelere göre dünya nüfusunun elektriğe ulaşım yüzdesi-2014 [5].

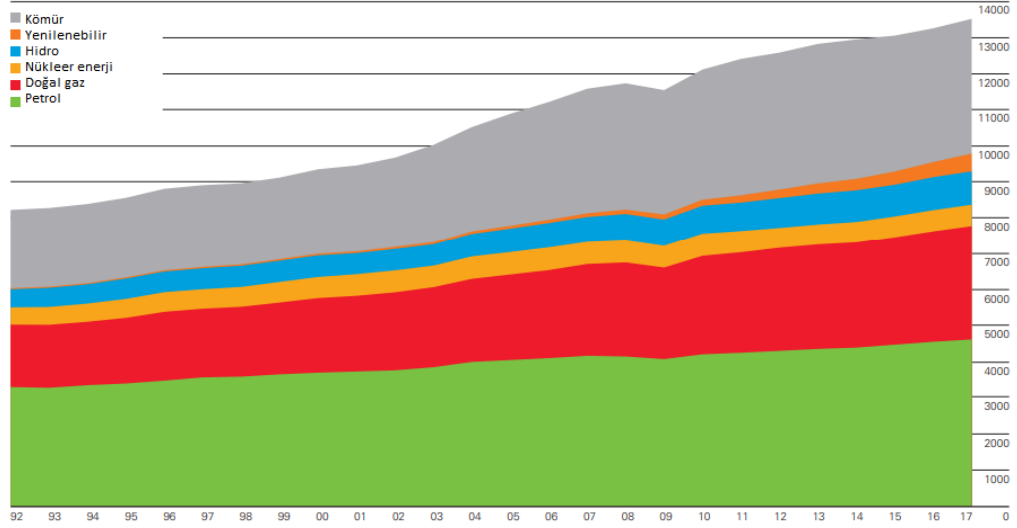
Dünya nüfusunun artmasının yanında teknolojik gelişmeler ve ülkelerin ekonomik büyüme oranları da elektrik talebinin artışını etkilemektedir. Örneğin son zamanlarda gündemde yer alma oranı gittikçe artan kripto paraların gelişiminin enerji talebini arttıracak bilgileri paylaşılmıştır. Veri madenciliği için gereken elektrik için yapılan çalışmalardan çıkan sonuçlara göre, elektrik talebine etkisinin incelenmesine önem verilecek kadar etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 2.2: Kişi başına elektrik tüketimi-2014 [5].

Şekil 2.2’deki grafikte kişi başına düşen elektrik tüketimi miktarlarının yaşanan iklim koşulları ile birlikte, ülkelerin gelişmişlikleri ile de doğru orantılı olduğu sonucu çıkarılabilir. Dünya nüfusu artmaya devam etmektedir. Nüfus etkisi ile birlikte ülkelerin enerji tüketim alışkanlıkları da gelişmeye ve çeşitlenmeye devam etmektedir. Dolayısıyla enerji talebi de artacaktır denebilir. Var olan enerji talebini karşılamayı da sürdürmek gerekecektir.

Global düzeyde enerji arzını sürdürülebilir kılarak enerji talebini yeterli miktarda karşılamak, enerji stratejilerinin en önemli parametrelerinden biridir denebilir. Elektrik talep projeksiyonları ile birlikte fosil ve yenilenebilir enerji kaynaklarının geleceği, gelişen enerji üretim teknolojileri enerji sektörünü dinamik ve güncel tutmaya devam etmektedir. Enerji santrallerinin çevreye olan doğrudan etkisi sebebiyle, özellikle iklim değişikliği için alınacak önlemlerin sıkça tartışıldığı son yıllarda enerji üretiminde alternatif kaynakların arayışı hızlanmıştır denebilir. Şekil 2.3’te 1992-2017 yılları arasında milyon ton petrol eşdeğeri birimiyle dünya enerji tüketimi grafiği görülmektedir [6]. Grafikten, 2010 yılı ve sonrasında yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artış görülmektedir. Dünya ülkelerindeki yenilenebilir enerji kullanım oranını arttıracak stratejilerin alınması da bu savı destekler niteliktedir.



Şekil 2.3: Kaynaklara göre dünya enerji tüketimi (1992-2017) [6].

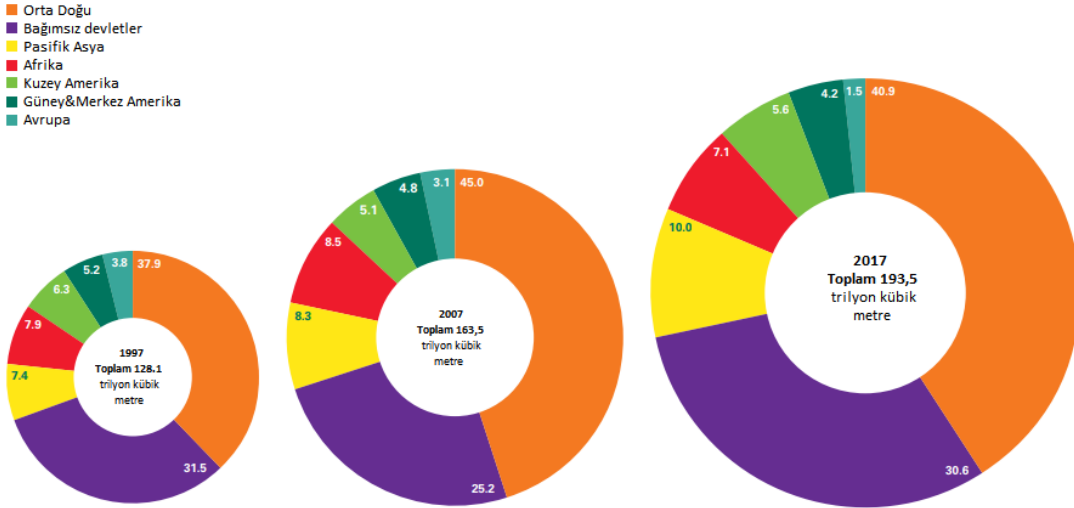
Artan enerji talebini karşılayabilmek adına sürdürülebilir enerji kaynaklarının olabilecek en verimli şekilde kullanımı önem arz etmektedir. Dünya genelinde sadece fosil yakıtlardan elde edilen üretim eğiliminin yerini yenilenebilir enerji kaynakları ile üretime bıraktığı gözlemlenmektedir. 2014 yılında petrol fiyatlarında gerçekleşen düşüşün, 2016 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki düşüşü etkilemiş olduğu görülmüştür [7]. Böylece, fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olmasının yanında, bu kaynakların küresel fiyatlarının da yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi etkilediği söylenebilir.

İklim değişikliği tartışmaları ile beraber artan çevre bilinci ile birlikte, dünya ülkelerinde fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasına yönelik adımlar atılmaya başlanmıştır. Avrupa komisyonun 2014 yılında yayınladığı bir rapora göre, Avrupa birliğinin 2030 hedefleri arasında, sera gazı emisyonlarının 1990 yılına göre %40 azaltılması, enerji tüketiminde yenilenebilir enerji payının %27'ye çıkarılması ve enerji verimliliğinin geliştirilmesi bulunmaktadır [8]. Bu hedeflerle birlikte, fosil yakıt kullanım oranının azaltılmasının yanında, yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte sürdürülebilir bir enerji üretimini sağlamak mümkün olabilecektir denebilir.

Dünya ülkelerinin, artan nüfus ve gelişen ekonomi ve teknolojilerle birlikte enerji talebini karşılayacak arzı yönetmesi çok daha önemli hale gelmektedir. Buna ek olarak küresel ısınmaya neden olan sera gazı emisyonlarını azaltma hedeflerinin bulunması enerji stratejilerinin çok daha titiz ve etkin bir şekilde planlanmasını gerekli kılmaktadır.

2.1 Doğal Gaz

1997, 2007 ve 2017 yıllarında dünya doğal gaz rezervleri ile ilgili grafik Şekil 2.4'te görülmektedir. Grafiğe göre toplam rezerv miktarı 2007 yılında 163,5 trilyon kübik metre iken 2017 yılında 193,5 kübik metredir. Yine aynı grafikte Orta Doğu'daki doğal gaz rezervinin toplam rezerv miktarına oranının 2007-2017 yılları arasında %45'ten %40,9'a gerilediği görülmektedir.

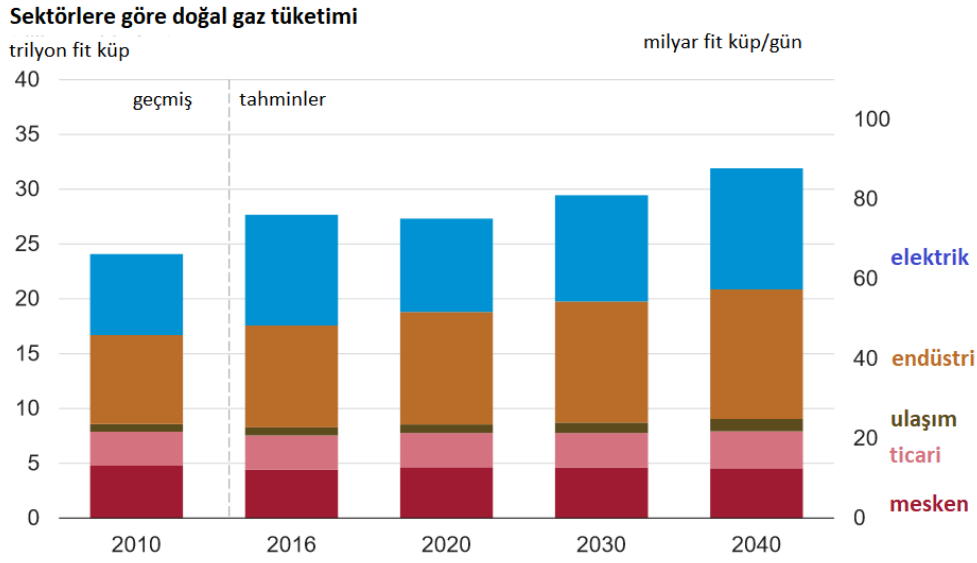


Şekil 2.4: Bölgelere göre dünya doğal gaz rezerv miktarı [6].

Doğal gaz rezerv miktarında beklenen bu artışla birlikte, doğal gaza olan talebin de incelenmesi gerekmektedir. İklim değişikliği tartışmaları ile birlikte, sürdürülebilir bir enerji üretiminin gerçekleşmesini sağlamak isteyen ülkelerin, fosil yakıt kaynaklarının yerini yenilenebilir enerji kaynakları ile doldurmaya başlamasıyla, elektrik üretimi için kullanılan fosil yakıtlara olan talebin global düzeyde azalması beklenebilir. Talebin azalması ile birlikte doğal gaz fiyatlarında bir düşüş gözlemlenebileceği öngörülebilir. Yine de bazı tahminlerde kısa dönem içinde doğal gaza olan talebin düşeceği fikrine karşın, uzun dönem doğal gaz tüketimi projeksiyonlarında tüketimin artacağı öngörülmektedir.

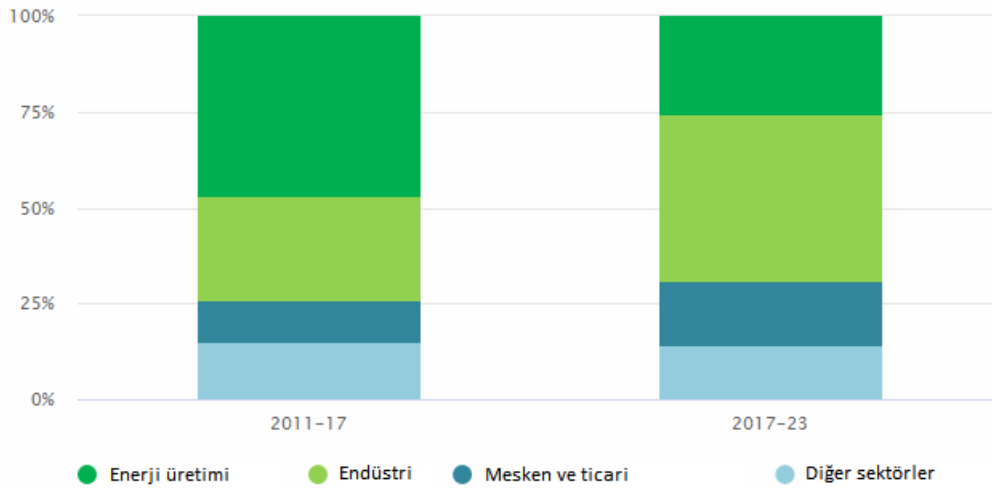
Amerika'daki doğal gaz tüketiminin önümüzdeki 5 sene içerisinde düşüşe geçeceği tahmin edilse de uzun dönemli tahminlerde doğal gaz tüketiminin artacağı öngörülmektedir [9]. Şekil 2.5'te 2040 yılına kadar Amerika için yapılmış olan bir çalışma sonucuna göre sektörlere göre gaz tüketimi görülmektedir. Şekil 2.5'ten de

görülebileceği gibi gaz tüketiminde en çok paya elektrik üretimi ve endüstriyel ihtiyaçlar neden olmaktadır.



Şekil 2.5: Sektörlere göre Amerika doğal gaz tüketim tahmini [9].

Amerika için yapılan tahminde elektrik için doğal gaz tüketiminde uzun dönemde kayda değer bir azalma beklenmediği söylenebilir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın yaptığı bir çalışmaya göre, 2017-2023 yılları arasında elektrik üretimi için kullanılacak olan doğal gaz miktarının azalacağı tahmin edilirken, endüstride kullanılacak olan doğal gaz miktarında bir artış olacağı tahmin edilmiştir [10].



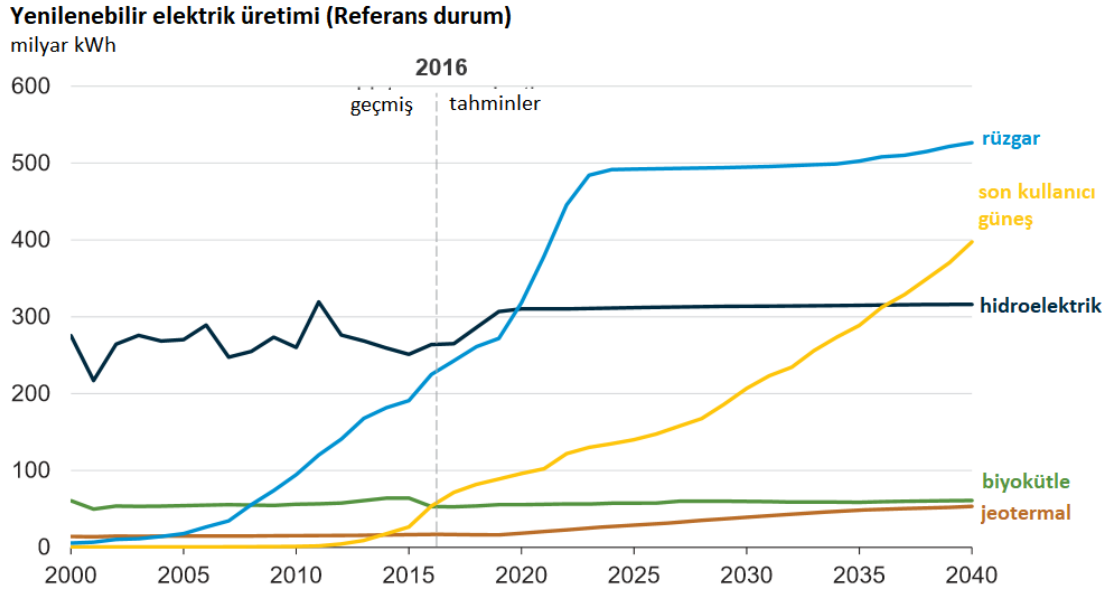
Şekil 2.6: Sektörlere göre dünyada doğal gaz tüketimi gelişimi [10].

Amerika için yapılan tahminde kaya gazının tüketiminde beklenen artışın bölgesel etkisinin grafiği etkilediği söylenebilir. Bunun yanında global düzeyde doğal gaz

tüketiminde beklenen tahmine baktığımızda elektrik üretimi için kullanılacak miktarın azalacağını beklendiği görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynak kullanım oranının artması ile birlikte fosil yakıtlarla üretilen enerji miktarında beklenen azalmayı destekler nitelikte bir grafik olduğu söylenebilir (Şekil 2.6).

2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

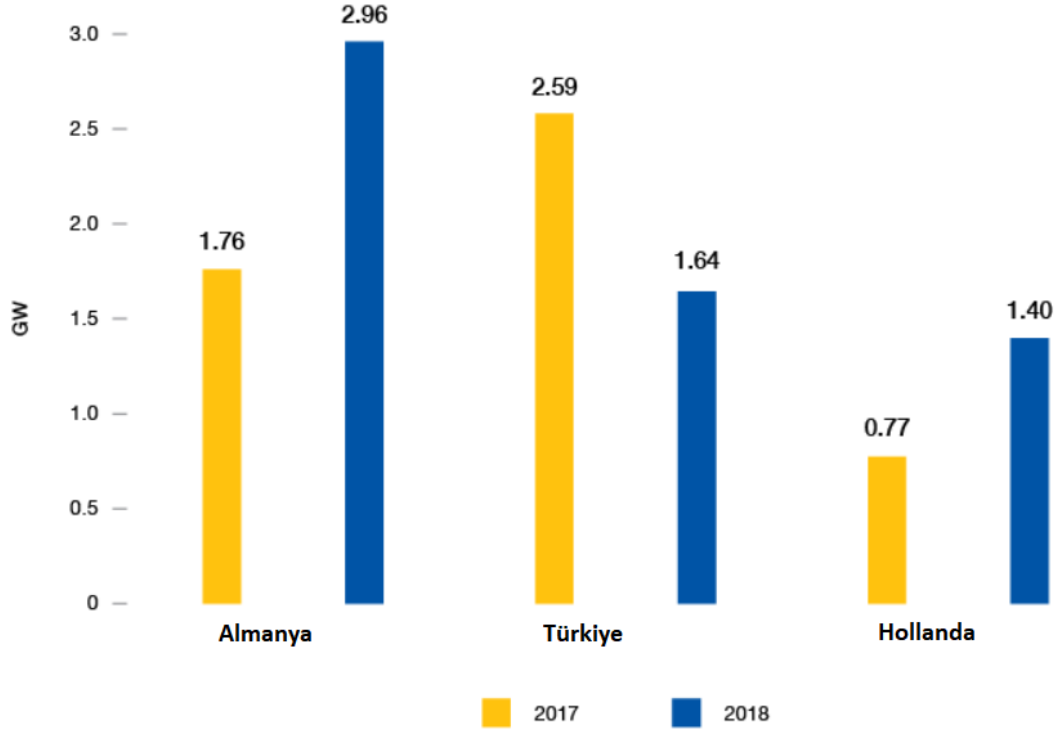
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını artırma trendi elektrik tüketimi yüksek olan ülkelerde artmaya devam etmektedir. Şekil 2.7’de Amerika’da elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının tahmin edilmiş payı görülmektedir [9]. Şekil 2.7’de 2015 yılından sonra hem rüzgar hem de güneş enerjisinde dikkate değer bir artış tahmin edilmektedir. Buna ek olarak, rüzgar enerjisi kullanım oranı 2025 yılından sonra aynı seviyelerde gözükmürken, güneş enerjisinin kullanım oranında sürekli bir artış görülmektedir. Amerika için yapılmış olan Şekil 2.7’deki bu çalışmaya göre, yenilenebilir enerji kaynaklarından güneşe olan ilginin geçen yıllarda azalmayacağı, aksine diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak enerji üretimindeki payının sürekli artacağı söylenebilir.



Şekil 2.7: Amerika yenilenebilir enerji kaynaklarıyla gerçekleşecek elektrik üretim projeksiyonu [9].

Solar Power Europe tarafından yayınlanan bir rapora göre, 2018 yılında güneş enerjisi artışı Avrupa Birliği ülkelerinde 2017 yılına göre %36 iken, tüm Avrupa

ülkelerinde %20 artış göstermiştir [11]. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, Avrupa’nın en büyük güneş enerjisi marketine sahip ülke, 2017 yılında 1,76 GW ek kapasitesini 2018 yılında 2,96 GW ek kapasiteye çıkaran Almanya olmuştur. Almanya’yı, 2017 yılında 2,59 GW ek kapasitesini 2018 yılında 1,64 GW ek kapasiteye düşürmesine rağmen Türkiye izlemiştir. Üçüncü ülke 2017 yılındaki ek 0,77 GW kapasitesini 1,40 GW ek kapasiteye çıkaran Hollanda olmuştur.



Şekil 2.8: 2018 yılı Avrupa’nın en büyük güneş pazarına sahip ülkeler [11].

Güneşlenme ve radyasyon değerleri Türkiye’nin çok daha altında olan ülkelere Almanya ve Hollanda’nın güneş enerjisi kapasite artışlarında diğer dünya ülkeleri ile yarışıyor oluşu, Türkiye’nin güneş enerjisindeki potansiyelini değerlendirdiğinde nerelere gelebileceği hakkında bilgi verebilir. Türkiye de son yıllarda güneş pazarındaki gelişmeleri ve yeni kurulan, özellikle lisanssız üretim alanındaki güneş panelleri ile dünya sıralamasında isminden bahsettirir konuma gelmiştir.

Avrupa ülkeleri ile birlikte Çin gibi Asya ülkelerinin de güneş enerjisi kullanım kapasitesini arttırmaya çalıştığı söylenebilir. Özellikle hava kirliliği ile mücadele eden Çin gibi büyük ülkelere yenilenebilir enerjiye olan yatırımlara olan ilginin nedenleri arasında çevre kirliliğinin etkisini görmek de mümkündür.

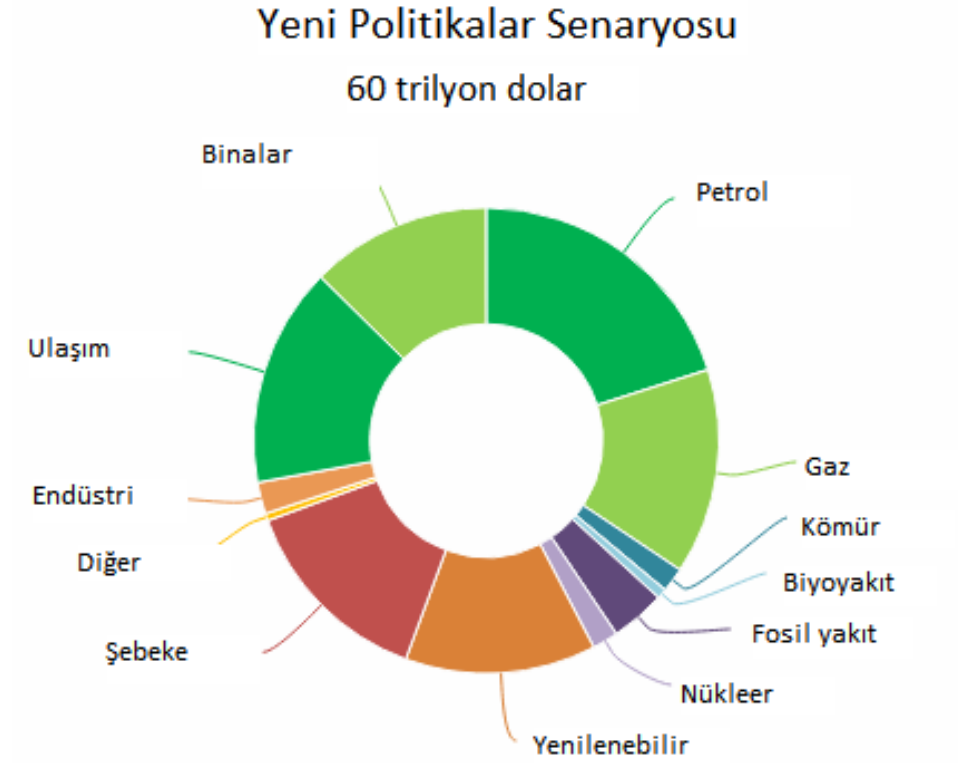
2016 yılında küresel ölçekte yenilenebilir enerji kapasitesindeki artış, kömür ve doğal gazdaki net artışın iki katını bulmuştur (161 GW) [12]. Gün geçtikçe azalan maliyetleri ve verilen teşvikler ile enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranının artacağı tahmin edilebilir. Teknolojinin gelişmesi de kaynağın verimli bir şekilde kullanılmasını ve depolamanın gelişmesini sağlayacağından, yapılan yatırımların geri dönüş süresini ve riskini azaltan bir etkiye sahiptir. Yenilenebilir enerjinin enerji dönüşümündeki yerini araştıran bir çalışmanın sonucunda yenilenebilir enerjinin toplam birincil enerji arzındaki payı 2015 yılından 2050 yılına kadar %15'ten %63'e yükselebilir [13].

2007-2016 yılları arası yenilenebilir enerji ile ilgili yayınlanan 12167 makale içeriklerinde yapılan bir araştırmaya göre, makalelerin 3930 tanesi rüzgar, 2570 tanesi güneş, 1565 tanesi okyanus enerjisi hakkında yazılmıştır [14]. Bu sonuçlardan, güneş enerjisinin yenilenebilir enerji kaynakları arasında rüzgardan sonra en çok tartışılan ve potansiyeli olan bir enerji kaynağı olduğu sonucu çıkarılabilir. Güneş enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre uygulanabilirlik, kapasite ve verimlilik açısından enerji talebini karşılayacak daha iyi bir seçim olarak görülmektedir [15].

Sera gazı emisyonlarının azalması için dünya ülkeleri tarafından verilen sözlerin yerine getirilmemesi, enerji üretiminin olumsuz çevresel etkilerinin devam etmesine sebep olmaktadır. Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin minimum düzeye indirilebilmesi için yenilenebilir enerji kaynak kullanımının arttırılması önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üreten santrallerin çoğalması, ilk yatırım maliyetinin düşüklüğü, kaynak kullanımının verimliliği ve uygulanabilirliği gibi parametrelerden doğrudan etkilenmektedir. Sürekli gelişen teknolojilerle, fotovoltaik panel üretim maliyetinin azalması ve panel verimliliğinin yapılan çalışmalarla arttırılması güneşi yenilenebilir enerji kaynakları arasında öne çıkartmaktadır. Yapılan bir çalışmada, emisyon değerlerinin azaltılması hedeflerine ulaşmada yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneşin diğer kaynaklara göre en umut verici yenilenebilir enerji kaynağı olduğu sonucuna ulaşılmıştır [16].

Uluslararası Enerji Ajansının yayınladığı Dünya Enerji Görünümü 2018 raporundaki projeksiyonlardan birinin sonucuna göre, 2018 ile 2025 yılları arasında yılda ortalamada 2,2 trilyon \$ yatırım yapılacağı tahmin edilmektedir [17]. Aynı projeksiyon raporuna göre, enerji üretimi yatırımlarında 350 milyar \$ ile en yüksek

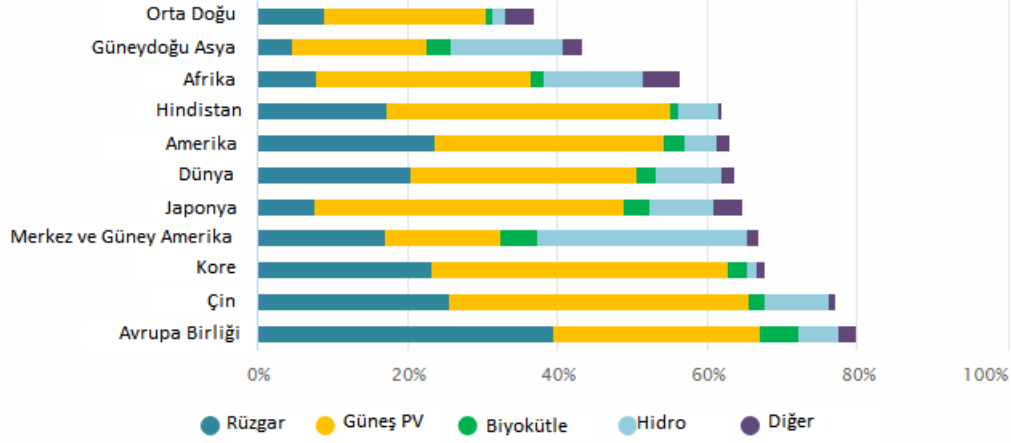
payı yenilenebilir enerji kaynakları alacaktır. Şekil 2.9’da yapılan projeksiyona göre 2040 yılına kadar enerji yatırımlarının sektör ve kaynaklara göre dağılım grafiği görülmektedir.



Şekil 2.9: 2040 enerji yatırımlarının sektör ve kaynaklara göre dağılımı [17].

Özellikle Avrupa Birliği ülkeleri ve Çin geçtiğimiz senelerde görülen yenilenebilir enerji alanındaki yatırımlarda öncü olarak sayılabilen ülkelerdir. Bu durumu gelecekte de sürdürecekleri tahmin edilmektedir. Dünya Enerji Görünümü 2018 raporuna göre, ülkelere göre yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güçteki pay grafiği Şekil 2.10’da görüldüğü gibidir [17].

Avrupa Birliği ülkelerinden özellikle Almanya gibi yenilenebilir enerjiye önem veren ve gelecekte kullanım oranını arttıracaklarını belirten ülkelerin yanında, Çin gibi ekonomik anlamda son yıllarda hızlı bir büyüme kaydeden ülkelere de yenilenebilir enerjiye olan ilginin arttığı görülmektedir. Çin için yenilenebilir enerjiye olan ilginin artışını tetikleyen durumlardan birinin de çevresel etkiler olduğu söylenebilir.



Şekil 2.10: 2018-2040 yenilenebilir enerjinin kurulu güç içerisindeki payı [17].

Şekil 2.10'daki grafikte de görüldüğü gibi Avrupa Birliği ülkeleri ve Çin'de yenilenebilir enerjinin toplam kurulu güçteki paylarının 2040 yılına kadar %80'lere kadar ulaşabileceği tahmin edilmiştir. Buna ek olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi içindeki dağılımlarına bakacak olursak, çoğu ülkede güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha fazla payı olduğu görülmektedir. Buradan, bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak güneş enerjisine olan yatırım iştahının diğerlerine göre daha fazla olacağı sonucu çıkartılabilir.

Yenilenebilir enerji kaynağı kullanım oranının artacağı beklentisi ile birlikte, enerji arzının sürdürülebilir olmasını sağlamaya devam etmek de gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük bir kısmının hava koşullarından doğrudan etkilenmesi, dünya ülkelerinin fosil yakıtlarla enerji üretiminden tamamen vazgeçememesine neden olabilmektedir.

Enerji depolama ile ilgili çalışmaların son zamanlarda önem kazanmasıyla birlikte burada atılacak teknolojik adımlarla ve depolama kapasitelerinin geliştirilmesiyle birlikte tamamen yenilenebilir kaynaklara yönelim için daha uygun koşullar oluşabilir. Fakat gelecek o günlere kadar var olan fosil yakıtlı enerji üretim tesislerini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla destekleyerek hibrit enerji üretim santralleri kurmak da mümkündür. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kurulan hibrit enerji üretim tesisleriyle hem fosil yakıt kullanımı azaltılabilmekte hem de yenilenebilir enerji kaynağı kullanım oranı arttırılabilmektedir. Bir kaynağın eksik kaldığı noktada diğer enerji kaynağı ile üretim gerçekleştirilebilmektedir.

2.3 Literatürde Hibrit Enerji Sistemleri

Literatür taramasında karşılaşılan çalışmalarda sadece yenilenebilir enerji kaynaklarıyla incelenen hibrit sistemlerle birlikte, fosil yakıtlarla yenilenebilir enerji kaynaklarının birleştirildiği hibrit enerji üretim sistemleri de bulunmaktadır. Bu çalışmada yararlanılmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları ve fosil yakıtlarla bütünleştirilmiş sistemlerin analizini yapan makaleler üzerine yoğunlaşmıştır.

HOMER ya da farklı modellemelerle analizleri yapılmış olan çalışmalardaki bakış açıları, metodolojiler, simülasyon girdileri ve yapılan duyarlılık analizleri incelenmiş, tez kapsamında yapılacak olan çalışmaya katkı sağlayacak noktaları belirlenmeye çalışılmıştır. Literatür taramasında Türkiye’de hibrit enerji sistemleri ile ilgili fazla makaleye rastlanmamıştır. Yapılan bu çalışmayla birlikte, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını arttıran ve fosil yakıt tasarrufu sağlayan hibrit üretim sistemleri ile ilgili daha fazla araştırma yapılabilmesi, bu araştırmaların yayınlanması ve uygulamaların arttırılması amaçlanmıştır.

Üretim sistemlerinin incelenmesinde birden fazla modelleme yöntemi kullanılabilir. Matlab ile yapılan bir çalışmanın optimizasyon amacı birincil enerji tüketimini en aza indirmektedir. Matlab programında genetik algoritma kullanılarak hazırlanmıştır. Kullanılan enerji kaynakları, güneş, kojenerasyon, absorpsiyon çiller, ısı pompası ve termal depolamadır. Sadece operasyonel sürecin dikkate alındığı ve yaşam döngüsü analizinin incelendiği iki farklı yaklaşımın sonucunda yaşam döngüsü analizi yaklaşımında %12 daha fazla birincil enerji tasarrufu yapıldığı görülmüştür [18]. ATM makinalarının enerji ihtiyacı için hibrit sistem kullanımını inceleyen bir makalede, enerji kaynağı girdisi olarak rüzgar, güneş ve dizel kaynaklar kullanılmıştır. Off-grid olarak tasarlanan sistemde ATM’ler için günlük yük profili ve enerji tüketimi verileri ile birlikte bölgenin meteorolojik verileri toplandıktan sonra diğer girdilerle HOMER simülasyon programında optimum kapasiteli sonuç araştırılmıştır. Net şimdiki maliyetlerine göre sıralanan sonuçlar arasında en iyi sistem 48.384 \$ ilk yatırım maliyeti, 82.775 \$ net şimdiki maliyeti, 0,307 \$ enerji maliyeti ile güneş ve dizel ile elde edilen sistem olarak belirlenmiştir [19].

Hibrit enerji üretim sisteminin kurulacağı yere göre HOMER optimizasyon sonucunda çıkan yenilenebilir enerji kaynağı da farklılık gösterebilmektedir. Güney

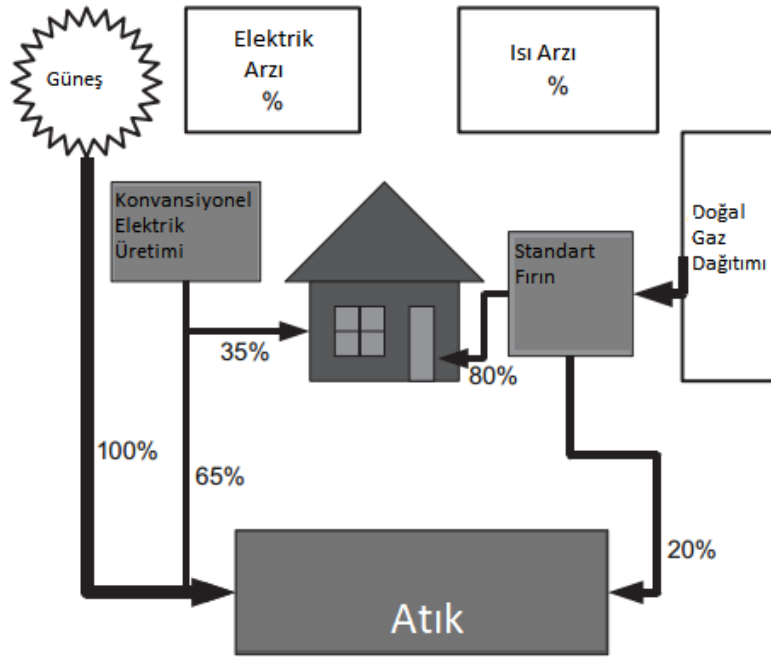
Çin denizinde bir adada, yüksek ve volatil dizel yakıt fiyatlarının etkisini azaltacak hibrit sistem önerisi yapılması amaçlanmıştır. Güneş, rüzgar, hidro ve dizel yakıtlarla HOMER simülasyon programında sistemin tekno ekonomik analizi yapılmıştır. Analizin temel amacı var olan dizel sistem ile birlikte çalışacak optimum hibrit sistemin belirlenebilmesidir. Sistem off-grid olarak tasarlanmıştır. Simülasyon sonucunda en iyi net şimdiki değeri veren hibrit sistem tasarımı PV+hidro+dizel olarak elde edilmiştir. Ek olarak yapılan duyarlılık analizi sonuçlarında, dizel fiyatının artmasının üretimde yenilenebilir enerji kaynak kullanım oranını arttırdığı görülmüştür [20]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretim verimliliği hava durumu gibi değişkenlerle doğrudan ilişkili olduğundan kurulacak hibrit sistemin tasarımı yapılmadan önce, sistemin kurulacağı lokasyonun hangi yenilenebilir enerji kaynağı potansiyeline sahip olduğu analiz edilmelidir. Denizli ilinde bulunan bir kojenerasyon tesisi verileriyle yapılan bu çalışmada, tesisin konumuna göre güneş enerjisinin kullanılabileceği görülmüştür. Buna ek olarak çalışma kapsamında yapılacak duyarlılık analizinde, literatürde dünyanın diğer ülkelerindeki çalışmalarda da duyarlılık analizi olarak örneği görülen, elektrik ve doğal gaz fiyat değişimlerinin simülasyon sonuçlarına etkisi incelenmiştir.

Literatür taramasında karşılaşılan çalışmalarda güneş enerjisi ile birlikte kurulan yeni sistemin avantajları olduğu görülmüştür. Literatürde rastlanan çalışmalar ve sonuçları aşağıda özetlendiği gibidir.

Bir çalışmada, ekserji verimliliğini arttırmak ve maliyeti düşürmek amacıyla güneş-kojenerasyon hibrit sistemi için en iyi dizayn çalışması yapılmış, çalışmada guguk kuşu arama algoritması kullanılmıştır. Çalışma sonucunda güneş enerjisinin gündüz saatlerindeki payının %35, sistemin tüm çalışma saatleri dikkate alındığında (gece saatleri dahil) güneş enerjisinin kullanım payının yılda %14 olduğu görülmüştür. Ayrıca, yakıt kullanımı %47 azalmış, CO₂ emisyonları da yılda 24,5 ton azalmıştır [21].

Sera gazı emisyonlarının azalmasına sağladığı katkı sebebiyle de güneş ve kojenerasyon sistemlerin literatürde incelendiği gözlemlenmiştir. Kanada'da Alberta bölgesinde evsel tüketim için yapılan bir çalışmada çok amaçlı genetik algoritma modeli ile güneş+kojenerasyon hibrit sistemi incelenmiş, çalışmada hibrit sistemin kullanılmasıyla birlikte CO₂ salımında yılda %21-%62 arasında azalma olduğu sonucu elde edilmiştir [22].

Amerika’da yapılan başka bir çalışmada, evsel tüketim için kullanılan küçük ölçekli kojenerasyon sistemlere güneş enerjisinin eklenmesiyle oluşacak hibrit sistem incelenmiştir. Çalışmanın amacı Amerika’da güneş enerjisinin kullanım oranının arttırılmasıdır. Konvansiyonel üretim sistemi ile karşılanan elektrik ihtiyacında, elektrik enerjisi üretim kaybı %65, ısı enerjisi kaybı %20 iken; güneş-kojenerasyon hibrit sistemi ile 185 birim atık enerji miktarının 110 birime düşürüldüğü görülmüştür [23]. Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de konvansiyonel sistem ve yeni tasarlanan hibrit sistem ile ilgili kayıp oranları gözükmemektedir [23]. Enerji kayıplarını %65’ten %16’lara kadar indirebilecek bir sistemin kurulmasının mümkün olduğunu gösteren bu çalışmada, ayrıca güneş enerjisi kullanımının depolama yatırımları yapılmadan da artırılmasının sağlanabileceği gösterilmiştir.

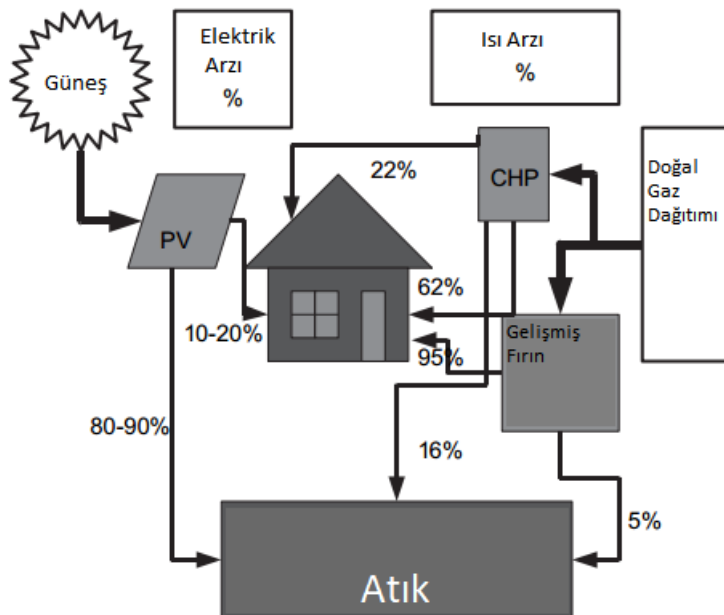


Şekil 2.11: Konvansiyonel sistem üretim şeması [23]

Şekil 2.11’de görüldüğü gibi yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin tamamı kayıp olarak gözükmemektedir. Buna ek olarak konvansiyonel elektrik üretiminde de %65 kayıp vardır.

Şekil 2.12’deki yeni hibrit sistemle birlikte yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş verimliliği oranında kullanılabilmektedir. Güneş enerjisini değerlendirmeye yarayan güneş panellerinin verimliliklerinin artmaya devam etmesiyle birlikte, ileride

kurulacak olan hibrit sistemlerin yenilenebilir enerji kaynağını daha verimli kullanabileceği söylenebilir.



Şekil 2.12: Hibrit sistem üretim şeması [23]

Güneş enerjisi ile birlikte kullanılan hibrit enerji üretim sistemlerinde elektrik ve/veya ısı enerjisi üretimi şeklinde kullanılabilir. Farklı hibrit sistem tasarımlarının performanslarını analiz etmek amacıyla yapılan, 6 katlı bir binanın enerji tüketimini inceleyen bir çalışmada sistem bileşeni olarak termal güneş kolektörleri, güneş paneli ve içten yanmalı doğal gaz motoru kullanılmıştır. Birincil enerji tüketiminin ve sera gazı emisyonlarının hesaplandığı çalışmada, verilerin işlenmesi ve hesaplamalar için TRNSYS 17 programı kullanılmıştır. İspanya'nın 5 farklı noktası için yapılan, yaşam döngüsü maliyetleri, emisyon değerleri ve birincil kaynak kullanımına göre incelenen bu çalışmada konvansiyonel üretimin optimum sonuç olduğu sonucu çıkmıştır. Yapılan duyarlılık analizlerinde elektrik fiyatının artması optimum sonuç olan konvansiyonel sistemin yaşam döngüsü maliyetini arttırırken, doğal gaz fiyatının artması konvansiyonel sistemde daha çok şebekeden alındığı için optimum sonucun daha da iyileşmesine sebep olmuştur [24].

Rüzgar ve güneş gibi enerji üretimi meteorolojik verilerden doğrudan etkilenen enerji kaynaklarının fizibilitelerinde türbinlerin ve panellerin lokasyonu da oldukça önemlidir. Literatürde yapılan çalışmaların bazılarında lokasyon ile ilgili sonuçlara da yer veren çalışmalara rastlanmıştır. Bir çalışmada güneş-kojenerasyon hibrit

sistemin incelenmesi için dinamik simülasyon modeli önerisi yapılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında sistemlerin konumu ile ilgili duyarlılık analizi de yapılmıştır. Duyarlılık analizi sonuçlarına göre, Hibrit üretim sistemlerinin ekonomik açıdan uygulanabilir olması için Akdeniz bölgesinde (hibrit sistemin geri dönüş süresi 10 yıl olarak hesaplanmış) yapılması gerektiği, Orta Avrupa için incelendiğinde sonuçların tatmin edici olmadığı belirtilmiştir [25].

Literatür incelemesi sonucunda karşılaşılan çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynakları ile fosil yakıtların bütünleştirildiği hibrit üretim sistemlerinin farklı metodoloji ve modellemelerle incelendiği görülmüştür. Hibrit enerji sistemleri ile ilgili makale ve araştırmaların yıllar geçtikçe daha da arttığı inceleme sonucunda fark edilmiştir.

3. TÜRKİYE’DE ENERJİ

3.1 Enerji Üretimi

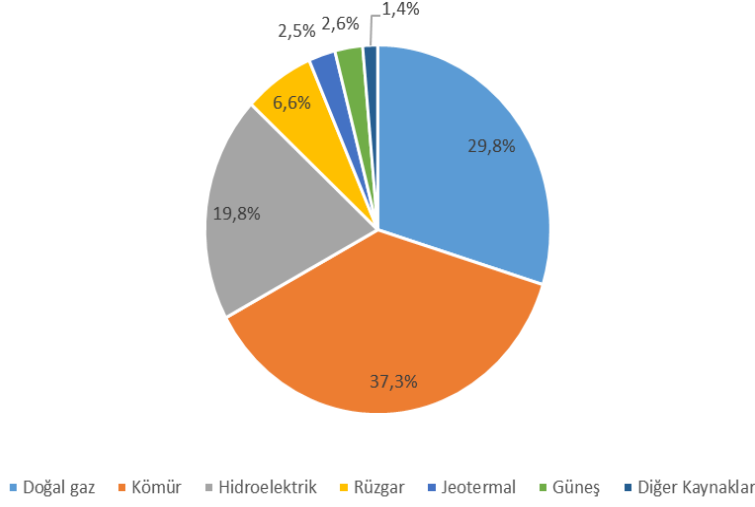
Türkiye’de cari açığın en büyük sebeplerinden biri olan enerjinin, üretimi ve tüketiminin yönetilmesi ve enerji kaynakların verimli bir şekilde kullanılmasının önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı hem ülkemizde hem de diğer dünya ülkelerinde artmaya devam etmektedir. Gelişen yeni teknolojilerle birlikte yenilenebilir enerji yatırımlarının maliyetinde de azalmalar meydana gelmektedir. ABD Enerji Bilgi İdaresi’nin (U.S. Energy Information Administration) yaptığı bir araştırmaya göre, güneş enerjisindeki yatırım maliyetlerinin azalmasıyla birlikte önümüzdeki yıllarda güneş enerjisi kapasitesinin daha da artacağı tahmin edilmektedir [9].

Artan enerji talebini karşılamak için, Türkiye’de arzı arttıracak adımlar da atılmaktadır. 2018 yılında bir önceki yıla göre, Türkiye’de elektrik ihtiyacını karşılayabilmek için sisteme 4.025,5 MW ek kapasite eklenmiştir ve toplam kurulu güç 88.551 MW’a ulaşmıştır [26]. 2018 yılı sonunda elektrik üretiminin %29,8’i doğal gaz, %37,3’ü kömür, %19,8’i hidroelektrik, %6,6’sı rüzgar, %2,5’i jeotermal, %2,6’sı güneş ve %1,4’ü diğer kaynaklar kullanılarak gerçekleştirilmiştir [26]. Şekil 3.1’de bu rakamların dağılımı görülmektedir.

Arzın devamlılığını sağlamak için yeni yatırımları teşvik edebilmek adına yenilenebilir enerji kaynakları için teşvik mekanizmaları da geliştirilmektedir. Bunlara ek olarak, enerjinin depolama dezavantajı ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminin hava durumuna bağlı olması sebebiyle fosil yakıt kaynaklarından oluşan bir miktar üretimin baz olarak devam etmesi de istenmektedir. Özellikle yerli kömür gibi yerli kaynakları kullanan santrallere ve doğal gaz santrallerine kapasiteleri oranında bir ödeme yapılmaktadır.

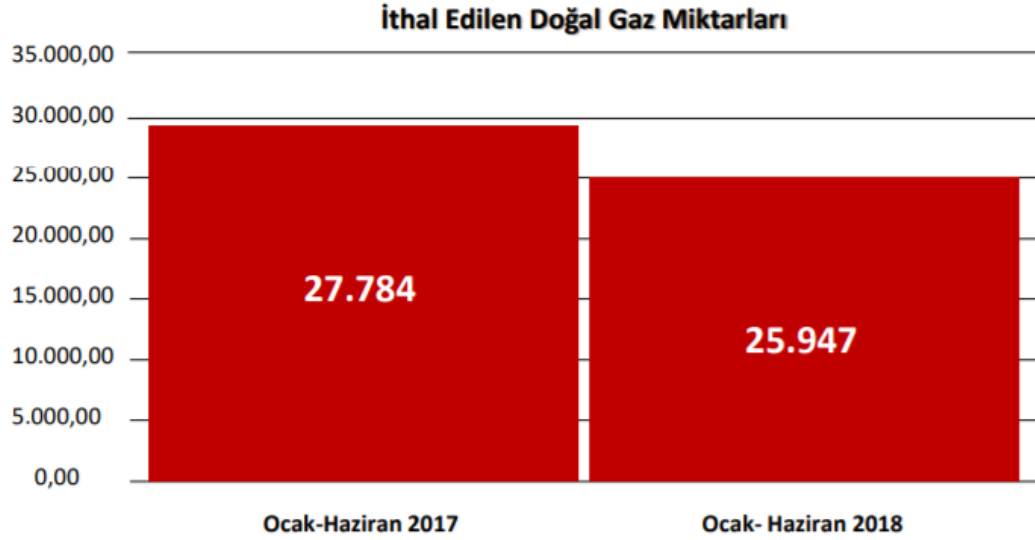
Kaynaklara göre Türkiye elektrik üretimi (2018)



Şekil 3.1: 2018 yılında Türkiye’de kaynaklara göre elektrik üretimi [26].

2018 yılının ilk yarısında elektrik üretiminde en çok kullanılan yakıtlar kömür ve doğal gaz olmuştur. 2018’in ikinci yarısından sonra ve 2019’un başlarında elektrik üretiminde doğal gazın payının azaldığı gözlemlenmiştir. Türkiye’nin doğal gazda büyük oranda dışarıya bağımlı bir ülke olduğu dikkate alınırsa, doğal gaz tüketiminde meydana gelecek bir azalma ile ülke ekonomisine de doğrudan bir katkı sağlanacaktır. Üretimde kullanılan yakıtı azaltarak enerji verimliliğini arttıran yöntemlerden biri de yenilenebilir enerji kaynaklarıyla bütünleştirilmiş enerji üretim sistemleridir. Bu şekilde tasarlanan sistemlerde, hem yenilenebilir enerji kaynaklarının ülke içinde kullanım kapasitesi artırılmakta, hem de geleneksel üretim sistemlerinde kullanılan yakıtların (doğal gaz, kömür vb.) kullanım oranı azaltılıp yakıt tasarrufu yapılmaktadır.

Cari açığı doğrudan etkileyen kalemlerden biri olan doğal gaza olan bağımlılığın azaltılmasının ekonomik anlamda katkıları olacağı söylenebilir. 2018 yılının genelinde elektrik üretiminde kullanılan yakıtlarda kömür ile birlikte doğal gazın en çok paya sahip olduğu görülmektedir (Şekil 3.1). Ağustos 2018’de elektrik üretimi için kullanılan doğal gaza yaklaşık %50 oranındaki zam yapılmıştır [27]. Yapılan bu zam ile birlikte maliyet bazlı fiyatlandırma yapan doğal gaz santrallerinin çalışma saatlerinde azalmalar görülmüştür. Ağustos 2018 öncesinde elektrik üretiminde doğal gazın payının yüksek olmasına rağmen önceki seneye göre ithal edilen doğal gazda ve elektrik üretimi amaçlı kullanılan doğal gazda azalmalar olmuştur.



Şekil 3.2: İthal edilen doğal gaz miktarları [28].

Şekil 3.2’de 2018 yılında geçen seneye göre daha az doğal gaz ithal edildiği görülmektedir. Elektrik üretimi amaçlı doğal gaz tüketimi Ocak-Haziran döneminde 2018 yılında 2017 yılına göre %7,7 oranında azalmıştır [28].

Son aylarda üretimde doğal gazın payını azaltan en önemli etkilere biri, üretim arzı ile tüketim talebi ile oluşan arz-talep eğrisi sonucunda gün öncesinde saatlik olarak belirlenen piyasa takas fiyatıdır (PTF). Sektördeki özel büyük doğal gaz santralleri, üretim maliyetlerini karşılayamayacak olan piyasa takas fiyatı sonucunda santrallerini çalıştırmamayı tercih edebilmektedir. Şebekeden alınan elektriğin tarifesi üretim optimizasyonunu etkileyen parametrelerden bir tanesidir. Üretim maliyeti şebekedeki elektrik fiyatının üzerindeyse santraller üretim yapmayıp elektriği şebekeden almayı tercih edebilir. Literatürde şebeke tarifesi sebebiyle elektriği ucuza şebekeden alıp, pik saatlerde satan konvansiyonel sistemlerin hibrit sistemlerden daha iyi sonuç verdiği çalışmalar da görülmüştür [29]. Dolayısıyla şebeke elektriğinin ucuz olması santrallerin çalışmama riskini arttırabilmektedir. Santrallerin çalışmaması da arzı etkileyen faktörlerden bir tanesidir. Sadece şebekedeki satış fiyatlarına bağımlı olan yenilenebilir sistemlerin de bu riske maruz kalacağı söylenebilir. Bu durum tüm ülkelerdeki enerji üretim stratejileri için geçerlidir. Şu anda Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynakları için çıkarılmış olan YEKDEM ile bu santrallerin ürettiği elektriğe devlet alım garantisi vermektedir.

2017-2023 yılını kapsayan Ulusal Enerji Verimliliği Planı’na göre 2023 yılına kadar 23,9 MTEP enerji tasarruf edilmesi öngörülmektedir [30]. Yenilenebilir enerji

kaynakları kullanımının arttırılması ile ithal edilen enerji miktarında bir azalmaya gidilebilir. Fakat enerji depolanamadığından ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim miktarı hava durumu ile doğrudan ilişkili olduğundan ve gün sonunda enerji arzının sağlanması gerektiğinden, kömür ve doğal gaz santrallerinin tamamen kapatılması kısa ve orta vadede mümkün gözükmemektedir. Çizelge 3.1’de 2018 yıl sonu itibariyle ve 31 Mayıs 2019 sonu itibariyle Türkiye’deki kurulu gücün kaynaklara göre dağılımı görülmektedir [31]. Çizelge 3.1’deki TEİAŞ verilerine göre doğal gaz kurulu gücün toplam kurulu güçteki payı 2018 sonunda ve Mayıs 2019 sonunda %29 olmuştur. Yine TEİAŞ’ın verilerine göre 2017 yılı sonunda doğal gazın kurulu güçteki payı %31,1 olarak gerçekleşmiştir [31]. Maliyetleri ile PTF (Piyasa Takas Fiyatı) arasındaki marjın neredeyse kapanması sebebiyle çalışamayan doğal gaz santralleri sebebiyle doğal gazın elektrik üretimindeki payı da 2018 yılının ikinci yarısından sonra azalmaya başlamıştır. 2019 yılı içinde de doğal gaz santrallerinin elektrik üretimindeki payında azalma gözlemlenmeye devam edilmiştir. Çizelge 3.1’e göre güneş enerjisi kurulu gücünde Mayıs 2019 sonuna kadar 2018 yılına göre 400 MW’a yakın artış gerçekleşmiştir. 2017 yılı verilerine göre güneşin kurulu güç içerisindeki payı %4 iken, bu oran 2018 yılında %6 olarak gerçekleşmiştir.

Çizelge 3.1: Kaynak türüne göre Türkiye kurulu güç tablosu [31].

BİRİNCİL KAYNAK	2018 YILI SONU İTİBARIYLA		31 MAYIS 2019 SONU İTİBARIYLA	
	KURULU GÜÇ MW	KATKI %	KURULU GÜÇ MW	KATKI %
AKARSU	7.755,30	0,09	7.855,20	0,09
YERLİ KÖMÜR (TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT + ASFALTİT)	10.504,00	0,12	11.057,80	0,12
BARAJLI	20.536,10	0,23	20.554,20	0,23
BİYOKÜTLE	584,00	0,01	665,20	0,01
DOĞALGAZ+LNG	25.881,00	0,29	25.908,20	0,29
FUEL OİL+NAFTA+MOTORİN	294,00	0,00	492,90	0,01
GÜNEŞ	5.062,90	0,06	5.435,10	0,06
İTHAL KÖMÜR	8.793,90	0,10	8.938,90	0,10
JEOTERMAL	1.282,50	0,01	1.335,50	0,01
RÜZGAR	7.005,40	0,08	7.155,40	0,08
DİĞER	841,90	0,01	338,40	0,00
TOPLAM	88.541,00	1,00	89.736,80	1,00

Doğal gazda dışarıya bağımlı olan Türkiye’de, küresel petrol fiyatlarındaki değişimler ve kurdaki yüksek volatilité elektrik üretimi amaçlı doğal gaz kullanan santrallerin maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu durumda, doğal gaz kullanımında yapılacak olan tasarrufun ekonomik anlamda mikro ölçekte santrallere, makro ölçekte de Türkiye’ye katkısı olacağı söylenebilir. Bunun yanında, yapılacak olan tasarrufun, Ulusal Enerji Verimliliği Planı’ndaki hedeflere ulaşmada da katkısı olacaktır.

Yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kurulan hibrit sistemler ile temiz üretim stratejilerine yapılan katkının artacağı söylenebilir. Hibrit üretim teknolojilerinin hammaddeyi daha az kullanıp aynı enerjiyi elde ederek ekolojik fayda sağlamasının yanında, rekabet gücünü de arttıracığı söylenebilir.

Kasım 2017’de yayınlanan Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planında tanımlanan temel hedef, enerji kaynakları ve doğal kaynakları çevreye duyarlı ve verimli şekilde değerlendirilerek ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamaktır ve bu doğrultuda 2017-2023 döneminde Türkiye’nin birincil enerji tüketiminde kümülatif olarak 23,9 MTEP azalış sağlanması hedeflenmektedir [32].

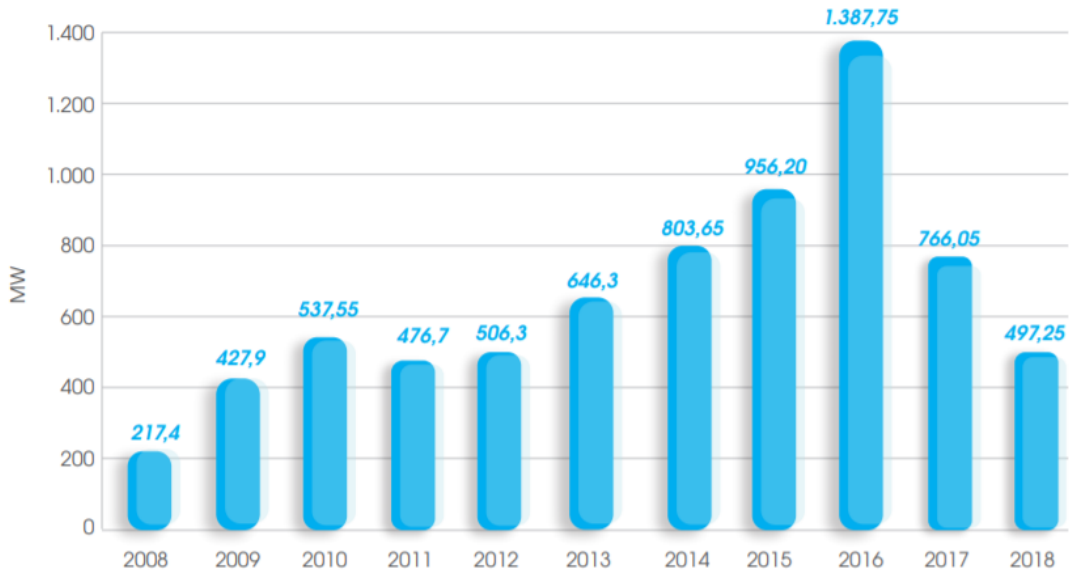
3.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Türkiye’de yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artarak devam ettiği söylenebilir. Yapılan ihaleler ve verilen teşviklerle hem yerli hem de yabancı yatırımcının Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgisi arttırılmaya çalışılmaktadır. Yapılan bu yatırımlarla birlikte, Türkiye’de yenilenebilir enerjinin elektrik üretimindeki payının gün geçtikçe arttığı söylenebilir. 2018 yılında toplam güneş kolektör alanı yaklaşık 20.200.000 m²’ye ve ısı enerjisi üretimi 876.720 TEP (Ton Eşdeğer Petrol)’e ulaşmıştır [33]. Ülkemizdeki toplam elektrik üretimi içerisindeki payı da 7.477,3 GWh ile %2,5’a yükselmiştir [33]. 2018 yılında rüzgar enerjisinden de 19,882 milyar kWh elektrik üretilmiştir [33].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye’de kullanımının son yıllarda dikkat çekici bir şekilde arttığı belirtilebilir. 2017 yılında eklenen 1,79 GW güneş enerjisi, 2016 yılında eklenen miktarın 3 katından daha fazla olmuştur [12]. Şekil 3.3’te yıllara göre Türkiye rüzgar kurulu gücündeki artış görülmektedir [34]. Şekil 3.3’te yenilenebilir bir enerji kaynağı olan rüzgarın her sene kurulu gücünü arttırdığı, en çok artışı

1387,75 MW ile 2016 yılında gerçekleştirdiği görülmektedir [34]. Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği tarafından yayınlanan Ocak 2019 istatistik raporuna göre, 2018 sonunda Türkiye rüzgar enerjisi santralleri kurulu gücü 7369,35 MW olmuştur [34].

Yenilenebilir enerji kaynak yatırımlarının artmasıyla, bu kaynakların elektrik üretimindeki payı da artmaktadır. Özellikle yaz aylarında güneş enerjisinin de pik üretimlerinin gerçekleşeceği zamanlarda yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin oranı artmaktadır. Hidro, rüzgar ve güneş gibi, piyasaya fiyattan bağımsız teklif verme potansiyeli yüksek olan enerji kaynaklarından elde edilen üretim için uygun ortamların olduğu günlerde elektrik piyasasında saatlik belirlenen piyasa takas fiyatının bazı saatlerde 0 TL olarak çıktığı görülmektedir.



Şekil 3.3: Türkiye’deki rüzgar enerjisi santralleri için yıllık kurulum [34].

Son dönemlerde Türkiye’de gerçekleştirilen büyük ölçekli güneş ve rüzgar enerjisi ihaleleri, YEKA’lar, küresel ölçekte yaşanan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payının artması gelişmelerinin Türkiye’de uygulanabilirliğin arttırmak için bir teşvik olarak düşünülebilir.

Yapılan bir araştırmada metodoloji çerçevesinde kullanılacak modelleme için Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının üst sınırı belirlenmiştir [35]. Çizelge 3.2’den görüleceği gibi güneşte fotovoltaik kısımda toplamda 3526,2 GW, rüzgarda

263,4 GW kurulu üst sınırı bulunmaktadır. Bu üst limitler belli matematiksel kabuller yapılarak hesaplanmıştır ve teorik değerlerdir.

Çizelge 3.2: Türkiye’de bölgelere göre kurulu güçte üst sınırlar- GW [35].

Bölgeler	Alan - [1000 km ²]	Güneş - PV	CSP	Rüzgar Enerjisi	Akarsu	Barajlı
Akdeniz	116.1	406.6	813.1	30.4	2.2	7.6
Marmara	63.6	327.8	655.6	24.5	0.2	0.5
Ege	88.0	406.1	812.3	30.3	0.2	0.4
Karadeniz	135.6	522.8	1045.5	39	3.3	5.2
İç Anadolu	154.1	848.6	1697.3	63.4	2.2	8.2
Güneydoğu Anadolu	55.9	338.4	676.7	25.3	1.5	6.4
Doğu Anadolu	156.3	675.9	1351.9	50.5	2	3.1
Toplam	769.6	3526.2	7052.4	263.4	11.6	31.4

Rüzgar ve güneş enerjisinden elektrik üretimi değişken özelliklere sahiptir. Kaynağın hava durumundan doğrudan etkileniyor olması, üretilen elektriğin depolanamıyor olması, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin arz güvenliğini tek başına sağlayamamasına neden olmaktadır. Buna ek olarak, anlık üretim tüketim dengesinin sağlanması sırasında şebekede dengesizliğe sebep olan bir enerji üretim türü olduğu söylenebilir. Gelişen batarya, güneş paneli ve rüzgar türbini teknolojileri ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması yolunda önemli adımlar atılacaktır. Türkiye de gelişen teknolojileri takip ederek elektrik sisteminde yenilenebilir enerjinin payını en verimli şekilde arttırmayı hedeflemelidir. Böylece enerjide dışa bağımlılığın azaltılmasına, dengeli bir elektrik ticaretinin gerçekleşmesine katkıda bulunulacaktır.

OECD’nin Türkiye için hazırladığı çevresel performans değerlendirmeleri raporunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücünün son yıllarda dikkate değer ölçüde arttığı fakat enerji karışımında yenilenebilir enerjilerin payının 2005’ten

bu yana sabit kaldığı belirtilmiştir [36]. Yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üreten tesislerin baştan kurulumu bu kaynakların kullanım oranını arttıran yöntemlerden biridir. Bunun yanında var olan, konvansiyonel yöntemle enerji üreten tesislere hibrit uygulamalarla yenilenebilir enerji kaynakları ilave etmek, bu kaynakların kullanım oranını arttıracaktır. Hibrit uygulamalarla bir yandan yenilenebilir enerji kaynakların kullanım oranı artarken, diğer taraftan dışarıya bağımlı olduğumuz fosil kaynakların kullanım oranı azaltılarak ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

2013 yılında çıkarılan Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Belgelendirilmesi ve Desteklenmesine İlişkin Yönetmelik ile, yenilenebilir enerji kaynağı kullanarak elektrik üreten santrallere devlet üretilen elektrik için 10 yıl süreyle Çizelge 3.3'te gözüken fiyatlarda bir alım garantisi vermiştir [37]. Alım garantisiyle birlikte, YEKDEM teşvik mekanizmasına dahil olan santraller sayaçlarından geçen üretim miktarları için Çizelge 3.3'teki fiyatlar üzerinden ödeme almaktadır. Piyasaya satış yapan santraller gün öncesi piyasasından aldıkları miktarın üzerine YEKDEM tutarını tamamlayacak miktar kadar ödeme daha alarak (YEKDEM tamamlama tutarı) YEKDEM teşvik fiyatlarından ödemelerini almaktadırlar. Ödemeler dolar üzerinden olduğunda dolar kurunda gerçekleşen hareketler YEKDEM teşvik mekanizmasına dahil olan santralleri doğrudan etkilemektedir.

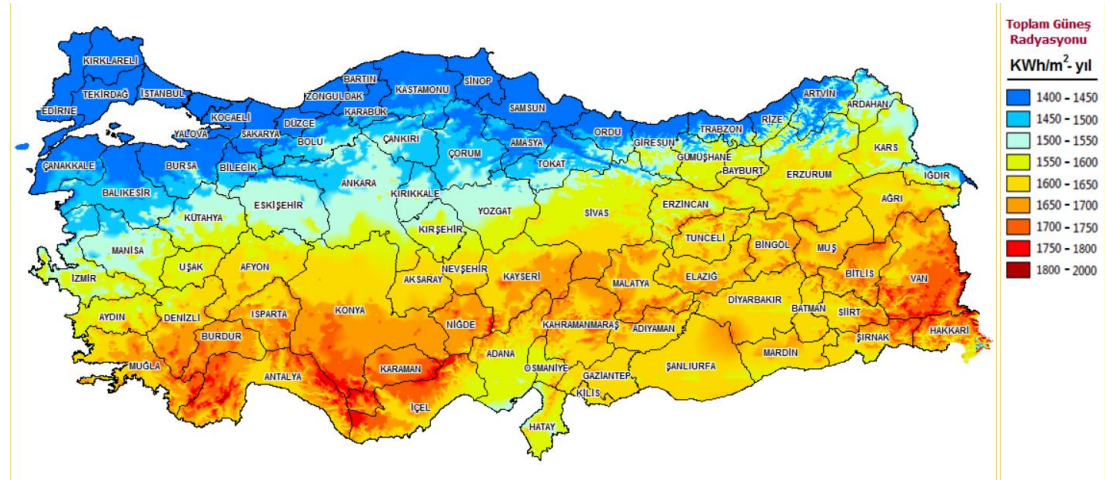
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçteki artan payında önemli rol oynayan bu teşvik mekanizmasının 2020 yılında son bulacağı açıklanmıştır. Yenilenebilir enerji kurulu gücündeki artış miktarının 2020 yılından sonra da devam etmesi için yeni teşvik mekanizmalarının olumlu katkısı olacağı söylenebilir.

Çizelge 3.3: YEKDEM teşvik fiyatları [37]

Kaynak türü	Sabit fiyat (ABD cent / kWh)
Hidroelektrik	7.3
Rüzgar	7.3
Jeotermal	10.5
Biyokütle (çöp gazı dahil)	13.3
Güneş	13.3

3.3 Türkiye’de Güneş Enerjisinin Gelişimi

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın hazırladığı Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası’na göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük ortalama 4,18 kWh/m².gün) olduğu tespit edilmiştir [38]. Şekil 3.4’ten Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyel atlası görülmektedir [39]. Son birkaç yılda güneş enerjisi kurulu gücünde Türkiye’de özellikle lisanssız santrallerde yüksek artış görülmüştür. 2018 yılında işletmedeki güneş enerjisi santral sayısı 5.868 adet, 4.981,2 MW’ı lisanssız, 81,8 MW da lisanslı olmak üzere toplamda Türkiye güneş enerjisi kurulu gücü 5.063 MW’a ulaşmıştır. [38].



Şekil 3.4: Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası [39].

TEİAŞ’tan alınan verilere göre, Aralık 2018 itibariyle lisanssız güneş kurulu gücü 4981,2 MW olmuştur ve 88550,8 MW olan toplam kurulu gücün %6’sına karşılık gelmektedir. Aralık 2017 sonunda lisanssız güneş santrallerinin kurulu güce oranı %4’tür [31].

18 Ocak 2018 tarihinde resmi gazetede yayımlanan düzenleme ile çatılara kurulacak maksimum 10 kW büyüklüğünde güneş enerjisi santralleri için prosedür kolaylaştırılmıştır. Ayrıca yine bu alanda yapılan ek düzenlemeler ile aylık mahsuplaşma imkanı sağlanmıştır [40]. Buna ek olarak, çatı tipi üretim noktaları ihtiyaç fazlası elektriği satabilmekte, ihtiyaç duyduğunda da şebekeden elektrik alabilmektedir. Bu düzenlemelerin, Türkiye’de, özellikle çatı tipi güneş enerjisinin

kurulu gücünün artışına katkı sağlayacağı söylenebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili hazırlanan bunun gibi yönetmelik kaynaklı değişiklik ve yenilikler yatırımcıların yenilenebilir enerjiye olan ilgisini artırma potansiyeline sahiptir. Santralin kurulum aşamasından, devreye alınmasına kadar geçen süredeki prosedürlerin kolaylığı, üretilen ihtiyaç fazlası elektriğin şebekeye satılması süreci ne kadar kolay olursa yatırımcıların yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapma oranı da o kadar çok olumlu yönde etkilenecektir. Üretimde ve işçilikteki maliyet düşüşleriyle birlikte Türkiye’de güneş enerjisi sektörü 4 yılda 100 katına çıkarak diğer ülkeleri yakalayacak şekilde gelişmeye devam etmektedir [41]. Sadece güneş ile enerji üreten santrallerin yanında, hibrit üretim santralleri uygulamaları ile Türkiye’de güneş enerjisi kurulu gücünü arttırmak ve enerjide dışa bağımlılığı azaltmaya katkı sağlamak mümkündür.

3.4 Türkiye’de Hibrit Enerji Sistemleri

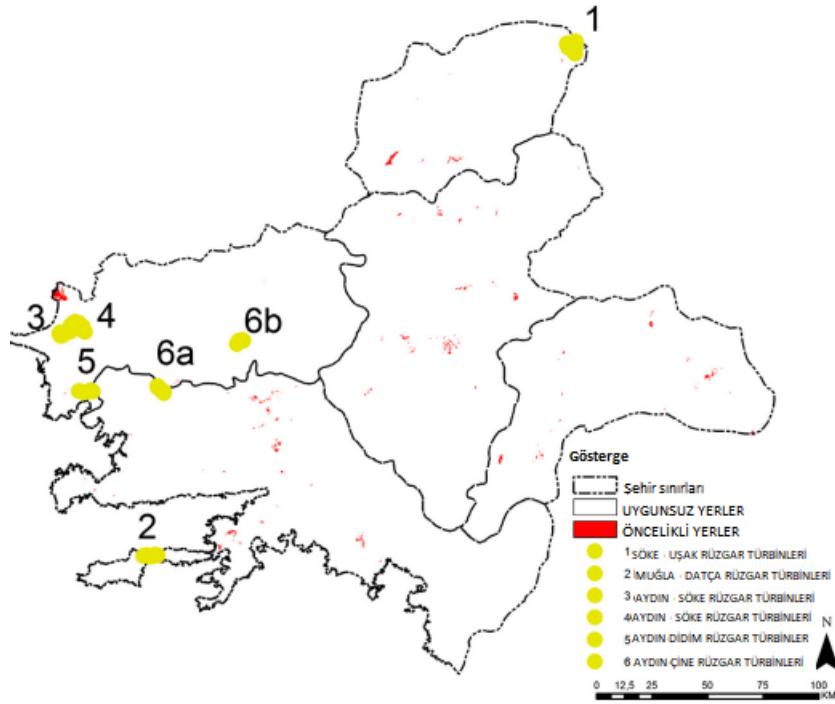
Türkiye’de hibrit enerji sistemlerinin şu an için çok yaygın olmadığı söylenebilir. Yine de son yıllarda daha fazla konuşulmaya başlanan ve uygulamaları görülen bir konu haline gelmiştir denebilir. Türkiye’de kojenerasyon ile yenilenebilir enerji kaynakları ile birleştirilen bir hibrit sistem örneği pek bulunmamaktadır.

Türkiye’deki hibrit enerji sistemlerinin örneklerinden biri Sabancı Üniversitesi’ndeki kojenerasyon ve güneş projesidir. Kojenerasyon ve güneş ile dizayn edilen hibrit enerji üretim sistemi sonucunda tesiste üretilen yıllık 16,5 GWh elektrik ve 10,4 GWh ısı enerjisi sayesinde Sabancı Üniversitesi’nin enerji ihtiyacının %85’lik kısmını karşılamaktadır. Buna ek olarak yıllık CO₂ salımında 67 ton azalma sağlanmıştır [42].

Literatürde Türkiye’de hibrit üretim sistemleri ile ilgili vaka analizlerine ve çalışmalara rastlanmıştır. Kilis’te yazlık bir ev için PV-dizel-pil hibrit sisteminin en uygun kapasitesi için yapılan bir çalışma sonucunda, yenilenebilir enerji kaynağından alınan üretimin toplam üretimdeki payı %84,6 olarak belirlenmiştir. Buna ek olarak, hibrit PV-dizel-pil sistemiyle, 123,39 kg CO, 90,52 kg SO₂, 1100,33 kg NO_x salımının önlendiği görülmüştür [43]. Ankara’da yapılan bir çalışmada, PV-hidrojen hibrit sistemi TRNSYS adlı simülasyon programında incelenmiş, çalışma sonucunda sistemin enerji verimliliği %4,06, ekserji verimliliği %4,25 olduğu

görülmüştür ve sistemin tek başına ihtiyaç duyulan elektrik enerjisini karşılayabileceği sonucu elde edilmiştir [44].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dezavantajlarından biri üretimin hava durumundan doğrudan etkilenmesidir. Hibrit enerji sistemleri ile üretimin sürdürülebilirliği sağlanabilir. Hibrit ya da hibrit olmayan yenilenebilir enerji kaynaklarının yatırımlarında hava durumu analizlerinin de incelenmesiyle birlikte sistemin kurulacağı yerin önemli olduğu söylenebilir. Literatürde bir çalışmada Türkiye’de hibrit yenilenebilir enerji sistemleri için yer seçimi kararında kullanmak üzere metodoloji üzerinde çalışılmıştır. Çalışma sonucunda çıkan haritada (Şekil 3.5) var olan rüzgar türbinlerinin potansiyel güneş-rüzgar hibrit bölgelerine olan uzaklıkları eşitlenmiştir [45].



Şekil 3.5: Var olan rüzgar çiftlikleri ve potansiyel rüzgar-güneş hibrit santral bölgeleri [45].

4. HOMER

4.1 Tanım

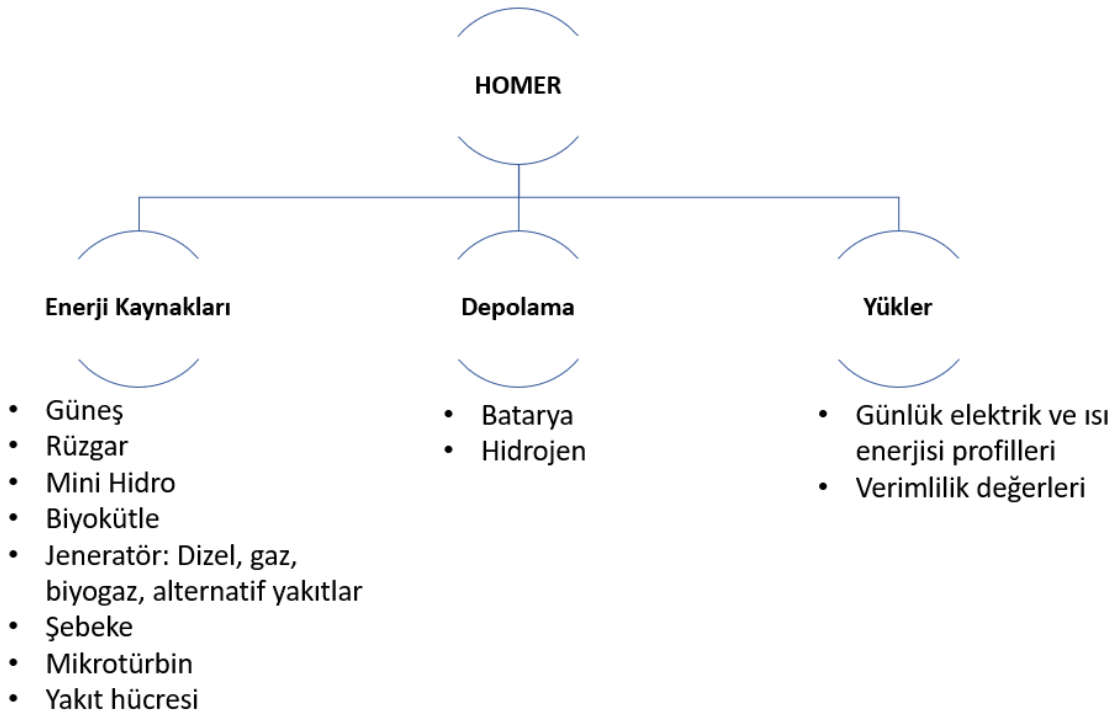
Hibrit sistemlerin tasarlanmasında fizibilite analizlerinin optimum bir şekilde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. HOMER (Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources) Energy programı teknik, ekonomik ve çevresel açıdan yaptığı değerlendirmelerle en uygun şekilde bütünleşmiş olan sistemi, simülasyon sonucu olarak göstermektedir. Programda konvansiyonel sistemler ile birlikte, güneş, rüzgar, biyokütle, hidro, kojenerasyon, yakıt hücresi, piller vb. girdiler kullanılabilir. HOMER bir simülasyon modelidir. Modelde dikkate alınması istenilen tüm kaynak ve üretim sistemlerinin olası tüm kombinasyonlarını simüle edip en iyi değere ulaşmayı amaçlar. HOMER yüzlerce hatta binlerce kombinasyonu simüle edebilmektedir [46].

Simülasyon programında hibrit sistemin kurulacağı konumdaki yenilenebilir enerji kaynağının ölçüm değerleri manuel olarak girilebildiği gibi, internet üzerinden de bu veriler programa otomatik olarak çekilebilmektedir.

Simülasyon programı elde ettiği sonuçları ekonomik açıdan net şimdiki maliyetlerine göre sıralamaktadır. Aynı zamanda sonuçlarda, emisyon değerleri, elektrik ve ısı üretimi için kurulan sistemdeki bileşenlerin hangi oranda kullanıldığı, şebekeden alınan fazla elektriğin şebeke satılan kısımları olup olmadığını göstermektedir.

Simülasyon programı aynı zamanda duyarlılık analizi de yapmaktadır. Rüzgar hızı, yakıt maliyeti gibi değişkenlerin farklılaşmasıyla simülasyon sonucunun nasıl değişeceğini gösterebilmektedir. Böylece binlerce olasılığın karşılaştırmasını tek bir simülasyonda görülebilmesini sağlamaktadır [46].

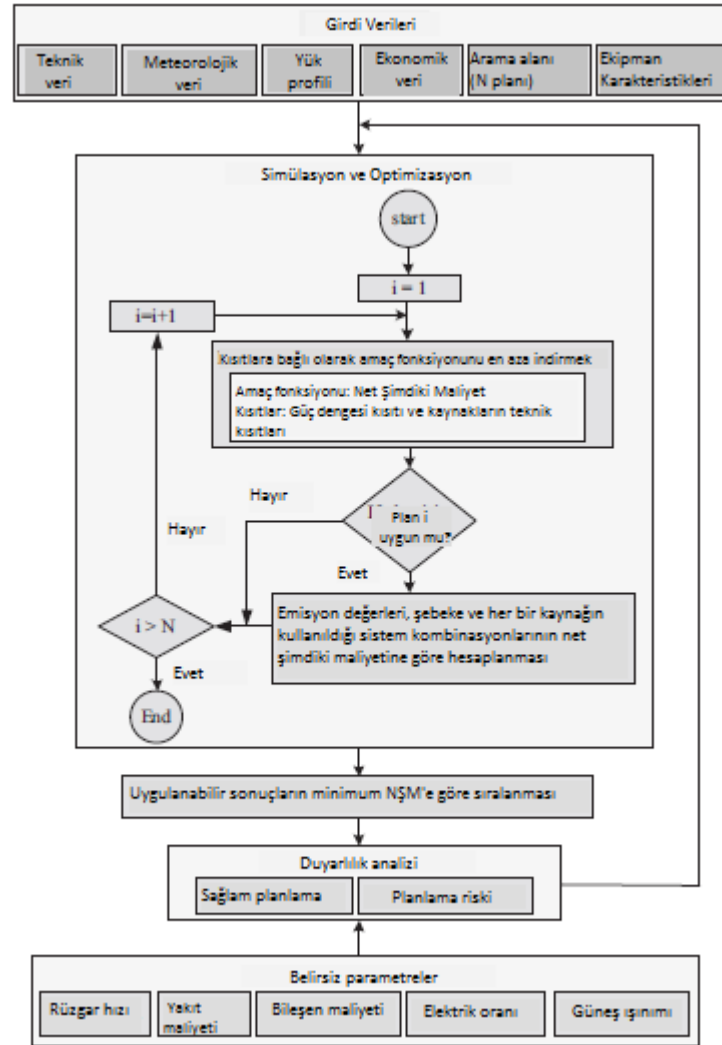
Şekil 4.1’de programın girdi olarak kullandığı veriler, enerji kaynakları, depolama ve yükler olarak 3 ayrı sınıfa ayrılmış şekilde görülmektedir.



Şekil 4.1: HOMER simülasyon girdileri.

Program, proje lokasyonunun meteorolojik verilerini (rüzgar hızı, güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı vb.), incelenen sistemin elektrik/ısı ihtiyacı profilini, sistemde kullanılan ekipmanların karakteristiklerini (türbin verimi, üretim kapasitesi vb.), ekonomik ve teknik verilerini simülasyonda girdi olarak kullanmaktadır. Tüm veriler programa girildikten sonra HOMER farklı alternatifler için farklı senaryoları çalıştırarak bir sonuç elde etmektedir. Elde ettiği sonuçlara ek olarak parametrelerin farklı değerlerine tasarlanan sistemin verdiği cevabı inceleyebilmek adına duyarlılık analizi sonuçlarını da göstermektedir.

Şekil 4.2’de programın optimizasyon süreci görülmektedir [47]. Optimizasyon sürecinde simüle edilen kombinasyonlardan uygulanabilir olanlar net şimdiki maliyetlerine göre küçükten büyüğe doğru sıralanmaktadır. Daha sonra duyarlılık analizleri yapılmaktadır. Yapılan duyarlılık analizleriyle birlikte sistemdeki bileşenlerin farklı değerleri için sonuçların nasıl değişeceğinin görülmesi sağlanmaktadır.



Şekil 4.2: HOMER programı optimizasyon süreci [47].

4.2 Literatür

Shahzad, M. v.d.'nin yaptığı çalışmada, şebekeye bağlı olmayan bölgelere elektrik iletiminin sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında elektrik ihtiyacı, biyokütle ve güneş verileri programda girdi olarak kullanılmıştır. Hibrit sistem güneş+biyokütle olarak tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda, 65.593 kWh/yıl'lık üretimle şebekeden bağımsız hale gelen sistemin geri dönüş süresi 9,5 yıl olarak tahmin edilmiştir [48].

Yapılan bir çalışmada, uzak lokasyonda bulunan yerleşim yerlerine gelen elektrik arzının devamlılığını sağlayabilmek ve şebekenin verimini arttırabilmek adına şebeke, yenilenebilir enerji kullanılarak şebekeyle bütünleştirilmiş bir sistem HOMER programında incelenmiştir. Çalışma sonucunda, enerji üretim maliyetinin 0,145\$/kWh tutarından 0,064\$/kWh tutarına düştüğü görülmüştür [49].

HOMER programında tasarlanan enerji üretim sistemine kojenerasyon gibi birleşik üretim sistemlerini de dahil etmek mümkündür. Sadece kojenerasyon ile yapılabilecek tasarımların yanında kojenerasyon ve diğer enerji kaynaklarını (güneş, rüzgar, biyokütle vb.) birleştirerek bir hibrit enerji üretim sistemi elde etmek de mümkündür.

Literatür araştırmasında görülen çalışmalarda hibrit sistemlerin geleneksel sistemlere göre daha verimli bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Yapılan bir çalışmada güneş paneli ile birlikte çalışan mikro kojenerasyon sistemi, güneş paneli olmadan çalışan bir sistem ile karşılaştırılmış ve sonucunda hibrit sistemin enerji üretim verimliliğinin daha yüksek üretim maliyetinin de daha düşük olduğu görülmüştür [50]. Hibrit enerji sistemlerinin sistem maliyetlerini düşürdükleri de yapılan araştırmalarda gözlemlenmiştir. Rüzgar ve güneş enerjisi ile tasarlanan bir hibrit sistemin HOMER programında simüle edilmesi sonucunda, sistemin toplam maliyetinin (yatırım, bakım, onarım ve yerine koyma maliyetleri dahil) %17,1 azaldığı görülmüştür [51].

4.3 Simülasyonda Kullanılan Hesaplamalar

HOMER fotovoltaiik sistemin güç çıktısını aşağıdaki formüle göre hesaplamaktadır [46].

$$P_{PV} = Y_{PV} f_{PV} \left(\frac{\overline{GT}}{\bar{G}_{T,STC}} \right) [1 + \alpha_P (T_c - T_{c,STC})] \quad (4.1)$$

Y_{PV} : standart test koşullarında* fotovoltaiik nominal güç (kW)

f_{PV} : Akım taşıma indirgeme faktörü (%)

$\overline{GT}$: Fotovoltaiik yüzeydeki anlık ışıma (kW/m²)

$\bar{G}_{T,STC}$: Standart test koşullarında anlık ışıma (1 kW/m²)

α_P : Gücün sıcaklık katsayısı (%/°C)

T_c : Geçerli zamandaki fotovoltaiik hücre sıcaklığı (°C)

$T_{c,STC}$: Standart test koşullarında fotovoltaiik hücre sıcaklığı (25 °C)

* standart test koşulları: radyasyon değeri 1 kW/m², hücre sıcaklığı 25 °C, rüzgar yok

Eğer model fotovoltaiik yüzey üzerindeki sıcaklıktan etkilenmeyecek şekilde kurulursa, HOMER sıcaklık katsayısını 0 olarak kabul etmekte ve hesaplamayı ona göre yapmaktadır.

HOMER’da gerçekleşen simülasyonlar sonucunda senaryolar Net Şimdiki Maliyet’e göre sıralanmaktadır. HOMER Net Şimdiki Maliyet hesabı ve ana paranın geri kazanım faktörü aşağıdaki formülü kullanarak yapmaktadır [52].

$$NPC(\$) = \frac{TAC}{CRF} \quad (4.2)$$

$NPC(\$)$: net şimdiki maliyet

TAC : toplam yıllık maliyet

CRF : anapara geri kazanım faktörü

Anapara geri kazanım faktörü ise aşağıdaki formüle göre hesaplanmaktadır.

$$CRF(\$) = \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1} \quad (4.3)$$

N : yıl sayısı

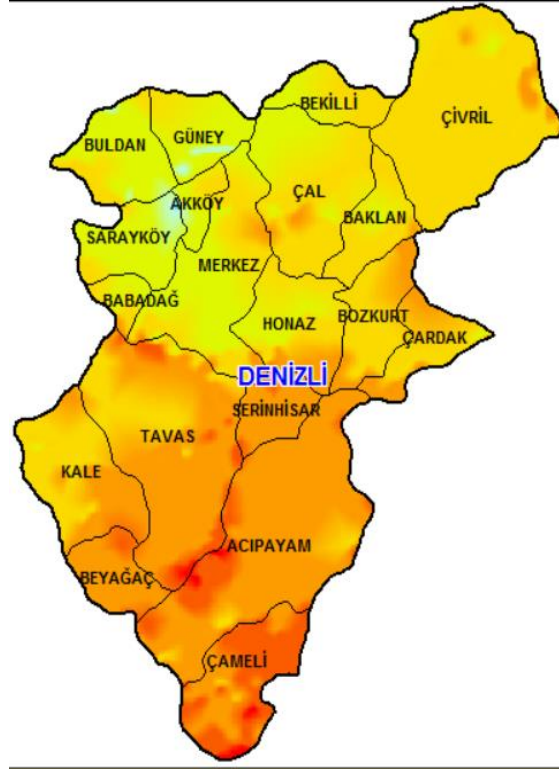
i : yıllık reel faiz oranı (%)

Simülasyon programı ara yüzünde bulunan bu hesaplama yöntemleriyle çalıştırdığı simülasyon sonuçlarını paylaşmaktadır. Sistemi tasarlayan için üretim kaynaklarının enerji üretimindeki payı da sonuç olarak görülebilmektedir.

5. UYGULAMA

5.1 Simülasyon Girdileri

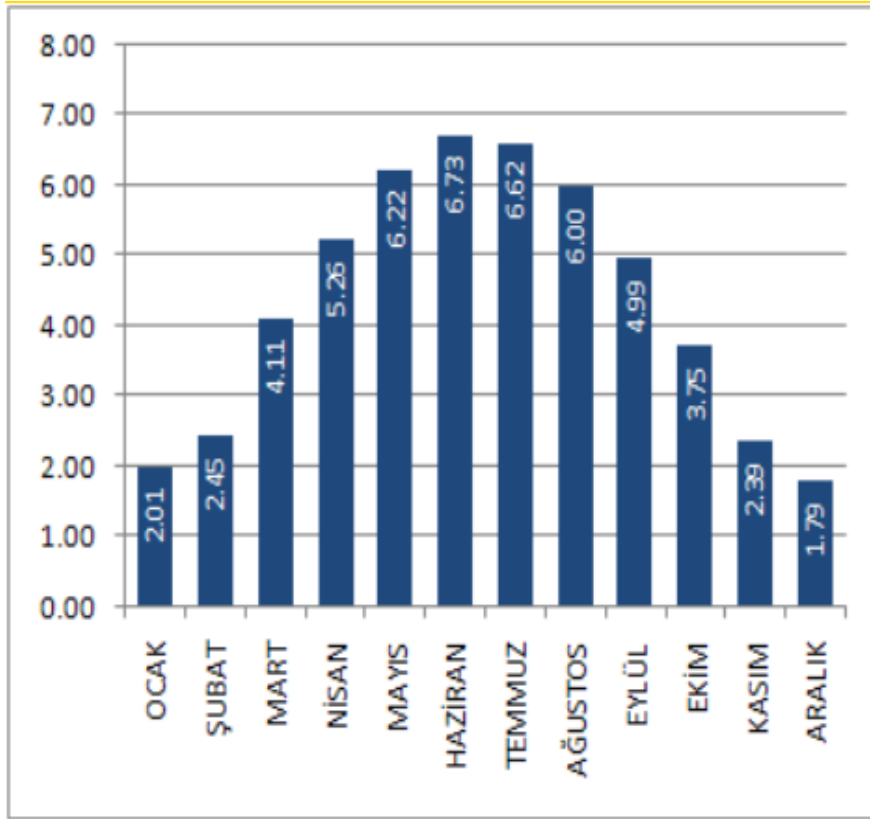
Tez kapsamında yapılan uygulamada Denizli ilinde bulunan toplam kurulu gücü 12 MW olan bir kojenerasyon tesisi seçilmiştir. Şekil 5.1’de görülen Denizli ili güneş enerjisi potansiyel atlasına göre, ilin Akdeniz’e yakın olan güney kesimleri kuzey kesimlerine göre daha fazla güneş almaktadır. Bu kesimlerdeki güneş ışıınım değerleri kuzey kesimlere göre daha fazladır ve potansiyel güneş santralleri için daha verimli lokasyonlar olduğu söylenebilir.



Şekil 5.1: Denizli ili güneş enerjisi potansiyel atlası [39]

HOMER programına, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3’te görülen, Denizli ili global radyasyon değerleri ve Denizli ili güneşlenme süreleri değerleri girilmiştir. Araştırma sırasında kuzey ya da güney bölgelerin farkına göre ayrıştırılmış radyasyon değerlerinin

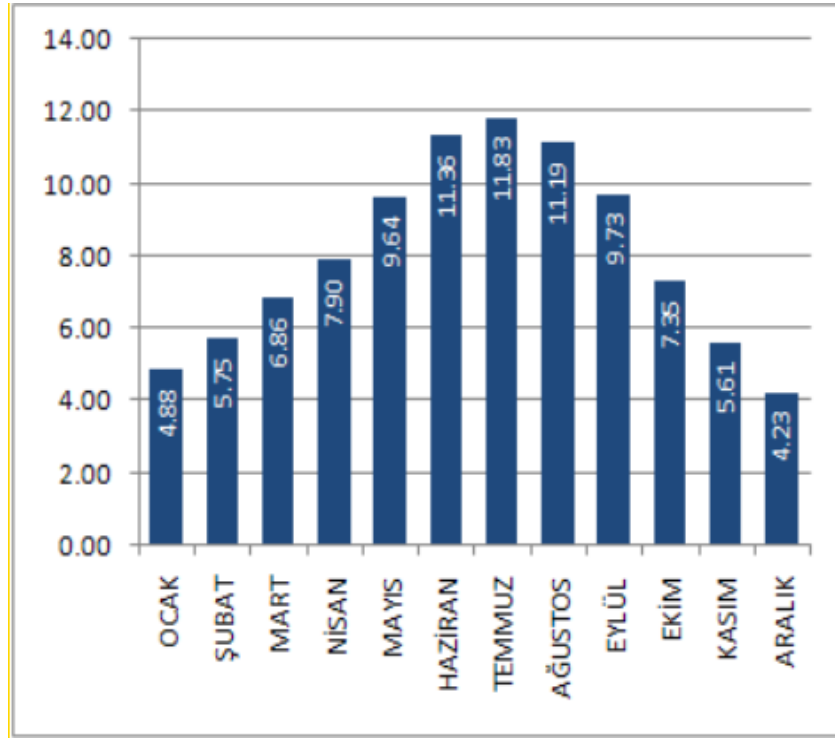
olmadığı görülmüştür. Bu sebeple Denizli ilinin geneli için değerler simülasyon programına girilmiştir. Güneş enerjisi kullanılarak işletilecek olan santrallerin kurulum sürecinden önce ilgili lokasyona özel olarak ölçümler yapılmakta ve fizibilite çalışmaları da buna göre gerçekleştirilmektedir.



Şekil 5.2: Denizli ili global radyasyon değerleri (kWh/m²-gün) [39].

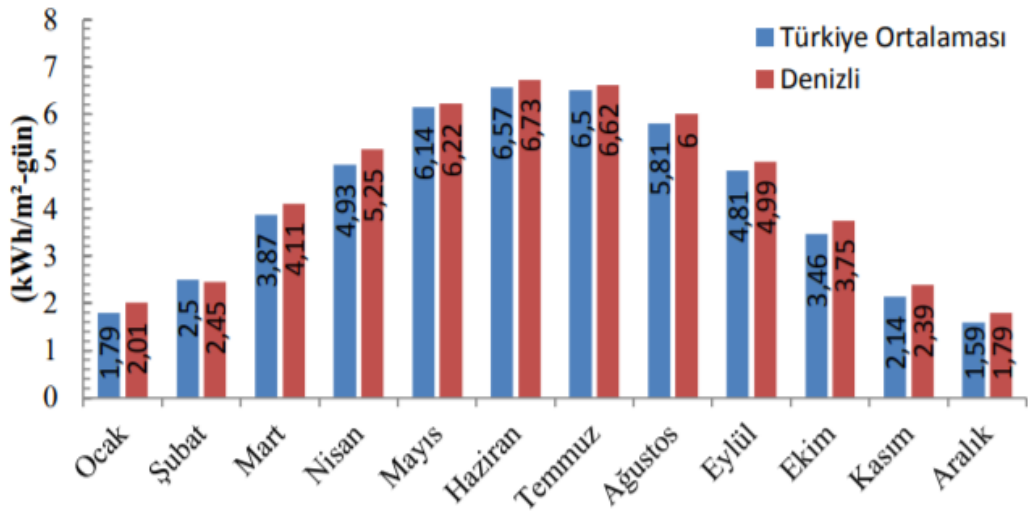
Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'ten de görülebileceği gibi, Denizli iline ait global radyasyon değerlerinde ve güneşlenme sürelerinde en yüksek değerler, yaz ayları olan Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleşmektedir.

Tasarlanacak olan güneş+kojenerasyon hibrit enerji üretim sisteminde güneş enerjisinin doğal gaz tüketimini azaltmadaki etkisinin de üretimin pik değerlere ulaştığı Haziran ve Temmuz aylarında gerçekleşeceği öngörülebilir. Yenilenebilir enerji kaynağının kaynak miktarı ve kaynağın kullanım verimi ne kadar yüksek olursa fosil yakıta olan bağımlılık da o kadar azaltılabilecektir. Hibrit sitemde doğal gaz kullanımının çok olacağı ayların da güneşin radyasyon değerinin az olduğu kış mevsimindeki aylar olan Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat olacağı öngörülebilir.

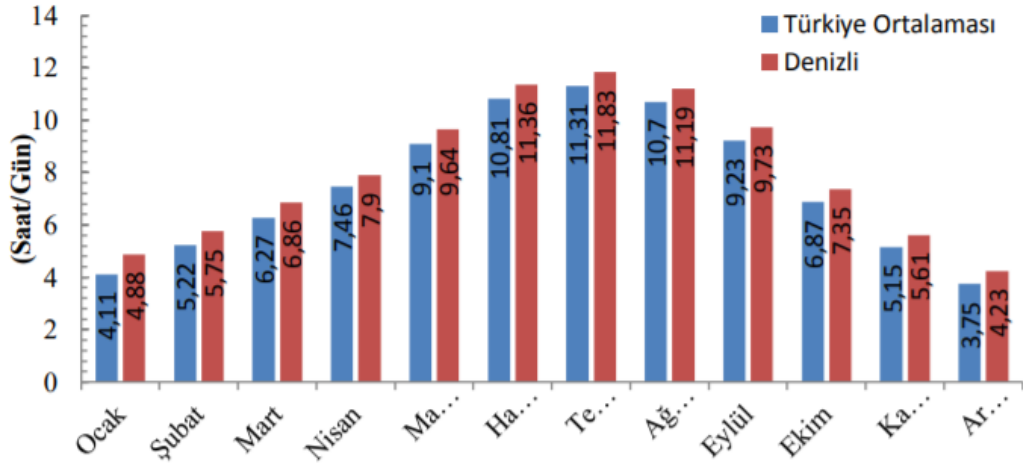


Şekil 5.3: Denizli ili güneşlenme süreleri (Saat) [39].

Hibrit enerji üretim santrallerinin tasarımında kullanılacak olan yenilenebilir enerji kaynağının seçiminde, var olan kaynak kullanım potansiyeli ne kadar yüksek olursa, sistem içinde yenilenebilir enerji kaynağı kapasite kullanım oranı da o kadar yüksek olacaktır. Şekil 5.4'te ve Şekil 5.5'te Denizli ilinin global radyasyon değerleri ve güneşlenme sürelerinin Türkiye ortalaması ile karşılaştırılmış hali görülmektedir [53].



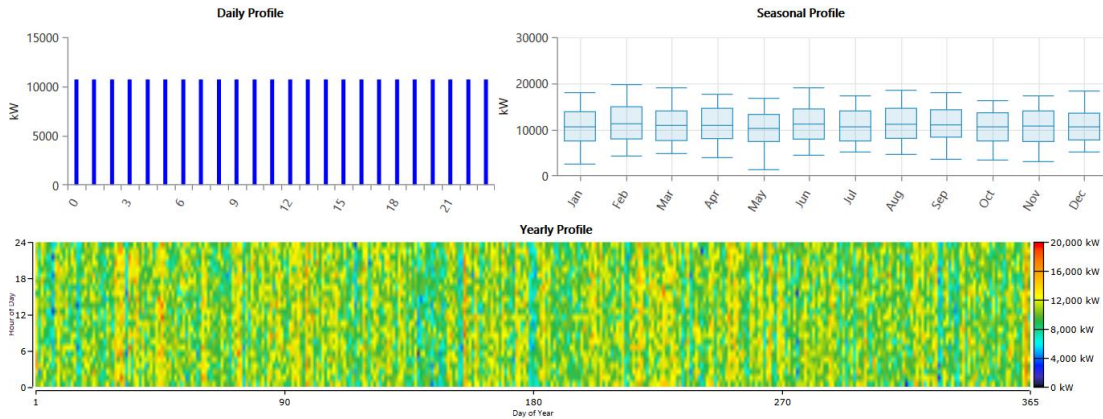
Şekil 5.4: Denizli global radyasyon değerlerinin Türkiye ortalaması ile karşılaştırılması [53]



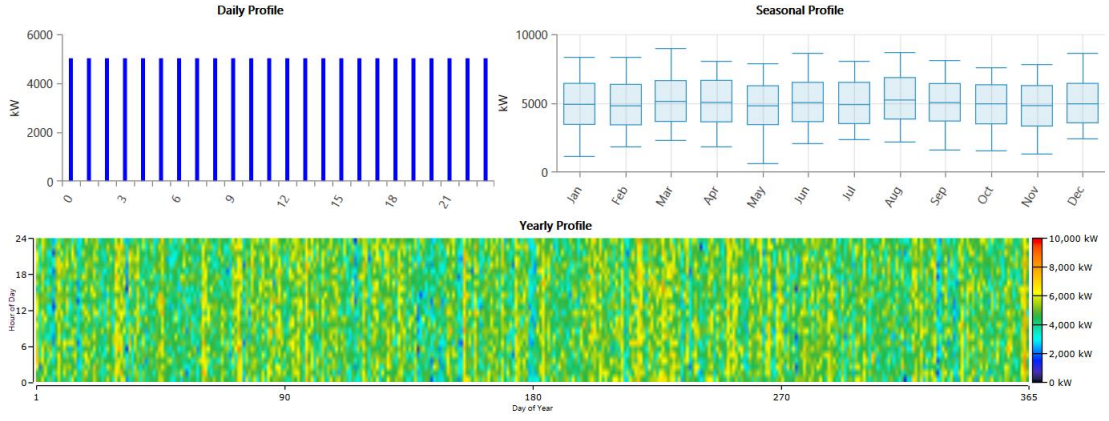
Şekil 5.5: Denizli güneşlenme sürelerinin Türkiye ortalaması ile karşılaştırılması [53].

Güneş potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan ölçeklerden olan global radyasyon değerleri ve güneşlenme sürelerinin Denizli için Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te görülmektedir. Türkiye'nin ortalama güneşlenme süresi 2640 saat/yıl olmasına karşın bu değer Denizli ilinde 2934 saat/yıl düzeyindedir. Yani Türkiye ortalamasından yaklaşık %11 daha fazla güneşlenmektedir [53]. Bu sayısal değerler, güneş ve kojenerasyon hibrit sistemi için yapılacak çalışmada Denizli ilinin seçilmesinde önemli rol oynamıştır.

Simülasyon için kullanılan elektrik üretim santralinin elektrik ve ısı ihtiyacı profilleri Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.6: Aylık elektrik ihtiyacı profili



Şekil 5.7: Aylık ısı ihtiyacı profili

Santralde Wartsila 18V34SG gaz motorları kullanılmaktadır. Toplamda 1200 kW olacak şekilde 2 tane 600 kW güce sahip motorlarla üretim yapılmaktadır. HOMER simülasyon programında da santralin var olan durumda kullandığı motorlar kullanılmıştır.

Simülasyonda kullanılan güneş panellerinin kurulu gücü, 0 ile 3500 kW arasında olacak şekilde aşamalı şekilde tanımlanmıştır. Bu şekilde program simülasyonda farklı kapasitelerdeki güneş panelleri ile farklı modeller çalıştırabilmektedir. Simülasyon sonucunda da güneş paneli için optimum kapasite miktarı görülebilmektedir.

Yapılan çalışmada var olan piyasa girdileri ile bir senaryonun simülasyonu gerçekleştirildikten sonra duyarlılık analizi yapılmış 2 farklı senaryo daha simüle edilip sonuçları değerlendirilmiştir. Duyarlılık analizinde değişken olarak şebeke elektrik fiyatı ve elektrik üretimi amacıyla kullanılan doğal gaz fiyatı kullanılmıştır. Senaryo 1, piyasadaki, elektrik üretimi amacıyla kullanılan doğal gaz fiyatı ve şebeke elektrik fiyatının girdi olarak kullanıldığı senaryodur. Senaryo 2, şebeke elektrik satış fiyatının daha yüksek olması durumunu incelemek amacıyla, Senaryo 3 ise doğal gaz fiyatının daha düşük olması durumunu incelemek amacıyla duyarlılık analizi senaryoları olarak çalışma kapsamına alınmıştır.

Şebeke elektrik satış fiyatının maliyetleri kurtarmadığı durumlarda simülasyon optimum çözüm olarak şebekeden elektrik almayı önermektedir. Uygulamanın yapıldığı elektrik üretim santralinde elektriğin şebekeden alınması durumunda YEKDEM ve dengesizlik maliyetleri gibi maliyetler piyasa takas fiyatının üzerine eklenmektedir. 2018 ve 2019'un gerçekleşen aylarında piyasadaki ortalama

maliyetlere bakılıp yapılan çalışma sonucunda simülasyon için şebeke fiyatına 0,02 cent eklenerek çıkan rakam şebeke alış fiyatı girdisi olarak kullanılmıştır.

Çizelge 5.1’de HOMER programında modellenen sistemin tüm senaryolar için kullanılan bileşenlerinin maliyeti, Çizelge 5.2’de 3 farklı senaryonun simülasyonda girdi olarak kullanılan ekonomik detayları, Çizelge 5.3’te sistemdeki bileşenlerin kapasite aralıkları görülmektedir.

Çizelge 5.1: Modellenen hibrit üretim sisteminin bileşenlerinin maliyeti

Bileşen	Yatırım Maliyeti	Yenileme Maliyeti	Bakım&Onarım Maliyeti	Ömür
Fotovoltaik Modül	1000 \$/kW	500 \$/kW	10 \$/yıl	25 yıl
Gaz motoru	700 \$/kW	-	0,016 \$/saat	26500 saat
Güç Konvertörü	300 \$/kW	300 \$/kW	-	15 yıl

Çizelge 5.2: Ekonomik detaylar

Parametre	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Doğal Gaz Fiyatı	0,29 \$/m3	0,29 \$/m3	0,20 \$/m3
Yıllık nominal iskonto oranı	3%	3%	3%
Şebeke satış fiyatı	0,050 \$/kWh	0,07 \$/kWh	0,05 \$/kWh
Şebeke alış fiyatı	0,07 \$/kWh	0,09 \$/kWh	0,07 \$/kWh

Çizelge 5.3: Bileşenlerin kapasiteleri

Bileşen	Aralık
Fotovoltaik panel	0-3500 kW
Gaz Motoru	0-1200 kW
Konvertör	0-4000 kW

Simülasyondaki hibrit üretim sistemi, şebekeden elektrik alımı, güneş paneli ve 2x600 kW güce sahip gaz motorları ile üretim yapan kojenerasyon santralini içermektedir. Santralin elektrik ve ısı ihtiyacını karşılayacak olan optimum sonuç aranmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ile birleştirilmiş fosil yakıtlı enerji üretim sistemlerinin, konvansiyonel üretim sistemlerine göre avantajları incelenmiştir. Şekil 5.8’de HOMER simülasyon programında kurulan hibrit sistemin tasarımı görülmektedir.

Optimum sonuca ulaşmak için kullanacağı tasarımda enerji kaynakları şebeke, kojenerasyon ve güneş olarak belirlenmiştir. Şekil 5.8’de görülen sistem

The diagram illustrates a power system with two main buses: AC and DC. The AC bus is connected to the Grid, Other electric (light bulb), and a Converter. The DC bus is connected to the PV (solar panel) and the Converter. The Converter is a bidirectional device. The AC bus also feeds a boiler (flame icon) and is connected to a battery (battery icon). The DC bus is connected to a battery (battery icon). The system is powered by the Grid, Other electric, PV, and the boiler. The AC bus has a capacity of 34000.00 kWh/d and 2561.55 kW peak. The DC bus has a capacity of 53000.00 kWh/d and 3953.01 kW peak. The battery is labeled with a red '2'.

Her bir senaryo girdisi için elde edilen optimum sonuçlar kendi içlerinde ve senaryolar birbirleriyle olacak şekilde karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında HOMER simülasyon programında üç farklı senaryo incelenmiştir. Piyasada var olan elektrik ve doğal gaz fiyatlarıyla oluşturulan Senaryo 1'in simülasyon çıktıları ve duyarlılık analizi kapsamında yapılan Senaryo 2 ve Senaryo 3'ün çıktıları ayrıntılı bir şekilde açıklanmış, her bir senaryo kendi içinde hibrit sistem ve kojenerasyon sistem olarak ekonomik ve emisyon değerleriyle karşılaştırılmış, daha sonra da üç senaryonun hibrit üretim sistemlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Senaryo 1, şu anda var olan doğal gaz fiyatı (0,29 \$/Sm³) ve şebeke elektrik fiyatı (şebeke satış 0,05 \$/kWh, şebeke alış 0,07 \$/kWh) girdileriyle gerçekleştirilmiş senaryodur. Simülasyon sonucunda net şimdiki maliyeti en düşük elektrik üretim sistemi 389 milyon dolar ile sadece güneş enerjisi ve şebeke ile çalışan sistem olduğu görülmüştür. Daha sonra 393 milyon dolar ile güneş+kojenerasyon hibrit üretim sistemi gelmektedir. Sadece kojenerasyon sistemin net şimdiki değeri ise simülasyon sonucuna göre 488 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.4'te Senaryo 1

girdileriyle elde edilen sonuçların ekonomik karşılaştırması görülmektedir. Karşılaştırmada hibrit enerji üretim sistemi ile kojenerasyon ile üretim yapan sistem sonuçları değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.4: Senaryo 1 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması

Çıktılar	Hibrit	Kojen
Net Şimdiki Maliyet (\$)	393.430.800	487.687.900
Yıllık Yakıt Tüketimi (m ³)	2.304.691	2.304.691
İskontolu Geri Dönüş Süresi (yıl)	10,89	-
Şebekeden Satın Alınan Enerji (kWh/yıl)	8.571.424	12.410.000

Simülasyon sonuçlarına göre şebekeyle birlikte güneş+kojenerasyon hibrit üretim sisteminde şebekeden alınan enerji miktarı yıllık 8.571.424 kWh iken, sadece kojenerasyonla üretim yapıp şebekeden alım yapan sistemde satın alınan enerji miktarı 12.410.000 kWh olmuştur (Çizelge 5.4). Bu senaryoya göre hibrit sistemde kojenerasyon sisteme göre yılda %31 oranında şebekeden alınan enerjide düşüş görülmektedir. İskontolu geri dönüş sürelerine bakıldığında hibrit sistemin 10,89 yıl olduğu, kojenerasyon sistem içinse bir değer olmadığı görülmektedir (Çizelge 5.4). Var olan piyasa koşullarında sadece kojenerasyonla üretim yapmanın ilk yatırım maliyetini karılayacak nakit akışını sağlayamadığı sonucu çıkarılabilir. Hibrit sistemde elektrik üretimi %38,30 yenilenebilir, %61,7 şebeke olacak şekilde dağılmıştır (Çizelge 5.5). Simülasyon sonucuna göre, var olan piyasa koşullarında üretim sisteminde gaz motorları çalıştırılmamış, hibrit sistemde yenilenebilir kaynak dışındaki miktar şebekeden, kojenerasyon sistemde de miktarın tamamı şebekeden karşılanmıştır. Hem hibrit hem de kojenerasyon sistemde gaz motorlarının çalıştırılmayıp elektriğin şebekeden satın alınması sonucuna göre şu anda piyasada var olan şebeke satış fiyatlarının doğal gaz ile elektrik üretim maliyetini karşılamadığı sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 5.5: Senaryo 1 kaynaklara göre elektrik üretimi

Elektrik Üretiminde Kaynaklar	Hibrit	Kojen
Yenilenebilir Payı	38,30%	0%
Gaz Motoru Payı	0%	0%
Şebeke Payı	61,7%	100%

Yenilenebilir enerji kaynakları ile hibrit enerji üretim sistemleri, ekonomik kazanımlarının yanında sera gazı salımlarını azaltarak çevreye de olumlu katkı

sağlamaktadır. Senaryo 1'in simülasyon sonucuna göre hibrit üretim sisteminde CO₂ emisyonu yılda 9.890.007 kg, SO₂ emisyonu yılda 35.502 kg, NO_x emisyonu yılda 11.486 kg çıkmıştır (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6: Senaryo 1 güneş+kojen hibrit üretim sistemi emisyon değerleri

Madde	Miktar	Birim
Karbon Dioksit	9.890.007	kg/yıl
Karbon Monoksit	0	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	0	kg/yıl
Parçacıklı Madde	0	kg/yıl
Sülfür Dioksit	35.502	kg/yıl
Azot Oksitleri	11.486	kg/yıl

Simülasyon sonucunda konvansiyonel sistemin CO₂ emisyonu yılda 12.315.987 kg, SO₂ emisyonu yılda 46.020 kg, NO_x emisyonu yılda 16.629 kg çıkmıştır (Çizelge 5.7).

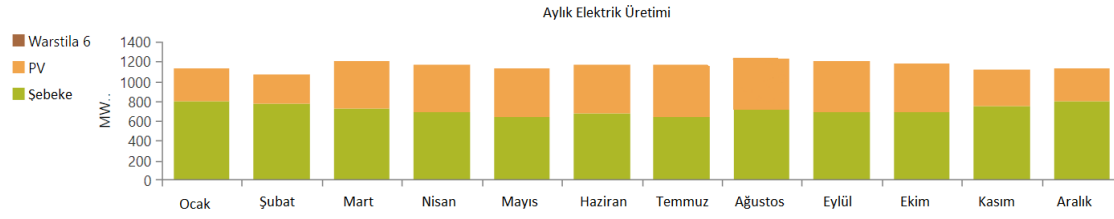
Çizelge 5.7: Senaryo 1 kojenerasyon üretim sistemi emisyon değerleri

Madde	Miktar	Birim
Karbon Dioksit	12.315.987	kg/yıl
Karbon Monoksit	0	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	0	kg/yıl
Parçacıklı Madde	0	kg/yıl
Sülfür Dioksit	46.020	kg/yıl
Azot Oksitleri	16.629	kg/yıl

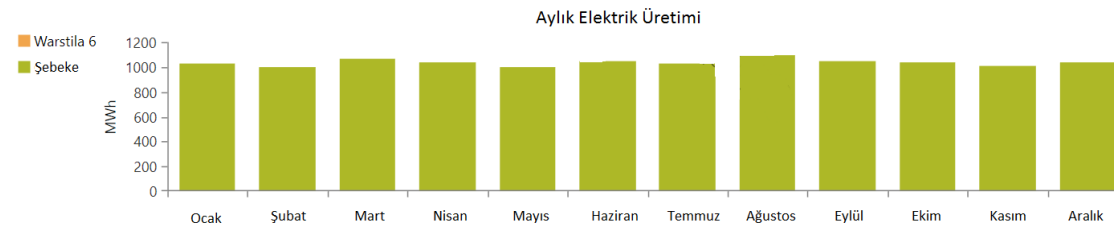
Senaryo 1 için kojenerasyon üretim sistemi ile güneş+kojenerasyon hibrit üretim sistemi sera gazı emisyonları açısından karşılaştırıldığında hibrit üretim sisteminin daha az sera gazı emisyonuna sebep olduğu simülasyon çıktısı olarak görülmektedir. Hibrit üretim sistemi ile yılda toplamda 2.441.641 kg daha az sera gazı emisyonu gerçekleşmektedir.

Şu anda Türkiye'de var olan piyasa koşullarında doğal gaz ile üretim yapan santrallerin üretim maliyeti ile elektrik için piyasada oluşan takas fiyatı arasında santrallerin maliyetini karşılayacak kadar bir fark bulunmamaktadır. Bu durum santralleri, ihtiyaç duyduğu elektriği üretmek yerine şebekeden satın almaya itmektedir. Piyasa koşullarının girdi olarak kullanıldığı Senaryo 1 için HOMER simülasyon programından alınan sonuçlara göre de aylık ortalama elektrik üretiminde büyük payı şebekenin aldığı görülmüştür. Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da hibrit

sistem ve kojenerasyon sistem için aylık elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılım grafikleri görülmektedir.



Şekil 5.9: Aylara göre hibrit üretim sistemi ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.10: Aylara göre kojenerasyon sistemi ortalama elektrik üretimi

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'dan da görülebileceği gibi hem hibrit hem de kojenerasyon sistemde Wartsila gaz motorlarının elektrik üretimindeki payı 0'dır.

Senaryo 1'in simülasyonundan, hibrit üretim sisteminin kojenerasyon ile üretim yapan sisteme göre ekonomik açıdan ve sera gazı emisyonları açısından daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

5.2.2 Senaryo 2

Senaryo 2'de ilk senaryodan farklı olarak şebeke elektrik satış fiyatı 0,05 \$/kWh yerine 0,07 \$/kWh, şebeke alış fiyatı 0,07 \$/kWh yerine 0,09 \$/kWh olarak alınmıştır. Simülasyonda da yüksek elektrik fiyatı girdisi sonrasında sonuçların nasıl etkilendiği analiz edilmiştir.

Simülasyon sonucunda net şimdiki maliyeti en düşük elektrik üretim sistemi, 391 milyon dolar ile güneş+kojenerasyon ve şebeke ile çalışan hibrit sistemi olmuştur. Sadece kojenerasyon sistemin net şimdiki maliyeti ise simülasyon sonucuna göre 499 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.8'de Senaryo 2 girdileriyle elde edilen sonuçların ekonomik karşılaştırması görülmektedir.

Çizelge 5.9: Senaryo 2 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması

Çıktılar	Hibrit	Kojen
Net Şimdiki Maliyet (\$)	390.567.300	498.789.000
Yıllık Yakıt Tüketimi (m ³)	9.217.006	10.630.657
İskontolu Geri Dönüş Süresi (yıl)	7,77	8,71
Şebekeden Satın Alınan Enerji (kWh/yıl)	1.002.344	1.274.481

Simülasyon sonuçlarına göre şebekeyle birlikte güneş+kojenerasyon hibrit üretim sisteminde şebekeden alınan enerji miktarı yıllık 1.002.344 kWh iken, sadece kojenerasyonla üretim yapıp şebekeden alım yapan sistemde satın alınan enerji miktarı 1.274.481 kWh olmuştur (Çizelge 5.8). Şebekeden satın alınan enerji miktarında hibrit sistem kullanımıyla birlikte %21 oranında bir düşüş sağlanmıştır. Senaryo 2 simülasyon sonuçlarına göre hibrit sistemin iskontolu geri dönüş süresi 7,77 yıl olurken, kojenerasyon ile üretim yapan sistemin iskontolu geri dönüş süresi 8,71 yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.8). Hibrit sistemin daha kısa sürede geri dönüş sağladığı görülmüştür. Hibrit sistemde elektrik üretimi %12,20 yenilenebilir, %85,5 Wartsila gaz motoru ve %2,3 şebeke olacak şekilde dağılmıştır (Çizelge 5.9). Simülasyon sonucuna göre, kojenerasyon sistemin kaynaklara göre elektrik üretimindeki pay dağılımı %97,2 Wartsila gaz motoru, %2,78 şebeke şeklindedir.

Çizelge 5.10: Senaryo 2 kaynaklara göre elektrik üretimi

Elektrik Üretiminde Kaynaklar	Hibrit	Kojen
Yenilenebilir Payı	12,20%	0%
Gaz Motoru Payı	85,5%	97,2%
Şebeke Payı	2,3%	2,78%

Senaryo 2'nin simülasyon sonucuna göre hibrit üretim sisteminde CO₂ emisyonu yılda 18.417.459 kg, SO₂ emisyonu yılda 49.766 kg, NO_x emisyonu yılda 505.109 kg çıkmıştır (Çizelge 5.10). Wartsila gaz motorlarının bu senaryoda çalışması sebebiyle diğer gazlar için emisyon değerleri de yine Çizelge 5.10'dan görülebilmektedir.

Çizelge 5.11: Senaryo 2 güneş+kojen hibrit üretim sistemi emisyon değerleri

Madde	Miktar	Birim
Karbon Dioksit	18.417.459	kg/yıl
Karbon Monoksit	56.457	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	6.254	kg/yıl
Parçacıklı Madde	4.256	kg/yıl
Sülfür Dioksit	49.766	kg/yıl
Azot Oksitleri	505.109	kg/yıl

Simülasyon sonucunda kojenerasyon sistemin CO₂ emisyonu yılda 21.312.542 kg, SO₂ emisyonu yılda 57.679 kg, NO_x emisyonu yılda 604.570 kg çıkmıştır (Çizelge 5.11). Kojenerasyonla üretim yapan sistemde gaz motorları bu senaryoda çalıştığı için diğer gazların emisyon değerleri Çizelge 5.10'daki gibidir.

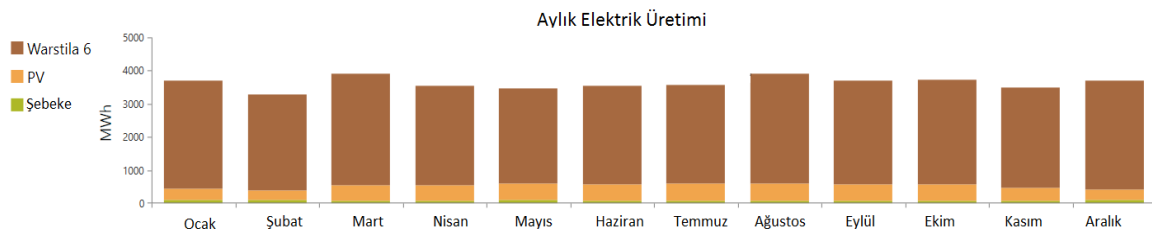
Çizelge 5.12: Senaryo 2 kojenerasyon üretim sistemi emisyon değerleri

Madde	Miktar	Birim
Karbon Dioksit	21.312.542	kg/yıl
Karbon Monoksit	67.562	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	7.484	kg/yıl
Parçacıklı Madde	5.093	kg/yıl
Sülfür Dioksit	57.679	kg/yıl
Azot Oksitleri	604.570	kg/yıl

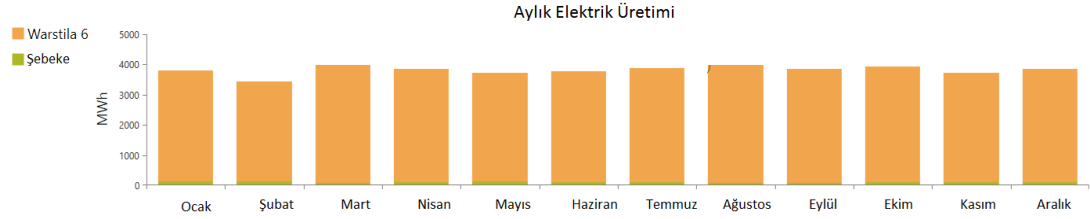
Senaryo 2'de hem hibrit sistemde hem de kojenerasyon sistemde gaz motorları çalışmaktadır. Sera gazı emisyonlarının toplam tutarlarının karşılaştırmasına bakıldığında, Senaryo 2'nin simülasyon sonucuna göre, hibrit üretim sistemi ile yılda 3.015.629 kg daha az emisyonu sebep olmaktadır.

Senaryo 2 için HOMER simülasyon programından alınan sonuçlara göre de aylık ortalama elektrik üretiminde gaz motorlarının ilk senaryonun aksine önemli payları olduğu görülmüştür. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de hibrit sistem ve kojenerasyon sistem için aylık elektrik üretim grafikleri görülmektedir.

Hibrit sistemde ve kojenerasyonla üretim yapan sistemde gaz motorlarının elektrik üretiminde Senaryo 2'de ilk senaryoya göre daha fazla paya sahip olması şebekedeki elektrik satış ve alış fiyatının enerji üretim stratejisi üzerindeki etkisini göstermektedir. Piyasadaki fiyatın Senaryo 1'dekinden daha fazla olması gaz motorlarının maliyetlerini karşıladığından, üretimdeki payları Senaryo 1'e göre daha yüksektir.



Şekil 5.11: Aylara göre hibrit üretim sistemi ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.12: Aylara göre kojenerasyon sistemi ortalama elektrik üretimi

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’den de görülebileceği gibi hem hibrit hem de kojenerasyon sistemde Wartsila gaz motorları elektrik üretiminde pay sahibidir. Senaryo 1 ile karşılaştırıldığında gaz motorlarının payının çok daha yüksek olduğu gözükmemektedir. Gaz motorlarının payının yüksek olmasıyla birlikte hem hibrit hem de kojenerasyon ile üretim yapan sistemlerde şebekeden alınan miktarların Senaryo 1’e göre çok daha az olduğu görülmektedir.

Senaryo 2’nin simülasyonundan, hibrit üretim sisteminin kojenerasyon ile üretim yapan sisteme göre ekonomik açıdan ve sera gazı emisyonları açısından daha iyi olduğu sonucu elde edilmiştir.

5.2.3 Senaryo 3

Senaryo 3’te ilk senaryodan farklı olarak elektrik üretimi amaçlı kullanılan doğal gaz fiyatı girdisi değiştirilmiştir. Şebeke elektrik satış fiyatı ilk senaryodaki gibi 0,05 \$/kWh, şebeke elektrik alım fiyatı 0,07 \$/kWh, doğal gaz fiyatı ise 0,20 \$/m³ olarak alınmıştır. Simülasyonda da düşük doğal gaz fiyatı girdisi sonrasında sonuçların nasıl etkilendiği analiz edilmiştir.

Simülasyon sonucunda net şimdiki maliyeti en düşük elektrik üretim sistemi, 311 milyon dolar ile güneş+kojenerasyon ve şebeke ile çalışan hibrit üretim sistemi olmuştur. Kojenerasyon ve şebeke üretim sisteminin net şimdiki maliyeti 396 milyon dolar olarak hesaplanmıştır. Çizelge 5.12’de Senaryo 3 girdileriyle elde edilen sonuçların ekonomik karşılaştırması görülmektedir.

Çizelge 5.13: Senaryo 3 simülasyon sonuçlarının ekonomik karşılaştırması

Çıktılar	Hibrit	Kojen
Net Şimdiki Maliyet (\$)	311.110.900	396.272.600
Yıllık Yakıt Tüketimi (m ³)	6.398.029	8.264.773
İskontolu Geri Dönüş Süresi (yıl)	10,01	13,72
Şebekeden Satın Alınan Enerji (kWh/yıl)	2.949.566	3.759.948

Simülasyon sonuçlarına göre şebekeyle birlikte güneş+kojenerasyon hibrit üretim sisteminde şebekeden alınan enerji miktarı yıllık 2.949.566 kWh iken, sadece kojenerasyonla üretim yapıp şebekeden alım yapan sistemde satın alınan enerji miktarı 3.759.948 kWh olmuştur (Çizelge 5.12). Böylece hibrit sistem kullanılan sistemde şebekeden alınan enerjide kojenerasyonla üretim yapan sisteme göre %22 oranında düşüş sağlanmıştır. Senaryo 3'ün simülasyon sonucuna göre hibrit sistemin iskontolu geri dönüş süresi 10,01 yıl, kojenerasyonla üretim yapan sistemin iskontolu geri dönüş süresi 13,72 yıl olarak hesaplanmıştır (Çizelge 5.12). Hibrit sistemde elektrik üretimi %17,40 yenilenebilir, %73 Wartsila gaz motoru ve %9,6 şebeke olacak şekilde dağılmıştır (Çizelge 5.13). Simülasyon sonucuna göre, kojenerasyon sistemin kaynaklara göre elektrik üretimindeki pay dağılımı %89,6 Wartsila gaz motoru, %10,4 şebeke şeklindedir.

Çizelge 5.14: Senaryo 3 kaynaklara göre elektrik üretimi

Elektrik Üretiminde Kaynaklar		
Yenilenebilir Payı	17,40%	0%
Gaz Motoru Payı	73%	89,6%
Şebeke Payı	9,6%	10,4%

Senaryo 3'ün simülasyon sonucuna göre hibrit üretim sisteminde CO₂ emisyonu yılda 14.218.645 kg, SO₂ emisyonu yılda 40.817 kg, NO_x emisyonu yılda 306.764 kg çıkmıştır (Çizelge 5.14). Wartsila gaz motorlarının bu senaryoda çalışması sebebiyle diğer gazlar için emisyon değerleri de yine Çizelge 5.14'ten görülebilmektedir.

Çizelge 5.15: Senaryo 3 güneş+kojen hibrit üretim sistemi emisyon değerleri

Madde	Miktar	Birim
Karbon Dioksit	14.218.645	kg/yıl
Karbon Monoksit	33.936	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	3.759	kg/yıl
Parçacıklı Madde	2.558	kg/yıl
Sülfür Dioksit	40.817	kg/yıl
Azot Oksitleri	306.764	kg/yıl

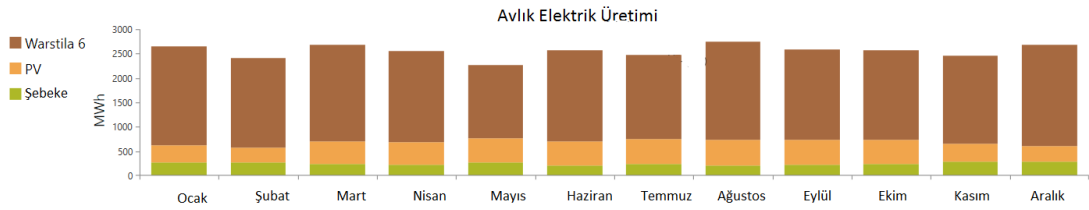
Simülasyon sonucunda kojenerasyon sistemin CO₂ emisyonu yılda 18.325.609 kg, SO₂ emisyonu yılda 49.183 kg, NO_x emisyonu yılda 443.904 kg çıkmıştır (Çizelge 5.15).

Çizelge 5.16: Senaryo 3 kojenerasyon üretim sistemi emisyon değerleri

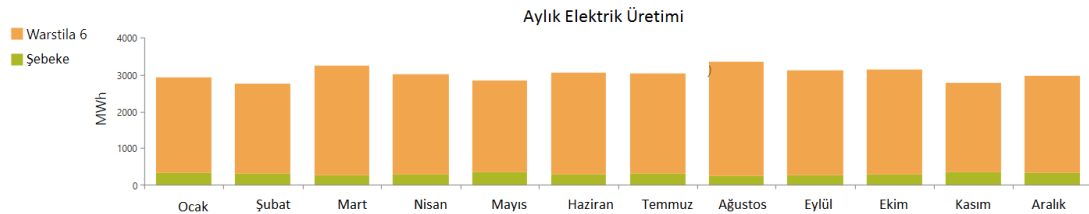
Madde	Miktar	Birim
Karbon Dioksit	18.325.609	kg/yıl
Karbon Monoksit	49.183	kg/yıl
Yanmamış Hidrokarbonlar	5.448	kg/yıl
Parçacıklı Madde	3.708	kg/yıl
Sülfür Dioksit	52.491	kg/yıl
Azot Oksitleri	443.904	kg/yıl

Senaryo 3’de hem hibrit sistemde hem de kojenerasyon sistemde gaz motorları çalışmaktadır. Sera gazı emisyonu için toplam emisyon miktarlarının karşılaştırmasına bakıldığında, Senaryo 3’ün simülasyon sonucuna göre, hibrit üretim sistemi, yılda 4.273.864,00 kg daha az sera gazı emisyonuna sebep olmaktadır.

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’de Senaryo 3’ün simülasyon sonucuna göre hibrit sistem ve kojenerasyon sistem için aylık elektrik üretim grafikleri görülmektedir.



Şekil 5.13: Aylara göre hibrit üretim sistemi ortalama elektrik üretimi



Şekil 5.14: Aylara göre kojenerasyon sistemi ortalama elektrik üretimi

Çizelge 5.16’da Senaryo 1 ile birlikte duyarlılık analizi kapsamında simüle edilen Senaryo 2 ve Senaryo 3’ün sonuçlarının karşılaştırması görülebilir. Sonuçlara göre her 3 senaryoda da hibrit üretim sisteminin net şimdiki maliyeti sadece kojenerasyonla üretim yapan sisteme göre daha düşüktür. Bunun yanı sıra sera gazı

emisy on değ erlerine bakıld ığında da hibrit sistemin emisy on miktarının kojenerasyon sistemden daha d ű ş ű k oldu ğ u g ű r ű lmektedir.

HOMER sim ű lasyon programında sim ű le edilen ű ç senaryo i ç in de ű ebekeden alınan miktarlar hibrit sistem ve kojenerasyon sistem i ç in kar űılaűtırıld ığında, hibrit űretim sisteminde ű ebekeden alınan miktarların daha az oldu ğ u sonucu ç ıkmı ű tır.

Ç izelge 5.17: Senaryoların sim ű lasyon sonucunun kar űılaűtırılması

Sim ű lasyon Sonucu	Hibrit 1	Kojen 1	Hibrit 2	Kojen 2	Hibrit 3	Kojen 3
Ekonomik Ç ıktılar						
Net űimdiki Maliyet (\$)	393.430.800	487.687.900	390.567.300	498.789.000	311.110.900	396.272.600
Yıllık Yakıt T ű ketimi (m ³)	2.304.691	2.304.691	9.217.006	10.630.657	6.398.029	8.264.773
İ skontolu Geri D ű n ű ű S ű resi (yıl)	10,89	-	7,77	8,71	10,01	13,72
Ş ebekeden Satın Alınan Enerji (kWh/yıl)	8.571.424	12.410.000	1.002.344	1.274.481	2.949.566	3.759.948
Kaynaklara G ű re Elektrik ű retimi						
Yenilenebilir Payı	38,30%	0,00%	12,20%	0,00%	17,40%	0,00%
Gaz Motoru Payı	0,00%	0,00%	85,50%	97,20%	73,00%	89,60%
Ş ebeke Payı	61,70%	100,00%	2,30%	2,78%	9,63%	10,40%
Emisy on De ğ erleri						
CO ₂ (kg/yıl)	9.890.007	12.315.987	18.417.459	21.312.542	14.218.645	18.325.609
SO ₂ (kg/yıl)	35.502	46.020	49.766	57.679	40.817	52.491
NO _x (kg/yıl)	11.486	16.629	505.109	604.570	306.764	443.904

Senaryo 1'in sonu ç larında gaz motorlarının çalı űmadı ğı g ű r ű lmektedir. Elektrik űretiminde yenilenebilir enerji kayna ğ ının payı, Senaryo 2'ye g ű re daha fazladır. Elektrik űretiminde ű ebekenin payına bakıld ığında da Senaryo 1 ve Senaryo 3'te Senaryo 2'ye g ű re ű ebekenin payının ç ok daha fazla oldu ğ u g ű r ű lmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Denizli’de 12 MW kurulu güce sahip bir enerji üretim tesisi verileri ile yapılan uygulamada, yenilenebilir enerji kaynağı ile birleştirilmiş kojenerasyon hibrit enerji üretim sistemi, var olan kojenerasyon üretim sistemi ile ekonomik açıdan ve emisyon değerlerine göre karşılaştırılmıştır.

HOMER simülasyon programına var olan piyasa değerleri girilerek üretim sistemi için optimum tasarımın analizi yapılmıştır. Daha sonra duyarlılık analizi kapsamında 2 farklı senaryo daha simüle edilmiş ve sonuçları ilk senaryoyla karşılaştırılmıştır.

Simülasyon sonuçlarına göre 3 senaryo için de hibrit üretim sistemi ve kojenerasyon üretim sistemi karşılaştırıldığında net şimdiki maliyeti en düşük çıkan sistem hibrit sistem olmuştur. Emisyon değerlerine bakıldığında da 3 senaryo için de hibrit sistemin emisyon değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Buradan yenilenebilir enerji kaynakları ile bütünleştirilen hibrit sistemlerin var olan sistemlere göre ekonomik ve emisyon değerleri açısından daha iyi sonuçlar verdiği sonucu çıkarılabilir.

Şu anda piyasada var olan elektrik fiyatı ve doğal gaz fiyatının girdi olarak kullanıldığı Senaryo 1’in sonuçları incelendiğinde, hibrit ve kojenerasyon sistemde elektrik üretiminde gaz motorlarının payının olmadığı gözükmemektedir. Uygulama için verilerinin kullanıldığı santralin gerçekleşen verilerine de bakıldığında planlanan üretim miktarlarının gerçekleştirilmediği görülmüştür. Piyasada arz talep eğrisi ile saatlik oluşan elektrik fiyatı için verilen tekliflerin maliyet bazlı oluşmaması ve var olan sübvansiyon sebebiyle 0,05 \$/kWh civarındaki fiyatlar elektrik ihtiyacının üretim yerine şebekeden karşılanmasına sebep olmaktadır. Çünkü şebekeye satış fiyatları elektrik üretim maliyetini karşılayamamaktadır. Senaryo 1’in simülasyon sonuçlarında elektrik üretiminde şebekenin payı hibrit sistem için %61,70, kojenerasyon sistem için %100 olarak görülmüştür.

Duyarlılık analizi için yapılan senaryolardan biri olan Senaryo 2’de elektrik satış fiyatının 0,07 \$/kWh olduğu durum incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre

Senaryo 1’den farklı olarak gaz motorlarının elektrik üretimindeki payı hibrit sistem için %85,50, kojenerasyon için %97,2’tür.

Senaryo 3’te doğal gaz fiyatının daha düşük olması durumundaki sonuç incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı güneş, gaz motoru ve şebeke için hibrit sistemde sırasıyla %17,40, %73 ve %9,63, kojenerasyon sistemde sırasıyla %0, %89,60, %10,40 olmuştur. Doğal gaz fiyatının düşmesiyle elektrik fiyatının üretim maliyetini karşıladığı noktaya ulaşılabildiğinden, gaz motoru da elektrik üretiminde paya sahiptir.

Duyarlılık analizlerinde elektrik fiyatı var olan fiyatın %40 üzerinde, doğal gaz fiyatı da var olan fiyatın %31 altında kullanılmıştır. Bu iki senaryonun simülasyon sonuçları karşılaştırıldığında parametrelerdeki değişimler benzer oranda olmasına rağmen elektrik fiyatının fazla olduğu Senaryo 2’nin sonuçlarında gaz motorlarının üretimdeki payı daha yüksektir. Buradan, elektrik fiyatındaki değişimin etkisinin, doğal gaz fiyatındaki değişime göre çok daha etkili olduğu sonucu çıkarılabilir.

Üç senaryonun hibrit sistem sonuçları ekonomik sonuçlarına göre karşılaştırıldığında, hibrit sistemler içinde Senaryo 2’nin net şimdiki maliyeti 390.567.300 \$ ile 393.430.800 \$ değeriyle Senaryo 1’den sonra ikinci en yüksek değere sahipken, iskontolu geri dönüş sürelerinde bakıldığında 7,77 yıl ile en iyi değere sahip senaryo, Senaryo 2’deki hibrit üretim sistemidir. Şebekeden satın alınan enerji sonuçlarına göre de Senaryo 2 yılda 1.002.344 kWh ile en düşük sonucu vermiştir.

Türkiye’de şu anda var olan elektrik ve doğal gaz piyasası dinamikleriyle doğal gaz santralleri üretim yapmak yerine şebekeden elektrik almayı tercih edecek konuma gelebilmektedir. Elektrik satış fiyatının 0,07 \$/kWh olduğu Senaryo 2 sonuçlarına göre hem gaz motorları kullanılabilen hem de yenilenebilir enerji kaynağı üretime dahil edilebilmektedir. Bu senaryonun yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş ile bütünleştirilmiş hibrit güneş+kojenerasyon üretim sistemine en uygun olan senaryo olduğu sonucu çıkarılabilir. Dolayısıyla, maliyet bazlı fiyatlamının temel alındığı bir elektrik piyasasında yenilenebilir kaynağı ve doğal gazla bütünleştirilmiş enerji üretim sistemlerinin uygulanabilirliği var olan duruma göre daha fazladır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını arttırarak yerli kaynak kullanımını destekleyen, fosil yakıt tüketimi tasarrufu sağlayan, daha az sera gazı

emisyonu yaparak fosil yakıtlı üretime göre çevreye olumlu katkısı olan hibrit enerji üretim sistemlerinin Türkiye’de yaygınlaşabilmesi için yapılan çalışmalar arttırılabilir ve çalışma sonuçlarına göre de hibrit enerji üretim sistemlerinin Türkiye’deki uygulanabilirliği arttırılabilir. Buna ek olarak, elektrik piyasasının maliyet bazlı fiyatlamaya geçmesi için gerekli araştırmalar yapılabilir ve piyasanın tamamen serbestleşerek kendi dinamiğini yaratması desteklenebilir. Hibrit üretim sistemlerine verilebilecek teşviklerle yatırımcıların bu sistemlere olan ilgisi arttırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Knox-Hayes, J., Brown, M.A., vd.,** (2013). Understanding attitudes toward energy security: Results of a cross-national survey. *Global Environmental Change*. **23**, 609-622.
- [2] **KPMG.,** (2019). Sektörel Bakış Enerji, Erişim adresi <https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2019/03/sektorel-bakis-2019-enerji.pdf>
- [3] **Beretta, G.P., Iora, P., Ghoniem, A.F.,** (2014). Allocating resources and products in multi-hybrid multi-cogeneration: What fractions of heat and power renewable in hybrid fossil-solar CHP?. *Energy*. **78**, 587-603.
- [4] **Baniassadi, A., Momen, M., v.d.,** (2016). Application of R-curve analysis in evaluating the effect of integrating renewable energies in cogeneration systems. *Applied Thermal Engineering*. **93**, 297-307.
- [5] **Url-1** <<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>>, erişim tarihi 30.12.2018.
- [6] **BP** Statistical Review of World Energy 2018, Erişim adresi <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- [7] **Eder, L.V., Provornaya, I.V., vd.,** (2018). World energy market in the conditions of low oil prices, the role of renewable energy sources. *Energy Procedia*. **153**, 112-117.
- [8] **European Council,** (2014). 2030 Climate and Energy Policy Framework, Tech. rep., Erişim adresi <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/climate-change/2030-climate-and-energy-framework/>
- [9] **U.S. Energy Information Administration,** (2017). Annual Energy Outlook 2017 with projections to 2050, Erişim adresi [https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2017).pdf)
- [10] **Url-2** <<https://www.iea.org/gas2018/>>, erişim tarihi, 02.03.2019.
- [11] **Url-3** <<http://www.solarpowereurope.org/eu-solar-market-grows-36-in-2018/>>, erişim tarihi 17.03.2019.
- [12] **SHURA Energy Transition Center.,** (2018). Increasing the Share of Renewables in Turkey's Power System: Options for Transmission Expansion and Flexibility EXECUTIVE SUMMARY. Erişim adresi <https://europeanclimate.org/wp-content/uploads/2018/04/Increasing-the-Share-of-Renewables-in-Turkey%E2%80%99s-Power-System-Executive-Summary.pdf>

- [13] **Gielen, D., Boshell, F., vd.,** (2019). The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews.* **24**, 38-50.
- [14] **Aleixandre-Tudo, J.L., Castello-Cogolos, L., vd.,** (2019). Renewable energies: Worldwide trends in research, funding and international collaboration. *Renewable energies.* **139**, 268-278.
- [15] **Kannan, N., Vakeesan, D.,** (2016). Solar energy for future world: - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* **62**, 1092-1105.
- [16] **al Irsyad, M.I., Halog, A., ve Nepal, R.,** (2019). Renewable energy projecton for climate change mitigation: An analysis of uncertainty and errors. *Renewable Energy.* **130**, 536-546.
- [17] **World Energy Outlook 2018**, Erişim adresi <https://www.iea.org/weo2018/>
- [18] **Bahlawan, H., Morini, M., vd.,** (2019). Optimal design of hybrid energy plant by accounting for the cumulative energy demand. *Energy Procedia.* **158**, 2834-2840.
- [19] **Kumar, P., Pukale, R., vd.,** (2016). Optimal Design Configuration Using HOMER. *Procedia Technology.* **24**, 499-504.
- [20] **Khan, M.R.B, Jidin, R., vd.,** (2015). Optimal combination of solar, wind, micro-hydro and diesel systems based on actual seasonal load profiles for a resort island in the South China Sea. *Energy.* **82**, 80-97.
- [21] **Manesh, M.H., Ameryan, M.,** (2016). Optimal design of a solar-hybrid cogeneration cycle using Cuckoo Search algorithm, *Applied Thermal Engineering.* **102**, 1300-1313.
- [22] **Nosrat, A.H., Swan, L.G., vd.,** (2014). Simulations of greenhouse gas emission reductions from low-cost hybrid solar photovoltaic and cogeneration systems for new communities, *Sustainable Energy Technologies and Assessments.* **8**, 34-41.
- [23] **Pearce, J.M.,** (2009). Expanding photovoltaic penetration with residential distributed generation from hybrid solar photovoltaic and combined heat and power systems, *Energy.* **34**, 1947-1954
- [24] **Rodriguez, L.R., Lissen, J.M.S., vd.,** (2016). Analysis of the economic feasibility and reduction of a building's energy consumption and emissions when integrating hbrid solar thermal/PV/micro-CH systems. *Applied Energy.* **165**, 828-838.
- [25] **Calise, F., d'Accadia, M.D., vd.,** (2015). Design and simulation of a prototype of a small-scale solar CHP system based on evacuated flat-plate solar collectors and Organic Rankine Cycle. *Energy Conversion and Management.* **90**, 347-363.
- [26] **Url-4** <<http://www.enerji.gov.tr/en-US/Pages/Electricity>>, erişim tarihi 26.12.2018.
- [27] **Url-5** <<https://enerjigunlugu.net/icerik/28267/elektrik-uretimi-amacli-dogalgaza-50-zam.html>>, erişim tarihi 13.01.2019.
- [28] **Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği.,** (2018). Doğal Gaz Sektör Raporu, Erişim adresi <http://www.gazmer.com.tr/dokumanlar/1536040944-d.pdf>

- [29] **Maleki, A., Hafeznia, H., vd.,** (2017). Optimization of a grid-connected hybrid solar-wind-hydrogen CHP system for residential applications by efficient metaheuristic approaches. *Applied Thermal Engineering*. **123**, 1263-1277.
- [30] **Url-6** <<http://www.eyoder.org.tr/UlusalEVEP.pdf>>, erişim tarihi 12.01.2019.
- [31] **Url-7** <<https://www.teias.gov.tr/>>, erişim tarihi 18.06.2019.
- [32] Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı 2017-2023., Kasım 2017. Erişim adresi <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/01/20180102M1-1-1.pdf>
- [33] **Url-8** <<https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar>>, erişim tarihi 29.06.2019.
- [34] Türkiye Rüzgar Enerjisi Birliği., 2019 Türkiye Rüzgar Enerjisi İstatistik Raporu, (Ocak 2019). Erişim adresi https://www.tureb.com.tr/files/bilgi_bankasi/turkiye_res_durumu/turkiye_ruzgar_enerjisi_istatistik_raporu_ocak_2019.pdf
- [35] **Kilickaplan, A., Bogdanov D., vd.,** (2017). An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050, *Solar Energy*. **158**, 218-235.
- [36] **OECD Çevresel Performans İncelemeleri: Türkiye Öne Çıkanlar 2019.** Erişim adresi <http://www.oecd.org/environment/country-reviews/Highlights-Turkiye-2019-TURKISH-WEB.pdf>
- [37] **Url-9** <<https://enerjiinstitusu.org/yenilenebilir-enerji-tesvikleri-yekdem-nedir/>>, erişim tarihi 03.03.2019.
- [38] **Url-10** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>>, erişim tarihi 22.12.2018.
- [39] **Url-11** <<http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/>>, erişim tarihi 02.11.2018.
- [40] **Url-12** <<http://www.resmigazete.gov.tr/>>, erişim tarihi 15.11.2018.
- [41] **Url-13** <<https://www.gunder.org.tr/gunder-turkiyenin-gunes-enerjisi-yol-haritasini-kamuoyuyla-paylasti/>>, erişim tarihi 04.03.2019.
- [42] **Türkiye Kojenerasyon Derneği,** (Nisan 2019). Erişim adresi <http://kojenturk.org/tr>
- [43] **Yilmaz, S., Dincer, F.,** (2017). Optimal design of hybrid PV-Diesel-Battery systems for isolated lands: A case study for Kilis, Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. **77**, 344-352.
- [44] **Ozden, E., Tari, I.,** (2016). Energy-exergy and economic analyses of a hybrid solar-hydrogen renewable energy system in Ankara, Turkey, *Applied Thermal Engineering*. **99**, 169-178.
- [45] **Aydin, N.Y., Kentel, E., Duzgun, H.S.,** (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy Conversion and Management*. **70**, 90-106.
- [46] **Url-14** <<https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html>>, erişim tarihi 03.02.2019.

- [47] **Bahramara, S., Moghaddam, M.P., ve Haghifam, M.R.,** (2016). Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* **62**, 609-620.
- [48] **Shahzad, M.K., Zahid, A., v.d.,** (2017). Techno-economic feasibility analysis of a solar-biomass off grid system for the electrification of remote rural areas in Pakistan using HOMER software. *Renewable Energy.* **106**, 264-273.
- [49] **Rajbongshi, R., Devashree, B., ve Mahapatra, S.,** (2017). Optimization of PV-biomass-diesel and grid base hybrid energy systems for rural electrification by using HOMER. *Energy.* **126**, 461-474.
- [50] **Kim, I., James, J., ve Crittenden, J.,** (2017). The case study of combined cooling heat and power and photovoltaic systems for building customers using HOMER software. *Electric Power Systems Research.* **143**, 490-502.
- [51] **Amrollahi, M.H., ve Bathaee, S.M.T.,** (2017). Techno-economic optimization of hybrid photovoltaic/wind generation together with energy storage system in a stand—alone micro-grid subjected to demand response. *Applied Energy.* **202**, 66-77.
- [52] **Dekker, J., Nthontho, M., vd.,** (2012). Economic analysis of PV/diesel hybrid power systems in different climatic zones of South Africa. *Electrical Power and Energy Systems.* **40**, 104-112.
- [53] **Bayhan, M., Ay Türkmen, M., ve Duran, Z.,** (2016). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Güneş Enerjisi: Denizli İli Uygulanabilirlik Araştırması. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi.* **25**, 151-165.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Meryem İPEK ÖZKOCA

E-Posta: ipekmaryem@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2013, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü

MESLEKİ DENEYİM:

- Ağustos 2011-Eylül 2011 arasında Arçelik Beylikdüzü fabrikasında üretim planlama bölümünde üretim stajı yaptı.
- Haziran 2012-Temmuz 2012 arasında Teknosa İç ve Dış Ticaret A.Ş.'de stok planlama departmanında yönetim stajı yaptı.
- Mayıs 2013-Ekim 2016 arasında Enerko Enerji Hizmetleri Ltd. Şti.'de proje mühendisi olarak çalıştı.
- Mayıs 2013-Ekim 2016 arasında Türkiye Kojenerasyon Derneği'nde koordinatör olarak çalıştı.
- Temmuz 2017-halen Alen Alarko Enerji Ticaret A.Ş.'de Enerji Ticareti Uzman yardımcısı olarak çalışmaktadır.